

Analyse de l'état initial et environnemental du site Ariane 6

PHASE 2 : Etudes hydrologiques et hydrogéologiques ZL4 /BAL

Juillet 2015

Rapport 80559, Version A



Centre National d'Etudes Spatiales

Adresse – Adresse

Tél. :



Agence ANTILLES GUYANE

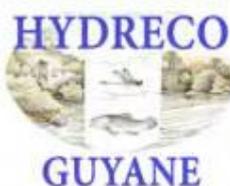
Implantation Guyane

18, Rue Raymond CRESSON

97310 Kourou

Tél. : 05.94.32.15.57

Fax : 05.94.32.15.57



Laboratoire Environnement de Petit

Saut

BP 823

97388 Kourou

Tél : 05 64 32 40 79

Fax : 05 94 32 21 29



Biotope

30 Domaine de MONTABO

97300 Cayenne

Tél : 05 64 32 18 02

Fax : 05 94 98 01 00

Sommaire

	Pages
1 ETUDE HYDROLOGIQUE	4
1.1 ZONE DE LANCEMENT (ZL4)	4
1.1.1 Situation	4
1.1.2 Fonctionnement du bassin versant – Caractéristiques physiques	5
1.1.3 Bilan hydraulique.....	14
1.1.4 Qualité des milieux récepteurs de la zone d'étude	15
1.2 ZONE DE PREPARATION (BAL).....	19
1.2.1 Situation	19
1.2.2 Fonctionnement du bassin versant – Caractéristiques physiques	19
1.2.3 Bilan hydraulique.....	29
1.2.4 Qualité des milieux récepteurs de la zone d'étude	30
1.3 CRIQUE KAROUABO	34
1.3.1 Situation hydrographique.....	34
1.3.2 Description morphologique du cours d'eau et sa zone d'influence	35
1.3.3 Caractéristiques hydrodynamique.....	39
1.3.4 Qualité de l'eau	45
1.4 CRIQUE MALMANOURY	49
1.4.1 Situation hydrographique.....	49
1.4.2 Description morphologique du cours d'eau et sa zone d'influence	50
1.4.3 Caractéristiques hydrodynamique.....	55
1.4.4 Qualité de l'eau	57
2 ETUDE HYDROGEOLOGIQUE	62
2.1 ZONE DE LANCEMENT (ZL4)	62
2.1.1 Géologie	62
2.1.2 Pédologie.....	62
2.2 ZONE DE PREPARATION (BAL).....	64
2.2.1 Géologie	64
2.2.2 Pédologie.....	64
2.3 HYDROGEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE	65
2.3.1 Objectifs d'état quantitatif et qualitatif des masses d'eaux souterraines du bassin.....	65
2.3.2 Essais de perméabilités	67
2.3.3 Mesures de la piézométrie	68
2.3.4 Fonctionnement hydrogéologique du secteur d'étude.....	73
2.3.5 Proposition de mise en place d'un réseau de piézomètres.....	78

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation de la zone ZL4	4
Figure 2 : Topographie générale de la zone de lancement 4.....	5
Figure 3 : Topographie détaillée de la zone de lancement 4	6
Figure 4 : Photo aérienne de la ZL4.....	6
Figure 5 : Savanes sur la ZL4.....	6
Figure 6 : Socle rocheux affleurant	7

Figure 7 : forêt haute	7
Figure 8 : Forêt haute sur sol sableux	7
Figure 9 : Sol sableux/barres pré littorales	7
Figure 10 : Localisation des points de prélèvement de sol sur la ZL4	8
Figure 11 : Chenaux en tresse et anastomosés sous forêt	10
Figure 12 : Mini réseaux complexes en tresse et anastomosés en savane	10
Figure 13 : Localisation du criquet repéré au droit de la ZL4.....	11
Figure 14 : Exemple de zone d'accumulation EP du secteur ZL4 en saison des pluies	12
Figure 15 : Définition du bassin versant au droit de la ZL4	13
Figure 16 : Fonctionnement hydrodynamique général du bassin versant au droit de la zone ZL4	13
Figure 17 : Localisation des prélèvements ES1 et ES2 à proximité de la future ZL4 sur fond IGN (source : Géoportail).....	15
Figure 18 : Photographies des points de prélèvement des eaux superficielles	16
Figure 19 : Localisation de la zone de préparation	19
Figure 20 : Topographie générale de la zone BAL.....	20
Figure 21 : Topographie détaillée au droit du BAL.....	20
Figure 22 : Photo aérienne du secteur BAL.....	21
Figure 23 : savanes de la zone BAL.....	22
Figure 24 : couvert forestier sur criquet de la zone BAL.....	22
Figure 25 : Localisation des points de prélèvement de sol sur l'ELA 4.....	23
Figure 26 : Axe de drainage principal au droit du BAL	24
Figure 27 : Photographies du criquet au droit du BAL en saison humide	24
Figure 28 : Zone de savane inondée au droit de la zone de préparation.....	26
Figure 29 : Définition du bassin versant au droit du BAL	27
Figure 30 : Fonctionnement hydrodynamique du bassin versant au droit de la zone de préparation.....	28
Figure 31 : Localisation des prélèvements ES4 et ES5 sur fond IGN	31
Figure 32 : Localisation géographique de la crique Karouabo	34
Figure 33 : Longueur de la crique Karouabo investigué.....	35
Figure 34 : Morphologie de la crique Karouabo.....	37
Figure 35 : Berges sablo-argileuse et vaseuses de la Karouabo.....	38
Figure 36 : Coupe longitudinale schématique de la Karouabo	39
Figure 37 : Largeur de la crique Karouabo	40
Figure 38 : Petits affluents de la Karouabo	40
Figure 39 : Accumulation de matière organique (feuilles et autre) en surface	41
Figure 40 : Coupes transversales de la crique Karouabo	42
Figure 41 : Formule de la méthode ORSTOM pour l'estimation de la crue décennale.....	44
Figure 42 : Point de prélèvement des eaux de la crique Karouabo	45
Figure 43 : Localisation géographique de la crique Malmanoury	49
Figure 44 : Longueur de la crique Malmanoury investigué.....	50
Figure 45 : Unités morphologiques de la crique Malmanoury.....	51
Figure 46 : Morphologie de la crique Malmanoury	52
Figure 47 : Socle rocheux et berges latéritiques franches sur les rives de la Malmanoury	53
Figure 48 : Coupe longitudinale schématique de la Malmanoury	54
Figure 49 : Coupes transversales de la crique Malmanoury	56
Figure 50 : Localisation des prélèvements ES8 et ES9 le long de la crique Malmanoury sur fond IGN	58
Figure 51 : Photographies des stations de prélèvement des eaux de le Malmanoury	59
Figure 52 : Sondages réalisés au droit de la ZL4	63
Figure 53 : Schéma de la géologie du secteur	64
Figure 54 : Sondages réalisés au droit du secteur BAL.....	65
Figure 106 : Carte d'objectifs d'état des masses d'eau souterraines de Guyane.....	66
Figure 55 : Localisation des essais Porchet	68
Figure 56 : Photographie des zones d'essais de perméabilité	68
Figure 57 : Localisation des prélèvements PZ ELA3-1 et PZ UPG-témoin sur fond IGN (source : Géoportail)	70
Figure 58 : Carte simplifiée de la lithologie du secteur d'études.....	75
Figure 59 : Schéma de fonctionnement hydrogéologique de la zone d'étude	77

Figure 60 : Localisation des ouvrages de suivi de la qualité des eaux souterraines	80
--	----

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Résultats d'analyse de sol sur la ZL4.....	9
Tableau 2 : Caractéristiques dimensionnelles du bassin versant de la ZL4.....	14
Tableau 3 : Mesure des paramètres physico-chimiques sur les eaux à proximité de la ZL4	16
Tableau 4 : Résultats des analyses en laboratoire sur les échantillons ES1, ES2 et ES3	17
Tableau 5 : Résultats d'analyses de sol sur le BAL	23
Tableau 6 : Caractéristiques du bassin versant de la ZL4.....	29
Tableau 7 : Mesure des paramètres physico-chimiques sur les eaux à proximité du BAL :.....	31
Tableau 8 : Résultats des analyses en laboratoire sur les échantillons ES5 et ES4	32
Tableau 9 : Unités morphologiques de la crique Karouabo	37
Tableau 10 : Calcul du débit décennal de la Karouabo	45
Tableau 11 : Qualité de l'eau de la crique Karouabo	46
Tableau 12 : Résultat d'analyse des prélèvements HYDRECO sur la Karouabo	47
Tableau 13 : Calcul du débit décennal de la Malmanoury	57
Tableau 14 : Mesure des paramètres physico-chimiques sur les eaux de la Malmanoury.....	59
Tableau 15 : Résultats des analyses en laboratoire sur les échantillons ES8 et ES9.....	60
Tableau 16 : Résultats d'analyses sur les eaux de la Malmanoury dans le passé	60
Tableau 17 : Résultats des essais de perméabilités	67
Tableau 18 : Mesure de la piézométrie.....	71
Tableau 19 : Mesure des paramètres physico-chimiques sur les eaux souterraines :.....	71
Tableau 20 : Résultats des analyses en laboratoire sur les échantillons PzELA3-1 et PzUPG-témoin :	72
Tableau 21 : Caractérisation des aquifères au droit du BAL et de la ZL4	74
Tableau 22 : Hypothèse de création des différents piézomètres	82

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Fiche de sondages à la tarière	85
Annexe 2 : Fiche de prélèvement des eaux superficielles	86

1 Etude hydrologique

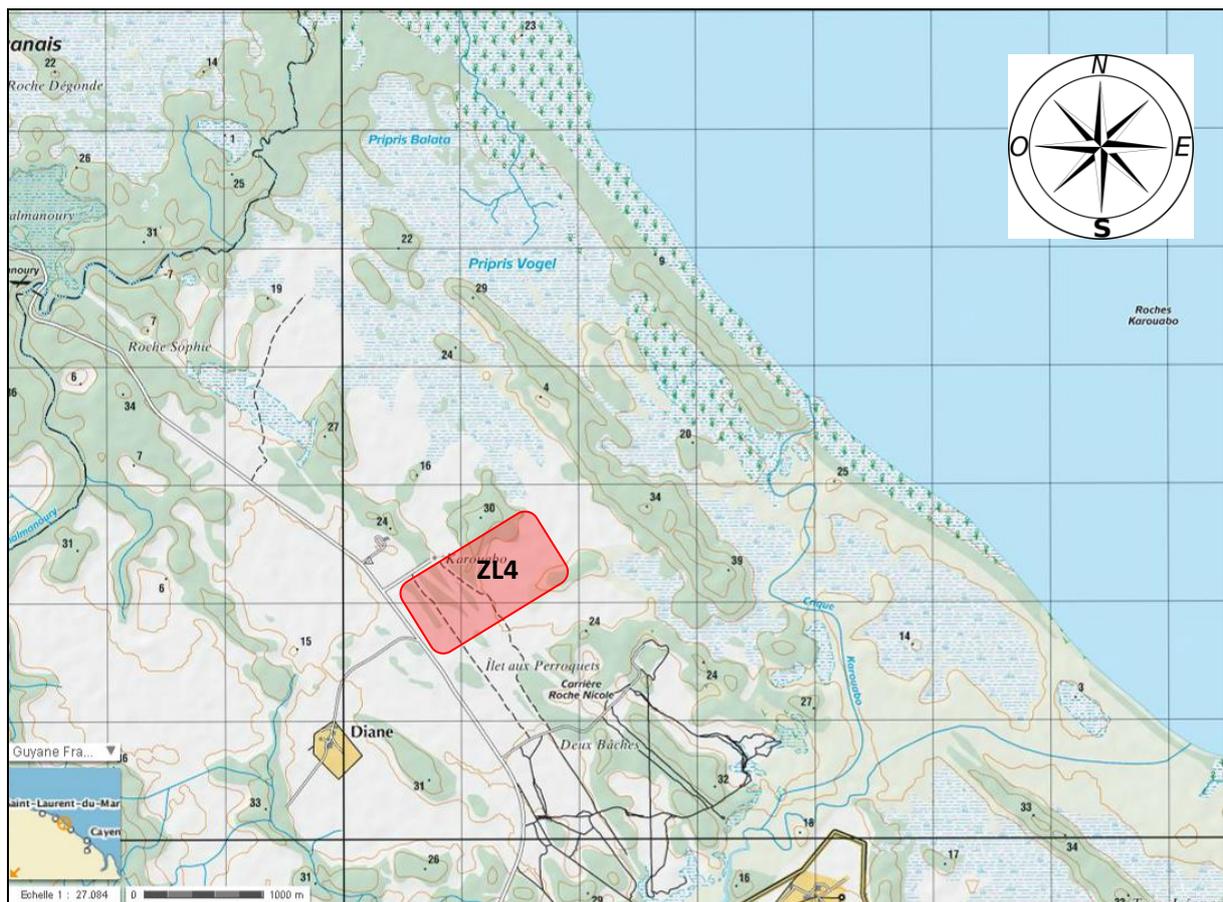
1.1 Zone de lancement (ZL4)

1.1.1 Situation

La zone de lancement ZL4 est située au nord-est de la route de l'espace entre la zone d'observation KIKIWI et la Roche Nicole à environ 2.8 km du trait de côte. La zone d'étude se situe à la fois au droit de cordons sableux et de savanes inondables du littoral guyanais.

