



VALE NC

Synthèse des observations piézométriques

Secteur de Goro



042/11/O/HG/NC
Document D0440/12/NC
Révision : 00

Avril 2012



Agence pour l'Eau et l'Environnement du Pacifique (A2EP)
R.C.S. Nouméa 2002 B 656 280 (2002 B 179)
14, rue Edouard Glasser – Motor Pool

BP 8176 – 98 807 NOUMEA

www.a2ep.nc

	Synthèse des observations piézométriques	Révision : 00
	Secteur de Goro	Avril 2012 Sommaire

Client	VALE NC
Interlocuteur	JL Folio
Numéro de l'affaire	042/11/O/HG/NC
Numéro de document	Document D0440/12/NC
Révision	Révision : 00
Chargé d'affaire	M.Rouxel
Date de mise à disposition du rapport	Avril 2012
Coordonnées X,Y (RGNC Lambert)	494 510 , 212 401
Mots clés	Hydrogéologie, Goro.
Signature du rédacteur :	
Signature du vérificateur :	

Indice	Version	Rédacteur	Vérificateur	Date
0A	Pour révision	MRO/LA	NC	10/4/2012
0B	Pour approbation	MRO/LA	NC	12/4/2012
00	Pour diffusion	MRO/LA	NC	16/4/2012

	Synthèse des observations piézométriques	Révision : 00
	Secteur de Goro	Avril 2012 Sommaire

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION	9
2	ANALYSE DES CHRONIQUES PIEZOMETRIQUES	12
2.1	OBJECTIFS	12
2.2	MATERIELS ET METHODES	12
2.3	LES FLUCTUATIONS NATURELLES DES NIVEAUX PIEZOMETRIQUES.....	14
2.3.1	CHRONIQUES DE PIEZOMETRIE.....	14
2.3.2	VARIATIONS DES NIVEAUX PIEZOMETRIQUES	16
2.3.3	STATISTIQUE : AUTOCORRELATION SUR LES NIVEAUX PIEZOMETRIQUES	20
2.4	PARAMETRES INFLUENÇANT LES VARIATIONS DU NIVEAU PIEZOMETRIQUE.....	22
2.4.1	LITHOLOGIE	22
2.4.2	SITUATION PAR RAPPORT A LA TOPOGRAPHIE.....	22
2.4.3	PRECIPITATIONS	22
2.4.4	CORRELOGRAMME PLUVIOMETRIE / PIEZOMETRIE.....	23
2.4.5	DISCUSSION.....	25
3	RELATIONS NAPPE RIVIERE	26
3.1	OBJECTIF	26
3.2	MATERIELS ET METHODES	26
3.3	RESULTATS.....	27
3.3.1	CREEK DE LA CRETE SUD	27
3.3.2	RIVIERE WADJANA.....	29
3.3.3	RIVIERE KADJI	32
3.3.4	RIVIERE KWE BINI.....	34
3.3.5	RIVIERE KWE EST	36
3.3.6	RIVIERE KWE NORD	37

	Synthèse des observations piézométriques	Révision : 00
	Secteur de Goro	Avril 2012 Sommaire

3.3.7	KWE OUEST.....	43
3.3.8	CREEK DE LA MINE DES JAPONAIS.....	45
3.3.9	RIVIERE LA TRUU.....	46
4	ÉTUDE DES RELATIONS NAPPES / LACS	51
4.1	OBJECTIF	51
4.2	MATERIELS ET METHODES.....	51
4.3	RESULTATS.....	51
4.3.1	GRAND LAC.....	51
4.3.2	LAC XERE Wa Po.....	54
4.3.3	LAC GORO SUD	58
4.3.4	LAC ROBERT	62
4.4	CONCLUSION SUR LES RELATIONS NAPPES/LACS.....	65
5	CARTES PIEZOMETRIQUES.....	66
5.1	METHODES DE CONSTRUCTION	66
5.2	CARTE PIEZOMETRIQUE EN MOYENNES EAUX.....	66
5.2.1	NIVEAUX SAPROLITES/PERIDOTITES : PIEZOMETRES « LONGS »	66
5.2.2	NIVEAUX LATERITIQUES : PIEZOMETRES « COURTS »	68

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation des principaux bassins endoréiques et systèmes pseudo-karstiques (Source : Vale, 28/02/2012)	11
Figure 2 : Comparaison des niveaux piézométriques et des précipitations moyennés pour le piézomètre 10 EX 0360 dans le niveau saprolitique et 10EX0334 dans le niveau latéritique	13
Figure 3 : Comparaison de chroniques piézométriques (secteur de KO4, différentes situations)	14
Figure 4 : Comparaison de chroniques piézométriques (secteur FM25, différentes situations)	15
Figure 5 : Comparaison de chroniques piézométriques (secteur de SMLT, différentes situations)...	15
Figure 6 : Répartition spatiale des amplitudes de variation maximales du niveau piézométrique observé dans les latérites (PEC).....	18

	Synthèse des observations piézométriques	<i>Révision : 00</i> <i>Avril 2012</i>
	Secteur de Goro	Sommaire

Figure 7 : Répartition spatiale des amplitudes de variation maximales du niveau piézométrique observé dans le saprolite et la péridotite fracturée (PEL)	19
Figure 8 : Autocorrélation au pas de temps journalier pour quatre piézomètres et le signal des précipitations dans le secteur FM25.....	20
Figure 9 : Autocorrélation au pas de temps horaire pour quelques piézomètres représentatifs des fluctuations du niveau piézométrique rencontré dans le secteur KO4	21
Figure 10 : Corrélation croisée des précipitations avec des niveaux piézomètres représentatifs dans le secteur KO4.....	23
Figure 11 : Corrélation croisée des précipitations avec des niveaux piézomètres représentatifs dans le secteur FM25.....	24
Figure 12 : Profil de la rivière du Creek de la crête sud avec les caractéristiques des tronçons et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de basses eaux.....	28
Figure 13 : Profil de la rivière du Creek Sud avec les caractéristiques des tronçons et les points de jaugeage en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de moyennes eaux ..	29
Figure 14 : Profil de la rivière Wadjana avec les caractéristiques des tronçons, et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de basses eaux.....	30
Figure 15 : Profil de la rivière Wadjana avec les caractéristiques des tronçons, et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de moyennes eaux.	31
Figure 16 : Profil de la rivière de la branche Nord qui draine le secteur de Kadji avec les caractéristiques des tronçons, et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de basses eaux.....	33
Figure 17 : Profil de la rivière de la branche Est qui draine le secteur de Kadji avec les caractéristiques des tronçons, et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de basses eaux.....	33
Figure 18 : Profil de la rivière du cours principal de la Kwé Bini avec les caractéristiques des tronçons, et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de basses eaux.....	34
Figure 19 : Profil de la rivière du cours principal de la Kwé Bini avec les caractéristiques des tronçons, et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de basses eaux.....	35
Figure 20 : Profil de la rivière du cours principal de la Kwé Est avec les caractéristiques des tronçons, et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de basses eaux.....	36
Figure 21 : Profil de la rivière du cours principal de la Kwé Est avec les caractéristiques des tronçons, et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de moyennes eaux.....	37

 VALE NC	Synthèse des observations piézométriques	Révision : 00 Avril 2012
	Secteur de Goro	Sommaire

Figure 22 : Profil de la rivière de la branche principale de la Kwé Nord avec les caractéristiques des tronçons, les points de confluence avec la branche Ouest de la KN2 et la KN3 et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de basses eaux..... 39

Figure 23 : Profil de la rivière de la branche ouest de la KN2 avec les caractéristiques des tronçons, le point de confluence avec le cours principal de la KN2 et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de basses eaux 39

Figure 24 : Profil de la rivière KN3 avec les caractéristiques des tronçons, les points de confluence avec le cours principal de la KN2 et une branche Est-sud-est et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de basses eaux 40

Figure 25 : Profil de la rivière de la branche est-sud-est de la KN3 avec les caractéristiques des tronçons, les points de confluence avec le cours principal de la KN3 et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de basses eaux..... 40

Figure 26 : Profil de la rivière de la branche principale de la Kwé Nord avec les caractéristiques des tronçons, les points de confluence avec la branche Ouest de la KN2 et la KN3 et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de moyennes eaux. 41

Figure 27 : Profil de la rivière de la branche ouest de la KN2 avec les caractéristiques des tronçons, le point de confluence avec le cours principal de la KN2 et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de moyennes eaux 42

Figure 28 : Profil de la rivière KN3 avec les caractéristiques des tronçons, les points de confluence avec le cours principal de la KN2 et une branche Est-sud-est et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de basses eaux 42

Figure 29 : Profil de la rivière de la branche est-sud-est de la KN3 avec les caractéristiques des tronçons, les points de confluence avec le cours principal de la KN3 et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de moyennes eaux..... 43

Figure 30 : Profil de la rivière Kwé Ouest avec les caractéristiques des tronçons, les points de confluence avec le cours principal de la Kwé Ouest et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de basses eaux 44

Figure 31 : Profil de la rivière Kwé Ouest avec les caractéristiques des tronçons, les points de confluence avec le cours principal de la Kwé Ouest et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de moyennes eaux 45

Figure 32 : Profil de la rivière de la mine de Japonais avec les caractéristiques des tronçons, et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de moyennes eaux 46

Figure 33 : Profil de la rivière de la Truu avec les caractéristiques des tronçons, les confluences et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de basses eaux 47

Figure 34 : Profil de la rivière de la Truu avec les caractéristiques des tronçons, les confluences et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de moyennes eaux 48

 VALE NC	Synthèse des observations piézométriques	<i>Révision : 00</i> <i>Avril 2012</i>
	Secteur de Goro	Sommaire

Figure 35 : Campagnes de jaugeages différentiels (période de basses eaux, octobre/novembre 2011)	49
Figure 36 : Campagnes de jaugeages différentiels (périodes de moyennes et hautes eaux)	50
Figure 37 : Localisation de la coupe correspondant au profil 2D et des piézomètres 11EX0407 et 11EX0410 par rapport au Grand Lac	52
Figure 38 : Profil Est-Ouest entre le Grand lac et les piézomètres 11EX0407 (PEC) et 11EX0410 (PEL) pour la période de basses eaux	52
Figure 39 : Profil Est-Ouest entre le Grand lac et les piézomètres 11EX0407 (PEC) et 11EX0410 (PEL) pour la période de moyennes eaux	53
Figure 40 : Profil Est-Ouest entre le Grand lac et les piézomètres 11EX0407 (PEC) et 11EX0410 (PEL) pour la période de Hautes eaux	54
Figure 41 : Carte de localisation des piézomètres près du lac Xere Wa Po.....	55
Figure 42 : Profil Est-Ouest sur le lac Xere Wa Po intégrant les piézomètres 11EX0448 (PEC), 10EX0372 (PEC) et 10EX0341 (PEL) pour la période de basses eaux.....	56
Figure 43 : Profil Est-Ouest sur le lac Xere Wa Po intégrant les piézomètres 11EX0448 (PEC), 10EX0372 (PEC) et 10EX0341 (PEL) pour la période de basses eaux.....	57
Figure 44 : Profil Est-Ouest sur le lac Xere Wa Po intégrant les piézomètres 11EX0448 (PEC), 10EX0372 (PEC) et 10EX0341 (PEL) pour la période de hautes eaux	57
Figure 45 : carte de localisation des piézomètres autour du lac Goro Sud	59
Figure 46 : Profil Ouest-nord-ouest Est-sud-est sur le lac de Goro sud intégrant les piézomètres 11EX0334 (PEL) et 10EX0339 (PEC) à l'est-sud-est et les piézomètres 10EX0342 (PEL) et 10EX0343 (PEC) à l'ouest-nord-ouest du lac, pour la période de basses eaux.....	60
Figure 47 : Profil Ouest-nord-ouest Est-sud-est sur le lac de Goro sud intégrant les piézomètres 11EX0334 (PEL) et 10EX0339 (PEC) à l'est-sud-est et les piézomètres 10EX0342 (PEL) et 10EX0343 (PEC) à l'ouest-nord-ouest du lac, pour la période de moyennes eaux	61
Figure 48 : Profil Ouest-nord-ouest Est-sud-est sur le lac de Goro sud intégrant les piézomètres 11EX0334 (PEL) et 10EX0339 (PEC) à l'est-sud-est et les piézomètres 10EX0342 (PEL) et 10EX0343 (PEC) à l'ouest-nord-ouest du lac, pour la période de hautes eaux	62
Figure 49 : Carte de localisation des piézomètres autour du lac Robert.....	63
Figure 50 : Profil Ouest Est sur le lac Robert intégrant les piézomètres 10EX0438 (PEC) à l'ouest et le piézomètre 11EX0462 (PEC) à l'est du lac, pour la période de moyennes eaux	64
Figure 51 : Profil Ouest Est sur le lac Robert intégrant les piézomètres 10EX0438 (PEC) à l'ouest et le piézomètre 11EX0462 (PEC) à l'est du lac, pour la période de hautes eaux	64
Figure 52 : Carte piézométrique issue des observations piézométriques dans les niveaux saprolitique et péridotitique (Piézomètres longs).....	70

	Synthèse des observations piézométriques	Révision : 00
	Secteur de Goro	Avril 2012 Sommaire

Figure 53 : Présentation des sens et directions des écoulements (flèches vertes et bleues) et des zones de convergence et de divergence d'après la carte piézométrique issue des observations piézométriques dans les niveaux saprolitique et péridotitique	71
Figure 54 : Carte piézométrique du compartiment latéritique	72
Figure 55 : Carte piézométrique du compartiment latéritique avec l'analyse des zones de convergence et de divergence	73

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Variations piézométriques par secteur (données disponibles jusque décembre 2011) ..	16
Tableau 2 : Caractéristiques des tronçons durant la période de basses eaux pour le Creek de la crête sud.....	28
Tableau 3: Caractéristiques des tronçons durant la période de moyennes eaux pour le Creek de la crête sud.....	29
Tableau 4 : Caractéristiques des tronçons durant la période de basses eaux pour rivière Wadjana	30
Tableau 5 : Caractéristiques des tronçons durant la période de moyennes eaux pour rivière Wadjana	31
Tableau 6 : Caractéristiques des tronçons durant la période de basses eaux pour la rivière de Kadji	32
Tableau 7 : Caractéristiques des tronçons durant la période de basses eaux pour la Kwé Bini	34
Tableau 8 : Caractéristiques des tronçons durant la période de moyennes eaux pour la Kwé Bini..	35
Tableau 9 : Caractéristiques des tronçons durant la période de basses eaux pour la Kwé Est.....	36
Tableau 10 : Caractéristiques des tronçons durant la période de moyennes eaux pour la Kwé Est	37
Tableau 11 : Caractéristiques des tronçons durant la période de basses eaux pour la Kwé Nord ...	38
Tableau 12 : Caractéristiques des tronçons durant la période de moyennes eaux pour la Kwé Nord	41
Tableau 13 : Caractéristiques des tronçons durant la période de basses eaux pour la Kwé Ouest .	43
Tableau 14 : Caractéristiques des tronçons durant la période de hautes eaux pour la Kwé Ouest ..	44
Tableau 15 : Caractéristiques des tronçons durant la période de moyennes eaux pour le creek de la mine des Japonais.....	45

 VALE NC	Synthèse des observations piézométriques	Révision : 00 Avril 2012
	Secteur de Goro	Page : 9 / 81

1 INTRODUCTION

La société Valé Nouvelle-Calédonie prévoit de mettre en exploitation, dans les prochaines années, plusieurs fosses minières dans le secteur de la Kwé :

- Une fosse minière dans le secteur Kwé Ouest (« KO4 »), qui, après exploitation, sera reconvertie en bassin de stockage de résidus ultimes de traitement du minerai (et qui fera relai à l'actuel bassin de stockage, qui sera saturé d'ici moins de 10 ans) ;
- Une fosse minière exploitée sur l'horizon 25 ans (« FM25 »), dans le secteur Kwé est.

La réglementation en vigueur dans le cadre de l'ouverture de fosses minières est régie par le Code Minier de la Nouvelle-Calédonie, créé par la Loi du pays n°2009-6 du 16 avril 2009.

L'article R142-10-4 du Code Minier prévoit les documents associés à la déclaration minière initiale, et en particulier au point 4 « un exposé relatif à la gestion et à la protection des eaux superficielles et souterraines ». L'article R142-10-8 précise le contenu de cet exposé : « l'exposé (...) décrit l'état initial des eaux superficielles et souterraines et des cours d'eau permanent et intermittents (...). Il indique le plan de suivi des eaux, l'évaluation de l'impact sur les masses d'eau et les mesures mises en œuvre pour les limiter. ».

Le présent rapport d'état des lieux s'intègre dans cet exposé relatif à l'état initial des eaux souterraines. Il présente une analyse des observations piézométriques acquises spécifiquement pour les besoins du projet.

Des travaux de modélisation hydrogéologique s'appuyant sur les outils Modflow© et Feflow© sont en cours dans le secteur de la fosse minière 25 ans et d'autres sont à venir dans le secteur de KO4.

Dans ce contexte, l'objectif de l'étude statistique de la piézométrie est de définir les grands traits caractéristiques des variations observées dans les piézomètres pris individuellement et vis-à-vis des observations réalisées dans les autres piézomètres. Ce travail préalable à la modélisation est important dans la mesure où les caractéristiques hydrogéologiques qui auront été dégagées devront être reproduites par les modèles et poseront donc des contraintes pour ces modèles. En effet, la validité des modèles découlera de leurs capacités à reproduire les singularités et les caractéristiques globales des comportements hydrogéologiques de la nappe.

Les analyses suivantes sont présentées :

- Une étude statistique descriptive sur les chroniques piézométriques.
- Des éléments complémentaires sur les relations nappes/rivières au travers des résultats de deux campagnes de jaugeages différentiels en basses et hautes/moyennes eaux ;
- Une étude des relations entre nappe et niveau des lacs Xere Wapo, Robert, Goro Sud, et Grand Lac ;
- En final, des cartes piézométriques interprétatives de l'ensemble du secteur de Goro, en contexte de moyennes eaux et de basses eaux, montrant les gradients piézométriques, les directions principales d'écoulements, les relations nappe/rivière. Des cartes distinctes sont éditées pour les piézomètres dits « courts » (PEC), qui touchent la latérite, et les piézomètres dits « longs » (PEL), qui concernent la saprolite et/ou la péridotite.

 VALE VALE NC	Synthèse des observations piézométriques	Révision : 00 Avril 2012
	Secteur de Goro	Page : 10 / 81

Les analyses statistiques des chroniques piézométriques plus approfondies et les cartes piézométriques pour la période de moyennes eaux sont en cours de réalisation et feront l'objet d'une présentation ultérieure.

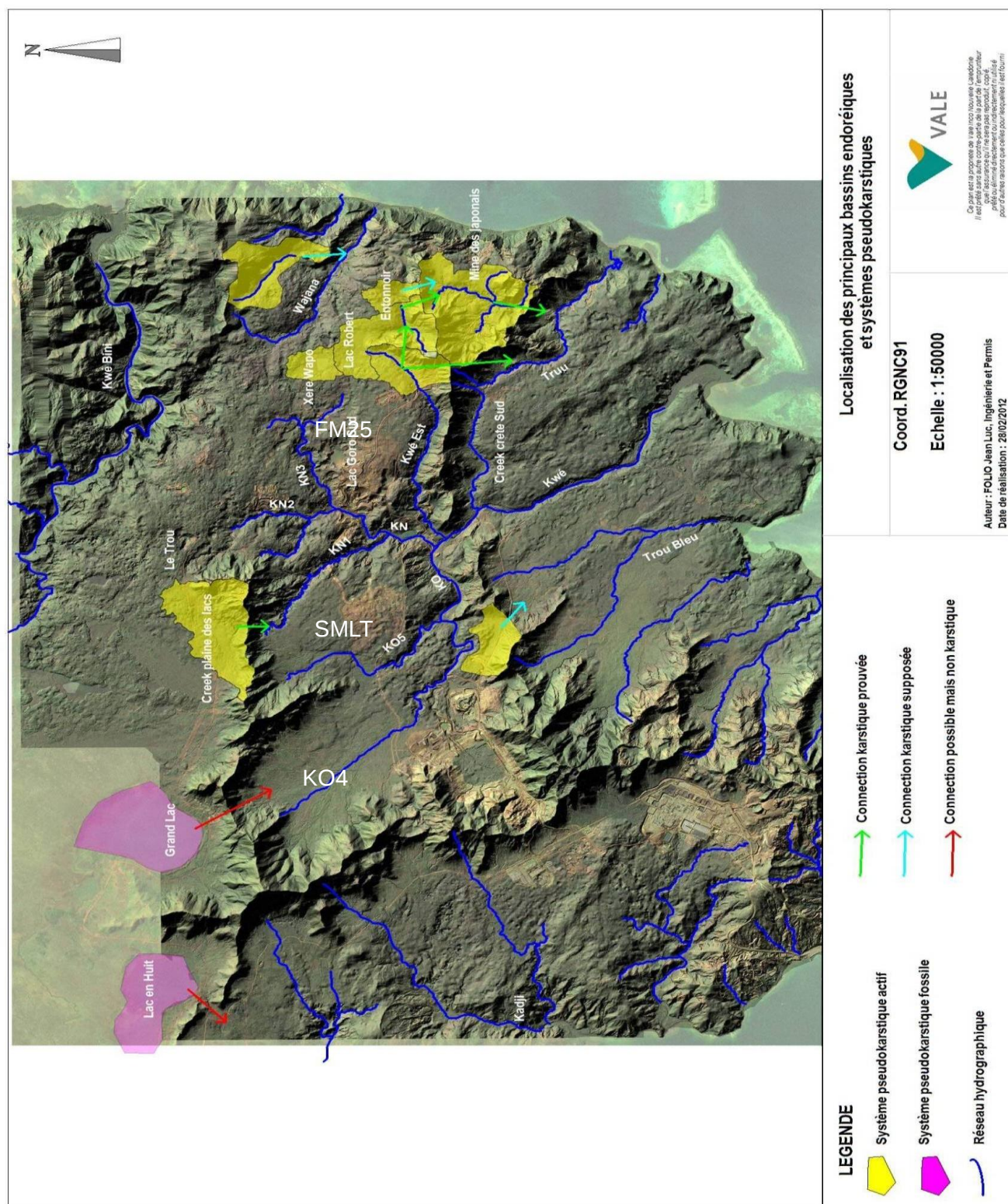


Figure 1 : Localisation des principaux bassins endoréiques et systèmes pseudo-karstiques (Source : Vale, 28/02/2012)

 VALE NC	Synthèse des observations piézométriques	Révision : 00 Avril 2012
	Secteur de Goro	Page : 12 / 81

2 ANALYSE DES CHRONIQUES PIEZOMETRIQUES

2.1 OBJECTIFS

De nombreuses données sont disponibles pour l'analyse des systèmes hydrogéologiques sur le secteur de Goro.

L'objectif de cette partie du rapport vise à mieux comprendre le fonctionnement hydrogéologique du site au travers une première analyse de chroniques piézométriques à pas de temps fin acquises au cours de l'année 2011.

Plus précisément, il s'agit d'examiner les variations naturelles et d'identifier, si possible, des tendances et regroupements dans le comportement hydraulique afin de proposer une typologie des piézomètres.

2.2 MATERIELS ET METHODES

L'étude des variations temporelles et spatiales des niveaux piézométriques a été effectuée sur un volume important de piézomètres et de données.

Les séries étudiées correspondent à des enregistrements horaires de niveaux sur une année complète, appuyés par des relevés manuels à fréquence mensuelles sur les piézomètres suivis en continu et sur un réseau plus étendu. Les données ont été acquises sur 157 piézomètres (63 dans le secteur FM25, 34 dans le secteur KO4, 40 dans le secteur SMLT). Une vingtaine de piézomètres du secteur KWSRF (zone de stockage de résidus de la Kwé Ouest) a également été valorisé pour la production de cartes piézométriques.

Dans de nombreux cas, les piézomètres sont positionnés en plate-forme piézométrique, associant un piézomètre long (PEL) visant l'horizon saprolitique, et un piézomètre court (PEC) visant l'horizon latéritique.

La démarche retenue a été de faire ressortir les regroupements et tendances générales dans les données. L'analyse a été effectuée selon un regroupement en trois grands secteurs d'étude (KO4, FM25, SMLT), ainsi qu'en fonction de la géologie locale selon la profondeur d'installation de la cellule piézométrique (PEL et PEC). Les données du secteur KWRSF n'ont pas été utilisées dans les analyses statistiques car leur compilation n'était pas complète.

L'application de statistiques descriptives sur les données piézométriques selon les regroupements décrits précédemment (secteurs, géologie, topographie) permet de quantifier avec plus de précisions les variations individuelles de la charge hydraulique dans les piézomètres.

Ensuite, l'information obtenue sur le comportement hydraulique des piézomètres a été examinée spatialement pour l'ensemble de la zone d'étude.

Enfin, les données piézométriques ont été comparées entre elles, et également avec les données de précipitation (pluviométrie).

Avec un pas de temps horaire, les séries traitées contenaient en général plus de 6000 mesures, dont certaines périodes pouvaient être manquantes ou invalides.

Pour palier d'éventuelles lacunes temporelles, certaines chroniques piézométriques ont d'abord été filtrées en utilisant les moyennes journalières mobiles centrées. Cette méthode est illustrée à travers deux exemples présentés dans la figure 2. Ces moyennes permettent de limiter la perte d'informations tout en supprimant les lacunes ne dépassant pas 24h. Les analyses ont également porté sur des données horaires. Seules les données validées ont été exploitées dans le cadre des statistiques.

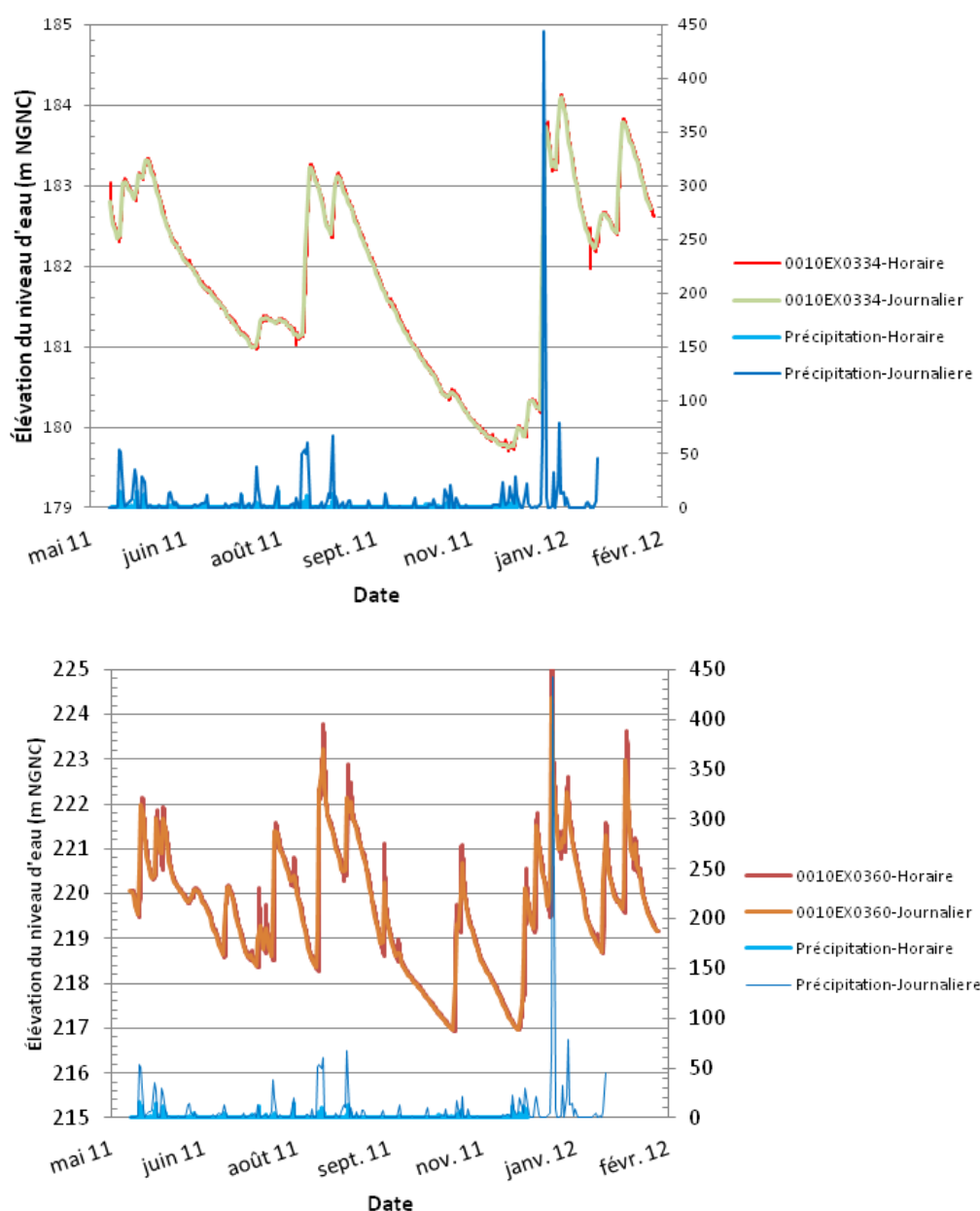


Figure 2 : Comparaison des niveaux piézométriques et des précipitations moyennés pour le piézomètre 10 EX 0360 dans le niveau saprolitique et 10EX0334 dans le niveau latérite

2.3 LES FLUCTUATIONS NATURELLES DES NIVEAUX PIEZOMETRIQUES

2.3.1 CHRONIQUES DE PIEZOMETRIE

Le comportement des niveaux piézométriques observé dans les piézomètres a été examiné en premier lieu de façon qualitative selon les secteurs d'étude et la géologie interceptée par la cellule piézométrique. Différents comportements typiques des chroniques piézométriques ont été identifiés et sont présentés à la Figure 3. En général, les réponses présentées dans les graphiques proviennent de piézomètres adjacents aménagés à différentes profondeurs dans les lithologies (plate-forme piézométrique).

