



Évaluation hydrologique préliminaire pour la création d'un parc industriel en Haïti

Préparé pour:
La Banque interaméricaine de développement
Washington, D.C.

par:
ENVIRON International Corporation
Washington, DC

Août 2011

Projet numéro:
01-27631A

Table des matières

1	Cadre général	1
2	Objectifs	3
3	Description des activités	4
4	La demande en eau	6
4.1	Estimation du bilan d'eau	6
5	Qualité de l'eau	11
5.1	Qualité de l'eau à usage domestique	11
5.2	Qualité de l'eau à usage industriel	12
5.3	Les eaux usées	13
5.4	Impacts de la décharge des eaux usées sur la Baie de Caracol	15
6	Quantités d'eau disponibles	16
6.1	Estimation du débit des eaux de surface.....	16
6.2	Estimation du risque d'inondation	18
6.3	Estimation de la production des puits et du potentiel d'épuisement de l'aquifère	18
6.4	Estimation du potentiel d'intrusion d'eau salée.....	19
7	Analyse démographique	21
7.1	Estimations concernant la population	21
8	Conditions environnementales initiales	26
9	Conclusions	27
9.1	L'offre et la demande en eau.....	27
9.2	Qualité de l'eau à usage domestique et industriel	27
9.3	Décharge d'eau usées et variations dans la qualité et le débit de la décharge	28
9.4	Influence démographique	28
9.5	Conditions environnementales initiales	29
	Références	30
	Annexes	32

Liste des sigles

ESG	Unité de Sauvegarde de l'Environnement
BID	Banque interaméricaine de développement
AMP	Aire Marine Protégée
RdH	République d'Haïti
SAE-A	Locataire principal – manufacture de textiles
SONAPI	Société Nationale des Parcs Industriels
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement
UEH	Université d'État d'Haïti
FAMV	Faculté d'Agronomie et de Médecine vétérinaire

Unités couramment utilisées

m ³	Mètres cubes
j	jour
dB	Décibels
L/j	Litres par jour
MW	Megawatts
µg/m ³	Microgrammes par mètre cube
ppm	Parties par million
s	Secondes

Résumé analytique

Ce rapport présente une évaluation hydrologique préliminaire et une enquête environnementale de base pour la création d'un parc industriel dans le nord d'Haïti. Les observations de ce rapport sont limitées par la qualité et le type de données disponibles au moment de l'évaluation. Les résultats et les conclusions reposent principalement sur des modèles théoriques et des rapports historiques. Une visite sur place, qui comprenait un travail de terrain limité, a aussi fourni des informations pour cette évaluation. L'évaluation de la demande en eau et des quantités disponibles pour le parc industriel était un élément clé de cette consultation. La principale source d'eau de surface du site, la rivière de Trou du Nord, se jette dans la Baie de Caracol, une ressource écologique importante. Vu l'absence de données sur la sensibilité écologique de la Baie de Caracol, l'absence de données pour évaluer le débit critique environnemental, et les données météorologiques extrêmement limitées pour la région, le potentiel d'un impact adverse sur l'hydrologie de surface est suffisant pour recommander de ne pas utiliser les eaux de surface pour satisfaire aux besoins prévus du parc industriel. En outre, des estimations préliminaires suggèrent qu'il y a des quantités substantielles d'eau souterraine disponible pour satisfaire aux besoins du site pour les deux phases de son développement. En conséquence, nous recommandons vivement d'exploiter les eaux souterraines pour satisfaire les besoins du site. Malgré l'abondance apparente des eaux souterraines, l'aquifère est considéré comme non-confiné (à nappe libre) et est recouvert par des sables alluviaux hautement poreux, ce qui le rend très vulnérable à une contamination venue de la surface.

Vu l'étendue de l'aquifère, il est peu probable qu'une demande en eau souterraine pour d'autres usagers tant actuels que futurs, aurait un impact sur les réserves globales de l'aquifère. Cependant, l'exploitation durable de cette ressource dépendra de la bonne gestion des systèmes d'amenée et d'assainissement. L'eau souterraine devra être traitée avant la consommation humaine, vu les niveaux élevés de coliformes observés. Elle devra aussi être traitée avant tout usage industriel. Les données étaient insuffisantes pour confirmer la présence ou l'absence d'autres éléments contaminants, tels que des composés organiques et des métaux lourds. De plus, les laboratoires locaux ne possèdent pas d'équipement suffisamment sensible pour analyser la qualité de l'eau conformément aux critères de la SFI. Par conséquent, il n'y avait pas assez de données pour prédire le niveau et l'étendue du traitement requis pour l'eau à usage domestique et industriel. Les effluents d'eaux usées devront être traités selon des normes plus strictes que les normes suggérées afin de : a) satisfaire aux directives ESS¹ du Groupe Banque mondiale pour l'industrie textile, et b) assurer que l'eau déchargée dans les eaux de surface ait la même qualité ou une qualité supérieure aux conditions ambiantes. Il n'y a pas assez de données pour indiquer le niveau et l'étendue du traitement exigé.

Pour finir, la qualité actuelle de l'air est bonne et le bruit est inférieur aux niveaux recommandés pour des lieux de travail.

¹ Directives de la SFI pour l'Environnement, la Santé et la Sécurité

1 Cadre général

La République d'Haïti a demandé à la Banque interaméricaine de développement (BID) de financer un parc industriel (le Parc Industriel de la région Nord - PIRN) qu'elle est en train de développer dans le cadre d'un programme de développement à plus long terme pour le nord d'Haïti, le Programme de développement de la région nord. Le parc industriel de 250 hectares qui sera établi sur un site entièrement nouveau, inclura des bâtiments industriels, une station de traitement de l'eau avec une capacité de $2.500 \text{ m}^3/\text{j}$ ², une centrale électrique diesel de 18 MW ³, une station de traitement des eaux usées et d'autres infrastructures associées (logements, cantines, centre de formation, bureaux, clinique, entrepôts). Le coût est estimé à 51 millions de dollars EU pour l'infrastructure sur le site (par ex. hangars industriels, bâtiments administratifs, approvisionnement en électricité et eau traitée, station de traitement des eaux usées) et l'infrastructure hors-site (par ex. route de desserte). Les fonds d'investissement nécessaires au fonctionnement du parc industriel ("le Parc" ou "le Projet") ne sont pas encore assurés, notamment pour la gestion des déchets solides et la construction et le fonctionnement d'une clinique.

Le propriétaire et agence d'exécution du Parc sera la Société nationale des Parcs industriels ("SONAPI") qui dépend du Ministère de l'Économie et des Finances de la République d'Haïti. La SONAPI est une société d'état autonome, qui a la charge de construire et de gérer les parcs industriels. La demande en eau, les effluents d'eau usée et tout autre impact afférent sur la Baie de Caracol seront probablement associés non seulement aux impacts concernant directement le parc, mais aussi ceux dus à d'autres développements dans la zone comme la nouvelle université nationale actuellement en construction à l'ouest du site, et toute augmentation de la migration interne et des questions de logement qui en résulteraient. Le locataire principal actuel du parc sera la société de produits textiles SAE-A. L'aire du projet est définie sur la carte de la figure 1, ci-dessous.

² Ces chiffres sont préliminaires

³ A confirmer



Figure 1. Carte indiquant la position du site les cours d'eau de surface. Le rectangle rouge désigne le site du parc industriel.

Borehole = forage

Piezometer = piézomètre

Bridge Route Nacional = pont route nationale

Bridge Trou du Nord = pont Trou du Nord

2 Objectifs

Cette consultation avait pour objectif d'aider l'Unité de Sauvegarde de l'Environnement (ESG) et le Groupe de Travail des Industries d'Haïti (Chef de mission: Christian Dunkerley) de la BID à assurer que les questions concernant les quantités et la qualité de l'eau soient correctement évaluées et documentées. Les principaux éléments à risque liés au projet qui devaient faire l'objet d'une étude dans le cadre de cette consultation (voir chapitre 3, description des tâches) étaient les suivants:

- (i) La demande en eau: une estimation du bilan d'eau du parc industriel, tant pour l'eau à usage domestique que pour l'eau à usage industriel
- (ii) La qualité de l'eau: la qualité de l'eau requise pour les usages domestique et industriel, y compris la qualité des effluents produits par le site et variations prévues de la qualité des eaux de surface qui résulterait directement de la décharge des eaux usées domestiques et industrielles.
- (iii) Les quantités d'eau disponibles: une estimation des débits des eaux de surface, une évaluation des risques d'inondation, des estimations du rendement des puits et le potentiel d'épuisement de l'aquifère, le potentiel d'intrusion d'eau salée en plus des impacts potentiels sur les forêts locales de palétuviers, les planches d'herbes maritimes et les courants écologiques de la région, et surtout la partie aval de la Baie de Caracol considérée par la RdH comme une zone hautement prioritaire pour l'établissement d'une Aire Marine Protégée ("AMP") pour conserver la biodiversité et implanter un nouveau parc marin⁴.
- (iv) Une analyse démographique : l'impact cumulé des développements autour de la zone, en particulier les programmes de logement et autres infrastructures prévues.

⁴ La zone a fait l'objet d'une première évaluation dans un projet intitulé "Programme Changements Climatiques" (République d'Haïti, 2006). En tant que Pays Moins Avancé ("PMA") et Petit État insulaire en Voie de Développement (Small Island Developing State – "SIDS"), Haïti bénéficie d'une "considération spéciale vu sa capacité limitée de répondre au changement climatique et de s'adapter à ses effets adverses" (UNFCCC - Convention cadre des Nations Unies sur le changement climatique, 2011). Aussi, Haïti bénéficie d'un nouveau projet, "*Etablissement d'un Système National d'Aires Protégées Financièrement Soutenable (SNAP) (2011-2015)*" (PNUD, 2010) soutenu principalement par le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) et le Fonds pour l'Environnement mondial (FEM), et qui a suscité un grand intérêt international en particulier de la *Fondation Pour la Protection de la Biodiversité Marine* ("FoProBiM"), une ONG haïtienne qui se consacre à la protection des environnements marins.

3 Description des activités

Les premiers termes de référence de l'accord du 23 juin 2011 contenaient une liste de neuf activités principales qui devaient aborder les éléments à risques mentionnés ci-dessus. La capacité d'ENVIRON d'exécuter ces tâches dépendait du type et de la qualité des données mises à sa disposition pendant la mission (qui a duré du 23 juin au 28 juillet 2011). Bien que la RdH nous ait fourni les résultats préliminaires d'une étude géotechnique faite plus tôt cette année, (et surtout des tests de conductivité du sol), les résultats des tests du forage (entrepris par Foratech dans le cadre d'un contrat séparé avec la RdH) n'étaient pas disponibles au moment de la rédaction de ce rapport. Par conséquent et lorsque c'était possible, ENVIRON s'est basée sur la littérature existante et des modèles théoriques appropriés, ce qui a produit une modification de la description des tâches décrite dans le tableau suivant.

Tableau 1: description des tâches		
Tâche N°	Accord original	Tâches modifiées
1.	Résultats des tests de pompage dans le forage (tests faits par Foratech).	N'étaient pas disponibles – exclus du rapport
2.	Estimations du débit de la rivière de Trou du Nord basées sur des mesures ponctuelles sur le terrain.	Achevée
3.	Basée sur les tests de pompage dans le forage, une estimation préliminaire du potentiel d'intrusion d'eau salée dans les eaux souterraines par suite de l'exploitation par le Parc de l'aquifère et de la rivière et les risques possibles pour les palétuviers et les récifs coralliens	Estimations faites en utilisant les données relatives aux eaux souterraines dans la littérature existante et des modèles théoriques appropriés.
4.	Fournir des données initiales qui pourraient être utilisées pour commencer l'analyser des relations entre les débits de surface, les eaux souterraines de la ou des aquifères et le potentiel d'intrusion d'eau salée, de préparer un modèle hydrologique pour le bassin de la Rivière de Trou du Nord.	Estimations faites en utilisant les données de débit des eaux de surface obtenues sur le terrain et les données sur les eaux souterraines dans la littérature existante en plus des modèles théoriques appropriés.
5.	Commencer la préparation du modèle hydrologique théorique du bassin de la Rivière de Trou du Nord.	Estimations faites en utilisant les données de débit des eaux de surface obtenues sur le terrain et les données sur les eaux souterraines dans la littérature existante en plus des modèles théoriques appropriés.
6.	Obtenir et examiner les informations et les données de planification existantes pour confirmer, si possible un bilan d'eau théorique pour le Parc.	Estimations basées sur les prévisions de la demande faites par le locataire principal (SAE-A) et estimation de la demande pour tous les autres locataires. Aucune autre information n'était disponible au moment de la rédaction de ce rapport.
7.	Allocations pour une demande en eau locale supplémentaire fournie par la rivière et l'aquifère et une analyse démographique.	Achevée
8.	Évaluation des résultats des études géotechniques de	Ne permet pas de conclure – exclue du rapport

Tableau 1: description des tâches		
Tâche N°	Accord original	Tâches modifiées
	stabilité du sol.	
9.	Première phase de l'analyse initiale de la qualité de l'eau, de l'air et du bruit.	Achevée
10.	Estimation préliminaire des risques d'inondation.	Estimation faite basée à partir des données de terrain disponibles et de la littérature existante, en plus de l'information anecdotique fournie par les résidents et des observations visuelles.

4 La demande en eau

4.1 Estimation du bilan d'eau

Un bilan d'eau pour l'ensemble du Parc a été préparé, basé sur les rapports publiés par Louis Berger (2011), EPSA-Labco (2011), et SAE-A (2010) (voir références).

Ce bilan d'eau a été établi pour déterminer les projections de la demande en eau pour le Parc pour les phases 1 et 2 du développement prévu. Le bilan d'eau estimé se divise selon les deux usages principaux :

- L'eau à usage domestique qui inclut toute l'utilisation prévue par personne, par les employés des établissements pour des usages tels que les douches, les robinets et les toilettes.
- L'eau à usage industriel qui comprend toute la consommation d'eau spécifique aux diverses procédures industrielles du Parc.

La demande en eau est conventionnellement présentée en mètres cubes par jour (m^3/j), cependant ces chiffres ne tiennent pas compte des variations de la demande journalière qui pourraient se produire au cours du fonctionnement normal de l'établissement.

Les estimations de l'eau à usage domestique sont présentées dans les tableaux 2-1, 2-2 et 2-3. En utilisant les meilleures données disponibles et les estimations concernant le personnel, on estime qu'un volume de **1.927 m^3/j** sera nécessaire pour la phase 1 des opérations avec un volume additionnel de **774 m^3/j** pour la phase 2, ce qui aboutit à un volume combiné de **2.701 m^3/j** . L'eau à usage domestique pour SAE-A a été calculée en utilisant les estimations de personnel fournies par SAE-A, et les estimations pour les autres personnels proviennent de Louis Berger (2011). Le personnel résident est évalué à 1% du personnel total requis pour chaque industrie. En tant que locataire principal, SAE-A constituera la majorité du personnel du parc et le chiffre de 150 l/j pour la demande (confirmé par UTE pendant la visite d'ENVIRON sur le terrain) a été utilisé pour estimer la demande totale de tous le personnel résident. L'estimation réduite à 80 l/j pour le personnel non résident provient de Louis Berger (2011).