Les points de coordonnées du centre de la zone d'étude (centre du carneau) sont les suivantes (UTM 22 Nord, CSG 67) :

- X : 301 378, 75
- Y : 582 083, 90



Source : Géoportail

Figure 1 : Localisation de la zone ZL4

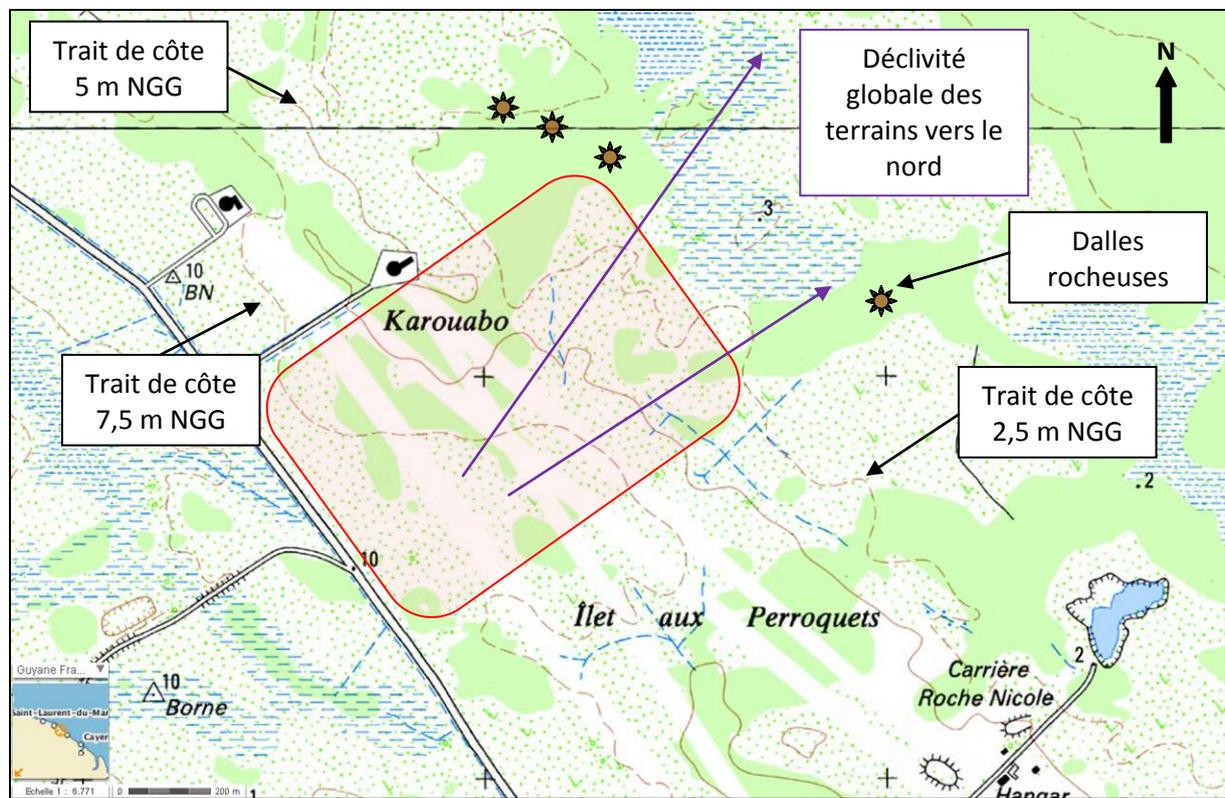
1.1.2 Fonctionnement du bassin versant – Caractéristiques physiques

1.1.2.1 Géomorphologie

La zone d'étude est située sur des terrains relativement plans, avec une déclivité globale très douce du sud-ouest vers le nord-est, perpendiculaire à la ligne de rivage. La côte la plus haute est de 10 m NGG et est située à proximité de la route de l'espace (sud-ouest).

Localement, des îlots sablo-argileux forment des sursauts topographiques (4 à 5 m NGG) au cœur de secteurs plus bas (2 à 3 m NGG). Il s'agit de barres pré littorales qui s'étirent parallèlement à la ligne du littoral et qui sectorise la zone de façon régulière.

On peut également trouver dans la zone de savane ou dans les bosquets des pointements rocheux qui marquent le paysage de façon remarquable (roche Nicole, Savanes roches Christine).



Source : Géoportail

Figure 2 : Topographie générale de la zone de lancement 4

Au nord-est de la zone d'étude, la topographie dessine un bras de criquet d'axe sud/nord au niveau des côtes 9 à 6 m NGG puis d'axe sud-ouest/nord-est au niveau des côtes 4 à 6 m NGG.

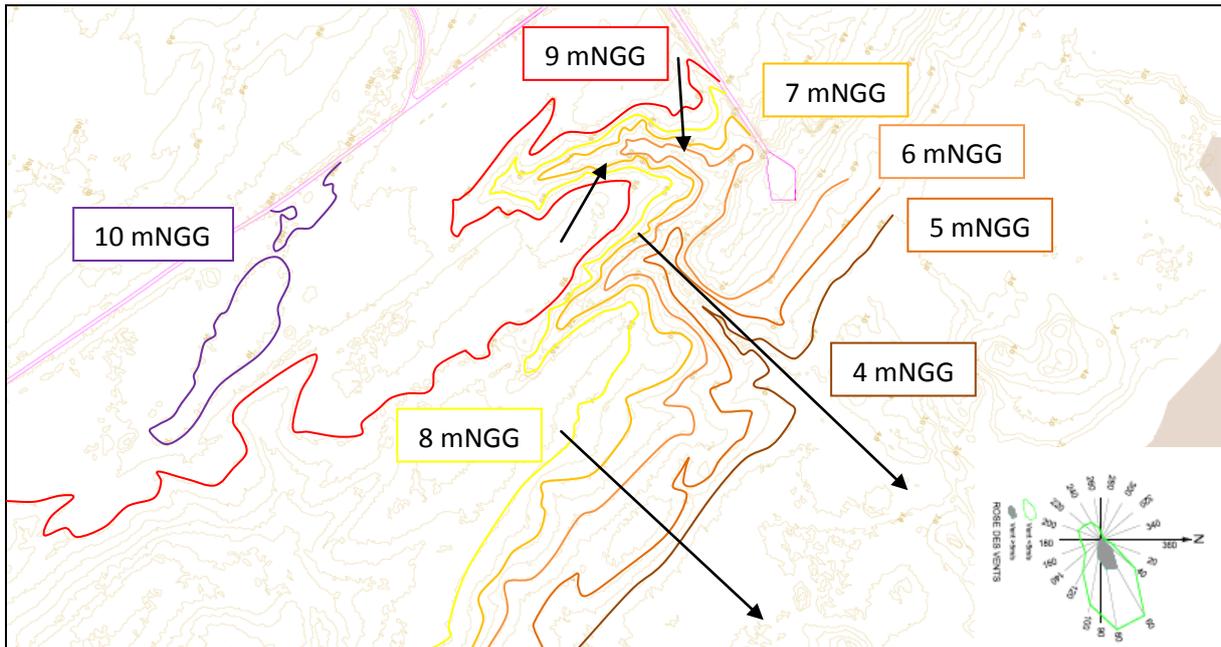


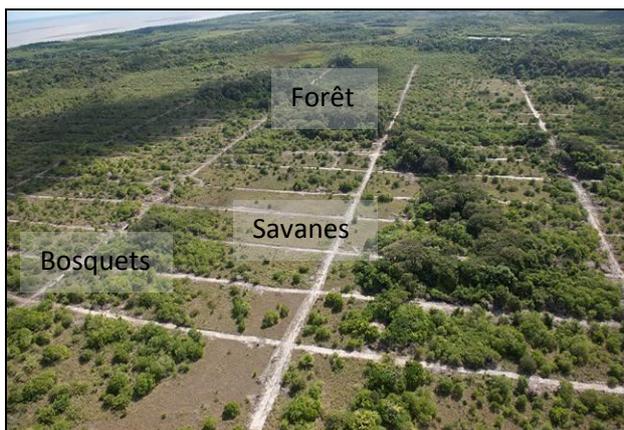
Figure 3 : Topographie détaillée de la zone de lancement 4

1.1.2.2 Occupation du sol

Le sol de la zone de lancement 4 est occupé par plusieurs faciès de savanes herbacées : l'un est raz et le second est moyens haut (50 cm à 1 m) et composé de petits bosquets. Ces bosquets forment avec leur réseau racinaire de petites butes de 20 à 50 cm de haut et de moins de 1 m² de surface.

Le long des barres pré littorales facilement identifiables sur les photos aériennes, on observe la présence d'un couvert forestier plus haut et plus dense.

Localement, des pointements rocheux apparaissent sous formes de plaques granitiques de quelques m². Il s'agit du socle rocheux à filons de quartz érodé affleurant.



Source : CNES - 2014

Figure 4 : Photo aérienne de la ZL4



Source : Antea Group

Figure 5 : Savanes sur la ZL4



Source : Antea Group

Figure 6 : Socle rocheux affleurant



Source : Antea Group

Figure 7 : forêt haute



Figure 8 : Forêt haute sur sol sableux



Figure 9 : Sol sableux/barres pré littorales

1.1.2.3 Nature du sol

❖ Sondages

Plusieurs sondages à la tarière à main (Cf. chapitre 2.1.1 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) ont été réalisés dans la zone d'étude et à proximité (les fiches de reconnaissance sont jointes en **annexe 1**). Plusieurs formations ont ainsi été identifiées, à savoir :

- Les formations très sableuses de couleur grise typique des cordons sableux ;
- Les formations argilo-sableuses ocre de la série de Coswine.

Les sols se développent sur les premiers horizons de ces formations avec des caractéristiques différentes.

Les sols sur cordons sableux sont très perméables. Ils sont riches en matières organiques (sables très sombres en surface) et comportent parfois des charbons de bois, vestiges des incendies qui parcourent en saison sèche les savanes guyanaises. Ces sols sont très drainants. Le réseau racinaire

se développent profondément afin d'atteindre les formations plus argileuses qui constituent le sous-bassement des cordons sableux.

Les sols qui se développent sur les formations de Coswine dans les savanes sont perméables sur les premiers centimètres mais des niveaux beaucoup plus argileux très fins à basse profondeur (entre 0,5 m et 1 m), donnent des caractéristiques hydromorphes à ces sols. Comme précédemment, les horizons supérieurs sont riches en matières organiques et parfois en charbon de bois. Les sols sont peu drainants et compactes, ce qui occasionne le dégagement de biogaz (fermentation anaérobie de la matière organique). Le réseau racinaire se développe superficiellement à l'exception des plantes de hautes tiges.

❖ Prélèvement et analyses

3 prélèvements de sol (voir localisation figure ci-dessous) ont été réalisés au droit de la ZL4 afin d'effectuer des analyses.



Figure 10 : Localisation des points de prélèvement de sol sur la ZL4

Les résultats des analyses sont présentés ci-après.

Les échantillons de sol 1 et 2 représentatifs de la série de COSWINE présentent des caractéristiques similaires avec une très forte teneur en aluminium et en chlorure typique des sols tropicaux proche du littoral avec un pH de l'eau interstitielle acide et l'absence d'hydrocarbures.

L'échantillon 3 a été prélevé au droit d'un cordon sableux et suite au défrichage d'environ 20 Ha au droit de la ZL4. Ainsi, il a été relevé, bien qu'en faible quantité, des traces d'hydrocarbures, certainement dû au passage des engins. Les concentrations en aluminium et en chlorure sont également moins importantes que pour les sols 1 et 2. En effet, le drainage des eaux au droit des cordons sableux favorise la lixiviation de ces éléments (favorisé également par le défrichage). La teneur en Aluminium dans les formations argilo-sableuses est certainement liée à la nature

granitique ou schisteuse de la roche mère. On trouve généralement du Fer ainsi que de la Silice en grande quantité.

	Unités	LQ	SOL 1	SOL 2	SOL 3
Matière sèche	%	0,1	77,7	83,5	82,6
pH extrait à l'eau	-	-	5,5	5,5	6,8
Chlorures	mg/kg M.S.	20	547	583	78,8
Perchlorates	µg/kg M.S.	2	-	-	-
Aluminium	mg/kg M.S.	5	12 600	5 380	372
HCT	mg/kg M.S.	15	< 15,0	< 15,0	16,1
HCT (nC10 – nC16)	mg/kg M.S.		< 4,00	< 4,00	0,46
HCT (nC16 – nC22)	mg/kg M.S.		< 4,00	< 4,00	0,54
HCT (nC22 – nC30)	mg/kg M.S.		< 4,00	< 4,00	3,51
HCT (nC30 – nC40)	mg/kg M.S.		< 4,00	< 4,00	11,6

Tableau 1 : Résultats d'analyse de sol sur la ZL4

1.1.2.4 Réseau hydrographique

Du fait d'une topographie peu pentue, il y a peu d'axe de drainage préférentiel. Globalement, le secteur étudié apparaît comme une cuvette bordée par un cordon littoral plus ou moins prononcé au Sud, et où les écoulements d'eau sont difficiles à cerner. Localement, on peut supposer qu'il s'agit d'un réseau hydrographique de type endoréique. L'infiltration (au niveau des cordons) et l'évaporation des eaux jouent vraisemblablement un rôle important dans le transfert des eaux. Les écoulements sont très lents et se réalisent de façon diffuse (pas de courant apparent dans les zones inondées).

Les eaux pluviales érodent le sol et créent de nombreuses formes méandriformes et de tresse entre les zones de végétation. Les agglomérats de sols restent stables grâce au réseau racinaire des graminées de savanes et des arbres au niveau des bosquets. En saison sèche, les eaux disparaissent et laissent des vestiges de leur passage et de la stagnation. On peut observer alors des structures caractéristiques avec des creux où l'eau a circulé et des bosses où la végétation s'est maintenue. Ce phénomène est aussi bien observable dans les secteurs forestiers que dans les savanes où des mottes de terre et de végétation sont parcourues par des réseaux complexes.

Seules les zones de cordons littoraux restent émergées pendant les périodes de fortes pluviométries. Les niveaux d'eau peuvent atteindre 0,5 m dans les savanes et les forêts inondées au cours de ces épisodes. La zone d'études joue alors le rôle de zone d'épandage naturelle des crues. Grâce à sa faible déclivité et sa végétation dense, elle va retenir les eaux pluviales et les restituer petit à petit aux nappes et aux réseaux hydrographiques. En saison sèche, l'eau aura totalement disparue. Cette situation souligne le contraste hydrologique saisonnier qui s'applique ici et plus généralement aux savanes du littoral guyanais.



Source : Antea Group

Figure 11 : Chenaux en tresse et anastosés sous forêt



Source : Antea Group

Figure 12 : Mini réseaux complexes en tresse et anastosés en savane

Un petit cours d'eau à l'ouest de la zone a été observé en saison des pluies comme en saison sèche. Il a également été mis en évidence par l'étude de la géomorphologie de la zone d'étude (Figure 3) et est représenté sur la figure ci-dessous.