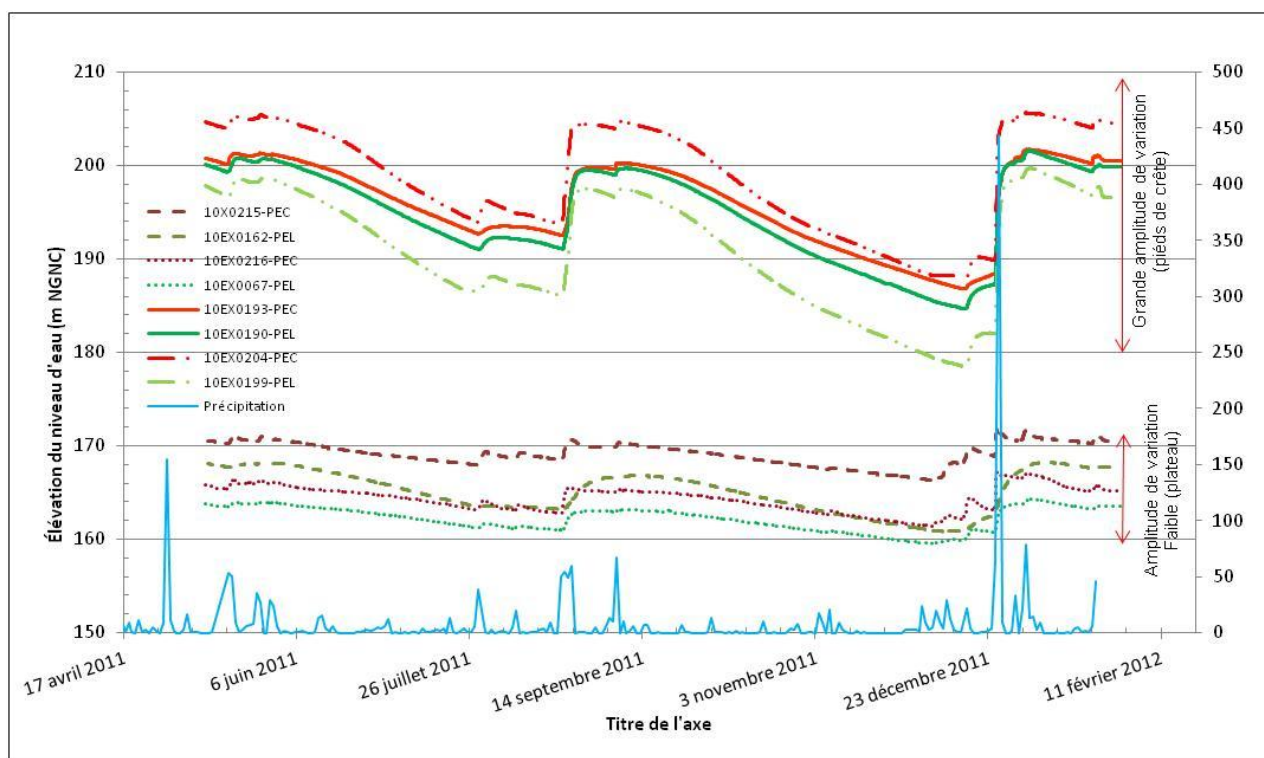


Figure 3 : Comparaison de chroniques piézométriques (secteur de KO4, différentes situations)

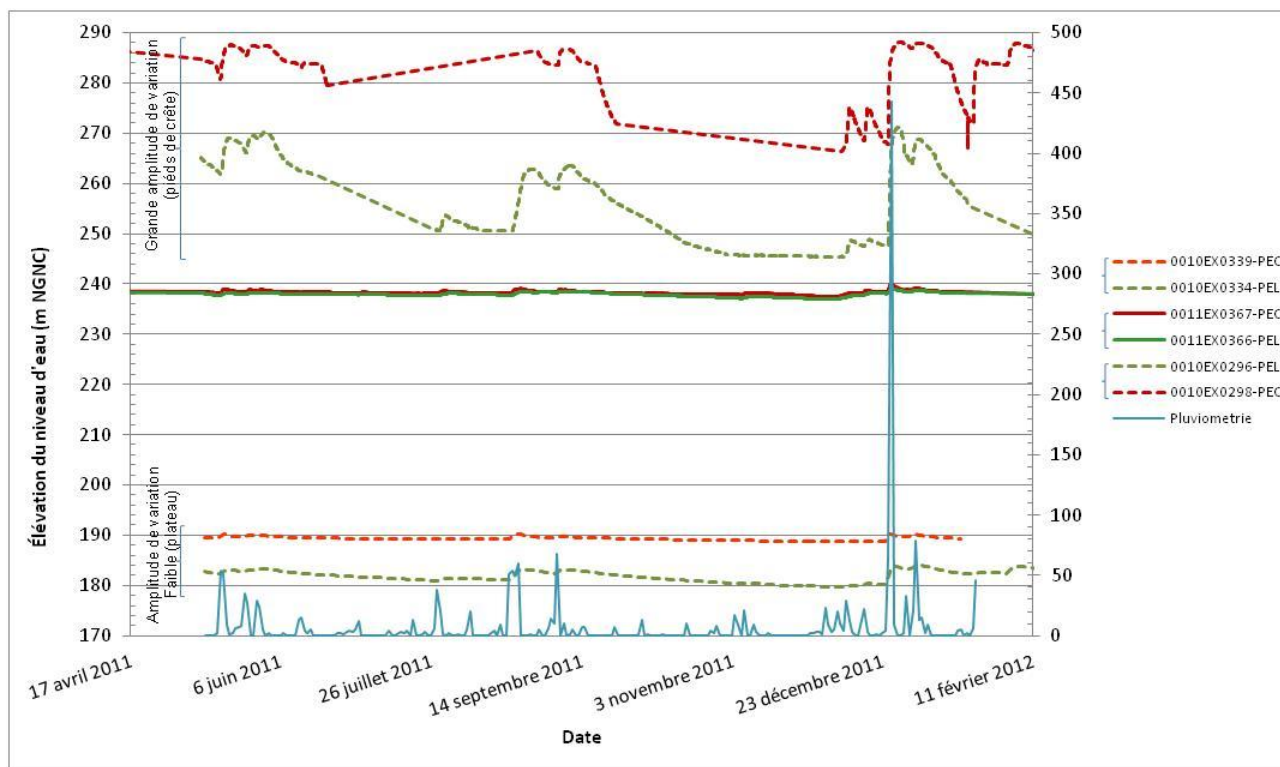


Figure 4 : Comparaison de chroniques piézométriques (secteur FM25, différentes situations)

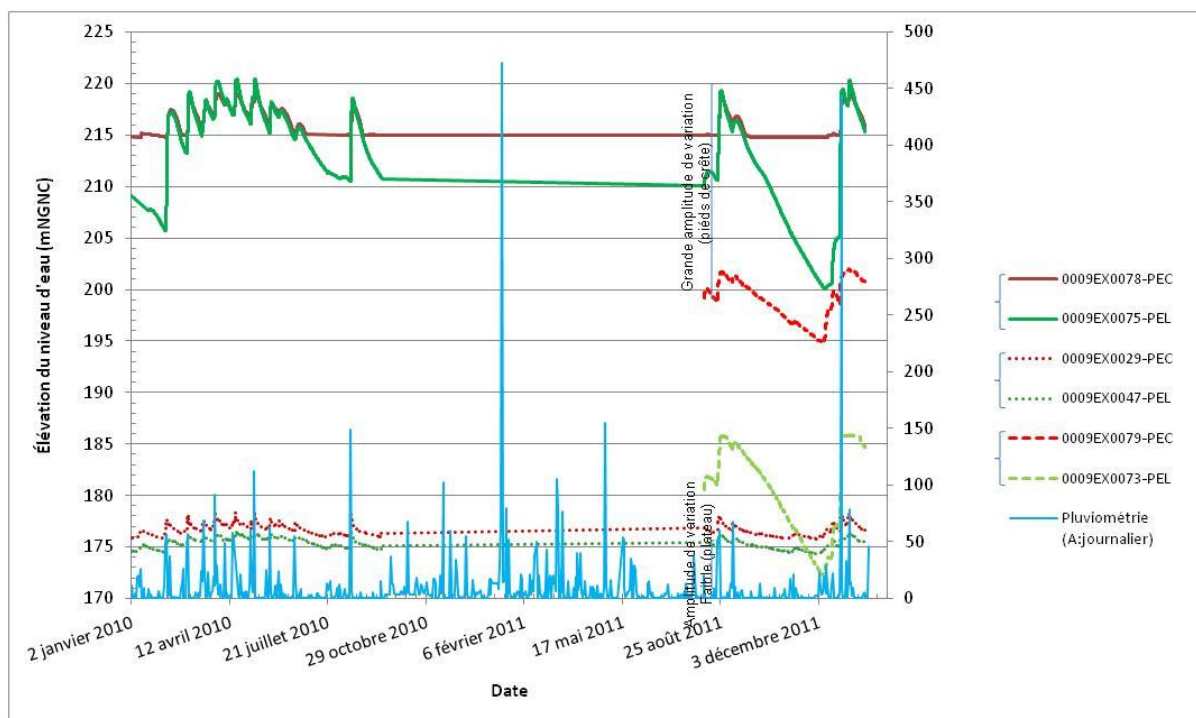


Figure 5 : Comparaison de chroniques piézométriques (secteur de SMLT, différentes situations)

	Synthèse des observations piézométriques	Révision : 00 Avril 2012
	Secteur de Goro	Page : 16 / 81

Plusieurs comportements typiques peuvent être identifiés dans les chroniques piézométriques. Dans les figures, on constate que les variations des niveaux piézométriques sont généralement très importantes dans les groupes du haut. Ces derniers correspondent à des piézomètres installés dans les zones proches des crêtes. Les groupes suivants sont formés de piézomètres aménagés dans la zone de plateau. Également, les piézomètres installés dans la saprolite (PEL) ont démontré une réponse typique plus importante que dans les piézomètres associés installés dans les latérites (PEC).

De façon générale, on observe à partir des chroniques piézométriques sur l'ensemble de la zone d'étude un gradient hydraulique vertical important, à l'exception de quelques secteurs où les niveaux d'eau sont comparables dans les latérites et la saprolite. Plus spécifiquement, la mesure des niveaux d'eau dans des piézomètres adjacents (plate-forme piézométrique) fait apparaître pour l'ensemble du site de Goro des gradients hydrauliques verticaux descendants. La valeur des gradients varie selon la saison et la localisation. Toutefois, il est à noter que la direction descendante des gradients verticaux n'a jamais été inversée dans les séries de données disponibles.

2.3.2 VARIATIONS DES NIVEAUX PIEZOMETRIQUES

Une analyse de la variation des chroniques piézométriques a été effectuée à l'aide de statistiques descriptives. Les résultats synthétiques sont présentés dans le tableau 1 par secteur, mais également en fonction de la lithologie. Les résultats du tableau font apparaître certaines généralités sur les niveaux piézométriques et leurs fluctuations naturelles caractéristiques des secteurs d'étude. Les résultats complets et détaillés des statistiques descriptives sont présentés dans les tableaux de l'annexe 1.

Tableau 1 : Variations piézométriques par secteur (données disponibles jusqu' décembre 2011)

	Secteur KO4		Secteur SMLT		Secteur FM25	
	PEC	PEL	PEC	PEL	PEC	PEL
Élévation minimum moyenne du secteur (m NGNC)	146,22	141,93	79,31	79,72	180,76	85,22
Élévation maximum moyenne du secteur (m NGNC)	205,35	198,39	222,92	216,30	282,84	276,09
Écart minimum (m)	3,95	4,75	0,73	1,19	1,49	0,38
Écart maximum (m)	17,48	24,59	14,99	23,47	21,63	46,70
Moyenne des écarts de variation (m)	8,64	14,93	5,42	7,29	8,12	12,41

¹ Les données du secteur KWRSF n'ont pas été utilisées dans les analyses statistiques car leur compilation n'est pas complète.

 VALE NC	Synthèse des observations piézométriques	<i>Révision : 00</i> <i>Avril 2012</i>
	Secteur de Goro	Page : 17 / 81

Afin de faciliter l'interprétation des fluctuations naturelles, compte tenu du nombre important de piézomètres examinés, la répartition spatiale des amplitudes de variation maximale du niveau piézométrique a été reproduite sur carte. Les résultats sont présentés dans la figure 7 pour les piézomètres courts (niveau latéritique) et dans la figure 8 pour les piézomètres longs (niveau saprolitique et péridotitique).

Tout d'abord, on note d'importantes variations concentrées dans plusieurs secteurs distincts. On constate que les variations les plus fortes sont observées dans les secteurs proches des crêtes et plus généralement en amont des plaines. À l'inverse, les zones où les amplitudes de variation sont les plus faibles correspondent le plus souvent aux parties aval des grands bassins. Ce constat est valable pour les niveaux latéritique et saprolitique/péridotitique.

Une forte variation annuelle apparaît également dans le secteur des piézomètres TBH installés dans la roche-mère affleurante au sud du secteur FM25. Les niveaux piézométriques ont varié par endroits de plus de 30 m au cours de la période d'observation (00THB031, 00THB038, 00THB054, 00THB072, 00THB098 et 00THB108).

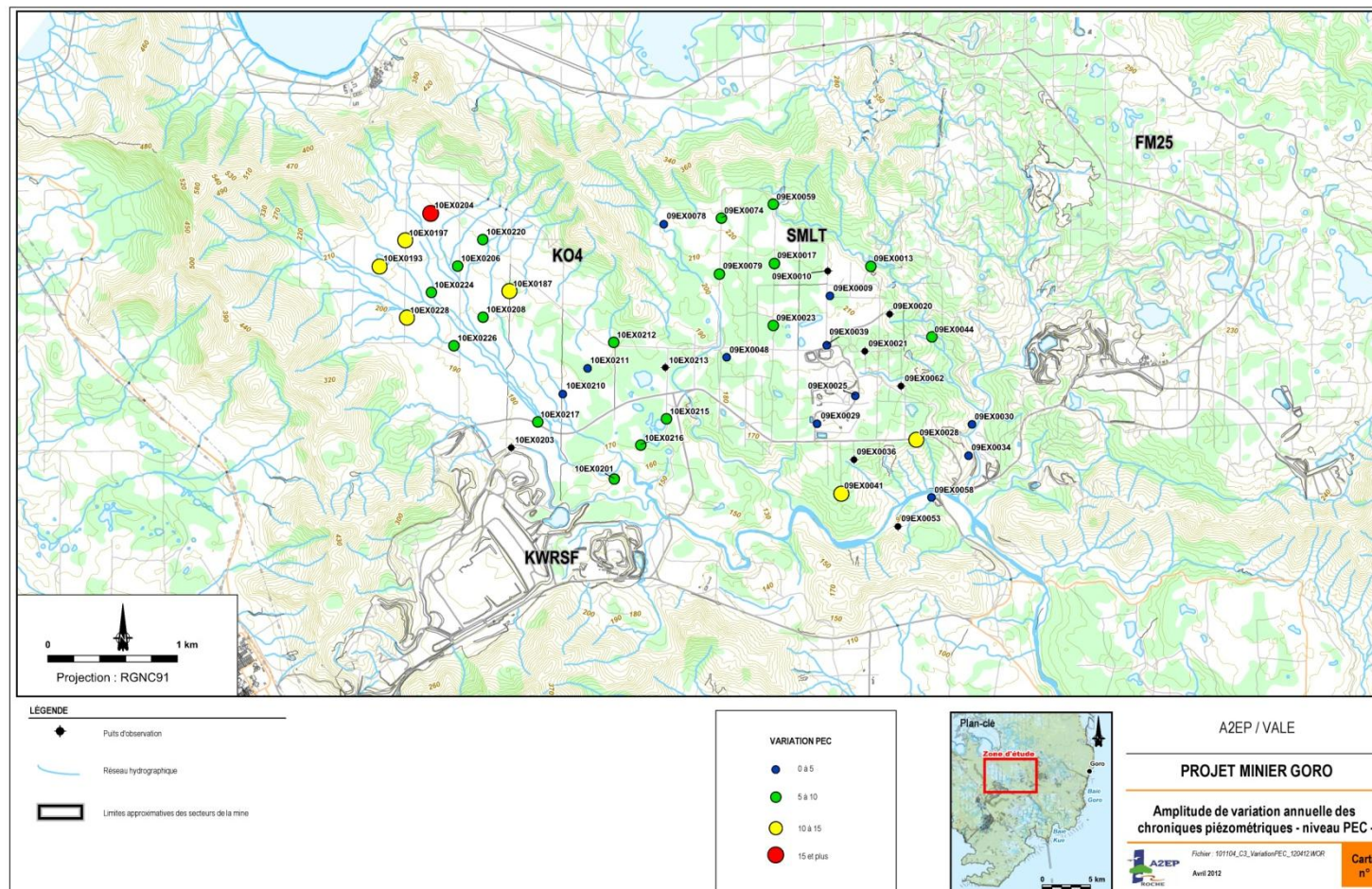


Figure 6 : Répartition spatiale des amplitudes de variation maximales du niveau piézométrique observé dans les latérites (PEC)

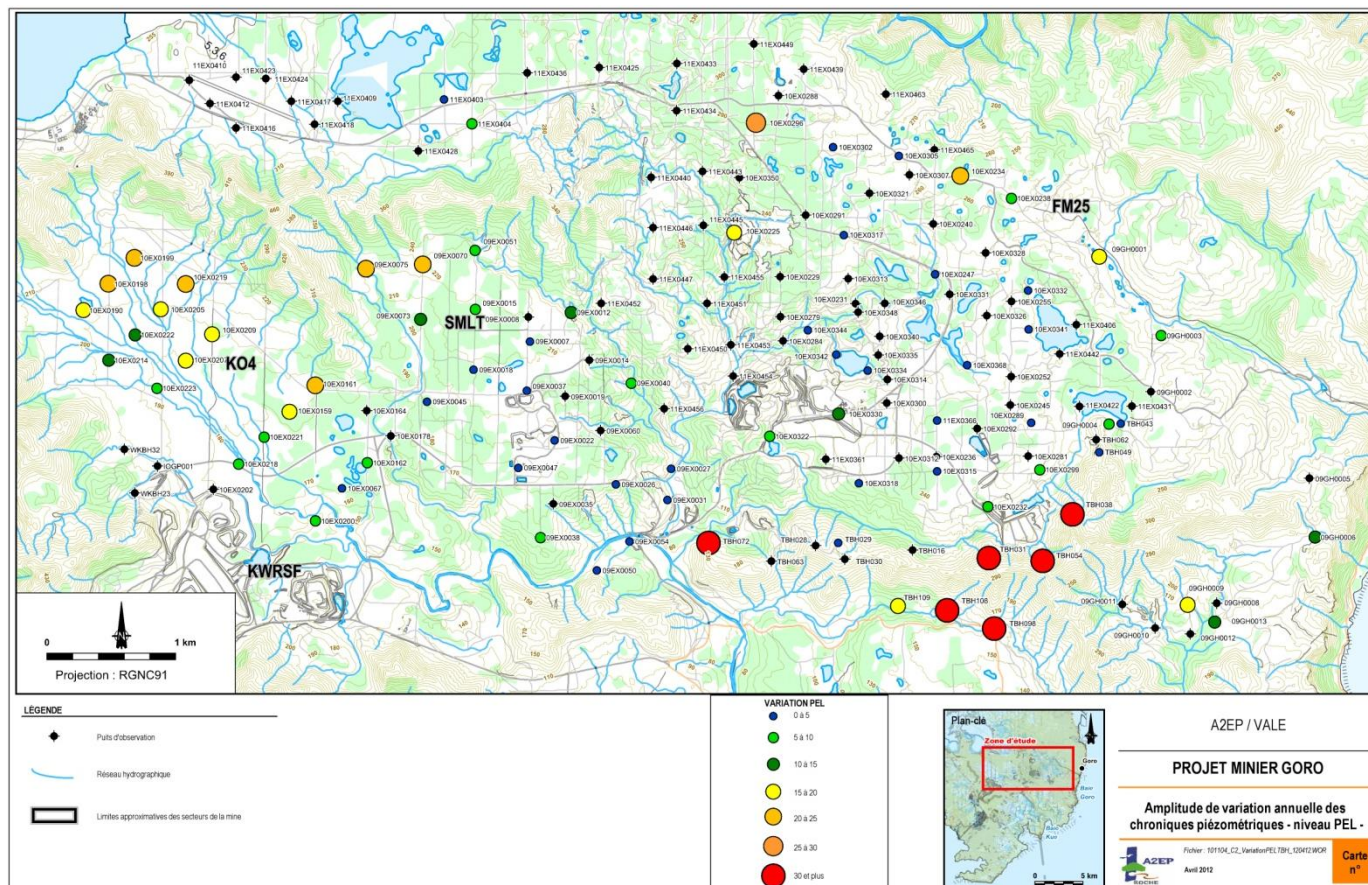
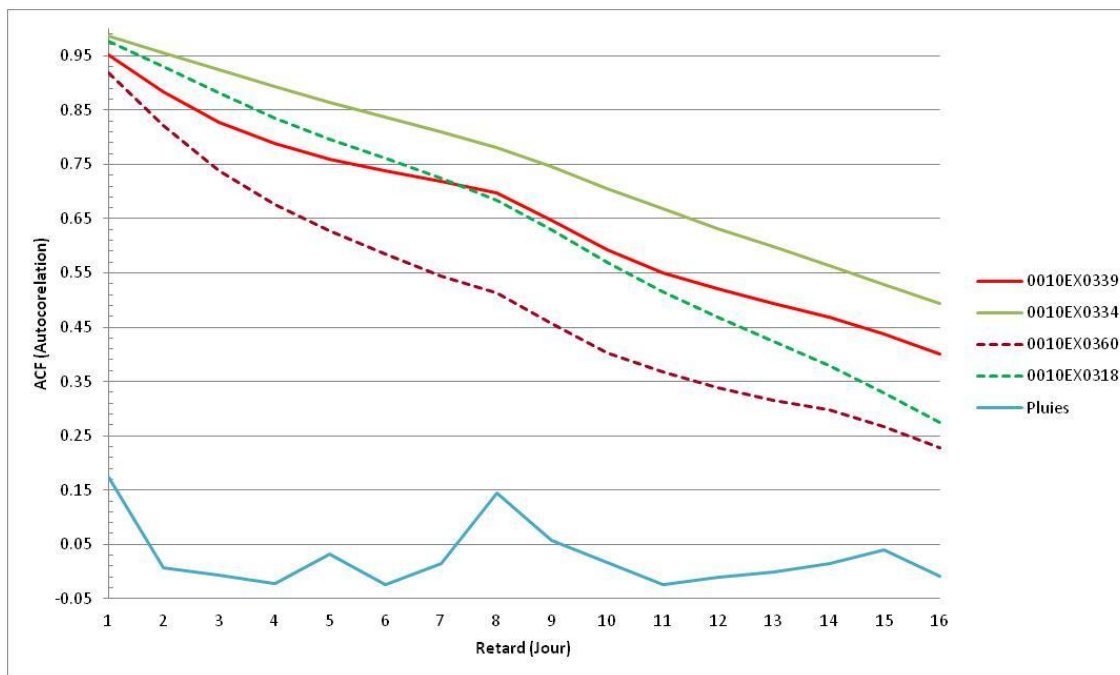


Figure 7 : Répartition spatiale des amplitudes de variation maximales du niveau piézométrique observé dans le saprolite et la péridotite fracturée (PEL)

2.3.3 STATISTIQUE : AUTOCORRELATION SUR LES NIVEAUX PIEZOMETRIQUES

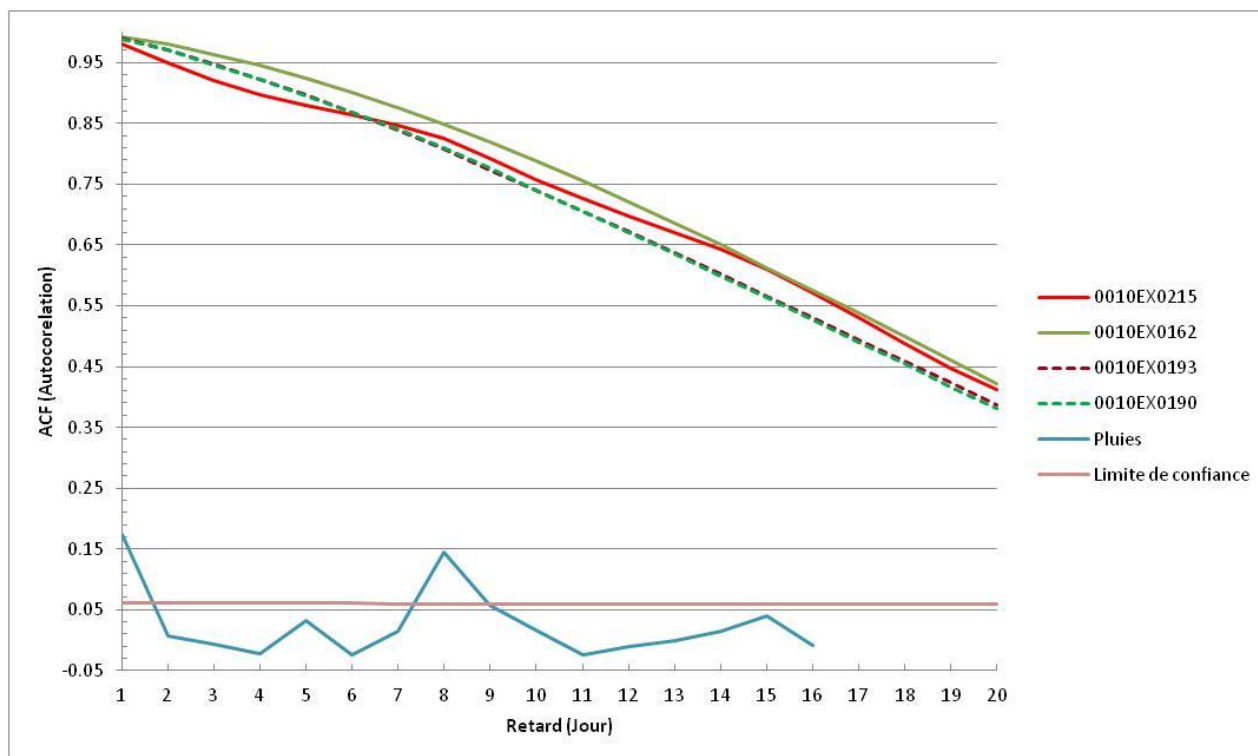
Une analyse statistique de la variation temporelle des niveaux piézométriques a été réalisée sur les chroniques. La fonction d'autocorrélation (ACF) a été estimée sur les chroniques piézométriques les plus représentatives. Les résultats sont présentés sur les figures 9 et 10.

