

AMARA Mining Plc

**Rapport de l'EIES
Projet Aurifère de Yaouré, Côte d'Ivoire**

**Annexe 4
Étude de Référence sur le Climat et la
Météorologie**

Mai 2015

DR

Table des Matières

1. INTRODUCTION	1
1.1 TERMES DE RÉFÉRENCE	1
1.2 DONNÉES REQUISES	1
2.1 ANALYSES DE PRÉCIPITATION	4
2.1 CHAMP D'APPLICATION	4
2.2 ANALYSES DES PRÉCIPITATIONS MENSUELLES	4
2.3 SÉLECTION D'UN ENSEMBLE DE DONNÉES DE SUBSTITUTION POUR LES ANALYSES DE PRÉCIPITATION SUIVANTES	7
2.4 PRÉCIPITATIONS POUR UN MODÈLE DE BILAN HYDRIQUE.....	7
3 ANALYSE DE VALEURS EXTRÊMES	9
3.1 MÉTHODES	9
3.2 SYNTHÈSE DES COURBES D'INTENSITÉ, DE DURÉE ET DE FRÉQUENCE (IDF)	10
3.2.1 Méthodologie	10
3.3 PRÉCIPITATIONS MAXIMALES PROBABLES	12
3.3.1 Introduction	12
3.3.2 Méthodologie	13
3.3.3 Résultats	13
3.3.4 Utilisation pratique de l'estimation de PMP	14
4 CLIMAT	15
4.1 AUTRES DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES.....	15
5 RÉSUMÉ.....	18
6 RÉFÉRENCES.....	20

Liste des Tableaux

Tableau 1.1 Données requises	1
Tableau 2.1 Résumé des données de précipitations mensuelles pour l'aéroport de Yaoussoukro, Bouaflé et Béoumi	5
Tableau 2.2 Minimum, moyenne et maximum des scénarios de précipitations mensuelles pour une période de 3 années consécutives (à Bouaflé) pour être utilisés avec le modèle de bilan hydrique de la PFS	8
Tableau 3.1 Analyse des résultats de Valeurs extrêmes (EVA) pour Bouaflé	9
Tableau 3.2 Résultats IDF (intensité des précipitations en mm/h).....	10
Tableau 4.1 Températures à Yamoussoukro, 1975-1997 (SGS, 2007)	15
Tableau 4.2 Évaporation moyenne à Yamoussoukro, 1994-2001 (SGS, 2007).....	15
Tableau 4.3 Humidité relative moyenne Yamoussoukro, 1977-1997 (SGS, 2007)	16
Tableau 4.4 Vitesse du vent moyenne Yamoussoukro, 1994-2001 (SGS, 2007)	16
Tableau 4.5 Heures d'ensoleillement moyen Yamoussoukro, 1981-1997 (SGS, 2007).....	17
Tableau 4.6 Température mensuelle à Yaouré 2009-2013 (Données Amara).....	17
Tableau 5.1 Résumé des paramètres météorologiques	18

Liste des Chiffres

Illustration 1.1 Emplacements des ensembles de données météorologiques	2
Illustration 3.1 Synthèse des courbes de précipitations pour Bouaflé	12

Annexes

Annexe 1 Précipitations mensuelles pour Bouaflé, 1924-1996

1. INTRODUCTION

1.1 TERMES DE RÉFÉRENCE

Amec Foster Wheeler Earth and Environment (UK) Ltd (Amec Foster Wheeler) ont été mandatés par Amara Mining Plc (Amara) pour conduire une Évaluation d'impact Environnemental et Social (EIES) pour le Projet Aurifère de Yaouré, en Côte D'Ivoire. L'Étude de Référence sur le Climat et la Météorologie fournit des apports majeurs à la fois pour l'EIES, et pour l'Étude de Préfaisabilité (PFS). Elle fournit un résumé des données météorologiques, se concentrant sur les paramètres de précipitation et les paramètres météorologiques majeurs à l'intérieur et autour de la zone de concession de Yaouré. Plus particulièrement, ce rapport présente une analyse des données météorologiques pour établir des statistiques et des valeurs de calcul en cas d'événement extrême, y compris la Précipitation Maximale Probable (PMP).

1.2 DONNÉES REQUISES

Des rapports sur les conditions météorologiques sur le long terme sont disponibles aux quatre postes météorologiques près du site de Yaouré. Les informations de base liées aux feuilles de données et aux postes météorologiques sont fournies dans le Tableau 1.1 ci-dessous. L'emplacement de chacun des postes météorologiques lié au site est indiqué en Illustration 1.1.