Tableau 2-1 : Phase 1 Estimation de l'utilisation de l'eau à usage domestique					
Société	Total personnel	Demande (80 m^3/j)	Personnel résident	Demande (70 m^3/j)	Demande Totale (m^3/j)
SAE-A	14.800	1.184	148	22	1.206
OH	3.200	256	32	5	261
ATRACO	3.500	280	35	5	285
GOODWILL	500	40	5	1	41
INDIGO MTN	820	66	8	1	67
LOGEMENTS-USAGE COMMERCIAL-BUREAUX	750	60	8	1	61
TRAITEMENT EAUX USÉES	34	3	0.3	0.1	3

Tableau 2-1 : Phase 1 Estimation de l'utilisation de l'eau à usage domestique

Société	Total personnel	Demande (80 m³/j)	Personnel résident	Demande (70 m³/j)	Demande Totale (m³/j)
CENTRALE D'ÉNERGIE	40	3	0,4	0,1	3
Total	23.644	1.892	236	35	1.927

Tableau 2-2 Phase 2 Estimation de l'utilisation de l'eau à usage domestique

Société	Total personnel	Demande (80 m³/j)	Personnel résident	Demande (70 m³/j)	Demande Totale (m³/j)
SAE-A	5.750	460	58	9	469
OH	-	-	-	-	-
ATRACO	3.500	280	35	5	285
GOODWILL	-	-	-	-	-
INDIGO MTN	-	-	-	-	-
LOGEMENTS / USAGE COMMERCIAL / BUREAUX	250	20	3	0	20
TRAITEMENT EAUX USÉES	-	-	-	-	-
CENTRALE D'ÉNERGIE	-	-	-	-	-
Total	9.500	760	95	14	774

Tableau 2-3 Phase 1 et 2 Combiné - Estimation de l'utilisation de l'eau à usage domestique

Société	Total personnel	Demande (80 m³/j)	Personnel résident	Demande (70 m³/j)	Demande Totale (m³/j)
SAE-A	20.550	1.644	206	31	1.675
OH	3.200	256	32	5	261
ATRACO	7.000	560	70	11	571
GOODWILL	500	40	5	1	41
INDIGO MTN	820	66	8	1	67
LOGEMENTS / USAGE COMMERCIAL / BUREAUX	1.000	80	10	2	82
TRAITEMENT EAUX USÉES	34	3	0	0	3
CENTRALE D'ÉNERGIE	40	3	0	0	3
Total	33.144	2.652	331	50	2.701

Les estimations des quantités d'eau pour l'usage industriel sont présentées dans le tableau 3. Un total de **1.723 m³/j** sera nécessaire pour la phase 1, avec une augmentation significative jusqu'à **8.706 m³/j** pour la phase 2. SAE-A ont fourni leur demande en eau à usage industriel et les autres estimations proviennent de Louis Berger (2011). L'augmentation entre la phase 1 et la phase 2 est due essentiellement à l'introduction du tissage et de la teinture liée à SAE-A. Au début de l'année 5, ces traitements exigeront un supplément de 3.000 m³/j, puis 6.000 m³/j pour l'année 7 et les années suivantes.

Tableau 3 : Estimation de l'utilisation de l'eau à usage industriel, phases 1 et 2 combinées		
Société	Phase 1 (m³/j)	Phase 1 & 2 (m³/j)
SAE-A	181	6.363
OH	-	-
ATRACO	500	1.000
GOODWILL	-	-
INDIGO MTN	1.000	1.000
LOGEMENTS / USAGE COMMERCIAL / BUREAUX	-	-
TRAITEMENT EAUX USÉES	-	-
CENTRALE D'ÉNERGIE (PRISE) ^s	42	343
Total	1.723	8.706

^s Basé sur des taux projetés moyens de vapeur pour SAE-A seulement. Suppose 5% pour la purge des chaudières et les systèmes de prétraitement, et un recouvrement de 50% de la vapeur condensée, et le reste allant aux eaux usées.

L'eau pour la production de vapeur est incluse dans les besoins de prise pour la centrale d'énergie (c'est-à-dire les chaudières) pour les phases 1 et 2. D'autres demandes liées aux services (par ex. les tours de refroidissement) n'ont pas été incluses dans le bilan global de l'eau parce qu'il n'y avait aucune information sur ces demandes. SAE-A a indiqué une demande moyenne de vapeur d'environ 2,3 millions de kg par mois dans l'année quatre des opérations, ce qui équivaut approximativement à 76 m³/j d'eau (condensée). En année 7, l'introduction du tissage et de la teinture aboutiront à une demande d'environ 19 millions de kg/mois, ou 623 m³/j. Dans un système de production de vapeur habituel, un certain pourcentage de l'eau à l'entrée est libéré sous forme d'eau usée afin de fournir la qualité correcte d'eau à l'entrée des chaudières – un traitement en amont pour éliminer les sels, composés organiques ou autres éléments contaminants produira un petit courant d'eau usée, et un courant périodique ou continu d'eau est gaspillé dans les chaudières pour éviter l'accumulation de corps solides, sels ou autre éléments contaminants qui endommageraient le système. C'est pourquoi un supplément de 5% est nécessaire dans les prises pour couvrir ces eaux servant à purger le système.

Pour déterminer la charge à partir de la centrale d'énergie jusqu'au traitement des eaux usées, on a supposé qu'environ 50% de la vapeur condensée sera recyclée vers les chaudières. De

plus, comme on n'avait pas d'informations sur la configuration spécifique de la distribution de la vapeur ou de l'utilisation dans le complexe, le bilan actuel suppose que toutes les pertes/purges seront recueillies comme eaux usées et transférées pour traitement sur le site.

En se basant sur les estimations de quantités d'eau à usages domestique et industriel, la demande totale en eau du parc est estimée à 3.650 m³/j pour les opérations de la phase 1 et 11.407 m³/j pour les opérations de la phase 2. Un bilan théorique de l'eau pour les phases 1 et 2 est présenté dans les figures 2 et 3 respectivement.

Figure 2 : Bilan d'eau théorique pour l'ensemble du complexe pour la phase 1
(les chiffres présentés emploient une nomenclature anglaise par ex. 3,000 = 3.000)

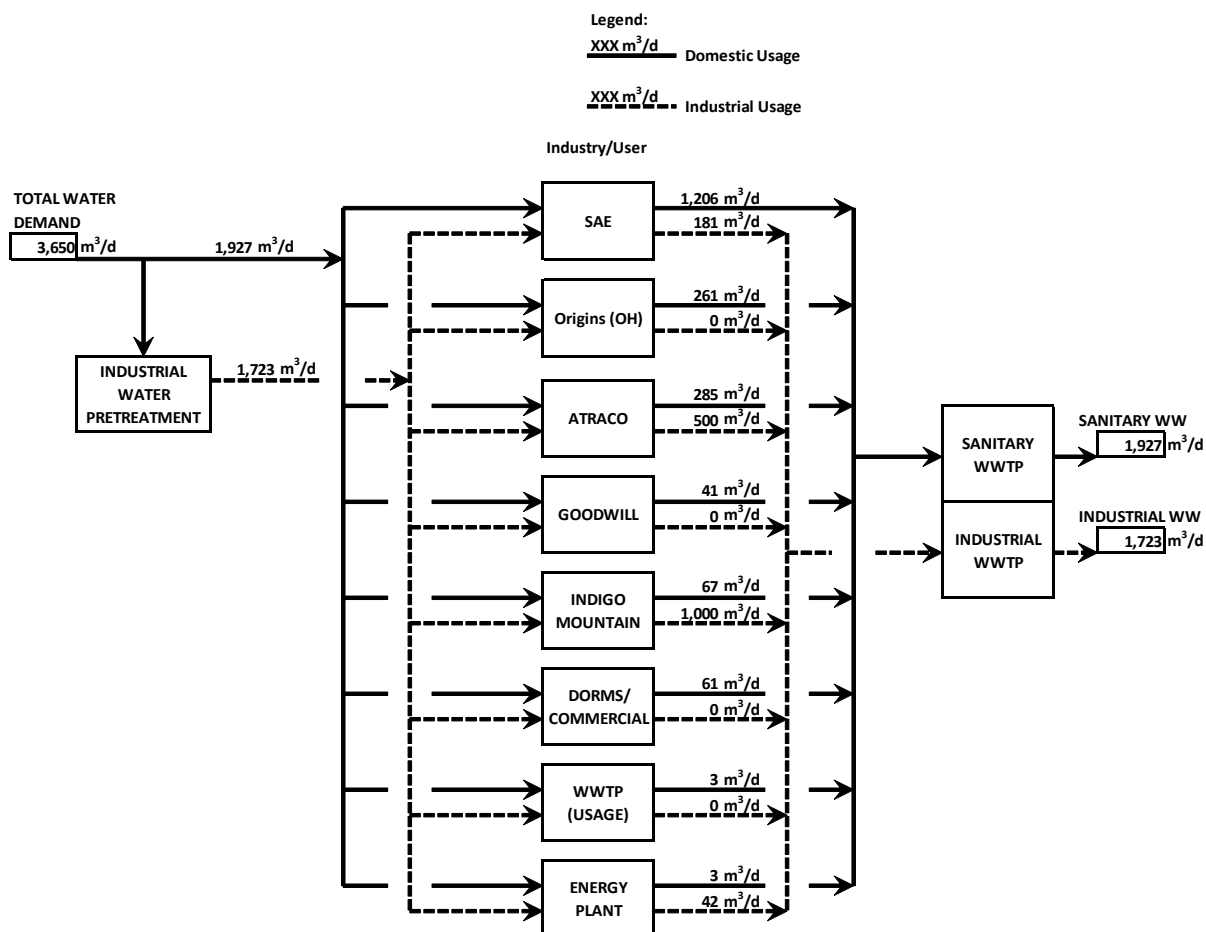
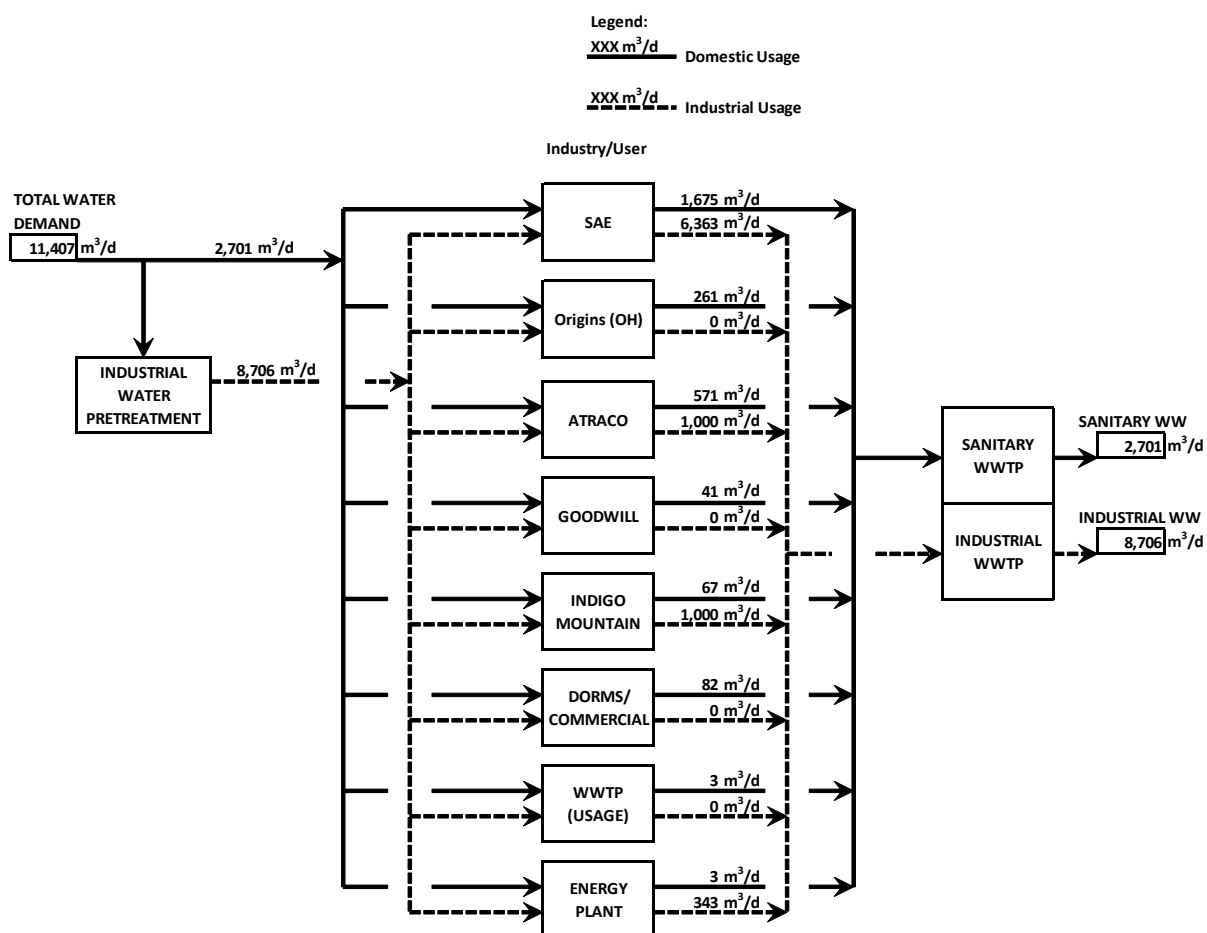


Figure 2 : Bilan d'eau théorique pour l'ensemble du complexe pour la phase 2
(les chiffres présentés emploient une nomenclature anglaise par ex. 11,407 = 11.407)



5 Qualité de l'eau

Au moment de l'évaluation, les données concernant la qualité de l'eau étaient limitées. Le présent rapport est basé principalement sur des échantillons d'eau prélevés et envoyés à des laboratoires pour analyse (EPSA-Labco, 2011a, 2011b). Il est important de noter que ces données représentent des moments discrets dans le temps. De telles données permettent d'identifier certains constituants qui exigent un traitement, mais l'information fournie n'est pas suffisante pour déterminer des conditions initiales pour la qualité de l'eau. En particulier, aucun échantillon n'a été prélevé pendant la saison des pluies. Par conséquent, il n'est pas possible de commenter sur les concentrations à planifier pour le système de traitement. De plus, les valeurs de détection pour certains paramètres sont, dans certains cas, supérieures aux valeurs contenues dans les directives, comme pour certains métaux lourds, et le fait de n'avoir pas été détectés ne garantit pas leur absence. Les six échantillons sur les listes des tableaux 5-1 à 5-3 concernent les dates et lieux d'échantillonnage suivants :

- P1 = Fleury, 11 février, 2011
- P2 = Piézomètre du site, 5 juillet, 2011
- P3 = Inconnu, Rivière Trou du Nord, 11 février 11, 2011
- P4 = En aval, Rivière Trou du Nord, 5 juillet, 2011
- P5 = Mi-parcours, Rivière Trou du Nord, 5 juillet, 2011
- P6 = En amont, Rivière Trou du Nord, 5 juillet, 2011

5.1 Qualité de l'eau à usage domestique

A ce jour, Haïti n'a pas préparé ses propres directives pour la qualité de l'eau potable, mais reprend les normes recommandées par l'Organisation mondiale de la Santé (OMS). Ces normes sont présentées dans le tableau 5-1 avec les paramètres de qualité de l'eau obtenues à la suite d'analyses de laboratoire faites pour les périodes d'échantillonnage mentionnées ci-dessus. Les paramètres qui exigent une certaine forme de traitement supplémentaire ont été soulignés.

