

# Détails du modèle hydrogéologique

Perseus Yaouré Sarl



## Feuille De Contrôle De Document

<b>Client</b>	
Perseus Yaouré Sarl	
<b>Nom du rapport</b>	<b>Date</b>
Détails du modèle hydrogéologique	1 Décembre 2017
<b>Job No.</b>	<b>Revision No.</b>
ADV-CA-00022	
<b>Nom du fichier:</b>	
02 Description du Projet Rev 03 FINAL	

<b>Autorisation</b>			
<b>Nom</b>	<b>Position</b>	<b>Signature</b>	<b>Date</b>
Préparé par :			
Revu par :			
Approuvé par :			

<b>Distribution</b>				
<b>Organisation</b>	<b>Bénéficiaire</b>	<b>No. de copies Physiques</b>	<b>No. de copies électronique</b>	<b>Commentaires</b>

## INFORMATIONS IMPORTANTES SUR CE DOCUMENT

Ce rapport est encore à l'état de projet et a été préparé aux fins d'examen. Les aspects de ce rapport peuvent être sujets à changement et / ou peuvent être incomplets ou requérir d'autres contributions de RPM ou du Client. Par conséquent, aucun contenu ou constatation du présent rapport ne peut être considéré comme final ou définitif et peut faire l'objet d'amendement et / ou de modifications importantes à la suite de cet examen. Ce projet de rapport ne doit pas être utilisé de quelque manière que ce soit ou être présenté comme final ou divulgué à un tiers sans l'approbation préalable de RPM.

<Utiliser le ruban pour insérer un texte de clause de non-responsabilité>

## Table des Matières

1. GESTION DE L'EAU .....	6
1.1 Aperçu .....	6
1.2 Introduction .....	7
1.3 Programme d'étude hydrologique et hydrogéologique .....	7
1.3.1 Révision des données .....	7
1.3.2 Enquête hydrogéologique sur le terrain .....	8
1.4 Hydrologie .....	10
1.4.1 Données météorologiques .....	10
1.4.2 Flux de la rivière .....	12
1.4.3 Qualité de l'eau de surface .....	13
1.4.4 Définition et caractéristiques du bassin versant .....	15
1.4.5 Évaluation de l'écoulement des précipitations .....	16
1.5 Hydrogéologie .....	16
1.5.1 Niveaux d'eau souterraine .....	16
1.5.2 Qualité de l'eau souterraine .....	17
1.5.3 Données de paramètres hydrauliques .....	17
1.6 Modèle hydrologique et hydrogéologique conceptuel .....	19
1.6.1 Modèle hydrologique conceptuel .....	19
1.6.2 Modèle hydrogéologique conceptuel .....	19
1.7 Modélisation numérique des eaux souterraines .....	20
1.7.1 Entrées d'eaux souterraines dans les fosses .....	21
1.7.2 Impact de l'assèchement des fosses sur les puits du village .....	24
1.7.3 Incertitude de prévision .....	25
1.8 Gestion de l'eau de surface .....	26
1.8.1 Informations sur le cas de base .....	26
1.8.2 Examen de la gestion des eaux de surface .....	26
1.8.3 Modélisation de l'eau de surface, flux de conception et risque d'inondation .....	28
1.9 Stratégie d'assèchement des puits .....	31
1.9.1 Stratégie de déshydratation .....	31
1.9.2 Conception du système d'assèchement .....	32
1.9.3 Volumes annuels d'assèchement des fosses .....	34
1.10 Programme de surveillance de l'eau .....	35

1.10.1 Surveillance météorologique .....	35
1.10.2 Surveillance de l'eau de surface .....	35
1.10.3 Surveillance des eaux souterraines .....	35
1.10.4 Gradient souterrain de surveillance d'eau du parc à résidus .....	36
1.11 Risques et opportunités de gestion de l'eau .....	37
1.11.1 Risques .....	37
1.11.2 Opportunités .....	39
1.12 Conclusions .....	40
1.13 Recommandations et portée additionnelle des travaux .....	41

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Zone de la mine: Résumé du test de pompage .....	9
Tableau 2 : Intensité-fréquence-durée .....	11
Tableau 3 : Périodes de stress des modèles d'eaux souterraines .....	21
Tableau 4 : Volumes d'arrivée de fosse finale prévus pour un événement de retour de 100 heures sur 24 heures .....	32
Tableau 5 : Exigences de bassin de pompage et de sédimentation d'assèchement de fosse (3-5 jours) .....	33
Tableau 6 : Exigences relatives au bassin de pompage et de sédimentation de l'assèchement des fosses (7 jours) .....	33
Tableau 7 : Exemples et coûts de la pompe d'assèchement de la fosse .....	33
Tableau 8 : Entrées annuelles moyennes des puits (m <sup>3</sup> ) .....	34

## Liste des figures

Figure 1 : Scénario 1: Entrées d'eau souterraine dans la fosse (puisards dans la fosse seulement) .....	22
Figure 2 : Scénario 2: Entrées d'eau souterraine dans la fosse (puisards dans la fosse) et forage d'assèchement .....	23
Figure 3 : Rabattement de la nappe phréatique des puits du village .....	25
Figure 4 : Emplacements de surveillance des eaux de surface .....	44
Figure 5 : Lieux de surveillance des eaux souterraines .....	45
Figure 6 : Hydrogrammes des niveaux d'eau souterraine .....	46
Figure 7 : Section du modèle conceptuel .....	47
Figure 8 : Développement des puits - Périodes de stress .....	48
Figure 9 : Prédiction du niveau d'eau souterraine prévu .....	49
Figure 10 : Coupe transversale du niveau d'eau final de la fosse .....	50
Figure 11 : Plan de gestion de l'eau de surface du site .....	51
Figure 12 : Plan d'assèchement des puits .....	52

## 1. GESTION DE L'EAU

### 1.1 Aperçu

Les aspects hydrologiques et hydrogéologiques du projet Yaouré semblent relativement simples et, avec l'adoption d'une gestion appropriée de l'eau du site, ne devraient pas poser de problèmes majeurs pour le projet.

Des tempêtes importantes se produisent dans la zone du projet de Yaouré et conduiront occasionnellement à des débits de pointe élevés à court terme dans les différents bassins versants du site et entraîneront des apports de fosse induits par le ruissellement des précipitations. Les débits de pointe des eaux de ruissellement de surface sont estimés à environ 26 m<sup>3</sup> / s pour les périodes de précipitations critiques de la période de retour de 100 ans pour les plus grandes zones de captage situées dans l'empreinte de la mine. Des débits de cette ampleur nécessiteront une gestion appropriée, y compris la construction d'un drain de dérivation de taille appropriée autour des infrastructures clés du site.

Le ruissellement des eaux de surface provenant des bassins versants perturbés sur le site (intrastructure, décharge de stériles, etc.) nécessitera une gestion pour réduire les sédiments en suspension dans les eaux de ruissellement avant leur évacuation du site. Les eaux de ruissellement perturbées se déverseront du site par des bassins de sédimentation, mais des mesures d'atténuation supplémentaires peuvent être mises en œuvre dans le bassin de drainage en amont, comme les bassins de retenue et les bassins de retenue dans le chenal, au besoin.

Un programme de forage hydrogéologique et d'essais hydrauliques spécialement ciblé a fait progresser la compréhension hydrogéologique de la zone du projet Yaouré. Les essais hydrauliques complétés suggèrent que la perméabilité des couches dans la zone du projet Yaouré est généralement faible, bien qu'il existe des zones isolées de perméabilité modérée. Les apports d'eau souterraine de la fosse totale sont estimés jusqu'à un maximum de 55L / s (pendant la période d'exploitation minière la plus intensive, en supposant que l'assèchement actif de toutes les fosses).

L'assèchement de la fosse devrait être réalisé principalement par pompage dans le puisard, bien que les trous d'assèchement ex-puits ciblant les structures perméables (par exemple la partie nord de la structure CMA) sont une option si cela est jugé avantageux.

Les principaux risques potentiels du projet associés à la gestion de l'eau comprennent l'impact de l'assèchement de la mine sur les puits d'approvisionnement en eau du village voisin; la contamination locale des eaux souterraines et des eaux de surface par suite de d'écoulement ou de débordement provenant du parc à résidus; une gestion inadéquate de l'eau du site entraînant le déversement d'eau contaminée dans l'environnement naturel et / ou l'inondation du site minier et des fosses; l'inondation des fosses pendant et / ou après de grands événements de tempête ou associée à l'interception de zones de haute transmissivité; et l'instabilité de la paroi de la fosse due aux pressions élevées de l'eau interstitielle dans les parois de la fosse.

## 1.2 Introduction

Une étude de gestion de l'eau (hydrologie et hydrogéologie) a été réalisée dans le cadre du projet Etude de Faisabilité Définitive (EFD) Yaouré. Les résultats de l'étude sur la gestion de l'eau sont présentés dans cette section du rapport.

L'approche de l'évaluation était la suivante :

- Examiner et analyser tous les travaux hydrologiques / hydrogéologiques achevés à ce jour ;
- Élaborer un modèle hydrologique / hydrogéologique conceptuel pour la zone du projet Yaouré sur la base du niveau actuel de compréhension ;
- Identifier les principales lacunes dans les données hydrologiques / hydrogéologiques disponibles, ce qui pourrait entraîner une incertitude ou un risque en ce qui concerne les aspects de la gestion de l'eau du projet ;
- Étudier tout travail hydrologique / hydrogéologique supplémentaire nécessaire pour combler les lacunes dans les données liées à la gestion de l'eau, l'incertitude et / ou les risques identifiés au niveau des parcs à résidus ;
- Développer des estimations du ruissellement des précipitations pour les bassins versants du site basés sur les plans actuels des puits, les plans d'infrastructure du site, les données topographiques Lidar et les caractéristiques des bassins versants ;
- Élaborer des plans de gestion de l'eau de surface pour tenir compte des estimations du ruissellement pluvial prévues.
- Élaborer des estimations du taux d'entrée des puits d'eau souterraine en fonction des plans de mine actuels et des données hydrogéologiques disponibles ;
- Élaborer un système d'assèchement de la mine et une stratégie fondée sur le ruissellement pluvial prévu et les apports d'eau souterraine dans les fosses en fonction du plan minier actuel ;
- Identifier les risques et les opportunités du projet du point de vue de la gestion de l'eau.

## 1.3 Programme d'étude hydrologique et hydrogéologique

### 1.3.1 Révision des données

Un examen de toutes les données hydrologiques et hydrogéologiques de base disponibles pour la zone du projet Yaouré a été réalisé dans le cadre du parc à résidus. Les documents clés suivants ont été examinés en combinaison avec toutes les données hydrologiques et hydrogéologiques supplémentaires disponibles :

- Étude de faisabilité préliminaire (EFP) complétée par Amara en juillet 2015 (principalement l'annexe J: Rapport hydrologique AMEC et l'annexe K: Rapport de géochimie AMEC).
- L'évaluation de l'impact social sur l'environnement (EIES) a été achevée en juin 2015 (principalement l'annexe 23: Plan de gestion et de surveillance de l'eau d'AMEC et l'annexe 7: Base de référence des sols et des capacités du SSE).

- Évaluation des risques réalisée par Perseus Mining Limited (PML) en avril 2016.

### 1.3.2 Enquête hydrogéologique sur le terrain

Une étude hydrogéologique spécifique a été réalisée dans le cadre de l'étude de faisabilité définitive (EFD) de Yaouré entre mai et juillet 2017, incluant le forage ciblé, l'installation et les essais hydrauliques. Les objectifs de l'étude de terrain étaient de déterminer les valeurs de perméabilité appropriées à adopter et d'autres évaluations hydrogéologiques (y compris la modélisation des eaux souterraines), afin d'examiner les propriétés hydrauliques des principales structures géologiques présentes et d'évaluer la connexion hydraulique potentielle entre le site minier et les plans d'eau de surface avoisinants.

Zone de la mine - forage, installation et pompage d'essai

Six trous d'exploration hydrogéologiques ont été forés en mai 2017 dans le voisinage de la fosse, avec des emplacements choisis à l'extérieur de l'empreinte actuelle de la fosse, dans la mesure du possible. Les nouveaux trous ont ciblé des structures géologiques clés et des zones de contacts qui ont été identifiées comme des voies potentielles d'écoulement préférentiel des eaux souterraines. Les six nouveaux trous étaient les suivants:

- Le sondage 1 - YRC1155 (220995mE 776960mN, 80m de profondeur) ciblait la structure S1 entre les fosses Yaouré et CMA;
- Le sondage no 2 - YRC 1156 (221385mE, 776535mN, profondeur de 120m) ciblait la partie sud du gisement CMA;
- Le sondage 3 - YRC 1157 (221755mE 777035mN, 120m de profondeur) ciblait l'extrémité est de la structure S6. ;
- Le sondage 4 - YRC1159 (220915mE 777635mN, 130m de profondeur) et le sondage 5 - YRC1160 (220875mE 777685mE, 130m de profondeur) ont ciblé le contact faillé plongeant vers le nord entre les volcanoclastiques et le basalte. Ces trous visaient également l'extension nord-ouest de la minéralisation des structures de CMA;
- Le sondage 6 - YRC1158 (221385mE 777819mN) a ciblé le contact volcanoclastique / basalte sur la faille marginale interprétée du nord-est du bassin de percussion.

Des six trous forés seulement le trou 4 (YRC1159) qui a intercepté la CMA et le trou 6 (YRC1158) qui a intercepté le contact volcanoclastique / basalte a renvoyé tout débit d'eau significatif, avec des rendements de 1,84L / s et 1L / s profondeur dans les trous 4 et 6, respectivement.

Les conclusions tirées du programme de forage étaient les suivantes:

- Les structures S1 et S6 et la partie sud de la structure de CMA ne semblent pas être des voies d'écoulement préférentielles des eaux souterraines;
- La partie nord de la structure de de CMA et le contact volcanoclastique / basalte semblent présenter un certain degré d'écoulement de l'eau souterraine.

Sur la base du potentiel hydrique identifié au trou 4 (YRC1159), un forage de production et un forage d'observation ont été installés à cet endroit. YRC1171 (220910mE 777634mN; 130m de profondeur) a été foré à environ 4 m du trou initial (trou 4) et a donné un débit d'environ 0,5 L / s à la profondeur finale. Le forage YRC1171WO a été complété à 130m de profondeur.

D'après le résultat du forage aérien au trou 6 (YRC1158), un autre trou d'exploration, YRC1172 (221364mE 777839mN, 120m de profondeur), a été foré à environ 50m au nord du trou 6 et n'a pas produit de débit significatif à la profondeur finale. Le forage YRC1172WO a été complété jusqu'à une profondeur de 112 m.

Les essais de pompage ont ensuite été complétés à l'aide d'une pompe Grundfos MP1 sur le forage YRC1171WO et YRC1172WO complétés. Un résumé des essais de pompage effectués sur YRC1171WO et YRC1172WO est présenté au tableau ci-après. Les résultats des analyses des essais de pompage sont présentés à la section 1.5.3

**Tableau 1 : Zone de la mine: Résumé du test de pompage**

Bore ID	Date of Test	Static Water Level (mbgl)	Pumping Rate (L/min)	Pumping Duration (mins)	Water Level Drawdown (m)
YRC1171WO	29/06/17	33.34	13.5	120	2.70
YRC1172WO	29/06/17	19.23	13.5	135	3.98

Des essais hydrauliques ont également été réalisés sur le forage existant ESIA / G2. Ce forage est projeté à travers la saprolite inférieure et la saprolite supérieure. Un essai de pompage a été achevé au 1er juillet 2017, bien qu'à ce moment le forage semblait être bloqué à une profondeur de 33,5 m. le forage a ensuite été nettoyé par avion le 8 juillet 2017 et un essai de récupération du pont aérien a été achevé. Ensuite, un deuxième essai de pompage a été achevé le 12 juillet 2017. Un résumé des résultats des essais de pompage est présenté à la section 6.5.3.

### **Zone parc à résidus - Forage, installation et pompage d'essai**

Deux nouveaux trous hydrogéologiques ont été forés immédiatement en aval du mur de remblayage de l'installation d'entreposage des résidus. L'un a été installé comme un forage de grand diamètre (YRC1174WP 222680mE 775272mN) et un a été installé comme un trou d'observation associé de plus petit diamètre (YRC1173WO 222670mE 775275mN). Ces deux trous ont été forés à une profondeur de 80 m et ont donné des débits d'eau d'environ 1,5 L / s à la profondeur finale.

Les essais de pompage devaient être complétés sur YRC1173WO et YRC1174WP dans le cadre de l'Etude de Faisabilité Définitive (EFD), mais la pompe s'est rompue et il n'a donc pas été possible d'effectuer des essais de pompage sur ces trous.

Quatre trous ont été forés à des fins géotechniques dans l'empreinte du parc à résidus proposée (particulièrement en ce qui concerne les emplacements sous les murs de remblai proposés). Afin d'acquérir des données hydrogéologiques supplémentaires, un tubage en PVC de 50 mm d'épaisseur et un bloc de gravier ont été installés dans trois de ces trous (YDD505, YDD506 et YDD508). Des tests de récupération du pont aérien ont été effectués sur ces trois forages. Cela fournira des connaissances hydrogéologiques supplémentaires dans la zone du projet et plus particulièrement dans les environs du parc à résidus. Les résultats des essais de transport aérien sont présentés à la section 6.5.3.

## Perseus Camp Bore

Un forage de production existant est situé à côté de l'ancien camp de Banlaw (dénommé l'alésage du camp de Perseus). Ce forage a été nettoyé par avion le 30 juin 2017, avec une quantité considérable de débris, de feuilles et de colliers de câble noirs retirés de forage. Un essai de pompage a ensuite été effectué sur l'alésage le 1er juillet 2017. Un résumé des résultats des essais de pompage est présenté à la section 6.5.3

## 1.4 Hydrologie

### 1.4.1 Données météorologiques

Les jeux de données de quatre stations météorologiques situées près du site du projet Yaouré ont été évalués dans le cadre de l'EFD. Les stations météorologiques sont toutes situées dans la même région de précipitations de Côte d'Ivoire que le site du projet. La base de données de données météorologiques disponibles à proximité du site du projet Yaouré sont les suivants :

#### Précipitations

- Béoumi (1939 - 1997);
- Bouaflé (1939 - 2014);
- Tiébissou (1953 - 1996);
- Yamoussoukro (1975 - 1997);
- Station météorologique de la mine de Yaouré (janvier 2013 - septembre 2017)
- Kossou (1980 - 2014).

#### L'évaporation

- Aéroport mensuel de Yamoussoukro (1990 - 2014);
- Kossou mensuel (1998 - 2014).

#### Humidité

- Aéroport mensuel de Yamoussoukro (1990 - 2014);
- Station météorologique mensuelle moyenne du site minier de Yaouré (janv. 2016 - juil. 2016).

#### Température

- Station météorologique mensuelle moyenne du site minier de Yaouré (2009 - 2013);
- Station météorologique mensuelle moyenne du site minier de Yaouré (janv. 2016 - juil. 2016).