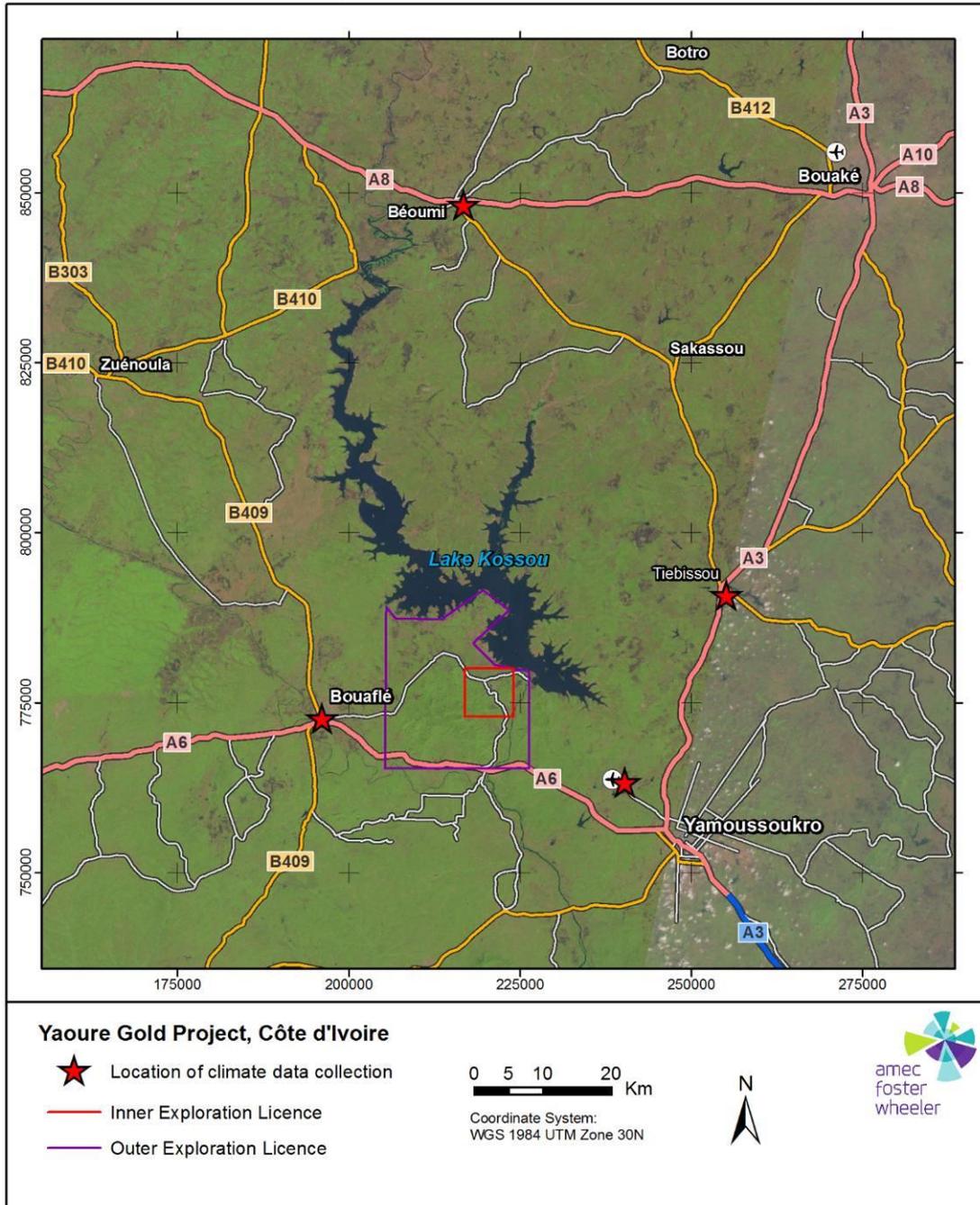
Emplacement et période de mesure	Coordonnées approximatives	Altitude (m au-dessus du niveau de la mer)	Commentaires
Béoumi 1939-1997	Lat: 07°40 Long: 05°34	223	Exclu: 1939, 1993
Bouaflé 1924-1997	Lat: 06°59 Long: 05°45	187	Exclu: 1993
Tiébissou 1953-1996	Lat: 07°09 Long: 05°13	190	De nombreuses années de données manquantes. Ensemble de données pas considéré davantage.
Yamousoukro 1975-1997	Lat: 06°54 Long: 05°21	196	Exclu 1988-1992

Les données du site ont été fournies, mais l'échelle de temps a été considérée comme trop courte (juillet 2014 à janvier 2015) pour être utile à ces analyses statistiques à ce stade.

À l'avenir, avec le rapport de données développé et avec en plus l'existence des données contemporaines de Bouaflé, il sera possible d'entreprendre une validation partielle de la pertinence d'utiliser Bouaflé comme remplacement pour les analyses de données mensuelles et d'intensité, de durée et de fréquence (IDF) (en étapes d'une heure). Cependant, son utilisation généralisée serait très limitée.

BOUAFLE

Illustration 1.1
Emplacement des ensembles de données climatiques



Au moment de la rédaction du rapport, Amec Foster Wheeler avait tout juste reçu (le 21 mai 2015) les données sur les précipitations pour le barrage de Kossou, mais cela était trop tard pour leur analyse et inclusion dans ce rapport.

2.1 ANALYSES DE PRÉCIPITATION

2.1 CHAMP D'APPLICATION

Cette section présente les méthodes et les résultats d'un certain nombre d'analyses de précipitations qui incluent:

- Le résumé des données mensuelles sur les précipitations observées (moyenne, écart type, maximum, minimum, jours pluvieux) aux alentours du site de Yaouré;
- Détermination des données les plus pertinentes pour être utilisées dans l'Analyse de Valeur Extrême (EVA);
- EVA devant déterminer les hauteurs de pluie en 24 heures pour diverses périodes de retour, y compris l'événement de Précipitation Maximale Probable (PMP); et
- l'analyse d'Intensité, de Durée et de Fréquence (IDF).

2.2 ANALYSES DES PRÉCIPITATIONS MENSUELLES

Les données rendues disponibles pour cette étude sont expliquées en Section 1.2. Seules les données de l'aéroport de Yamoussoukro, de Bouaflé et de Béoumi ont été considérées pour cette analyse, les données de Tiébissou étant trop incomplètes.

Tous les postes analysés sont situés dans les 30 kms autour du site de Yaouré et sont à une altitude comparable. Les sites sont également tous situés au sein de la même région de précipitation de la Côte d'Ivoire (Type II – Climat Baouleen) comme décrit dans Soro *et al.* (2010). À cause de la période de documentation relativement courte pour Yamoussoukro (1975-1997) comparé à Bouaflé et à Béoumi, les résultats pour Bouaflé et Béoumi sont également présentés pour cette période de 1975-1997, avec leur durée de documentation entière, afin de fournir une comparaison directe. Le compte-rendu mensuel entier pour Bouaflé de 1924 à 1996 est attaché en Annexe A.