Tableau 5-1 : Paramètres de qualité de l'eau à usage domestique							
Paramètre	Unité	Eau souterraine		Eau de surface (Rivière Trou du Nord)			OMS (2006)
		P1	P2	P3	P4	P6	
pH	-	7,55	7,58	8,13	7,60	7,39	<8 ^s
Turbidité	UT	46,6	1,24	12	30		0,1 ^a
TTC	VPP ^b / 100 mL	2	3.465	2.400	508	5.929	c
Arsenic	mg/L	1,110	<LD	1,030	<LD	<LD	0,01 P
Barium	mg/L	4,000		4,000			0,7
Cadmium	mg/L	<0,125	<LD	<0,125	<LD	<LD	0,003
Chromium	mg/L	<2,0	<LD	<2,0	<LD	<LD	0,05 P
Cyanure	mg/L	0,001		0,003			0,07
Fluor	mg/L	0		0			1,5
Manganèse	mg/L	<0,25		<0,25			0,4 C
Mercure	mg/L	<10	<LD	<10	<LD	<DL	0,006
Nitrates (NO ₃)	mg/L	<LD	0,1	<LD	0,1	0,1	50

Tableau 5-1 : Paramètres de qualité de l'eau à usage domestique

Paramètre	Unité	Eau souterraine		Eau de surface (Rivière Trou du Nord)			OMS (2006)
Nitrites (NO ₂ ⁻)	mg/L	0,110		0,050			3

P = valeur directrice provisoire, parce qu'on a des preuves d'un danger, mais les informations sur les effets sur la santé sont limitées

C = concentrations de la substance au niveau ou en dessous du niveau de la valeur directrice pour la santé mais qui pourrait affecter l'apparence, le goût ou l'odeur de l'eau, pour lesquels les clients pourraient se plaindre.

<LD = inférieur à la limite détectable

§ Aucune valeur directrice pour la santé n'a été proposée, mais, pour une désinfection efficace avec du chlore, on recommande un pH inférieur à 8.

a Aucune valeur directrice n'a été proposée pour la turbidité concernant la santé; l'idéal serait que la turbidité médiane soit inférieure à 0,1 UT pour une désinfection efficace, et les changements de turbidité constituent un important paramètre dans le contrôle des processus de traitements.

b VPP = valeur la plus probable

c Ne doit pas être détectable dans tout échantillon de 100-ml.

- Vu les niveaux élevés de bactéries observés, l'eau potable devra être traitée. Ce type de traitement est normalement standard et peu coûteux. L'arsenic, le baryum, le cadmium, le manganèse et le mercure sont des substances toxiques connues et dans certains cas provoquent le cancer chez les humains et un traitement plus poussé pourrait être nécessaire. Il importe de noter qu'on n'a pas détecté de métaux lourds dans aucun des échantillons prélevés le 5 juillet 2011. Ces échantillons ont été intentionnellement envoyés à un laboratoire différent de celui qui a analysé les échantillons prélevés le 11 février 2011 et sont conformes aux résultats obtenus par l'UEH et la FAMV. Cependant, vu le nombre limité de données disponibles, il n'est pas possible de déterminer les risques potentiels pour les humains sans faire des analyses complémentaires pour confirmer l'absence de ces substances toxiques.

5.2 Qualité de l'eau à usage industriel

Le tableau 2-5 présente la liste des paramètres de qualité de l'eau requise pour l'usage industriel pour la société SAE-A (qualité requise pour la teinture, alors que les paramètres industriels généraux peuvent être moins stricts), comparés aux paramètres de qualité actuels. Les paramètres qui ne satisfont pas ou pourraient ne pas satisfaire aux directives de la SAE-A sont soulignés. L'eau à l'entrée exigera une station de conditionnement séparée qui inclura les opérations conventionnelles de coagulation, floculation, sédimentation et filtration.

Tableau 5-2 : Paramètres de qualité de l'eau à usage industriel

Paramètre	Unité	Eau souterraine		Eau de surface (Rivière Trou du Nord)			Eau Industrielle SAE
		P1	P2	P3	P4	P6	
pH	-	7,55	7,72 [§]	8,13	7,60	7,39	6,5 – 7,8
Turbidité	UT	46,6	22,5 [§]	12	30		2
Total solides dissous	mg/L	392	140	263	150	150	170
Couleur	TCU	20		10			5
Fer	mg/L	<1,0		<1,0			0,1
Dureté	mg CaCO ₃ /L	253	250	159	140	140	30

Tableau 5-2 : Paramètres de qualité de l'eau à usage industriel

Paramètre	Unité	Eau souterraine		Eau de surface (Rivière Trou du Nord)			Eau Industrielle SAE
		P1	P2	P3	P4	P6	
Total carbone	mg/L						
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L	318	250,74	216	113,43	128,36	80
Total Solides en suspension	mg/L						
Arsenic	mg/L	1,110	<LD	1,030	<LD	<LD	0,1
Baryum	mg/L	4,000		4,000			0,1
Cadmium	mg/L	<0,125	<LD	<0,125	<LD	<LD	0,1
Chrome	mg/L	<2,0	<LD	<2,0	<LD	<LD	0,1
Manganèse	mg/L	<0,25		<0,25			0,1
Mercure	mg/L	<10	<LD	<10	<LD	<LD	0,1

§ Enregistré sur le terrain par Foratech.

- Aucune donnée n'est actuellement disponible pour le carbone organique total ou le total des solides en suspension ; ces paramètres seront nécessaires pour déterminer le traitement qui convient (si nécessaire).
- Conformément aux spécifications de SAE-A, l'eau à usage industriel devra être traitée pour le total des solides dissous, la couleur, la dureté et l'alcalinité et pourrait devoir être traitée pour les métaux lourds (voir la note en introduction à ce sujet). Le traitement supposé qui inclut les opérations conventionnelles de coagulation, floculation, sédimentation et filtration (Louis Berger, 2011) n'abordera pas les questions des solides en solution ou l'élimination des couleurs. On ignore quel sera le traitement qui sera choisi pour l'arsenic et le baryum, mais la technologie existe.
- La basse turbidité suggère qu'il y a peu de solides en suspension ; cependant on pense que pendant les périodes de pluviométrie élevée et intense un volume élevé d'argile et de sédiments posera des problèmes de variabilité de la qualité de toute eau de surface à l'entrée ; tout équipement d'élimination des solides doit être en mesure de traiter cette variabilité et de volumes élevés éventuels de solides en suspension.

5.3 Les eaux usées

Le tableau 5-3 présente la qualité prévue des eaux usées avant et après traitement sur le site telle que spécifiée par SAE-A parallèlement avec les directives relatives aux eaux usées de la SFI pour l'industrie textile et la qualité actuelle de l'eau.

Tableau 5-3 : Paramètres de qualité de l'eau pour les eaux usées à la sortie

Paramètre	Unité	Eau souterraine		Eau de surface water (Rivière Trou du Nord)			SAE Eaux usées à l'entrée	SAE Eaux usées à la sortie	SFI ^a
		P1	P2	P3	P4	P6			
pH	-	7,55	7,72 [§]	8,13	7,60	7,39	8 - 11	6 - 8	6-9
Température	°C				29,5	30,9	45 - 50		<3

Tableau 5-3 : Paramètres de qualité de l'eau pour les eaux usées à la sortie									
Paramètre	Unité	Eau souterraine		Eau de surface water (Rivière Trou du Nord)			SAE Eaux usées à l'entrée	SAE Eaux usées à la sortie	SFI ^a
		P1	P2	P3	P4	P6			
Couleur	TCU	20		10			2.500		7 (436 nm, jaune) 5 (525 nm, rouge) 3 (620 nm, bleu)
Total Solides en Suspension	mg/L								50
DBO ⁵	mg/L		0,500		2,600	1,980	800	30 - 50	30
DCO ⁶ (Cr)	mg/L		37,020		24,120	13,860	1.500	125 -150	160
DCO (Mn)	mg/L						600		
AOX ⁷	mg/L								1
Huiles et graisses	mg/L								10
Pesticides ^b	mg/L								0,5 – 0,10
Cadmium	mg/L	<0,125	<LD	<0,125	<LD	<LD			0,02
Chrome(total)	mg/L	<2,0	<LD	<2,0	<LD	<LD			0,5
Chrome (hexavalent)	mg/L								0,1
Cobalt	mg/L								0,5
Cuivre	mg/L								0,5
Nickel	mg/L								0,5
Zinc	mg/L								2
Phénol	mg/L								0,5
Sulfure	mg/L								1
Total Phosphore	mg/L		0,144		0,144	0,570			2
Ammoniac	mg/L								10
Total Azote	mg/L		<LD ^c		<LD ^c	<LD ^c			10
Toxicité envers les œufs de poissons	UT 96h								2
Coliformes	VPP/ 100mL	2	3.465	2.400	508	5.929			400

a A l'extrémité d'une zone de mélange installée selon des critères scientifiques qui tiendra compte de la qualité de l'eau ambiante, de l'utilisation de l'eau reçue, des récepteurs éventuels et de la capacité d'assimilation

b 0,05 mg/L pour le total des pesticides (organophosphorés exclus); 0,10 mg/l pour les pesticides organophosphorés.

c Azote ammoniacal

- Des informations actuelles n'adressent pas les procédés nécessaires pour éliminer la couleur ou les DBO et DCO résiduelles dans les eaux usées effluentes de la SAE-A avant

⁵ DBO = Demande biochimique en oxygène

⁶ DCO = Demande chimique en oxygène

⁷ AOX (anglais) = Substances Organochlorées Adsorbables

qu'elles soient déchargées dans les eaux de surface, en plus des nombreux paramètres figurant sur la liste ESS de la SFI pour l'industrie textile.

5.4 Impacts de la décharge des eaux usées sur la Baie de Caracol

La SAE-A n'a pas fourni de chiffres pour un grand nombre de paramètres qui se trouvent sur la liste de la SFI dans le tableau 5-3. En l'absence de cette information, on suppose que les eaux usées effluentes seront traitées au moins conformément aux normes de la SFI bien qu'un traitement additionnel puisse être nécessaire à cause de la sensibilité du système écologique de la Baie de Caracol.

On ignore quel sera l'impact écologique précis de la décharge des eaux traitées selon les spécifications du tableau 4, cependant l'écosystème tout autour est connu pour être sensible, et en vue de le protéger contre une dégradation écologique, les eaux usées déchargées devront avoir une qualité égale ou supérieure aux conditions initiales actuelles des eaux de surface en plus du fait qu'elles devront satisfaire aux directives ESS de la SFI pour l'industrie textile. Les paramètres qui nous préoccupent le plus sont les paramètres organiques (DBO ou DCO), la couleur, les métaux lourds, l'azote ammoniacal, les solides dissous, les solides en suspension et la turbidité, et la température. Des quantités excessives de tous ces éléments, ou une température trop élevée peuvent avoir un impact négatif significatif sur le courant récepteur et éventuellement la Baie de Caracol en aval. Les forêts de palétuviers telles que celles situées en bordure de la Baie de Caracol sont très sensibles même à des petites variations de température. Des études plus poussées seront nécessaires pour évaluer les impacts potentiels de la décharge d'eaux usées sur l'écosystème environnant.

6 Quantités d'eau disponibles

Les quantités d'eau de surface et souterraines disponibles ont été estimées sur la base des débits de la rivière mesurés sur le terrain et d'extractions maximales d'eau souterraines calculées en utilisant les données de la littérature existante. Le risque d'inondation du site du projet dû à des inondations exceptionnelles a aussi été évalué ainsi que le potentiel d'intrusion d'eau salée à la limite aval (nord) du site du projet.

6.1 Estimation du débit des eaux de surface

ENVIRON s'est appuyée principalement sur deux études hydrologiques existantes (PNUD, 1991; UniQ, 2010) pour définir l'hydrologie du site, les paramètres du sol, les précipitations et autres paramètres nécessaires pour l'évaluation du débit des eaux de surface. Cette information a été fournie par des données primaires recueillies au cours de deux visites sur le site et principalement les tests de débit de la rivière effectués en février et en juillet 2011. Ce site se trouve dans la plaine d'inondation de Trou du Nord dans la zone hydrographique du Nord d'Haïti. Le climat de la plaine d'inondation de Trou du Nord (qui inclut le site du projet) est classé comme modéré avec une moyenne annuelle des précipitations de 1.280 mm. La moyenne annuelle des précipitations (MAP) augmente progressivement de l'Est à l'Ouest avec une répartition bimodale, une saison des pluies primaire de septembre à novembre et une saison des pluies secondaires et moins accentuée d'avril à juin. La principale saison sèche va de décembre à mars et la période de juillet-août est une période de pluviométrie réduite, connue sous le nom de sécheresse d'été.

Le bassin de Trou du Nord mesure 110 km² à son embouchure où le débit annuel moyen a été estimé à 0,98 m³/s (UniQ, 2010). La partie du bassin hydrologiquement reliée au site du projet est estimée à 100 km² ou 90% de l'ensemble du bassin. Les tests de débit de la rivière ont été faits sur le site pendant la principale saison sèche (février 2011) et pendant la "sécheresse d'été" (juillet 2011) et les moyennes obtenues étaient respectivement 0,45 m³/s and 0,70 m³/s. Pour les besoins du calcul des quantités d'eau de surface disponibles, la moyenne de ces deux débits a été considérée comme représentative d'un débit faible initial considéré comme "normal".

Suppositions :

- Vu l'absence totale de données de pluviométrie et de ruissellement pour le bassin considéré, il n'a pas été possible d'estimer les quantités d'eaux de surface disponibles en utilisant l'analyse de régression du type utilisé par le Service géologique des États-Unis (USGS) par laquelle les débits des rivières sont d'habitude estimées en utilisant la moyenne annuelle historique des précipitations enregistrées chaque jour et d'autres paramètres standards de bassins de rivières. Une telle analyse pourrait être possible en utilisant des séries de données de régions voisines dans les Caraïbes par ex. Porto Rico et la République Dominicaine, mais le climat d'Haïti et le bassin du Trou du Nord sont trop loin pour qu'on puisse faire des comparaisons valables.
- Aucune information n'était disponible concernant le caractère et la distribution des pluies pendant les tempêtes tropicales qui sont habituelles en Haïti. Comme ces données sont

indispensables pour évaluer le risque d'inondation, on a supposé dans ce cas que la pluviométrie lors des tempêtes tropicales était semblable à celle du sud de la Floride et de Porto Rico, deux régions pour lesquelles les données existent. Pour une tempête de 24 heures, on a supposé une distribution du type SCS-III⁸.

- Aucune courbe d'intensité-durée-fréquence des précipitations (IDF) n'existe pour Haïti. Ces courbes fournissent une information essentielle sur les quantités et l'intensité des précipitations liées à diverses durées des tempêtes. Vu ces contraintes, les meilleures données disponibles sont celles du sud de la Floride et surtout les quatre scénarios suivants : 102 mm/24h pour une tempête se produisant une fois par an, 127 mm/24h pour une tempête se produisant une fois tous les 2 ans, 203 mm/24h pour une tempête se produisant une fois tous les 10 ans, et 356 mm/24h pour une tempête se produisant une fois tous les 100 ans. Ces courbes sont comparables aux zones de basses terres de Porto Rico et sont considérées comme un excellent indicateur pour la région nord d'Haïti.
- Les pertes de précipitations par évaporation et évapotranspiration ont été estimées à 75%, conformément à d'autres études publiées (PNUD, 1991, UniQ, 2010).
- Le débit de la rivière à travers le site pendant une saison sèche habituelle c'est-à-dire un bas débit initial a été interprété comme étant la moyenne de tous les débits mesurés, soit 0,57 m³/s. Le débit initial est probablement plus bas que le chiffre utilisé, mais on ne peut pas le déterminer sans données précises à long terme.
- L'infiltration augmente rapidement du sud vers le nord et les pertes par infiltration dans les plaines alluviales sont significatives (PNUD 1991). Ce fait a été confirmé par des tests d'infiltration sur place (ESPA-Labco, 2011). Le taux moyen d'infiltration constante mesuré était de 36 mm/h, normal pour un sol sableux. On estime que ce taux est uniforme dans la partie nord du bassin versant de Trou du Nord.
- Une carte détaillée du site a été utilisée pour estimer d'autres paramètres physiques concernés.