Les données pluviométriques de la station météorologique de Yaouré de mars 2017 à mai 2017 indiquent que la majorité des précipitations durant cette période se produisent lors de grandes pluies, avec environ 55% du total des précipitations de 148 mm sur trois mois sur trois jours seulement. En comparaison, entre juin 2017 et septembre 2017, les trois totaux quotidiens de précipitations les plus importants ont représenté environ 25% du total des précipitations de 120 mm au cours des quatre mois suivants.

La station météorologique de Bouaflé a été choisie dans le DSF pour représenter le site de Yaouré en raison de sa proximité et de l'ensemble de données le plus complet. Les valeurs minimales, moyennes et maximales des précipitations mensuelles pour trois années consécutives ont été extraites de l'ensemble de données de la station météorologique de Bouaflé pour être utilisées dans un modèle de bilan hydrique.

Une analyse de valeur extrême a été entreprise pour générer des profondeurs de pluie de 24 heures pour diverses périodes de retour. Les courbes Intensity-Frequency-Duration (IFD) ont été synthétisées à partir des données de Bouaflé pour générer des intensités pluviométriques pour diverses durées et événements de période de retour. Les précipitations maximales probables ont également été générées à partir des données de Bouaflé dans le cadre des évaluations de l'EFD. Les courbes IFD dérivées pour les études de préfaisabilité (EPF) précédents (plutôt que les IFDs EFD) ont été adoptées en tant qu'événements pluviométriques pour la conception d'infrastructures de gestion des eaux de surface et pour les systèmes d'assèchement dans la fosse, afin de maintenir un élément conservateur, comme les IFDs PFS sont généralement plus élevés que ceux développés dans le cadre de l'EFD. L'IFD utilisé dans l'évaluation de l'EFD est présenté dans le tableau ci-après qui est reproduit de l'annexe J de l'étude de préfaisabilité (Amara, 2015).

**Tableau 2 : Intensité-fréquence-durée**

IDF (mm/hr)	Duration (mins)								
	5	10	20	30	60	120	180	720	1440
Return Period (Years)									
1	37.9	34.2	31.2	24.7	17.6	11.4	8.5	2.8	1.5
2	85.4	77	70.2	55.7	39.7	25.7	19.2	6.2	3.4
5	113.9	102.6	93.5	74.2	52.9	34.2	25.5	8.3	4.5
10	132.7	119.6	109	86.4	61.7	39.8	29.7	9.6	5.3
20	156.4	141	128.5	101.9	72.7	47	35.1	11.4	6.2
50	174	156.9	143	113.4	80.9	52.3	39	12.6	6.9
100	191.5	172.7	157.4	124.8	89.1	57.5	42.9	13.9	7.6
1,000	249.4	224.8	204.9	162.5	116	74.9	55.9	18.1	9.9
10,000	307.1	276.9	252.3	200.1	142.8	92.2	68.8	22.3	12.2

Un total moyen annuel des précipitations de 1 273 mm a été dérivé de l'ensemble de données de Bouaflé par Knight Piesold et a été utilisé dans cette évaluation.

#### 1.4.2 Flux de la rivière

Les eaux de ruissellement provenant du site de Yaouré se drainent principalement vers le lac Kossou, avec l'extension vers le sud du site vers un affluent de la rivière Bandama (Blanc) au sud du barrage de Kossou. Les données de débit quotidiennes pour la période de 1962 à 1997 sont disponibles à partir d'une station hydrométrique située sur la rivière Bandama à Maradiassa, juste au nord de l'étendue nord du lac Kossou. Le barrage de Kossou a été construit et le lac Kossou s'est formé en 1972, ce qui correspond à la période pour laquelle des données de jaugeage sont disponibles. Les données sur les débits de la rivière Bandama sont résumées dans le rapport PFS et fournissent un contexte régional au ruissellement pluviométrique mais ne fournissent pas de données pour les différents bassins versants du site de Yaouré.

La majorité des cours d'eau à proximité du site Yaouré sont éphémères, à l'exception de la rivière Bandama au sud et à l'est du site.

La surveillance du débit à proximité du site de Yaouré a commencé à cinq endroits (S1, S5, S8, S12 et SW4) en décembre 2014 et à S13 en septembre 2016. Les débits sont actuellement surveillés mensuellement pendant la saison sèche et plus régulièrement pendant la saison humide saison. Les emplacements de surveillance sont illustrés sur la Figure 1 et sont décrits ci-dessous :

- S1 - débit mesuré de 0 à 536 L / s (de novembre 2014 à octobre 2017); situé au sud-ouest du site de Yaouré, mesurant les débits dans un cours d'eau qui passe par un endroit préalablement identifié comme une option pour l'installation de stockage des résidus. L'option parc à résidus développée pour l'EFD est située en amont du point de surveillance S5;
- S5 - 0 à 183 L / s (décembre 2014 à octobre 2017); situé au sud du site sur un affluent de la rivière Bandama. Les débits de ruissellement du bassin hydrographique actuellement proposé sont surveillés à cet endroit;
- S8 - 0 à 1 136 L / s (décembre 2014 à octobre 2017); situé au nord du site sur un cours d'eau drainant vers le lac Kossou. Les débits d'écoulement du bassin versant et du bassin versant de l'Ouest sont surveillés à cet endroit;
- S12 - 0 à 934 L / s (novembre 2014 à octobre 2017); situé à Patizia, à environ 3 km au sud de la parc à résidus, sur un affluent de la rivière Bandama. Cet emplacement de suivi des débits ne mesure pas les débits des captages du site de Yaouré;
- SW4 - 0 à 87 L / s (novembre 2014 à janvier 2016); situé au sud-est du site sur le même affluent de la rivière Bandama que S5. SW4 est à environ 1,6 km en aval de S5;
- S13 - 0 à 252 L / s (de septembre 2016 à octobre 2017); situé à environ 1 km au nord de la zone de l'usine de traitement et à 300 m au sud du lac Kossou. Les débits d'écoulement du bassin versant du site minier sont surveillés à cet endroit.

En plus des données de surveillance du débit du site, les ensembles de données suivants ont été mis à disposition:

- Volumes mensuels de décharge du barrage de Kossou (1980-2014);
- Débit moyen mensuel du barrage de Kossou (1980-2014).

Les données sur le débit du barrage de Kossou aideront à évaluer l'évaluation de la capacité de captage de la rivière Bandama au sud du barrage de Kossou pour l'utiliser comme source d'approvisionnement en eau.

### 1.4.3 Qualité de l'eau de surface

#### Données historiques (pré-PFS)

Vingt-deux échantillons de qualité des eaux de surface ont été prélevés dans neuf sites de surveillance avant la publication de l'EFP. Le lieu S12 semble échantillonner un cours d'eau qui ne capturera pas le ruissellement du bassin versant du site, mais il fournit des données de base utiles sur la qualité de l'eau.

Les problèmes de qualité de l'eau de surface tels que rapportés dans l'étude de faisabilité préliminaires (EFP) sont les suivants:

- 1 échantillon dépasse la valeur guide de l'OMS pour les concentrations d'arsenic dissous;
- 1 échantillon dépasse la valeur guide de l'OMS pour les concentrations de chrome dissous;
- 3 échantillons dépassent la valeur guide de l'OMS pour l'eau potable pour les concentrations de plomb dissous;
- 4 échantillons dépassent la valeur guide de l'OMS pour l'eau potable pour les concentrations de nitrate.

Des points d'échantillonnage supplémentaires ont ensuite été inclus dans le réseau de surveillance de la qualité des eaux de surface et sont détaillés dans la section ci-dessous.

#### Données de surveillance récentes (à partir de décembre 2014)

Des échantillons d'eau de surface ont été collectés sur les sites de surveillance autour et à proximité du site de Yaouré, avec 62 échantillons prélevés depuis décembre 2014.

- S1 - Douze échantillons de qualité d'eau ont été prélevés mensuellement entre décembre 2014 et novembre 2015. L'échantillon prélevé en novembre 2015 dépassait les valeurs recommandées par la Banque mondiale pour les solides totaux en suspension (50mg / L) et le fer total (2mg / L);
- SW3 - Deux échantillons de qualité d'eau ont été prélevés à SW3 en 2017, un en janvier 2017 et un en juillet 2017. Il n'y a pas eu de dépassement des valeurs recommandées par la Banque mondiale pour les effluents pour ces deux échantillons;
- SW4 - Trois échantillons de qualité de l'eau ont été prélevés à SW4 en décembre 2014, juin 2015 et juillet 2015. Il n'y a eu aucun dépassement des valeurs recommandées par la Banque mondiale concernant les effluents pour ces trois échantillons;
- S5 - Dix échantillons de qualité de l'eau ont été prélevés presque tous les mois entre décembre 2014 et novembre 2015. Il n'y a pas eu de dépassement des valeurs recommandées par la Banque mondiale pour les effluents pour ces échantillons;
- SW6 - Douze échantillons de qualité de l'eau ont été prélevés à SW6. Dix échantillons ont été prélevés presque tous les mois entre décembre 2014 et novembre 2015. Deux échantillons ont été prélevés en janvier et juillet 2017. Deux échantillons prélevés à SW6 dépassent les valeurs recommandées par la Banque mondiale pour les solides totaux en suspension (50mg / L) en décembre 2014 (167 mg / L) et mars 2015 (85 mg / L). Quatre échantillons prélevés à SW6 dépassent les valeurs recommandées par la Banque mondiale pour les teneurs totales en fer (2

mg / L) en décembre 2014 (8,1 mg / L), en janvier 2015 (2,4 mg / L), en mars 2015 (10,8 mg / L) et en avril 2015 (3,3 mg / L);

- S8 - Cinq échantillons de qualité de l'eau ont été prélevés à S8, le premier en décembre 2014, et les quatre autres sur une base mensuelle de mai à juillet 2015. Il n'y a pas eu de dépassement des valeurs guides des effluents de la Banque mondiale.
- S12 - Treize échantillons de qualité de l'eau ont été prélevés mensuellement entre décembre 2014 et novembre 2015 à SW12 et un autre en janvier 2017. Trois échantillons prélevés à S12 dépassent les valeurs recommandées par la Banque mondiale pour les solides totaux en suspension (50mg / L) en mai 2015 (73 mg / L), en novembre 2015 (66 mg / L) et en janvier 2017 (75 mg / L). Huit des échantillons prélevés dépassent les valeurs recommandées par la Banque mondiale pour les lignes directrices sur les effluents totaux (2 mg / L) en février 2015 (2,1 mg / L), mars 2015 (2,5 mg / L), mai 2015 (3,1 mg / L), juin 2015 (2,8 mg / L), août 2015 (2,1 mg / L), septembre 2015 (2,2 mg / L), octobre 2015 (2,5 mg / L) et novembre 2015 (3,1 mg / L);
- Quatre échantillons ont été prélevés sur d'autres sites de surveillance en janvier 2017: SWBP (Barren Pond), SWDP (étang Detox), SWEP (étang excédentaire) et SWWS qui se trouve sur un cours d'eau à l'est d'Angovia et en aval des étangs. Il n'y a eu qu'un seul dépassement des valeurs guides de l'effluent de la Banque mondiale pour les solides en suspension totaux (50 mg / L) à SWEP (185 mg / L).
- En outre, des données sur la qualité de l'eau ont été fournies pour trois sites dans la zone des puits (YSP, YCP et YNP) pour deux cycles de surveillance, le premier en 2015 et le second en 2016 avec deux laboratoires différents, SGS Lab et Vagny Lab respectivement. Les résultats ont été fournis avec les directives ivoiriennes sur les rejets d'effluents (IGED) et les directives SFI pour les eaux usées (SFI).
- Les dépassements des directives ont été enregistrés pour la DBO5 et le sélénium (total) comme suit:
  - Les résultats de DBO5 à YNP (70 mg / L) et à YCP (89 mg / L) dépassaient la valeur de la recommandation SFI (50 mg / L). Les deux ont été enregistrés dans le cycle de suivi 2016 et analysés chez Vagny Labs;
  - Le résultat du sélénium à YCP (0,02 mg / L) dépassait la valeur guide de SFI de 0,01 mg / L tandis que le résultat du sélénium à YSP (0,027 mg / L) dépassait à la fois l'IGED (0,02 mg / L) et SFI (0,01 mg / L) Valeurs indicatives. Les deux ont été enregistrés dans le cycle de suivi 2016 et analysés chez Vagny Labs.

### Surveillance en aval du parc à résidus

Les résultats de qualité de l'eau de surface des deux stations de surveillance des eaux de surface (SW4 et S5) ont été examinés et comparés aux données sur la qualité de l'eau du réseau de surveillance des eaux de surface afin de définir la qualité de l'eau de référence dans cette zone. L'examen a porté sur les concentrations de métaux, car ce sont les contaminants potentiels préoccupants de toute infiltration possible à venir du parc à résidus proposé.

Les résultats de la qualité de l'eau pour les échantillons prélevés en aval du parc à résidus en 2014/2015 (trois échantillons à SW4 et dix échantillons à S5) sont dans la gamme des résultats de qualité de l'eau ailleurs dans le réseau de surveillance de la qualité des eaux de surface. Les concentrations maximales de chrome détectées dans les échantillons de SW4 (0,021 mg / L) et S5 (0,019 mg / L) sont légèrement supérieures au maximum enregistré dans le reste du réseau (0,015 mg / L), mais ces concentrations de chrome sont encore en dessous des valeurs guides de l'OMS et de la Banque mondiale pour les effluents (0,05 mg / L et 0,1 mg / L respectivement). Les concentrations de mercure et de cadmium dans les échantillons de SW4 et S5 sont toutes inférieures à la limite de détection en laboratoire de 0,001 mg / L.

Les concentrations d'arsenic détectées dans les échantillons de SW4 et S5 sont respectivement comprises entre 0,0005 mg / L et 0,001 mg / L et entre 0,0005 mg / L et 0,002 mg / L, ce qui est inférieur aux valeurs recommandées par l'OMS et la Banque mondiale. 0,01 mg / L et 0,01 mg / L, respectivement. Les concentrations de cyanure dans les échantillons prélevés à SW4 et S5 sont toutes inférieures à la limite de détection en laboratoire de 0,005 mg / L, ce qui est bien en deçà de la limite recommandée par la Banque mondiale pour les effluents de 1 mg / L.

#### 1.4.4 Définition et caractéristiques du bassin versant

Les caractéristiques des bassins versants ont été développées pour l'EFP par l'examen de la photographie aérienne du site et des données Landsat. Les relevés de retournement effectués en juillet 2014 et en janvier 2015 ont fourni des renseignements supplémentaires sur les cours d'eau, les taux d'infiltration et l'utilisation des terres et ont inclus les observations suivantes:

- Beaucoup de cours d'eau étaient mal définis et à peine discernables pendant la saison sèche.
- On a observé que l'infiltration pendant la saison sèche était rapide.
- Il n'y a pas de forêt tropicale primaire dans la région.

L'annexe 7 du rapport de l'EIES décrit plus en détail les types de sols sur le site et les classe sous quatre groupes de sols différents et présente une carte des sols dominants pour le site. Ceci a été produit après le rapport PFS et n'a pas été pris en compte lors de l'estimation des coefficients de ruissellement à partir des caractéristiques du bassin versant dans le cadre de l'EFP.

Les sols cartographiés vont de sous-affleurements peu profonds et d'affleurements de plinthise dure et de matériaux parents (sédiments et dolérites intrusives) à des loams sableux profonds et des loams sableux argileux sur des saprolites profondément altérées, avec des variations de loams sableux modérément profonds à peu profonds et de loams sableux argileux qui montre la structure variable.

Dans le cadre de l'EFP, la majorité du sol sur le site a été classée dans les catégories suivantes du Service de conservation des sols des États-Unis aux fins des coefficients d'écoulement des précipitations pour la méthode rationnelle d'estimation des débits de pointe:

- Groupe B: loess superficiel; loam sableux;  
- Coefficients de ruissellement 0,23-0,45;
- Groupe C: loams argileux; limon sableux peu profond; les sols à faible teneur en matière organique; sols généralement riches en argile  
- Coefficients de ruissellement 0.37 - 0.62

Les données LIDAR du site ont été mises à disposition, confirmant la topographie ondulée à abrupte, en particulier à proximité du bassin versant aux extrémités sud du site, entre le bassin de drainage du lac Kossou et le bassin de drainage de la rivière Bandama au sud.

La topographie plus abrupte le long de la ligne de partage est adjacente et interceptée par les extensions méridionales du développement de la fosse proposée. Les précipitations de forte intensité dans cette zone entraîneront une forte proportion de précipitations et une réponse rapide des eaux pluviales, avec un fort potentiel d'érosion dû à la forte pente du bassin dans cette zone.

### 1.4.5 Évaluation de l'écoulement des précipitations

La méthode rationnelle a été utilisée dans l'évaluation de l'EFP pour dériver les débits de pointe pour le ruissellement de pré-développement des bassins hydrographiques sur la base des estimations de précipitations générées dans l'analyse des précipitations et des caractéristiques de captage estimées. Les résultats de l'étude EFP ont indiqué que des débits de pointe significatifs pourraient provenir de l'un des bassins versants du site de Yaouré. Les estimations de pointe du ruissellement ont été générées pour les sous-bassins versants dans le parc à résidus et les bassins versants dans le cadre de l'EFP afin de fournir l'ampleur probable des flux pour l'évaluation de la faisabilité du drain de dérivation.

La méthode rationnelle a été utilisée de manière similaire dans le cadre de cette évaluation afin d'estimer les flux de conception pour la conception d'infrastructures de gestion des eaux de surface appropriées (voir section 6.8) en accord avec les caractéristiques et la topographie actualisées.

Les changements climatiques n'ont pas été pris en compte dans la production des estimations du débit de pointe pour le site de Yaouré, car les précipitations devraient demeurer stables ou diminuer légèrement d'ici le milieu du XXI<sup>e</sup> siècle.

## 1.5 Hydrogéologie

### 1.5.1 Niveaux d'eau souterraine

La répartition des points de surveillance des eaux souterraines est présentée à la Figure 2. Cette figure illustre que certains des points de surveillance sont situés dans l'empreinte du développement minier proposé, y compris la fosse, les dépotoirs et les emplacements du parc à résidus proposés. Ainsi, certains points de surveillance seront perdus pendant le développement de la mine. Des points de surveillance du niveau des eaux souterraines sont également présents dans de nombreux villages et villes. Des points de surveillance des eaux souterraines existent entre la fosse et le lac Kossou, et ces points de surveillance permettront de surveiller tout retrait potentiel du niveau d'eau entre la fosse et le lac.

La surveillance mensuelle du niveau des eaux souterraines a été complétée dans 21 sites du site de Yaouré depuis décembre 2014. Les hydrogrammes des niveaux de la nappe phréatique des différents points de surveillance sont présentés à la Figure 6. Les données disponibles indiquent que la profondeur des eaux souterraines mètres sous le niveau du sol (mbgl) jusqu'à environ 80mbgl. La fluctuation des niveaux d'eau souterraine entre juillet 2015 et septembre 2017 varie de 0,06 m (SBH2) à 7,08 m (YRC757 ESIA / G2), la fluctuation moyenne est de 3,3 m.