Les résultats sont présentés en Tableau 2.1. Toutes les hauteurs de pluie annuelles moyennes sont comparables, et il y a une bonne corrélation entre toutes les hauteurs de pluie mensuelles moyennes, la corrélation la plus forte étant entre Yamoussoukro et Bouaflé (1975-1997) à 0.95. Malgré cela, des différences dans la distribution des moyennes mensuelles sont observées. Notamment, des mois d'avril plus pluvieux sont observés à Bouaflé (moyenne de 141 mm (1975-1997) et de 144 mm (1924-1997)) comparé à Yamoussoukro à 108 mm. Cependant la moyenne des précipitations en juillet – le mois le plus pluvieux dans la région – est plus élevée à Yamoussoukro (183 mm) qu'à Bouaflé (143 mm) pour la période de 1975-1997, quoique la différence soit moins marquée pour les données de Bouaflé (1924-1997) dont la moyenne est de 177 mm en juillet. De plus, le maximum de précipitations mensuelles en juillet est bien plus élevé à Bouaflé (410 mm pour les deux ensembles de données) qu'à Yamoussoukro (281 mm).

Le nombre de jours pluvieux moyen annuel (considéré comme jours avec des précipitations >0.4mm) est également bien plus élevé à Yamoussokro (100 jours) qu'à Bouafilé (74 jours, 1975-1997 et 86 jours, 1924-1997) et à Béoumi – 70 jours, 1975-1997 et 69 jours, 1940-1997).

Tableau 2.1.1															
Résumé des Données de Précipitations Mensuelles de l'aéroport de Yamoussokro, Bouafilé et Béoumi															
Poste & Dates	Stat	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANN	ADM
Yamoussokro (1975-1997)	Moyenne (mm)	14	47	92	108	167	183	110	90	152	118	39	15	1135	75
	SD (mm)	26	28	53	56	88	64	84	74	74	61	30	18	203	20
	Max (mm)	95	101	182	249	390	281	282	258	260	262	125	54	1439	118
	Min (mm)	0	0	0	0	0	89	6	7	5	41	3	0	676	42
	Moyenne jour pluvieux	1	4	8	8	12	14	10	11	14	12	5	2	100	NA
Bouafilé (1975-1997)	Moyenne (mm)	10	48	104	141	151	143	96	113	154	99	38	13	1123	91
	SD (mm)	14	42	48	57	73	55	68	87	82	46	41	23	229	42
	Max (mm)	116	203	287	264	347	410	328	302	440	296	194	153	1930	223
	Min (mm)	0	0	18	26	22	40	1	3	16	9	0	0	818	47
	Moyenne jour pluvieux	1	3	6	8	9	10	7	7	10	8	3	1	74	NA
Bouafilé (1924-1997)	Moyenne (mm)	16	61	117	144	160	177	91	104	202	129	47	26	1280	87
	SD (mm)	25	46	55	56	70	78	69	67	92	66	42	31	259	31
	Max (mm)	116	203	287	264	347	410	328	302	440	296	194	153	1930	223

Tableau 2.1.1

Résumé des Données de Précipitations Mensuelles de l'aéroport de Yamoussoukro, Bouaflé et Béoumi

Poste & Dates	Stat	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANN	ADM
Min (mm)		0	0	18	26	22	40	1	3	16	9	0	0	818	47
Moyenne jour pluvieux		1	3	7	8	10	11	7	8	13	10	4	2	86	NA

Béoumi (1975-1997)	Moyenne (mm)	5	36	79	112	128	108	121	141	184	99	25	9	1047	94
	SD (mm)	11	34	35	44	63	54	85	91	78	43	21	11	203	31
	Max (mm)	65	157	340	294	291	294	307	322	450	242	131	103	1607	175
	Min (mm)	0	0	0	48	18	45	0	18	48	16	0	0	529	49
	Moyenne jour pluvieux	1	3	5	7	8	8	7	9	11	8	3	1	70	NA

Béoumi (1940-1997)	Moyenne (mm)	8	47	93	121	126	129	104	125	209	115	41	18	1136	92
	SD (mm)	15	39	58	53	58	63	76	78	80	55	33	24	228	28
	Max (mm)	65	157	340	294	291	294	307	322	450	242	131	103	1607	175
	Min (mm)	0	0	0	48	18	45	0	18	48	16	0	0	529	49
	Moyenne jour pluvieux	1	3	5	7	7	8	6	9	11	8	3	1	69	NA

(ANN = Précipitations Annuelles, ADM = Maximum Journalier Annuel). Moyenne de jours pluvieux déterminée sur la base des jours avec des précipitations évaluées comme supérieures à 0.4 mm.

2.3 SÉLECTION D'UN ENSEMBLE DE DONNÉES DE SUBSTITUTION POUR LES ANALYSES DE PRÉCIPITATION SUIVANTES

Les données sur les précipitations de Bouaflé ont été sélectionnées comme base pour l'extraction de trois années de séries temporelles pour un modèle de bilan hydrique, Analyse de Valeur Extrême (EVA), Précipitation Maximum Probable (PMP) et analyses IDF pour les raisons suivantes:

- Le site minier est à distance égale de Bouaflé et de l'aéroport de Yamoussoukro. Bouaflé est plus éloigné du site, et par conséquent risque d'être moins représentatif du site;
- Le pluviomètre à Bouaflé est approximativement à 40 kms de l'aéroport de Yamoussoukro et les postes sont à des altitudes comparables (187 m au-dessus du niveau de la mer et 196 m au-dessus du niveau de la mer respectivement);
- Les précipitations mensuelles à l'année pour Yamoussoukro et Bouaflé sont similaires pour la période 1975-1997 (1153 mm et 1123 mm respectivement);
- La distribution des valeurs moyennes de précipitations mensuelles pour Bouaflé et Yamoussoukro sont comparables, à la seule exception que, à Bouaflé, avril est plus pluvieux qu'à Yamoussoukro (141 mm et 108 mm respectivement), et en juin, Yamoussoukro est plus pluvieux que Bouaflé (183 mm et 143 mm respectivement); et
- Bouaflé a un ensemble de données prises sur une durée plus longue que Yamoussoukro.

Cette analyse est entreprise sur la base des données disponibles au moment de la PFS. Davantage d'analyses devraient être entreprises quand les données de précipitation du barrage de Kossou (n'ayant pas été reçues à temps pour ce rapport) auront été traitées.