Méthodologie et résultats

Le système de modélisation hydrologique (HEC-HMS du Corps des Ingénieurs de l'Armée des États-Unis, 2010) a été utilisé pour estimer les débits maximum sur le site du Projet, conformément aux suppositions ci-dessus et résumées dans le tableau 5.

Tableau 5 : Débit estimé de la Rivière Trou du Nord	
Période de retour	Débit (m³/s)
Débit initial	0,57
2-ans	2
10-ans	10
100-ans	37

⁸ SCS = Service de Conservation des Sols des États-Unis, qui a élaboré le modèle (appelé aujourd'hui le Service de Conservation des Ressources naturelles)

Les débits atteints dans les montagnes étaient jusqu'à 4 fois plus élevés ; cependant les taux d'infiltration significatifs sur le site devraient probablement réduire ces débits. L'absence de débits plus importants a aussi été confirmée lors de notre visite par des preuves anecdotiques fournies par les résidents et confirmées par les rapports précédents (EPSA-Labco, 2011; Koios, 2011).

6.2 Estimation du risque d'inondation

Le modèle hydrologique HEC-RAS (Version 4.0, Génie de l'Armée des États-Unis, mars 2008) a été utilisé pour estimer les débits et les vitesses des eaux d'inondation en quatre lieux différents de la Rivière Trou du Nord à travers le site du Projet. Une carte topographique avec intervalles de 1 m et les débits de la rivière produits par le système de modélisation hydrologique (HEC-HMS) ont été utilisés dans le modèle hydrologique HEC-RAS. Les coefficients de rugosité de Manning ont été obtenus à partir de cartes aériennes et de photos prises lors de la visite sur le site (0,04 pour le canal et 0,01 pour la plaine d'inondation). L'incision moyenne du canal dans la plaine d'inondation est approximativement de 4 mètres. La profondeur moyenne estimée pour une période de retour de 100 ans était inférieure à 3 mètres. Il en résulte que le site (au delà des limites du canal) ne devrait pas être inondé, compte tenu du fait que le courant estimé sera à 1 mètre au dessous du sommet du talus à travers le site.

Limites de l'étude

L'impact de toute structure en aval sur le risque d'inondation n'a pas été examiné en détail (eaux de retenue, etc.), mais, vu la largeur et la profondeur du canal à travers le site, cet impact sera probablement minimal.

6.3 Estimation de la production des puits et du potentiel d'épuisement de l'aquifère

La présente section fait l'estimation du rendement maximum des puits et de l'épuisement de l'aquifère par rapport à divers besoins d'approvisionnement en eau, en supposant que le pompage soit fait dans des forages et des puits existants sur le site et en supposant que l'hydrogéologie du site est semblable à celle décrite dans la littérature (UniQ 2010, PNUD 1991).

Suppositions

- Les caractéristiques des puits sont semblables à celles examinées par ENVIRON en juin 2011 et actuellement en construction par Foratech, dans le cadre d'un contrat avec la RdH.
- L'épaisseur de l'aquifère saturé est de 67,50 mètres.
- On a supposé que la transmissibilité du site était égale à la transmissibilité régionale, allant de 0,0005 m²/s à 0,002 m²/s (UniQ, 2010). On a supposé aussi que le coefficient de stockage du site était égal au coefficient régional, allant de 0,005 à 0,0067.
- L'aquifère qui se trouve sous le site du Projet est conforme à un aquifère non confiné avec une nappe libre.

- Une équation de puits non en équilibre modifiée de Theis, (Driscoll, 1986) qui relie le fonctionnement des puits, le coefficient de stockage, la transmissibilité, le rayon d'influence, les retraits dus au pompage et l'abaissement des eaux souterraines pendant le pompage est applicable et est utilisée comme suit :
 - a) On a estimé le niveau initial des eaux souterraines dans le puits et le rayon d'influence du puits ;
 - b) Le taux de pompage du puits et l'abaissement ont été calculés à une distance $\times 1$ du puits;
 - c) Le calcul de (b) a été répété $\times 2$, etc. jusqu'à une distance maximale égale au rayon d'influence du puits;
 - d) Les résultats de (c) ont été reportés sur un graphique logarithmique et la pente du graphique distance/abaissement a été mesurée ;
 - e) Les calculs de (d) ont été répétés jusqu'à ce que le niveau mesuré sur le graphique soit aussi bas que celui du puits calculé en utilisant l'équation liant la transmissibilité et le taux de pompage.

Les calculs faits en suivant les suppositions ci-dessus donnent les résultats avec une chute initiale d'eau souterraine de 1,3 m et un rayon d'influence du puits de 100 mètres, ce qui aboutit à un rendement maximum possible du puits compris entre 1.000 m³/jour et 3.990 m³/jour. Mais des tests de pompage réels peuvent donner des résultats significativement différents soit du fait que l'aquifère pourrait ne pas être homogène soit que ses caractéristiques hydrogéologiques soient significativement différentes. Cette analyse a été faite en utilisant les meilleures données disponibles et est en accord avec le débit constant préliminaire du piézomètre récemment construit et observé sur le site.

Le pompage prévu d'eau à usage domestique et industriel pendant la phase 1 du développement du site est estimé à 3.650 m³/j (ce qui exigera de faire fonctionner de un à trois puits). Le pompage prévu d'eau à ces usages pendant la phase 2 du projet est estimé à 11.407 m³/j (ce qui exigera de faire fonctionner de quatre à onze puits).

Les rapports existants (UniQ, 2010) estiment que les volumes d'eau souterraine qui alimentent et qui sortent de l'aquifère régional sont de 250 millions de m³/a (soit 684.932 m³/j). Ces chiffres suggèrent que 0,5% des eaux de l'aquifère seront utilisés en phase 1 et que 1,6% des eaux de l'aquifère seront utilisés en phase 2. Donc, le potentiel d'épuisement de l'aquifère par le moyen du pompage est considéré comme étant très petit. Cependant, il convient de noter que d'autres facteurs, tels que le niveau élevé de la déforestation, peuvent avoir un impact significatif à long terme sur les réserves de l'aquifère et altérer le bilan global de l'eau.

6.4 Estimation du potentiel d'intrusion d'eau salée

Les revues de la littérature actuelle considèrent comme normale une salinité de l'eau douce inférieure à 500 ppm (ou 0,50 g/kg), salinité due à des matériaux érodés dissous par la pluie et transportés dans les lacs, les rivières et les océans. On considère la présence accrue d'eau salée dans les eaux souterraines (c'est-à-dire eau de mer) lorsque la salinité dépasse 500 ppm. Des échantillons d'eau ont été prélevés en quatre lieux sur le site et les analyses de ces

échantillons indiquent une salinité moyenne comprise entre 0,25 ppm et 0,28 ppm, et ceci montre qu'il n'y a aucune preuve d'intrusion d'eau salée dans chacun de ces quatre lieux.

Ces mesures sont en accord avec les analyses du potentiel d'intrusion d'eau salée présentées dans les rapports précédents (UniQ, 2010; PNUD, 1991) qui affirment que la qualité chimique de l'eau de la plaine d'inondation alluviale du nord est bonne et que l'intrusion d'eau salée est limitée aux zones côtières de Fort-Liberté et de Caracol, toutes deux en aval du site du projet. Cependant, il convient de noter que le même rapport (PNUD, 1991) suggère l'existence de courants d'eau souterrains du sud vers le nord. Donc il pourrait y avoir un danger d'intrusion d'eau salée pendant les périodes de pompage intensif.

Limites de l'étude

Une évaluation complète de l'intrusion d'eau salée ne peut se faire sans tracer les contours équipotentiels de l'eau souterraine de l'aquifère régional. Ces contours peuvent être tracés en utilisant les données chimiques des eaux souterraines mesurées dans une série de puits entre le site et la mer en plus de tests de pompage précis. Le nombre de ces puits doit être suffisamment élevé et leur localisation suffisamment bien répartie pour rendre compte de toute absence d'homogénéité dans l'aquifère régional.

7 Analyse démographique

Outre la demande en eau pour le Parc et tout impact direct lié à ses opérations, il faut aussi considérer toutes les conséquences indirectes d'un changement démographique (c'est-à-dire l'arrivée de travailleurs et d'autres personnes attirées par les opportunités économiques créées par le projet) comme des changements en agriculture et autres activités locales, le développement d'une nouvelle infrastructure, la déforestation et la destruction de forêts locales de palétuviers (pour le charbon de bois, le bois d'œuvre et l'extraction de carburant), la pêche (en particulier les invertébrés marins, les tortues et les lamantins), et la chasse, et cette liste n'est pas limitative. Ces impacts indirects éventuels ont déjà été soulignés en détail dans des rapports antérieurs (KOIOS, 2011) ; aussi, ce rapport se concentrera essentiellement sur les effets cumulés de l'augmentation prévue de la demande sur les sources d'eau existantes. Vu la pénurie de données démographiques précises en Haïti, et l'information extrêmement limitée sur la gestion du développement du Parc et de tous les impacts indirects liés au Parc, nous avons toujours supposé le pire des cas pour chaque scénario examiné.

7.1 Estimations concernant la population

On a déjà supposé que le personnel résident du Parc représentera 1 % du total prévu des travailleurs. Par conséquent il faudra prévoir du logement pour 32.813 employés dans un rayon permettant de faire la navette avec le Parc. Vu la dimension du bassin, qui comprend plusieurs villes déjà établies, on suppose que cette population résidera dans les limites géographiques du Bassin de Trou du Nord. Une allocation de 80 litres d'eau par jour est prévue pour chaque membre du personnel consommés sur le site et selon les estimations du Parc, 70 litres d'eau par jour seront consommés hors-site. Selon le rapport KOIOS (2010), la famille moyenne comprend cinq membres. En supposant que chaque employé est accompagné par sa famille, l'augmentation éventuelle de la population allant jusqu'à 164.015 personnes se traduira par une augmentation significative de la demande globale en eau.

Il est bien connu que les taux de consommation dans les pays en voie de développement sont très inférieurs aux taux des pays développés et le chiffre de 170 litres par jour et par personne est probablement exagéré. Certains auteurs (Gleick, 1996) suggèrent un volume de 165 l/j⁹ pour satisfaire aux exigences de consommation d'eau de base pour les pays modérément industrialisés ayant des raccords directs pour l'assainissement. Vu l'absence quasi totale de systèmes d'assainissement à eau en Haïti, il serait raisonnable de penser que les 40 litres liés aux systèmes d'assainissement à eau ne sont pas exigés, ce qui nous ramène à 125 l/j. Le CIA (2011) présente une consommation moyenne annuelle de 116 m³, soit 318 l/j, dont 5% seulement, soit 16 l/j, sont à des fins domestiques. Selon une communication personnelle (comm. pers.), une enquête a été faite auprès de vingt-et-un résidents de la Baie de Caracol lors d'une récente réunion communautaire. Les résidents n'ont pas été choisis au hasard et, vu

⁹ Exigences de base en eau potable (5 litres), "préférences sociales pour les pays modérément industrialisés" pour le bain [70L], la cuisine [50L] et "des quantités adéquates pour les raccords d'assainissement dans les pays industrialisés [40L]" (Gleick, 1996)

leur position économique, ne sont pas représentatifs de la communauté au sens large. Malgré cela, le rapport mentionne des besoins de base en eau potable de 64 l/j, environ la moitié du volume recommandé pour les ménages sans raccords d'assainissement directs. Compte tenu de ce fait, on peut supposer que les chiffres contenus dans les tableaux 6 et 7 sont fortement surestimés par rapport aux taux *réels* d'utilisation de l'eau ; cependant, comme mentionné plus haut, ce rapport présente les scénarios du pire des cas, qui aboutit ici à une demande estimée de 125 l/j d'eau à usage domestique (à l'exclusion de 80 l/j alloués au personnel non résident lorsqu'il se trouve sur le site).

Tableau 6 : Demande supplémentaire en eau liée au personnel non résident et leurs familles		
Phase 1 & 2 combinées (travailleurs 32.813)	Familles (estimation de population de familles 131.252)	Total (estimation population combinée. 164.065)
1.448 m ³ /j	16.407 m ³ /j	17.855 m ³ /j

Les statistiques de population les plus récentes pour Haïti (leur date est inconnue) (comm. pers.) suggèrent que l'Arrondissement de Trou du Nord a une population d'environ 105.000 personnes. Des efforts ont été faits pour confirmer ce chiffre en utilisant les images produites par Google Earth pour compter les structures et déterminer les changements dans la densité des bâtiments dans le bassin de la Rivière de Trou du Nord entre 2003 et 2010 (voir figures 4 et 5). Ces images indiquent que la densité de construction a augmenté de 5.268 à 6.044 soit un taux de croissance de 15%. Cependant, même si on suppose que 100% des bâtiments étaient des maisons familiales avec une moyenne de cinq membres pour chaque ménage, on aboutit à une population de 30.200 habitants, moins du tiers de celle donnée par les statistiques ci-dessus. Mais en utilisant à nouveau le scénario du pire des cas, on a conservé le chiffre de 105.000 habitants ce qui produira une demande supplémentaire de 13.125 m³/j.

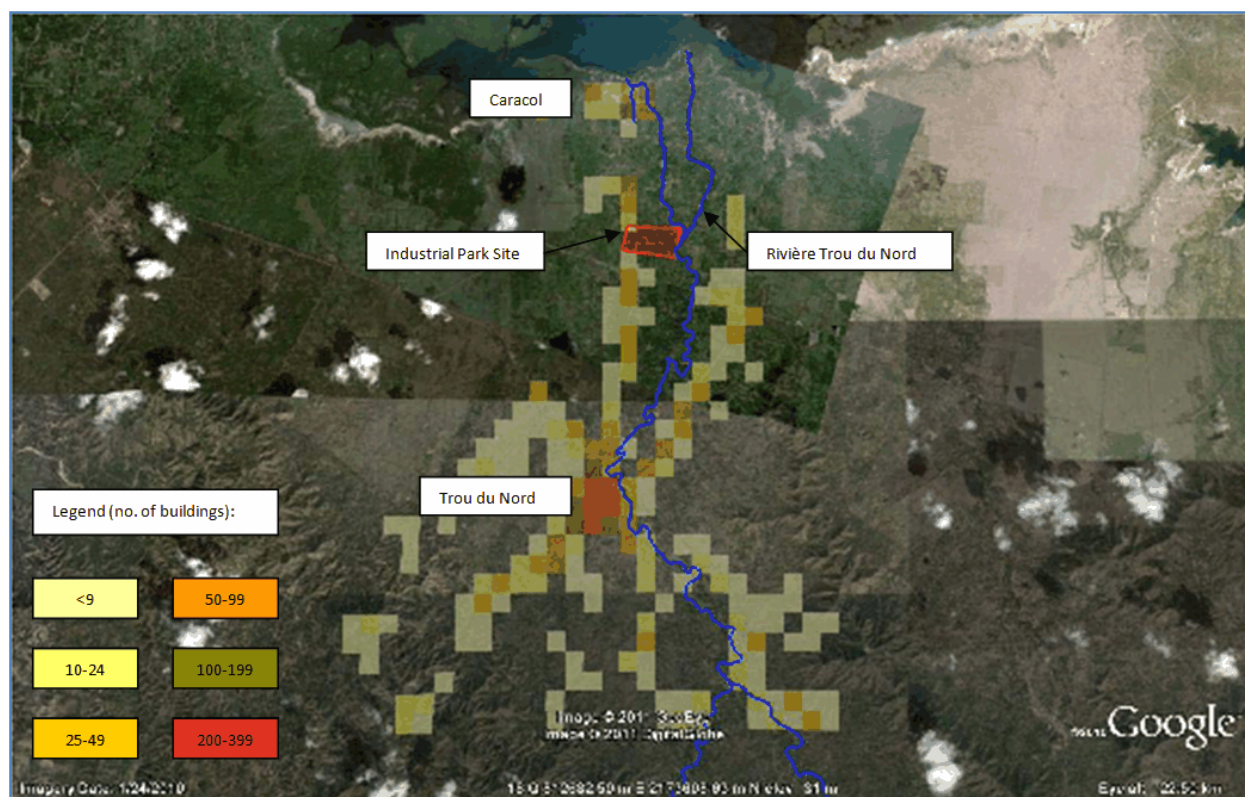


Figure 4. Estimation des densités de population dans l'aire d'influence, 2003

Selon les estimations de la CIA (2011), le taux de croissance actuel d'Haïti est de 0,787% pour 2011. Compte tenu du taux de migration net négatif de -8,32 pour 1000 habitants (CIA, 2011), si les taux de croissance sont les mêmes pour les dix prochaines années, les changements dans la population aboutiront à une augmentation de la demande en eau de 8%, et n'auront pas d'impact significatif sur les ressources en eau existantes.