Ce dernier apparaît naturellement plus large et plus profond en saison des pluies qu'en saison sèche, ou le substratum est alors apparent (voir photographies figure 17 – ES2 et ES3).

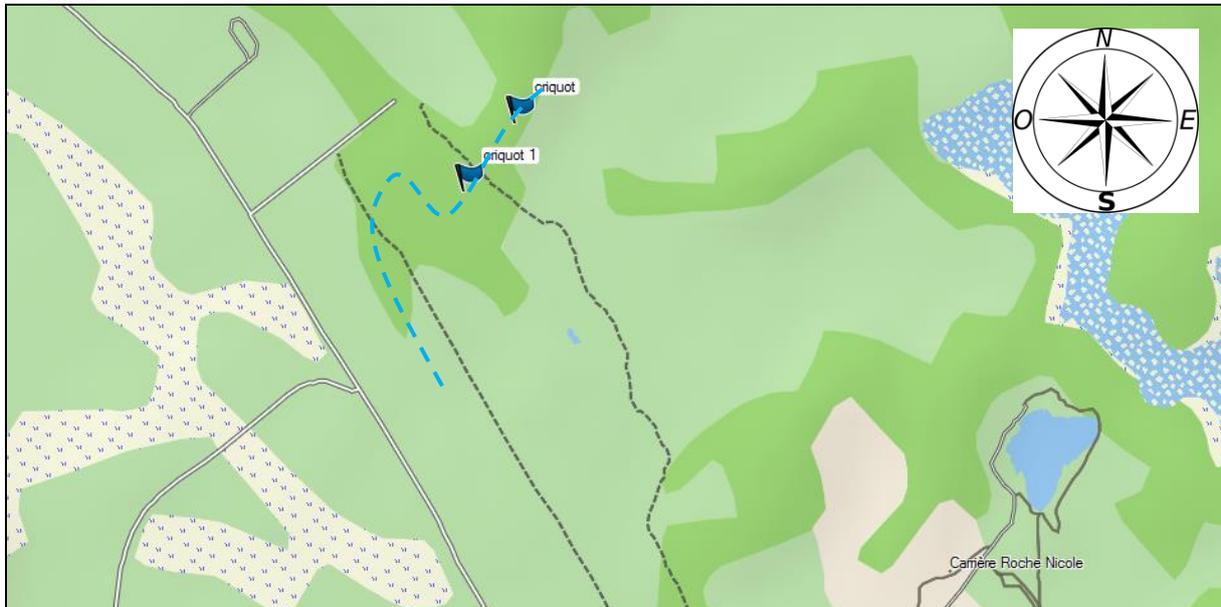


Figure 13 : Localisation du criquot repéré au droit de la ZL4

Les zones d'accumulation témoignent d'un sol sans pente remarquable apparente et riche en argiles responsable du caractère hydromorphe des zones basses (point de prélèvement ES1).



Source : Antea Group

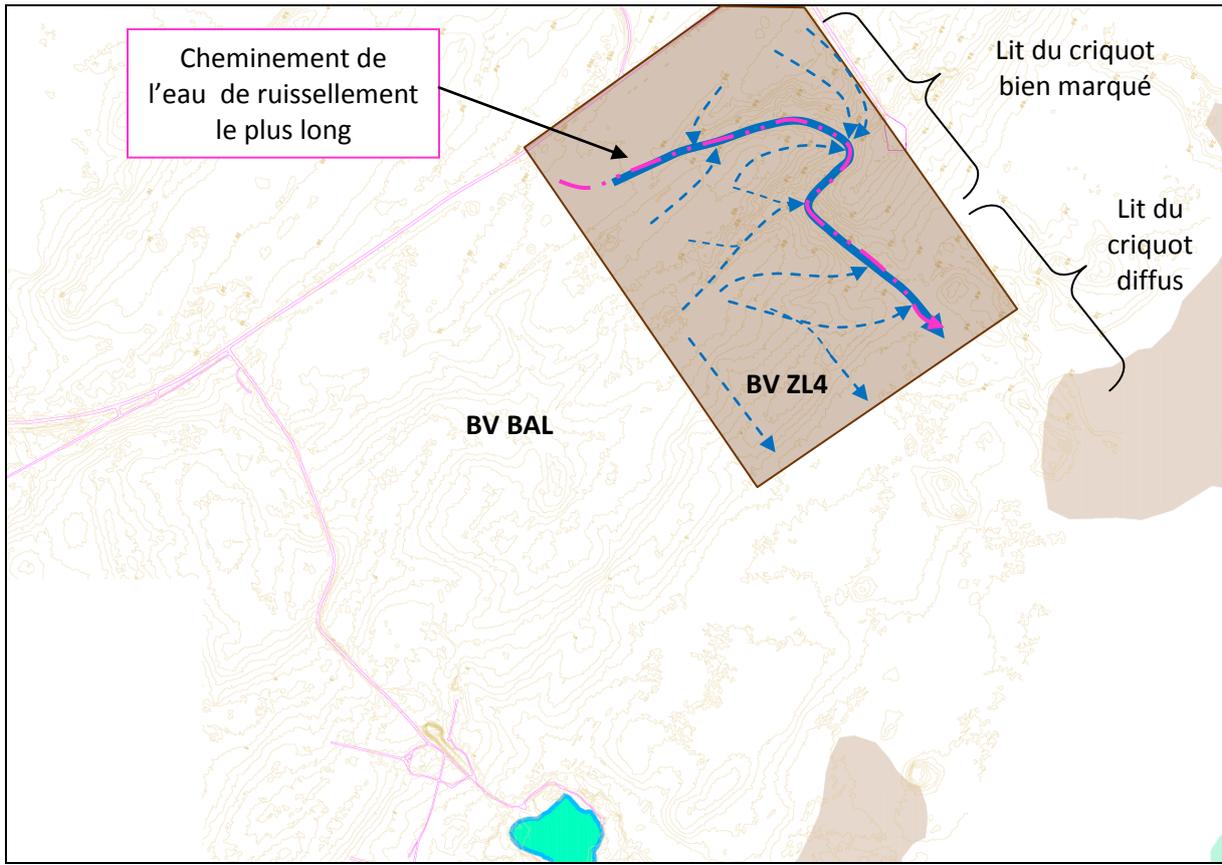
Figure 14 : Exemple de zone d'accumulation EP du secteur ZL4 en saison des pluies

1.1.2.5 Fonctionnement dynamique du bassin versant

Au droit de la ZL4, les circulations d'eau en surface peuvent se réaliser vers le Nord-est (littoral) du fait de la topographie. Les écoulements se font alors très lentement par surverse vers des savanes topographiquement plus basses. C'est la raison pour laquelle on peut observer en saison des pluies de larges étendues d'eau quasi permanente pendant cette période dans les savanes et les zones basses. Les nombreuses formes en tresse et anastomosées engendrent des systèmes qui ont tendance à retenir les eaux pluviales. A plus grande échelle, ces dernières ruissellent néanmoins jusqu'aux zones humides situées en aval avant de rejoindre la mangrove (vers le Nord) et la crique Karouabo (vers l'Est).

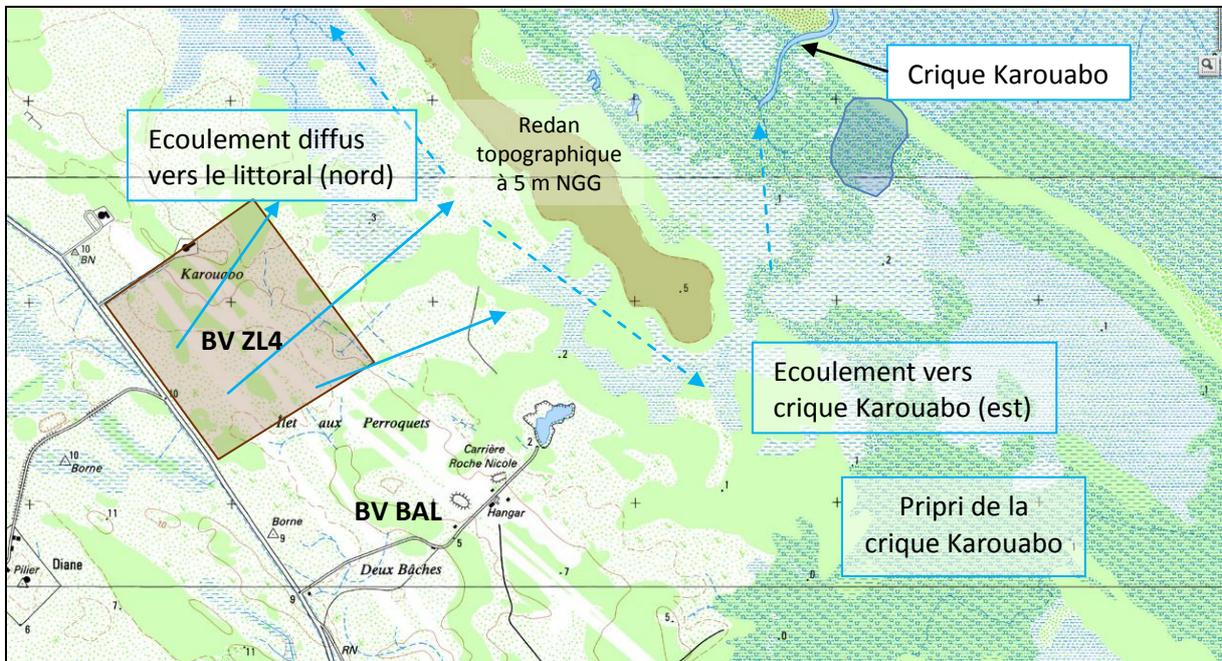
En effet, en l'absence de différentiel topographique marqué, les limites et le fonctionnement de la zone d'étude à proximité de la ZL4 sont difficiles à définir.

Toutefois, un bassin versant autour du criquet mis en évidence précédemment peut être défini, bien que ce dernier possède un lit bien marqué au sud-ouest puis diffus au nord-est du fait d'une topographie basse (2 à 4 m NGG) et très peu marquée.



Source : CNES

Figure 15 : Définition du bassin versant au droit de la ZL4



Source : Géoportail

Figure 16 : Fonctionnement hydrodynamique général du bassin versant au droit de la zone ZL4

A plus grande échelle, la présence d'un redan topographique à 5 m NGG correspondant à un cordon sableux (zone brune sur la figure ci-dessus) constitue un barrage à l'écoulement des eaux. Ces

dernières doivent contourner donc cette barre mais l'absence de topographie marquée dans les bas-fonds ne favorise pas la création de criquots affluents de la Karouabo. Les écoulements sont diffus dans les zones humides et rejoignent le littoral uniquement par surverse mais on peut penser qu'une partie s'infiltré dans les sols.

1.1.3 Bilan hydraulique

La détermination des débits de crue sur le bassin versant a été calculée par la méthode rationnelle. Cette méthode est généralement employée sur des bassins versants de petite de taille, dont la surface est inférieure à 2 km².

Cette méthode décrite dans le guide « Evaluation des débits caractéristiques sur les bassins versant non jauges en Guyane » de la DEAL de Guyane permet le calcul du débit maximum a l'exutoire, par exemple pour un temps de retour de 10 ans, d'un bassin versant de surface quelconque, urbain ou rural. Elle peut être étirée jusqu'à des bassins versants ruraux (et urbain) de 5 km².

Tel que déterminé précédemment, le bassin versant de la ZL4 à prendre en compte dans le bilan hydraulique s'étend sur environ 77 ha.

Les caractéristiques de ce bassin sont les suivantes :

Surface (ha)	Longueur (m)	Côte haut (m NGG)	Côte bas (m NGG)	Pente (%)	usage actuel	usage futur
77	1 650	10	4	0.36	Naturel	Naturel/Bâti

Tableau 2 : Caractéristiques dimensionnelles du bassin versant de la ZL4

Le sol est occupé par de la savane herbacée et de la forêt basse, il est généralement sablo-argileux et la pente du terrain est faible.

Le coefficient d'apport est estimé à partir de la typologie de RODIER (RODIER 1976) qui permet de classer un bassin versant ou des sous-bassins versants en fonction de leur pédologie et de leur pente globale.

On prend donc un coefficient d'apport moyenné de 0.5 pour le bassin versant de notre étude.

Le cheminement de l'eau du point le plus éloigné jusqu'à l'exutoire final est estimé à 1 650 m de long et est représenté sur la Figure 16 ci-dessus.

Le temps de concentration est calculé à l'aide de la formule de Kirpich est le suivant :

$$T_c = 0.01947 \times 1650^{0.77} \times 0.0036^{-0.385}$$

Tc = 51 min

L'intensité pluviométrique pour la durée de temps de concentration pour le bassin versant et pour une pluie décennale est de :

$$I(10) = 6.046 \times 51^{-0.4304}$$

I(10) = 1,1 mm/min¹

¹ Coefficients de Montana utilisés : a = 6,046 et b = 0,4304

Le débit de pointe pour une période de retour de 10 ans pour le bassin versant du projet est de :

$$Q(10) = 0.167 \times 0,5 \times 1,1 \times 77$$

$$Q(10) = 7,07 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ soit } 25\,460 \text{ m}^3/\text{h}$$

Ce débit est associé aux caractéristiques du bassin versant actuel. La création de plateforme et l'imperméabilisation du site aura tendance à faire augmenter ce débit. Pour rappel, les débits ne sont pas aujourd'hui canalisés, ils sont diffus sur un front de savane.

1.1.4 Qualité des milieux récepteurs de la zone d'étude

1.1.4.1 Description des points de prélèvement

Les stations de prélèvements ES1, ES2 et ES3 sont situées au droit des futures installations de l'ensemble de lancement d'Ariane 6. Le site d'études ne présente pas de signes d'anthropisation (à l'exception de la présence du site Kikiwi, à 200 m de ES2).