2.4 PRÉCIPITATIONS POUR UN MODÈLE DE BILAN HYDRIQUE

Pour le modèle de bilan hydrique pour l'Étude de Préfaisabilité (PFS) au niveau de la mine, il a été nécessaire d'évaluer une variété de scénarios de précipitations possibles sur une période de trois ans afin de:

- Rendre des jugements au niveau PFS à propos de la durabilité des ressources d'eau et concernant les exigences pour l'approvisionnement en eau et le traitement des eaux; et
- Apporter des éléments pour l'évaluation préliminaire des exigences en matière d'infrastructures, en particulier pour les Installations de Gestion des Résidus (TMF).

Les scénarios de précipitations mensuels ont été extraits de l'ensemble de données de Bouaflé de 1924 à 1996 (à l'exception de 1993) et sont détaillés en Tableau 2.2 ci-dessous.

Tableau 2.1.2				
Minimum, moyenne et maximum des scénarios des précipitations mensuelles pendant une période de 3 années consécutives (à Bouaflé) pour être utilisé avec le modèle de bilan hydrique de la PFS				
Année	Mois	Minimum	Moyenne	Maximum
Année 1	Janvier	14.9	36	0
	Février	78.4	3	138.9
	Mars	132.7	91	90.6
	Avril	121.5	92.9	190.8
	Mai	175.9	209.3	39.9
	Juin	62.8	141.1	274.9
	Juillet	41.6	50	90.6
	Août	51.6	136.5	108.3
	Septembre	132.8	440.1	200.1
	Octobre	91.1	139.5	149.8
	Novembre	4.8	164.9	99.8
	Décembre	15.7	20.4	14
Année 2	Janvier	0	4	115.6
	Février	75.2	50.9	117.8
	Mars	153.1	34	86.8
	Avril	26	168.4	241.8
	Mai	123.4	180.5	280.7
	Juin	112.6	197	91.3
	Juillet	137.3	119.7	327.8
	Août	28.8	80.9	83.9
	Septembre	144.1	83.3	208.8
	Octobre	30.1	75.7	283.7
	Novembre	13.3	29	48.8
	Décembre	7	71	42.8
Année 3	Janvier	33.6	0	31.3
	Février	55.3	47.4	39.5
	Mars	64.9	144.4	223
	Avril	105.2	233.8	70.1
	Mai	178.3	182.8	155.8
	Juin	152	132.3	234.9
	Juillet	17.2	92.8	48.5
	Août	53.5	160.2	171.1
	Septembre	39.3	96.8	170.6
	Octobre	143.1	98.4	59.1
	Novembre	94.1	30.3	64.7
	Décembre	0	4.5	72

Notes: Minimum: 1974-1976, moyenne: 1962-1964, maximum: 1938-1940.

3 ANALYSE DE VALEURS EXTRÊMES

3.1 MÉTHODES

Les données journalières de Bouaflé ont été présentées à l'analyse de valeur extrême (EVA). La période complète de 1924 à 1997 a été utilisée, à l'exception de 1993 qui a été omis, parce que le compte-rendu était incomplet pour cette année. Au total, 72 années observées ont été incluses dans l'analyse, ce qui est considéré comme plus que suffisant pour cette approche.

La Loi de Gumbel (EV1) et la distribution Généralisée des Valeurs Extrêmes (GEV) ont toutes deux été intégrées aux données journalières maximum par année de Bouaflé. Tous les points de données tombent dans la limite de confiance du centile +/- 5% à l'exception de la troisième valeur la plus élevée (~+7 %).

La distribution EV1 a été considérée comme la plus appropriée à ce stade, à cause de l'impossibilité de vérifier la véracité des paramètres GEV à cet emplacement en l'absence de précipitations plusieurs fois par jour pour Bouaflé.

Les résultats de l'EVA sont détaillés en Tableau 3.1. Il est noté que les événements pour la période de retour par année 1:10 000 et le 1: 1 000 000 n'ont pas été produits au sein du cadre d'analyse, mais ont été extrapolés en intégrant une courbe dans les données produites durant l'analyse.

Période de Retour (années)	Hauteur de pluie sur 24 heures (mm)
1.01	36
1.1	52
2	82
5	109
10	127
15	137
20	144
25	149
50	166
80	177
100	183
200	199
500	221
1,000	238
10,000	293
1,000,000	414

3.2 SYNTHÈSE DES COURBES D'INTENSITÉ, DE DURÉE ET DE FRÉQUENCE (IDF)

3.2.1 Méthodologie

La formule de Sherman (1931) a été utilisée pour générer les courbes IDF. Pour une période de retour donnée, l'intensité des précipitations (I , mm/h) est liée à la durée (T , heures) au travers de trois constantes déterminées de façon empirique (a , b and n):

$$I = \frac{a}{(b+T)^n}$$

Si la hauteur de pluie pour toute durée donnée est comparée au total des précipitations journalières, la constante 'a' peut être éliminée et un rapport des précipitations déterminé à la place, qui utilise seulement deux constantes (b et n) comme suit:

$$RR_T = \frac{I_T \times T}{I_{24} \times 24} = \frac{T}{24} \left(\frac{b+24}{b+T} \right)^n$$

Les valeurs de b et de n varient entre les emplacements, mais des études ont découvert que les valeurs étaient similaires au sein d'une région. Les valeurs sont publiées dans des documents, mais sont souvent difficiles à trouver. C'est mieux si les valeurs peuvent être ré-analysées à partir de données pour l'emplacement, ou pour un emplacement similaire situé à proximité. En comparaison, des valeurs publiées pour 14 postes au Ghana sont $b = 0,60$ et $n = 0,86$ à $1,03$. Des valeurs de $b=0,6$ et $n=0,9$ ont été utilisées à ce stade, sujet à des analyses complémentaires après évaluation des données de précipitations supplémentaires du barrage de Kossou.

Le tableau de données IDF qui en résulte et les courbes correspondantes sont détaillées ci-dessous dans les Tableau 3.2 et l'illustration 3.1.