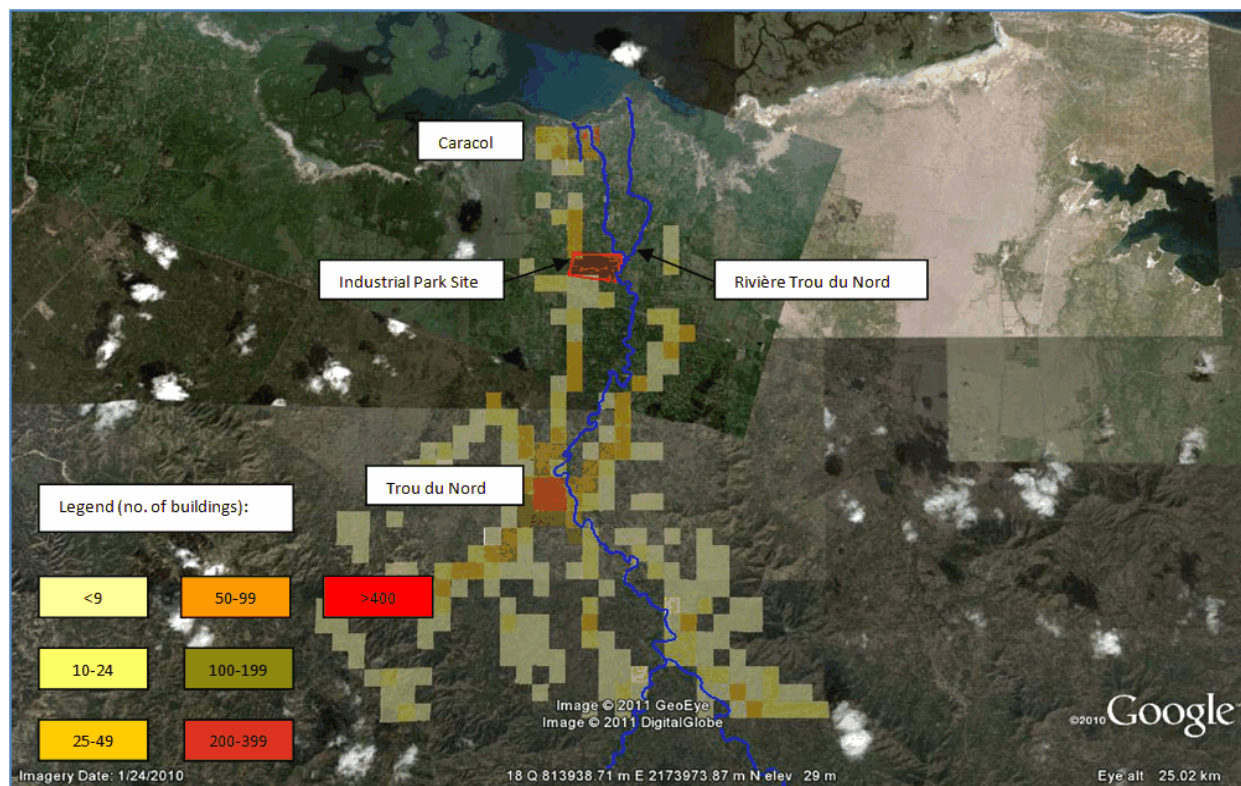


Figure 5. Estimation des densités de population dans l'aire d'influence, 2010

Une nouvelle université est actuellement en construction à l'ouest du Parc qui logerait 6.000 étudiants outre le corps enseignant et le personnel. Il en résultera que la demande augmentera d'environ 750 m³/j, ce qui est marginal. Ceci exclus l'eau à usage industriel requise pour les opérations du site. En supposant que la population des étudiants reste constante, la population future estimée du bassin de Trou du Nord et la demande en eau à usage domestique qui en découle à la fin de la phase 2 sont présentées dans le tableau 7.

Tableau 7 : Estimation de la demande en eau pour le bassin de Trou du Nord			
	Population actuelle	Population estimée dans 7 ans	Demande en eau à usage domestique (m³/j)
Personnel non-résident du Park	n/a	32.813	1.447
Familles	n/a	131.252	16.407
Population générale	105.000	110.923	13.865
Étudiants	6.000	6.000	750
Total	111.000	280.988	32.469

Revenant au sujet de l'arrivée et de l'écoulement des eaux souterraines de l'aquifère régional de 250 millions m^3/a ou 684.932 m^3/j (UniQ, 2010), la demande actuelle d'eau à usage domestique de 13.125 m^3/j (basée sur une population estimée à 105.000 personnes) et une demande future de 32.469 m^3/j (basée sur une population future estimée à 281.000 personnes) représentent 2% et 4,7% du total de l'eau de l'aquifère. Ces chiffres, basés sur des estimations grossières de population du "pire scénario possible" et reposant sur une capacité projetée de l'aquifère, n'auront pas d'impact significatif sur les ressources en eau locales. Le potentiel pour la demande en eau domestique actuelle et future d'avoir un impact sur le volume des réserves d'eau souterraines est très faible.

8 Conditions environnementales initiales

Dans le cadre de l'évaluation des données initiales des conditions de l'environnement, la qualité de l'eau a été analysée en deux points en amont et en aval du Parc, en plus des eaux souterraines sur le site. Ces données ont été examinées en détail dans la section 4.1. Les mesures pour obtenir des données initiales concernant le bruit et la qualité de l'air ont été faites sur place lors de la visite du site en juillet 2011 et sont présentées dans les tableaux 8 et 9.

Le total des particules est actuellement inférieur au maximum recommandé dans les directives générales ESS de la Banque mondiale et de la SFI, qui permettent une moyenne de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans une période de 24 heures. Le total des particules mesuré sur le site était de $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mais il faut noter que, vu l'absence de sécurité sur le site il n'a pas été possible de faire le test pendant la période normalement recommandée de 24 heures. Toutefois, les observations du site suggèrent que la qualité de l'air sur place ne pose pas de problèmes actuellement. Ceci devrait être l'objet d'un suivi régulier dans l'avenir, en particulier pendant la construction du site et, en cas de besoin, on devra fournir aux employés l'équipement de protection personnel approprié, conçu en vue d'alléger les effets nocifs de la détérioration de la qualité de l'air.

Tableau 8: Évaluation des données initiales de la qualité de l'air		
Paramètre	Qualité de l'air(PM_{10}) ¹	BM/SFI 2007 ²
Résultat	$62 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$150 \mu\text{g}/\text{m}^3$

¹ Utilisant un aérosol de suivi TSI DustTrak à temps réel conçu pour filtrer le total des particules dans l'air

² Directives générales ESS du Groupe Banque mondiale/SFI: Environnement (2007), mesure sur 24 heures

Les mesures du bruit enregistrées sur le site pendant la visite de juillet 2011 sont présentées dans le tableau 9 avec les directives concernant les niveaux de bruit industriel et domestique tirées des Directives générales ESS du Groupe Banque mondiale/SFI: Environnement (2007). Les directives générales ESS déclarent que les niveaux du bruit ne devraient excéder ces normes, ou produire une augmentation maximale du bruit de fond de plus de 3 décibels. Les données de terrain pendant le jour indiquent que les niveaux maximum de bruit pendant le jour dépassent les normes résidentielles sur les points 1 et 2 et les normes industrielles au point 3. Bien que ces mesures soient préliminaires, les données suggèrent que le bruit pourrait être un sujet de préoccupation pendant la phase de construction et la phase des opérations.

Table 9 : évaluation des données initiales de la qualité du bruit					
Location	Minimum (dB)	Maximum (dB)	Moyenne (dB)	Normes BM/SFI (dB)	
				Zone résidentielle pendant le jour	Zone industrielle pendant le jour
Point 1	41,5	56,8	49,9	55	70
Point 2	48	58,7	58,8	55	70
Point 3	51,3	74,3	66,6	55	70
Moyenne	46,9	63,3	58,4	55	70

¹ Directives générales ESS du Groupe Banque mondiale/SFI: Environnement (2007)

9 Conclusions

9.1 L'offre et la demande en eau

Eau de surface

Conclusion: vu l'incertitude de la sensibilité écologique et les calculs initiaux des débits, nous concluons ici que l'eau de surface disponible ne suffit pas pour satisfaire les besoins du Parc.

Contraintes de l'étude: comme nous l'avons vu au chapitre 6, notre analyse reposait sur la littérature existante et des données de terrain extrêmement limitées, à savoir pas d'enregistrements à long terme de la pluviométrie et du ruissellement, pas de données sur les tempêtes locales, etc.

Recommandations: après avoir sécurisé le périmètre du site, installer au moins une station météorologique et une station de mesure du débit sur le site (l'idéal serait d'avoir une station dans le bassin supérieur) pour mesurer la pluviométrie journalière (si possible horaire) et enregistrer le débit de la rivière en temps réel pendant au moins un an.

Épuisement de l'aquifère et des eaux souterraines et intrusion d'eau salée

Conclusion: il semble qu'il y ait d'amples réserves d'eau souterraines pour satisfaire la demande du Parc sans épuiser l'aquifère. Le niveau élevé de coliformes dans l'échantillon d'eau souterraine justifie les hypothèses lithologiques selon lesquelles l'aquifère n'est pas confiné et que les plaines alluviales contiennent un matériau sableux non consolidé à une profondeur de 60 mètres et plus sous la surface,

Contraintes de l'étude: décrites au chapitre 6 : basée sur la littérature existante et des données de terrain extrêmement limitées, et surtout qui exclut d'importants résultats sur les tests de pompage des forages pour estimer le rendement réel ; de plus le fait que les données manquent pour pouvoir modéliser l'intrusion de sels, les résultats actuels indiquent simplement une absence de salinité *sur le site*.

Recommandations: des tests de pompage additionnels y compris le suivi d'une série de puits entre le site et la mer pour trouver des preuves d'abaissement significatif et aussi pour enregistrer les conductivités spécifiques. Un suivi constant des puits, y compris le suivi de la qualité de l'eau sur le site et hors-site. Une planification judicieuse pour garantir que cette ressource vitale est correctement protégée (aires de stockage des carburants et des produits chimiques imperméables et scellées, un drainage convenable des eaux des orages, une formation appropriée de tout le personnel en matière de santé, de sécurité et d'environnement) et un programme rigoureux et constant de suivi de la qualité des eaux souterraines.

9.2 Qualité de l'eau à usage domestique et industriel

Conclusion: l'eau devra être traitée avant d'être livrée à la consommation humaine (quelle que soit la source). Les données étaient insuffisantes pour confirmer la présence ou l'absence de métaux lourds ; de même pour la présence ou l'absence de corps organiques et autres composés parce que l'équipement de laboratoire n'était assez sensible pour suivre les directives actuelles pour la qualité de l'eau. L'eau devra être traitée avant d'être livrée à la

consommation industrielle, mais les données étaient insuffisantes pour déterminer l'ampleur du traitement à appliquer.

Contraintes de l'étude: Les données sur la qualité actuelle de l'eau étaient insuffisantes et il n'y avait aucune information concernant les spécifications du traitement de l'eau et les plans de la station de traitement.

Recommandations: un régime de suivi de l'eau bien planifié, y compris un échantillonnage additionnel, est nécessaire avant de finaliser les spécifications de la planification. On recommande que les échantillons soient envoyés aux États-Unis pour y être analysés (afin que l'analyse soit faite avec un équipement suffisamment sensible pour détecter des limites proches des limites inférieures de détection exigées par les normes de la SFI et pour assurer que les résultats soient obtenus plus rapidement). On recommande aussi de faire une revue de toutes les spécifications du locataire par une tierce partie, préparer des directives de qualité de l'eau à l'intention de la RdH et des spécifications de planification.

9.3 Décharge d'eau usées et variations dans la qualité et le débit de la décharge

Conclusion: les effluents d'eaux usées devront être traités à des normes plus élevées que celles de la SAE-A afin d'assurer que l'eau déchargée dans les réservoirs de surface soit de la même qualité ou d'une qualité supérieure à l'état actuel, et surtout en ce qui concerne la demande biologique en oxygène (DBO) et la demande chimique en oxygène (DCO), la température et le total des solides dissous (TSD).

Contraintes de l'étude: l'information disponible était insuffisante pour a) la planification de la station de traitement des eaux usées, les processus de recyclage et les taux de décharge, b) le flux écologique actuel et la sensibilité des palétuviers locaux.

Recommandations: une revue complète de la station de traitement des eaux usées est nécessaire, en particulier une revue approfondie des spécifications de qualité des eaux des effluents compte tenu du risque connu envers l'environnement local ; une évaluation étendue de l'écologie et de la biodiversité pour évaluer l'importance et la sensibilité de l'environnement local sera essentielle pour atténuer les risques futurs d'un impact par suite des opérations du Parc.

9.4 Influence démographique

Conclusion: négligeable en ce qui concerne l'impact sur la demande actuelle d'eau à usage domestique extraite des réserves d'eaux souterraines. Cela suppose que la migration interne est correctement gérée, y compris, sans toutefois s'y limiter, un système d'approvisionnement en eau bien géré et un assainissement approprié.

Contraintes de l'étude: des estimations de la population pouvant être inexactes. Le fait de ne pas considérer le manque de conscientisation sur l'environnement.

Recommandations: en dépit de et à cause de l'impact négligeable que l'utilisation de l'eau domestique pourrait avoir sur les réserves d'eau souterraines, la RdH et les agences de financement pourraient saisir cette opportunité pour les activités suivantes (et cette liste n'est pas limitative): a) une évaluation complète des besoins locaux en eau potable et assainissement au niveau communautaire, b) des campagnes d'éducation pour conscientiser

les populations sur les questions d'hygiène, c) des campagnes d'éducation pour que les populations soient conscientes de l'impact négatif de la déforestation sur les aquifères locaux et comprennent le besoin de protéger cette ressource précieuse.