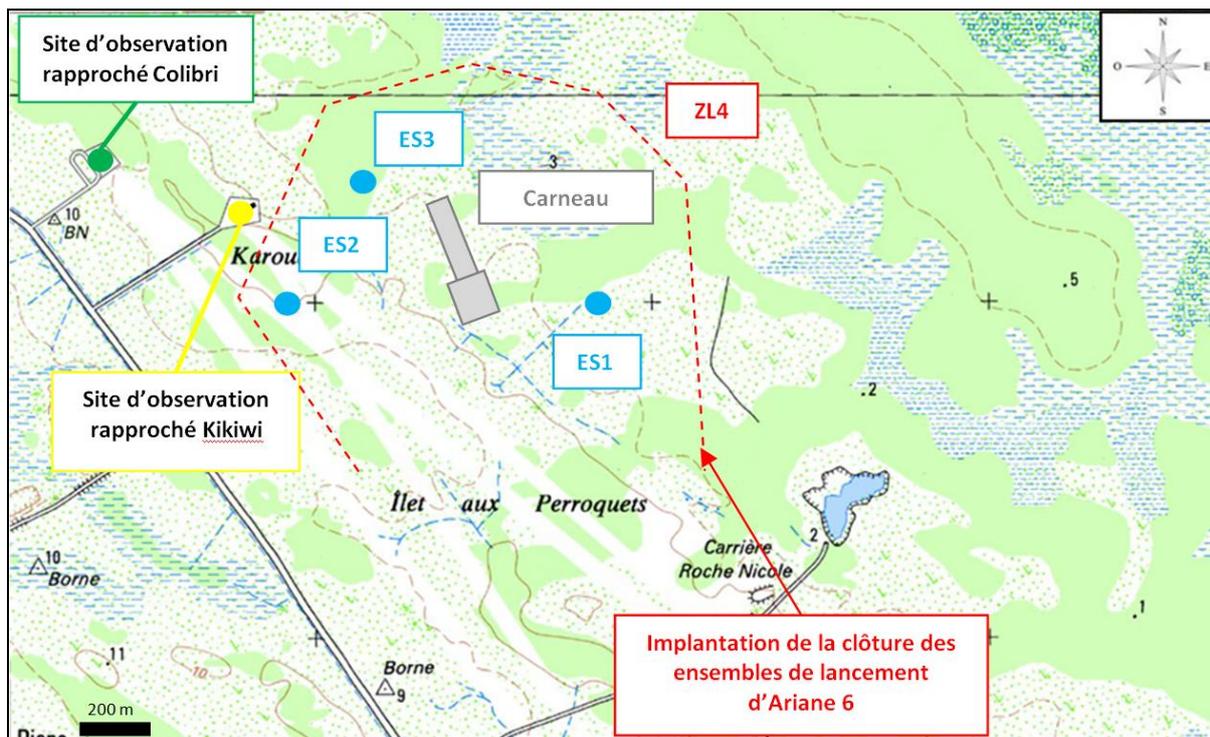


Figure 17 : Localisation des prélèvements ES1 et ES2 à proximité de la future ZL4 sur fond IGN (source : Géoportail)

Le prélèvement ES1 a été réalisé dans une zone d'accumulation d'eau d'une largeur de 2,5 à 3 m par endroit et d'une profondeur de 15 à 20 cm. Il s'agissait d'eau stagnante. Il est situé à l'est du futur carneau. Ce plan d'eau n'est pas pérenne en saison sèche.

Le prélèvement ES2 a été réalisé au sein d'un petit cours d'eau au droit d'un passage busé permettant l'accès en véhicule à la zone d'étude depuis le site d'observation Kikiwi. L'écoulement des eaux de surface selon la topographie du secteur étant dirigé vers le nord ouest (en direction de l'océan).

Le prélèvement ES3 a été réalisé dans le même criquet que le prélèvement ES2 mais plus en aval hydraulique. A noter que sur ce point, le prélèvement n'a été réalisé qu'en saison des pluies et suite aux premiers travaux de déforestation préalable aux terrassements (mai 2015). Il est probable que le cours d'eau soit à sec dans son cours traversant la savane, en saison sèche.



Figure 18 : Photographies des points de prélèvement des eaux superficielles

Les fiches de prélèvement des eaux sont jointes en **annexe 2**.

1.1.4.2 Résultat des analyses

❖ Mesures in-situ

Dénomination	ES1		ES2		ES3	
	Humide	Sèche	Humide	Sèche	Humide	Sèche
Température T en °C	33,7	<i>Point de Prélèvement à sec</i>	27,0	30,4	28,1	-
pH en u.ph	4,37		4,49	6,93	5,72	-
Conductivité C en µS/cm	57		92	60	70	-
Oxygène O2 en %	97,3		66	112,1	37,2	-

Tableau 3 : Mesure des paramètres physico-chimiques sur les eaux à proximité de la ZL4

❖ Analyses en laboratoire

Dénomination	ES1		ES2		ES3		
	Humide	Sèche	Humide	Sèche	Humide	Sèche	
Température T en °C	18,7	<i>Point de Prélèvement à sec</i>	18,8	25,5	17,5	-	
pH en u.ph	4,66		4,78	5,55	5,24	-	
Conductivité C en µS/cm	55		87	49	63,9	-	
DCO en mgO ₂ /l	26,0		16,5	55,8	24,4	-	
DBO en mgO ₂ /l	1,7		0,2	8,8	2,2	-	
Turbidité NTU	Mesure 1		14,0	8,83		23,9	-
	Mesure 2		16,4	6,16	64,5		-
	Mesure 3		13,8	6,04			-
Matières en Suspensions MES	Mesure 1		7,0	8,2	63	20,0	-
	Mesure 2		72,0	4,0	41		-
	Mesure 3		41,3	4,7	46		-
Chlorures en mgCl/l	14,2			24,1	13,5	13,2	-
Phosphore total en mgP/l	0,05			0,05	0,06	<0,05	-

Dénomination	ES1		ES2		ES3		
	Saison	Humide	Sèche	Humide	Sèche	Humide	Sèche
Azote Kjeldhal en mgN/l		2,80		2,85	1,40	<1	-
Ammonium en mgNH ₄ /l		2,207		0,028	0,044	0,09	-
Nitrates mgNO ₃ /l		0,16		<0,02	0,76	<0,02	-
Nitrites mgNO ₂ /l		0,004		<0,003	0,026	<0,003	-
Hydrocarbures totaux mgHCT/l		<0,05		<0,05	0,11	< 0,1	-
Arsenic As en µg/l		<0,5		<0,5	4	1,9	-
Cadmium Cd en mg/l		<0,1		<0,1	<0,5	<0,5	-
Chrome Cr en mg/l		<0,2		<0,2	0,9	0,5	-
Fer Fe en mg/l		0,27		0,54	2,20	5,3	-
Plomb Pb en mg/l		<0,1		<0,1	1,70	0,8	-
Sodium Na en mg/l		8,0		10,3	8,4	-	-
Mercure Hg en µg/l		0,30		0,31	<0,015	<0,02	-

Tableau 4 : Résultats des analyses en laboratoire sur les échantillons ES1, ES2 et ES3

❖ **Analyses critiques et commentaires**

Température : Les eaux échantillonnées présentent des caractéristiques de faciès des eaux de régions équatoriales ; la température des eaux est élevée :

- ES1 (eau stagnante ensoleillée de faible profondeur) : 33,7°C ;
- ES2 et ES3 (criquot ombragé, temps couvert) : 27,0°C à 28 °C.

Acidité et minéralisation : Le pH de l'eau est légèrement acide, cette valeur est dans les standards du fond géochimique. Les valeurs de conductivité (<200 µS/cm) sont caractéristiques d'une eau douce et faiblement minéralisée.

Oxygène dissous et saturation en oxygène : L'échantillon d'eau analysé ES1 présente une très bonne oxygénation, probablement due aux pluies des jours passés et au courant observable, facteur d'agitation de l'eau de surface. Les teneurs en oxygène des stations de prélèvements 1 et 2 caractérisent une eau de bonne qualité.

A contrario, la station de prélèvement 3 présente un taux d'oxygène inférieur à 50 %. Cela peut s'expliquer par la déforestation de 20 ha de terrain autour de la zone de lancement 4 peu de temps avant la réalisation de prélèvement. Une quantité importante de matière organique a dû se déposer en fond de crique créant ainsi une plus grande consommation d'oxygène dissous dans le criquot.

Charges en matières organiques : Les faibles valeurs de DCO permettent de rejeter l'hypothèse de rejets industriels en amont même si les acides humiques des végétaux en décomposition peuvent influencer naturellement ce paramètre (eau de couleur « coca cola »). Dans le cas du prélèvement ES2, l'activité biologique est ralentie après 5 jours, cela laisse supposer la présence d'une grande quantité de matière organique. La DCO plus élevée au niveau du point ES3 que du point ES2 met en avant l'influence de la présence de matière organique dans le criquot après déforestation.

A noter que les résultats d'analyses concernant la DCO et la DBO du point ES3 restent inférieurs à ceux du point ES2 en saison sèche.

Matières en suspension et turbidité : L'échantillon ES1 présente une concentration de matières en suspension et une turbidité notable mais pas encore nuisible pour les poissons. Les valeurs de turbidité et de MES de l'échantillon ES2 sont caractéristiques d'une eau claire en saison des pluies et subissant la diminution du niveau d'eau et l'augmentation de la concentration des particules. Le

point de prélèvement ES3 semble avoir subi les conséquences de la déforestation et présente un taux de MES plus élevé que le point ES2 situé en amont.

Eléments en solution : Les concentrations de chlorures n'indiquent pas de possibles répercussions des activités anthropiques sur ces eaux, ni de remontées salines.

Substances eutrophisantes : La teneur en phosphore et composés azotés ne révèle pas de forte dégradation de la qualité de l'eau pour le développement de la vie aquatique.

Hydrocarbures : Il n'a pas été détecté d'hydrocarbures dans les échantillons d'eau.

Métaux lourds : Les métaux détectés en laboratoire correspondent aux métaux caractéristiques du fond géochimique guyanais. Il est intéressant de noter la présence en faible quantité ou proche du seuil de détection d'Arsenic, de Cadmium, de Chrome et de Plomb au niveau de points de mesures sans que leur présence ne soit généralisée sur tous les échantillons et en toute saison. Au contraire du fer, du sodium et du mercure qui bien qu'en faible quantité marque le profil géochimique des eaux toute l'année.

❖ **Conclusion :**

Globalement, on observe peu de différences de qualité des eaux entre la saison sèche et la saison des pluies.

Une augmentation de la température est remarquable en saison sèche du fait de la diminution du volume de la masse d'eau échantillonnée.

La conductivité diminue également mais pas significativement.

La DCO et la DBO augmentent dans les deux points d'eau en saison sèche mais les valeurs restent faibles, et témoignent d'un milieu de bonne qualité physico-chimique. La différence observée entre la saison humide et la saison sèche est dû à une diminution du volume d'eau pour une activité bactérienne similaire.

Les eaux échantillonnées semblent être de bonnes qualités, bien que l'échantillon 3 semble avoir subi légèrement les effets de la déforestation.

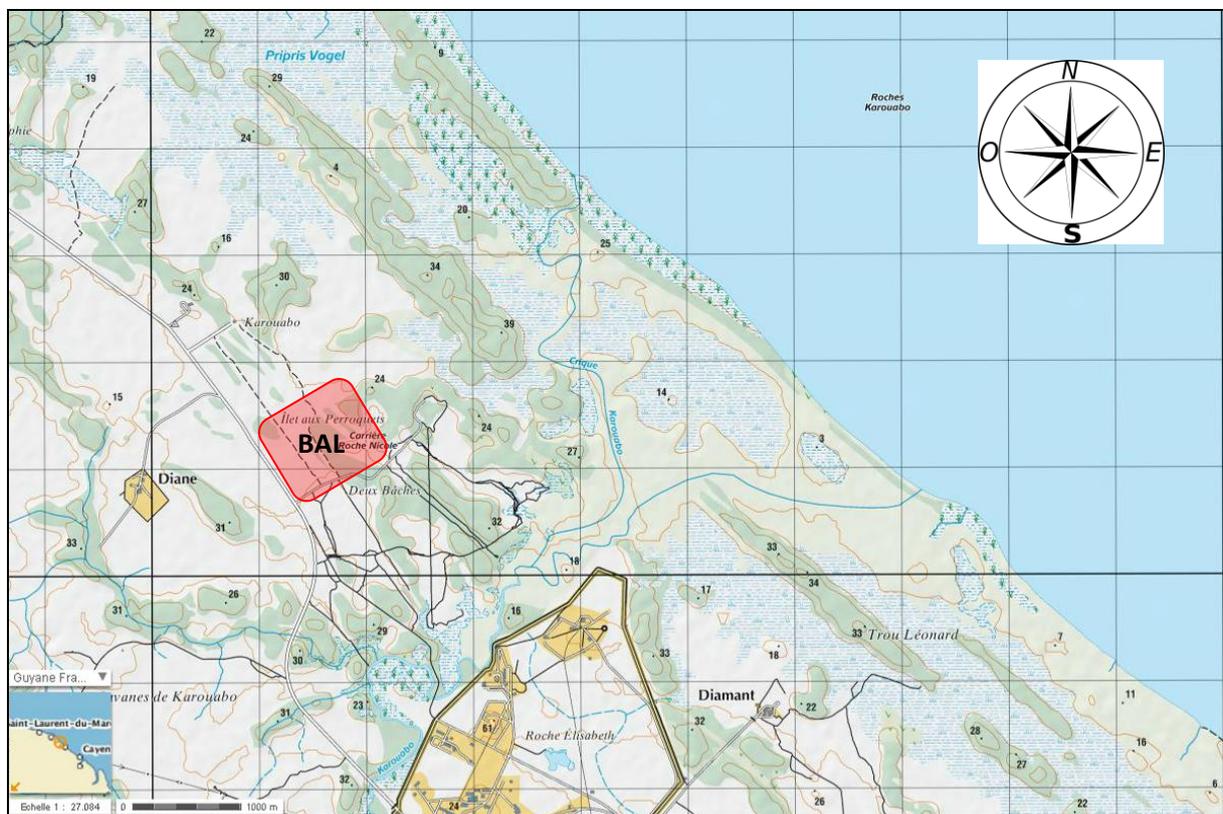
1.2 Zone de préparation (BAL)

1.2.1 Situation

La zone de préparation (BAL) est également située au nord-est de la route de l'espace entre la Roche Nicole et la zone ZL4, à environ 3.1 km du trait de côte.