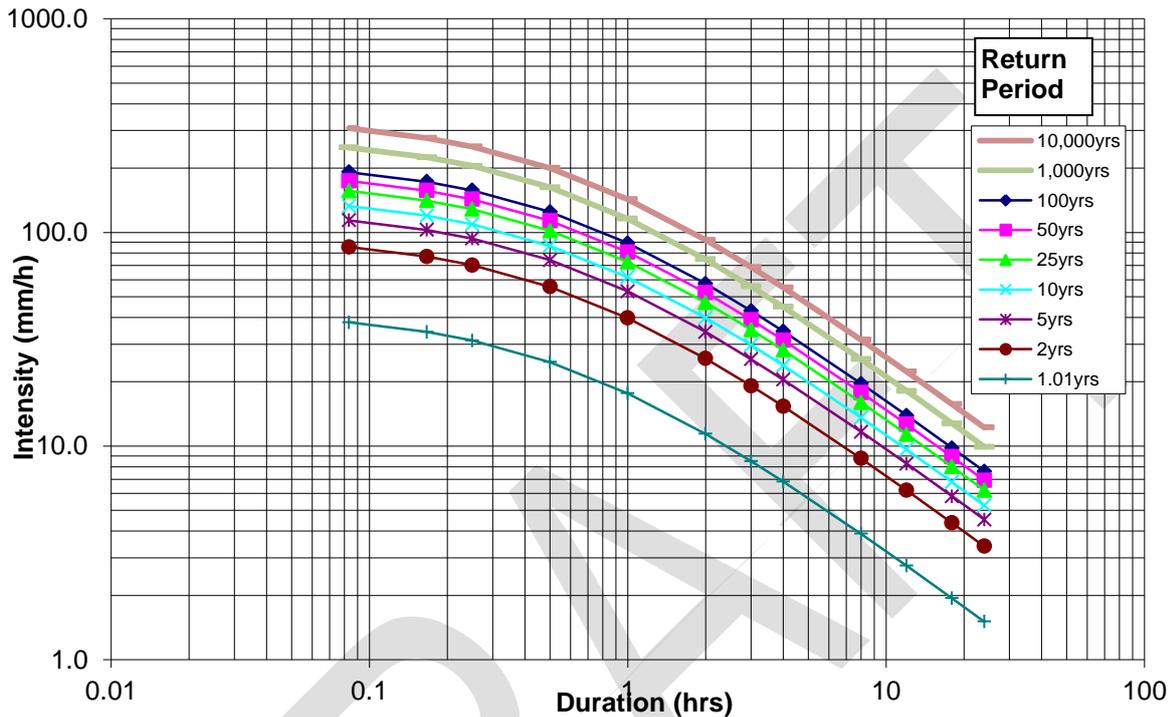
Période de Retour	Durée (mins)								
	5	10	20	30	60	120	180	720	1440
1	37.9	34.2	31.2	24.7	17.6	11.4	8.5	2.8	1.5
2	85.4	77.0	70.2	55.7	39.7	25.7	19.2	6.2	3.4
5	113.9	102.6	93.5	74.2	52.9	34.2	25.5	8.3	4.5
10	132.7	119.6	109.0	86.4	61.7	39.8	29.7	9.6	5.3
20	156.4	141.0	128.5	101.9	72.7	47.0	35.1	11.4	6.2
50	174.0	156.9	143.0	113.4	80.9	52.3	39.0	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	116.0	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

DRAFT

Illustration 3.1
Synthèse des courbes des précipitations IDF pour Bouaflé

Bouaflé - Synthesised IDF Curves



3.3 PRÉCIPITATIONS MAXIMALES PROBABLES

3.3.1 Introduction

Les Précipitations Maximales Probables (PMP) sont définies conceptuellement comme la plus grande hauteur de précipitation physiquement possible dans une zone d'orage donnée pendant une durée déterminée dans une zone géographique particulière à un certain moment de l'année (WMO, 1986). Du point de vue pratique pour ce projet, il y a une exigence d'estimer le PMP pour les secteurs dans lesquels des infrastructures minières critiques sont installées, par exemple, pour calculer l'inondation maximale probable (PMF) au travers des TMF pour mesurer les installations de déversement en utilisant une méthode de modélisation des précipitations.

Diverses techniques existent pour l'estimation de PMP, elles sont compilées dans le Manuel WMO pour l'Estimation des Précipitations Maximales Probables (WMO, 1986). La plupart de ces techniques ont été développées pour de larges bassins hydrologiques dans des régions d'altitude moyenne et exigent la synthèse d'une variété de données météorologiques telles que les points de rosée et la vitesse du vent à une variété d'altitudes pour arriver à des estimations PMP. Des procédures sont présentées qui peuvent être utilisées pour adapter ces techniques aux régions tropicales. Cependant, le manuel WMO

note que les régions ayant des données limitées telles que la Côte d'Ivoire, présentent des difficultés spécifiques pour l'application de ces techniques. Néanmoins, une méthode alternative fondée sur des statistiques pour des zones plus petites (<1,200 km²) est également présentée, elle est basée sur les seuls maximum des précipitations enregistrées. C'est cette approche qui a été adoptée pour estimer les PMP pour cette étude, basée sur les données de Bouaflé décrites ci-dessus.

3.3.2 Méthodologie

Le point PMP pour une durée d'orage donnée est estimé comme une fonction de la moyenne et un écart type des séries de maximum de précipitations annuelles comme suit:

$$X_m = \bar{X}_n + K_m S_n$$

où X_m est le PMP; \bar{X}_n et S_n sont la moyenne et l'écart type (sans la valeur maximale) d'une série de maximum annuel x , et K_m est un facteur d'échelle. Une étude de précipitations en 24 heures de 2700 postes météorologiques, parmi lesquels 90% étaient aux États-Unis, a été utilisée dans l'estimation de K_m .

Il a été découvert que cela variait de façon inverse par rapport à la moyenne annuelle de précipitations journalières maximum. Les techniques impliquaient aussi l'application de facteurs de correction pour ajuster les moyennes et les écarts types à cause des effets de valeurs extrêmes potentielles et de la taille de l'échantillon, ainsi que l'ajustement du point de valeur PMP final pour refléter les effets d'une durée d'observation fixe. Finalement, un facteur de réduction de la zone est exigé pour convertir le point PMP pour une zone spécifique, si c'est requis. Les valeurs de K_m et les autres facteurs variés requis sont estimés à partir d'un certain nombre de graphiques détaillés dans le Chapitre 4 de WMO (1986).