Cinq (5) des points de surveillance des eaux souterraines (forage avec le préfixe YDD) étaient initialement des trous d'exploration inclinés (pendage de 80 degrés) forés à des profondeurs inclinées allant de 300 à 440 m. Les autres points de surveillance des eaux souterraines sont tous des trous verticaux forés à des profondeurs allant de 21 à 270mbgl. Les forages peu profonds recoupent les strates de régolite (roche altérée), alors que les forages plus profonds croisent le substrat rocheux frais.

Le réseau de surveillance du niveau des eaux souterraines existant offre une bonne couverture sur l'ensemble du site du projet Yaouré, y compris les villes et villages locaux. Bien que l'inclusion des forages nouvellement forés, dans le cadre de l'évaluation hydrogéologique de de l'EFD, fournirait des informations précieuses supplémentaires.

### 1.5.2 Qualité de l'eau souterraine

Les données sur la qualité des eaux souterraines sont disponibles à partir de 15 emplacements échantillonnés mensuellement entre décembre 2014 et novembre 2015 et une fois par échantillonnage terminé en janvier 2017. La répartition de ces emplacements correspond étroitement aux emplacements du réseau de surveillance du niveau des eaux souterraines des différences (Figure 5).

Des échantillons d'eau souterraine ont également été prélevés entre 2006 et 2012 dans 18 emplacements et jusqu'à sept rondes de surveillance ont été complétées au cours de cette période à certains endroits, mais en moyenne quatre rondes de surveillance ont été effectuées à chacun des points durant cette période.

Le réseau de surveillance de la qualité des eaux souterraines offre une bonne couverture sur le site du projet Yaouré. La distribution des points de surveillance de la qualité des eaux souterraines présente des problèmes similaires au réseau de surveillance des eaux souterraines comme la fosse ou le parc à résidus, et sera donc perdu au cours du développement de la mine. Le réseau de surveillance de la qualité des eaux souterraines fournit des données provenant des principales villes et villages de la zone du projet Yaouré ainsi qu'entre la mine et le lac Kossou et la rivière Bandama.

La suite analytique de qualité de l'eau pour les échantillons d'eau recueillis comprend une bonne gamme d'ions majeurs, de nutriments et de métaux totaux et dissous. Les résultats de la qualité de l'eau montrent que la majorité des échantillons d'eau souterraine sont de type eau Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>, certains endroits ayant des concentrations significativement plus élevées de sulfate, de chlorure, de potassium et de sodium. Les résultats pour GW9, une pompe portative à Kouakougnanou, montrent une conductivité, un nitrate, un sulfate et un chlorure significativement élevés.

### 1.5.3 Données de paramètres hydrauliques

#### Données historiques

Une gamme de tests de paramètres hydrauliques a déjà été réalisée sur le site du projet Yaouré, notamment:

- Des tests d'emballage ont été effectués sur les huit trous YDD (G1-G8) dans le cadre de l'étude EFP. Un total de 25 tests de conditionneurs ont été complétés avec des packers simples et doubles, qui ont montré des réponses variées, y compris l'absence de flux dans certains trous. Lorsque le débit d'injection était atteint, les valeurs de perméabilité obtenues variaient entre  $1 \times 10^{-7} \text{ m/s}$  et  $7 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ ;
- Un total de 20 tests de chute principale a été effectués pour l'EFP, bien que seulement quatre aient fourni des données utiles en raison de la récupération trop lente ou trop rapide du niveau d'eau pour mesurer une réponse. Les valeurs de perméabilité obtenues résultantes vont de  $2 \times 10^{-7} \text{ m/s}$  à  $1 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ ;
- Des essais de pompage ont été effectués à trois endroits près de la fosse prévue (G2, G5 et G7) et à deux des puits du village (GW7 et GW8). Les tests effectués dans les puits du village ont seulement surveillé la réponse dans le puits de pompage, tandis que les essais dans les puits de puits ont également enregistré le rabattement du niveau d'eau dans les trous adjacents. Les débits de pompage utilisés pour les essais étaient assez faibles, allant de 0,6 L / min à 20 L / min. La durée des tests de pompage n'est pas fournie. Les valeurs de transmissivité qui en résultent vont de 0,02 m<sup>2</sup> / j à 27 m<sup>2</sup> / j.

Les essais hydrogéologiques complétés précédemment ont indiqué que les perméabilités des strates dans la zone du projet Yaouré sont généralement faibles avec des zones isolées de perméabilité modérée. Les valeurs de perméabilité dérivées vont de  $1 \times 10^{-7} \text{ m / s}$  à  $7 \times 10^{-6} \text{ m / s}$ . Les détails l'ÉFP étaient insuffisants pour établir des valeurs de perméabilité spécifiques à l'unité pour les strates rocheuses altérées ou altérées.

Dans le cadre de l'ÉFD, les données sur les essais de chute brutale de la tête disponibles dans l'ÉPF ont été examinées et ré-analysées. Treize des vingt essais de chute de la tête ont été réanalysés afin de fournir un aperçu supplémentaire des propriétés hydrauliques de la saprolite, de la saprock et du substrat rocheux frais du site de Yaouré. Ré-analyse des données historiques fournissant les résultats de perméabilité suivants:

- Saprolite / Saprock:  $1 \times 10^{-8} \text{ m / s}$  à  $1 \times 10^{-6} \text{ m / s}$ ;
- Rocher:  $5 \times 10^{-8} \text{ m / s}$  à  $5 \times 10^{-7} \text{ m / s}$

Cette nouvelle analyse a confirmé la gamme de variabilité évidente en ce qui concerne la perméabilité de la roche altérée et de la roche fraîche.

### **Analyse hydrogéologique de terrain de 2017 Analyse des données zone des fosses**

L'analyse des données d'essai de pompage pour les deux forages (YRC1171WO et YRC1172WO) réalisées dans la zone des puits a donné les résultats suivants :

- YRC1171WO (contact volcanoclastique / basalte, basalte et CMA) - Transmissivité =  $3,5 \text{ m / j}$ ;
- YRC1172WO (contact volcanoclastique / basalte et basalte) - Transmissivité =  $3,0 \text{ m / j}$ .

La conversion des valeurs de transmissivité estimées en valeurs de perméabilité spécifiques à une unité est assez subjective car elle dépend de l'interprétation de la zone de contribution. Selon les résultats de forage, il semble que les débits d'eau augmentent de façon intermittente dans tout le basalte, mais aussi dans les zones spécifiques de contact volcanoclastique / basalte et minéralisées de CMA. En fonction de la profondeur de l'épaisseur saturée, cela suggère des valeurs de perméabilité globale d'environ  $0,03 \text{ m / j}$  ( $3,5 \times 10^{-7} \text{ m / s}$ ) dans cette partie plus perméable de la zone de la fosse. Cependant, l'attribution de cette transmissivité à des zones de perméabilité améliorée spécifiques discrètes suggère que les zones individuelles de perméabilité élevée peuvent être de l'ordre de  $0,3 \text{ m / j}$  ( $4 \times 10^{-6} \text{ m / s}$ ).

Divers essais de pompage et de récupération d'injection d'air ont également été effectués sur YRC11757 (ESIA / G2) du côté est des fosses proposées. Il s'agit d'un forage peu profond (installé à 40 m mais actuellement bloqué à un peu plus de 30 m de profondeur) et qui est tamisé à travers la base de la saprolite et la partie supérieure de la saprock. Le faible rendement et la charge sédimentaire élevée de cet forage ont rendu difficile le test et suscité des incertitudes quant à l'analyse subséquente. Cependant, l'analyse des données a montré des valeurs de perméabilité de l'ordre de  $0,01$  à  $0,02 \text{ m / j}$  (environ  $1 \times 10^{-7} \text{ m / s}$ ).

### **Parc à résidus**

Les essais de pompage devaient être complétés sur YRC1173WO et YRC1174WP dans le cadre de l'ÉFD, mais la pompe s'est rompue et il n'a donc pas été possible d'effectuer des essais de pompage sur ces deux trous. Toutefois, des essais de récupération du d'injection d'air ont été effectués sur trois sondages (YDD505, YDD506 et YDD508) forés principalement à des fins géotechniques dans l'empreinte du parc à résidus. L'analyse des données suggère que les valeurs de perméabilité vont de  $1 \times 10^{-8} \text{ m / s}$  à  $5 \times 10^{-7} \text{ m / s}$  dans les zones du parc à résidus testées.

## Puits du Camp de Perseus

L'analyse des données de l'essai de pompage pour le forage du Camp de Perseus a montré une transmissivité d'environ 0,65 m / j et une perméabilité d'environ  $1 \times 10^{-7}$  m / s (environ 0,01 m / j). Le forage a été pompé à un débit d'environ 7,5 litres par minute pendant 50 minutes, puis augmenté à environ 10 litres par minute pendant 30 minutes supplémentaires, après 80 minutes de pompage, le niveau d'eau a été abaissé d'environ 7,5 m (de 30,05 à 37,53 mètres au-dessous du haut du boîtier).

### 1.6 Modèle hydrologique et hydrogéologique conceptuel

La section suivante présente les modèles conceptuels développés dans le cadre de l'EFD de Yaouré.

#### 1.6.1 Modèle hydrologique conceptuel

La majorité des cours d'eau à proximité du site Yaouré sont éphémères, à l'exception de la rivière Bandama au sud et à l'est du site.

Pendant la saison sèche, il y aura probablement une infiltration initiale plus importante à cause des précipitations et des taux d'écoulement plus faibles. Pendant la saison des pluies, il est probable que les taux d'infiltration seront plus faibles, avec une probabilité plus élevée de précipitations dans les jours précédant tout événement pluvieux (ce qui signifie que le sol est déjà complètement saturé) et des taux d'écoulement plus élevés. Les événements de pluie de conception primaire utilisés pour la gestion des eaux de surface et l'infrastructure de déshydratation sont les événements de 5 ans et 100 ans, toutes les durées étant évaluées afin de déterminer l'événement de durée critique utilisé dans l'EFD. Un total moyen annuel des précipitations de 1 273 mm a été adopté pour cette évaluation.

La majorité de l'infrastructure du site proposé est située dans les altitudes supérieures des bassins versants dans lesquels ils sont situés, qui ont tendance à avoir des pentes plus abruptes qu'à des altitudes plus basses dans les mêmes bassins versants. Il est proposé que les décharges soient situées dans les pentes moins profondes du bassin versant en aval du reste de l'infrastructure minière. Des pentes abruptes combinées au peu de forêt tropicale primaire étant présentes dans la zone du site, il en résulterait une réponse relativement rapide des eaux pluviales, nécessitant un détournement autour des infrastructures. Cependant, avec l'infrastructure située dans les hauteurs des bassins versants supérieurs, cela entraînera une réduction des zones de captage en amont, ce qui générera un ruissellement des eaux pluviales nécessitant un détournement.

#### 1.6.2 Modèle hydrogéologique conceptuel

L'hydrogéologie de la zone est caractérisée comme comprenant deux grands types d'aquifères; y compris l'aquifère rocheux peu altéré et l'aquifère rocheux plus profond. Les essais hydrogéologiques achevés indiquent que la perméabilité des strates dans la zone du projet Yaouré est généralement faible, bien qu'il existe des zones isolées de perméabilité modérée, les valeurs de perméabilité dérivées allant de  $1 \times 10^{-7}$  m / s à  $7 \times 10^{-6}$  m / s.

Des zones spécifiques de perméabilité élevée sont susceptibles d'exister à la base du profil de roche altéré (la zone de transition entre la roche altérée et la roche fraîche), au contact volcanoclastique / basalte et aux structures fragiles (par exemple partie nord de CMA).

Un modèle conceptuel de coupe transversale à travers la fosse s'étendant du lac Kossou à la rivière Bandama est illustré à la Figure 7.

La zone rocheuse superficielle altérée comprend la latérite, la saprolite et la saprock / zone de transition située au-dessus du substrat rocheux frais. La perméabilité et la porosité sont très variables dans l'ensemble de ces strates altérées ; la zone de transition (directement au-dessus du substratum rocheux frais) aura probablement la perméabilité la plus élevée, tandis que les couches les moins profondes et les plus décomposées (avec moins de fractures discrètes, généralement remplies de sédiments contenant une forte teneur en argile) auront une perméabilité plus faible. La plupart des puits du village dans la région sont susceptibles de drainer les eaux souterraines de l'aquifère rocheux superficiel. Cependant, les variations lithologiques verticales et latérales dans ces strates signifient que ces strates ne peuvent fournir que des puits à faible rendement et sont généralement une option d'approvisionnement en eau peu fiable.

L'écoulement des eaux souterraines à travers l'aquifère de roche fraîche est principalement associé à des fractures et à des fissures géologiques dans la masse rocheuse. La porosité est très faible et la perméabilité est seulement élevée dans les zones où la fissuration et la fracturation sont denses et avec un remplissage limité.

Les niveaux d'eau souterraine sont généralement dans la saprolite ou dans la partie supérieure de la roche fraîche. L'épaisseur de la couche de roche altérée est très variable et limite donc le potentiel d'écoulement important des eaux souterraines. Les diagraphies indiquent que le débit d'eau souterraine dans le substratum rocheux est inférieur à 150 mètres au-dessus du niveau de référence. Les preuves provenant des essais sur les aquifères suggèrent que la connexion avec le système fracture / fissure est relativement limitée, ce qui entraîne une transmissivité globale généralement faible pour le substrat rocheux. On considère cependant que les zones de perméabilité améliorée sont plus étendues (par exemple, zone de contact CMA et volcanoclastique / basalte) et que, dans les zones où la connectivité hydraulique est potentiellement plus importante, il existe un potentiel d'augmentation des zones d'écoulement des eaux souterraines. Bien que ces débits puissent initialement être élevés, ils peuvent diminuer rapidement en fonction du stockage de l'aquifère et des liens avec les sources de recharge.

La pluviométrie annuelle moyenne est de 1 273 mm / an, bien que seule une proportion relativement faible de ces précipitations (peut-être aussi peu que 5%) soit susceptible d'être convertie en recharge d'eau souterraine dans la région de Yaouré. La nature éphémère des cours d'eau locaux suggère qu'il y a un lien limité entre les eaux souterraines et les caractéristiques locales des eaux de surface. La plupart des précipitations qui s'infiltrent au sol sont ensuite perdues par évapotranspiration de la zone racinaire. Les hydrogrammes des eaux souterraines (Figure 6) montrent des fluctuations annuelles et limitées du niveau d'eau (moyenne d'environ 3 m) suggérant que la zone insaturée épaisse la réponse de l'aquifère aux précipitations et qu'il y a un décalage important entre l'infiltration et la recharge la nappe phréatique. Les croûtes ferricrètes, qui sont développées sur un certain nombre d'interfluves situés au sommet des collines, à l'ouest de la mine proposée, entraveront également la recharge locale et entraîneront des taux d'écoulement plus élevés dans ces zones. En outre, il y aura une recharge considérablement réduite sur l'empreinte du parc à résidus.

### 1.7 Modélisation numérique des eaux souterraines

Un modèle 3D numérique d'écoulement des eaux souterraines a été spécifiquement développé dans le cadre de l'EFD de Yaouré. Le modèle d'eau souterraine a été utilisé pour prédire les taux d'assèchement des fosses, élaborer une stratégie d'assèchement de la fosse appropriée et estimer l'impact potentiel de l'assèchement sur les puits d'approvisionnement en eau des villages voisins.

Le modèle d'eau souterraine a été développé en utilisant le logiciel Groundwater Vistas avec le code numérique Modflow-Surfact. Une description détaillée de l'approche de modélisation des eaux souterraines, de l'établissement du modèle, des paramètres du modèle, de l'étalonnage du modèle et des résultats du modèle est fournie dans l'EFP de gestion de l'eau du rapport de l'EFD fourni à l'annexe 6.

### 1.7.1 Entrées d'eaux souterraines dans les fosses

Le modèle des eaux souterraines a été exécuté en utilisant sept périodes de tempête, qui vont du début de l'exploitation en 2018 à l'achèvement de la mine en 2026. Les périodes de contraintes du modèle ont été établies en fonction des phases clés de l'exploitation minière de nouvelles zones et d'importantes extensions de fosse. Les périodes de tempête sont de durée variable et sont résumées dans le Tableau 3 et illustrées à la Figure 8.

Il convient de noter que la séquence minière finale et les conceptions finales des fosses peuvent différer de celles modélisées dans le cadre de cette évaluation ; Cependant, les entrées globales ne devraient pas différer sensiblement de celles prévues.

Deux scénarios d'assèchement de cas de base ont été évalués en utilisant le modèle de l'eau souterraine, comme suit:

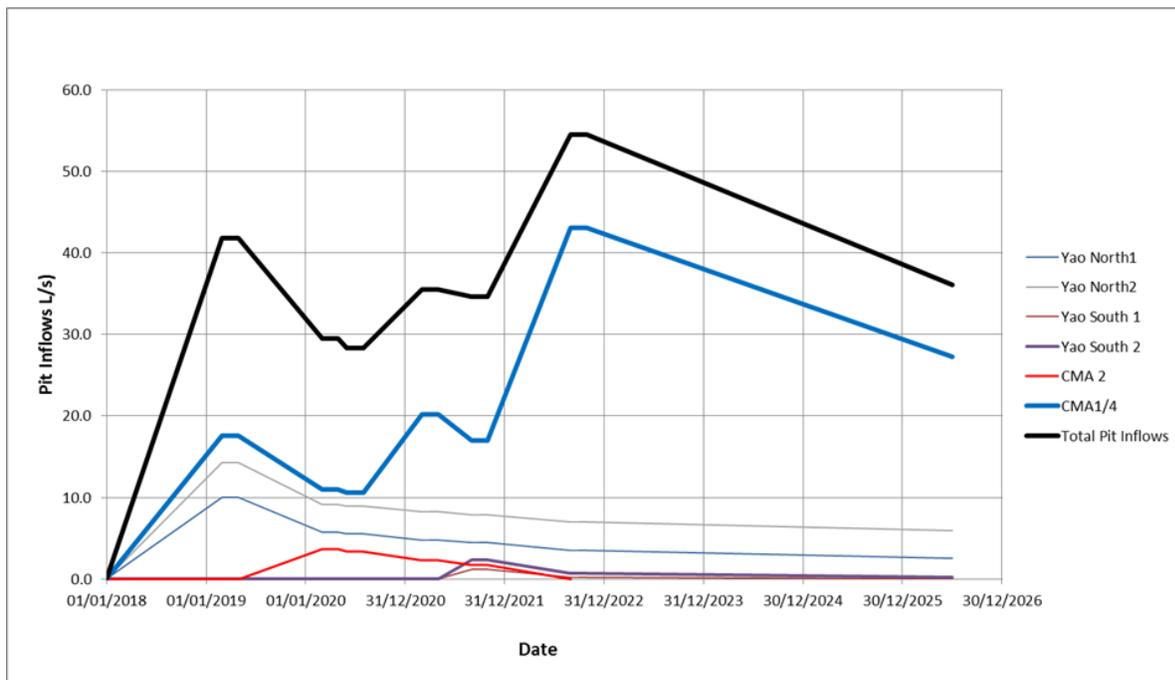
- Assèchement de la fosse en utilisant des puisards, situés au point le plus bas des différentes fosses. Dans ce scénario, les apports d'eau souterraine vers la fosse ont été modélisés en utilisant des cellules de drainage à l'élévation de la base des fosses. Il n'y avait aucune ex-fosse ou assèchement avancé dans ce scénario ;
- Assèchement de la fosse avec des puisards dans la fosse et forage ex-pit de la fosse le long de la structure de CMA. Dans ce scénario, les cellules de drainage ont été installées selon le scénario 1, mais un forage de drainage a été inclus directement à l'est de la fosse qui coupe CMA. Le taux de prélèvement de ce forage a été optimisé pour la déshydratation de la structure CMA.