9.5 Conditions environnementales initiales

Qualité de l'air

Conclusion: la qualité actuelle de l'air est bonne.

Contraintes de l'étude: elle repose sur un échantillonnage limité parce que la qualité de l'air n'a pas été suivie sur une période de 24 heures.

Recommandations: dès que le périmètre du site est sécurisé, une station permanente de suivi de la qualité de l'air devra être installée et surtout lors de la construction et du développement du site. Voir si les employés sur le site auront besoin d'un équipement personnel de protection.

Bruit

Conclusion: les niveaux de bruit actuels sont inférieurs à ceux recommandés sur les lieux de travail.

Contraintes de l'étude: aucune.

Recommandations: dès que la construction commence, il faut faire un suivi régulier des niveaux de bruit pour protéger les employés et pour atténuer tout inconvénient pour les familles des environs. Voir si les employés sur le site auront besoin d'un équipement personnel de protection.

Références

- Communication Personale. Pascal Bussière. Courriels datés des 13 et 14 juillet 2011.
- Corps des Ingénieurs de l'Armée des États-Unis, 1999. L'évaluation des ressources d'eau d'Haïti. *US Army Corps of Engineers Mobile District and Topographic Engineering Center*. Commandement Région Sud des États-Unis.
- EPSA-Labco, 2011a. Estudio Acuífero Sitio 15, para Abastecimiento Parque Industrial.
- EPSA-Labco, 2011b., [en voie de publication]
- Gleick, P. H., 1996. Basic water requirements for human activities: Meeting basic needs. *Water International*, 21(2), 83-92.
- Groupe Banque mondiale/SFI, 2007. Directives générales ESS: Environnement.
- Louis Berger Group, 2011. Étude de la demande, la source, le traitement et la disposition des eaux pour un parc industriel à Cap Haïtien-Haïti.
- OMS, 2006. Directives pour la qualité de l'eau potable, 3^{ème} édition, avec premier et second addenda. Disponibles en ligne à:
http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/en/. Date d'accès: août 2011.
- PNUD, 1991. Développement et Gestion des Ressources en Eaux. Disponibilités en eau et adéquation aux besoins, Volume II Région Nord, Rapport Technique. New York.
- PNUD, 2010. Établissement d'un Système National d'Aires Protégées Financièrement Soutenable (SNAP).
<http://www.ht.undp.org/public/projetdetails.php?idprojet=76&PHPSESSID=56bf185441ba3e4ec9105eb73fb4323a&lang=en&PHPSESSID=56bf185441ba3e4ec9105eb73fb4323a>. Date d'accès: 7/27/11.
- République d'Haïti, 2006. Programme changements climatiques - Plan d'action national d'adaptation.
http://www.ht.undp.org/_assets/fichier/publication/pubdoc47.pdf?PHPSESSID=56bf185441ba3e4ec9105eb73fb4323a, Date d'accès: 7/27/11.
- SAE-A, "Daily Water Usage", tableur Excel.
- SAE-A. "Monthly Power and Boiler Consumption", tableur Excel.
- SAE-A. "Schedule for Construction and T.O. for local employees in Haiti", tableur Excel.
- UEH-FAMV (2011). Rapport d'Études Mai 2011. Université d'État d'Haïti (UEH) et Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire (FAMV).
- UNFCCC, 2011. Cadre des Nations Unies pour le Changement de Climat – Parties et observateurs. http://unfccc.int/parties_and_observers/items/2704.php. Date d'accès: 7/27/11.

UniQ, 2010. Projet de création d'un Parc Industriel dans la région Nord-est d'Haïti. Analyse géologique & hydrogéologique des sites sélectionnés, Rapport final. Université Quisqueya, Port-au-Prince.

01-27631A\PRIN_WP\32427.docx\lv1

Annexes

ANNEXE 1 – Modèle HEC- HMS

Le modèle HEC-EMS du Corps des Ingénieurs de l'Armée des États-Unis (version 3.5, août 2010) a été utilisé pour estimer les débits de surface sur le site du projet. Le modèle simule des processus de précipitations-ruissellement (d'habitude sur la base d'un épisode) en utilisant l'information existante sur la pluviométrie, le sol, l'utilisation des terres, la topographie et d'autres informations). Les paramètres utilisés dans le modèle sont les suivants :

Précipitations : les précipitations sont représentées par la pluviométrie. On a supposé que la hauteur de la pluviométrie était semblable à celle du sud de la Floride, c'est-à-dire, 102mm/24 heures pour une tempête qui se produirait tous les ans, 127mm/24 heures pour une tempête qui se produirait tous les 2 ans, 203 mm/24 heures pour une tempête qui se produirait tous les 10 ans et 356 mm/24 heures pour une tempête qui se produirait tous les 100 ans. On aussi a supposé que la distribution des précipitations au cours d'un orage de 24 heures était semblable à celle du type SCS-III, utilisée couramment dans le sud des États-Unis.

La méthode des *pertes initiales et constantes* a été utilisée pour estimer les pertes de pluie dues à l'infiltration dans le bassin versant de Trou du Nord. Le calcul du taux d'infiltration constant aboutit à un taux de 36 mm/heure, en se basant sur quatre tests d'infiltration sur le site du projet. On a calculé que les pertes initiales seraient de 12,3mm, en se basant sur les mêmes quatre tests.

On a supposé que le bassin versant de Trou du Nord était 100% perméable.

La méthode de *l'hydrogramme unitaire synthétique de Snyder* a été utilisée pour calculer le ruissellement direct du bassin versant à partir d'autres données. Les paramètres de Snyder L (Distance à Trou du Nord de la décharge à la ligne de partage des eaux) et L_c (Distance à Trou du Nord de la décharge au centre du bassin versant) ont été mesurés en utilisant la carte topographique à dénivellations de 1 mètre, et les mesures sont respectivement 26,9 et 12,5 km. On a supposé aussi que le coefficient du bassin de Snyder (C_t) et le coefficient de pointe de Snyder (C_p) étaient 2,0 et 0,6 respectivement, qui sont les moyennes des valeurs publiées dans la littérature. Le temps standard de réponse (entre le début de l'orage et la pointe de l'hydrographe de la pluviométrie) a été calculé égal à 8,6 heures.

On a pris comme débit de base $0,75 \text{ m}^3/\text{s}$ (calculé comme étant la moyenne des mesures de débit faites au cours de deux saisons sèches).

On a considéré que les pertes par évaporation et évapotranspiration étaient de 75%, ce qui est conforme aux mesures et observations antérieures.

Les estimations des débits du bassin versant ne tiennent compte que des débits en surface ; aucune étude des trajets des voies d'évacuation n'a été faite.

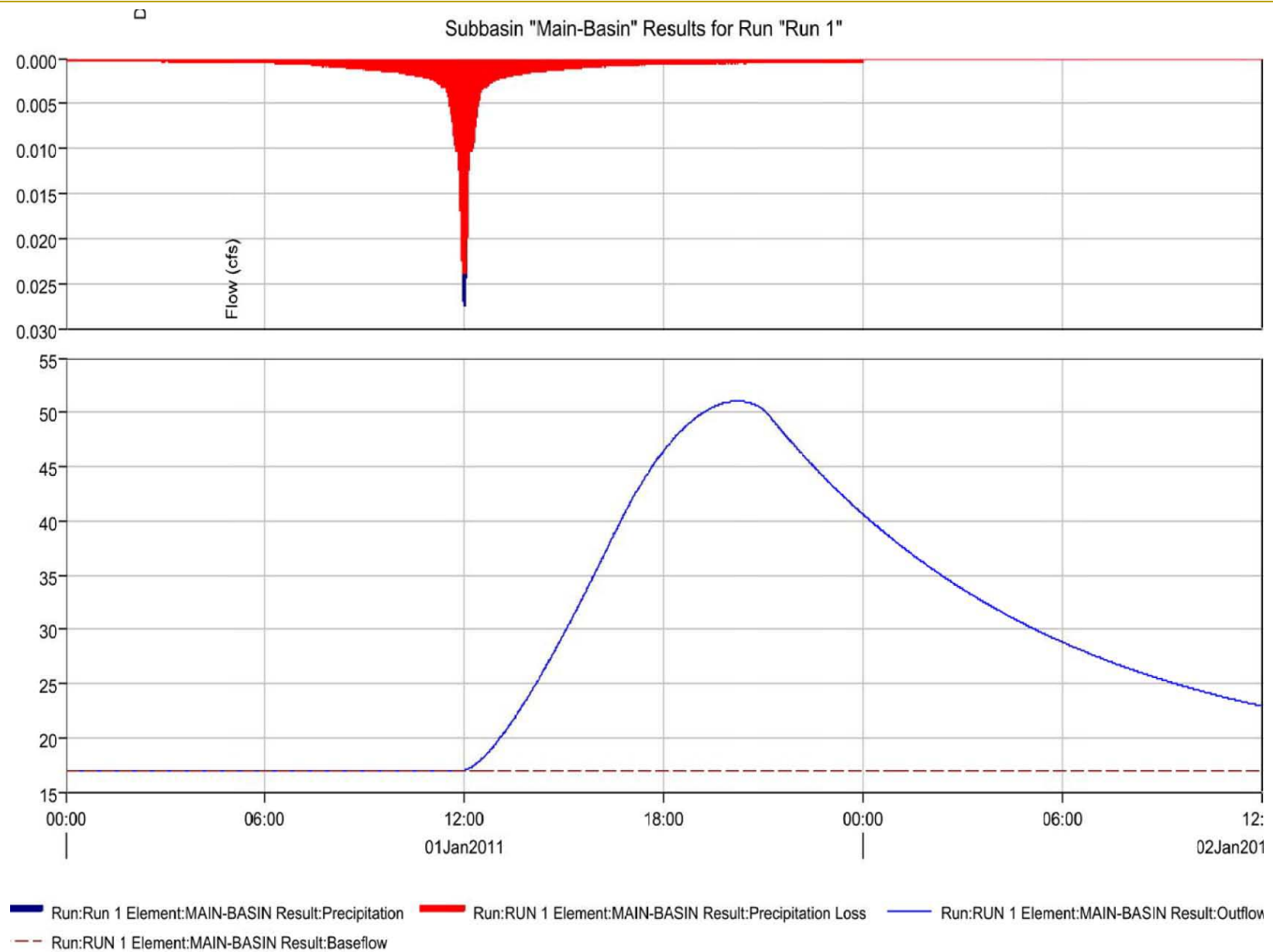
Les résultats des simulations des modèles HEC-HMC sont présentés dans les trois pages suivantes. Les hydrographes de ruissellement correspondent à des pluviométries de 2 ans, de

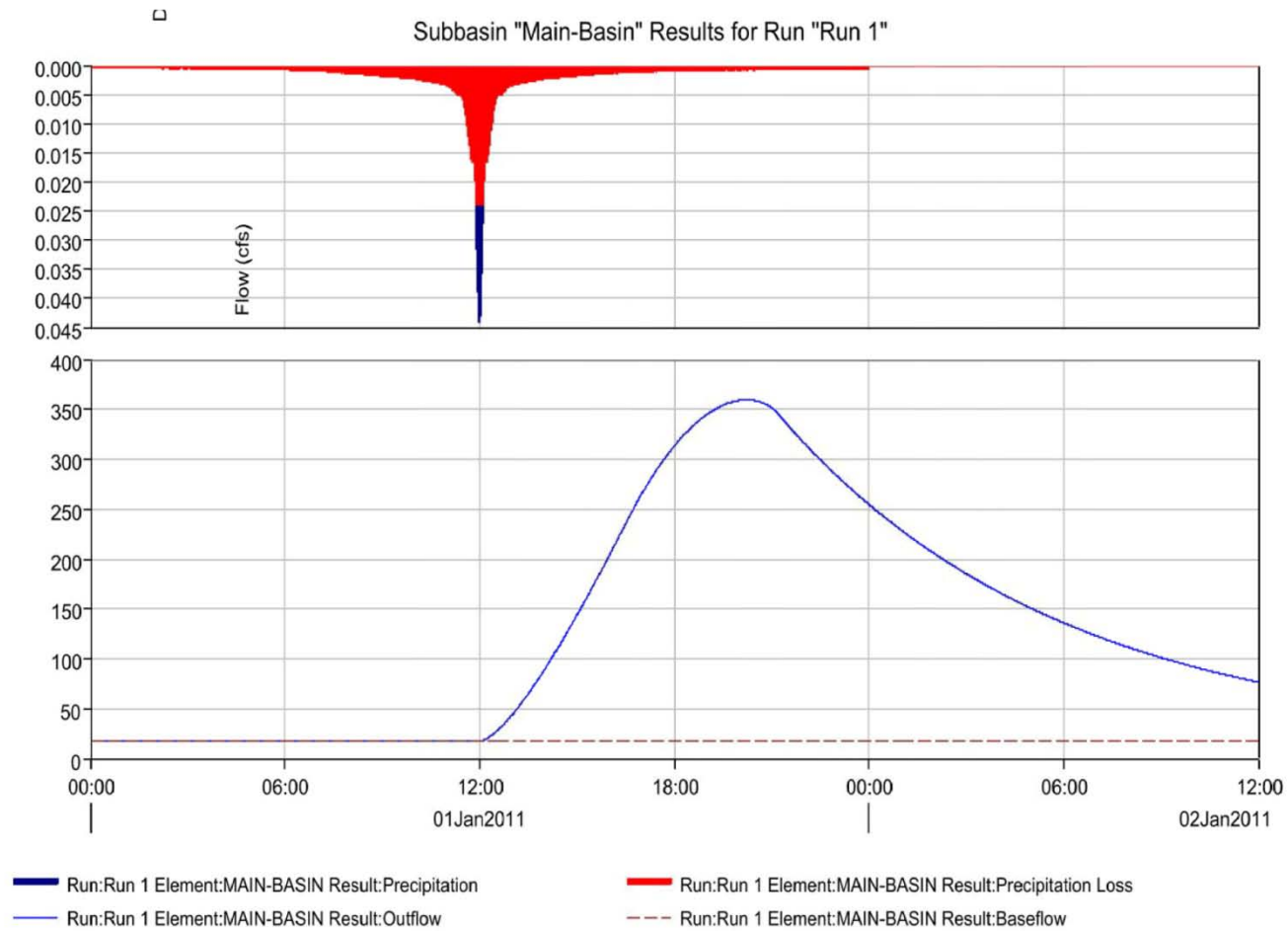
10 ans et de 100 ans. Les débits de pointe qui en résultent se trouvent dans la colonne 2 du tableau 1 ci-dessous.