3.3.3 Résultats

L'approche décrite ci-dessus a été appliquée à la série de maximum journaliers par année en omettant les années incomplètes. Les valeurs suivantes ont été estimées:

$$\bar{X}_n = 84,63 \text{ mm (n =71)}$$

$$S_n = 26,14 \text{ mm (n =71)}$$

$$K_m = 12 \text{ (basé sur les 2 années de précipitations d'une heure dérivées du tableau IDF)}$$

$$\text{PMP} = 450 \text{ mm}$$

Étant donné que la durée de documentation était de plus de 50 ans, aucun ajustement n'a été requis pour la moyenne et l'écart type pour la durée de documentation, et la longue période de documentation signifiait également qu'un impact important de valeurs extrêmes pouvait être écarté. Un facteur d'ajustement pour une durée d'observation fixe de 1.3 a été appliqué. Cela a produit une valeur pour le

PMP journalier de Yaouré de 450 mm. Il est noté que, en se basant sur la moyenne des maximum journaliers par année de Bouaflé, K_m prend la valeur de 16, ce qui aurait eu pour résultat un PMP correspondant de 568 mm – ce qui est considéré comme étant cependant trop conservateur .

Comme identifié ci-dessus, la valeur finale de PMP en utilisant la technique appliquée ici est sensible à l'estimation d'un seul paramètre K_m . Etant donné les conditions climatiques différentes sous lesquelles cette relation a été dérivée (la relation entre \dot{X}_n et K_m a été largement dérivée de données des États-Unis), son utilisation en climat tropical doit être traitée avec une certaine prudence. En comparaison, l'extrapolation de la courbe de meilleur ajustement EV1 pour les données présentées en Section 3.1 pour les périodes de retour de 10 000 et 1 000 000 d'années produit des totaux de précipitations journalières respectifs de 293 mm et 414 mm. Cela suggérerait que la valeur de 450 mm obtenue ci-dessus pourrait être une surestimation du point réel de PMP pour Yaouré, mais est néanmoins dans la région de la valeur 1:1 000 000.

3.3.4 Utilisation pratique de l'estimation de PMP

La valeur dérivée ci-dessus est une valeur ponctuelle pour les précipitations journalières à Yaouré. Pour une application pratique, les problèmes suivants doivent être adressés:

- Les valeurs doivent être dérivées pour une variété de durées d'orage. Il n'est en aucun cas clair que les circonstances météorologiques qui conduiraient à la production d'un événement PMP se conformeraient à la relation IDF dérivée dans la Section 4.3. Cependant, en l'absence de toute autre information, il est suggéré que la relation développée ci-dessus soit utilisée pour les objectifs actuels;
- Les valeurs ponctuelles doivent être ajustées par un facteur de réduction de zone pour prendre en compte la région à laquelle elles sont appliquées. Cependant, étant donné que les zones d'intérêt de cette étude sont petites, il est suggéré que l'application du facteur de réduction de zone peut être négligée. Cela produirait une estimation conservatrice du PMF qui en résulterait.

4 CLIMAT

4.1 AUTRES DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES

Les Tableaux 4.1 à 4.5 résument les données moyennes mensuelles pour la température, l'évaporation, l'humidité, la vitesse du vent et les heures d'ensoleillement. Les autres données climatiques pour Yamoussoukro sont incluses dans le SGS EIS (2007).

MOIS	Maximum Température (°C)			Minimum Température (°C)		
	Moyenne minimum	Moyenne maximum	Moyenne	Moyenne minimum	Moyenne maximum	Moyenne
JANVIER	32.36	34.8	33.56	10.6	20.7	17.53
FÉVRIER	32.92	36.9	35.02	14.7	22.1	20.23
MARS	31.2	37.0	34.26	16.5	23.62	21.51
AVRIL	31.7	35.13	33.56	16.2	23.55	21.54
MAI	31.3	33.6	32.27	15.3	22.95	21.27
JUIN	29.11	32.2	30.56	14.3	22.41	20.96
JUILLET	21.6	30.3	28.73	13.0	29.07	20.69
AOÛT	27.74	30.9	29.22	17.1	21.76	20.51
SEPTEMBRE	29.0	32.8	30.25	18.5	21.9	20.90
OCTOBRE	29.74	33.3	31.02	18.4	22.01	20.80
NOVEMBRE	30.43	33.8	31.79	16.2	21.45	19.79
DÉCEMBRE	30.76	33.4	31.92	12.4	20.46	17.78

MOIS	JAN	FÉV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	SEPT	OCT	NOV	DÉC	TOT
Évap (mm)	104.2	117.8	108.3	80.2	63.7	48.3	48.1	46.3	47.6	50.3	54.7	59.7	829.0

Notes: Mesuré avec un évaporimètre Piche – tube en 'U' en verre rempli d'eau et fermé à une extrémité.

Tableau 4.3
Moyenne de l'Humidité Relative à Yamoussoukro, 1977-1997 (SGS, 2007)

MOIS	Humidité Maximum (%)			Humidité Minimum (%)		
	Minimum	Maximum	Moyenne	Min	Max	Moyenne
JANVIER	87.6	99.4	95.8	16.5	49.2	31.8
FÉVRIER	90.0	98.5	94.8	23.4	42.3	33.4
MARS	88.7	98.8	95.6	27.6	50.1	41.8
AVRIL	92.8	99.2	96.9	42.3	56.5	49.1
MAI	95.3	99.6	97.9	49.7	61.5	55.6
JUIN	95.6	99.7	98.1	54.9	64.4	60.3
JUILLET	94.9	99.6	97.6	50.3	68.0	62.7
AOÛT	91.8	99.4	97.1	53.4	69.1	62.0
SEPTEMBRE	95.5	99.3	97.8	47.4	66.8	58.8
OCTOBRE	95.5	99.7	98.3	45.9	62.5	56.2
NOVEMBRE	96.6	99.7	98.7	41.2	60.8	52.0
DÉCEMBRE	96.1	99.5	98.3	25.3	51.9	40.8