Les points de coordonnées du centre de la zone d'étude sont les suivantes (UTM 22 Nord CSG 67) :

- X : 301 711, 46
- Y : 581 201, 01



Source : Géoportail

Figure 19 : Localisation de la zone de préparation

1.2.2 Fonctionnement du bassin versant – Caractéristiques physiques

1.2.2.1 Géomorphologie

Comme pour le secteur de la ZL4, la zone d'étude BAL se situe sur des terrains à faible pente topographique. La côte altimétrique la plus haute se situe autour de 10 m NGG tandis que la plus basse est comprise entre 3 et 4 m NGG.

La déclivité globale des terrains est majoritairement orientée vers l'ouest en direction de la crique Karouabo et vers le nord-est en direction de la ligne de rivage.

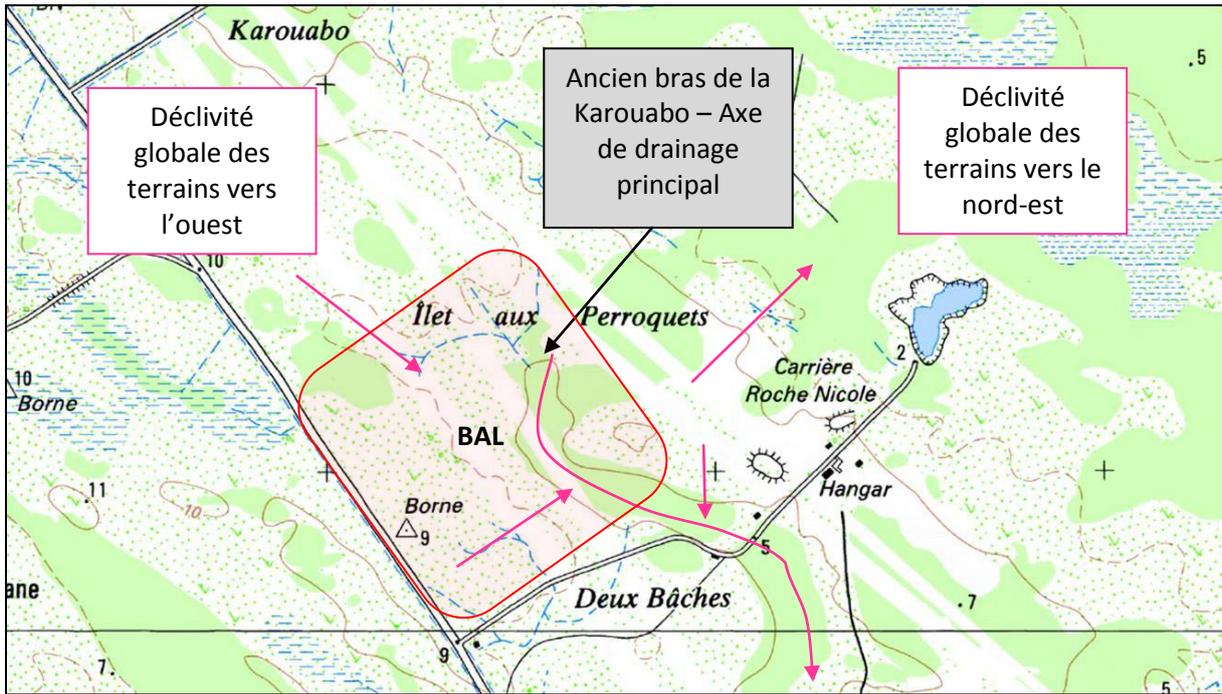
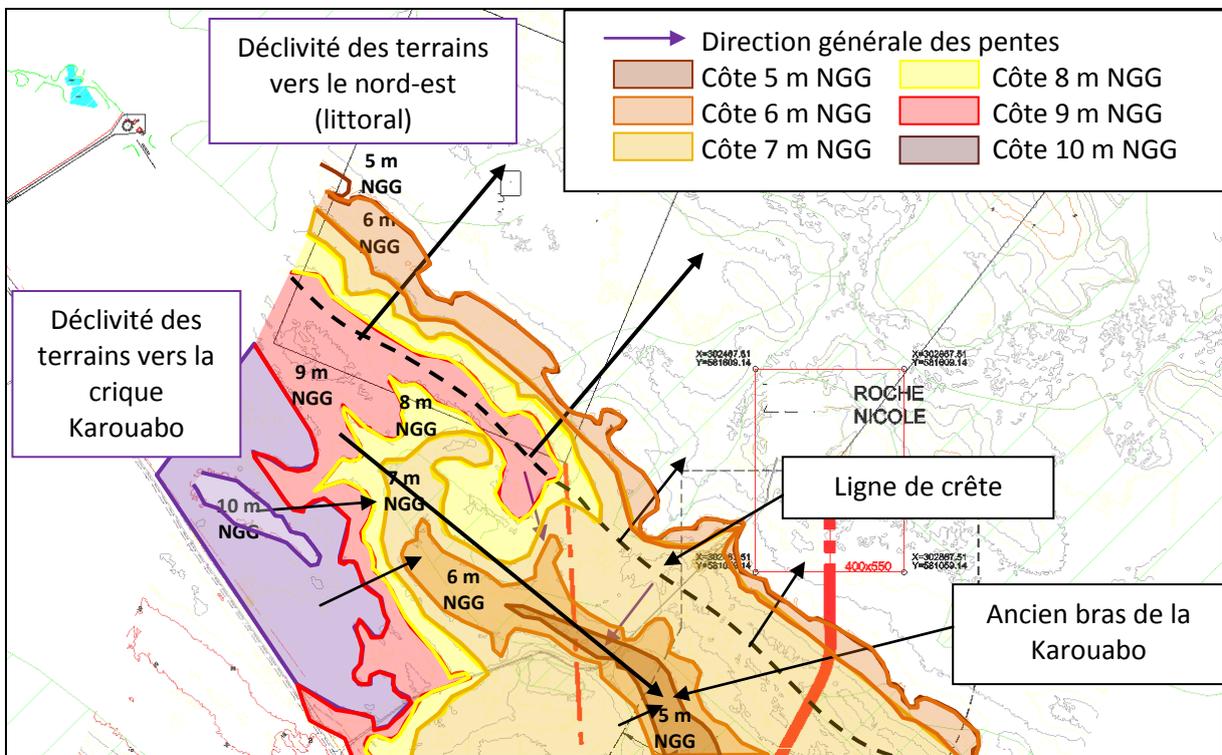


Figure 20 : Topographie générale de la zone BAL

Au droit de la zone d'étude se trouve un ancien bras de la crique Karouabo. La topographie y est décroissante de part et d'autres de ce dernier, jusqu'à atteindre la côte altimétrique de 5 m NGG. Au-delà de cet ancien bras, la topographie des terrains présente à nouveau une déclivité d'axe sud-ouest / nord-est, tel que cela a déjà été mis en évidence sur la ZL4.



Source : CNES

Figure 21 : Topographie détaillée au droit du BAL

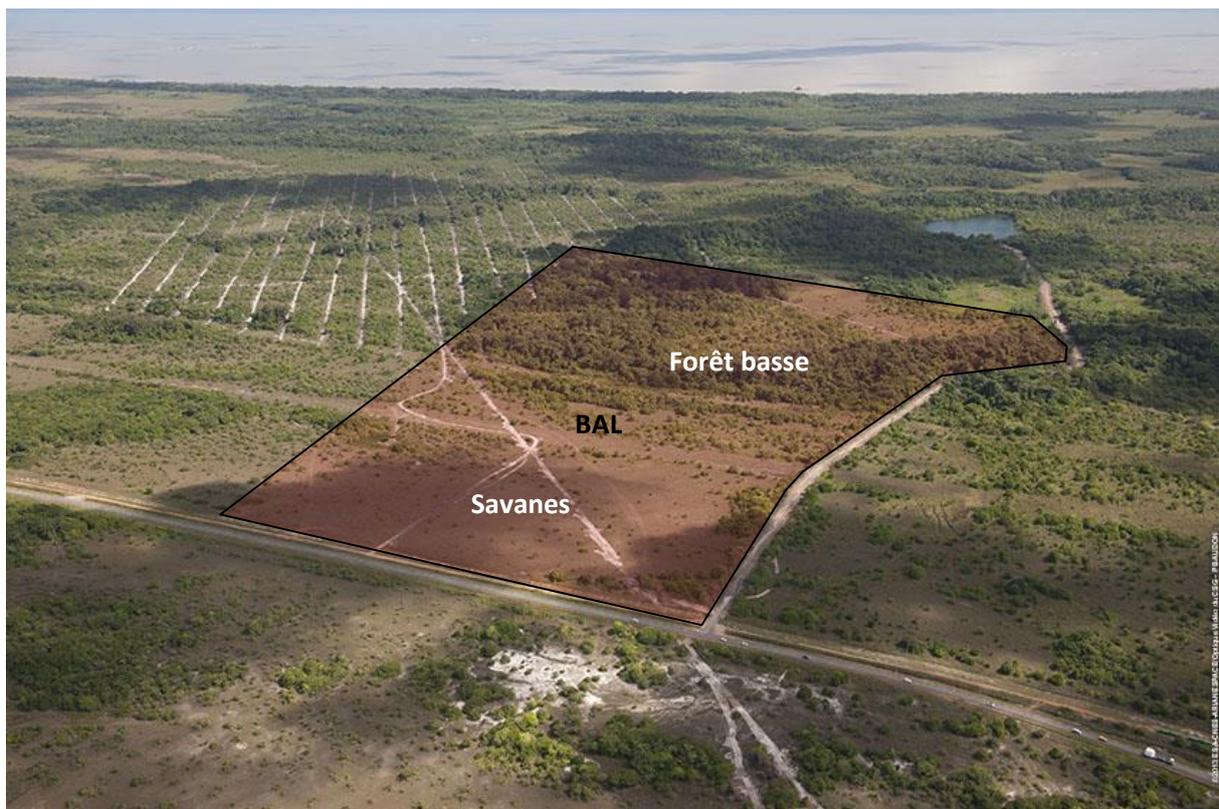
Comme sur la zone ZL4, on rencontre quelques sursauts topographiques de part et d'autres d'anciens bras affluents de la crique Karouabo qui aujourd'hui ne sont plus pérennes. Ces derniers sont des éléments importants dans la zone d'études puisqu'ils viennent entailler la savane haute du Nord-Ouest vers le Sud-Est. La trace des drains reste visible dans le paysage mais le dénivelé entre le haut des berges et le fond du thalweg reste modeste (≥ 1 m tout au plus).

Au nord de la zone, s'étend vers la mangrove une zone de transition avec le domaine océanique. L'altitude de cette zone est globalement proche du niveau de la mer. Le substrat vaseux y est favorable au développement d'une forêt inondée soumise au flux et reflux des marées.

1.2.2.2 Occupation du sol

Le sol au droit de la zone du BAL est majoritairement recouvert de savanes caractéristiques des bas fonds larges dits « savanes à butes » : la végétation occupant les sommets de buttes est herbacée et haute (50 cm). Les butes sont exondés tandis que les chenaux développés entre ces dernières à l'ombre de la canopée restent en eau.

Egalement, on trouve des savanes moyennement hautes sur sols hydromorphes entre coupés d'îlots de forêt basse sur cordons sableux.



Source : CNES - 2014

Figure 22 : Photo aérienne du secteur BAL



1.2.2.3 Nature du sol

❖ Sondages

Quatre sondages à la tarière à main (Cf. chapitre 2.2.1 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) ont été réalisés dans la zone d'étude et à proximité (les fiches de reconnaissance sont jointes en **annexe 1**), dans lesquels les formations de Coswine ont pu être identifiées.

La coupe lithologique type de la zone de préparation peut être la suivante :

- Dans les premières dizaines de centimètre (10 à 50 cm de profondeur), le sol est constitué de sables argileux légèrement tourbeux de couleur gris-noire ;
- Lorsque la profondeur de forage augmente, on observe un dégradé de couleur du gris vers l'ocre avec une augmentation de la proportion d'argile ;
- Entre 60 cm et 1 m de profondeur, on voit apparaître une argile légèrement sableuse de couleur ocre vive avec localement quelques pisolites rouges.

Ces sols paraissent drainants sur les premiers horizons sableux à sablo-argileux mais des traces d'hydromorphie apparaissent dans les argiles vers 0,5 m. Les sables sont riches en matières organiques et charbons. Le réseau racinaire se développe préférentiellement dans ces derniers.

❖ Prélèvement et analyses

3 prélèvements de sol (voir localisation figure ci-dessous) ont été réalisés au droit du BAL afin d'effectuer des analyses.