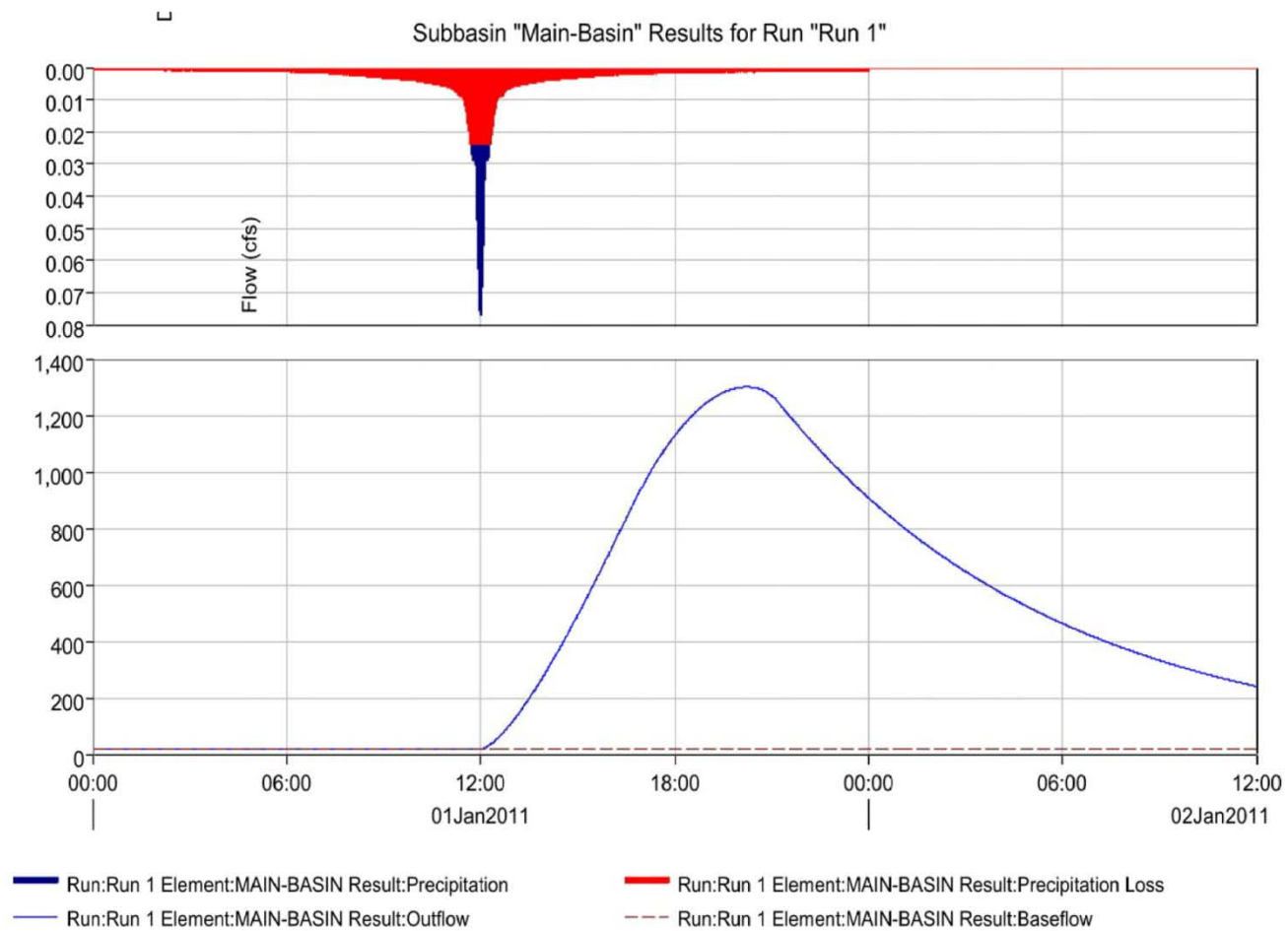
Les simulations HEC-HMS ont été répétées en utilisant des taux d'infiltration pour les montagnes de la partie supérieure du bassin versant (utilisant un taux d'infiltration de 2,54 mm/heure, ce qui est conforme à un sol très imperméable). Les débits de pointe du ruissellement des inondations liés à ces taux sont présentés dans la colonne 3 du tableau 1 ci-dessous. Ces valeurs des pointes ne sont présentées qu'à titre d'information, parce que les taux d'infiltration changent de façon significative avant d'atteindre le site, et le débit prévu dans la colonne 3 du tableau ne se produit pas sur le site du projet.

Tableau 1 – HEC-HMS summary results

Période de retour	Pluviométrie sur 24 heures (mm)	Débits de pointe (m ³ /s) - sur le site	Débits de pointe (m ³ /s) - en amont du site
1-year	102	0,55	26
2-year	127	2	36
10-year	203	10	70
100-year	356	37	148







ANNEXE 2 – Le modèle HEC-RAS

Le système d'analyse hydraulique du Corps des ingénieurs de l'Armée américaine (HEC-RAS) (version 4.0, mars 2008) a été utilisé pour estimer la profondeur et la vitesse du courant de Trou du Nord à travers le site. Le modèle a été mis au point au Centre d'ingénierie hydrologique une division de l'Institut des ressources en eau du Corps des Ingénieurs. Ce modèle est utilisé pour faire des calculs à une dimension des débits constants et des écoulements transitoires et/ou des calculs de transport de sédiments dans les rivières et les canaux ouverts.

Ce modèle n'a pas été utilisé pour simuler les courants dans tout le bief de Trou du Nord à travers le site, mais seulement pour évaluer la capacité du bief de Trou du Nord de porter les courants pendant les périodes de pointe des inondations. Quatre sections représentatives de Trou du Nord ont été construites en utilisant des cartes topographiques avec dénivellations de 1 mètre.

- Les débits d'inondations créés par le modèle HEC-HMS ont été utilisés et considérés comme représentatifs des débits HEC-RAS.
- Dans le principal canal de Trou du Nord on a utilisé un coefficient de rugosité de Manning de 0,04; dans la plaine d'inondation au-delà des berges, le coefficient utilisé a été de 0,10.
- Pour calculer les pertes par friction entre les différentes sections du canal on a utilisé un coefficient d'expansion de 0.30 et un coefficient de contraction 0,1.
- A la limite aval de la rivière, on a considéré une profondeur normale avec une pente très douce ($p=0,004$).

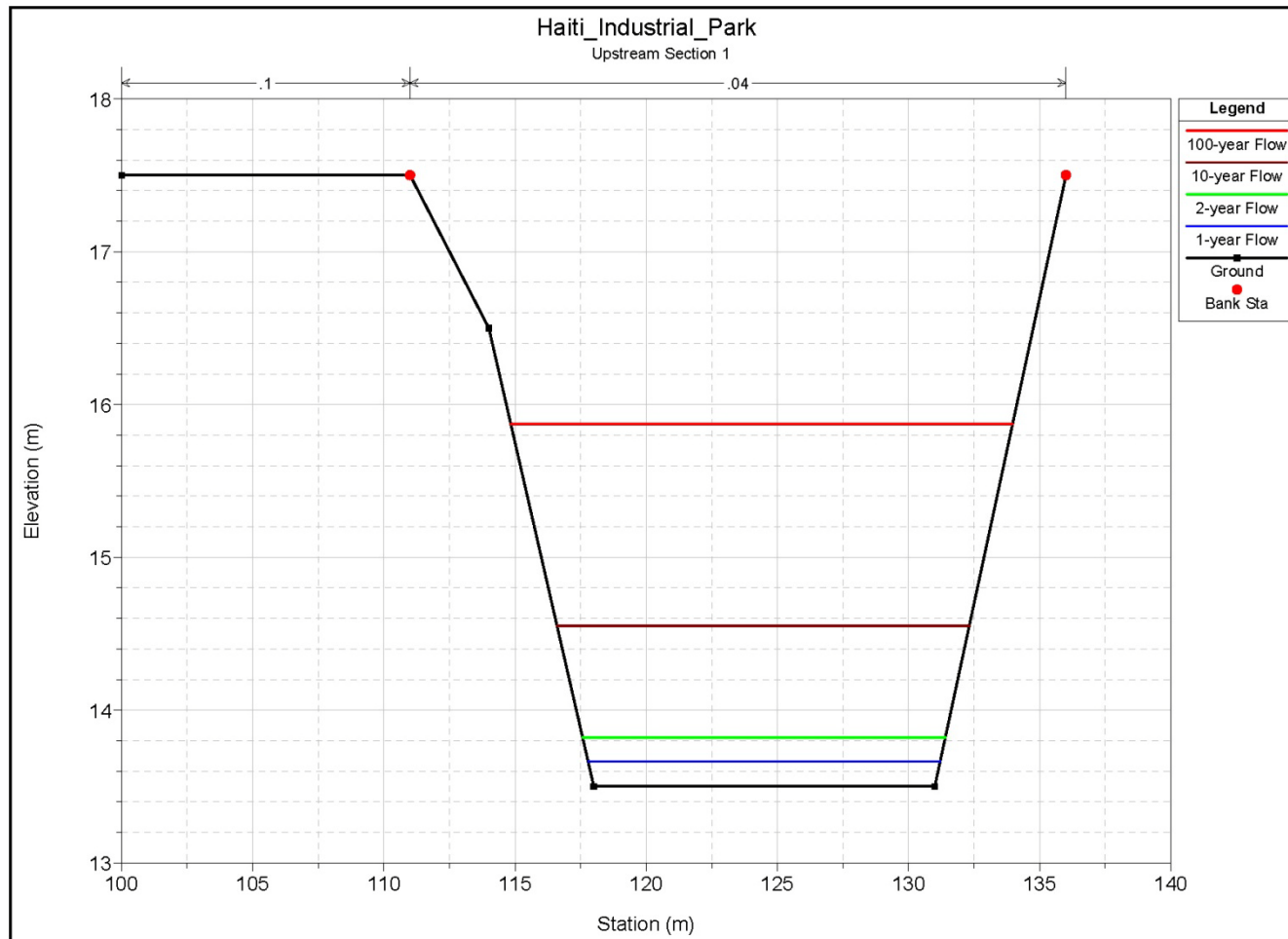
Les sections transversales du canal avec les élévations de la surface de l'eau correspondantes aux différentes inondations superposées sont présentées dans les figures des quatre prochaines pages.

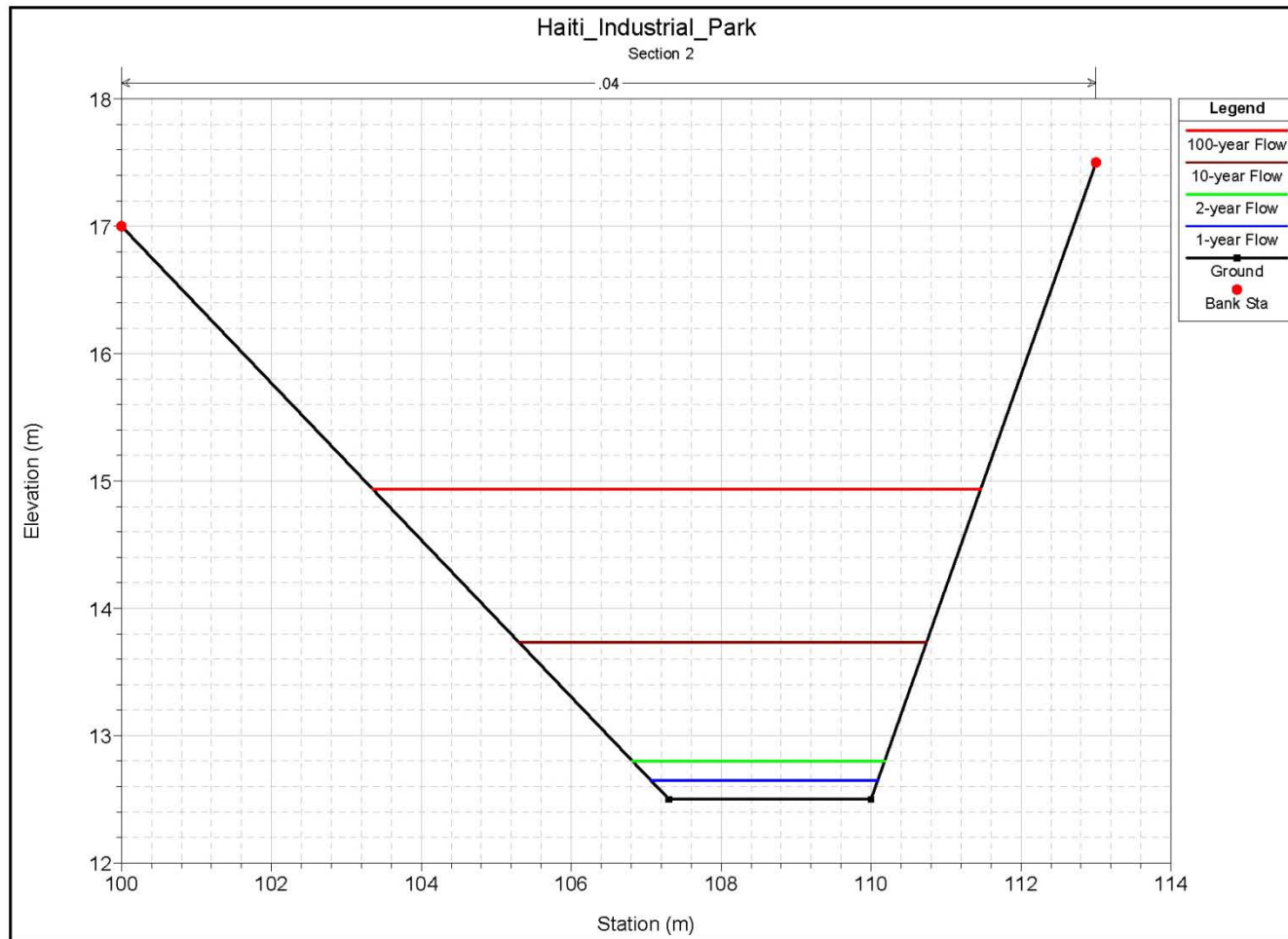
Les vitesses moyennes et les profondeurs maximales des courants dans chaque section transversale sont résumées dans le tableau 2 ci-dessous:

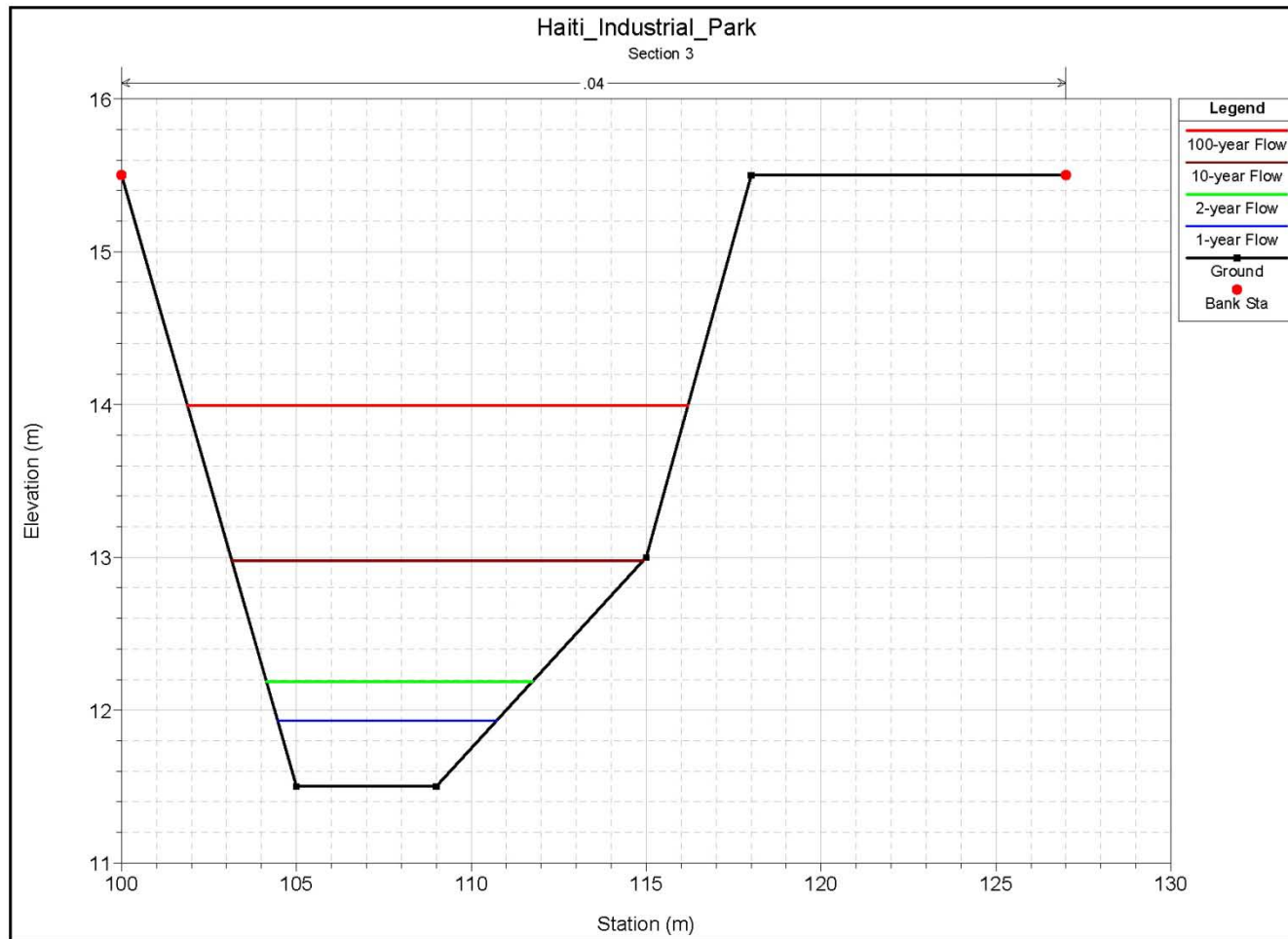
Tableau 2 – Profondeur et vitesses des courants de HEC-RAS

Inondation	Débit (m ³ /s)	Profondeur moyenne (m)	Vitesse moyenne (m/s)
1-an	0,5	0,23	0,49
2-ans	1,5	0,41	0,71
10-ans	10	1,17	1,10
100-ans	37	2,28	1,65

Pendant la pointe de l'inondation des 100 ans, la surface maximale de l'eau est au moins 1 mètre sous la berge du canal et toute l'eau d'inondation est contenue dans le canal. Le tableau 3 est un tableau récapitulatif du modèle HEC-RAS.