**Tableau 3 : Périodes de stress des modèles d'eaux souterraines**

Duration (Days)	454	366	91	275	182	365	1,369
Stress Period	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	SP6	SP7
Stress Period End Date	31/03/19	31/03/20	30/06/20	01/04/21	30/09/21	30/09/22	30/06/26
CMA1	x						
CMA2		x	x				
CMA3				x	x		
CMA4						x	x
North	x	x					
South					x	x	

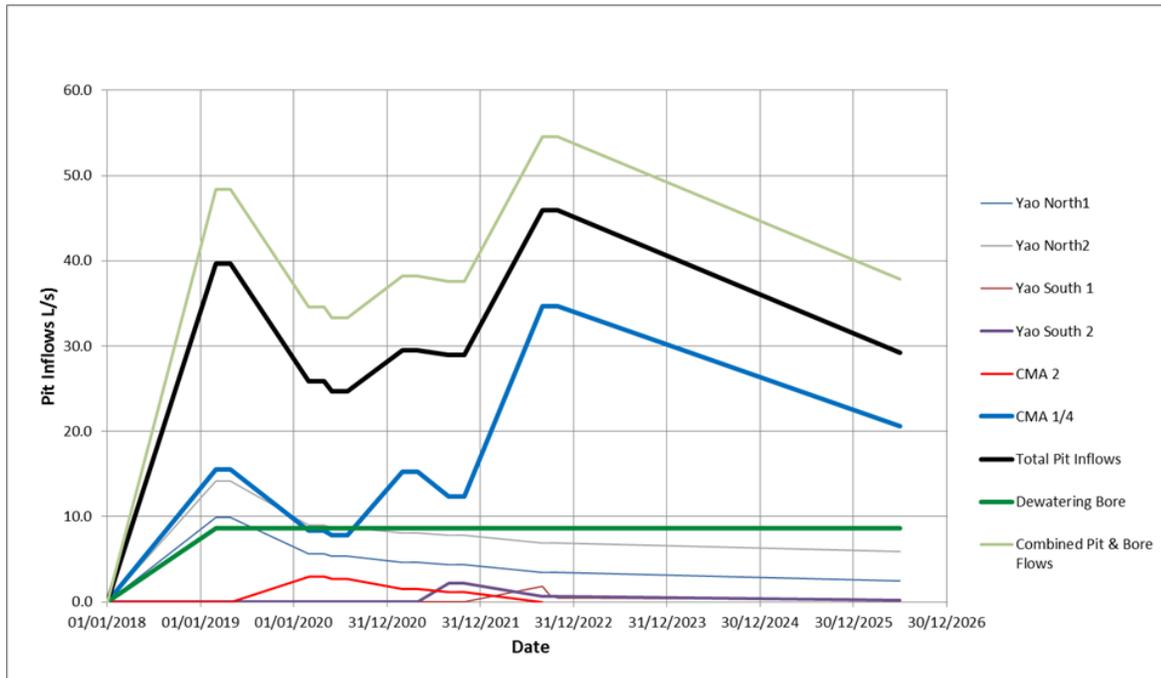
Les débits d'eau souterraine prévus pour les deux scénarios de base sont présentés pour la durée de vie de la mine aux Figure 1 et Figure 2. Les graphiques montrent l'apport d'eau souterraine prévu dans chacune des sous-fosses individuelles et un total combiné. Il est important de noter que ces prédictions supposent une déshydratation continue dans toutes les sous-fosses de la mine, que les puits devraient être épuisés et ne devraient plus être asséchés, ce qui entraînerait une réduction des apports d'eau souterraine. Le système d'étiquetage des sous-puits adopté est illustré à la Figure 8.

**Figure 1 : Scénario 1: Entrées d'eau souterraine dans la fosse (puisards dans la fosse seulement)**



La figure 1 montre les apports d'eau souterraine prévus, provenant uniquement des puisards dans les fosses, aux diverses fosses. Les apports totaux combinés d'eau souterraine devraient augmenter jusqu'à un maximum d'environ 55L / s sur la durée de vie de la mine. Les arrivées les plus importantes se produisent au stade 4 de CMA (jusqu'à 43 L / s), suivi de Yaouré Nord 2 (jusqu'à 14 L / s), suivi de Yaouré Nord 1 (jusqu'à 10 L / s), avec des apports relativement mineurs aux autres puits (<5L / s au total).

**Figure 2 : Scénario 2: Entrées d'eau souterraine dans la fosse (puisards dans la fosse) et forage d'assèchement**



La figure 2 montre les débits d'eau souterraine prévus et le taux d'extraction de l'alésage d'assèchement pour les bassins combinés et le scénario de forage d'assèchement. Selon le modèle actuel, le modèle suggère qu'un débit de 750m<sup>3</sup> / j (8,6 L / s) peut être durable pour un forage d'assèchement qui coupe la CMA (ou une structure perméable semblable dans cette zone de la mine). Les résultats du modèle montrent que les apports d'eau souterraine de la fosse totale pour ce scénario sont inférieurs de 16% (environ 9L / s de moins à 46L / s) au scénario 1 qui n'inclut pas de forage d'assèchement. Le taux d'assèchement total prévu, y compris les puisards et forage, est approximativement le même (55 L / s) que dans le scénario. Par conséquent, il n'y a pas de réduction du volume total de déshydratation de l'eau souterraine nécessaire en ciblant CMA avec un forage de déshydratation. Cependant, il y a des avantages associés à la déshydratation de forage de CMA (ou d'une zone similaire plus perméable) ; comme fournir des possibilités avancées de déshydratation (baisse des niveaux d'eau avant l'extraction de ces niveaux), une dépressurisation accrue et plus précoce de la saprolite dans la paroi est, pompant moins d'eau "sale" de la fosse, et de forage fournirait un "Option d'approvisionnement en eau".

Pour l'exercice de modélisation, de forage de drainage a été positionné sur le périmètre est de la fosse finale (à l'extérieur de la fosse pendant la durée de vie de la mine). Toutefois, cet emplacement est situé à au moins 500 m à l'est de l'affleurement de CMA et, par conséquent, avec la plage de pendage de 30° à 40° de la CMA, le forage devrait être d'environ 300 m de profondeur pour intercepter la caractéristique de CMA. La modélisation achevée a fourni un aperçu de l'efficacité et de l'impact de l'installation d'un forage d'assèchement, cependant, il existe une certaine incertitude quant à la faisabilité de l'installation d'un forage d'assèchement à cet endroit précis.

La structure de CMA pourrait être ciblée plus à l'ouest, où elle est moins profonde, plus tôt dans la vie de la mine. Un forage d'assèchement situé au périmètre est de la fosse de départ permettrait d'assécher efficacement l'élément CMA et de dépressuriser les sédiments superficiels peu profonds au début de la vie de la mine, exactement là où cela est le plus nécessaire. La seule contrainte serait que lorsque la fosse se dilaterait, le forage serait alors dans l'empreinte de la fosse en expansion et pourrait être perdu. Cependant, à ce stade, le forage aurait largement rempli son objectif, interceptant les entrées de vie précoces plus importantes de CMA et aidant à dépressuriser les sédiments supérieurs riches en argile, ce qui pourrait causer une instabilité de la paroi supérieure. Alors que la modélisation achevée fournit un aperçu des avantages potentiels et de l'impact de l'incorporation des sondages dans la stratégie d'assèchement des fosses, l'emplacement des trous d'assèchement nécessitera un examen plus approfondi du plan final de la mine et de la profondeur de CMA (afin de minimiser la profondeur de forage, tout en maximisant l'efficacité de l'assèchement et la longévité). Si des forages d'assèchement doivent être incorporés dans la stratégie de déshydratation, il sera également nécessaire de poursuivre les investigations de CMA afin de confirmer ses propriétés hydrogéologiques (notamment pour confirmer la perméabilité, le stockage et le degré de connectivité hydraulique dans la structure elle-même et dans les environs roches).

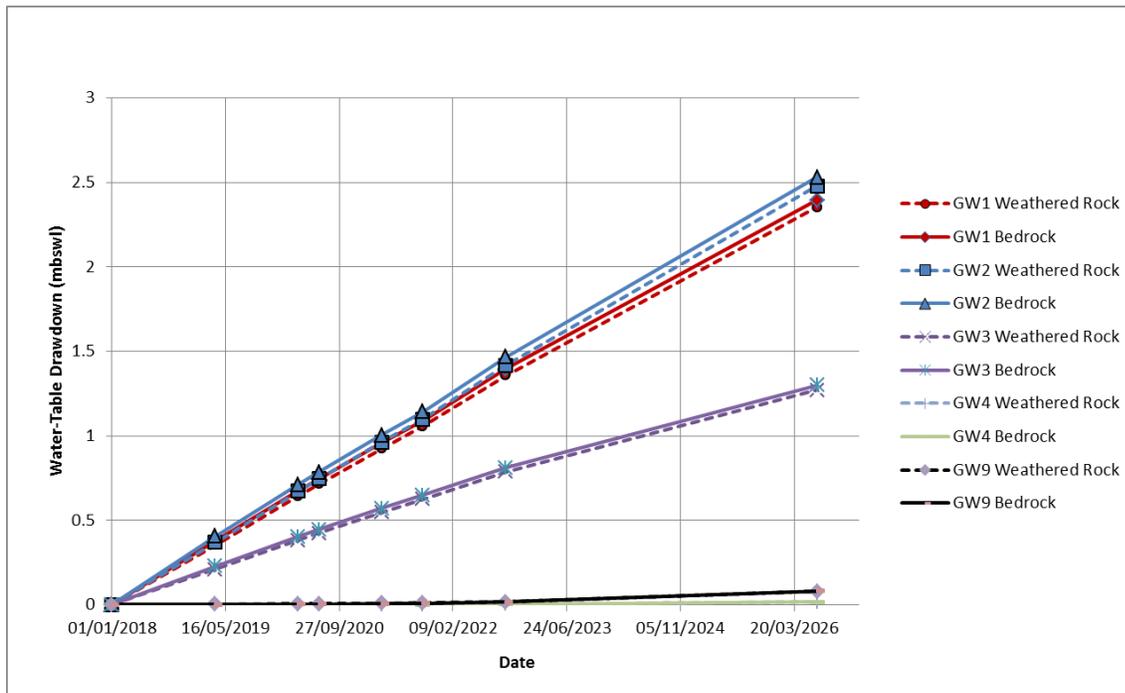
### 1.7.2 Impact de l'assèchement des fosses sur les puits du village

Le modèle prévoyait une baisse du niveau de l'eau souterraine (cône de dépression) liée à l'assèchement de la mine à la fin de la vie de la mine (en supposant que toutes les fosses sont toujours asséchées activement), pour le scénario 1 illustre que dans l'ensemble, il y a un abaissement significativement plus important à l'est de la mine par rapport à l'ouest de la mine. En conséquence, il y a un rabattement relativement mineur prévu dans les environs du village adjacent d'Angovia. Le rabattement plus important prévu à l'est de la mine est principalement lié au fait que la fosse orientale est la partie la plus profonde de la mine et à l'influence de la zone CMA à perméabilité plus élevée dans le modèle qui plonge vers l'est. La Figure 10 montre une coupe transversale est-ouest du modèle à travers la structure de CMA et les fosses existantes pour les scénarios 1 et 2 à l'étendue maximale de la fosse. Ceci illustre l'influence de CMA dans le scénario 1 et l'influence de forage d'assèchement dans le scénario 2.

La ligne de démarcation d'un mètre est prévue à environ 1 km du lac Kossou et à 1,2 km de la rivière Bandama, donc aucun impact significatif n'est prévu à la suite de l'assèchement de la fosse sur le lac Kossou ou la rivière Bandama.

La figure 3 présente le rabattement prévu aux divers puits d'alimentation en eau du village dans les villes adjacentes à la mine; à l'ouest, Angovia (GW1, GW2 et GW3), au sud-ouest Akakro (GW4) et au sud-est Kouakou Gnanou (GW9). Le modèle prédit un rabattement du niveau d'eau à Angovia jusqu'à environ 2,5 mètres sous le niveau d'eau actuel (mbcwl) dans la roche altérée et dans le substrat rocheux. Aucun abaissement perceptible n'est prévu dans les autres puits du village.

**Figure 3 : Rabattement de la nappe phréatique des puits du village**



Comme l'assèchement se produit à partir du centre de la fosse par pompage à partir d'un puisard, le point le plus profond du cône de dépression est plus éloigné des puits villageois adjacents.

### 1.7.3 Incertitude de prévision

Les paramètres du modèle des eaux souterraines ont été ajustés dans les fourchettes de variabilité probables, en fonction de l'hétérogénéité des paramètres hydrogéologiques, afin de déterminer l'influence de l'incertitude des paramètres sur les prédictions du modèle.

En résumé, les prédictions des apports d'eau souterraine sont les plus sensibles aux changements de la perméabilité de la roche fraîche et de CMA, et le rabattement régional est le plus sensible aux changements de la perméabilité de la roche fraîche et de la zone de transition.

Le rabattement du puits du village prévu est le plus sensible aux changements dans la roche fraîche et à la perméabilité de la zone de transition. Augmenter d'un facteur deux la perméabilité du substrat rocheux double environ les prédictions de rabattement aux puits d'Angovia.

## 1.8 Gestion de l'eau de surface

### 1.8.1 Informations sur le cas de base

Le cas de base est dérivé des informations suivantes :

- **Météorologie**
  - Précipitations moyennes annuelles (1 273 mm, Knight Piesold) ;
  - Durée de la fréquence d'intensité des précipitations (PFS).
- **Infrastructure du site**
  - Conception des fosses :
    - Yaouré Nord;
    - Yaouré Sud;
    - Étape 1 de la CMA, Étape 2 de la CMA, Étape 3 de la CMA et Étape 1 de la CMA ;
  - Contours de l'infrastructure du site (1960-110-GEDLA-003\_B.dxf).
    - **Topographie**
      - Contours du site (Yaouré\_Perseus\_Contours.dwg).
    - **Caractéristiques du bassin versant**
      - Contours du site (Yaouré\_Perseus\_Contours.dwg) ;
      - Rapport EIES - Annexe 7.

### 1.8.2 Examen de la gestion des eaux de surface

L'EIES (Annexe 23) présente le plan de gestion de l'eau du site de Yaouré avec les objectifs généraux suivants :

- Maintenir un faible risque de décharge incontrôlée survenant au cours de la vie du projet ;
- Faire fonctionner le parc à résidus aussi près que possible d'une installation à zéro rejet ;
- Minimiser le besoin de sources d'eau externes ;
- Maximiser la réutilisation de l'eau collectée ;
- Minimiser la perturbation des opérations minières par une gestion efficace de l'eau ;
- Assurer un approvisionnement en eau fiable et sûr ;
- Se conformer aux directives de gestion du cyanure et aux normes de rejet de la Côte d'Ivoire.

Une approche de gestion des eaux de surface a été développée dans le cadre de l'EPD pour le site de Yaouré selon les principes énoncés ci-dessous :

- Les eaux de ruissellement des zones perturbées doivent être gérées séparément des zones non perturbées et rejetées uniquement si elles répondent aux critères de qualité de l'eau des effluents du site ;
- Les eaux de ruissellement provenant des zones non perturbées doivent être détournées autour des travaux du projet afin de minimiser les volumes d'eau nécessitant une gestion ;
- Les fossés de dérivation doivent être bordés d'herbe, avec des bassins de retenue incorporés dans les sections plus abruptes.

Les principes directeurs qui sous-tendent la conception de la gestion des eaux de surface élaborée dans le cadre de l'étude de faisabilité définitive sont les suivants :

- Les eaux de ruissellement provenant des zones non perturbées entourant l'infrastructure du site et le développement de la fosse seront détournés autour des zones perturbées vers les cours d'eau naturels en aval :
  - Les canaux de dérivation réduisent le potentiel d'érosion le long du périmètre de l'infrastructure du site, comme les diguettes au pied de la décharge ;
  - Les canaux de dérivation empêchent les eaux de ruissellement non perturbées de s'accumuler avec les eaux de ruissellement perturbées, ce qui permet de les déverser dans un cours d'eau en aval sans nécessiter de traitement de sédimentation avant le déversement.
- Les eaux de ruissellement provenant des bassins hydrographiques perturbés tels que les décharges et le site de l'usine de traitement seront captées par un canal de dérivation en aval et déviées vers un bassin de sédimentation avant d'être rejetées vers un cours d'eau aval ou un drain de dérivation.
  - Les canaux de dérivation minimisent le ruissellement perturbé non traité et les eaux de ruissellement perturbées, ce qui nécessiterait des bassins de sédimentation beaucoup plus grands pour sédimenter les sédiments dans le ruissellement combiné en raison de l'augmentation des volumes de ruissellement.
- Là où les drains de dérivation ne sont pas possibles en raison de la topographie locale, on envisagerait des mares d'eau et des options de pompage subséquentes.

La Figure 11 donne un aperçu du plan de gestion des eaux de surface élaboré dans le cadre de l'étude de cas de Yaouré. Les bassins hydrographiques de gestion des eaux de surface ont été délimités sur la base des données LIDAR actuellement disponibles, de la disposition de l'infrastructure du site et des contours des puits.

La majorité de la gestion de l'eau de surface du site est relativement simple et adhère étroitement aux principes directeurs détaillés ci-dessus. Un système de gestion des eaux de surface a été conçu de telle sorte qu'aucun aménagement d'étang et de pompage ne soit nécessaire et que toute l'eau puisse s'écouler par gravité sans nécessiter de travaux de terrassement importants.