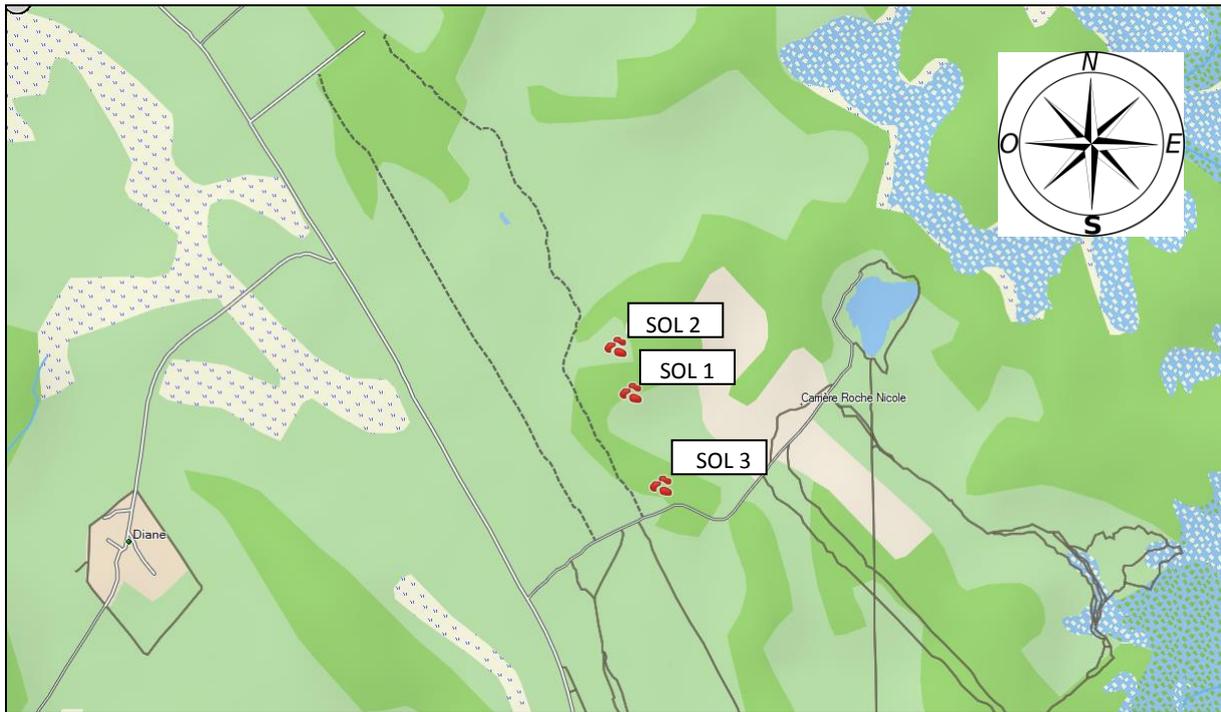


Figure 25 : Localisation des points de prélèvement de sol sur l'ELA 4

Les résultats des analyses sont présentés ci-après.

Globalement, les échantillons correspondent à des natures de sols identiques, argilo-sableux. Ils présentent des caractéristiques chimiques similaires : le pH légèrement de l'eau interstitielle apparaît acide, la concentration en chlorure et en aluminium est élevée. Ces caractéristiques semblent proches des échantillons 1 et 2 prélevés sur la ZL4. La teneur en Aluminium est certainement liée à la nature granitique ou schisteuse de la roche mère. On trouve généralement du Fer ainsi que de la Silice en grande quantité.

Seul l'échantillon 3 présente des traces d'hydrocarbures qui peuvent potentiellement s'expliquer par la proximité du point de prélèvement avec la piste de la Roche Nicole ou la décomposition de la matière organique qui peut générer des essences. À noter également que les trois échantillons ont été prélevés sur un secteur ayant été préalablement défriché. La présence d'hydrocarbures peut aussi s'expliquer par le passage des engins de chantier.

	Unités	LQ	SOL 1	SOL 2	SOL 3
Matière sèche	%	0,1	79,1	77,5	78,1
pH extrait à l'eau			6,1	6,5	6,4
Chlorures	mg/kg M.S.	20	138	152	90,4
Perchlorates	µg/kg M.S.	2	-	-	-
Aluminium	mg/kg M.S.	5	7 210	3 710	3 990
HCT	mg/kg M.S.	15	< 15,0	< 15,0	20
HCT (nC10 – nC16)	mg/kg M.S.		< 4,00	< 4,00	1,5
HCT (nC16 – nC22)	mg/kg M.S.		< 4,00	< 4,00	1,81
HCT (nC22 – nC30)	mg/kg M.S.		< 4,00	< 4,00	4,87
HCT (nC30 – nC40)	mg/kg M.S.		< 4,00	< 4,00	11,8

Tableau 5 : Résultats d'analyses de sol sur le BAL

1.2.2.4 Réseau hydrographique

Comme sur la ZL4, la pente des terrains est faible et favorise les phénomènes de stagnation, bien qu'un axe de drainage préférentiel ait été identifié. Cet axe Nord-Ouest/ Sud-Est s'insère au milieu d'une zone de forêt basse. Il s'agit d'un ancien bras de la crique Karouabo, en partie comblé de sédiment actuellement.

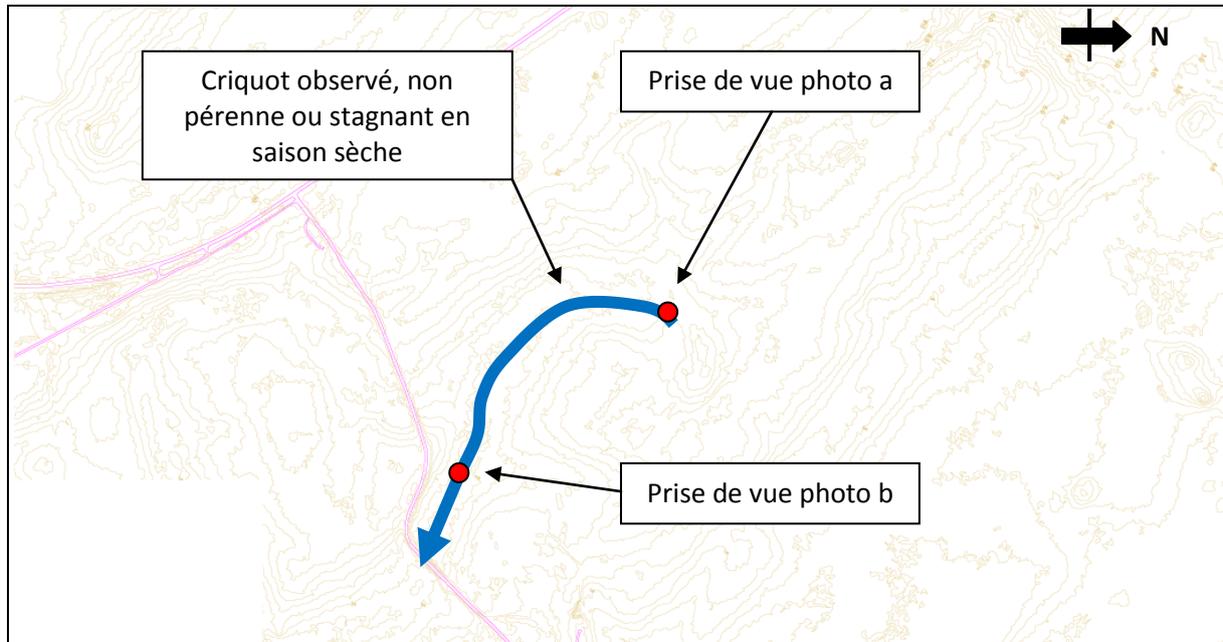


Figure 26 : Axe de drainage principal au droit du BAL



Figure 27 : Photographies du criquot au droit du BAL en saison humide

On peut distinguer deux zones sur le secteur d'étude :

- Une zone de savane haute parfois forestée ;
- Une zone basse de savane et bosquets que l'on peut rapprocher du sillon observé sur la ZL4 en aval du cordon sableux.

Le Bal est installé sur la savane haute.

La savane haute de part sa position permet un écoulement vers le Nord et les savanes inondées. Ce transfert n'est pas direct même si on relève la présence d'un drain orienté Ouest Est. La savane haute est aussi le siège de stagnation sur la partie sommitale du cordon argilo-sableux (mois sableux qu'au niveau de la ZL4. La zone pseudo-plane voire en cuvette à cet endroit ne favorise pas les transferts vers les zones basses. Le contexte ressemble alors à celui des savanes inondées.

La géomorphologie des savanes inondées rend difficile à cerner les écoulements. Localement, on peut supposer qu'il s'agit d'un réseau hydrographique de type endoréique. L'infiltration (au niveau des formations sableuses) et l'évaporation des eaux jouent vraisemblablement un rôle important dans le transfert des eaux mais moins que pour la ZL4. Les écoulements restent très lents et se réalisent de façon diffuse (pas de courant apparent dans les zones inondées).

De même que pour la ZL4, les eaux pluviales érodent le sol et créent de nombreuses formes méandriformes et de tresse entre les zones de végétation. Les agglomérats de sols restent stables grâce au réseau racinaire des graminées de savanes et des arbres au niveau des bosquets. En saison sèche, les eaux disparaissent et laissent des vestiges de leur passage et de la stagnation. On peut observer alors des structures caractéristiques avec des creux où l'eau a circulé et des bosses où la végétation s'est maintenue. Ce phénomène est aussi bien observable dans les secteurs forestiers que dans les savanes où des mottes de terre et de végétation sont parcourues par des réseaux complexes (chenaux/réseaux en tresse et anastosés).

Peu de zones restent émergées pendant les périodes de fortes pluviométries dans ce secteur. Les niveaux d'eau peuvent atteindre 0,5 m dans les savanes et les forêts inondées au cours de ces épisodes. La zone d'études joue alors le rôle de zone d'épandage naturelle des crues. Grâce à sa faible déclivité et sa végétation dense, elle va retenir les eaux pluviales et les restituer petit à petit aux nappes et aux réseaux hydrographiques. En saison sèche, l'eau aura totalement disparue. Cette situation souligne le contraste hydrologique saisonnier qui s'applique ici et plus généralement aux savanes du littoral guyanais.



Source : Antea Group

Figure 28 : Zone de savane inondée au droit de la zone de préparation

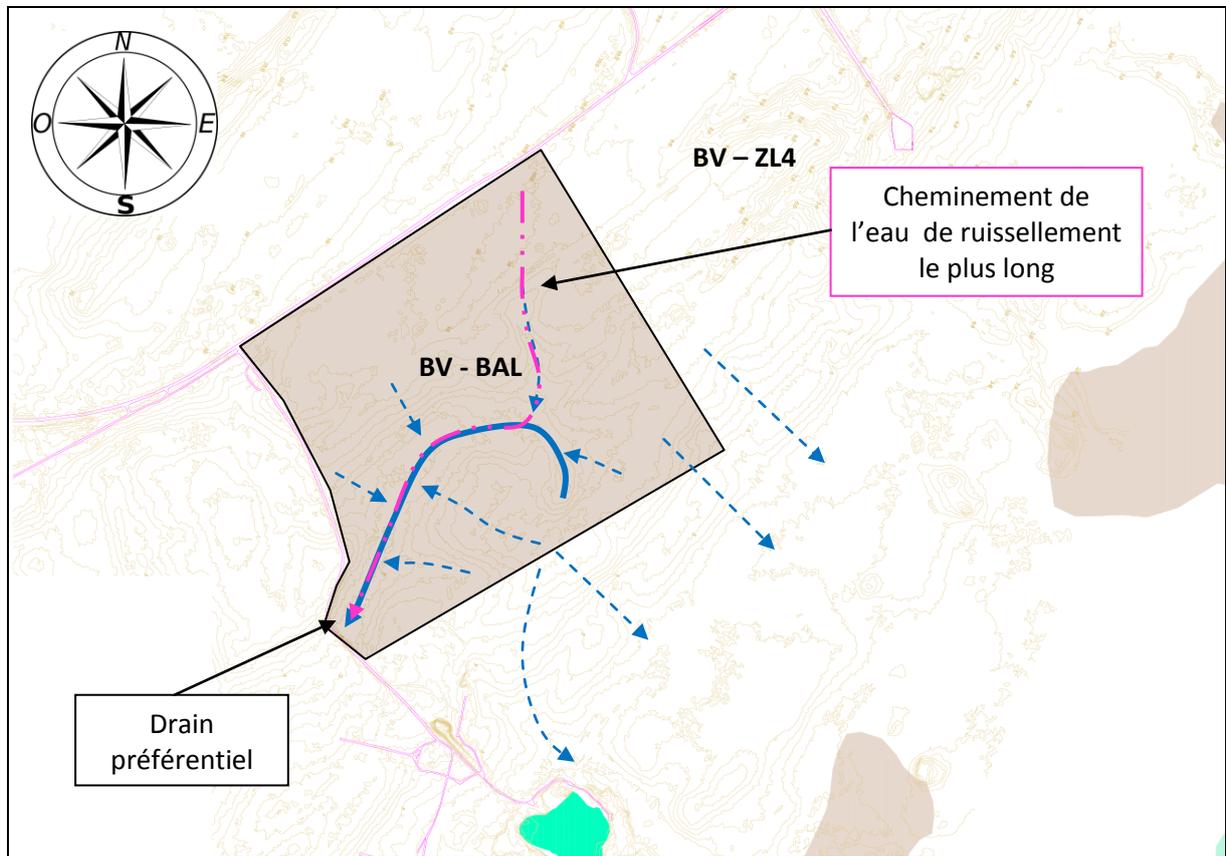
1.2.2.5 Fonctionnement dynamique du bassin versant

Le fonctionnement hydrodynamique du réseau de drainage de la zone de préparation est proche de celui de la ZL4. Les zones de savane haute peuvent être assimilées à des cordons mais la nature du sous-sol est plus argileuse. Cette configuration permet l'installation de forêt. Les eaux pluviales s'accumulent dans les savanes et alimentent par surverse les savanes basses situées au Nord et le drain hydrographique qui rejoint la Karouabo (ou du moins la zone d'accompagnement de cette crique) vers le Sud-Est. Lors de notre visite de terrain en saison des pluies, il a été observé la présence de plusieurs points d'eaux et des savanes très étendues complètement inondées en saison humide.

L'affluent de la Karouabo peut être comparé à une large noue naturelle enherbée et méandrique. Il draine la majeure partie de la zone du BAL (située en amont). La matrice de chenaux inter-bute (mini-réseaux en tresse et anastomosés) engendre des écoulements diffus et lents.