La fonction d'autocorrélation permet d'évaluer le degré de corrélation d'une série de données par elle-même en fonction d'un décalage dans le temps. Elle permet d'identifier les phénomènes périodiques dans une longue série de données. Ces derniers pourront être mieux examinés lorsque les chroniques piézométriques seront plus longues. Néanmoins, la fonction d'autocorrélation peut également permettre de caractériser la «vitesse» de variation des niveaux piézométriques suite à un phénomène naturel. Il s'agit donc d'un outil supplémentaire pour comparer les réponses entre les piézomètres.



Note : Piézomètre PEC en rouge et PEL en vert

Figure 8 : Autocorrélation au pas de temps journalier pour quatre piézomètres et le signal des précipitations dans le secteur FM25



Note : Piézomètre PEC en rouge et PEL en vert

Figure 9 : Autocorrélation au pas de temps horaire pour quelques piézomètres représentatifs des fluctuations du niveau piézométrique rencontré dans le secteur KO4

Tel qu'anticipé, l'autocorrélation des pluies (figure 9) décroît très rapidement et ne présente qu'un bruit de fond. Ce résultat confirme que la pluie est un phénomène quasi-aléatoire.

Les autocorrélogrammes simples des chroniques piézométriques étudiées présentent quant à elles des pentes similaires selon le niveau géologique (figures 9 et 10). Ainsi, les piézomètres aménagés dans les latérites (PEC) et la saprolites (PEL) présenteraient des variations du niveau piézométrique de même ordre. Notons que des différences dans les pentes ont été quand même observées pour les différents secteurs (pentes plus fortes pour FM35 que pour KO4), ce qui pourrait profiter d'une analyse supplémentaire.

 VALE NC	Synthèse des observations piézométriques	Révision : 00 Avril 2012
	Secteur de Goro	Page : 22 / 81

2.4 PARAMETRES INFLUENÇANT LES VARIATIONS DU NIVEAU PIEZOMETRIQUE

Ces premières observations ont permis de réaliser des regroupements et d'identifier des tendances dans les chroniques piézométriques. Une analyse plus détaillée a été effectuée en fonction de certains paramètres susceptibles d'influencer les variations du niveau piézométrique.

2.4.1 LITHOLOGIE

L'analyse des chroniques piézométriques a permis de distinguer des variations plus importantes en fonction de la profondeur des cellules piézométriques (figures 4 à 6). En effet, plusieurs des piézomètres aménagés dans la latérite (PEC) ont démontré des variations annuelles typiquement moins importantes que les variations observées dans la saprolite (PEL). Les moyennes statistiques vont dans le même sens d'interprétation (voir tableau 1).

Ces résultats confirment qu'une interprétation du comportement des systèmes hydrogéologiques sur la base des lithologies et des horizons géologiques concernés est appropriée. Néanmoins, les fortes différences d'écarts observées dans les certaines zones d'étude suggèrent que d'autres paramètres d'importance influencent le comportement hydrodynamique des systèmes.

2.4.2 SITUATION PAR RAPPORT A LA TOPOGRAPHIE

Comme indiqué précédemment, les piézomètres situés dans les secteurs proches des crêtes ont, généralement, des plages de variations plus importantes que les piézomètres situés plus en aval. Cette observation est facilement vérifiable sur les figures 7 et 8 où l'amplitude des variations annuelles est mise en relation avec la topographie de la zone d'étude.

Une classification des piézomètres en fonction de leur distance aux crêtes topographiques (en suivant le réseau hydrographique) a été réalisée, afin de quantifier ce constat.

L'analyse des séries de données est en cours et sera présenté dans un rapport complémentaire.

2.4.3 PRECIPITATIONS

Les sens de variations piézométriques sont bien sûr directement liés à la pluviométrie, avec alternance de période de recharge et de vidange quasi synchrones sur l'ensemble des chroniques, en lien avec les apports pluviométriques.

L'alternance de ces périodes se distingue très facilement dans les graphiques des chroniques piézométriques présentés plus haut (figures 4 et suivantes). Les tendances associées à la succession des recharges et vidanges sont encore plus marquées dans les piézomètres situés à proximité des crêtes.

Des plus petites fluctuations de court terme sont également observées sur les graphiques. Elles correspondent à des épisodes pluvieux courts et d'intensité élevée.

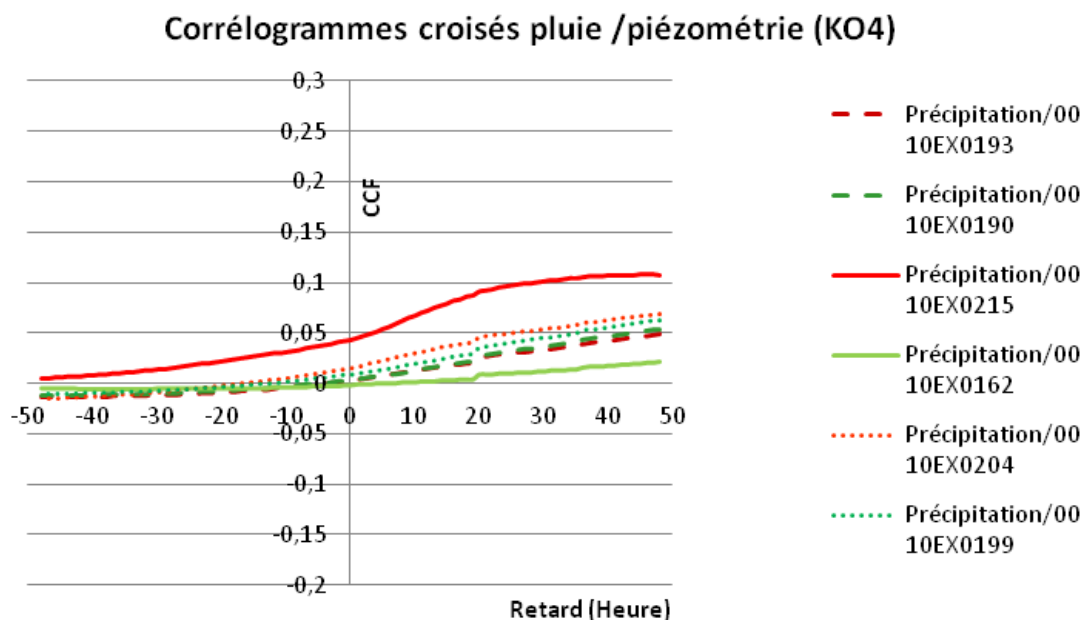
	Synthèse des observations piézométriques	Révision : 00 Avril 2012
	Secteur de Goro	Page : 23 / 81

2.4.4 CORRELOGRAMME PLUVIOMETRIE / PIEZOMETRIE

Une analyse par corrélation croisée a été réalisée à l'aide des données les plus complètes disponibles afin de quantifier la relation entre précipitation et niveaux piézométriques. Compte tenu de la longueur actuelle des séries de données, l'intérêt de l'analyse a porté principalement sur la réponse à court terme (pas de temps horaires) des niveaux piézométriques aux épisodes distincts de précipitations. Une analyse de la réponse à plus long terme avec des chroniques plus longues est en cours et sera présenté dans un rapport séparé.

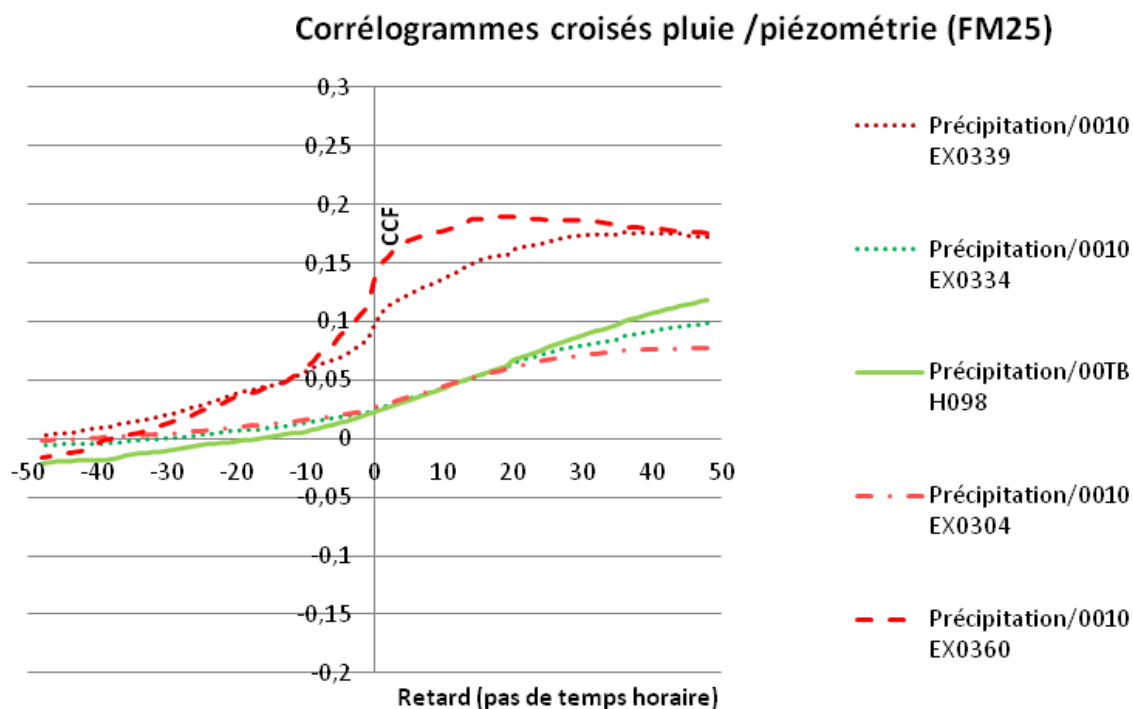
L'analyse par corrélation croisée consiste à estimer le niveau de corrélation de deux séries de données entre elles en fonction de différents décalages dans le temps. Dans le cas présent, l'objectif est de faire apparaître le décalage temporel caractéristique entre les signaux pluviométriques et piézométriques. Ainsi, l'intervalle de temps caractérisé par la corrélation maximale mesurée entre les deux processus donne une appréciation du temps de réponse dans le système hydrogéologique. Une réponse instantanée du niveau piézométrique suite aux épisodes de précipitations donnerait une corrélation maximale pour un pas de temps égal à 0.

Les figures 11 et 12 présentent quelques exemples représentatifs des réponses du niveau piézométriques suite aux épisodes de précipitations pour les secteurs KO4 et SM25.



Pas de temps horaire : Corrélaiton croisée entre les données de la précipitation en fonction de la réponse des piézomètres types dans le secteur KO4 (PEC en rouge et PEL en vert, même style indique le couple PEL/PEC au même endroit)

Figure 10 : Corrélaiton croisée des précipitations avec des niveaux piézomètres représentatifs dans le secteur KO4



Pas de temps horaire : Corrélation croisée entre les données de la précipitation en fonction de la réponse des piézomètres types dans le secteur FM25 (PEC en rouge et PEL en vert, même style indique le couple PEL/PEC au même endroit)

Figure 11 : Corrélation croisée des précipitations avec des niveaux piézomètres représentatifs dans le secteur FM25

La fonction de corrélation croisée entre les données de précipitation et les niveaux piézométriques montre une corrélation positive significative entre les deux paramètres se produisant typiquement à avec un décalage minimal de 10 heures et pouvant aller au-delà de 50 heures. Cette corrélation avec un certain décalage entre les épisodes de précipitations et les réponses piézométriques était attendue. La corrélation semble plus significative dans les piézomètres aménagés dans la latérite (PEC) que dans ceux aménagés dans la saprolite (PEL).

 VALE NC	Synthèse des observations piézométriques	<i>Révision : 00</i> <i>Avril 2012</i>
	Secteur de Goro	Page : 25 / 81

2.4.5 DISCUSSION

L'analyse des chroniques a permis d'identifier les principales caractéristiques des variations naturelles des niveaux piézométriques dans les différents secteurs du site. Les différents outils statistiques utilisés ont permis de quantifier les variations et réponses des niveaux piézométriques par rapport aux épisodes de précipitations. Les interprétations qualitatives et les différentes statistiques appliquées ont indiqué des tendances et permis de regrouper les réponses piézométriques en fonction de certains paramètres particuliers au site.

Parmi les paramètres physiques examinés dans le cadre de cette étude, il semble que la topographie et la géologie sont ceux qui expliquent le plus les réponses des chroniques piézométriques. L'analyse des chroniques piézométriques demande à être complétée en considérant pour l'échelle du site les autres aspects du système hydrogéologique (lacs, rivières, zones karstiques, directions d'écoulement).

	Synthèse des observations piézométriques	Révision : 00
	Secteur de Goro	Avril 2012 Page : 26 / 81

3 RELATIONS NAPPE RIVIERE

3.1 OBJECTIF

Pour améliorer la compréhension du fonctionnement hydrogéologique des nappes superficielles, l'étude des relations entre la nappe et le réseau hydrographique est intéressante car ces deux systèmes (nappe et rivière) sont intimement liés. L'objectif de cette partie du rapport est d'établir les zones d'échange ou d'absence d'échange entre la nappe et la rivière afin d'améliorer la compréhension du fonctionnement hydrogéologique des nappes superficielles du site de Goro.

3.2 MATERIELS ET METHODES

Des campagnes de jaugeages différentiels ont été réalisées sur la Kwé Ouest, la Kwé Nord, la kwé Bini, le Creek de la mine des japonais, la Wajana, la Truu et le cours d'eau qui draine une partie du secteur de Kadji. Par l'intermédiaire de ces jaugeages différentiels, nous cherchons à déterminer les interactions entre la nappe et la rivière.

Les jaugeages différentiels consistent à effectuer plusieurs mesures de débit à différents endroits le long d'un cours d'eau. À partir d'une mesure de débit réalisée en amont et en aval d'un tronçon, on peut déterminer si celui-ci draine ou alimente la nappe.

Le choix des stations est issu des observations de terrain sur les facteurs pouvant expliquer les éventuelles hétérogénéités du débit (par exemple : des affluents ou des sources situées dans le cours d'eau ou sur les berges). Il est également contraint par des questions d'accessibilité des sites, et d'adaptation de chaque site aux méthodes de mesures de débit.

Plusieurs méthodes ont été mises en œuvre pour obtenir une estimation du débit.

La méthode "volumétrique" permet de déterminer le débit directement à partir du temps nécessaire pour remplir d'eau un récipient d'une contenance déterminée. Compte tenu des aspects pratiques inhérents à la méthode (taille du récipient nécessaire, incertitude sur la mesure du temps, aménagement spécifique éventuel), elle n'a été employée que pour des débits très faibles en période d'étiage quand le débit ne dépassait pas quelques litres par seconde.

La méthode la plus couramment employée a consisté à explorer le champ de vitesse d'une section du cours d'eau avec un régime fluvial. La méthode consiste à déterminer la vitesse de l'écoulement en différents points de la section, tout en mesurant la surface de la section mouillée. Cette technique nécessitent un matériel spécifique (moulinet, perche, saumon, courantomètre...).

Une méthode hydraulique a été utilisée pour évaluer le débit s'écoulant d'une buse. Cette méthode obéit aux lois de l'hydraulique et elle n'a été employée que dans le cas où toutes les conditions d'écoulement étaient réunies.

La méthode chimique a été mise en œuvre quand le régime d'écoulement ne permettait pas de réaliser un jaugeage par exploration du champ de vitesse. Cette méthode consiste à injecter dans le cours d'eau une solution à base de sel avec une concentration connue, et à suivre l'évolution de sa concentration au cours du temps (pour cela nous avons utilisé la conductivité).

 VALE NC	Synthèse des observations piézométriques	Révision : 00 Avril 2012
	Secteur de Goro	Page : 27 / 81

Chaque point de mesure a été répertorié et géoréférencé, afin de réaliser d'autres campagnes de jaugeages. Il convient à terme de savoir si le comportement hydrodynamique des tronçons de cours d'eau est le même quelle que soit la situation hydrologique.

Les premières campagnes de jaugeages différentiels portant sur l'ensemble des cours d'eau de la zone étudiée se sont déroulées durant le mois de septembre 2011 correspondant à la période de basses eaux. La seconde campagne a été réalisée début novembre en période de moyennes eaux et début décembre en période de hautes eaux.

3.3 RESULTATS

L'ensemble des cours d'eau qui traversent la zone étudiée constitue la capacité de drainage de la nappe en surface. Néanmoins cette capacité de drainage ne fonctionne pas en permanence suivant la période de l'année et les tronçons de cours d'eau considérés.

Les campagnes se sont déroulées lorsque le débit du cours d'eau n'était pas affecté directement par la pluviométrie. Cette manière de procéder permet d'éviter les situations transitoires consécutives aux événements pluvieux. Les jaugeages ont été réalisés dans un intervalle maximal de deux jours.

Le rendement des différents stations de jaugeage a été calculé par rapport au débit estimé au niveau de la station située la plus en aval du cours d'eau. En comparant les estimations du débit au niveau des différentes stations nous avons défini les caractéristiques des tronçons. Un tronçon qui présente un débit identique de l'amont à l'aval a été qualifié de **neutre**. Les tronçons présentant un débit plus important en aval qu'en amont bénéficient d'un **apport** d'eau provenant de la nappe et on peut les qualifier de drainants. Le dernier cas de figure concerne les tronçons pour lesquels le débit aval est plus faible que le débit amont et ce sont des **pertes** d'eau depuis la rivière vers la nappe qui expliquent ce comportement.

Deux cartes synthétiques permettent visualiser l'ensemble des résultats des campagnes de jaugeages différentiels pour la période de basses eaux (figure 35) et pour la période de moyennes eaux (figure 36).

Les parties qui suivent présentes le détail des résultats par cours d'eau.

3.3.1 CREEK DE LA CRETE SUD

Le creek de la crête sud draine, comme son nom l'indique le versant sud de la crête sud en rive gauche de la Kwé.

Les débits ont été mesurés sur 1,9 km de cours d'eau au niveau de 5 stations. Les relevés ont permis de caractériser 4 tronçons durant la période de basses eaux et moyennes eaux.

3.3.1.1 PERIODE DE BASSES EAUX

La quasi-totalité de ce cours d'eau draine les nappes superficielles de versants et la nappe superficielle qui se forme au niveau du plateau de la rive gauche de la rivière. Un seul tronçon, le plus en amont, a été défini comme neutre car l'écart de débit entre amont et aval était nul (**Figure 35**). Un résumé des distances de chaque type de tronçon est présenté dans le tableau qui suit.

Tableau 2 : Caractéristiques des tronçons durant la période de basses eaux pour le Creek de la crête sud

	Nombre de tronçons	Longueur (m)				
			totale	moyenne	minimum	maximum
Drainant	3	(94%)	1761	587	292	1129
Infiltrant	0	(0%)	0	0	0	0
Neutre	1	(6%)	113	113	113	113
Total	4		1873	468	113	1129

Le profil d'évolution de l'altitude du Creek de la crête sud en fonction de la distance par rapport à l'amont du cours d'eau est présenté dans la figure 12.

Basses eaux

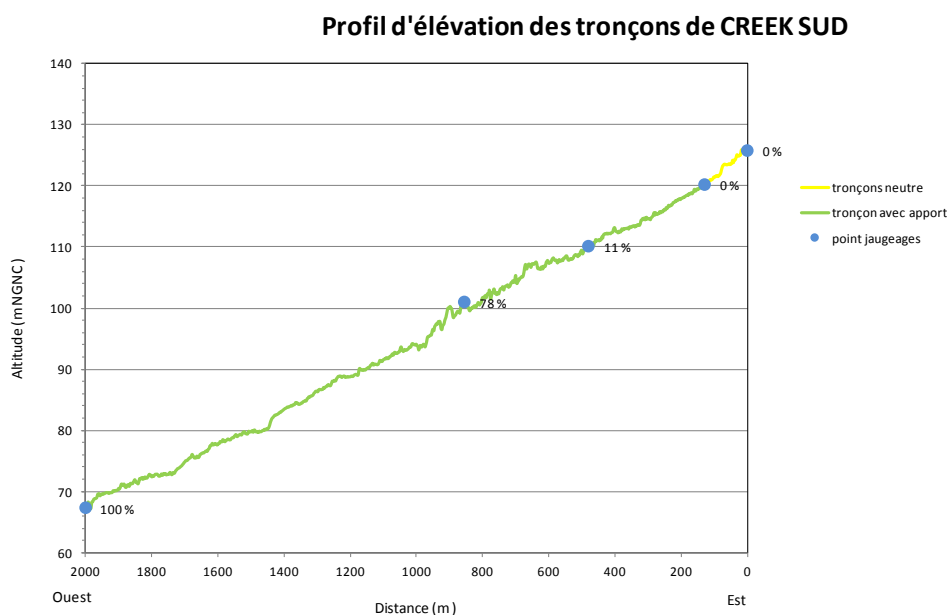


Figure 12 : Profil de la rivière du Creek de la crête sud avec les caractéristiques des tronçons et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de basses eaux

3.3.1.2 PERIODE DE MOYENNES EAUX

Bien qu'il y ait eu une remontée du niveau de la nappe et une augmentation de la charge dans le cours d'eau, les caractéristiques du cours d'eau n'ont pas changé. Même en période de moyennes eaux, la relation entre la nappe et la rivière reste identique à celle qui a été constatée en période de basses eaux. La rivière de la crête sud draine la nappe sur l'ensemble de son parcours (tableau 3)

Tableau 3: Caractéristiques des tronçons durant la période de moyennes eaux pour le Creek de la crête sud

		Longueur (m)				
		Nombre de tronçons	totale	moyenne	minimum	maximum
Drainant	3	(94%)	1767	589	292	1135
Infiltrant	0	(0%)	0	0	0	0
Neutre	1	(6%)	112	112	112	112
Total	4		1879	470	112	1135

Moyennes eaux

Profil d'élévation des tronçons de CREEK SUD

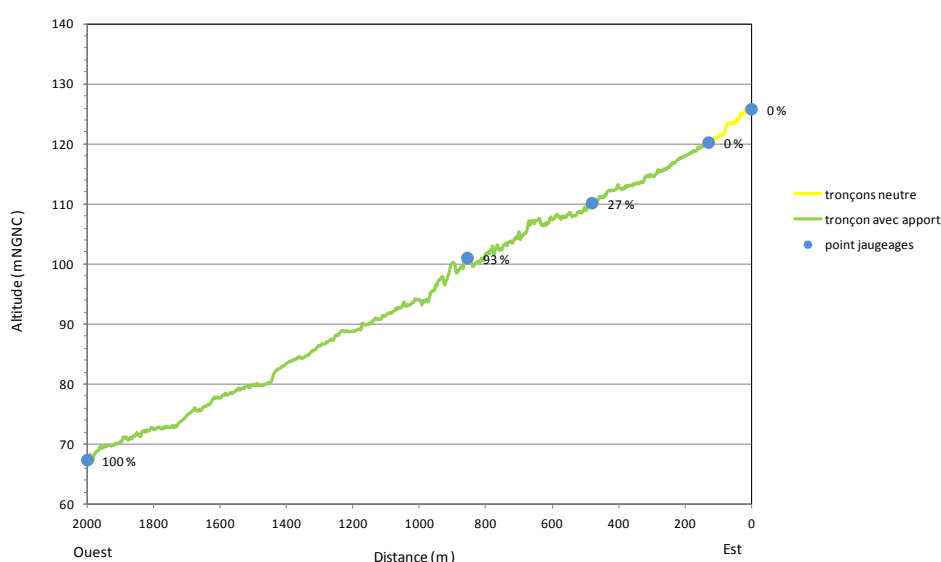


Figure 13 : Profil de la rivière du Creek Sud avec les caractéristiques des tronçons et les points de jaugeage en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de moyennes eaux

3.3.2 RIVIERE WADJANA

La rivière Wadajana draine l'extrémité Est du plateau du secteur fosse minière à 25 ans (FM25).

3.3.2.1 PERIODE DE BASSES EAUX

La rivière Wadjana a fait l'objet de 6 mesures de débit réparties sur un cours de 2,4 km. La comparaison des estimations de débit entre l'amont et l'aval des tronçons permet de montrer qu'un peu moins de la moitié de cette rivière draine la nappe. Sur une distance de 735 m en amont, la rivière est neutre vis-à-vis de l'écoulement de nappe (tableau 4).

Sur la partie aval, les prélèvements présents sur la rivière (barrage et prise d'eau pour alimentation en eau potable) apparaissent comme une « perte » mais, en absence d'information directe sur les volumes prélevés, rien ne peut être dit sur le plan des relations nappe-rivière, le déficit pouvant être intégralement expliqué par le prélèvement réalisé.

Tableau 4 : Caractéristiques des tronçons durant la période de basses eaux pour rivière Wadjana

	Nombre de tronçons		Longueur (m)			
			totale	moyenne	minimum	maximum
Drainant	3	(46%)	1126	375	117	600
Neutre	1	(30%)	735	735	735	735
Déficit*	1	(24%)	593	593	593	593
Total	5		2454	491	117	735

(*)Tronçon « avec perte » (réduction du débit entre amont et aval), en partie imputable à la prise d'eau

Basses eaux

Profil d'élévation des tronçons de la WAJANA

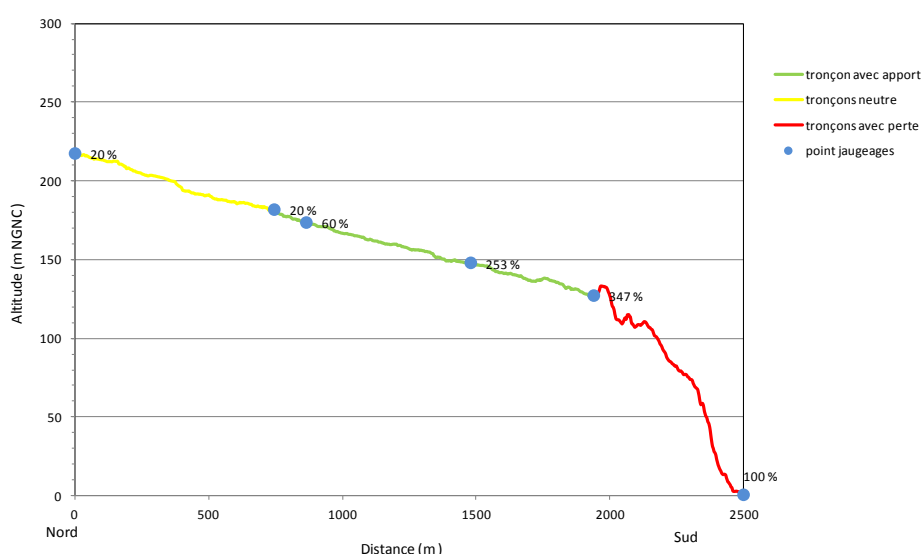


Figure 14 : Profil de la rivière Wadjana avec les caractéristiques des tronçons, et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de basses eaux

3.3.2.2 PERIODE DE MOYENNES EAUX

Le comportement infiltrant de la rivière au niveau de sa partie aval persiste durant la période de moyennes eaux. En amont, le tronçon qui était neutre pendant la période de basses eaux draine désormais la nappe. Pendant la période de moyennes eaux près de 80% de la portion de la rivière Wadjana étudiée drainent la nappe (tableau 5 et figure 36)

Tableau 5 : Caractéristiques des tronçons durant la période de moyennes eaux pour rivière Wadjana

	Nombre de tronçons	Longueur (m)				
			totale	moyenne	minimum	maximum
Drainant	5	(76%)	1853	371	27	733
Neutre	0	(0%)	0	0	0	0
Déficit*	1	(24%)	591	591	591	591
Total	6		2444	407	27	733

(*)Tronçon « avec perte » (réduction du débit entre amont et aval), en partie imputable à la prise d'eau

Moyennes eaux

Profil d'élévation des tronçons de la WAJANA

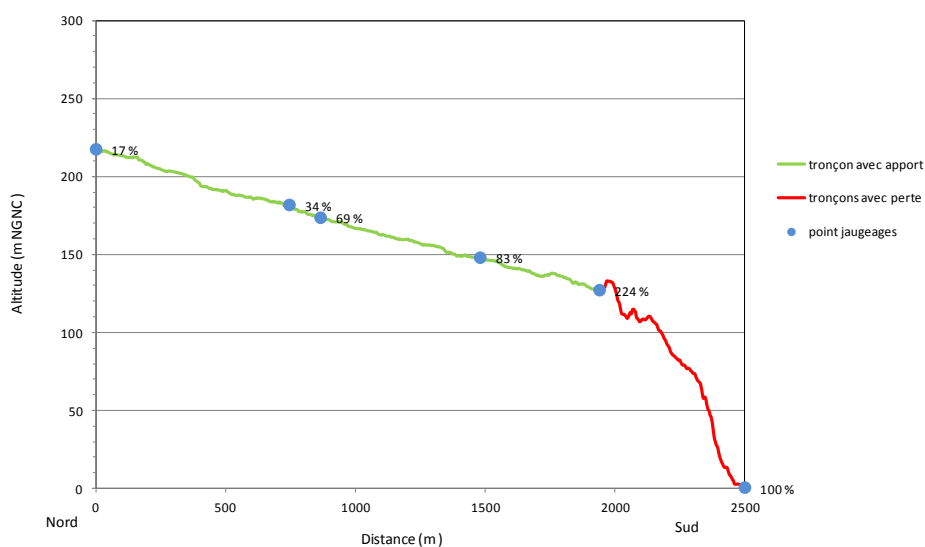


Figure 15 : Profil de la rivière Wadjana avec les caractéristiques des tronçons, et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de moyennes eaux

	Synthèse des observations piézométriques	Révision : 00
	Secteur de Goro	Avril 2012 Page : 32 / 81

3.3.3 RIVIERE KADJI

La rivière de Kadji draine un secteur qui porte de même nom. La portion de cette rivière qui a fait l'objet d'une campagne de jaugeages différentiels est constitué par les deux bras principaux de la rivière. Les deux bras ont été étudiés depuis le point de confluence de chacun des bras jusqu'à une distance de 1,5 km vers l'amont.