Tableau 4.4
Vitesse du Vent moyenne à Yamoussoukro, 1994-2001 (SGS, 2007)

MOIS	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	SEPT	OCT	NOV	DEC	TOT
Vitesse du Vent (m/s)	1.00	1.60	1.80	1.90	1.60	1.70	1.80	2.00	1.80	1.10	2.30	1.10	1.60
Direction	NSW	SW	SSW	SSW	SSW	SSW	SW	SW	SW	SW	SSW	W	
Type	H - M	M			M	M	M	M	M			H	

H – Harmattan, M – Mousson

MOIS	Moyenne	Min	Max
JANVIER	198.3	126.4	245.8
FÉVRIER	197.1	144.6	245.8
MARS	204.0	156.5	251.8
AVRIL	208.4	174.5	237.5
MAI	210.5	157.7	241.4
JUIN	151.5	121.7	182.3
JUILLET	111.6	72.1	154.9
AOÛT	97.9	40.0	135.5
SEPTEMBRE	116.5	88.1	38.1
OCTOBRE	171.0	126.8	201.0
NOVEMBRE	179.2	153.2	216.7
DÉCEMBRE	166.4	91.2	217.6

La température est mesurée au site de Yaouré depuis 2009.

La température moyenne mensuelle pour la période 2009-2013 est détaillée en Tableau 4.6.

	Température Mensuelle Moyenne (°C)											
	JAN	FÉV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	SEPT	OCT	NOV	DÉC
2009	39.8	29.4	28.5	28.4	27.7	27.3	25.3	25.3	26.2	26.8	26.9	27.8
2010	28.5	29.3	29.8	29.5	28.8	27.1	25.8	25.7	26.6	27.3	28.0	27.3
2011	26.6	29.0	29.1		28.0	27.0	25.4	25.8	26.9	27.3	27.9	26.5
2012	27.4	28.8	29.8	28.5	22.2	26.5	25.3	25.0	26.5	26.9	22.2	26.9
2013	26.7	29.7	29.0	29.0	27.7	26.8	25.5	25.1	26.1	27.1	27.5	26.8

5 RÉSUMÉ

Les paramètres météorologiques destinés à être utilisés dans l'EIES et la PFS sont résumés dans le Tableau 5.1 ci-dessous.

Paramètres	JAN	FÉV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	SEPT	OCT	NOV	DÉC	TOT
Précipitations Minimum ¹ (mm)	0	0	18	26	22	40	1	3	16	9	0	0	818
Précipitations Moyennes ¹ (mm)	16	61	117	144	160	177	91	104	202	129	47	26	1280
Précipitations Maximum ¹ (mm)	116	203	287	264	347	410	328	302	440	296	194	153	1930
Précipitations maximales probables sur 24 heures ² (mm)	N/A	450											
Température minimale moyenne ³ (°C)	17.5	20.2	21.5	21.5	21.3	21.0	20.7	20.5	20.9	20.8	19.8	17.8	N/A
Température maximale moyenne ³ (°C)	33.6	35.0	34.3	33.6	32.3	30.6	28.7	29.2	30.3	31.0	31.8	31.9	N/A
Évaporation moyenne ⁴ (mm)	104.2	117.8	108.3	80.2	63.7	48.3	48.1	46.3	47.6	50.3	54.7	59.7	829.0
Humidité relative minimum ⁵ (%)	31.8	33.4	41.8	49.1	55.6	60.3	62.7	62	58.8	56.2	52	40.8	N/A
Humidité relative maximum ⁵ (%)	95.8	94.8	95.6	96.9	97.9	98.1	97.6	97.1	97.8	98.3	98.7	98.3	N/A
Vitesse du vent moyenne (m/s)	1.00	1.60	1.80	1.90	1.60	1.70	1.80	2.00	1.80	1.10	2.30	1.10	1.60
Heures d'ensoleillement moyen (min) (heures)	126.4	144.6	156.5	174.5	157.7	121.7	72.1	40.0	88.1	126.8	153.2	91.2	N/A
Heures d'ensoleillement moyen (moyenne) (heures)	198.3	197.1	204.0	208.4	210.5	151.5	111.6	97.9	116.5	171.0	179.2	166.4	N/A
Heures d'ensoleillement moyen (max) (heures)	245.8	245.8	251.8	237.5	241.4	182.3	154.9	135.5	38.1	201.0	216.7	217.6	N/A

Notes

- ¹ Données sur les précipitations obtenues à partir de l'ensemble de données de Bouaflé, comme détaillées en Tableau 2.1. Les valeurs minimum et maximum sont les données les plus élevées consignées, pas les minimum et maximum moyens.
- ² PMP a été déterminé en utilisant la série de maximum journaliers par année de Bouaflé (à l'exception des années incomplètes), comme décrit dans la Section 3.3.
- ³ Les données de température ont été obtenues à partir de l'ensemble de données moyen de Yamoussoukro (1975-1997), comme détaillé dans le Tableau 4.1.
- ⁴ Les données d'évaporation ont été obtenues à partir de l'ensemble de données de Yamoussoukro de 1994-2001, comme détaillé dans le Tableau 4.2.
- ⁵ Les données d'humidité relative ont été obtenues à partir de l'ensemble de données de Yamoussoukro de 1977-1997, comme détaillé dans le Tableau 4.3.
- ⁶ Les données sur la vitesse du vent ont été obtenues à partir de l'ensemble de données de Yamoussoukro de 1994-2001, comme détaillé dans le Tableau 4.4.
- ⁷ Les heures d'ensoleillement ont été obtenues à partir de l'ensemble de données de Yamoussoukro de 1981-1997, comme détaillé dans le Tableau 4.5.

6 RÉFÉRENCES

SGS (2007). *Étude d'Impact sur l'Environnement du Projet Aurifère d'Angovia, République de Côte d'Ivoire*.

Sherman, C.W., 1931. *Frequency and intensity of excessive rainfalls at Boston, Mass.* Transactions of the American Society of Civil Engineers, 95, 951-960.