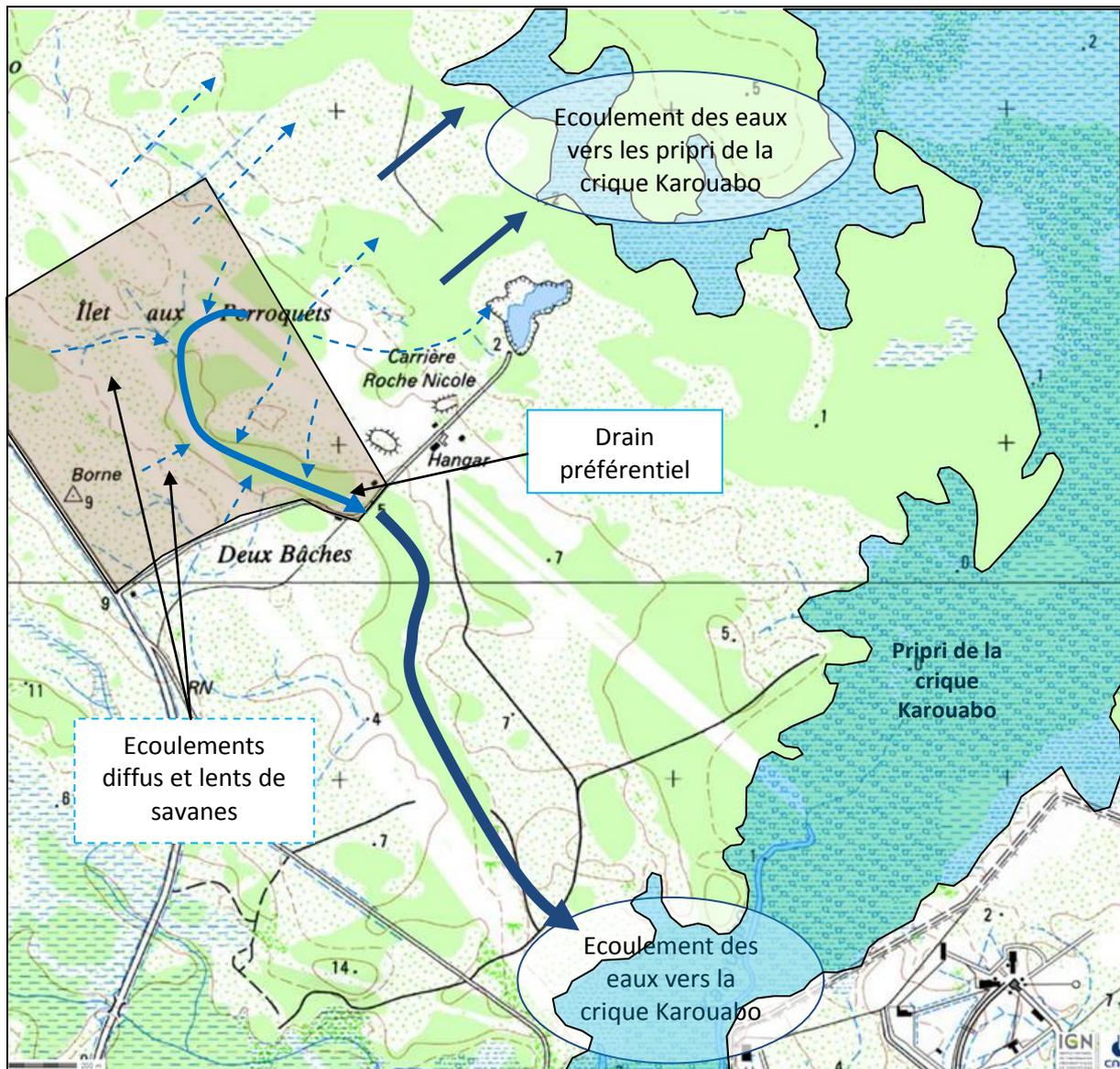
Appartenant au bassin versant de la Karouabo, les eaux de ruissellement circulent lentement au travers des bosquets et des savanes jusqu'à rejoindre les drains principaux. Le réseau qui traverse la zone est d'ordre 3 maximum selon la classification de Strahler, d'ordre 4 si l'on comprend la crique Karouabo. Néanmoins, comme observé le long de cette crique, les relations entre la Karouabo et ses affluents est aussi très complexe. Les confluences se réalisent dans des secteurs de faibles profondeurs et la végétation semi-aquatique (Moucou Moucou en particulier mais aussi palétuviers) a tendance à se développer, rendant la trace de l'affluent à peine visible ou du moins confondue avec les berges des savanes inondées. Le courant déjà très faible en amont est quasi nul à ce niveau ce qui

entraîne une sédimentation importante des fines qui contribuent à l'envasement et au développement de la végétation.



Source : CNES

Figure 29 : Définition du bassin versant au droit du BAL



Source : Géoportail

Figure 30 : Fonctionnement hydrodynamique du bassin versant au droit de la zone de préparation

Les limites du bassin versant de la zone d'études sont également difficiles à cerner dans la mesure où il n'y a pas réellement de lignes de crête et de topographie bien marquée. Par hypothèse nous définirons un bassin versant délimité par les surfaces drainées par l'ancien bras de la crique Karouabo (drain préférentiel de la zone BLA, rive droite). La superficie de ce bassin est estimée à 62 Ha.

1.2.3 Bilan hydraulique

La détermination des débits de crue sur le bassin versant a également été calculée par la méthode rationnelle.

Comme déterminé ci-dessus, le bassin versant à prendre en compte dans le bilan hydraulique s'étend sur 62 ha.

Les caractéristiques de ce bassin sont les suivantes :

Surface (ha)	Longueur (m)	Côte haut (m NGG)	Côte bas (m NGG)	Pente (%)	usage actuel	usage futur
62	1 280	10	4	0.5	Naturel	Bâti

Tableau 6 : Caractéristiques du bassin versant de la ZL4

Comme décrit précédemment, le sol est occupé par de la végétation de savane et de forêt basse, il est sablo-argileux sur les premiers centimètres et argileux plus en profondeur et la pente du terrain est faible.

Le coefficient d'apport est estimé à partir de la typologie de RODIER (RODIER 1976) qui permet de classer un bassin versant ou des sous-bassins versants en fonction de leur pédologie et de leur pente globale.

On prend donc un coefficient d'apport moyenné de 0.5 pour le bassin versant de notre étude.

Le cheminement de l'eau du point le plus éloigné jusqu'à l'exutoire final est estimé à 1 280 m de long et est représenté sur la Figure 29 ci-dessus.

Le temps de concentration estimé selon la méthode de Kirpich est le suivant :

$$T_c = 0.01947 \times 606^{0.77} \times 0.005^{-0.385}$$

$$\mathbf{T_c = 36.97 \text{ min}}$$

L'intensité pluviométrique pour la durée de temps de concentration pour le bassin versant et pour une pluie décennale est de :

$$I(10) = 6.046 \times 20.8^{-0.4304}$$

$$\mathbf{I(10) = 1,28 \text{ mm/min}}$$

Le débit de pointe pour une période de retour de 10 ans pour le bassin versant du projet est de :

$$Q(10) = 0.167 \times 0.5 \times 1,28 \times 62$$

$$\mathbf{Q(10) = 6,6 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ soit } 23 \text{ 855 m}^3/\text{h}}$$

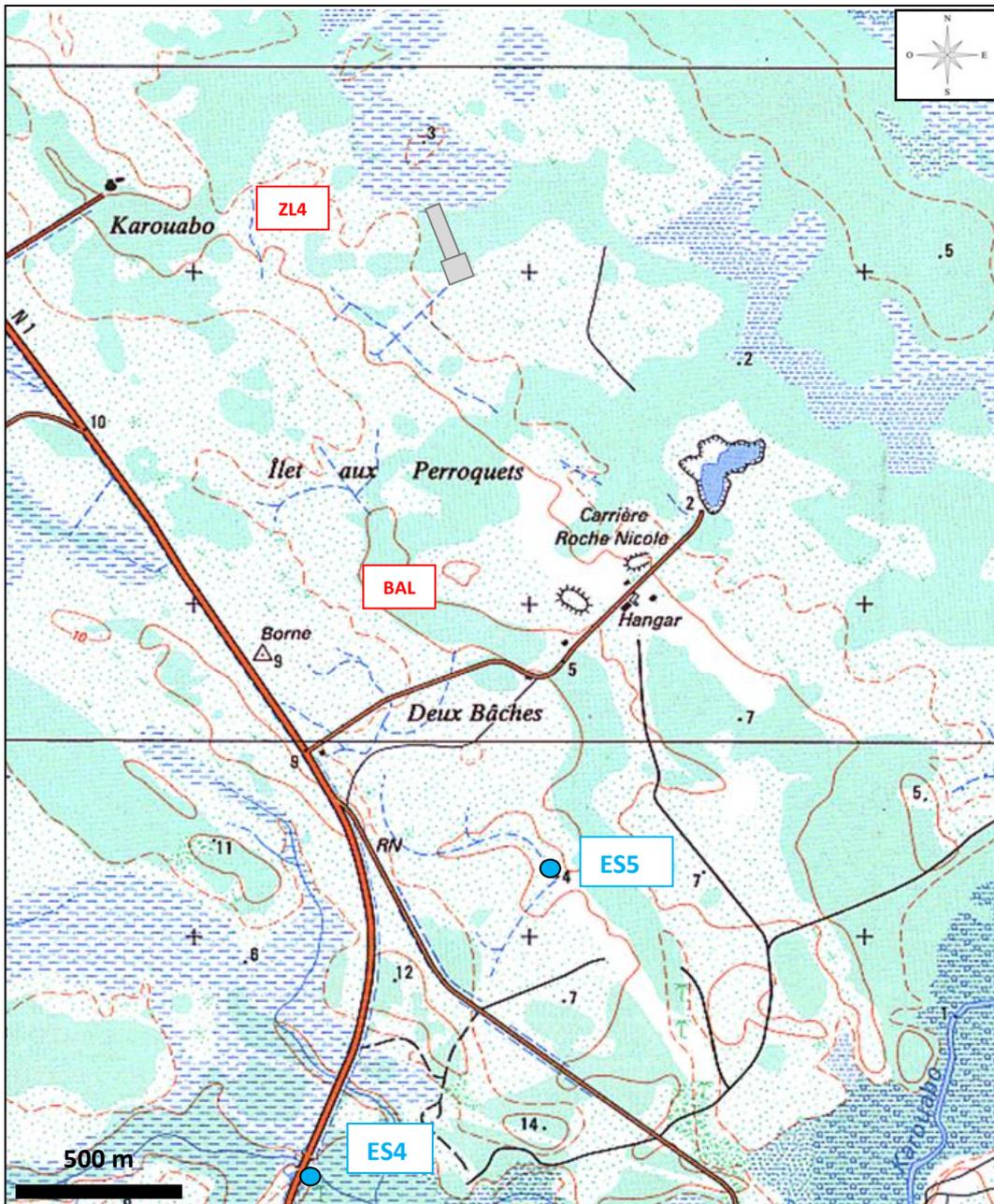
Ce débit est associé aux caractéristiques du bassin versant actuel. La création de plateforme et l'imperméabilisation du site aura tendance à faire augmenter ce débit. Pour rappel, les débits ne sont

pas aujourd'hui canalisés même si il semble qu'une bonne partie soit prise en compte pas la noue naturelle (affluent de la Karouabo). Ils sont diffus et centrifuge par rapport au relief sur lequel est prévu l'implantation du projet, sur un front de savane et de forêt basse.

1.2.4 Qualité des milieux récepteurs de la zone d'étude

1.2.4.1 Description des points de prélèvement

Les stations de prélèvements sont situées en aval hydrologique ou latéralement à la zone du BAL. Ils sont caractéristiques des milieux récepteurs. Aucun prélèvement d'eau souterraine n'a été effectué du fait de l'impossibilité de poser des piézomètres sur la zone avant les travaux de terrassement.



(Source : Géoportail)

Figure 31 : Localisation des prélèvements ES4 et ES5 sur fond IGN

L'écoulement des eaux de surface selon la topographie du secteur est dirigé vers l'ouest (en direction de la crique Karouabo).

Le prélèvement ES5 a été réalisé dans une zone marécageuse (forêt inondée).

Le prélèvement ES4 a été réalisé dans un affluent de la crique Karouabo, en amont hydrologique des futures ensembles de lancement d'Ariane 6 (zone de lancement et bâtiments s'assemblage).

**Photo 1 : Station de prélèvement ES5****Photo 2 : Station de prélèvement ES4**

1.2.4.2 Résultats et analyses

❖ Mesures in-situ

Dénomination	ES5		ES4	
	Humide	Sèche	Humide	Sèche
Température T en °C	27,6	30,4	34,1	30,4
pH en u.ph	5,086	5,43	5,94	5,16
Conductivité C en µS/cm	42,1	30	46,1	30
Oxygène O ₂ en %	32,4	88,8 (6,67 mg/l)	55,6 (4,07mg/l)	77,5 (5,79 mg/l)

Tableau 7 : Mesure des paramètres physico-chimiques sur les eaux à proximité du BAL :

❖ Analyses en laboratoire

Dénomination	ES5		ES4	
	Humide	Sèche	Humide	Sèche
Température T en °C	18,4	25,2	18,9	25,7
pH en u.ph	4,66	4,69	5,70	5,09
Conductivité C en µS/cm	51	23	36	29
Oxygène O ₂	en mg/l	47	-	46
	en %	3,9	-	3,9
DCO en mgO ₂ /l	9,7	27,4	9,1	29,0
DBO en mgO ₂ /l	3,9	9,5	0,6	4,6
Turbidité NTU	Mesure 1	2,24	-	1,83
	Mesure 2	1,55	4,13	2,16
	Mesure 3	2,41	-	1,97

Dénomination		ES5		ES4	
Saison		Humide	Sèche	Humide	Sèche
Matières en Suspensions MES	Mesure 1	4,0	5,8	1,0	5,3
	Mesure 2	1,6	11,0	1,8	4,3
	Mesure 3	4,7	14,0	2,9	5,7
Chlorures en mgCl/l		13,3	23,4	9,0	7,1
Phosphore total en mgP/l		0,06	<0,01	0,06	<0,01
Azote Kjeldhal en mgN/l		4,16	<0,5	1,56	<0,5
Ammonium en mgNH ₄ /l		0,0008	0,018	0,042	0,006
Nitrates mgNO ₃ /l		0,08	0,12	0,09	0,29
Nitrites mgNO ₂ /l		<0,003	0,003	<0,003	0,005
Hydrocarbures totaux mgHCT/l		<0,05	0,12	<0,05	0,13
Arsenic As en µg/l		<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Cadmium Cd en mg/l		<0,1	<0,5	<0,1	<0,5
Chrome Cr en mg/l		<0,2	<0,5	<0,2	<0,5
Fer Fe en mg/l		0,71	0,93	0,38	1,20
Plomb Pb en mg/l		<0,1	<0,5	<0,1	<0,5
Sodium Na en mg/l		5,5	5,0	6,2	5,0
Mercure Hg en µg/l		0,43	0,05	0,54	0,05

Tableau 8 : Résultats des analyses en laboratoire sur les échantillons ES5 et ES4

❖ **Analyses critiques et commentaires****Température**

Les eaux échantillonnées présentent des caractéristiques de faciès des eaux de régions équatoriales ; la température des eaux est élevée.