3.3.3.1 PERIODE DE BASSES EAUX

La rivière Kadji a fait l'objet d'une seule campagne pendant la période de basses eaux. Cette campagne révèle que 60% des tronçons caractérisés ont un comportement drainant vis-à-vis de la nappe. Le tronçon infiltrant le plus important se trouve en amont de la branche Nord et celui qui est moins important se trouve à mi-parcours de la branche Est. La majorité de la branche Est est neutre vis-à-vis de la nappe et on n'y observe qu'une partie drainante juste en amont du tronçon infiltrant. La branche Nord, quant à elle présentant un comportement très principalement drainant.

Tableau 6 : Caractéristiques des tronçons durant la période de basses eaux pour la rivière de Kadji

	Nombre de tronçons		Longueur (m)			
			totale	moyenne	minimum	maximum
Drainant	6	(60%)	2200	367	15	1361
Infiltrant	2	(14%)	522	261	115	408
Neutre	3	(25%)	922	307	282	333
Total	11		3643	331	15	1361

Les profils des différentes branches de la rivière qui draine le secteur de Kadji sont présentés dans les figures 16 et 17.

Basses eaux

Profil d'élévation des tronçons de la KADJI branche Nord

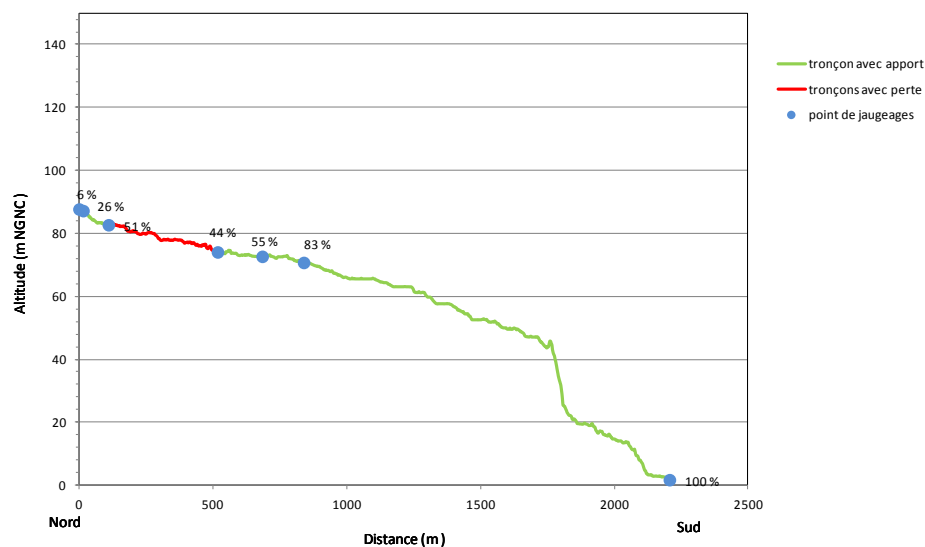


Figure 16 : Profil de la rivière de la branche Nord qui draine le secteur de Kadji avec les caractéristiques des tronçons, et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de basses eaux

Basses eaux

Profil d'élévation des tronçons de la KADJI branche Est

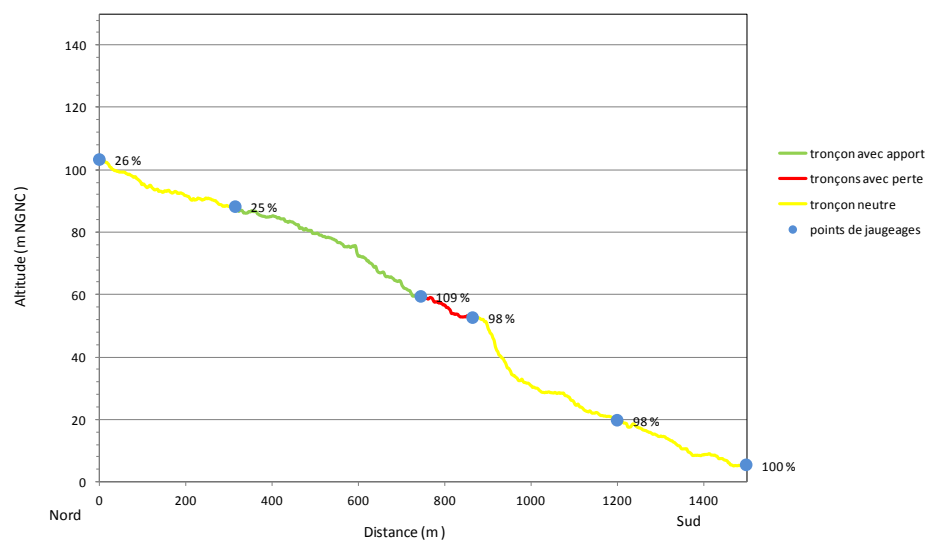


Figure 17 : Profil de la rivière de la branche Est qui draine le secteur de Kadji avec les caractéristiques des tronçons, et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de basses eaux

3.3.4 RIVIERE KWE BINI.

La Kwé Bini est une des rivières les plus importantes du secteur. Elle draine vers le nord le plateau du secteur FM25 et s'enfonce dans une vallée très encaissée. Sur l'ensemble de la portion du cours principal de cette rivière, 12 stations de mesure du débit ont été utilisées pour réaliser deux campagnes de jaugeages différentiels. Ces opérations ont permis de caractériser les différents tronçons qui forment les 7,8 km de la portion de rivière étudiée.

3.3.4.1 PERIODE DE BASSES EAUX

L'analyse des valeurs de débit indique que sur la moitié amont de la portion de rivière étudiée les tronçons sont principalement drainants avec quelques passages où ils deviennent infiltrants. La deuxième moitié de la portion est présente des tronçons principalement infiltrants, mais il y a néanmoins un tronçon neutre non-négligeable et que se trouve dans un méandre peu de temps après avoir dépassé la première moitié de la portion étudiée (tableau 7 et figure 35)

Tableau 7 : Caractéristiques des tronçons durant la période de basses eaux pour la Kwé Bini

	Nombre de tronçons		Longueur (m)			
			totale	moyenne	minimum	maximum
Drainant	6	(41%)	3205	534	109	1078
Infiltrant	4	(47%)	3713	928	206	2592
Neutre	1	(12%)	921	921	921	921
Total	11		7839	713	109	2592

Basses eaux

Profil d'élévation des tronçons de la KWE BINI

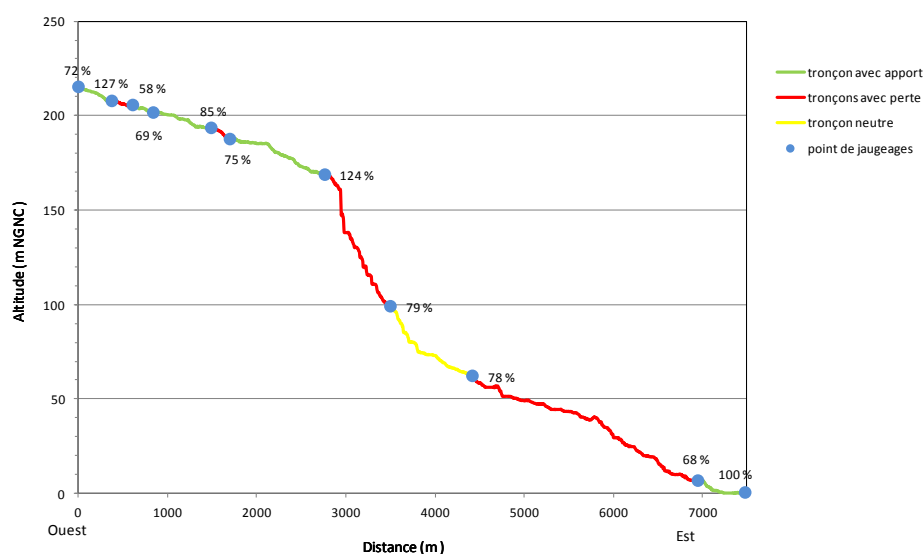


Figure 18 : Profil de la rivière du cours principal de la Kwé Bini avec les caractéristiques des tronçons, et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de basses eaux

3.3.4.2 PERIODE DE MOYENNES EAUX

Mise à part la partie amont de la portion étudiée, la plus part des tronçons n'interagissent plus avec la nappe durant la période de moyennes eaux. Plus de $\frac{3}{4}$ de la portion de rivière étudiée présente des tronçons de rivière qui sont neutres vis-à-vis du fonctionnement hydrogéologique de la nappe. La plus forte contribution de la nappe à l'écoulement de la rivière est alors observée le long du tronçon situé le plus en aval.

Tableau 8 : Caractéristiques des tronçons durant la période de moyennes eaux pour la Kwé Bini

	Nombre de tronçons		Longueur (m)			
			totale	moyenne	minimum	maximum
Drainant	5	(27%)	2105	421	94	649
Infiltrant	1	(3%)	246	246	246	246
Neutre	5	(70%)	5438	1088	784	1818
Total	11		7789	708	94	1818

Moyennes eaux

Profil d'élévation des tronçons de la KWE BINI

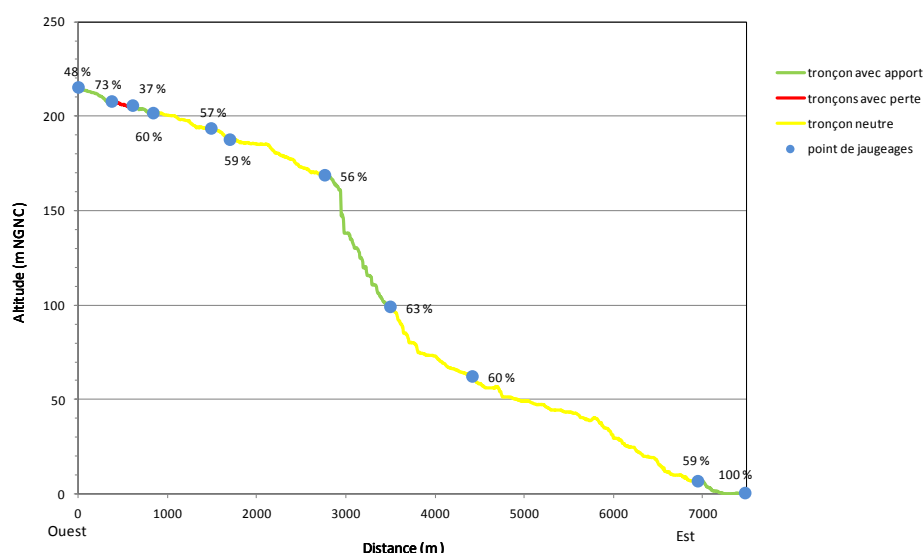


Figure 19 : Profil de la rivière du cours principal de la Kwé Bini avec les caractéristiques des tronçons, et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de basses eaux

3.3.5 RIVIERE KWE EST

La rivière de la Kwé Est est un affluent de la Kwé et draine la partie méridionale du plateau du secteur de la FM25. La portion étudiée mesure 2,6 km et comprenant 9 stations utilisées pour réaliser les campagnes de jaugeages différentiels.

3.3.5.1 PERIODE DE BASSES EAUX

Durant la période de basses eaux, la majorité des tronçons étaient neutres puisqu'aucun écoulement n'était visible en surface sur plus d'1 km vers l'amont. En aval il y a un tronçon qui est principalement infiltrant et un second et dernier qui présente un comportement drainant.

Tableau 9 : Caractéristiques des tronçons durant la période de basses eaux pour la Kwé Est

	Nombre de tronçons		Longueur (m)			
			totale	moyenne	minimum	maximum
Drainant	2	(11%)	275	137	59	215
Infiltrant	1	(29%)	749	749	749	749
Neutre	2	(61%)	1576	788	244	1332
Total	5		2600	520	59	1332

Basses eaux

Profil d'élévation des tronçons de la KWE EST

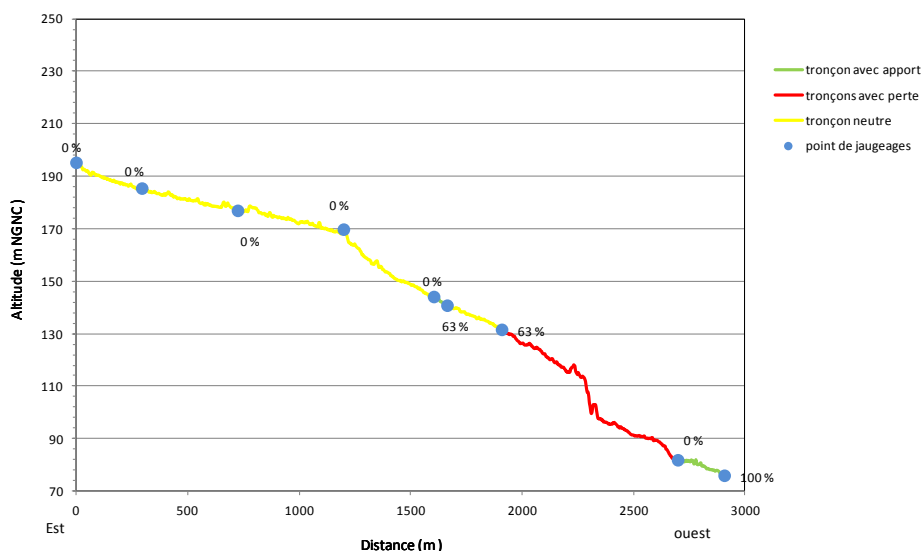


Figure 20 : Profil de la rivière du cours principal de la Kwé Est avec les caractéristiques des tronçons, et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de basses eaux

3.3.5.2 PERIODE DE MOYENNES EAUX

Pendant la période de moyennes eaux, la situation reste inchangée pour la partie aval de la portion étudiée. Par contre, pour la partie amont qui était asséchée et neutre vis-à-vis des interactions avec la nappe, la mise en eau du réseau hydrographique a montré que cette partie de la Kwé Est draine la nappe (figure 35 et 36). La tendance de cette portion de la Kwé Est indique que, globalement, la rivière draine la nappe.

Tableau 10 : Caractéristiques des tronçons durant la période de moyennes eaux pour la Kwé Est

	Nombre de tronçons		Longueur (m)			
			totale	moyenne	minimum	maximum
Drainant	5	(49%)	1264	253	59	404
Infiltrant	1	(29%)	760	760	760	760
Neutre	1	(22%)	565	565	565	565
Total	7		2589	370	59	760

Moyennes eaux

Profil d'élévation des tronçons de la KWE EST

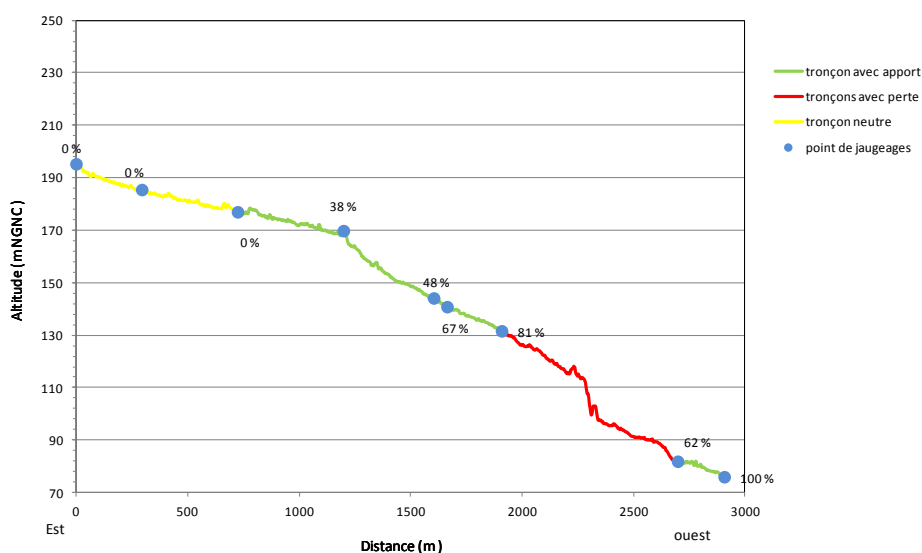


Figure 21 : Profil de la rivière du cours principal de la Kwé Est avec les caractéristiques des tronçons, et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de moyennes eaux

3.3.6 RIVIERE KWE NORD

La rivière qui est appelée ici la Kwé Nord, correspond à trois branches de la Kwé Nord. La Kwé Nord 3 (KN3) est une des branches de la Kwé Nord qui draine la partie centrale du secteur FM25. La Kwé Nord 2 (KN2) est une branche de la Kwé nord qui draine vers l'ouest la partie nord du secteur FM25. Sur la rivière de la Kwé Nord 19 stations ont été réparties sur les 5,3 km de cours d'eau constitué de la KN2 et KN3 : 3 stations sur le cours principal de la Kwé Nord, 11 stations sur

	Synthèse des observations piézométriques	Révision : 00 Avril 2012
	Secteur de Goro	Page : 38 / 81

la KN2 dont 7 sur la branche secondaire, 6 stations sur la KN3 et 3 stations après l'embranchement de KN2 et KN3.

3.3.6.1 PERIODE DE BASSES EAUX

La KN2 dispose d'un bras secondaire qui remonte vers la crête nord en partant de la rive droite de la KN2. Durant la période de basses eaux, l'ensemble des tronçons qui constituent le bras secondaire est asséché. Durant cette période, la totalité de la branche secondaire de la Kwé Nord est donc neutre vis-à-vis de la nappe. Le reste de la KN2 draine la nappe jusqu'à l'embranchement avec la KN3. La KN3 est infiltrante dans sa partie amont sur une distance d'environ 700 m puis elle devient drainante sur environ 900 m. A la fin de son parcours avant l'embranchement avec la KN2 pour former la Kwé Nord, elle redevient infiltrante et alimente la nappe. Après l'embranchement de KN2 et KN3, la Kwé Nord présente un tronçon de 900 m environ qui est neutre quant aux échanges avec la nappe. Sur le dernier kilomètre la Kwé Nord draine puis alimente la nappe.

Au final, on constate donc une alternance de tronçons infiltrant et drainant, faisant apparaître des interactions multiples et continues entre nappe et cours d'eau.

Tableau 11 : Caractéristiques des tronçons durant la période de basses eaux pour la Kwé Nord

	Nombre de tronçons		Longueur (m)			
			totale	moyenne	minimum	maximum
Drainant	5	(38%)	2019	404	148	816
Infiltrant	5	(27%)	1462	292	108	505
Neutre	3	(35%)	1857	619	110	1179
Total	13		5338	411	108	1179

Basses eaux

Profil d'élévation des tronçons du cours principal de la Kwe Nord

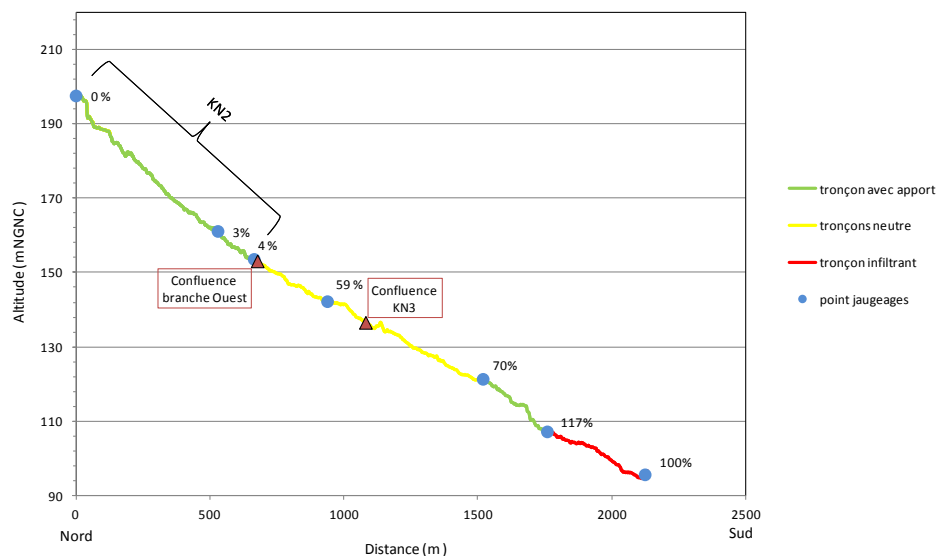


Figure 22 : Profil de la rivière de la branche principale de la Kwé Nord avec les caractéristiques des tronçons, les points de confluence avec la branche Ouest de la KN2 et la KN3 et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de basses eaux

Basses eaux

Profil d'élévation de la branche ouest de la KN2

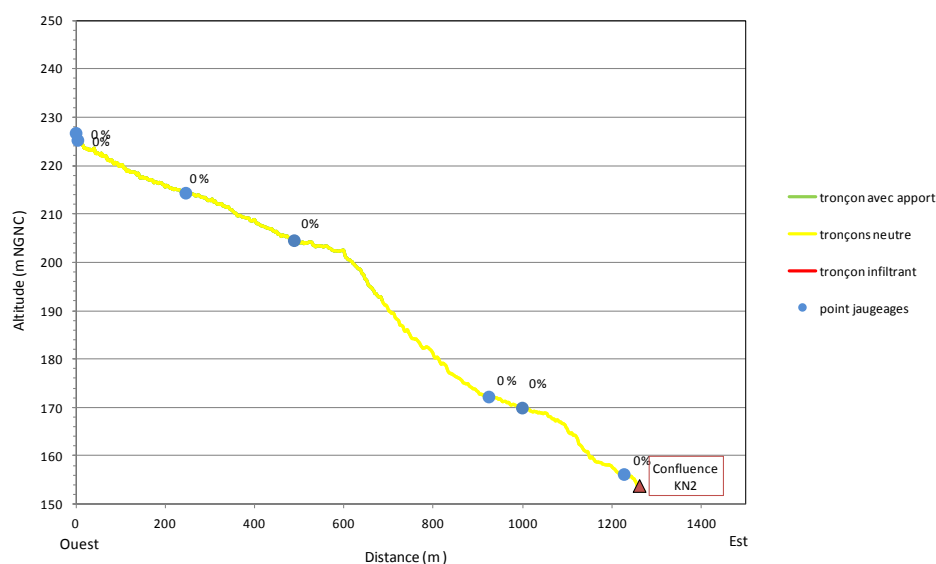


Figure 23 : Profil de la rivière de la branche ouest de la KN2 avec les caractéristiques des tronçons, le point de confluence avec le cours principal de la KN2 et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de basses eaux

Basses eaux

Profil d'élévation des tronçons sur la KN3

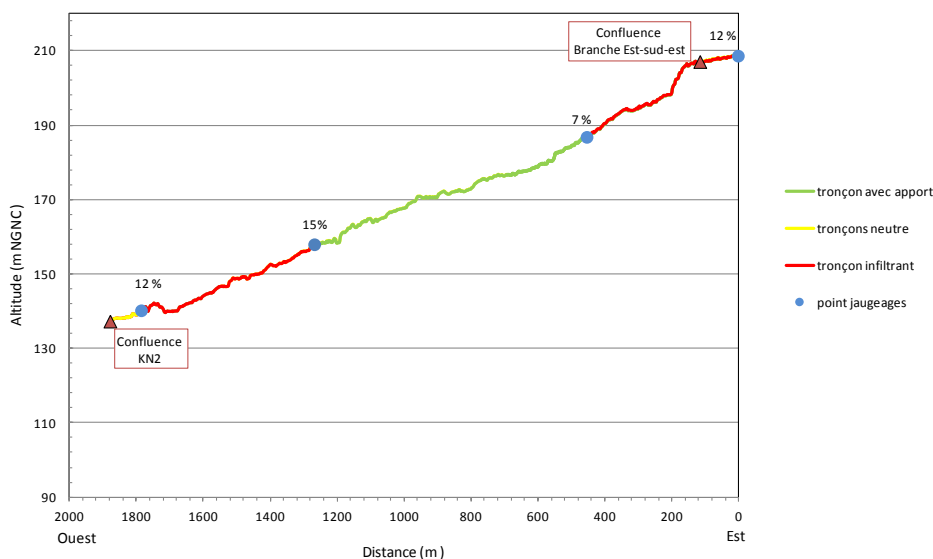


Figure 24 : Profil de la rivière KN3 avec les caractéristiques des tronçons, les points de confluence avec le cours principal de la KN2 et une branche Est-sud-est et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de basses eaux

Basses eaux

Profil d'élévation des tronçons de la branche Est-sud-est de la KN3

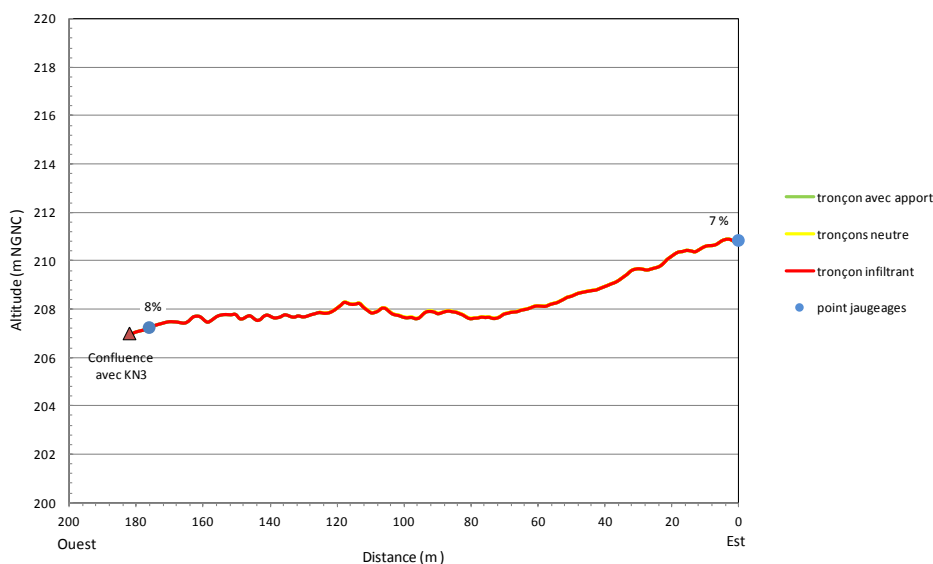


Figure 25 : Profil de la rivière de la branche est-sud-est de la KN3 avec les caractéristiques des tronçons, les points de confluence avec le cours principal de la KN3 et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de basses eaux

3.3.6.2 PERIODE DE MOYENNES EAUX

Pour la période de moyennes eaux on peut faire le même constat pour le bras secondaire de la KN2 et pour la KN2 elle-même. À l'inverse la KN3 diffère radicalement par rapport à son comportement durant la période de basses eaux. Les tronçons qui drainaient la nappe désormais l'alimentent et inversement. Seul le dernier tronçon à l'extrémité amont de la KN2 a conservé ses caractéristiques par rapport à la période de basses eaux. Sur la Kwé Nord, le tronçon qui se trouve après l'embranchement de la KN2 et KN3 est devenu infiltrant, mais le comportement des deux derniers tronçons vis-à-vis de la nappe reste inchangé (figures 35 et 36).