Soro, G.E., Goula Bi, T.A., Kouassi, F.W and Srohourou, B, 2010. *Update of Intensity-Duration-Frequency Curves for Precipitation of Short Durations in Tropical Area of West Africa (Cote d'Ivoire)*. Journal of Applied Sciences, 2010. Volume 10, Issue 9, Pages 704-750.

World Meteorological Organisation, 2006. *Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation, Second Edition*. Operational Hydrology Report No. 1, WMO No. 332.

Annexe 1

Précipitations mensuelles pour Bouaflé, 1924-1996

DRAFT

ANNÉE	PRÉCIPITATIONS (mm)												ANN
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
1924	12	128	193	175	187	320	23	93	365	137	51	10	1694
1925	0	11	287	195	84	284	158	82	403	103	7	0	1613
1926	8	5	94	148	162	266	38	37	398	43	21	3	1223
1927	14	24	95	116	192	200	65	39	142	294	37	20	1236
1928	56	35	114	87	121	240	189	152	311	232	27	45	1609
1929	0	127	123	84	204	358	133	46	175	237	27	0	1514
1930	69	98	52	115	142	163	76	64	138	53	90	0	1058
1931	30	83	196	199	212	157	37	237	144	48	44	41	1429
1932	0	60	111	102	203	95	93	48	103	147	35	30	1027
1933	15	48	163	134	49	238	307	121	97	90	194	30	1487
1934	10	35	138	140	188	208	89	134	176	121	0	19	1255
1935	12	19	98	243	143	229	70	136	141	178	13	18	1300
1936	20	83	30	204	264	109	18	33	252	76	91	0	1180
1937	0	0	66	132	207	210	25	66	269	175	86	46	1282
1938	36	3	91	93	209	141	50	137	440	140	165	20	1525
1939	4	51	34	168	181	197	120	81	83	76	29	71	1094
1940	0	47	144	234	183	132	93	160	97	98	30	5	1224
1941	28	2	50	168	168	193	134	74	173	55	40	59	1144
1942	26	91	193	42	274	101	13	69	135	146	67	46	1203
1943	18	94	136	66	208	239	154	97	137	142	47	22	1358
1944	3	100	206	90	26	102	66	97	245	105	15	35	1089
1945	0	19	144	156	173	112	46	79	230	240	21	0	1221
1946	51	62	66	161	199	65	19	26	248	150	49	5	1101
1947	0	33	71	111	87	141	43	117	274	115	119	153	1263

1948	0	13	107	264	226	91	19	109	259	141	61	50	1340
1949	0	94	142	110	343	239	96	166	354	255	75	24	1898
1950	0	22	107	140	139	186	53	125	149	237	29	85	1271
1951	7	97	81	86	94	187	136	184	216	265	11	14	1376
1952	0	38	83	229	131	176	155	42	244	137	73	17	1325
1953	5	203	120	34	200	299	87	82	126	155	25	4	1340
1954	10	134	205	255	169	131	22	80	195	200	55	10	1464
1955	97	37	42	197	281	274	143	185	251	106	18	75	1704
1956	1	81	107	200	127	174	48	98	229	142	31	45	1283
1957	3	85	123	116	234	279	167	215	216	179	78	26	1720
1958	101	65	146	192	79	40	1	19	138	77	140	2	1000
1959	7	105	155	170	190	175	109	48	388	71	55	128	1600
1960	35	29	148	202	22	410	49	136	301	50	16	73	1469
1961	0	0	144	127	122	148	70	17	190	159	33	17	1027
1962	0	139	91	191	40	275	91	108	200	150	100	14	1398
1963	116	118	87	242	281	91	328	84	209	284	49	43	1930
1964	31	40	223	70	156	235	49	171	171	59	65	72	1341
1965	63	69	142	178	153	130	32	90	250	118	26	1	1252
1966	0	35	185	151	183	274	146	88	295	100	51	31	1537
1967	0	58	101	98	122	192	32	42	237	40	44	30	995
1968	0	160	96	92	186	258	186	292	268	212	113	51	1913
1969	0	167	35	104	26	113	38	88	162	296	90	0	1118
1970	23	37	185	79	167	169	16	61	287	115	22	33	1193
1971	11	96	232	162	156	208	85	92	228	121	16	52	1457
1972	28	92	133	142	229	365	162	41	96	188	5	42	1524
1973	4	59	36	84	73	116	73	128	368	130	5	0	1075

1974	15	78	133	122	176	63	42	52	133	91	5	16	924
1975	0	75	153	26	123	113	137	29	144	30	13	7	851
1976	34	55	65	105	178	152	17	54	39	143	94	0	937
1977	1	9	117	83	183	131	51	95	186	98	0	14	968
1978	0	34	64	225	97	169	10	3	240	87	10	50	987
1979	5	4	50	200	140	317	133	40	220	93	14	21	1236
1980	19	112	156	71	347	60	265	164	215	206	82	4	1701
1981	0	18	119	115	98	148	86	55	259	99	7	0	1004
1982	0	104	182	119	166	209	44	254	68	129	50	0	1324
1983	0	4	42	156	303	93	33	3	143	9	29	4	818
1984	0	36	52	179	143	137	201	231	99	138	15	0	1231
1985	16	0	105	126	136	183	178	302	290	77	89	0	1500
1986	0	94	139	158	117	54	39	167	139	30	2	0	940
1987	31	31	62	44	243	196	61	189	304	93	11	0	1265
1988	31	11	162	228	113	132	90	131	210	88	48	14	1258
1989	0	30	139	184	117	119	160	166	206	109	0	0	1229
1990	8	9	18	179	32	101	54	104	54	73	162	35	829
1991	0	46	83	229	190	104	153	62	82	107	62	9	1126
1992	40	98	46	161	97	130	68	27	148	130	45	0	989
1994	0	120	87	102	183	139	130	134	82	160	16	0	1153
1995	0	37	147	151	142	178	64	206	127	125	31	96	1304
1996	13	121	152	137	100	156	135	55	16	41	0	19	944