Il y a cependant deux domaines clés qui devront être examinés plus en détail dans le cadre des phases ultérieures du projet afin d'optimiser la gestion des eaux de surface et leur relation avec le développement programmé de l'infrastructure. Les deux domaines pour un examen ultérieur comprennent :

## 1. Étendue nord-est de la décharge :

- Le bassin versant non perturbé (CW02a) d'environ 60 hectares situé entre les fosses Yaouré Nord et Yaouré Sud et les drains de décharge du cours d'eau naturel interceptés par le talon nord-est de la décharge ;
- On estime que cette zone de captage non perturbée génère des débits de pointe de ruissellement de plus de 13 m<sup>3</sup> / s pour la tempête de durée critique de 100 ans ;
- Une partie importante du bassin versant de déchets perturbés (DW06) se déverse également dans cette zone (via un bassin de sédimentation) et génère des débits de pointe de ruissellement d'environ 12,5m<sup>3</sup> / s pour la tempête de durée critique de 100 ans. ;
- Il est recommandé que l'alignement de drainage naturel soit conservé dans cette zone et que des modifications soient apportées à la conception des décharges (illustrée à la Figure 7) afin d'éviter la nécessité d'aménagements d'étang et de pompage Une accumulation importante à proximité de la fosse pourrait entraîner des problèmes de stabilité des talus et une augmentation des apports de fosses.

2. Au nord-est de la fosse CMA, il ne semble pas y avoir suffisamment d'espace pour fournir la largeur requise pour un canal de drainage de taille suffisante pour acheminer les eaux de ruissellement en aval en fonction de l'empreinte de l'étape 4 de l'infrastructure adjacente de CMA.

- La zone de captage non perturbée (CW02) d'environ 60 hectares à l'est de la fosse CMA et au sud de l'usine de traitement draine naturellement vers une zone située entre la fosse CMA et l'infrastructure adjacente dans laquelle la route de transport est proposée ;
- Il y a très peu d'espace dans cette zone pour fournir un canal de drainage de taille appropriée pour acheminer les débits de pointe de plus de 13 m<sup>3</sup> / s pour la tempête de durée critique de 100 ans;
- Il est entendu que l'infrastructure adjacente constituée des plates-formes de lixiviation en tas existantes ne sera plus en place lorsque l'empreinte finale de la fosse CMA sera atteinte et, par conséquent, la restriction spatiale pour la construction du canal de drainage pourrait ne pas se produire. la mise en scène du développement sur le site minier;
- Au cours de la phase de conception détaillée, la progression graduelle de l'enlèvement des blocs de sauts de tas doit être examinée pour prévoir les modifications nécessaires à l'alignement de drainage dans la zone lorsque le développement de la fosse CMA approche de son empreinte finale, en conjonction avec l'alignement de la route de transport qui peut être requise dans le voisinage.

### 1.8.3 Modélisation de l'eau de surface, flux de conception et risque d'inondation

#### Gestion du ruissellement non perturbée

Les deux plus grands bassins d'eau de surface non perturbés nécessitant un détournement autour de l'infrastructure du site minier sont d'environ 60 hectares (Ha) chacun. Le premier bassin versant (CW02a) s'écoule entre la décharge et la fosse septentrionale de Yaouré et reçoit des eaux de ruissellement provenant du deuxième plus grand bassin versant perturber de la décharge (DW06 - 63Ha) via un bassin de sédimentation. Le deuxième bassin versant (CW02) se draine au nord-est de la fosse CMA et le long des plateformes de lixiviation en tas existantes. En raison de la pente abrupte des tronçons supérieurs des deux bassins versants, le temps de concentration des bassins versants est assez court à seulement 20 minutes environ. Les débits de pointe estimés pour la période de retour de 20 ans de la période de retour de 100 ans sont d'environ 26 m<sup>3</sup> / s pour CW02a, ce qui inclut le ruissellement du bassin versant DW06 et 13 m<sup>3</sup> / s pour le CW02.

Les tronçons inférieurs des bassins versants à proximité des infrastructures et des aménagements de fosses ont une pente beaucoup moins profonde. En plus de transporter les eaux de ruissellement provenant d'un plus grand bassin versant en amont que les canaux de dérivation en amont plus raides, la pente moins profonde nécessite de plus grandes sections transversales des canaux. Des conceptions de canaux trapézoïdales ont été développées pour CW02a et CW02 et comprennent un canal de 1,2 m de profondeur x 3,0 m de largeur de base et un canal de 1,2 m de profondeur x 2,0 m de largeur, avec des pentes latérales de 1 (V): 2 (H). Les canaux se combinent en aval du développement de la fosse CMA, avant rejet dans l'environnement, et un canal de 1,7 m de profondeur x 6,0 m de largeur de base avec des pentes latérales de 1 (V): 2 (H) sera nécessaire pour acheminer le courant en aval du route de transport adjacente et décharge subséquente dans l'environnement.

La taille des captages d'eau de surface non perturbés restants varie de moins de 1 ha à 57 ha, avec des périodes de concentration généralement plus courtes en raison des petits bassins versants. Les canaux conçus sont en forme de V pour des débits plus faibles et trapézoïdaux pour des débits plus importants, tous avec des pentes latérales de 1 (V): 2 (H) et des profondeurs de 1,2 m ou moins.

Les détails de la conception des chenaux pour tous les bassins versants non perturbés sont fournis dans le rapport RPS sur la gestion des eaux de l'EFD fourni à l'annexe 6, y compris les exigences de volume de de terrassement estimées. Tous les modèles de canaux de dérivation étaient basés sur la méthode rationnelle d'estimation du débit de pointe, et ce qui suit:

- Période critique de la période de retour de 100 ans;
- La valeur n de Manning est de 0,029 (en gravier);
- Pentes latérales du canal de 1 (V): 2 (H);
- Pente minimale du canal le long de l'alignement de déviation sélectionné.

Dans les sections les plus raides des alignements de canaux, des mesures de contrôle de la vitesse seront nécessaires, qui peuvent inclure des structures de chute, des barrages de contrôle dans le canal et des méandres pour réduire les pentes du canal. Des bassins d'infiltration peuvent également être envisagés le long des canaux, ce qui réduira et retardera les débits de pointe dans le chenal, en plus de faciliter le tassement des sédiments avant leur rejet dans les cours d'eau en aval.

### **Gestion perturbée du ruissellement des bassins versants**

Les zones de captage perturbées comprennent le site de l'usine et l'infrastructure adjacente, le camp d'hébergement et la décharge. Les plus grands bassins versants perturbés sont le côté est de la décharge (DW06 - 63Ha), l'infrastructure autour des remblais de lixiviation en tas (DW07 - 68Ha) et la zone de traitement et de ROM pad (DW08 - 56Ha). Les canaux de dérivation le long du périmètre des bassins versants perturbés ont été dimensionnés de la même manière que les canaux de dérivation non perturbés.

Les voies de ruissellement perturbées ont été conçues sur la base de l'empreinte estimée des bassins versants perturbés par l'infrastructure du site afin de permettre le dimensionnement préliminaire des bassins de sédimentation requis. Le dimensionnement préliminaire minimal des bassins de sédimentation pour les eaux de ruissellement provenant des bassins hydrographiques perturbés sur le site était fondé sur le débit de pointe de la période de retour de cinq ans.

Une analyse granulométrique a été réalisée sur deux échantillons prélevés dans les eaux pluviales du site de Yaouré. La distribution indique que la grande majorité des particules sont inférieures à 100 microns mais supérieures à 1 micron. Les informations sur la répartition des particules entre ces deux tailles n'étaient pas disponibles, cependant, une taille de particule cible pour l'élimination de 50 microns a été choisie, car les exigences surfaciques pour cibler les plus petites particules auraient entraîné des bassins de sédimentation trop grands. Des mesures d'atténuation supplémentaires dans la gestion de l'eau en amont, telles que des barrages de retenue dans le chenal et des bassins de retenue, peuvent être mises en œuvre. Les bassins de sédimentation auront généralement une profondeur minimale de sédimentation de 0,6 m, avec une profondeur supplémentaire requise pour fournir une capacité de stockage pour les matériaux décantés. Les exigences de dimensionnement du bassin de sédimentation variaient de 5 m x 15 m à 42 m x 126 m (longueur x largeur) à travers les différents bassins versants perturbés.

Les détails de la conception du chenal et les détails de la taille de la sédimentation pour tous les bassins perturbés sont fournis dans le rapport du SRP sur la gestion des eaux du SRP fourni à l'annexe 6, y compris les exigences estimatives de volume de terrassement.

Le plan de gestion des eaux de surface doit être mis à jour en fonction des futures modifications d'aménagement de l'infrastructure du site.

#### **Gestion des eaux de surface - coûts d'exploitation et d'exploitation**

Le plan de gestion des eaux de surface développé ne nécessite aucun aménagement d'étang et de pompage et, par conséquent, aucun coût d'investissement (CAPEX) associé aux pompes, pipelines, etc. et aucun coût de fonctionnement (OPEX) associé aux besoins en puissance de pompage.

Les seuls CAPEX / OPEX liés à la gestion de l'eau sont ceux associés aux travaux de terrassement nécessaires à la construction des bassins de dérivation et de sédimentation. Les volumes estimés de coupes de terrassement sont détaillés dans le rapport du DSV sur la gestion de l'eau du SRP fourni à l'annexe 6, mais peuvent être résumés comme suit :

- Drains de dérivation - volume total de coupe de terrassement 80 000 m<sup>3</sup> ;
- Bassin de sédimentation - le volume total des terrassements a été réduit de 35 000 m<sup>3</sup> ;
- Volume total des travaux de terrassement = environ 115 000 m<sup>3</sup>.

Les travaux de terrassement proposés sont tous possibles à l'aide de machines de terrassement standard qui seront déjà sur place pour d'autres activités de construction. L'application d'un taux de terrassement spécifique au projet à ces volumes de terrassement dérivés permettra d'estimer les coûts réels de gestion de l'eau de surface.

## 1.9 Stratégie d'assèchement des puits

### 1.9.1 Stratégie de déshydratation

Une stratégie d'assèchement des fosses a été élaborée dans le cadre de l'EFD de Yaouré, en fonction du développement de la fosse actuellement proposé et des débits d'eau prévus par les modèles. Les entrées de puits comprendront les apports d'eau souterraine et d'eau de surface (ruissellement des précipitations), comme suit :

- Entrées d'eau souterraine - provenant de la masse rocheuse et des structures géologiques environnantes une fois que les fosses ont progressé sous la nappe phréatique ;
- Entrées d'eau de surface - provenant des eaux de ruissellement tombant dans l'empreinte de la fosse elle-même et aussi des bassins de surface immédiatement adjacents qui s'écoulent vers la fosse.

Les débits provenant de ces deux sources ont été prédits en utilisant des modèles hydrologiques et hydrogéologiques standards et en utilisant les zones de puits actuellement fournies, les profondeurs des puits et le calendrier de développement des puits.

La masse rocheuse entourant les fosses est généralement un matériau à faible perméabilité qui offre une possibilité limitée de gérer les apports d'eau souterraine via des alésages d'exhaure avancés à l'extérieur de la fosse à ciel ouvert. Cependant, il existe une possibilité de captage localisé des eaux souterraines par des trous d'assèchement où des zones de fractures plus perméables existent. Il est proposé que la majeure partie des eaux de ruissellement provenant des eaux souterraines et des eaux pluviales soit évacuée par pompage des puisards.

Les apports de fosses ont été estimés pour chaque bassin versant individuel, chacun d'entre eux comprenant un point d'élévation local auquel le bassin versant de la fosse environnante se déverse. Il est proposé que les puisards dans la fosse soient creusés à chacun des points bas et que des pompes d'assèchement dans la fosse soient situées à chacun de ces emplacements. Les eaux de ruissellement et les apports d'eau souterraine s'écouleront dans ces puisards et seront ensuite pompés hors de la fosse par des conduites d'évacuation de drainage. Les conduites d'assèchement se déverseront dans des bassins de sédimentation alignés, situés non loin du périmètre de la fosse, afin d'assurer le traitement des sédiments avant leur rejet dans l'environnement ou leur utilisation ultérieure sur le site. Un aperçu du système d'assèchement de la fosse proposé est fourni à la Figure 12.

En plus des puisards principaux, de petits puisards temporaires seront installés à divers endroits autour de la fosse pour contrôler localement l'eau dans les zones de travail ou dans les zones d'infiltration d'eau souterraine améliorées localisées. Ces petits puisards se déverseront ensuite dans le puisard de la fosse principale ou seront pompés directement hors de la fosse à partir de ces endroits. Des stations de pompage de surpression ou de transition seront probablement nécessaires pour pomper l'eau du puisard de la fosse CMA, au fur et à mesure que la fosse évoluera vers la phase 4 de la conception de la fosse de CMA.

La zone de transition (directement au-dessus de la roche fraîche) forme souvent une zone hautement transmissive localisée qui a le potentiel de transmettre rapidement de grands volumes d'eau de pluie infiltrante à la fosse lors de gros orages. Il est recommandé qu'un système d'assèchement de banc spécifique soit installé à l'intérieur de la fosse à cet endroit afin de gérer tout afflux amélioré à partir de cet horizon. Ce système pourrait inclure l'incorporation d'un drain de bermes et risberme légèrement plus grand à ce niveau afin que ces apports puissent être interceptés et gérés en conséquence.

Là où des structures perméables existent et où il existe un potentiel d'infiltration localisée d'eau souterraine dans les puits, des trous d'ex-fosse ou d'égouttage dans la fosse seront considérés afin d'intercepter cette eau avant qu'elle ne s'écoule dans la fosse. Les trous d'assèchement, s'ils sont installés, devraient cibler des structures perméables telles que la zone CMA ou le contact volanoclastique / basalte. L'utilisation d'alésages d'assèchement n'est pas susceptible de réduire significativement les besoins globaux de pompage des eaux souterraines, mais elle aurait l'avantage de minimiser le pompage, de fournir un approvisionnement en eau plus propre, d'abaisser les niveaux d'eau souterraine et d'améliorer la stabilité des parois au-dessus de sédiments riches en argile.

### 1.9.2 Conception du système d'assèchement

Lorsque les fosses sont creusées dans des roches relativement peu perméables, la conception du système d'assèchement des fosses se concentre principalement sur la gestion du ruissellement des grandes tempêtes et sur la réduction du temps d'inaccessibilité à la fosse en raison de l'inondation.

Afin de concevoir des systèmes de pompage appropriés pour l'assèchement des fosses, on a évalué les débits d'eaux souterraines et d'eaux pluviales combinées potentielles (eaux de surface) sur une période de 24 heures. Les apports d'eau souterraine moyens prévus dans chacune des fosses finales individuelles (détaillées à la section 6.7) sur une période de 24 heures (basée sur le seul scénario de pompage dans le puisard qui maximise les apports d'eau souterraine) sont présentés dans le Tableau 4.

Les apports d'eau de surface aux sous-bassins versants pour la conception finale de la fosse ont été estimés à l'aide des précipitations de 24 heures sur 24, des sous-bassins versants individuels et un coefficient de ruissellement volumétrique de 0,63, et sont également présentés dans le Tableau 4.

**Tableau 4 : Volumes d'arrivée de fosse finale prévus pour un événement de retour de 100 heures sur 24 heures**

Sub	Area (Ha)	SW Inflow (m <sup>3</sup> )	GW Inflow (m <sup>3</sup> )	Total Inflow (m <sup>3</sup> )
CMA Stage 4	65	74,631	3,724	78,355
Yaouré North 1	15	16,763	307	17,070
Yaouré North 2	15	16,834	604	17,438
Yaouré South 1	33	38,495	20	38,514
Yaouré South 2	7	8,299	57	8,356

La capacité de pompage requise pour éliminer les débits totaux prévus (eaux souterraines et eaux de surface) de la période de récurrence de 100 ans, de chaque bassin, en 3 à 5 jours, est présentée au tableau 6. 5 et fournit également des détails sur la zone de sédimentation les exigences pour gérer l'eau pompée de chaque fosse.

**Tableau 5 : Exigences de bassin de pompage et de sédimentation d'assèchement de fosse (3-5 jours)**

Pit	Débit de pompage (L/s)	Head Requirement (m)	Temps d'assèchement (Days)	Basin Area (m <sup>2</sup> )
CMA Stage 4	200	200	4-5	147
Yaouré North 1	50	120	4	48
Yaouré North 2	50	130	4	48
Yaouré South 1	100	70	4	75
Yaouré South 2	35	90	3	27

Une évaluation supplémentaire a été entreprise pour déterminer si l'exploitation minière pouvait se poursuivre sur les bancs supérieurs pendant l'assèchement de la fosse, et la capacité de pompage requise est présentée au Tableau 6 (avec les exigences de la zone de bassin de sédimentation).

**Tableau 6 : Exigences relatives au bassin de pompage et de sédimentation de l'assèchement des fosses (7 jours)**

Pit	Débit de pompage (L/s)	Head Requirement (m)	Temps d'assèchement (Days)	Basin Area (m <sup>2</sup> )
CMA Stage 4	130	200	7	108
Yaouré North 1	30	120	7	27
Yaouré North 2	30	130	7	27
Yaouré South 1	65	70	7	48
Yaouré South 2	15	90	7	12

De plus, les spécifications indicatives des pompes (utilisant les pompes Allight / Sykkes comme exemples standard) et les coûts approximatifs des pompes sont présentées dans le Tableau 7. Aucun autre coût en capital ou d'exploitation n'a été calculé pour le plan de déshydratation et nous comprenons que ces coûts seront pris en compte dans les coûts du maître d'œuvre.

**Tableau 7 : Exemples et coûts de la pompe d'assèchement de la fosse**

Sub	Pump	Pump Unit Cost (USD)	No. of Lifts	Total No. Pumps	Total Pump Cost (USD)
CMA Stage 4	XH150 x 2	\$130,000	2	4	\$480,000
	HH130i x 2	\$110,000			
Yaouré North 1	HH130i x 1	\$110,000	1	1	\$110,000
Yaouré North 2	HH130i x 1	\$110,000	1	1	\$110,000

Sub	Pump	Pump Unit Cost (USD)	No. of Lifts	Total No. Pumps	Total Pump Cost (USD)
Yaouré South 1	HH130i x 2	\$110,000	1	2	\$220,000
Yaouré South 2	HH130i x 1	\$110,000	1	1	\$110,000

### 1.9.3 Volumes annuels d'assèchement des fosses

Les estimations des volumes annuels moyens d'assèchement des fosses (pour chaque fosse) ont été calculées en fonction des apports d'eau souterraine des sept périodes de tempête évaluées dans le modèle des eaux souterraines et des débits d'eau de surface associés. Les apports d'eau de surface annuels moyens étaient basés sur les sous-bassins versants, un coefficient de ruissellement volumétrique de 0,42 et une pluviométrie annuelle moyenne de 1 273 mm. Le Tableau 8 fournit les estimations des volumes totaux d'assèchement des fosses pour une période d'un an, en fonction des précipitations annuelles moyennes prévues et des apports d'eau souterraine pour chaque fosse et pour chaque période de tempête.