Tableau 12 : Caractéristiques des tronçons durant la période de moyennes eaux pour la Kwé Nord

	Nombre de tronçons	Longueur (m)				
			totale	moyenne	minimum	maximum
Drainant	6	(38%)	2057	343	149	528
Infiltrant	6	(40%)	2118	353	110	806
Neutre	1	(22%)	1174	1174	1174	1174
Total	13		5349	411	110	1174

Moyennes eaux

Profil d'élévation des tronçons du cours principal de la Kwe Nord

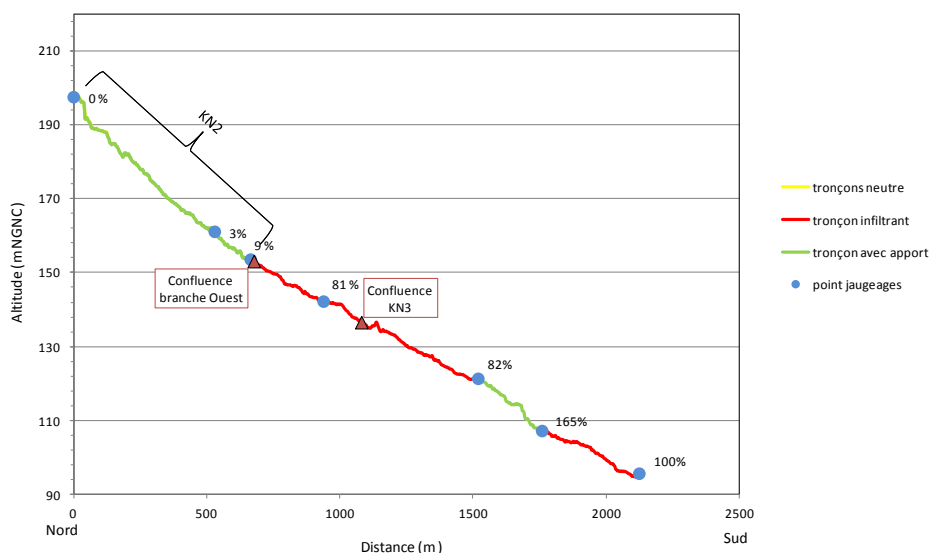


Figure 26 : Profil de la rivière de la branche principale de la Kwé Nord avec les caractéristiques des tronçons, les points de confluence avec la branche Ouest de la KN2 et la KN3 et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de moyennes eaux

Moyennes eaux

Profil d'élévation de la branche ouest de la KN2

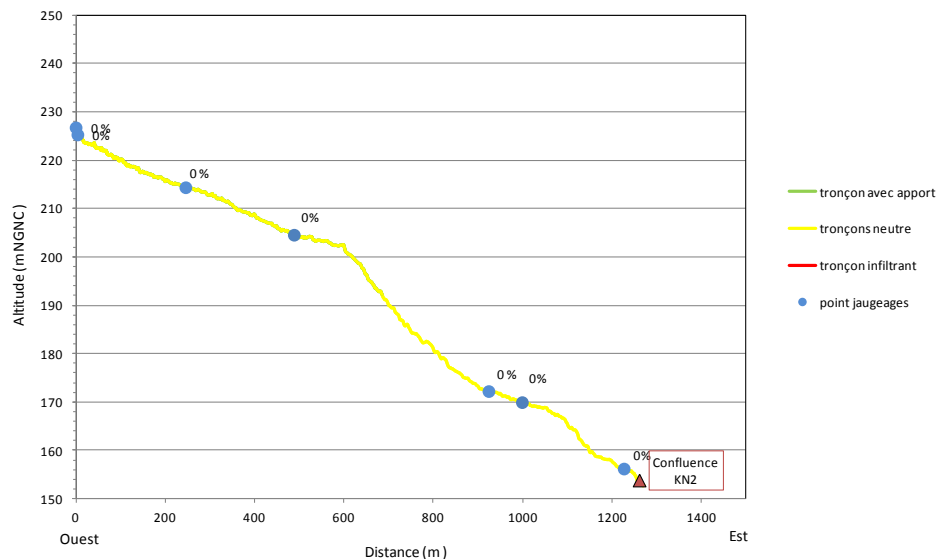


Figure 27 : Profil de la rivière de la branche ouest de la KN2 avec les caractéristiques des tronçons, le point de confluence avec le cours principal de la KN2 et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de moyennes eaux

Moyennes eaux

Profil d'élévation des tronçons sur la KN3

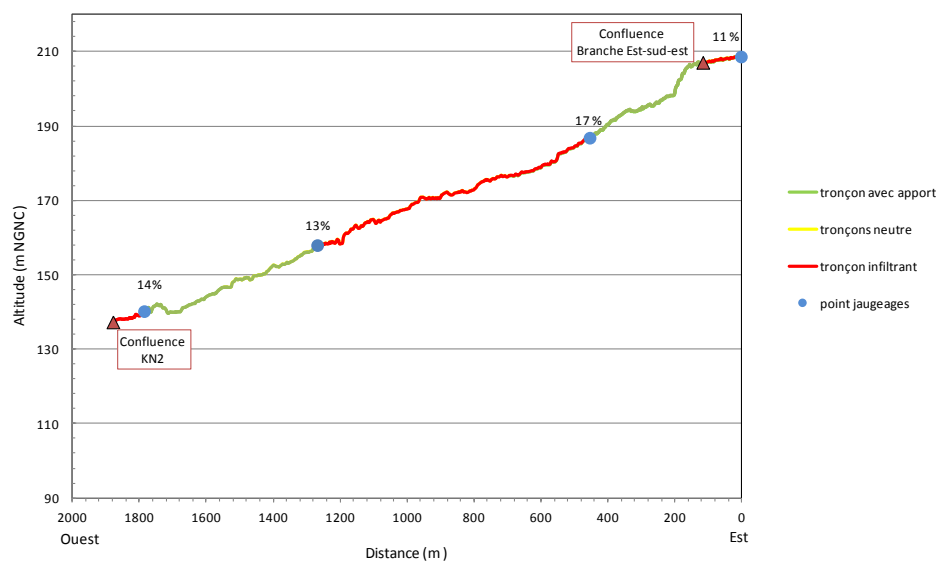


Figure 28 : Profil de la rivière KN3 avec les caractéristiques des tronçons, les points de confluence avec le cours principal de la KN2 et une branche Est-sud-est et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de basses eaux

Moyennes eaux

Profil d'élévation des tronçons de la branche Est-sud-est de la KN3

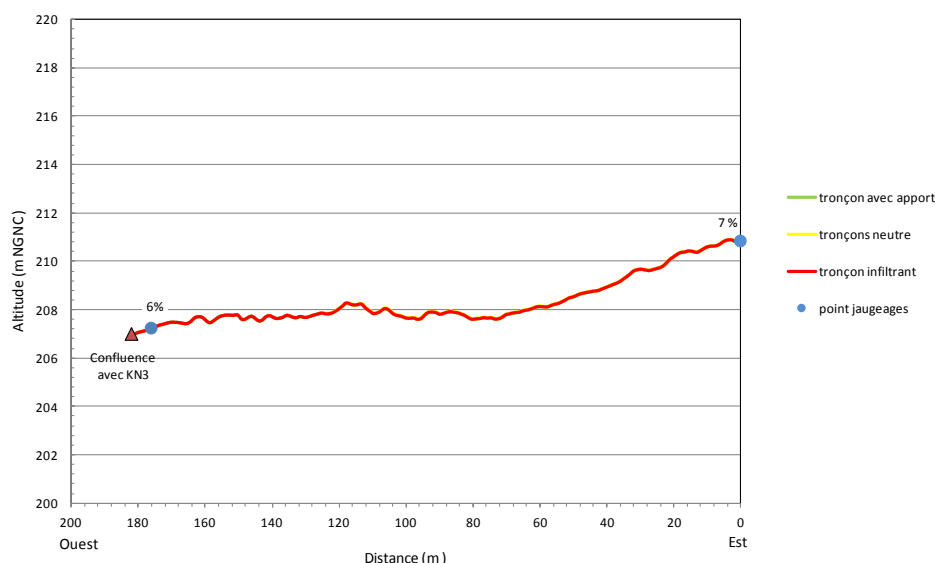


Figure 29 : Profil de la rivière de la branche est-sud-est de la KN3 avec les caractéristiques des tronçons, les points de confluence avec le cours principal de la KN3 et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de moyennes eaux

3.3.7 KWE OUEST

La portion de la Kwé Ouest qui a été étudiée mesure 3,2 Km et elle est jalonnée par 14 stations. La Kwé Ouest draine les secteurs de KO4 et la partie Ouest du secteur SMLT via la Kwé Ouest 5 un affluent de la kwé Ouest.

3.3.7.1 PERIODE DE BASSES EAUX

La grande majorité des tronçons drainaient la nappe pendant la période de basses eaux. Seul un tronçon d'environ de 900 m alimentait la nappe (Tableau 13, infiltrant) dans la deuxième moitié aval de la Kwé Ouest.

Tableau 13 : Caractéristiques des tronçons durant la période de basses eaux pour la Kwé Ouest

	Nombre de tronçons		Longueur (m)			
			totale	moyenne	minimum	maximum
Drainant	7	(72%)	2338	334	87	866
Infiltrant	1	(28%)	902	902	902	902
Neutre	0	(0%)	0	0	0	0
Total	8		3240	405	87	902

Basses eaux

Profil d'élévation des tronçons de la KWE OUEST

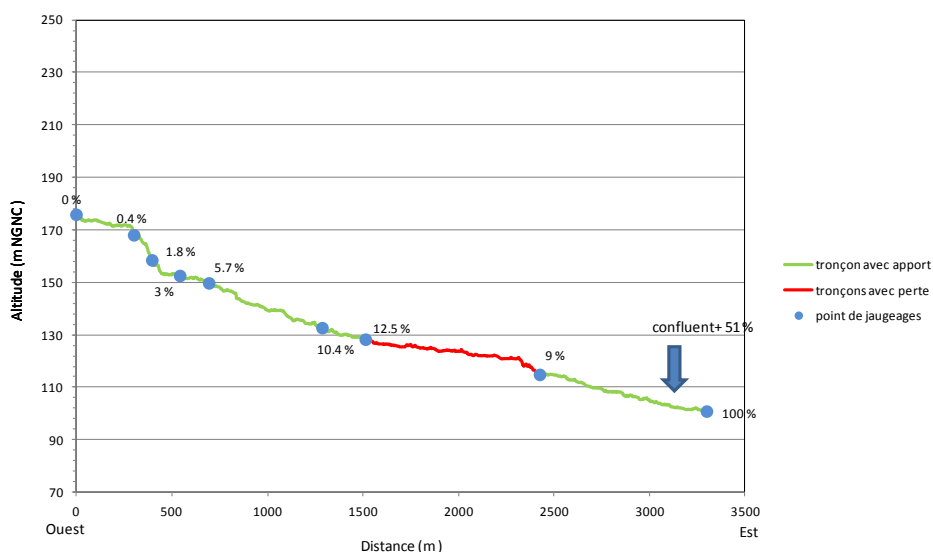


Figure 30 : Profil de la rivière Kwé Ouest avec les caractéristiques des tronçons, les points de confluence avec le cours principal de la Kwé Ouest et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de basses eaux

3.3.7.2 PERIODE DE HAUTES EAUX

Durant la période de hautes eaux la Kwé Ouest est restée principalement drainante. Le tronçon qui était infiltrant pendant la période de basses eaux, est désormais drainant dans sa partie amont et neutre dans le méandre de sa partie aval. Le dernier tronçon vers l'amont de la Kwé Ouest est devenu infiltrant. Le reste de la première moitié de la portion de la Kwé Ouest présente une succession de tronçons drainant et neutre (figures 35 et 36).

Tableau 14 : Caractéristiques des tronçons durant la période de hautes eaux pour la Kwé Ouest

	Nombre de tronçons	Longueur (m)			
			totale	moyenne	minimum maximum
Drainant	4	(58%)	1888	472	229 848
Infiltrant	1	(8%)	274	274	274 274
Neutre	3	(34%)	1092	364	171 543
Total	8		3254	407	171 848

hautes eaux

Profil d'élévation des tronçons de la KWE OUEST

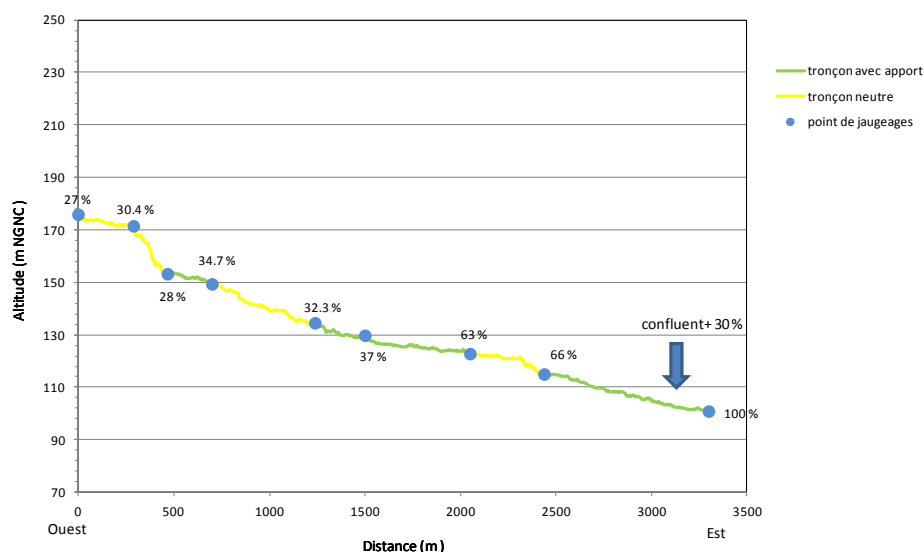


Figure 31 : Profil de la rivière Kwé Ouest avec les caractéristiques des tronçons, les points de confluence avec le cours principal de la Kwé Ouest et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de moyennes eaux

3.3.8 CREEK DE LA MINE DES JAPONAIS

Le Creek de la mine des Japonais draine la partie nord d'un bassin versant endoréique. La portion qui a été étudiée mesure 1 Km et elle est jalonnée par 6 stations (figure 36).

3.3.8.1 PERIODE DE MOYENNES EAUX

Depuis l'amont vers l'aval, le Creek de la mine des Japonais présente une succession de tronçons qui alternent entre un drainage de la nappe et une alimentation de la nappe. Le cours est malgré tout majoritairement drainant et principalement dans sa partie amont.

Tableau 15 : Caractéristiques des tronçons durant la période de moyennes eaux pour le creek de la mine des Japonais

	Nombre de tronçons	Longueur (m)			
		totale	moyenne	minimum	maximum
Drainant	2	(53%) 538	269	236	302
Infiltrant	2	(47%) 472	236	228	244
Neutre	0	(0%) 0	0	0	0
Total	4	1009	252	228	302

	Synthèse des observations piézométriques	Révision : 00 Avril 2012
	Secteur de Goro	Page : 46 / 81

Moyennes eaux

Profil d'élévation des tronçons de la MINE DES JAPONAIS

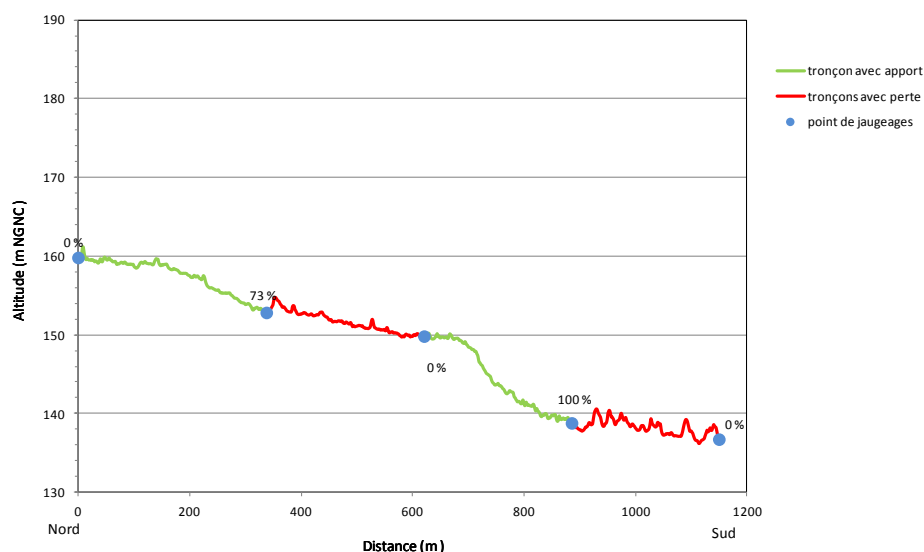


Figure 32 : Profil de la rivière de la mine de Japonais avec les caractéristiques des tronçons, et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de moyennes eaux

3.3.9 RIVIERE LA TRUU

La rivière de la Truu draine le versant des crêtes situées à l'ouest de Port Boisé et une petite partie de l'ouest du plateau de Port boisé. Les profils de la rivière de la Truu pour les deux périodes hydrologiques sont présentés dans les figures 33 et 34.

3.3.9.1 PERIODE DE BASSES EAUX

Pour la période de basses eaux la première moitié du cours est majoritairement drainant les tronçons qui ne sont pas drainant favorisent l'infiltration de l'eau vers la nappe. Cette partie du cours d'eau se connecte et se déconnecte avec la nappe. Vers l'aval, le cours d'eau devient neutre par rapport aux échanges avec la nappe.

	Synthèse des observations piézométriques	Révision : 00 Avril 2012
	Secteur de Goro	Page : 47 / 81

Basses eaux

Profil d'élévation des tronçons de la Truu

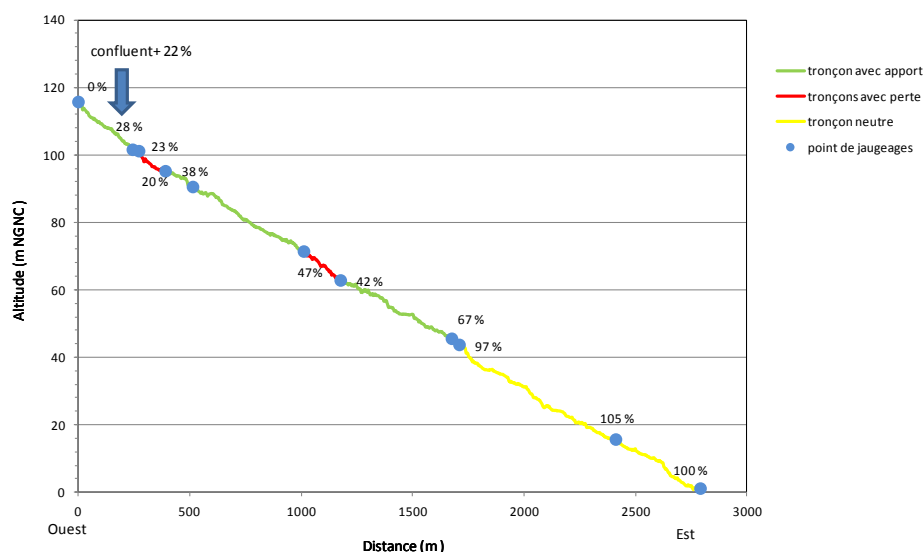


Figure 33 : Profil de la rivière de la Truu avec les caractéristiques des tronçons, les confluences et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de basses eaux

3.3.9.2 PERIODE DE MOYENNES EAUX

Pour la période de moyennes eaux les deux moitiés de rivière ont un comportement qui s'est inversé par rapport à la période de basses eaux. En effet, en amont, les tronçons sont soit neutres vis-à-vis des interactions avec la nappe ou ils alimentent la nappe et en aval les tronçons drainent majoritairement la nappe. Le dernier tronçon, le plus en aval, a conservé son comportement neutre vis-à-vis des échanges avec la nappe.

	Synthèse des observations piézométriques	Révision : 00 Avril 2012
	Secteur de Goro	Page : 48 / 81

Moyennes eaux

Profil d'élévation des tronçons de la Truu

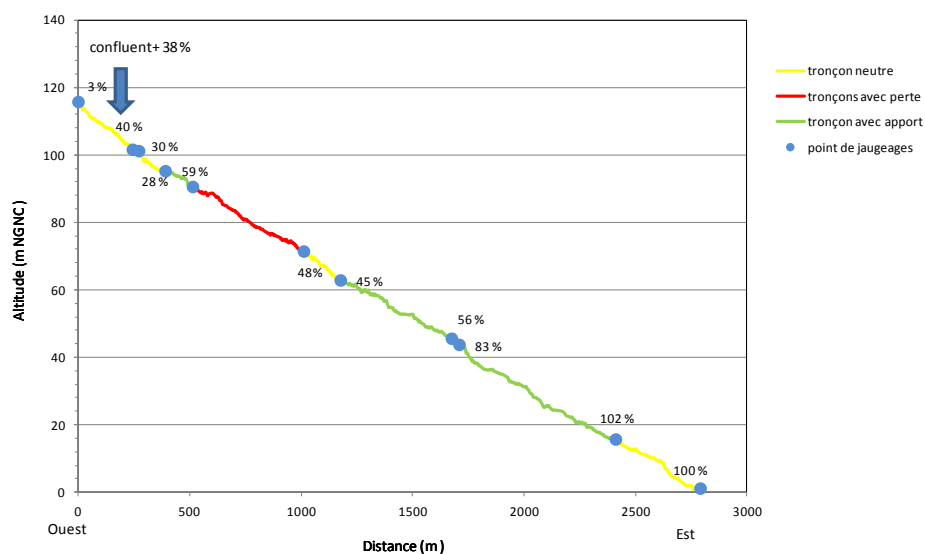


Figure 34 : Profil de la rivière de la Truu avec les caractéristiques des tronçons, les confluences et les points de jaugeages en fonction de l'altitude du réseau hydrographique pour la période de moyennes eaux

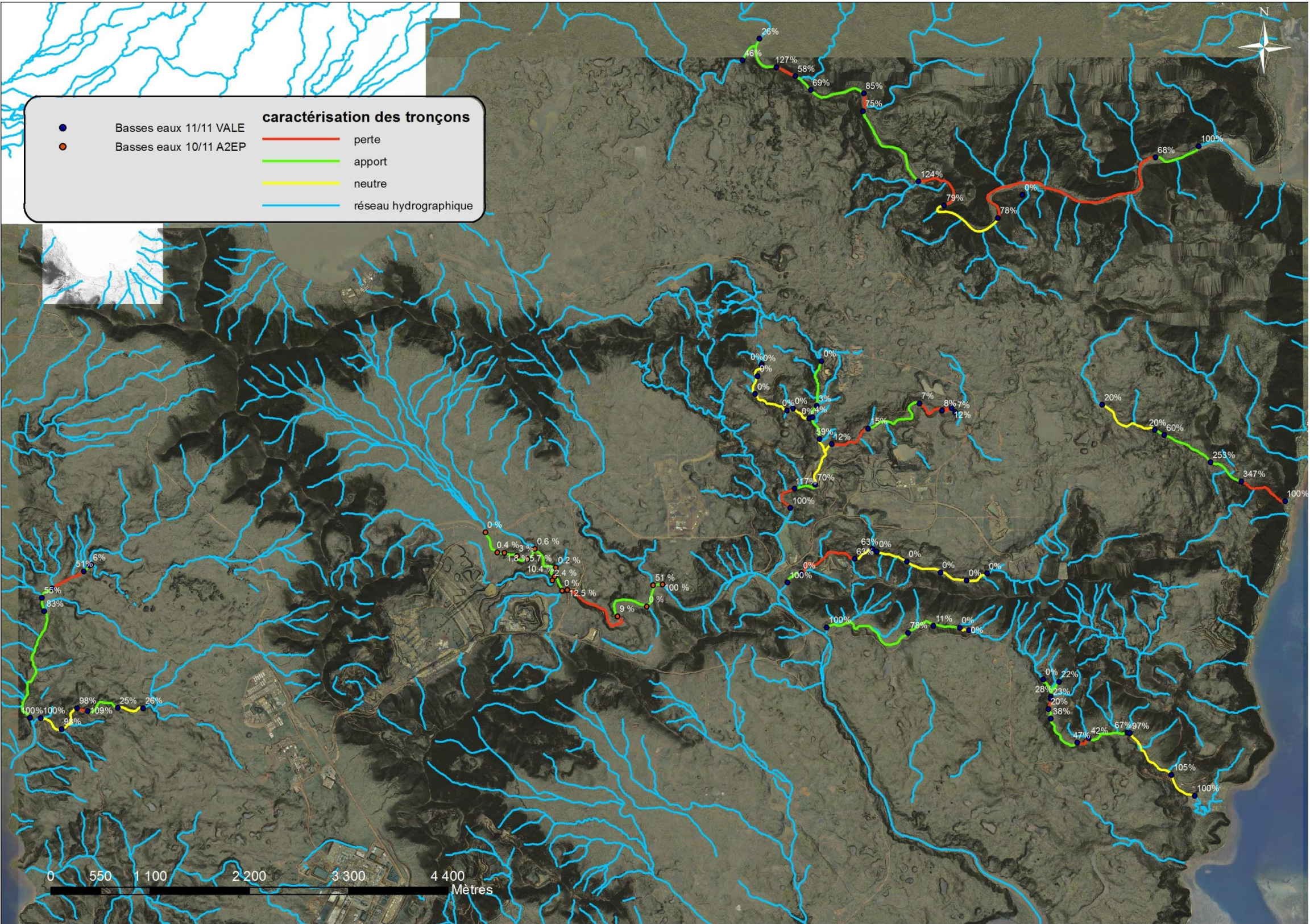


Figure 35 : Campagnes de jaugeages différentiels (période de basses eaux, octobre/novembre 2011)

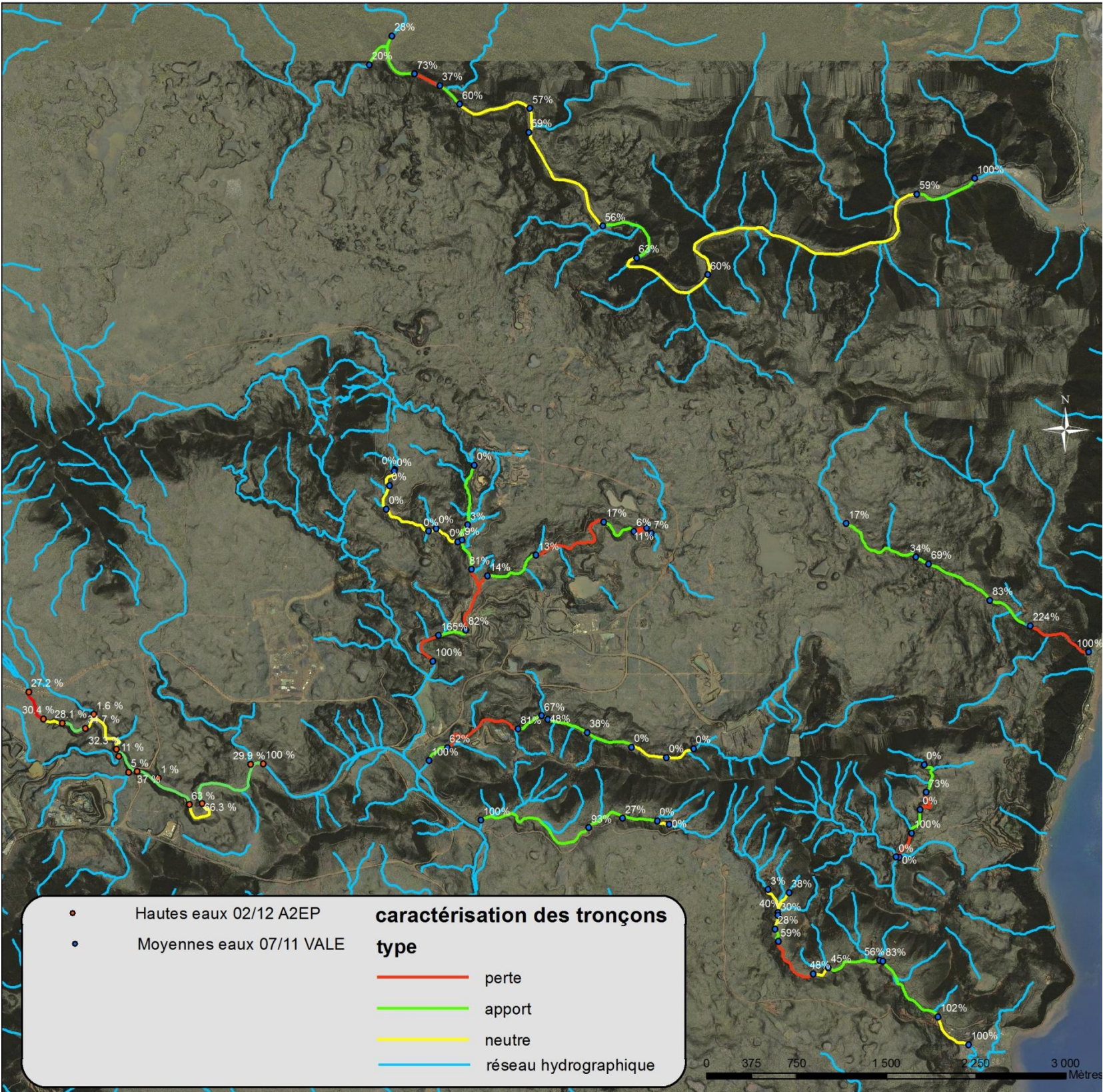


Figure 36 : Campagnes de jaugeages différentiels (périodes de moyennes et hautes eaux)

 VALE NC	Synthèse des observations piézométriques	Révision : 00 Avril 2012
	Secteur de Goro	Page : 51 / 81

4 ÉTUDE DES RELATIONS NAPPES / LACS

4.1 OBJECTIF

Les relations nappes/lacs ont été examinées afin d'améliorer la compréhension du fonctionnement hydrogéologique global des nappes superficielles.