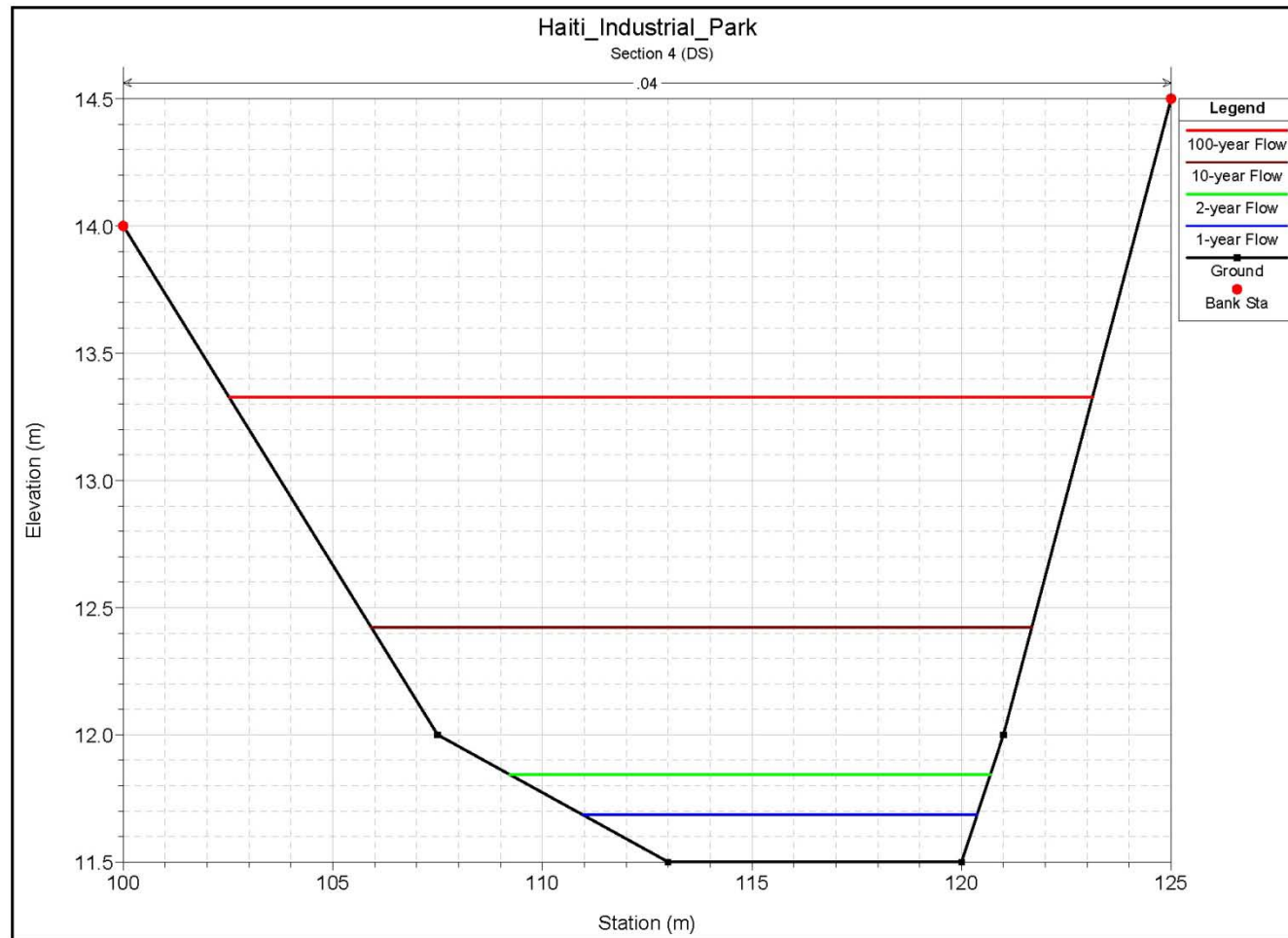


Tableau 3–Récapitulation des données HEC-RAS

Bief	Station sur la rivière	Profil	Débit total (m ³ /s)	Élévation minimale du canal (m)	Élévation eaux de surface (m)	Élévation critique eaux de surface (m)	Élévation du contour des lignes d'énergie. (m)	Pente du contour des lignes d'énergie (m/m)	Vélocité dans le canal (m/s)	Zone du courant (m2)	Largeur maximale (m)
1	4	PF 1	0,5	13,5	13,66		13,67	0,00	0,23	2	13,42
1	4	PF 2	1,5	13,5	13,82		13,83	0,00	0,35	4	13,83
1	4	PF 3	10	13,5	14,55		14,57	0,00	0,66	15	15,71
1	4	PF 4	37	13,5	15,87		15,92	0,00	0,97	38	19,13
1	3	PF 1	0,5	12,5	12,65	12,65	12,72	0,03	1,18	0	3,03
1	3	PF 2	1,5	12,5	12,8	12,8	12,94	0,03	1,64	1	3,37
1	3	PF 3	10	12,5	13,73		13,93	0,01	2,00	5	5,43
1	3	PF 4	37	12,5	14,94		15,34	0,01	2,81	13	8,11
1	2	PF 1	0,5	11,5	11,93		11,93	0,00	0,23	2	6,26
1	2	PF 2	1,5	11,5	12,19		12,19	0,00	0,38	4	7,6
1	2	PF 3	10	11,5	12,98		13,02	0,00	0,86	12	11,76
1	2	PF 4	37	11,5	13,99		14,11	0,00	1,48	25	14,31
1	1	PF 1	0,5	11,5	11,68	11,58	11,69	0,00	0,33	2	9,4
1	1	PF 2	1,5	11,5	11,84	11,66	11,86	0,00	0,47	3	11,47
1	1	PF 3	10	11,5	12,42	12	12,46	0,00	0,89	11	15,76
1	1	PF 4	37	11,5	13,33	12,54	13,42	0,00	1,33	28	20,6

E.G. Elev = Energy Grade-Line Elevation

E.G. Slope = Energy Grade-Line Slope

ANNEXE 3 – ESTIMATION DU RENDEMENT DES PUITES ET DE L'APPAUVRISSMENT DES EAUX SOUTERRAINES

CLACULATIONS OF WELL YIELD, DRAWDOWN AND GROUNDWATER DEPLETION

Note: The main reference for these calculations is *Groundwater and Wells*, by Fletcher Driscoll, 2nd Edition, 1989, published by Johnson Filtration System Inc.

Known dimensions (from site):

Diameter of the pumping well (Well P22)	1	ft	=	0.3	m
Radius of the pumping well "r"	0.5	ft	=	0.2	m
Distance where the observation well/piez. will monitor drop in water surface "R"	212	ft	=	64.6	m
Saturated Thickness of Aquifer Before Pumping (H)	67.5	m	=	67.5	m

Known Facts from December 2010 Report

Transmisivitty T (min)	0.0005	m ² /sec
Transmisivitty T (max)	0.002	m ² /sec
Storage Coefficient S (min)	0.0005	
Storage Coefficient S (max)	0.0067	

Calculations using above values

Hydraulic Conductivity K	= T/aquifer thickness
Hydraulic Conductivity K (min)	7.40741E-06 m/sec
Hydraulic Conductivity K (max)	2.96296E-05 m/sec

$Q=1.366 \cdot K \cdot (H^2 - h^2) / \log(R/r)$ eq (1) This is the equation of well yield for an unconfined aquifer in International System of Units (equation 9.1 of the reference

where: Q =pumping extraction (m³/sec)
h = depth of water in the well while pumping (m)

- Procedure:
1. Assume h, calculate Q, calculate drawdown s
 2. Repeat, assume different times, plot on the log-log scale
 3. Calculate Storage S (min, max), repeat until the calculated values match S(min) and S(max) from above

	K (m/sec)	H (m)	Depth of Water in the Well (assumed) h (m)	Well Radius of Influence (assumed) R (m)	Radius of the well r (m)	Q (m ³ /sec) - Calculated Flow using well eq. (1) for unconfined aquifer	Drawdown in the well (m)	Maximum possible withdrawal (m)	Percent of the maximum drawdown	Percent of the maximum yield (Fig. 9.11, Groundwater and Wells)	Max. Possible Yield (Theoretical) (m ³ /sec)	Max. Possible Yield (Theoretical) (m ³ /day)
Kmin	7.40741E-06	67.5	60	64.6	0.2	0.003682713	7.5	67.5	11	22	0.016739603	1446
Kmax	2.96296E-05	67.5	60.0	64.6	0.2	0.01473085	7.5	67.5	11.0	22.0	0.066958411	5785
Kmin	7.40741E-06	67.5	60	100.0	0.2	0.003434782	7.5	67.5	11	22	0.015612647	1349
Kmax	2.96296E-05	67.5	60.0	100.0	0.2	0.013739129	7.5	67.5	11.0	22.0	0.062450587	5396
Kmin	7.40741E-06	67.5	60	200.0	0.2	0.003103173	7.5	67.5	11	22	0.014105332	1219
Kmax	2.96296E-05	67.5	60.0	200.0	0.2	0.012412692	7.5	67.5	11.0	22.0	0.056421328	4875
Kmin	7.40741E-06	67.5	60	1000.0	0.2	0.002534921	7.5	67.5	11	22	0.01152237	996
Kmax	2.96296E-05	67.5	60.0	1000.0	0.2	0.010139686	7.5	67.5	11.0	22.0	0.046089481	3982
Kmin	7.40741E-06	67.5	63.5	1000.0	0.2	0.001389071	4.0	67.5	6	22	0.006313958	546
Kmax	2.96296E-05	67.5	63.5	1000.0	0.2	0.005556283	4.0	67.5	6.0	22.0	0.025255831	2182
Kmin	7.40741E-06	67.5	64	1000.0	0.2	0.001220076	3.5	67.5	5	22	0.0055458	479
Kmax	2.96296E-05	67.5	64.0	1000.0	0.2	0.004880304	3.5	67.5	5.0	22.0	0.022183199	1917
Kmin	7.40741E-06	67.5	64	3000.0	0.2	0.001084513	3.5	67.5	5	22	0.004929606	426
Kmax	2.96296E-05	67.5	64.0	3000.0	0.2	0.004338053	3.5	67.5	5.0	22.0	0.019718425	1704
Kmin	7.40741E-06	67.5	64.5	10000.0	0.2	0.000831829	3.0	67.5	4	22	0.003781041	327
Kmax	2.96296E-05	67.5	64.5	10000.0	0.2	0.003327316	3.0	67.5	4.0	22.0	0.015124166	1307
Kmin	7.40741E-06	67.5	66.2	1000.0	0.2	0.000460753	1.3	67.5	2	4	0.011518816	995
Kmax	2.96296E-05	67.5	66.2	1000.0	0.2	0.001843011	1.3	67.5	2.0	4.0	0.046075263	3981

Continue above calculations to match distance drawdown relationship with T, Q and deltaS

$T=0.366 \cdot Q / \text{delta} s$ eq. (2) Use Modified non-equilibrium Theis equation in simplified form to calculate T(equation 9.11 of the reference

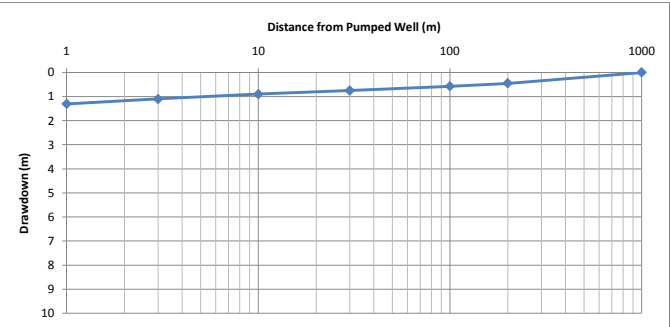
where *delta*s=slope of the distance drawdown graph (below) , expressed as the change in drawdown between any two values of distance on the log scale whose scale is 10.

In the calculations below *delta*s is calculated from Q and T using equation (2), then plotted on the graph below.

	R=64.6 m	R=200 m	R=1000 m	R=1000m/4m drawd.	R=1000m/3.5m drawdown	R=3000m/3.5m drawd.	R=10000m/3.0m drawd.	R=1,000m/1.3-m drawwd.
delta s (min) =	2.69574562	2.27152268	1.855562511	1.016799745	0.893095577	0.793863775	0.608898909	0.337270923
delta s(max) =	2.69574562							

Drawdown (m)	Distance from the Pumped Well (m)
1.3	1
1.1	3
0.9	10
0.75	30
0.57	100
0.45	200
0	1000

delta s= 0.33



Transmissivity and storage coefficients match theoretical when radius of cone is 1,000 m at 1.3 m withdrwal at the center of the well. This results in only 4 percent of well yield or 40 m3/day. It can be theoretically increased to 1,000 to 3,990 m3/day (if they can use the 100 percent of well yield), according to the maximum yield capacity. This would require pumping from at least 7 wells with maximum pupming in Phase 1, and huge number of wells through Phase 2

Is Groundwater Depletion Possible?

document	250,000,000	m3/year	=	684,932	m ³ /day		
Impacts						Water usage (%)	Comment
Phase 1 - Pumping for domestic supply:				3,650	m ³ /day	0.5329	Impact negligible
Phase 2 - Pumping for domestic supply:				11,407	m ³ /day	1.665422	Impact negligible

Important Note: No other information available to estimate groundwater reserve