**Tableau 8 : Entrées annuelles moyennes des puits (m<sup>3</sup>)**

Pit	SP1 01/01/18 to 31/03/19	SP2 31/03/19 to 31/03/20	SP3 31/3/20 to 30/06/20	SP4 30/06/20 to 01/04/21	SP5 01/04/21 to 30/09/21	SP6 30/09/21 to 30/09/22	SP7 30/09/22 to 30/06/26
CMA Stage 1	706,000	499,000	487,000	-	-	-	-
CMA Stage 2	-	216,000	207,000	-	-	-	-
CMA Stage 3 North	-	-	-	492,000	694,000	-	-
CMA Stage 3 South	-	-	-	132,000	186,000	-	-
CMA Stage 4	-	-	-	-	-	1,706,000	1,208,000
Yaouré North 1	393,000	259,000	252,000	252,000	220,000	190,000	158,000
Yaouré North 2	528,000	366,000	359,000	359,000	328,000	298,000	266,000
Existing Pit	204,000	213,000	213,000	188,000	-	-	-
Yaouré South 1	-	-	-	-	217,000	186,000	179,000
Yaouré South 2	-	-	-	-	112,000	60,000	46,000
<b>Total Average Annual</b>	<b>1,831,000</b>	<b>1,553,000</b>	<b>1,518,000</b>	<b>1,423,000</b>	<b>1,757,000</b>	<b>2,440,000</b>	<b>1,857,000</b>

## 1.10 Programme de surveillance de l'eau

Un réseau complet de surveillance de l'eau a été mis en place sur le site minier de Yaouré et la surveillance de l'eau a été achevée aux fins de l'ÉFP et de l'ÉFD. Une surveillance continue de l'eau sera nécessaire afin de continuer à établir les conditions de base avant le début de l'exploitation minière. Le programme de surveillance de l'eau devrait être revu et affiné au fur et à mesure que le projet passe à la phase de construction puis à l'exploitation et à la fermeture pour s'assurer que le programme de surveillance de l'eau répond aux exigences spécifiques de chaque phase du projet.

### 1.10.1 Surveillance météorologique

La surveillance météorologique est effectuée à la station météorologique du site minier de Yaouré. Une station météorologique automatique surveille actuellement la température, l'humidité, les précipitations, la vitesse du vent et la direction du vent. Il est recommandé que la surveillance météorologique continue d'être surveillée quotidiennement.

### 1.10.2 Surveillance de l'eau de surface

#### Flux d'eau de surface

Il existe actuellement six stations de surveillance du débit des eaux de surface à proximité du site de Yaouré. La surveillance du débit a commencé à cinq endroits (S1, S5, S8, S12 et SW4) en décembre 2014 et à S13 en septembre 2016. Les débits sont actuellement surveillés mensuellement pendant la saison sèche et plus régulièrement pendant la saison des pluies. Il est recommandé que la surveillance du débit d'eau de surface se poursuive sur la même base, avec un suivi du débit basé sur l'événement entrepris pendant la saison des pluies.

#### Qualité de l'eau de surface

Il existe actuellement quatorze sites de surveillance de la qualité des eaux de surface à proximité du site de Yaouré. Sept sites de surveillance sont situés sur des cours d'eau de surface (S1, SW3, SW4, S5, SW6, S8, S12 et SWWS) dans la zone du projet. Le lieu S12 semble échantillonner un cours d'eau qui ne capturera pas le ruissellement du bassin versant du site, mais il fournit des données de base utiles sur la qualité de l'eau. Trois sites de surveillance sont situés dans des bassins d'eau de surface (SWBP, SWDP et SWEP) et trois emplacements (YSP, YCP et YNP) sont situés dans la zone des puits.

Une fois le développement de la fosse commencé, il ne sera plus possible de poursuivre la surveillance de la qualité de l'eau précédemment entreprise dans la zone des fosses. Cependant, lorsque l'assèchement de la mine commence, il est recommandé que la surveillance de la qualité de l'eau enlevée par l'assèchement soit achevée et que les débits d'assèchement soient également surveillés.

Il est recommandé que la surveillance de la qualité des eaux de surface soit effectuée tous les trimestres.

### 1.10.3 Surveillance des eaux souterraines

#### Niveaux d'eau souterraine

Le réseau de surveillance du niveau des eaux souterraines existant offre une bonne couverture sur l'ensemble du site du projet Yaouré, y compris les villes et villages locaux. Les forages hydrogéologiques nouvellement forés devraient être inclus dans le réseau de surveillance. Des points de surveillance des eaux souterraines existent entre la fosse et le lac Kossou, et ces points de surveillance permettront de surveiller tout retrait potentiel du niveau d'eau entre la fosse et le lac.

Certains des points de surveillance sont situés dans l'empreinte du développement minier proposé, y compris la fosse proposée, les décharges et les emplacements du parc à résidus. Ainsi, certains points de surveillance seront perdus pendant le développement de la mine. Des points de surveillance supplémentaires du niveau des eaux souterraines seront également requis autour de la périphérie de la fosse afin de surveiller le rabattement de la nappe phréatique pendant le développement de la fosse (et l'assèchement de la fosse) et de surveiller les distributions de pression interstitielle. L'emplacement, le nombre et le type de points de surveillance devront être discutés avec l'équipe d'ingénierie géotechnique pour s'assurer que les exigences des programmes géotechniques et hydrogéologiques sont prises en compte.

Il est recommandé de définir au moins six emplacements de surveillance du niveau d'eau souterraine / de la pression interstitielle au niveau des fosses. Il est également recommandé de définir d'autres emplacements de surveillance des eaux souterraines afin de remplacer les points de surveillance du niveau des eaux souterraines perdus pendant le développement.

Il est recommandé que les niveaux d'eau souterraine soient surveillés sur l'ensemble du réseau de surveillance des eaux souterraines sur une base mensuelle.

### **Qualité de l'eau souterraine**

Le réseau de surveillance de la qualité des eaux souterraines existant offre une bonne couverture sur l'ensemble du site du projet Yaouré. La distribution des points de surveillance de la qualité des eaux souterraines présente des problèmes similaires au réseau de surveillance du niveau des eaux souterraines, car certains points de surveillance de la qualité des eaux souterraines coïncident avec les développements miniers proposés, tels que la fosse ou le parc à résidus, et sera donc perdu pendant le développement. Le réseau de surveillance de la qualité des eaux souterraines fournit des données provenant des principales villes et villages de la zone du projet Yaouré ainsi qu'entre la mine et le lac Kossou et la rivière Bandama. Il est recommandé de définir d'autres emplacements de surveillance des eaux souterraines pour remplacer les points de surveillance de la qualité des eaux souterraines perdus durant le développement.

Il est recommandé que la surveillance de la qualité des eaux souterraines soit effectuée sur l'ensemble du réseau de surveillance des eaux souterraines tous les trimestres.

#### **1.10.4 Gradient souterrain de surveillance d'eau du parc à résidus**

La surveillance continue de l'eau en aval du parc à résidus sera cruciale pour l'établissement de données de base sur la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines et pour la surveillance de la qualité de l'eau après l'aménagement du parc à résidus.

### **Flux d'eau de surface et qualité**

Actuellement, la qualité et le débit de l'eau de surface sont surveillés à deux endroits en aval du parc à résidus proposée (SW4 et S5). Les flux à S5 ont été suivis de décembre 2014 à octobre 2017 et à SW4 de novembre 2014 à janvier 2016. Les résultats de qualité de l'eau ne sont disponibles qu'à partir de 2014 et 2015 (trois échantillons à SW4 et dix échantillons à S5).

Les recommandations suivantes sont fournies en ce qui concerne le débit d'eau de surface et la surveillance de la qualité en aval du parc à résidus :

- Un site supplémentaire de surveillance des eaux de surface (EIES / S15) devrait être inclus dans le réseau de surveillance. Le nouveau site devrait être situé à moins de 50 m (et sur le chenal de drainage principal) en aval du remblai de l'EST proposé pour le sud-Est ;

- Les débits aux points SW4, S5 et au nouvel emplacement devraient être surveillés tous les mois pendant la saison sèche et plus régulièrement pendant la saison des pluies ; avec un suivi des flux basé sur les événements entrepris pendant la saison des pluies ;
- La surveillance de la qualité des eaux de surface devrait être effectuée sur une base mensuelle afin de développer un ensemble de données robuste, car il n'y a actuellement aucune donnée après 2015.

### Niveaux d'eau souterraine et qualité

Actuellement, la surveillance des eaux souterraines est réalisée à trois forages EIES / G4, EIES / G5 et GW9 à proximité et en aval du parc à résidus. Les niveaux d'eau souterraine sont surveillés de façon sporadique aux EIES / G4 et EIES / G5. Les résultats sur la qualité des eaux souterraines sont disponibles auprès de EIES / G4, EIES / G5 et GW9 de décembre 2014 et novembre 2015 ; et pour janvier 2017 à GW9.

Les recommandations suivantes sont fournies en ce qui concerne la surveillance du niveau et de la qualité de l'eau souterraine en aval du parc à résidus :

- Deux forages supplémentaires ont été installés en aval du parc à résidus (YRC1173WO et YRC1174WP). Ces deux nouveaux trous devraient être intégrés dans le réseau de surveillance des eaux souterraines ;
- Les niveaux des eaux souterraines devraient être surveillés aux EIES / G4, EIES / G5, GW9, YRC1173WO et YRC1174WP sur une base mensuelle ;
- La surveillance de la qualité des eaux souterraines devrait être effectuée mensuellement aux ESIA / G4, ESIA / G5, GW9 et YRC1173WO (ou YRC1174WP au lieu de YRC1173WO si elle est équipée d'une pompe) afin de développer un ensemble de données robuste, comme actuellement données très limitées sur la qualité des eaux souterraines après 2015.

## 1.11 Risques et opportunités de gestion de l'eau

### 1.11.1 Risques

Les risques du projet ont déjà été évalués par PML dans l'étude de faisabilité de l'étude de faisabilité de Yaouré (PML avril 2016). Les risques précédemment identifiés dans l'évaluation des risques de PML et les commentaires subséquents après l'achèvement de la zone de l'étude de faisabilité définitive sont les suivants :

- Impact potentiel de l'assèchement des fosses desséchant les fosses d'approvisionnement en eau souterraine du village d'Angovia.

Les études hydrogéologiques complétées et la modélisation subséquente des eaux souterraines réalisée dans le cadre de l'étude de faisabilité définitive prédit que l'assèchement des fosses pourrait réduire les niveaux d'eau souterraine dans la région du village d'Angovia jusqu'à 2,5 m dans la roche altérée supérieure et dans la roche fraîche sous-jacente à la fin de durée de vie de la mine. L'ampleur de l'impact

de cette baisse prévue des niveaux d'eau sur les puits d'alimentation villageois dépendra de la profondeur actuelle de l'eau dans ces fosses et de la profondeur de ces fosses (même si le niveau d'eau baisse dans la fosse aussi bien que la fosse est assez profond alors la seule conséquence peut être d'avoir à pomper de l'eau d'une plus grande profondeur). Cependant, si les fosses du village commençaient à devenir moins fiables à la suite de l'assèchement de la mine, le forage SHB1 situé à proximité (illustré à la Figure 3) constitue un approvisionnement en eau de remplacement viable pour le village d'Angovia. À la fin de l'EFD, il existe un faible risque résiduel ;

- Impact potentiel sur la qualité des eaux souterraines et des eaux de surface résultant d'un déversement d'eau provenant des bassins de lixiviation en tas ou du parc à résidus résultant de l'infiltration résultant de l'usure des revêtements ou des dommages et / ou du débordement des bassins de lixiviation / du parc à résidus dû à l'échec des mécanismes de décharge :
  - Le parc à résidus a été déplacé pour l'étude de faisabilité définitive est maintenant directement en amont du village de Kouakougnanou. Une infiltration excessive d'eau de mauvaise qualité à la base du parc à résidus ou un débordement du parc à résidus pourraient avoir un impact significatif sur la qualité des eaux souterraines et des eaux de surface à proximité du village de Kouakougnanou et plus en aval. La gestion appropriée des bassins de lixiviation en tas / du parc à résidus, la surveillance continue de l'eau et les plans d'intervention d'urgence associés à ces installations contribueront à atténuer le risque, mais les conséquences majeures associées à la contamination potentielle par infiltration / débordement du parc à résidus le risque demeure.
- Une gestion inadéquate de l'eau sur le site pourrait entraîner un rejet forcé de l'eau dans l'environnement naturel (pouvant avoir des répercussions en aval sur la qualité de l'eau et les inondations) et l'inondation potentielle du site minier et de la fosse :
  - Les études hydrologiques / hydrogéologiques complétées, la modélisation des eaux souterraines, la modélisation des eaux de surface et les conceptions robustes de gestion des eaux de surface (utilisant des événements critiques sur 100) réalisées dans le cadre de l'EFD ont atténué les risques associés à une gestion inadéquate des eaux. Cependant, les conséquences majeures associées à ce risque (contamination de l'environnement en aval, inondations / dommages des infrastructures clés de la mine, inondation des fosses, risque accru de défaillance de la paroi et risque accru de défaillance du parc à résidus) entraînent un risque résiduel moyen.
- Si elle n'est pas correctement gérée, la contamination des eaux souterraines peut se produire par déversement accidentel dans la zone de sol de matières dangereuses ou toxiques (mouvement, entretien, ravitaillement des véhicules et des installations) ou de stockage (huiles, carburants, solvants, lixiviats et composés de cure). L'évaluation des risques de la LEMP a conclu que ce risque pouvait être atténué par des mesures normalisées relatives à l'utilisation, au stockage et au transport des substances dangereuses :
  - L'EFD confirme que cela reste un faible risque résiduel.
- L'inondation potentielle des fosses peut se produire lorsque des structures de haute transmissivité sont intersectées et hydrauliquement reliées à de grands réservoirs d'eau (par exemple le lac Kossou), ce qui pourrait entraîner des interruptions des activités minières et / ou des coûts de pompage supplémentaires. Compte tenu de la conception du système d'assèchement (y compris

une pompe mobile d'une capacité de 370 m<sup>3</sup> / h), l'évaluation des risques PML a considéré que le risque résiduel était faible :

Les études de terrain hydrologiques / hydrogéologiques, la modélisation des eaux souterraines, la modélisation des eaux de surface, la conception de gestion des eaux de surface robustes (utilisant des événements critiques sur 1 an) et les plans d'assèchement des puits robustes ont atténué les risques associés aux inondations des fosses. À la fin de l'EFD, il existe un faible risque résiduel.

Les risques supplémentaires identifiés par le RPS dans le cadre de l'EFD sont les suivants :

- L'inondation potentielle des fosses peut se produire lorsque la zone de transition (directement au-dessus de la roche fraîche) est très transmissive et transmet rapidement d'importants volumes d'eau de pluie infiltrante dans la fosse lors d'importants orages, comme cela a été le cas dans d'autres mines de la région.

Les impacts potentiels sur l'exploitation de la mine peuvent être atténués en incorporant une stratégie d'assèchement appropriée pour gérer les débits prévus à partir de cet horizon, ce qui peut inclure un système d'assèchement de banc spécifique à ce niveau ou des trous d'assèchement ciblés. S'il est géré de manière appropriée, le risque résiduel est estimé faible ;

- Panne potentielle de la paroi de la mine si les pressions d'eau interstitielle dans les parois de la fosse ne sont pas gérées efficacement. La majorité de la masse rocheuse recoupée par la fosse semble avoir une faible perméabilité et, par conséquent, ne pas drainer facilement et pourrait entraîner une accumulation de pression interstitielle dans la paroi de la fosse, ce qui pourrait entraîner une instabilité de la paroi.
- Réalisation d'évaluations géotechniques appropriées et mise en œuvre d'une stratégie appropriée de dépressurisation de la paroi des fosses (incluant des trous de drainage horizontaux correctement espacés et de longueur, drainage des structures perméables, etc.). S'il est géré de manière appropriée, le risque résiduel est estimé faible ;
- L'extrémité nord-est de la décharge de déchets proposée croise un canal de cours d'eau existant avec un important bassin versant en amont. La gestion de l'eau de surface à cet endroit sera critique afin de garantir l'intégrité des décharges et que les eaux de ruissellement perturbées provenant de la décharge soient gérées de manière appropriée. Bien qu'il s'agisse d'un domaine nécessitant une attention particulière, s'il est géré conformément aux plans de gestion de l'eau de surface proposés complétés dans le cadre de l'EFD, le risque résiduel est estimé faible.

### 1.11.2 Opportunités

L'évaluation terminée suggère que l'installation de forages d'assèchement ne réduirait pas nécessairement les besoins globaux d'assèchement, cependant, les forages d'assèchement procurent un certain nombre d'avantages. L'installation d'un ou plusieurs forages d'assèchement offrirait les possibilités suivantes :

- Déshydratation avancée - permettre d'abaisser les niveaux d'eau dans la fosse avant l'exploitation minière plutôt que simultanément avec l'exploitation minière, ce qui peut conduire à un sol plus sec créant de meilleures conditions minières, moins d'usure des pneus et de meilleures conditions de dynamitage;
- Détérioration géotechnique et dépressurisation précoce de la saprolite riche en argile (en particulier dans la paroi nord-est où l'oxyde s'étend jusqu'à plus de 40 m de profondeur) ;

- Gestion de l'eau - pompage moins d'eau chargée de sédiments «sales» à partir du plancher de la fosse, ce qui réduit les coûts de pompage (hauteur réduite) et réduit les besoins en traitement de l'eau;
- Approvisionnement en eau - un ou plusieurs forages d'assèchement fourniraient une option d'approvisionnement en eau « propre » supplémentaire.