En effet les lacs, au même titre que le réseau hydrographique, sont liés à la présence d'une nappe et la cote de la surface du lac évolue avec la cote piézométrique.

4.2 MATERIELS ET METHODES

Nous avons mis en parallèle les variations de niveau d'eau dans les lacs et les variations du niveau piézométrique dans les ouvrages à proximité immédiate.

Les étendues d'eau qui ont fait l'objet d'une analyse sont : le Grand Lac, le Lac Xere Wa Po, le Lac Robert et le Lac Goro Sud.

Pour étudier les relations entre le niveau du lac et le niveau de la nappe, des coupes en travers sont présentées au droit des lacs. Les coupes correspondant aux profils sont orientées dans la mesure du possible le long d'un axe Est-Ouest.

Lorsque que les données disponibles le permettaient, nous avons examiné des périodes hydrologiques contrastées (hautes eaux, moyennes eaux et basses eaux). En pratique, la fin de l'étiage 2011 (qui s'est étendu de septembre à décembre) correspond à l'événement pluvieux du 25 décembre 2011, et un premier événement moins marqué avait déjà conduit à une remontée du niveau des nappes vers mi-décembre. Sur une période de 1 mois, entre début et fin décembre 2011, les situations de basse, moyenne et hautes eaux ont donc été observées.

4.3 RESULTATS

4.3.1 GRAND LAC

4.3.1.1 PRESENTATION DES COUPES

Les piézomètres suivis en 2011 et les plus proches du Grand Lac sont 11EX0407 (piézomètre court) et 11EX0410 (piézomètre long). Ils sont situés à 600 m environ des berges du lac. L'emplacement de la coupe réalisée depuis la position des deux piézomètres jusqu'aux berges du Grand Lac sont matérialisées sur la carte de la figure 37.

Pour la période de basses eaux, les données utilisées correspondent au 2 décembre 2011. Pour les niveaux piézométriques cette date correspond au moment où le niveau observé dans le piézomètre le plus profond (10 EX0410 PEL) est le plus bas.

Pour cette date nous ne connaissons pas la position du niveau piézométrique dans le compartiment latéritique, car le piézomètre qui permet de normalement de suivre ce niveau s'est dénoyé. Le dénoyage de ce piézomètre explique pourquoi le niveau piézométrique dans la latérite n'est pas représenté sur le profil présenté dans la figure 38. Pour les autres périodes hydrologiques, le

	Synthèse des observations piézométriques	Révision : 00 Avril 2012
	Secteur de Goro	Page : 52 / 81

piézomètre le plus superficiel était en eau ce qui nous a permis de positionner le niveau piézométrique de la latérite (figures 39 et 40).



Figure 37 : Localisation de la coupe correspondant au profil 2D et des piézomètres 11EX0407 et 11EX0410 par rapport au Grand Lac

4.3.1.2 BASSES EAUX

Pendant la période de basses eaux, le niveau piézométrique de la nappe du saprolite se trouve à environ dix mètres de la surface topographique au droit du piézomètre. Ce niveau piézométrique est supérieur à la côte du lac mesuré à la même période. De ce différentiel de charge, il en résulte un gradient hydraulique dirigé vers le lac. Ce gradient entraîne les écoulements souterrains vers le lac. L'eau de la nappe est drainée vers l'ouest.

Pour la période de basses eaux, la position de la surface piézométrique par rapport au niveau du Grand lac indique que la nappe alimente le lac.

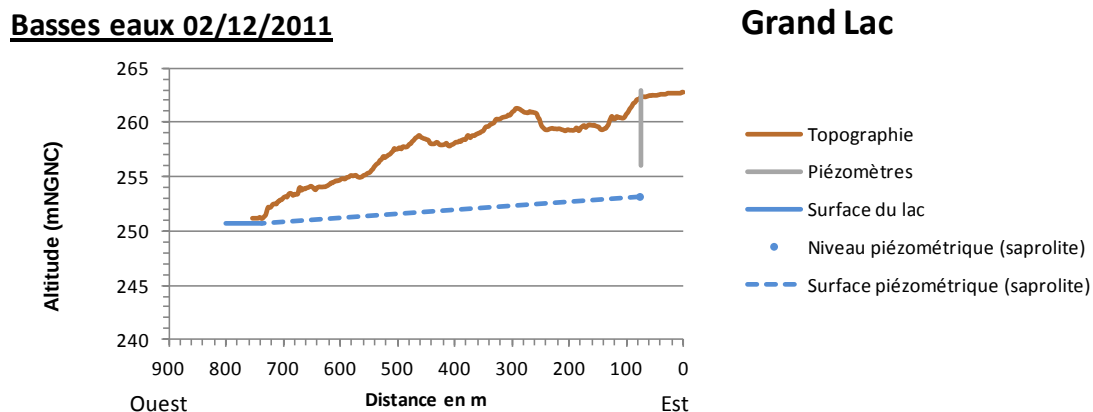


Figure 38 : Profil Est-Ouest entre le Grand lac et les piézomètres 11EX0407 (PEC) et 11EX0410 (PEL) pour la période de basses eaux

	Synthèse des observations piézométriques	Révision : 00 Avril 2012
	Secteur de Goro	Page : 53 / 81

4.3.1.3 MOYENNES EAUX

Pendant la période de moyennes eaux, les niveaux piézométriques sont observés pour les nappes des latérites (11EX0407-PEC) et des saprolites (11EX0410-PEL).

Comme pour la période de basses eaux, nous avons émis l'hypothèse que le niveau du lac reflète le niveau piézométrique de ces deux compartiments au droit des berges du lac.

Les niveaux piézométriques dans la latérite et la saprolite sont supérieurs à la cote du lac mesurée à la même période. Comme en période de basses eaux, ce différentiel de charge entraîne un gradient hydraulique (ici $\sim 0,6\%$) dirigé vers le lac (Figure 39).

Pour la période de basses eaux, sur la base des données disponibles, la position de la surface piézométrique par rapport au niveau du Grand lac laisse penser que la nappe alimente le lac.

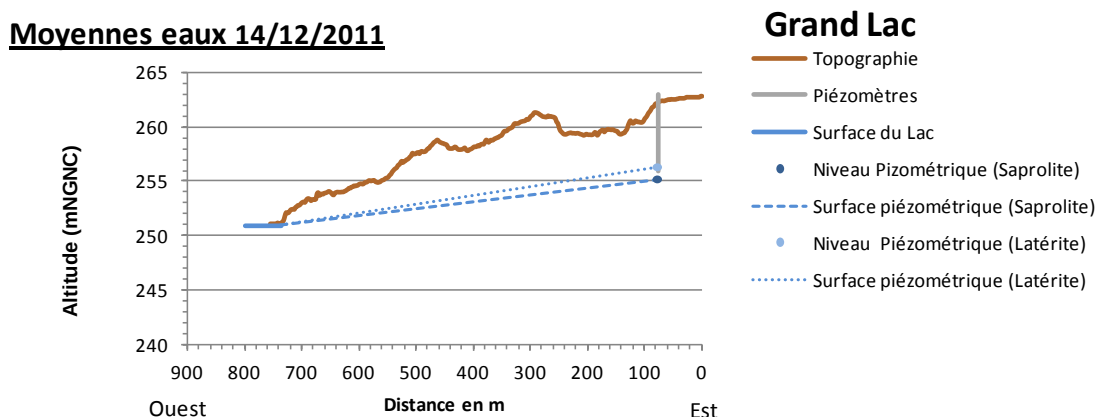


Figure 39 : Profil Est-Ouest entre le Grand lac et les piézomètres 11EX0407 (PEC) et 11EX0410 (PEL) pour la période de moyennes eaux

4.3.1.4 HAUTES EAUX

Pendant la période de hautes eaux, le niveau piézométrique dans les compartiments saprolitique et latéritique ont atteint le niveau le plus haut (en date du 25/12/2011). Dans le même temps le niveau du lac s'est élevé de 1 m.

Le niveau piézométrique dans les latérites et les saprolites restent supérieurs à la cote du lac mesuré à la même période. Comme pour les autres périodes, ce différentiel de charge entraîne un gradient hydraulique dirigé vers le lac. Il est de l'ordre de $0,6\%$ pour le compartiment saprolitique et de l'ordre de $1,3\%$ pour le compartiment latéritique (Figure 40).

Ces valeurs de gradients sont plus élevées que pour la période de basses eaux, ce qui peut amener à supposer que les volumes d'eau drainés vers le lac sont plus importants.

Hautes eaux 25/12/2011

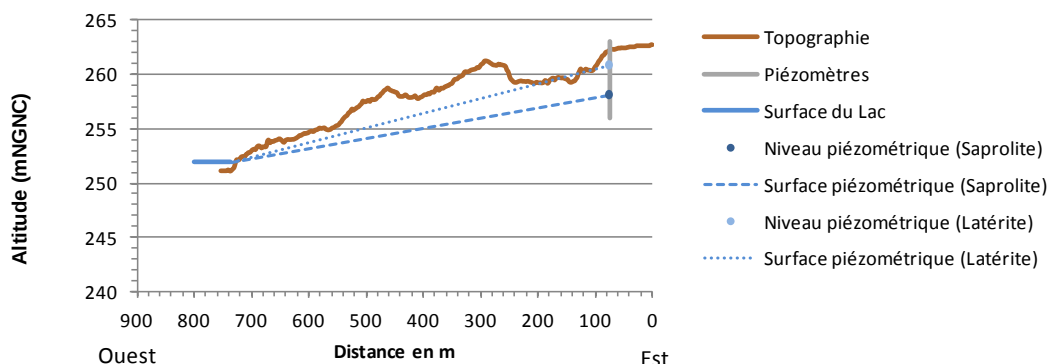


Figure 40 : Profil Est-Ouest entre le Grand lac et les piézomètres 11EX0407 (PEC) et 11EX0410 (PEL) pour la période de Hautes eaux

4.3.2 LAC XERE WA PO

4.3.2.1 PRESENTATION DES COUPES

Pour le lac Xere Wa Po, les piézomètres suivis en 2011 et équipés d'instruments permettant l'enregistrement automatique des niveaux piézométriques sont 10EX0341 (PEL) et 11EX0372 (PEC) pour la partie Ouest et 11EX448 (PEC) pour la partie Est (Figure 41). Ils sont situés à une distance comprise entre 30 et 40 m des berges du lac.

L'emplacement de la coupe réalisée est visible sur la figure 41. Elle recoupe la position du lac et des trois piézomètres. Cette coupe est orientée le long d'un axe Est Ouest.

Pour l'ensemble des périodes hydrologiques étudiées, étant donné que nous disposons d'un seul piézomètre pour suivre le niveau piézométrique dans la saprolite, la surface piézométrique de ce compartiment n'a pas été présentée sur les profils.

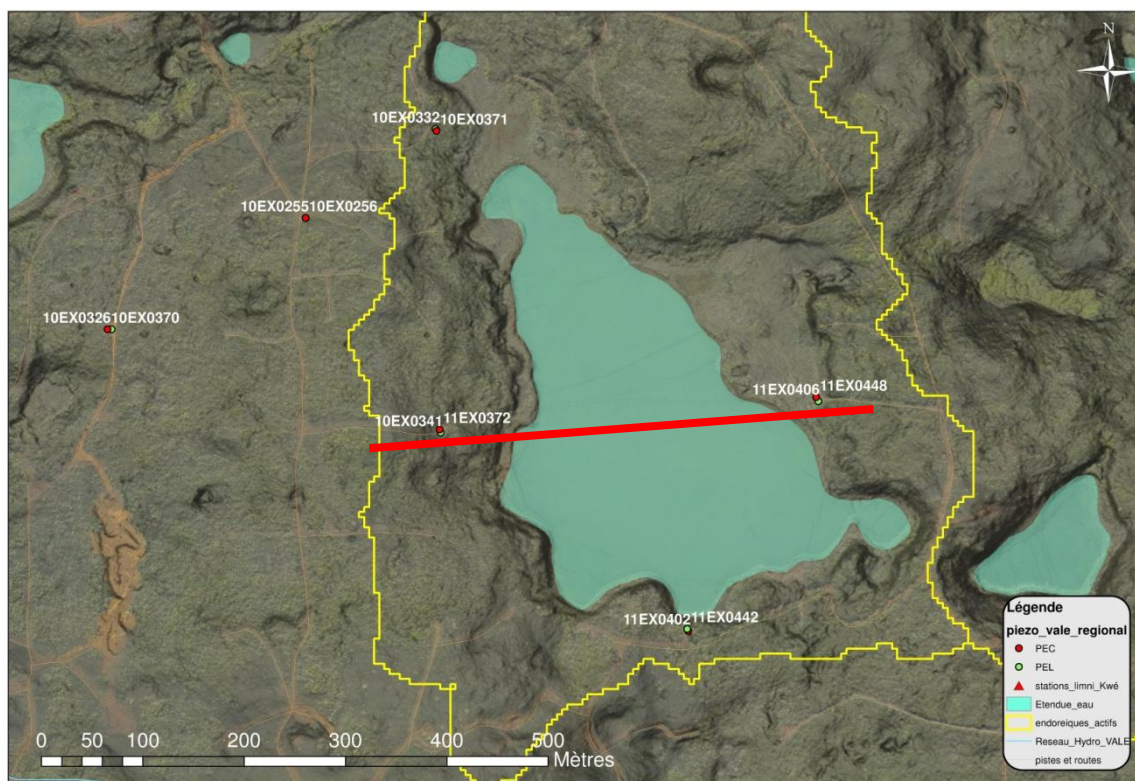


Figure 41 : Carte de localisation des piézomètres près du lac Xere Wa Po

4.3.2.2 BASSES EAUX

Pendant la période de basses eaux, le niveau piézométrique du compartiment saprolitique et latéritique sur les berges Ouest se trouvent au dessus du niveau du lac Xéré Wa Po. Sur les berges Est, le niveau piézométrique du compartiment latéritique est inférieur au niveau du lac. Le gradient hydraulique qui résulte de la différence charge est de 5% dans la partie Est et de 0,6% dans la partie Ouest. Les niveaux piézométriques dans la partie Ouest se trouvent à 4 m de profondeur par rapport à la topographie et de l'ordre de 5 m de profondeur dans la partie Ouest (Figure 42).

Dans la partie Ouest du profil, le gradient hydraulique est dirigé vers le lac. Ce gradient entraine les écoulements souterrains de la nappe vers le lac. L'eau de la nappe est drainée vers l'Est en direction du lac.

Le niveau dans la nappe des saprolites apparaît très proche du niveau du lac.

Dans la partie Est du profil, le gradient hydraulique est dirigé vers la nappe. Ce gradient implique que le lac alimente la nappe du compartiment latéritique. Dans cette partie Est, la nappe est également drainée vers l'Est.

Pour la période de basses eaux, la position de la surface piézométrique par rapport au niveau du lac Xere Wa Po indique que la nappe alimente le lac sur sa rive Ouest, et le lac alimente la nappe sur sa rive Est.

Basses eaux 06/12/2011

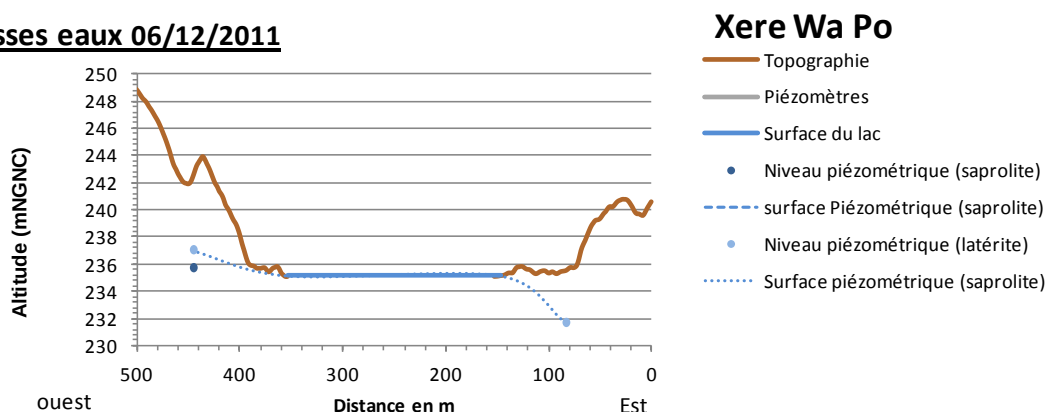


Figure 42 : Profil Est-Ouest sur le lac Xere Wa Po intégrant les piézomètres 11EX0448 (PEC), 10EX0372 (PEC) et 10EX0341 (PEL) pour la période de basses eaux

4.3.2.3 MOYENNES EAUX

La situation reste très similaire à la période de basses eaux : le niveau piézométrique du compartiment saprolitique et latéritique sur les berges Ouest se trouvent au dessus du niveau du lac Xéré Wa Po. Sur les berges Est, le niveau piézométrique du compartiment latéritique est inférieur au niveau du lac.

Le niveau du lac a augmenté de 14 cm par rapport à la situation « basses eaux ».

Le gradient hydraulique qui résulte de la différence charge est de 4,4% (-0,6% par rapport à la période de basses eaux) dans la partie Est et de 0,8% (+0,2% par rapport à la période de basses eaux) dans la partie Ouest. Par rapport à la période de basses eaux, les niveaux piézométriques dans la partie Ouest et Est sont légèrement plus proches de la surface topographique (Figure 43)

Dans la partie Ouest du profil, le gradient hydraulique est dirigé vers le lac. Ce gradient entraine les écoulements souterrains de la nappe vers le lac. L'eau de la nappe est drainée vers l'Est en direction du lac.

Dans la partie Est du profil, le gradient hydraulique est dirigé vers la nappe. Ce gradient implique que le lac alimente la nappe du compartiment latéritique. Dans cette partie Est, la nappe est également drainée vers l'est.

Pour la période de moyennes eaux, la position de la surface piézométrique par rapport au niveau du lac Xere Wa Po indique que la nappe alimente le lac par l'ouest et le lac alimente la nappe par l'est.

Moyennes eaux 20/12/2011

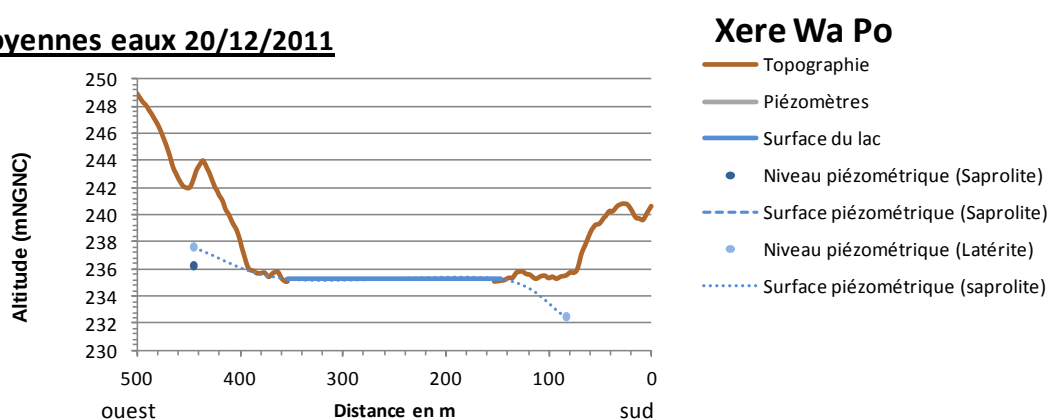


Figure 43 : Profil Est-Ouest sur le lac Xere Wa Po intégrant les piézomètres 11EX0448 (PEC), 10EX0372 (PEC) et 10EX0341 (PEL) pour la période de basses eaux

4.3.2.4 HAUTES EAUX

Pendant la période de hautes eaux comme pour les deux autres périodes, le niveau piézométrique du compartiment saprolitique et latéritique sur les berges Ouest se trouvent au dessus du niveau du lac Xéré Wa Po. Sur les berges Est, le niveau piézométrique du compartiment latéritique s'est nettement rapproché du niveau topographique, et rejoint progressivement le niveau du lac (Figure 44).

Le gradient hydraulique qui résulte de la différence charge est de 2,3% (-2,7% par rapport à la période de basses eaux) dans la partie Est et de 2,8% (+2,2% par rapport à la période de basses eaux) dans la partie Ouest.

Les modifications des valeurs des gradients hydrauliques entre la période de hautes eaux et la période de basses ont eu pour effet une augmentation de 65 cm du niveau du lac.

Hautes eaux 01/01/2012

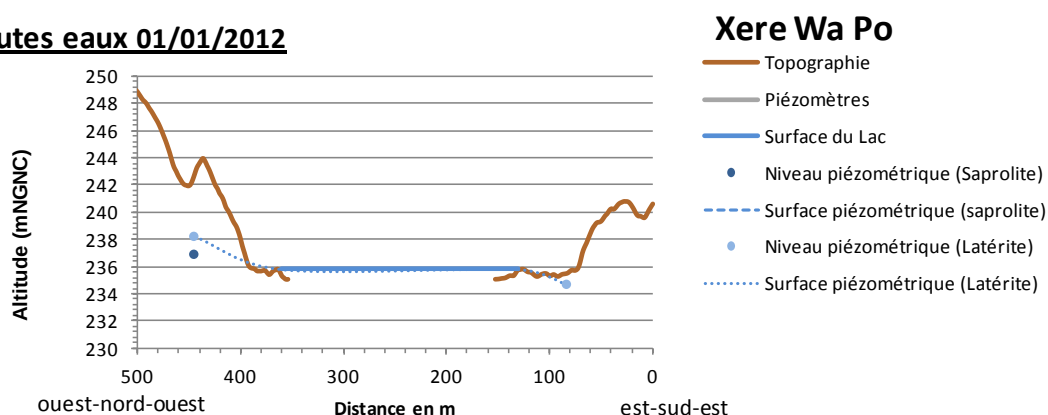


Figure 44 : Profil Est-Ouest sur le lac Xere Wa Po intégrant les piézomètres 11EX0448 (PEC), 10EX0372 (PEC) et 10EX0341 (PEL) pour la période de hautes eaux

	Synthèse des observations piézométriques	<i>Révision : 00</i> <i>Avril 2012</i>
	Secteur de Goro	Page : 58 / 81

Au final, dans toute la gamme de variation de niveaux observée, la position de la surface piézométrique par rapport au niveau du lac Xere Wa Po indique que la nappe alimente le lac sur sa rive Ouest (nappe des latérites dans tous les cas, et nappe des saprolites pour les situations moyennes et hautes eaux), et le lac alimente la nappe (des latérites) sur sa rive Est.

Le gradient hydraulique dans la partie Ouest devient sensiblement plus important en période de hautes eaux. Dans le même temps, le gradient dans la partie Est diminue progressivement, à mesure que le niveau piézométrique dans ce secteur s'approche de la surface du terrain naturel.

4.3.3 LAC GORO SUD

4.3.3.1 PRESENTATION DES COUPES

Pour le lac Goro Sud, les piézomètres suivis en 2011 et équipés d'instruments permettant l'enregistrement automatique des niveaux piézométriques sont 10EX0342 (PEL) et 10EX0343 (PEC) pour la partie Ouest-nord-ouest et 10EX334 (PEL) et 10EX339 (PEC) pour la partie Est-sud-est (Figure 41). Ils sont situés à une distance comprise entre 20 et 30 m des berges du lac.

Les données acquises pour le piézomètre 10EX334 (PEL) sont erronées et elles n'ont donc pas été prise en compte dans l'analyse des profils. Par conséquent, seule la position de la surface piézométrique dans le compartiment latéritique a pu être représentée sur les profils.

L'emplacement de la coupe réalisée est visible sur la figure 45. Elle recoupe la position du lac et des quatre piézomètres. La position des piézomètres pour lesquels des données étaient disponibles nous a conduit à orienter la coupe le long d'un axe Ouest-nord-ouest Est-sud-est au lieu de Ouest est comme pour les autres lacs.

Les piézomètres 10EX0334 et 10EX0339 sont situés à 17 m au sud-est de la berge du lac, et à 3,50 m au-dessus du lac. Les piézomètres 10EX0342 et 10EX0343 sont situés à 30 m au nord-ouest de la berge du lac et 6 m au-dessus du lac.

	Synthèse des observations piézométriques	Révision : 00 Avril 2012
	Secteur de Goro	Page : 59 / 81



Figure 45 : carte de localisation des piézomètres autour du lac Goro Sud

4.3.3.2 BASSES EAUX

Pendant la période de basses eaux, le niveau piézométrique du compartiment saprolitique et latéritique sur les berges Ouest-nord-ouest se trouvent en-dessous du niveau du lac Goro Sud. Sur les berges Est-sud-est, le niveau piézométrique du compartiment latéritique est légèrement inférieur au niveau du lac.

Le gradient hydraulique qui résulte de la différence de charge est de 1,26% dans la partie Est et de 2% dans la partie Ouest-nord-ouest. Les niveaux piézométriques dans la partie Ouest-nord-ouest se trouve à 7,5 m de profondeur par rapport au niveau topographique. Dans la partie Est la profondeur est de 3 m (Figure 46).

Dans la partie Ouest-nord-ouest du profil, le gradient hydraulique est dirigé vers la nappe. Ce gradient entraîne les écoulements souterrains du lac vers la nappe. L'eau de la nappe du compartiment latéritique apparaît s'écouler vers l'Ouest-nord-ouest depuis le lac.

Dans la partie Est-sud-est du profil, le gradient hydraulique est également dirigé vers la nappe. Ce gradient implique que le lac alimente la nappe du compartiment latéritique. Dans cette partie, la nappe est drainée vers l'est-sud-est.

Pour la période de basses eaux, la position de la surface piézométrique par rapport au niveau du lac Goro sud indique que le lac alimente la nappe par l'ouest-nord-ouest et par l'est-sud-est.

Basses eaux 5/12/2011

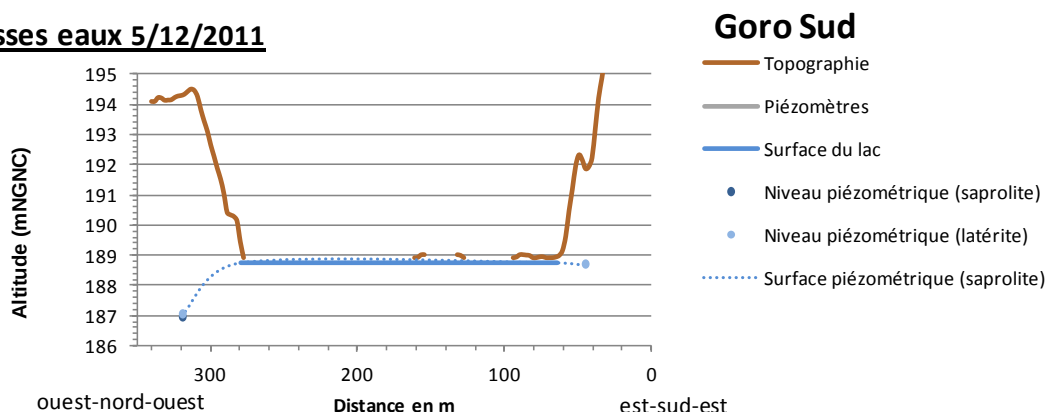


Figure 46 : Profil Ouest-nord-ouest Est-sud-est sur le lac de Goro sud intégrant les piézomètres 11EX0334 (PEL) et 10EX0339 (PEC) à l'est-sud-est et les piézomètres 10EX0342 (PEL) et 10EX0343 (PEC) à l'ouest-nord-ouest du lac, pour la période de basses eaux

4.3.3.3 MOYENNES EAUX

Pendant la période de moyennes eaux, les niveaux piézométriques du compartiment saprolitique et latéritique sur les berges Ouest-nord-ouest se trouvent en-dessous du niveau du lac Goro Sud. Sur les berges Est-sud-est, le niveau piézométrique du compartiment latéritique reste légèrement inférieur au niveau du lac. Le gradient hydraulique qui résulte de la différence de charge est de 0,1% (-1,16% par rapport à la période de basses eaux) dans la partie Est-sud-est et de 3,6% (+1,6% par rapport à la période de basses eaux) dans la partie Ouest-nord-ouest (Figure 47).

Comme pour la période de basses eaux, dans la partie Ouest-nord-ouest du profil, le gradient hydraulique est dirigé vers la nappe. Ce gradient entraîne les écoulements souterrains du lac vers la nappe. L'eau de la nappe du compartiment latéritique est drainée vers l'Ouest-nord-ouest depuis le lac.

Comme pour la période de basses eaux, dans la partie Est-sud-est du profil, le gradient hydraulique est dirigé vers la nappe. Cependant, compte tenu du faible écart de niveau, on peut considérer que le niveau du lac est à l'équilibre avec la nappe.

Pour la période de moyennes eaux, la position de la surface piézométrique par rapport au niveau du lac Goro sud indique que le lac alimente la nappe par l'ouest-nord-ouest.

Moyennes eaux 20/12/2011

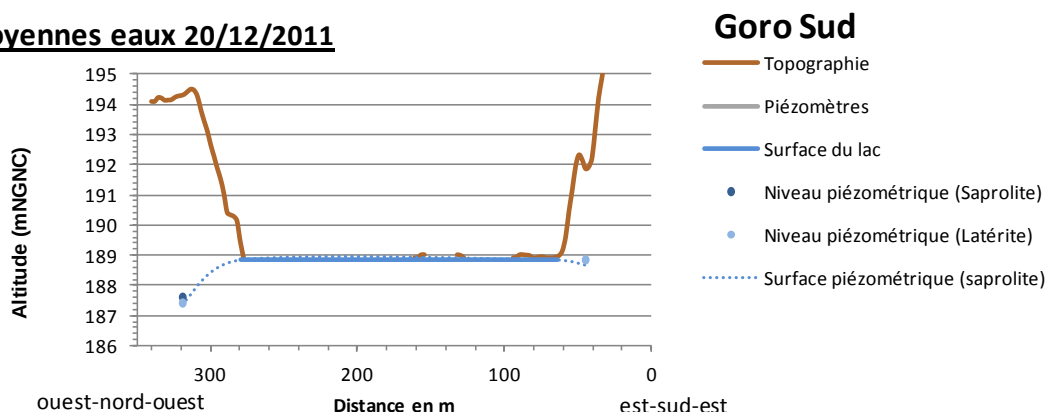


Figure 47 : Profil Ouest-nord-ouest Est-sud-est sur le lac de Goro sud intégrant les piézomètres 11EX0334 (PEL) et 10EX0339 (PEC) à l'est-sud-est et les piézomètres 10EX0342 (PEL) et 10EX0343 (PEC) à l'ouest-nord-ouest du lac, pour la période de moyennes eaux

4.3.3.4 HAUTES EAUX

Pendant la période de hautes eaux, les niveaux piézométriques des compartiments saprolitique et latéritique sur les berges Ouest-nord-ouest se trouvent en-dessous du niveau du lac Goro Sud.

Sur les berges Est-sud-est, le niveau piézométrique du compartiment latéritique est au dessus du niveau du lac. Le gradient hydraulique qui résulte de la différence de charge est de 1,6% (+1,7% par rapport à la période de moyennes eaux) dans la partie Est-sud-est et de 1,3% (-2,2% par rapport à la période de moyennes eaux) dans la partie Ouest-nord-ouest (Figure 48).

Comme pour les deux autres périodes, dans la partie Ouest-nord-ouest du profil, le gradient hydraulique est dirigé vers la nappe. Ce gradient entraine les écoulements souterrains du lac vers la nappe.

Contrairement aux deux autres périodes, dans la partie Est-sud-est du profil, le gradient hydraulique est dirigé vers le lac. Ce gradient implique que la nappe alimente le lac via le compartiment latéritique. Dans cette partie, la nappe est drainée vers l'Ouest-nord-ouest.

Pour la période de hautes eaux, la position de la surface piézométrique par rapport au niveau du lac Goro sud indique que le lac alimente la nappe sur sa rive ouest-nord-ouest, et la nappe alimente le lac sur sa rive est-sud-est.

Hautes eaux 31/12/2011

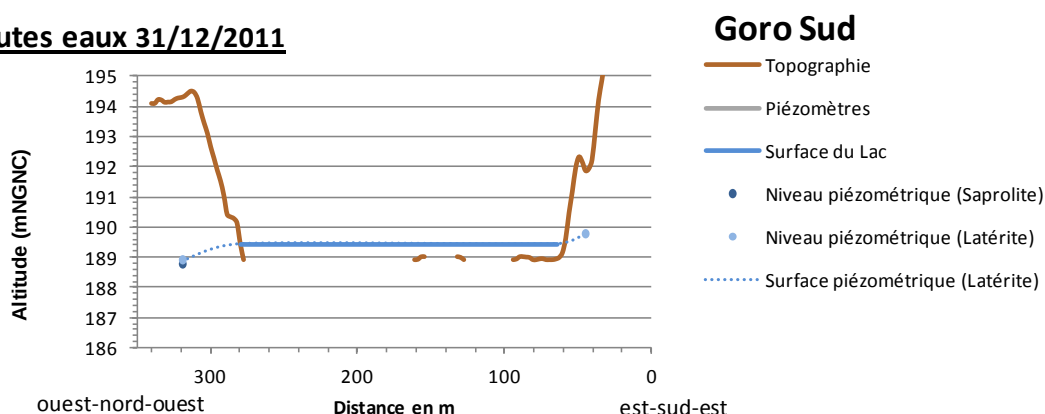


Figure 48 : Profil Ouest-nord-ouest Est-sud-est sur le lac de Goro sud intégrant les piézomètres 11EX0334 (PEL) et 10EX0339 (PEC) à l'est-sud-est et les piézomètres 10EX0342 (PEL) et 10EX0343 (PEC) à l'ouest-nord-ouest du lac, pour la période de hautes eaux

4.3.4 LAC ROBERT

4.3.4.1 PRESENTATION DES COUPES

Pour le lac Robert, les piézomètres suivis en 2011 et équipés d'instruments permettant l'enregistrement automatique des niveaux piézométriques sont 11EX0438 (PEC) pour la partie Ouest et 11EX0462 (PEC) pour la partie Est-sud-est (Figure 49). Ils sont situés à des berges opposées du lac.

11EX0438 à 16 m à l'ouest de la berge du lac, et à 2,50 m plus haut environ.

11EX0462, à 60 m à l'est de la berge du lac et 4,50 m plus haut environ.

Les données acquises ne permettaient pas d'étudier la période de basses eaux. Seuls les profils en période de moyennes eaux et hautes font l'objet d'une présentation.

L'emplacement de la coupe réalisée est visible sur la figure 49. Elle recoupe la position du lac et la position des deux piézomètres. La coupe est orientée le long d'un axe Est Ouest.

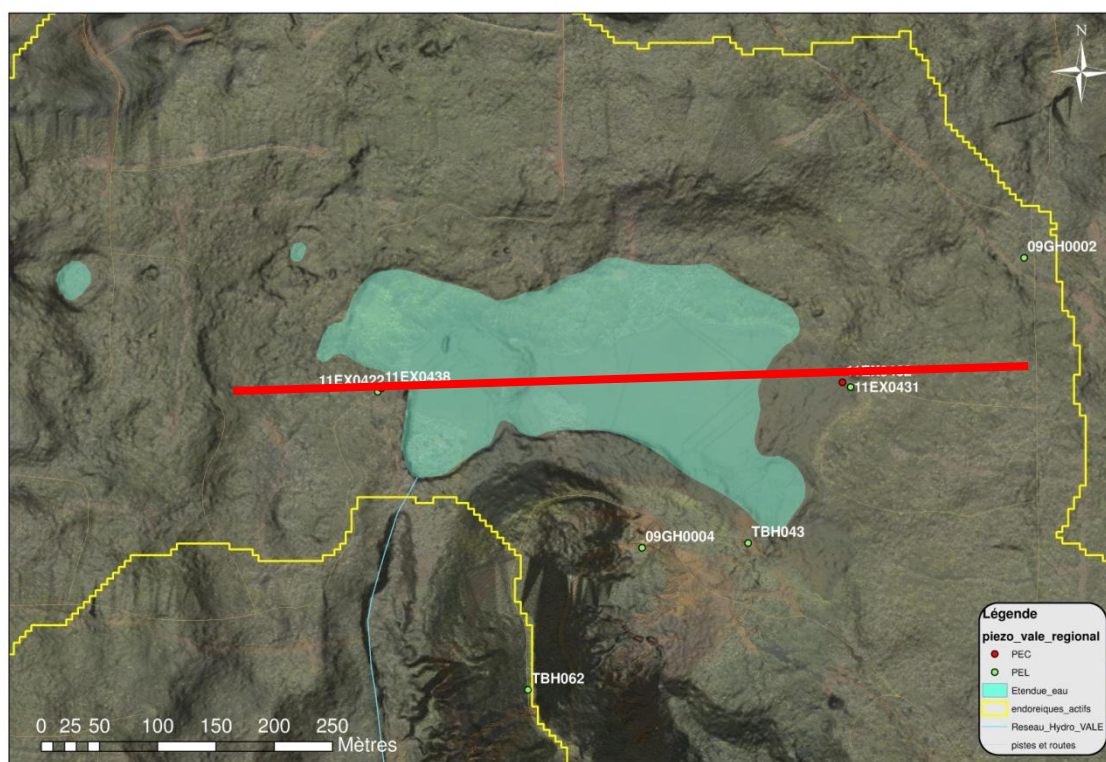


Figure 49 : Carte de localisation des piézomètres autour du lac Robert

4.3.4.2 MOYENNES EAUX

Pendant la période de moyennes eaux, le niveau piézométrique du compartiment latéritique sur la berge Ouest et Est se trouve en-dessous du niveau du lac Robert.

Les niveaux piézométriques se trouvent respectivement à 1 m et 6 m de profondeur dans les parties Ouest et Est (Figure 50).

Le gradient hydraulique qui résulte de la différence de charge est de 0,2% dans la partie Ouest (quasi équilibre entre nappe et lac) et de 0,9% dans la partie Est.

Dans les deux cas, ces gradients sont dirigés du lac vers la nappe, ce qui laisse supposer que le lac est drainé par la nappe sur ses deux rives Ouest et Est.

Moyennes eaux 16/10/2011

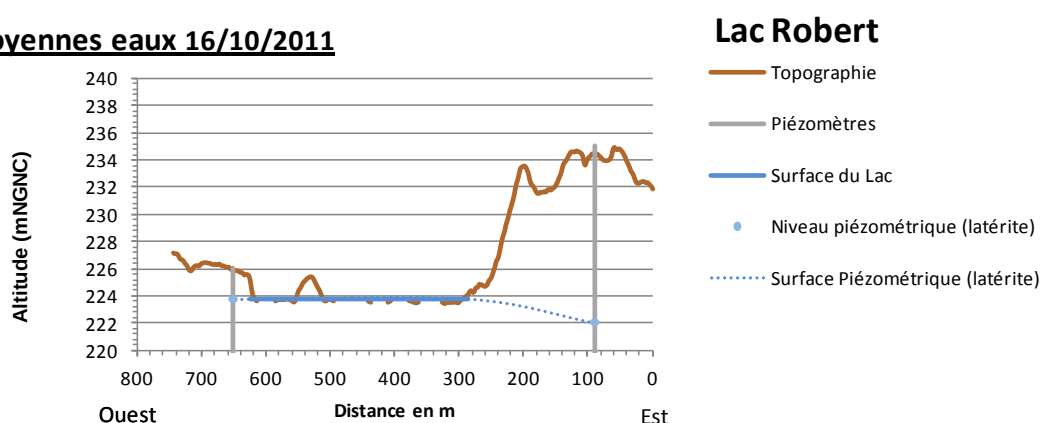


Figure 50 : Profil Ouest Est sur le lac Robert intégrant les piézomètres 10EX0438 (PEC) à l'ouest et le piézomètre 11EX0462 (PEC) à l'est du lac, pour la période de moyennes eaux

4.3.4.3 HAUTES EAUX

En situation de hautes eaux, et comme pour la situation de moyennes eaux, les niveaux piézométriques du compartiment latérique se trouvent en-dessous du niveau du lac Robert sur ses deux rives Ouest et Est.

Le gradient hydraulique qui résulte de la différence de charge est de 0,7% (+0,5% par rapport à la période de moyennes eaux) dans la partie Ouest et de 0,6% (-0,3% par rapport à la période de moyennes eaux) dans la partie Est. (Figure 51)

Comme pour la période de moyennes eaux, la position de la surface piézométrique par rapport au niveau du lac Robert indique que le lac alimente la nappe sur ses rives Ouest et Est.

Hautes eaux 30/12/2011

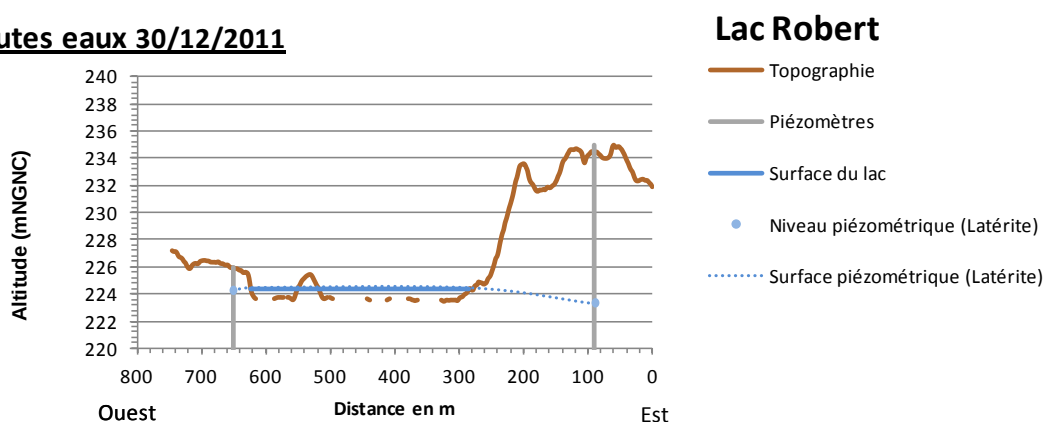


Figure 51 : Profil Ouest Est sur le lac Robert intégrant les piézomètres 10EX0438 (PEC) à l'ouest et le piézomètre 11EX0462 (PEC) à l'est du lac, pour la période de hautes eaux

	Synthèse des observations piézométriques	<i>Révision : 00</i> <i>Avril 2012</i>
	Secteur de Goro	Page : 65 / 81

4.4 CONCLUSION SUR LES RELATIONS NAPPES/LACS

D'après les données piézométriques disponibles autour des lacs du secteur de Goro, les relations avec la nappe sont variées.

Dans certains cas, la nappe est alimenté par le lac quelle que soit la situation hydrologique (Lac Robert). Le comportement est relativement constant pour le Lac Xere Wa Po (alimentation du lac par la nappe sur la rive Ouest, alimentation de la nappe par le lac sur la rive Est). Ailleurs, on observe des comportements qui s'inversent en fonction de la situation des niveaux, basse ou haute (Lac Goro sud, drainé par la nappe sur deux rives en basses et moyennes eaux, et alimenté par la nappe sur sa rive Est en situation de nappe haute).

 VALE NC	Synthèse des observations piézométriques	Révision : 00 Avril 2012
	Secteur de Goro	Page : 66 / 81

5 CARTES PIEZOMETRIQUES

5.1 METHODES DE CONSTRUCTION

Pour construire la carte piézométrique, nous avons utilisé l'ensemble des données disponibles sur le réseau de suivi piézométrique. L'altitude des tronçons drainants identifiés grâce aux jaugeages différentiels a été ajoutée aux données piézométriques disponibles afin de rendre compte des relations entre la nappe et la rivière.

La première étape de la méthode que nous avons mise en œuvre a consisté à utiliser une procédure automatique d'interpolation permettant de construire une ébauche du réseau de courbes isopièzes.

La deuxième étape a consisté, à partir du réseau de courbes orographiques, à corriger les erreurs d'interpolation. Les erreurs d'interpolation concernent principalement les effets de bordure sur le pourtour de la carte, la non prise en compte du relief au niveau des crêtes et dans les talwegs et plus généralement dans les zones où les courbes isopièzes sont amenées à se resserrer, et la non prise en compte des informations géologiques (extension des différentes formations aquifères, existences de communications de type karstiques, etc.) par le système d'interpolation basé sur la seule information piézométrique.

La carte piézométrique construite correspond aux niveaux piézométriques observés durant la période de moyennes eaux dans les piézomètres longs correspondant au niveau saprolitique et périodotitique.

5.2 CARTE PIEZOMETRIQUE EN MOYENNES EAUX

5.2.1 NIVEAUX SAPROLITES/PERIDOTITES : PIEZOMETRES « LONGS »

La carte piézométrique présentée dans la figure 52 permet de visualiser la surface piézométrique du niveau saprolitique et périodotitique durant la période de moyennes eaux observées au début du mois de septembre 2011.

Cette carte piézométrique permet de repérer le sens et la direction des écoulements dans la nappe. Ainsi, il est possible de distinguer les zones de convergence (concentration des lignes d'écoulement) et les zones de divergence (dispersion des lignes d'écoulement). Sur la carte piézométrique, la direction et le sens des écoulements dans la nappe ont été matérialisés par des flèches bleues pour les écoulements correspondant à des axes de drainage important. Ailleurs, la direction et le sens des écoulements sont matérialisés par des flèches vertes (figure 53).

	Synthèse des observations piézométriques	<i>Révision : 00</i> <i>Avril 2012</i>
	Secteur de Goro	Page : 67 / 81

- Zones de divergence

On observe des zones de divergence de l'écoulement à différent endroit sur la zone couverte par la carte piézométrique. Ces zones de divergence sont caractérisées par des gradients hydrauliques relativement faibles et sont à mettre en relation avec des lignes de partage des eaux souterraines. La liste des zones de divergence couverte par la carte piézométrique est présentée ci-dessous :

- Dans la partie amont et centrale du secteur SMLT (zone 1 sur la carte présentée dans la figure 53).
- Entre la la KN1 et la KN2 au niveau de la branche Ouest de la KN2 (zone 2 sur la carte présentée dans la figure 53).
- Au niveau du dôme piézométrique qui sépare le bassin versant hydrogéologique de la Kwé Est et le bassin versant hydrogéologique de la Kwé Nord (zone 3 sur la carte présentée dans la figure 53).
- Au Nord de la zone couverte par la carte piézométrique, sur la limite de partage des eaux souterraines entre le bassin versant hydrogéologique du grand lac et le bassin versant hydrogéologique du creek de la plaine des lacs (partie méridionale de la plaine des lacs) (zone 4 sur la carte présentée dans la figure 53).
- Au Nord-Est de la zone couverte par la carte piézométrique, sur la ligne de partage des eaux souterraines à l'intersection entre le bassin versant hydrogéologique du Grand Lac, celui de la Kwé Bini et celui de la Kwé Nord (zone 5 sur la carte présentée dans la figure 53)
- Au niveau des différents dômes piézométriques situés le long de la ligne de partage des eaux souterraines entre les bassins versants hydrogéologiques de la Kwé Bini, Wadjana et le bassins versant hydrogéologique de la Kwé Nord (zone 6 sur la carte présentée dans la figure 53).

- Zones de convergence

Pour les zones de convergence rencontrées dans les secteurs couverts par la carte piézométrique, on peut distinguer celles qui s'expliquent par la présence de vallées encaissées ou de petits talwegs où se forme un réseau de drainage pour lequel on observe un écoulement pérenne et celles qui correspondent à de petits bassins versants endoréiques.

- Les axes drainants :

Parmi les axes drainants de la nappe du niveau saprolitique et péridotitique, on distingue ceux qui engendrent une augmentation importante du gradient hydraulique et ceux qui entraînent seulement une déviation des lignes d'écoulement sans augmentation spectaculaire du gradient hydraulique.

1^{er} cas de figure :

Le premier cas de figure est observé sur le versant nord de la vallée associée à la rivière de la Kwé Ouest et le long du versant Ouest de la vallée associée à la rivière de la Kwé Nord 1 (Zone A sur la carte présentée dans la figure 53). Ces deux versants correspondent à la zone d'interface entre le secteur de SMLT et les deux cours d'eau.

	Synthèse des observations piézométriques	Révision : 00 Avril 2012
	Secteur de Goro	Page : 68 / 81

Le premier cas de figure se rencontre également de part et d'autre des cours d'eau de la Kwé Nord 1, à partir de 500 m en amont de la confluence avec la Kwé Nord, sur les versants de part et d'autre de la Kwé Nord 2 (Zone B sur la carte présentée dans la figure 53).

L'augmentation du gradient hydraulique est encore plus visible et plus spectaculaire sur les versants nord et sud de la Kwé Est (secteur C et D sur la carte présentée dans la figure 53) et sur le versant Ouest de la Wadjana (zone E sur la carte présentée dans la figure 53).

En amont de la KN2 à l'extrémité nord du cours principal (zone F sur la carte présentée dans la figure 53).

2^{ème} cas de figure :

Le deuxième cas de figure est observé dans le secteur de KO4 correspondant à une vaste plaine dépourvue de vallées encaissées. Dans ce secteur les courbes isopièzes indiquent que les lignes d'écoulement convergent lentement vers un axe Nord-Ouest – Sud-Est. C'est dans ce secteur que l'on observe les gradients hydrauliques les plus faibles et en particulier dans la partie centrale de la plaine. Les chevrons formés par les courbes isopièzes indiquent l'emplacement de l'axe drainant. Cet axe drainant est décalé vers l'est par rapport à l'axe de la vallée (zone G sur la carte présentée dans la figure 53).

Dans les vallées encaissées de la Kwé ouest (Zone H sur la carte présentée dans la figure 53) dans la partie aval de la Kwé Est et Kwé Nord (Zone I sur la carte présentée dans la figure 53) et à mi-parcours de la KN2 (Zone J sur la carte présentée dans la figure 53).

- Les endoréiques :

Il y a deux bassins versants endoréiques couverts par la carte piézométrique. Il s'agit du bassin versant endoréique du Creek de la plaine des lacs connecté à la Kwé Nord 1 par un conduit karstique (Zone L sur la carte présentée dans la figure 53) et le bassin versant endoréique situé à l'Ouest de la Mine des Japonais et connecté à la rivière de la Truu par un conduit karstique (Zone M sur la carte présentée dans la figure 53). Pour ces deux bassins versants, les courbes isopièzes s'organisent de manière concentrique autour de la zone de capture du réseau hydrographique correspondant au point de départ du conduit karstique. Les lignes d'écoulement convergent toutes vers ce point.

5.2.2 NIVEAUX LATERITIQUES : PIEZOMETRES « COURTS »

La carte de la figure 54 montre la piézométrie mesurée dans les piézomètres « courts », donc la piézométrie de la nappe contenue dans l'horizon latéritique.

Selon le même principe que pour la carte précédente, elle permet de distinguer les zones de convergence (zones de drainage) et les zones de divergence, qui constituent des zones de stockage lorsque leur extension est importante et leur gradient piézométrique faible.

Les zones de divergence et de convergence s'avèrent globalement identiques à celles observées dans les horizons sous-jacents (saprolites). Elles ne sont donc pas commentées à nouveau.

On observe que les isopièzes recoupent la surface topographique dans la plupart des thalwegs et ravines, indiquant dans ces secteurs le drainage des eaux de cette nappe peu profonde vers les eaux superficielles. Dans les zones de fortes pentes, l'intersection de la surface piézométrique avec la surface topographique génère l'apparition de ravines et lavakas ; c'est le cas notamment sur les

	Synthèse des observations piézométriques	<i>Révision : 00</i> <i>Avril 2012</i>
	Secteur de Goro	Page : 69 / 81

versants en rive gauche de la Kwé Ouest (zone A sur la carte présentée dans la figure **55**) et sur les versants en rive droite de la Kwé Est (zone B sur la carte présentée dans la figure **55**).

Il apparaît également, sur le secteur Est, des piézomètres implantés sur les reliefs où le niveau de nappe s'éloigne sensiblement du terrain naturel (profondeurs allant jusqu'à 20 m). A l'Ouest de l'axe de drainage constitué par la Kwé Nord, la profondeur de la nappe des latérites est généralement plus faible, inférieure à 7 m au Nord-Ouest des reliefs bordant la Kwé Ouest et la Kwé Nord (zone C sur la carte présentée dans la figure **55**). On remarque en particulier qu'elle est sub-affleurante sur la majeure partie de la zone KO4 (zone D sur la carte présentée dans la figure **55**).

Dans le secteur de KO4 matérialisé sur la carte précédente, on remarque pour la carte piézométrique des latérites que l'axe drainant est moins marqué. Contrairement au niveau saprolitique, dans ce secteur, l'axe drainant de la latérite est positionné au centre de la vallée.