## 1.12 Conclusions

Les principales conclusions de l'EFDde Yaouré sont les suivantes :

- Il existe de nombreuses données pluviométriques pour diverses stations météorologiques dans la zone du projet Yaouré et il existe quatre années de données pluviométriques pour le site minier de Yaouré ;
- Le réseau existant de surveillance des eaux de surface et des eaux souterraines offre une bonne couverture dans la zone du projet Yaouré et dans les environs des villes et villages locaux ;
- Les tests hydrogéologiques complétés suggèrent que la perméabilité des strates dans la zone du projet Yaouré est généralement faible, bien qu'il existe des zones isolées de perméabilité modérée, les valeurs de perméabilité dérivées allant de  $1 \times 10^{-7} \text{ m / s}$  à  $7 \times 10^{-6} \text{ m / s}$  ;
- La méthode rationnelle a été utilisée pour calculer les estimations de débit de pointe, pour les bassins versants des sites miniers spécifiques, pour les événements de durée critique de retour de 100 ans. Les flux de conception vont jusqu'à un maximum de  $26 \text{ m}^3 / \text{s}$ . Il y a un potentiel de débit de pointe significatif durant les épisodes de fortes précipitations, mais ceux-ci devraient être relativement simples à gérer avec une stratégie et une conception de gestion des eaux pluviales appropriées ;
- Un plan de gestion des eaux de surface a été élaboré pour le plan minier actuel et la disposition actuelle de l'infrastructure. Les canaux de dérivation ont été dimensionnés pour gérer les débits de pointe avec un franc-bord supplémentaire de 300 mm. Des mesures de réduction de la vitesse d'écoulement dans le chenal, telles que des structures de chute, des fosses d'arrêt et des digues de retenue dans le chenal, seront nécessaires. Le dimensionnement des canaux de dérivation varie de 0,5 m en forme de V à 1,5 m de profondeur, avec des canaux trapézoïdaux de 5 m de largeur de base, avec des pentes latérales de 2 H: 1 V;
- Le plan de gestion des eaux de surface mis au point ne nécessite aucun pompage ; par conséquent, les pompes, les pipelines, etc. ne comportent aucun coût en capital et aucun coût d'exploitation associé à la puissance de pompage. Les seuls coûts d'immobilisation et / ou d'exploitation liés à la gestion de l'eau sont ceux associés aux travaux de terrassement requis pour la dérivation et la construction du bassin de sédimentation. Les volumes totaux de terrassement ont été estimés à environ 115 000 m<sup>3</sup>. Les travaux de terrassement proposés nécessitent des engins de terrassement standard qui seront déjà sur place pour d'autres activités de construction ;
- Un modèle numérique d'écoulement des eaux souterraines 3D a été développé pour la zone du projet Yaouré et a été utilisé pour prédire les taux d'infiltration des eaux souterraines et l'impact potentiel de l'assèchement de la mine sur l'approvisionnement en eau des villages locaux (2018 à 2026) ;
- La structure de CMA a une influence importante sur les débits d'eau souterraine dans les fosses et le cône de dépression. Le prélèvement dans les roches altérées et les roches fraîches d'Angovia devrait atteindre environ 2,5 m pendant la durée de vie de la mine. Le rabattement du niveau d'eau prévu dans les autres villes adjacentes (Akakro et Kouakou) devrait être inférieur à un mètre. Aucun impact significatif n'est prévu à la suite de l'assèchement de la mine sur le lac Kossou ou la rivière Bandama;

- L'installation d'un forage d'assèchement à l'ex-fosse ciblant la structure de CMA entraînerait des taux d'assèchement combinés (forages et fosse) semblables à ceux sans l'inclusion d'un forage de déshydratation de la fosse. Cependant, les avantages associés à l'assèchement du forage de CMA (ou à des zones similaires plus perméables) comprennent des possibilités avancées de déshydratation, une dépressurisation améliorée et plus précoce de la saprolite, un pompage d'eau moins « sale » et un approvisionnement en eau propre sera une option. Les caractéristiques hydrogéologiques de CMA nécessiteraient une évaluation plus poussée pour confirmer ses paramètres hydrauliques, si elle doit être utilisée comme cible de forage de drainage ;
- Les volumes annuels d'assèchement de la fosse ont été estimés pour les fosses individuelles pour sept étapes représentatives du développement de la fosse. Les apports d'eau souterraine combinés dans toutes les différentes fosses vont jusqu'à 55L / s pendant la durée de vie de la mine (scénario de base), en supposant une déshydratation simultanée de toutes les fosses.

Les apports d'eau souterraine dans les fosses individuelles vont de 43L / s (CMA Étape 4), 14L / s (Yaouré Nord 2), 10L / s (Yaouré Nord 1) à moins de 5L / s pour toutes les autres fosses restantes combinées. Il convient de noter que la séquence minière finale et les conceptions définitives de la fosse peuvent différer de celles modélisées dans le cadre de cette évaluation, cependant, les entrées globales de la fosse ne devraient pas différer sensiblement de celles prédites ;

- Une stratégie d'assèchement de la fosse et une conception du système ont été élaborées en fonction du dernier développement de la fosse, avec des spécifications de pompes basées sur l'élimination des précipitations de 24 heures (plus les apports d'eau souterraine durant cette période) dans les 3 à 5 jours. 7 jours de survenance de l'événement.

Les principaux risques potentiels associés à la gestion de l'eau comprennent :

- Assèchement de la fosse ayant un impact sur les niveaux d'eau dans les puits des villages voisins, de sorte qu'ils deviennent moins fiables ou s'assèchent complètement ;
- La contamination locale des eaux souterraines et des eaux de surface par suite d'écoulement ou de débordement provenant du parc à résidus ;
- Une gestion inadéquate de l'eau sur le site pourrait entraîner un rejet forcé d'eau dans l'environnement naturel (pouvant avoir des répercussions en aval sur la qualité de l'eau et les inondations) et l'inondation potentielle du site minier et des fosses ;
- L'inondation des fosses pendant et après de grands événements de tempêtes ou associée à l'interception de zones de haute transmissivité telles que des structures ou la zone de transition ;
- L'instabilité de la paroi des puits à la suite de l'augmentation de la pression de l'eau interstitielle dans les parois des puits ;
- Une gestion inadéquate de l'eau de surface dans le coin nord-est de la décharge de déchets proposée pourrait compromettre l'intégrité de la décharge de déchets dans cette zone et entraîner le rejet hors site d'une eau de mauvaise qualité.

L'adoption de mesures de gestion appropriées (et d'atténuation, si nécessaire) signifie que toutes sont à faible risque, à l'exception des infiltrations / trop-pleins et de la gestion inadéquate de l'eau du site qui demeurent respectivement des risques élevés et moyens. Les articles ont des conséquences potentiellement importantes.

### 1.13 Recommandations et portée additionnelle des travaux

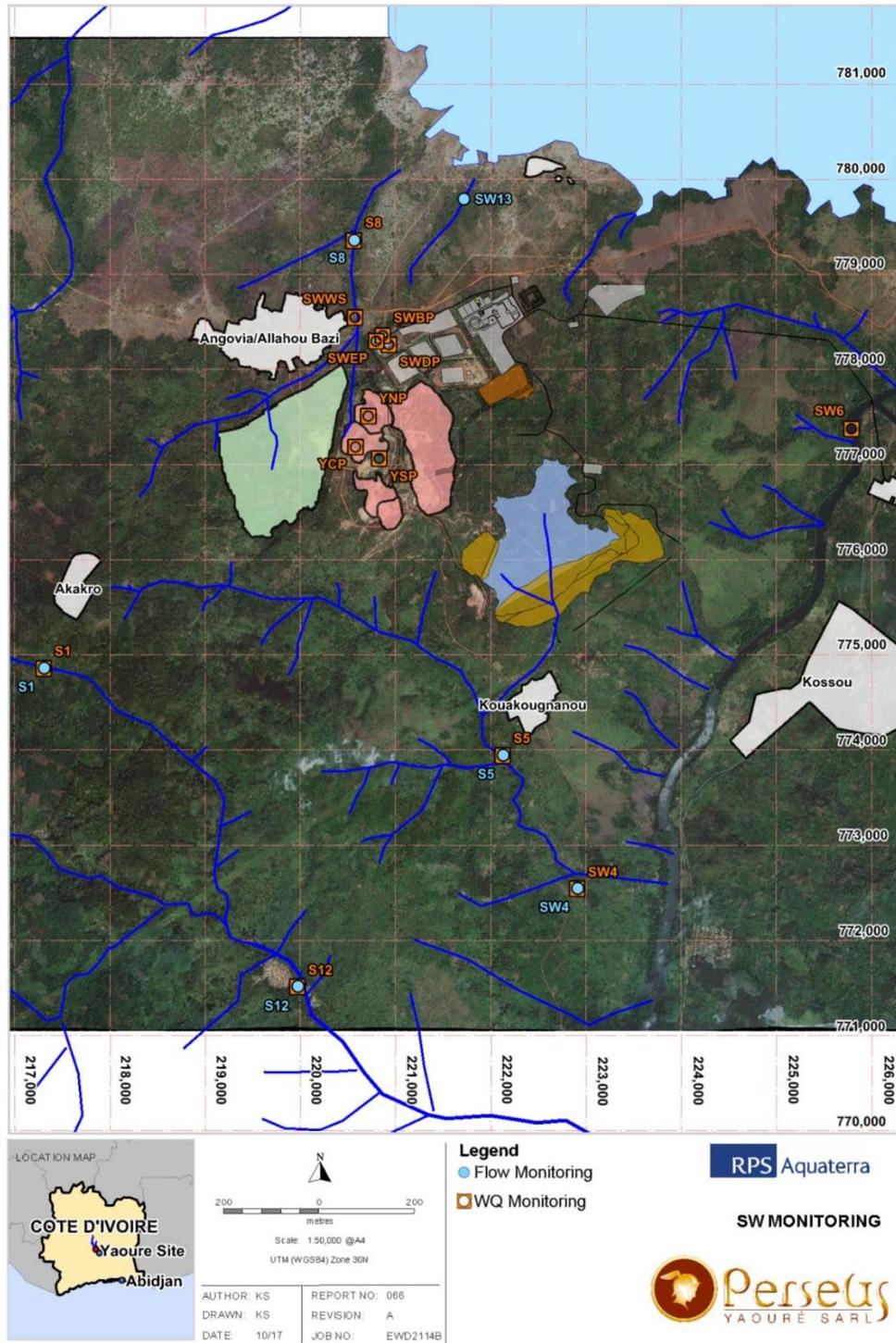
Les recommandations pour les étapes suivantes du développement du projet comprennent:

- Le plan de gestion des eaux de surface devrait être mis à jour conformément à :
  - les données pluviométriques nouvellement disponibles;
  - mise à jour des plans d'implantation de l'infrastructure du site, ou
  - mise à jour des plans de mine.
- Le plan de gestion des eaux de surface doit être examiné dans deux zones clés (nord-est de la fosse CMA et nord-est de la décharge) afin d'optimiser la gestion des eaux de surface et de minimiser les exigences de conception.
- Le programme de surveillance des eaux de surface et des eaux souterraines devrait être conforme aux recommandations proposées à la section 6.10 ;
- Des points supplémentaires de surveillance du niveau ou de la pression des eaux souterraines devraient être installés autour de la périphérie des fosses proposées ;
- Des essais hydrauliques supplémentaires devraient être effectués sur la zone de contact CMA et volcanoclastique / basalte (afin de confirmer les paramètres hydrauliques), s'il est décidé d'inclure des trous d'assèchement dans le cadre de la stratégie de déshydratation ;
- La modélisation de la nappe phréatique devrait être mise à jour en fonction de la mise à jour de la conception de la mine ou de la fosse et de la révision des prévisions d'entrée et de sortie des eaux souterraines ;
- Le plan de déshydratation devrait être mis à jour en fonction de tout nouveau séquençage de la mine ou de la conception des fosses et des prédictions d'entrée ;
- Évaluer l'impact potentiel du stockage de l'eau dans les fosses de Yaouré, s'il y a lieu, sur les niveaux locaux d'eau souterraine et les apports d'eau souterraine dans les fosses adjacentes.
- Les mesures suivantes sont recommandées afin de fournir une surveillance fiable de tout impact sur les niveaux d'eau souterraine et de permettre la validation continue des prédictions du modèle d'eaux souterraines :
  - Les niveaux d'eau devraient être surveillés sur une base mensuelle (profondeur de l'eau et RL) dans des forages sélectionnés entourant la fosse, dans d'autres zones clés de la mine et entre la mine et les villages adjacents ;
  - Les taux de pompage devraient être enregistrés dans tous les puits et les forages de la zone ;
  - Le pompage d'assèchement et les niveaux d'eau de la mine devraient être enregistrés sur une base mensuelle;
  - Après la première année d'assèchement, le modèle d'eau souterraine doit être validé par rapport aux données de surveillance ci-dessus et recalibré si nécessaire. Cela peut nécessiter l'inclusion d'autres caractéristiques dans le modèle pour simuler d'autres influences sur les niveaux d'eau

souterraine, y compris des infiltrations mineures provenant des bassins de stockage d'eau et / du parc à résidus ;

- Le modèle validé / calibré doit être utilisé pour confirmer les taux d'assèchement prévus à plus long terme et les rabattements de la nappe phréatique (en particulier aux puits du village d'Angovia).

**Figure 4 : Emplacements de surveillance des eaux de surface**



**Figure 5 : Lieux de surveillance des eaux souterraines**

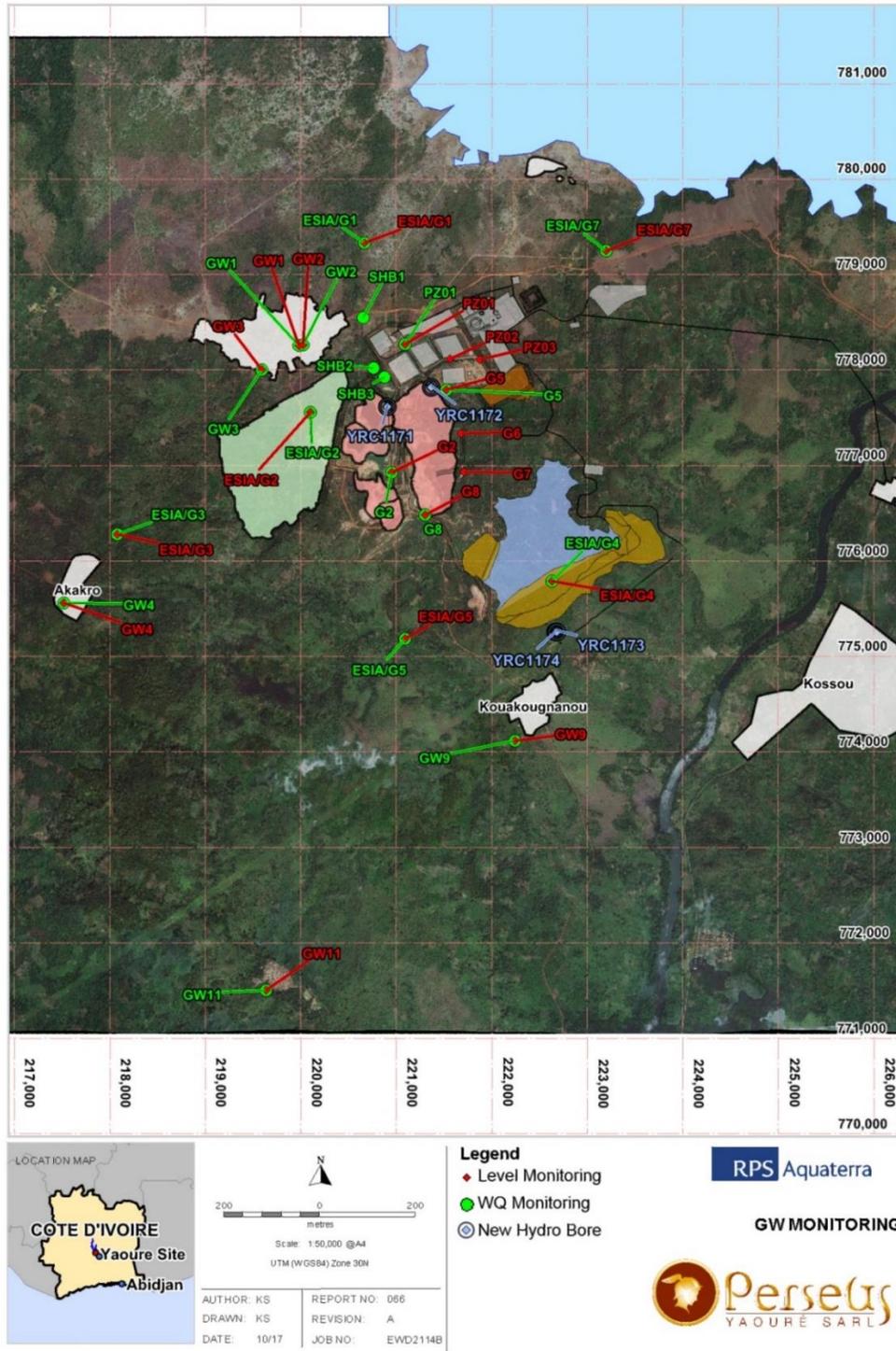


Figure 6 : Hydrogrammes des niveaux d'eau souterraine

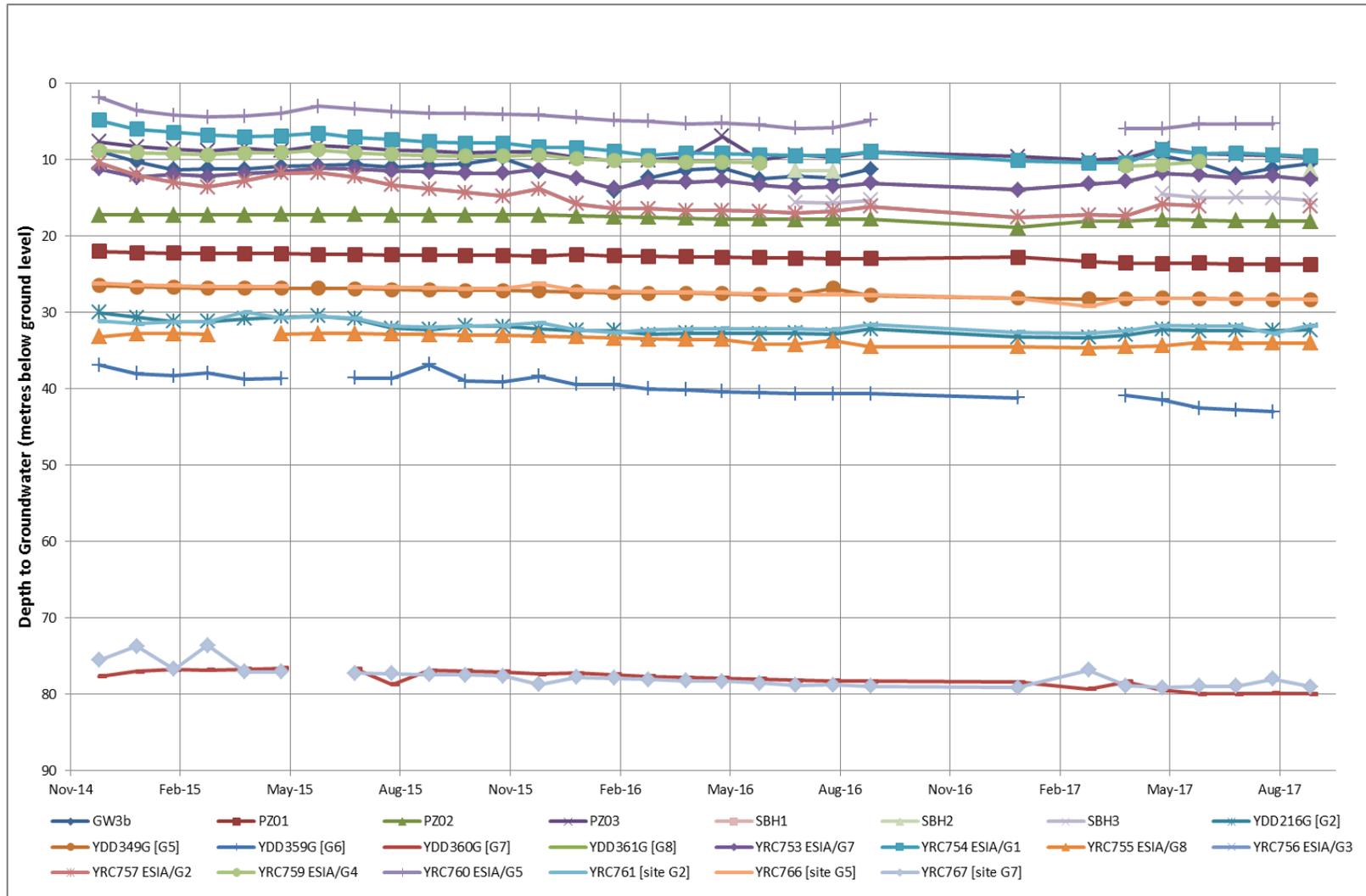


Figure 7 : Section du modèle conceptuel

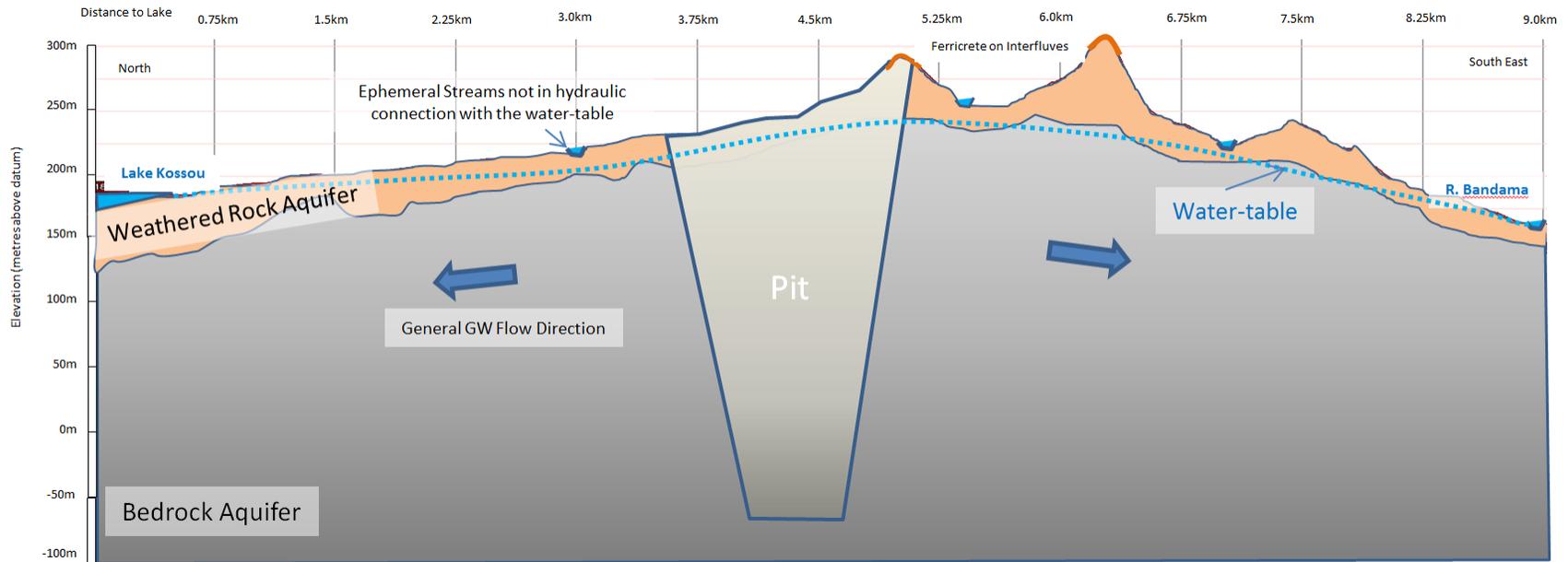
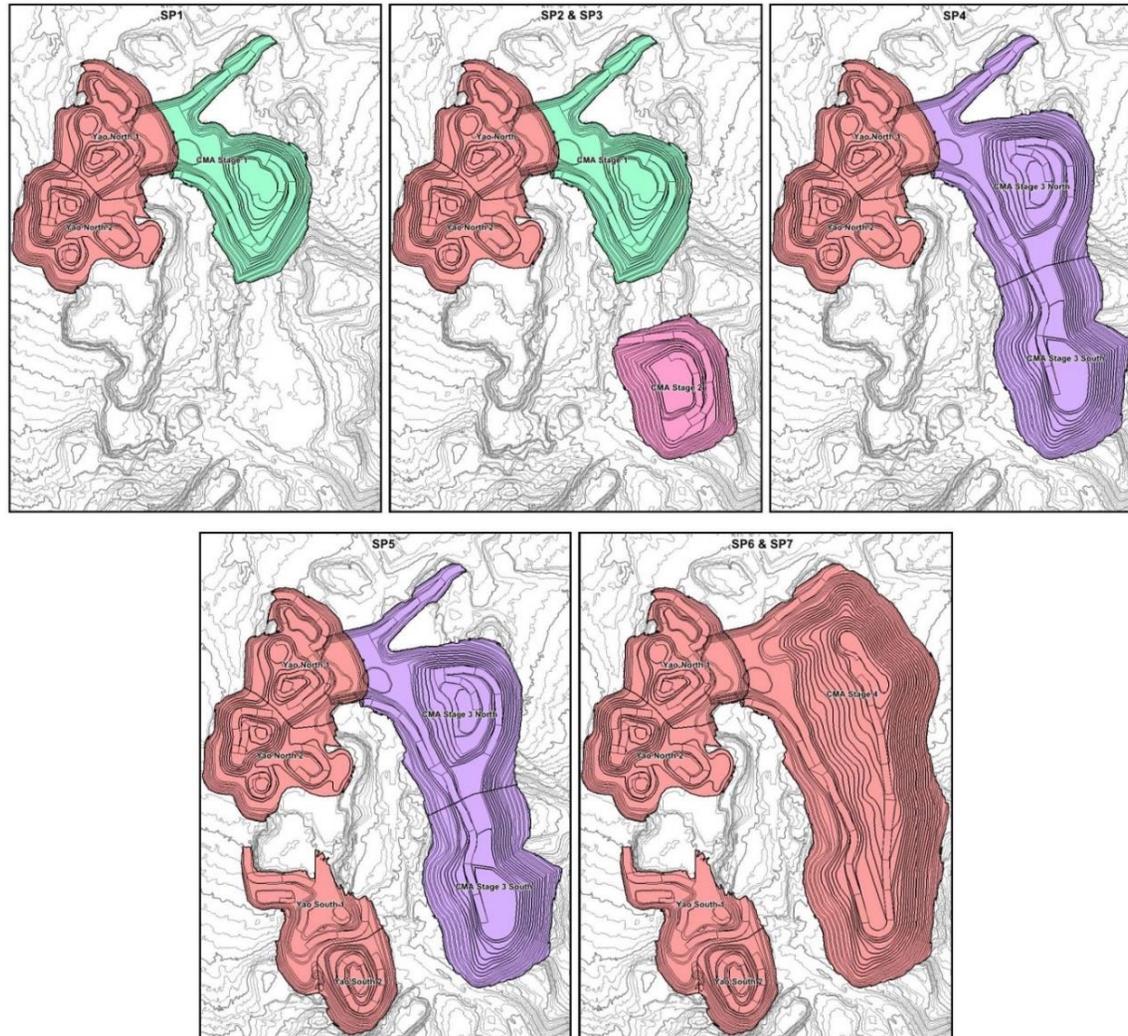
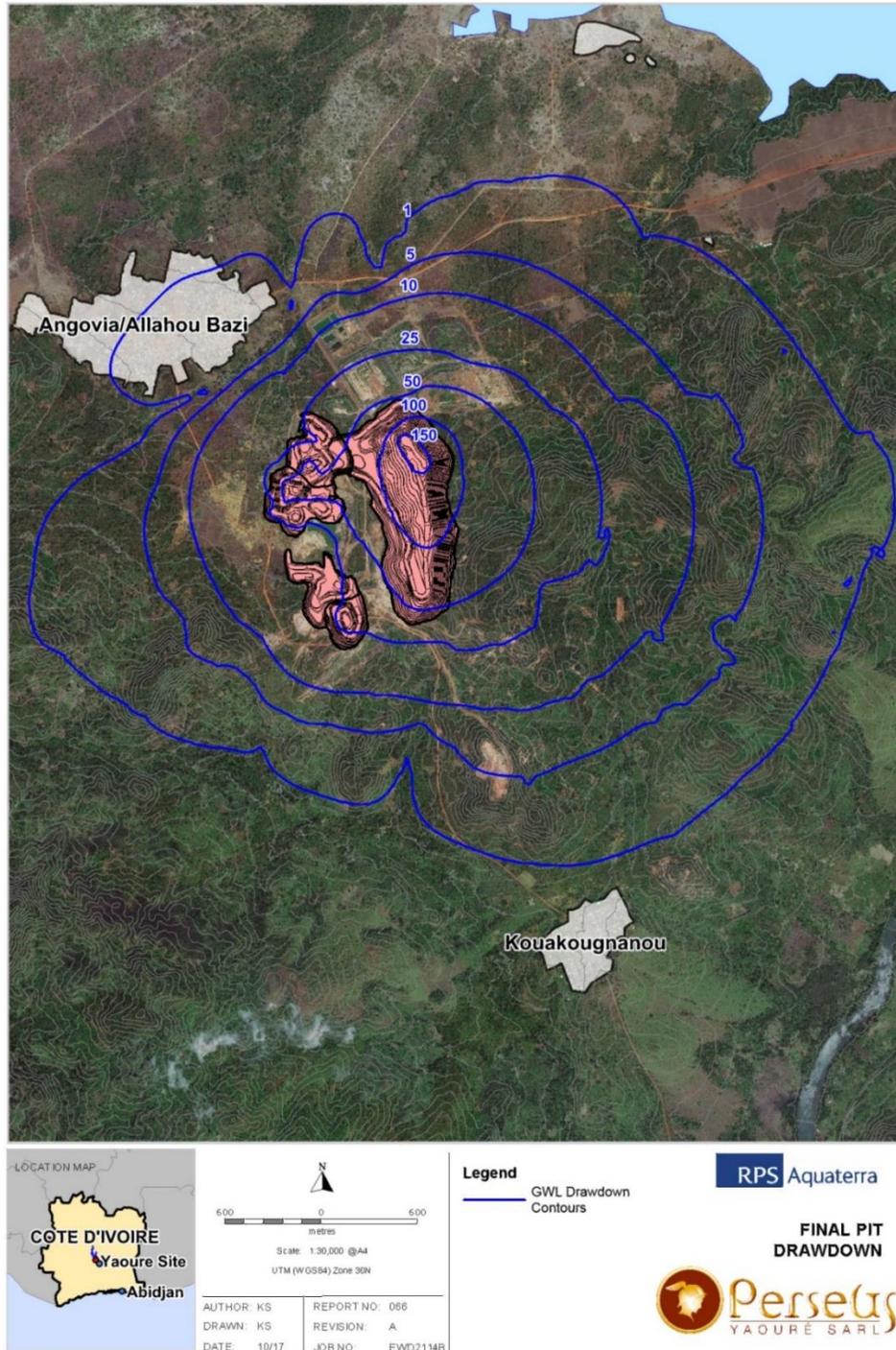


Figure 8 : Développement des puits - Périodes de stress



**Figure 9 : Prédiction du niveau d'eau souterraine prévu**



**Figure 10 : Coupe transversale du niveau d'eau final de la fosse**

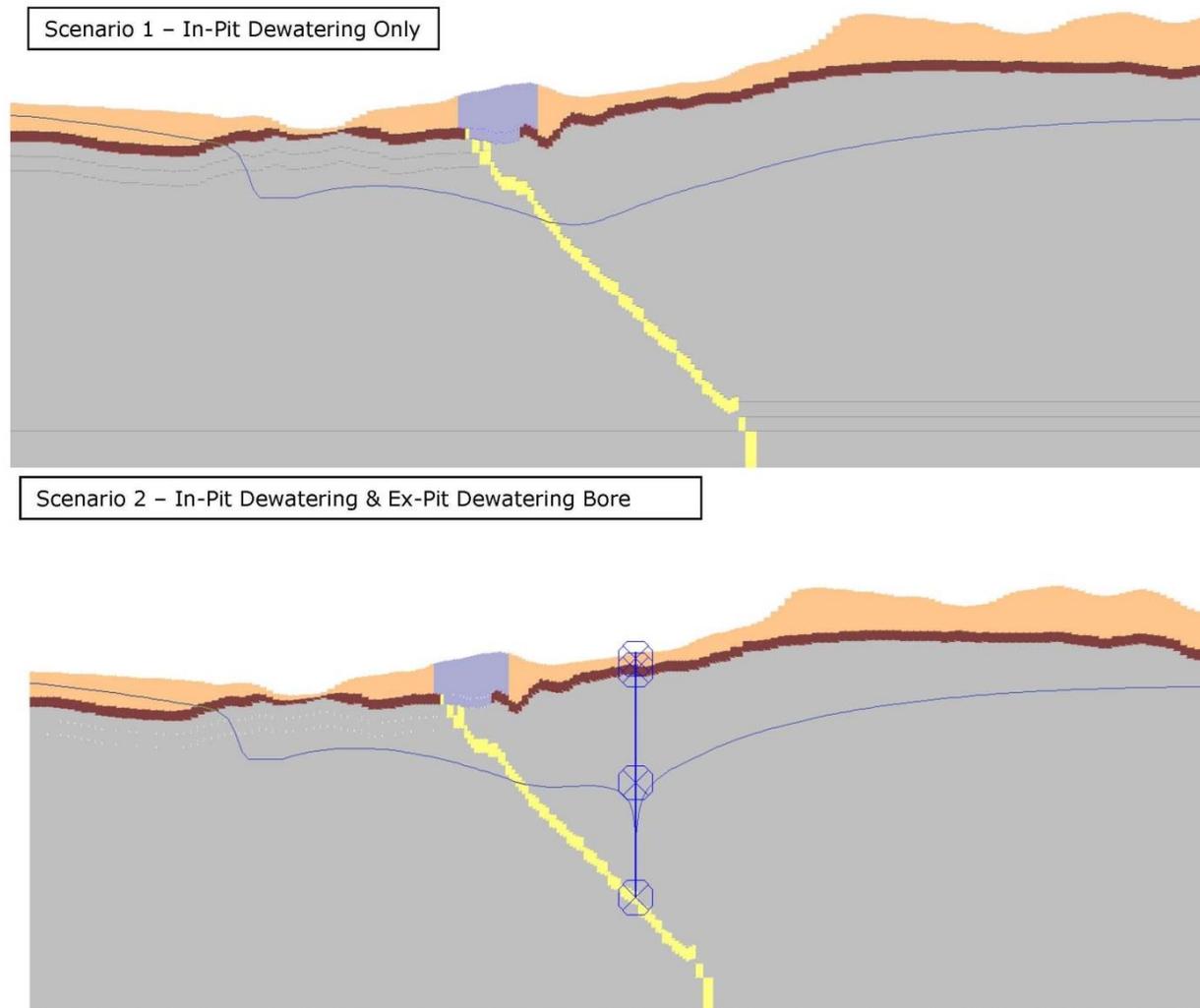
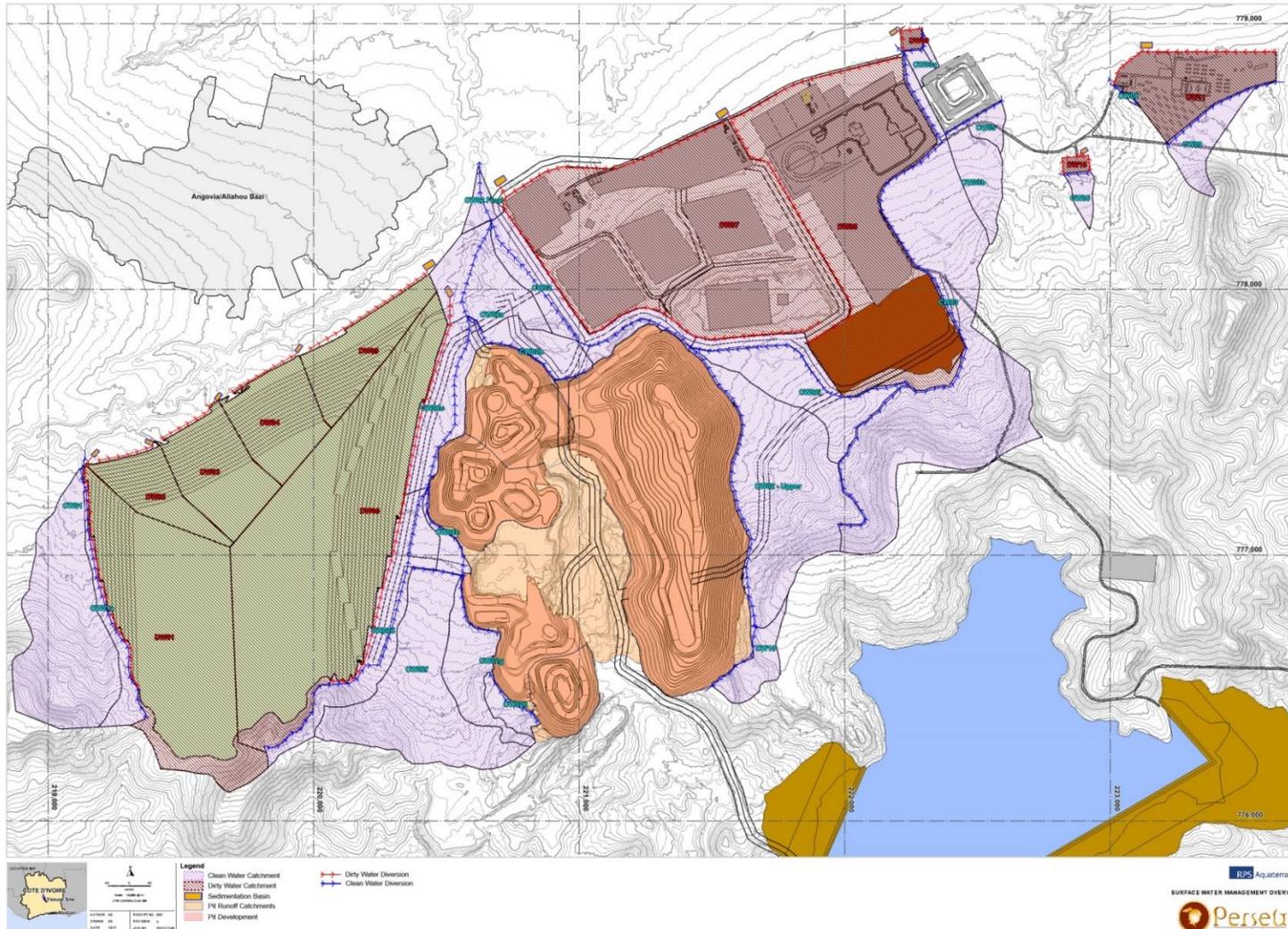


Figure 11 : Plan de gestion de l'eau de surface du site



**Figure 12 : Plan d'assèchement des puits**