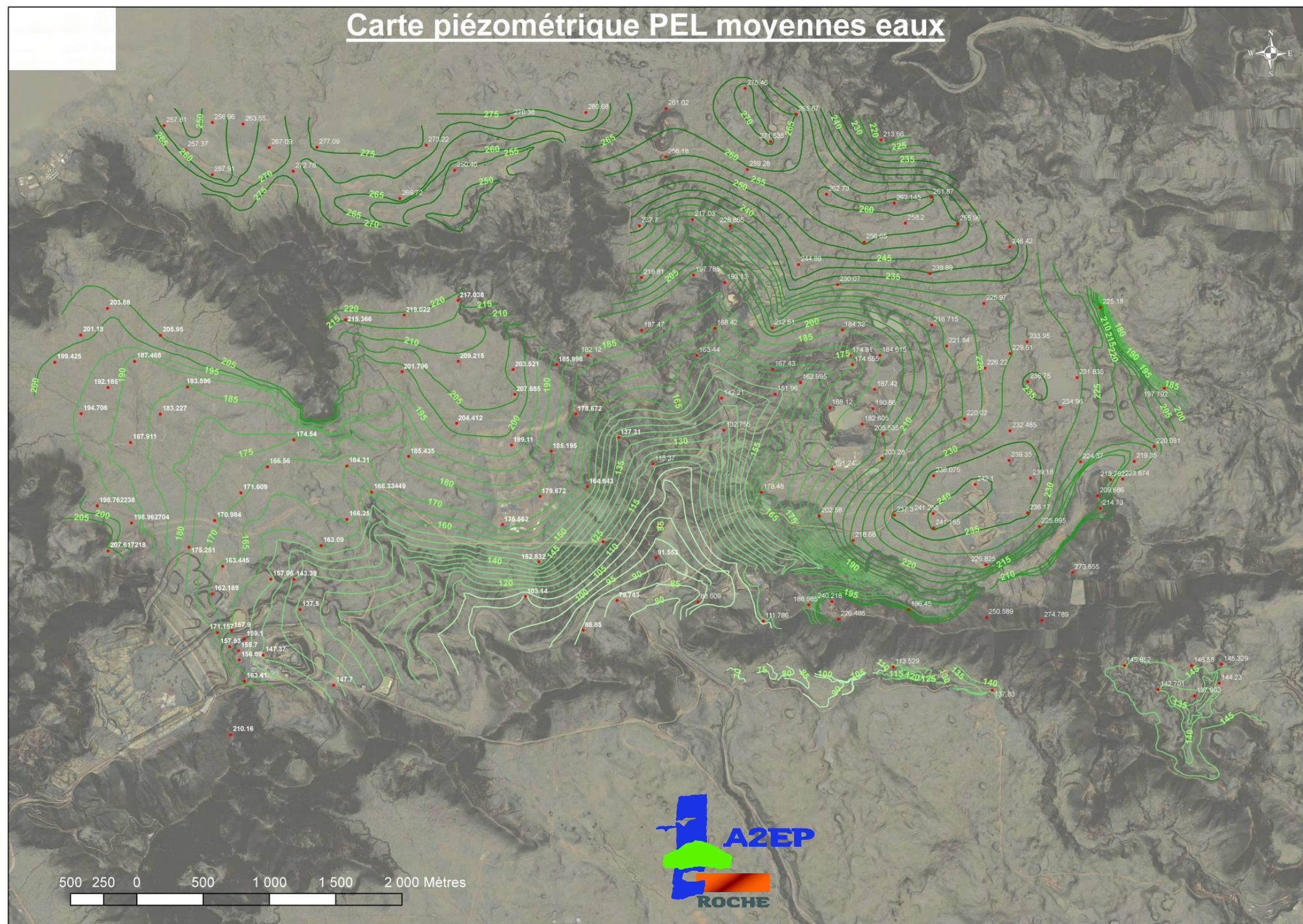


Figure 52 : Carte piézométrique issue des observations piézométriques dans les niveaux saprolitique et péridotitique (Piézomètres longs)

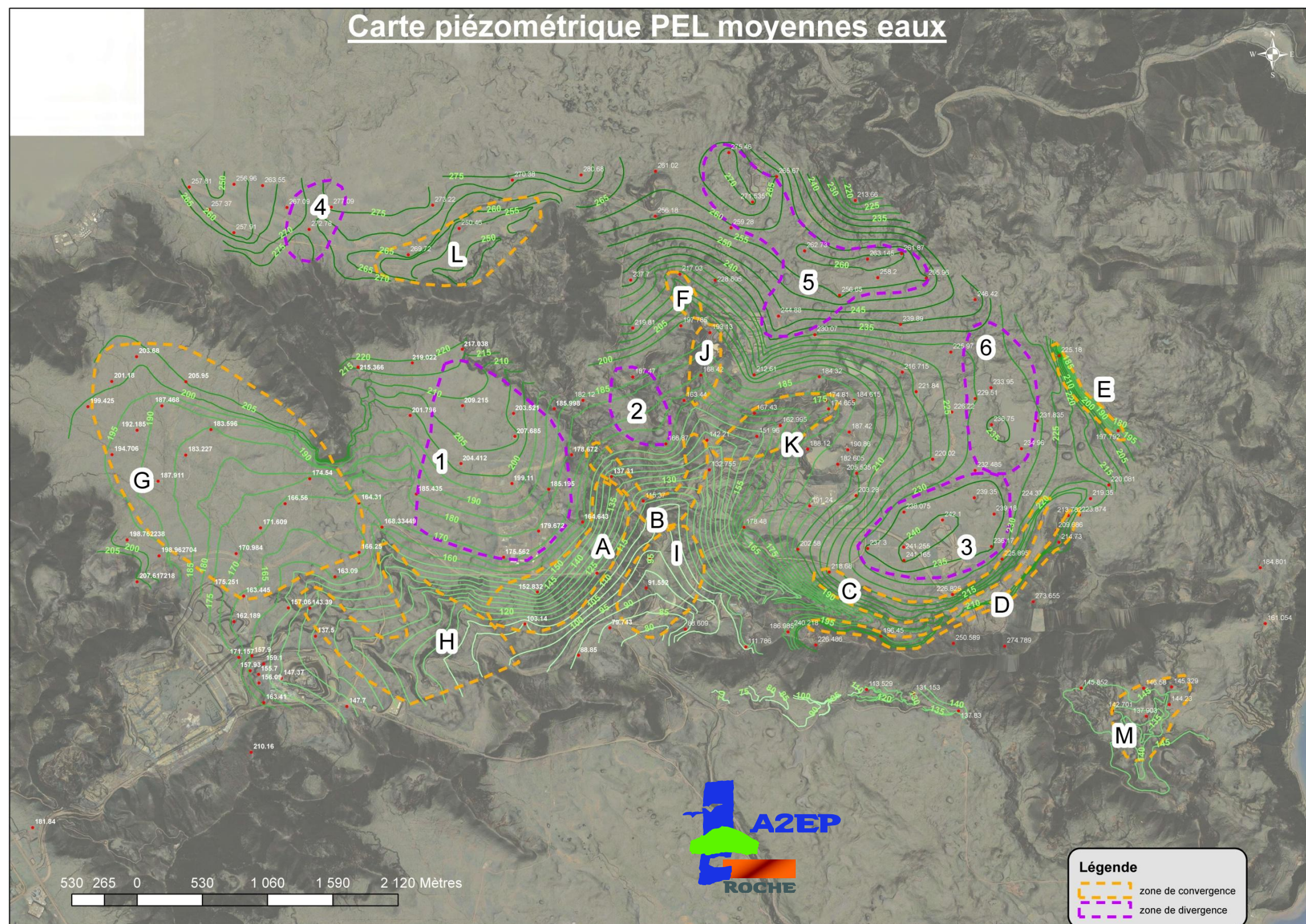


Figure 53 : Présentation des sens et directions des écoulements (flèches vertes et bleues) et des zones de convergence et de divergence d'après la carte piézométrique issue des observations piézométriques dans les niveaux saprolitique et péridotitique

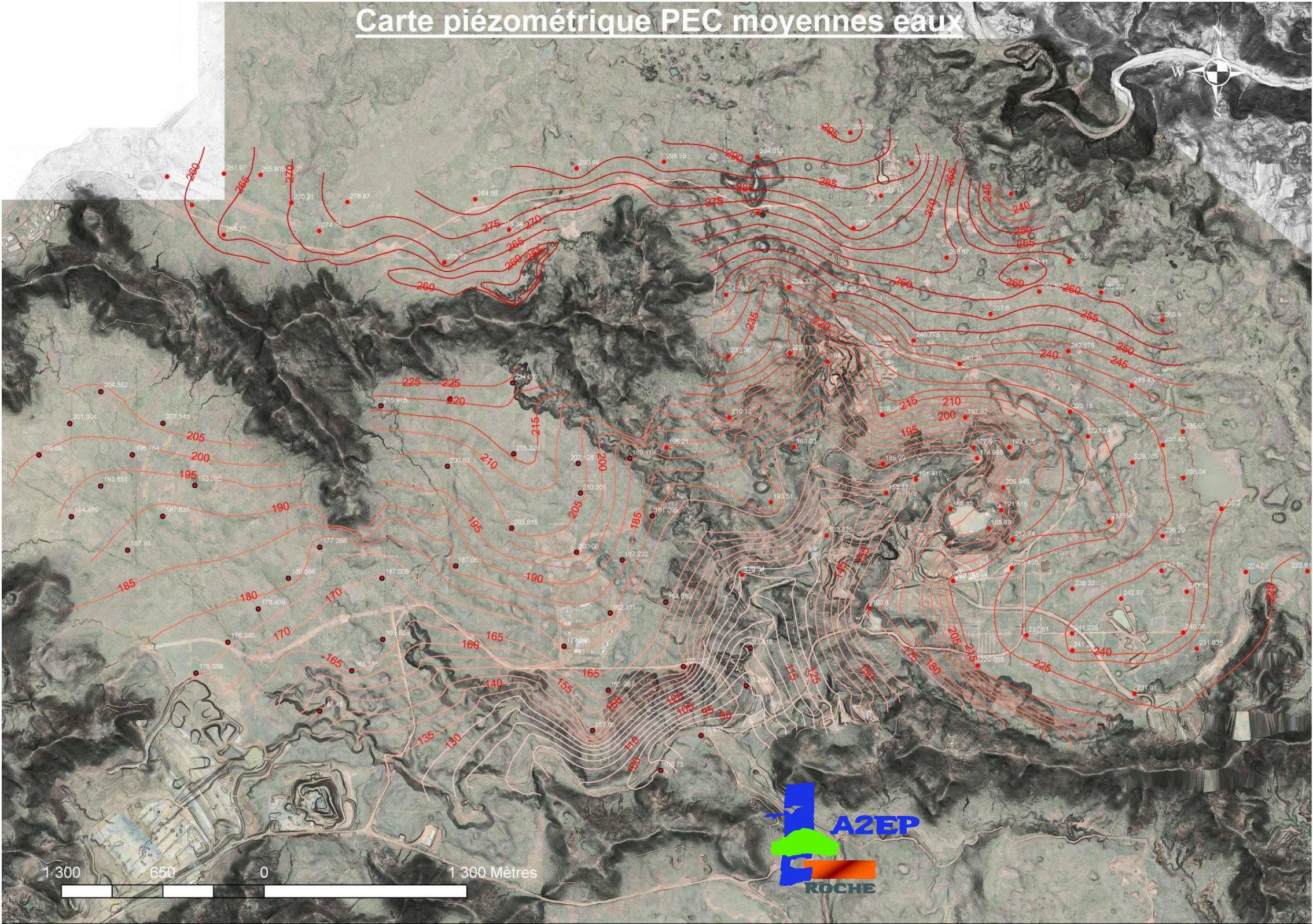


Figure 54 : Carte piézométrique du compartiment latéritique

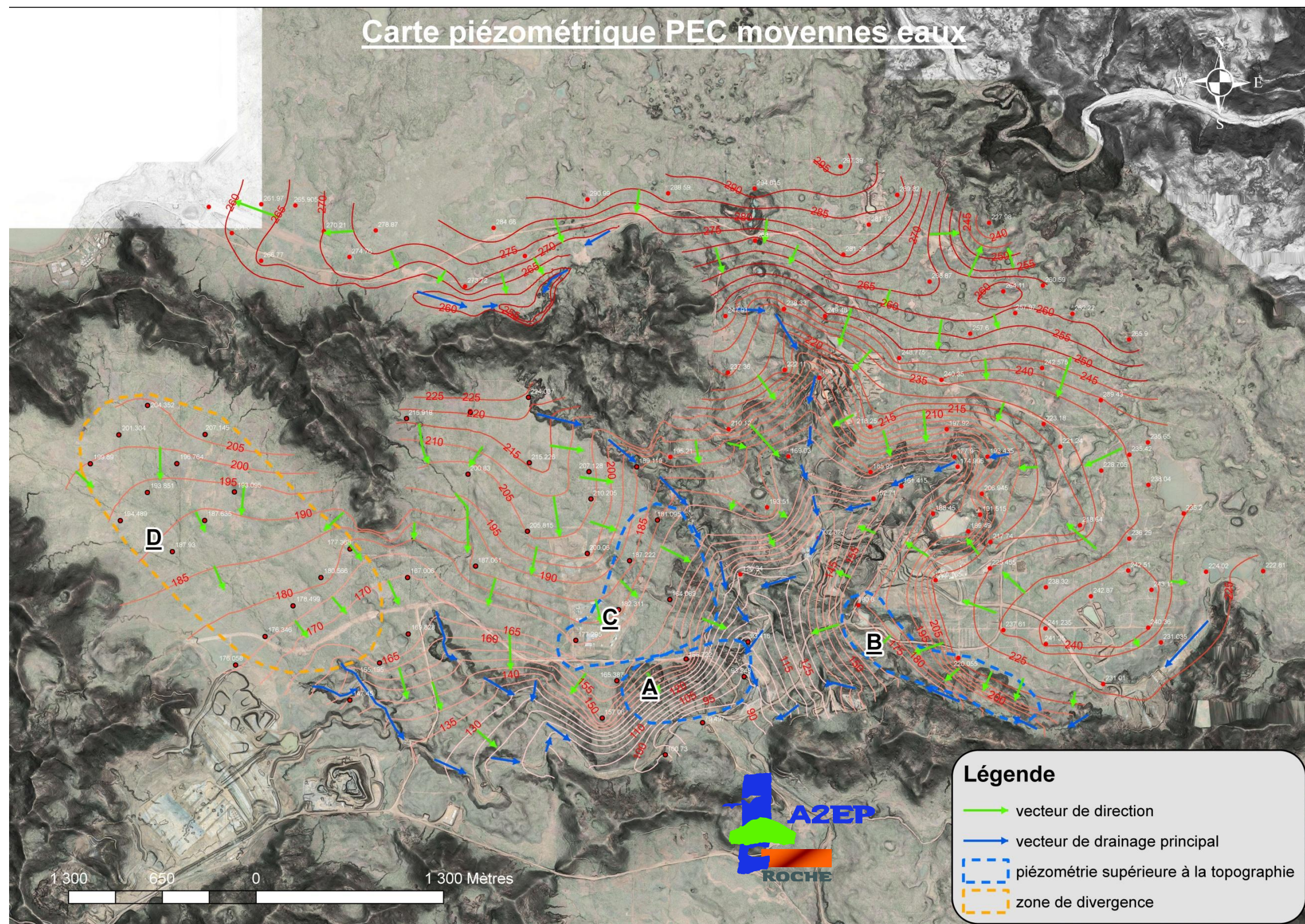


Figure 55 : Carte piézométrique du compartiment latéritique avec l'analyse des zones de convergence et de divergence

	Synthèse hydrogéologique	Révision : 00
	Secteur de Goro	Avril 2012 Annexes

ANNEXES

Annexe 1

Statistiques descriptives des chroniques piézométriques sur le secteur de KO4

PEC Latérite

	10EX0187	10EX0193	10EX0197	10EX0201	10EX0204	10EX0206	10EX0208
Niveau min	183,86	186,79	189,50	144,02	188,17	188,66	181,47
Niveau max	196,38	201,72	203,00	149,11	205,65	198,10	188,47
Niveau moyen	191,72	195,98	197,95	146,22	199,15	194,59	186,32
Médiane	192,27	196,79	199,70	146,18	200,28	194,88	186,88
Écart type	2,22	4,48	4,07	1,29	5,40	2,52	1,75
Variance	4,92	20,11	16,53	1,66	29,20	6,37	3,05

	10EX0210	10EX0211	10EX0212	10EX0215	10EX0216	10EX0217	10EX0220
Niveau min	174,90	178,02	175,80	166,27	161,44	171,92	201,28
Niveau max	178,91	181,97	182,44	172,15	167,20	177,09	208,62
Niveau moyen	177,54	179,88	179,02	169,17	164,34	175,36	205,35
Médiane	177,62	179,92	179,27	169,21	164,56	175,89	206,06
Écart type	1,04	0,83	1,65	1,25	1,37	1,28	2,33
Variance	1,09	0,69	2,74	1,56	1,88	1,64	5,43

	10EX0224	10EX0226	10EX0228
Niveau min	185,01	180,66	184,54
Niveau max	194,84	188,32	195,14
Niveau moyen	191,92	186,66	192,03
Médiane	193,32	187,68	193,19
Écart type	2,55	1,90	2,97
Variance	6,50	3,60	8,80

 VALE NC	Synthèse hydrogéologique	Révision : 00 Avril 2012
	Secteur de Goro	Annexes

Statistiques descriptives des chroniques piézométriques sur le secteur de KO4

PEL Sapolite/Péridotite

	10EX0067	10EX0159	10EX0161	10EX0162	10EX0190	10EX0198	10EX0199
Niveau min	159,52	153,31	156,15	160,82	184,67	180,95	178,50
Niveau max	164,27	171,35	180,74	168,22	201,58	202,61	199,72
Niveau moyen	162,20	162,95	168,98	165,13	194,85	195,51	191,05
Médiane	162,41	163,04	169,80	165,39	195,61	197,12	191,85
Écart type	1,29	5,35	7,35	2,26	4,95	5,92	6,33
Variance	1,67	28,61	54,02	5,09	24,47	35,06	40,01

	10EX0200	10EX0205	10EX0207	10EX0209	10EX0214	10EX0218	10EX0219
Niveau min	138,48	173,19	169,66	169,34	182,69	163,34	184,56
Niveau max	145,55	190,38	186,22	187,47	195,87	173,11	209,07
Niveau moyen	141,93	183,11	179,22	179,31	191,22	168,91	198,39
Médiane	142,07	183,84	179,95	180,00	192,27	169,28	198,68
Écart type	1,99	4,89	4,68	5,12	3,70	2,66	7,09
Variance	3,96	23,95	21,90	26,22	13,65	7,10	50,21

	10EX0221	10EX0222	10EX0223
Niveau min	165,33	178,53	179,17
Niveau max	174,41	193,25	188,26
Niveau moyen	169,96	188,10	186,14
Médiane	170,11	189,35	187,25
Écart type	2,52	4,44	2,38
Variance	6,33	19,67	5,67

 VALE NC	Synthèse hydrogéologique	Révision : 00 Avril 2012
	Secteur de Goro	Annexes

Statistiques descriptives des chroniques piézométriques sur le secteur de SMLT

PEC Latérite

	09EX9_B	9EX13	9EX17	9EX0023	9EX0025	09EX0025_T	9EX0028
Niveau min	208,14	187,78	212,72	198,76	179,69	182,27	146,60
Niveau max	211,04	194,16	218,10	206,83	182,97	183,00	160,69
Niveau moyen	209,82	189,88	214,38	205,19	181,65	182,69	155,06
Médiane	209,98	189,42	214,48	205,08	181,72	182,70	155,52
Écart type	0,55	1,51	0,77	0,63	0,83	0,22	3,67
Variance	0,30	2,27	0,59	0,39	0,69	0,05	13,44

	9EX0029	9EX0030	9EX0034	9EX0039	9EX0041	9EX0044	9EX0048
Niveau min	175,74	92,90	91,64	200,00	148,63	139,74	186,04
Niveau max	178,73	94,29	95,40	201,79	163,62	145,92	188,62
Niveau moyen	176,56	93,44	93,28	200,16	157,77	141,50	186,93
Médiane	176,46	93,40	93,24	200,11	158,35	141,06	186,89
Écart type	0,56	0,16	0,26	0,19	2,82	1,47	0,47
Variance	0,31	0,03	0,07	0,04	7,95	2,16	0,22

	9EX0058	9EX0059	9EX0074	9EX0078	9EX0079
Niveau min	78,80	218,56	217,58	214,77	194,88
Niveau max	80,20	226,08	225,73	219,05	201,97
Niveau moyen	79,31	222,92	222,30	216,41	198,97
Médiane	79,23	223,45	222,48	216,27	199,23
Écart type	0,35	1,87	2,29	1,35	2,08
Variance	0,12	3,48	5,27	1,82	4,34

	Synthèse hydrogéologique	Révision : 00
	Secteur de Goro	Avril 2012 Annexes

Statistiques descriptives des chroniques piézométriques sur le secteur de SMLT

PEL Saprolite/Péridotite

	9EX0007	9EX12	9EX15	9EX18	9EX0022	09EX0022_T	9EX0026
Niveau min	204,93	181,03	204,25	202,29	176,99	172,51	118,59
Niveau max	208,41	192,25	210,55	205,26	180,83	180,88	121,66
Niveau moyen	206,99	185,99	207,78	203,81	179,26	179,35	119,98
Médiane	207,08	186,19	207,83	203,79	179,47	179,66	119,47
Écart type	0,85	2,12	1,65	0,72	0,89	0,95	1,07
Variance	0,73	4,48	2,73	0,51	0,80	0,89	1,15

	9EX0027	9EX0031	9EX0037	9EX0038	9EX0040	9EX0045	9EX0047
Niveau min	92,59	91,02	198,56	100,10	134,97	183,69	174,32
Niveau max	93,99	92,28	199,75	105,65	140,79	187,18	176,37
Niveau moyen	93,17	91,53	199,07	102,56	137,16	185,21	175,26
Médiane	93,13	91,49	199,06	102,46	137,29	185,18	175,20
Écart type	0,20	0,24	0,26	1,58	1,26	0,73	0,51
Variance	0,04	0,06	0,07	2,49	1,59	0,53	0,26

	9EX0050	9EX0051	9EX0054	9EX0070	9EX0073	9EX0075	10EX0182
Niveau min	87,05	211,92	79,11	200,68	172,26	200,05	201,30
Niveau max	91,33	218,82	81,02	224,15	185,87	220,44	223,86
Niveau moyen	88,66	216,30	79,72	213,98	180,47	212,16	213,25
Médiane	88,54	216,60	79,60	213,74	181,46	213,20	212,62
Écart type	1,16	1,54	0,46	6,60	4,39	5,59	6,39
Variance	1,35	2,36	0,21	43,54	19,24	31,27	40,85

 VALE NC	Synthèse hydrogéologique	Révision : 00 Avril 2012
	Secteur de Goro	Annexes

Statistiques descriptives des chroniques piézométriques sur le secteur de FM25

PEC Latérite

	10EX0227	10EX0235	10EX0237	10EX0239	10EX0249	10EX0298	10EX0301
Niveau min	190,32	227,97	256,30	258,93	222,77	266,46	227,55
Niveau max	199,10	232,75	268,44	272,81	225,36	288,05	233,61
Niveau moyen	194,42	230,44	261,61	264,85	223,25	282,84	230,65
Médiane	195,49	230,79	261,29	265,43	223,19	284,19	230,82
Écart type	1,85	1,13	2,56	3,72	0,26	5,40	1,52
Variance	3,42	1,27	6,58	13,83	0,07	29,18	2,31

	10EX0303	10EX0304	10EX0306	10EX0319	10EX0339	10EX0343	10EX0360
Niveau min	229,78	266,60	260,94	221,00	185,61	187,02	216,93
Niveau max	244,41	269,85	264,69	242,63	190,42	189,76	225,63
Niveau moyen	242,90	268,48	263,93	240,01	189,31	187,97	219,66
Médiane	243,01	268,66	263,99	239,97	189,29	187,91	219,71
Écart type	1,04	0,61	0,38	1,12	0,38	0,56	1,38
Variance	1,08	0,38	0,14	1,26	0,14	0,31	1,91

	10EX0369	10EX0371	10EX0372	11EX0362	11EX0363	11EX0365	11EX0367
Niveau min	218,16	234,90	236,97	172,75	231,56	209,78	237,41
Niveau max	220,77	236,93	238,46	182,48	242,09	221,96	240,04
Niveau moyen	218,61	235,79	237,79	180,76	241,16	217,51	238,29
Médiane	218,56	235,73	237,84	180,67	241,30	217,43	238,26
Écart type	0,30	0,31	0,33	0,45	0,43	3,37	0,35
Variance	0,09	0,09	0,11	0,21	0,18	11,34	0,12

	11EX0405
Niveau min	270,57
Niveau max	279,73
Niveau moyen	273,18
Médiane	273,72
Écart type	2,36
Variance	5,55

 VALE NC	Synthèse hydrogéologique	Révision : 00 Avril 2012
	Secteur de Goro	Annexes

Statistiques descriptives des chroniques piézométriques sur le secteur de FM25

PEL Saprolite/Péridotite

	9GH01	9GH0003	9GH0004	9GH0006	9GH0007	9GH9	9GH13
Niveau min	210,27	194,02	207,63	159,73	149,78	140,66	134,75
Niveau max	226,35	200,42	217,11	171,16	161,77	156,98	147,58
Niveau moyen	221,84	197,18	212,80	166,29	156,82	146,32	141,48
Médiane	224,09	197,34	213,31	168,43	158,64	146,10	141,59
Écart type	5,29	2,05	2,55	4,20	3,45	4,46	3,45
Variance	27,95	4,22	6,49	17,63	11,91	19,92	11,91

	10EX0225	10EX0232	10EX0234	10EX0238	10EX0247	10EX0289	10EX0296
Niveau min	177,32	223,34	234,75	243,02	214,36	237,10	245,29
Niveau max	195,66	228,57	259,41	248,96	218,09	240,08	274,13
Niveau moyen	188,26	225,73	252,74	245,13	216,07	238,81	255,46
Médiane	188,24	225,85	253,37	245,30	215,94	239,01	253,35
Écart type	4,89	1,34	4,22	1,24	0,91	0,70	8,22
Variance	23,93	1,79	17,78	1,53	0,83	0,49	67,50

	10EX0299	10EX0302	10EX0305	10EX0315	10EX0317	10EX0318	10EX0322
Niveau min	222,60	260,52	261,66	239,74	226,57	216,96	173,19
Niveau max	228,01	263,58	263,70	241,77	231,44	220,54	181,40
Niveau moyen	225,37	262,23	262,68	240,94	229,11	218,34	178,29
Médiane	225,43	262,34	262,74	241,08	229,37	218,30	178,08
Écart type	1,33	0,75	0,54	0,43	1,28	0,80	1,14
Variance	1,77	0,56	0,29	0,18	1,63	0,64	1,30

	10EX0330	10EX0332	10EX0334	10EX0341	10EX0342	10EX0344	10EX0368
Niveau min	184,05	232,33	179,71	235,51	186,93	161,15	219,10
Niveau max	198,18	234,48	184,12	237,98	190,37	164,87	220,85
Niveau moyen	190,97	233,86	181,81	236,43	187,90	162,58	219,85
Médiane	191,82	233,91	181,84	236,49	187,87	162,37	219,85
Écart type	4,14	0,32	1,15	0,35	0,60	0,87	0,41
Variance	17,13	0,10	1,33	0,12	0,36	0,75	0,16

 VALE NC	Synthèse hydrogéologique	Révision : 00 Avril 2012
	Secteur de Goro	Annexes

Statistiques descriptives des chroniques piézométriques sur le secteur de FM25 (suite)

PEL Sapolite/Péridotite

	11EX0366	11EX0403	11EX0404	TBH029	TBH031	TBH038	TBH043
Niveau min	236,94	270,09	245,41	239,39	237,54	237,52	223,58
Niveau max	238,99	274,44	252,91	240,55	277,41	281,61	223,96
Niveau moyen	237,89	272,24	246,98	239,81	247,81	266,42	223,87
Médiane	237,95	272,11	246,54	239,84	247,58	272,18	223,87
Écart type	0,42	1,53	1,34	0,21	5,96	12,87	0,05
Variance	0,17	2,33	1,79	0,04	35,56	165,60	0,00

	TBH049	TBH054	TBH072	TBH098	TBH108	TBH109
Niveau min	212,95	255,82	64,27	111,81	107,31	98,73
Niveau max	217,47	302,52	104,15	145,72	137,53	117,51
Niveau moyen	214,49	276,09	85,22	136,60	129,08	113,33
Médiane	214,38	275,62	87,69	135,74	128,33	113,38
Écart type	0,64	8,72	6,25	3,80	4,25	0,62
Variance	0,42	76,12	39,09	14,44	18,07	0,38

	Synthèse des observations piézométriques	<i>Révision : 00</i> <i>Avril 2012</i>
	Secteur de Goro	

OBSERVATIONS SUR L'UTILISATION DU RAPPORT

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des indications et énonciations de la société A2EP ne saurait engager la responsabilité de celle-ci.

Les conclusions du présent rapport sont valables pour une durée maximum de deux ans, sous réserve de l'absence de modifications ou travaux concernant la zone du projet ou ses avoisinants. Au-delà ou en cas de modifications ou travaux concernant la zone du projet ou ses avoisinants, nous vous recommandons de faire réaliser par un bureau d'étude spécialisé une mission visant à évaluer les éventuelles évolutions des conditions géologiques et environnementales et leurs conséquences sur le projet.