Acidité et minéralisation

Le pH de l'eau est légèrement acide, cette valeur est dans les standards du fond géochimique. Les valeurs de conductivité (<200 µS/cm) sont caractéristiques d'une eau douce et faiblement minéralisée.

Oxygène dissous et saturation en oxygène

Les teneurs en oxygène des deux stations caractérisent une eau d'assez bonne qualité.

Charges en matières organiques

Les faibles valeurs de DCO permettent de rejeter l'hypothèse de rejets industriels en amont. La valeur de DBO à 5 jours en saison humide montre une activité biologique ralentie qui laisse supposer la présence d'une grande quantité de matière organique.

Matières en suspension et turbidité

Les valeurs de turbidité et de MES des échantillons sont caractéristiques d'une eau claire.

Éléments en solution

Les concentrations de chlorures n'indiquent pas de possibles répercussions des activités anthropiques sur ces eaux.

Substances eutrophisantes :

La teneur en phosphore et composés azotés révèle une légère dégradation de la qualité de l'eau pour le développement de la vie aquatique.

Hydrocarbures

Il n'a pas été détecté d'hydrocarbures dans les échantillons d'eau.

Métaux lourds

Les métaux détectés en laboratoire (Fe, Hg) correspondent aux métaux caractéristiques du fond géochimique guyanais.

❖ Conclusion

Globalement, on observe peu de différences de qualité des eaux entre les deux stations de prélèvement. Les eaux analysées sont caractéristiques des eaux que l'on retrouve dans les savanes guyanaises.

De même, on observe peu de différence entre la saison sèche et la saison des pluies : Une augmentation de la température est remarquable en saison sèche du fait de la diminution des précipitations et donc de la non réalimentation des cours d'eau en eau zénithale plus fraîche. et du couvert forestier. Cela induit également une diminution faible de la conductivité.

La DCO et la DBO augmentent dans les deux points d'eau en saison sèche mais les valeurs restent faibles, et témoignent d'un milieu de bonne qualité physico-chimique. La différence observée entre la saison humide et la saison sèche est dû à une diminution du volume d'eau pour une activité bactérienne similaire.

1.3 Crique Karouabo

1.3.1 Situation hydrographique

1.3.1.1 Localisation géographique

La crique Karouabo et son bassin versant sont situés sur le territoire du CNES/CSG. La crique draine en grande partie l'ensemble des installations existantes du centre spatial.

Sa situation géographique par rapport à ces installations fait de cette crique un milieu sensible et d'ores et déjà fortement surveillé dans le cadre des suivis environnementaux des activités.

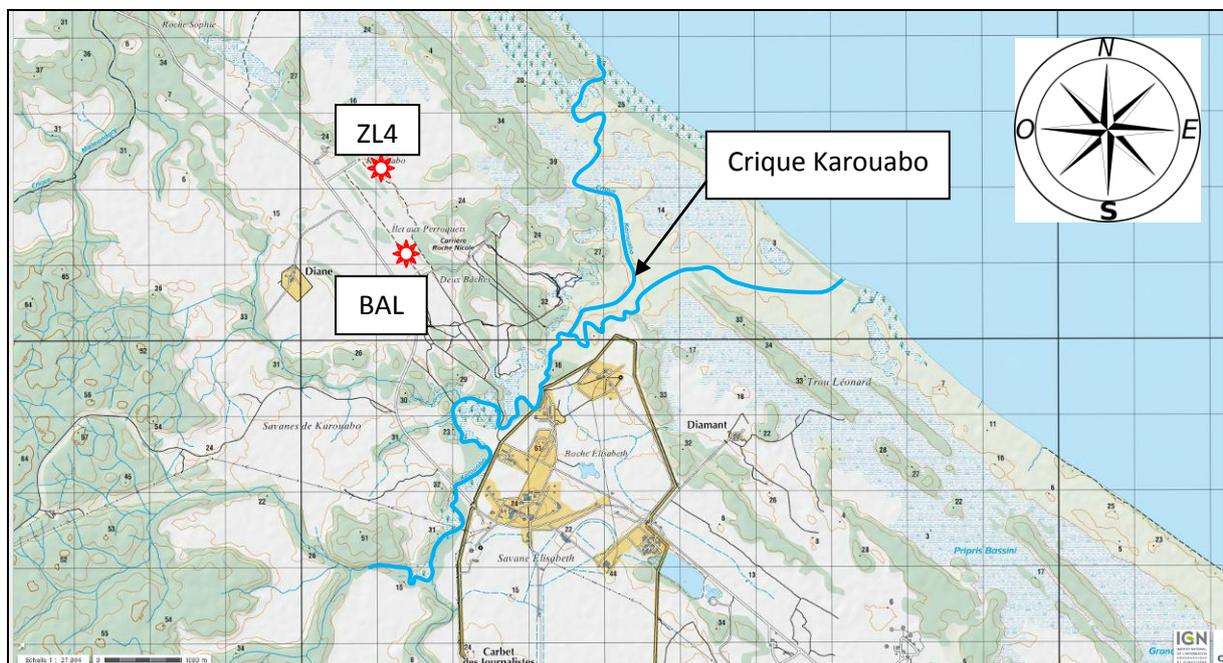


Figure 32 : Localisation géographique de la crique Karouabo

Parmi les installations nouvelles en prévision pour la mise en œuvre d'Ariane VI, certaines pourront être localisées dans le bassin versant de cette crique (c'est le cas notamment de la zone de lancement 4 et de la zone préparation entre autre).

1.3.1.2 Secteur investigué

Dans le cadre de l'analyse de l'état initial hydrologique et hydrogéologique des zones d'implantation des futures installations A6, nous avons investigué la crique Karouabo afin de comprendre le fonctionnement de ce cours d'eau.

La reconnaissance a été menée à l'aide d'un canoë-kayak à partir du pont de la route de l'espace sur environ 3 km de cours d'eau en direction de l'océan (Cf. figure ci-après).

A noter qu'à partir de ces 3 km, l'accès devient difficile et la surface d'eau libre en surface est largement diminuée (largeur de canoë), laissant place à une zone marécageuse peu profonde et envahie de végétation.

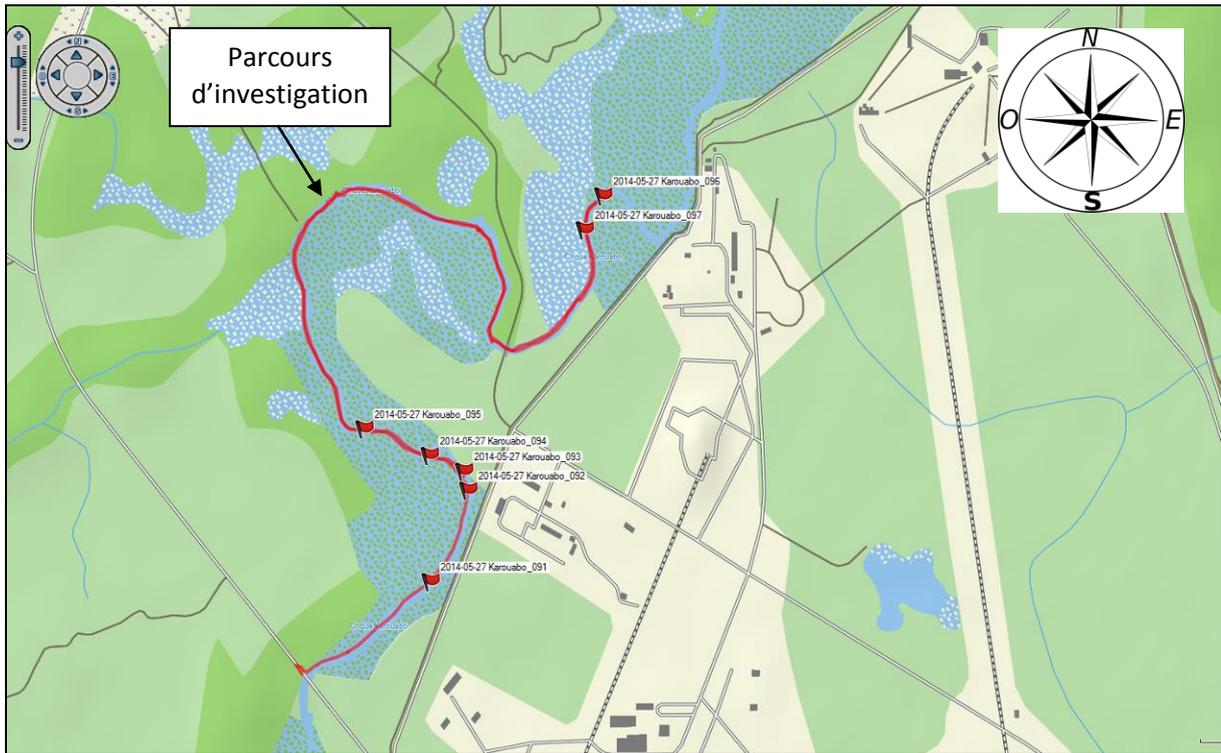


Figure 33 : Longueur de la crique Karouabo investigué

1.3.2 Description morphologique du cours d'eau et sa zone d'influence

Lors des investigations de la crique Karouabo, un reportage photographique a été réalisé et la profondeur du cours d'eau a été sondée afin de définir des profils à différents points stratégiques. Les éléments de cette analyse sont décrits ci-dessous.

La crique Karouabo peut être morphologiquement décrite avec plusieurs unités en relation les unes avec les autres, telles que présentées ci-après :

- Le cours d'eau à proprement parlé, à surface d'eau libre;
- Les pripi inondés composés de moucou-moucou et de palmier bâche ;
- Les savanes inondables.

Le cours d'eau à
proprement parlé, à
surface d'eau libre

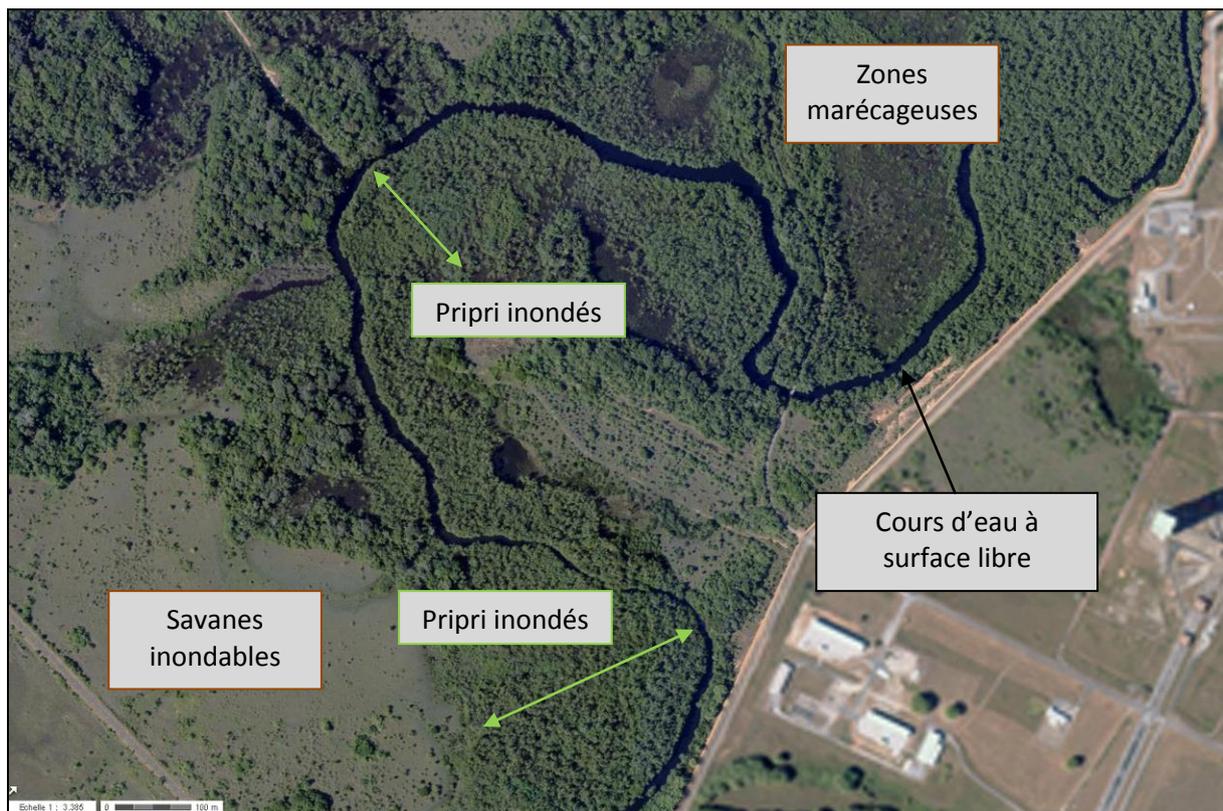


Les pripri inondés
composés de
palétuviers, moucou-
moucou et de
palmiers bâches





Tableau 9 : Unités morphologiques de la crique Karouabo



Source : géoportail

Figure 34 : Morphologie de la crique Karouabo

Les berges sont généralement inondées et vaseuses. Des moucou-moucou et des palétuviers colonisent ces espaces « les pieds dans l'eau ». Mais le rivage peut également être constitué par des formations argilo-sableuses observées au droit d'anciens cordons littoraux surmontés par de la forêt hautes sur terre ferme. Les contrastes topographiques sont très visibles et se succèdent le long de la berge.



Figure 35 : Berges sablo-argileuse et vaseuses de la Karouabo

En amont du pont de la route de l'espace, on observe la présence de nombreux affluents de la Karouabo qui forment un réseau ramifié très dense. Cette morphologie est typique d'une zone constituée de petites collines de faible amplitude créant ainsi de petits talwegs inter-collinaires. En aval, le bassin versant de la Karouabo est constitué du drain principal, et de part et d'autres de savanes inondées, mises en évidence sur la Figure 36.

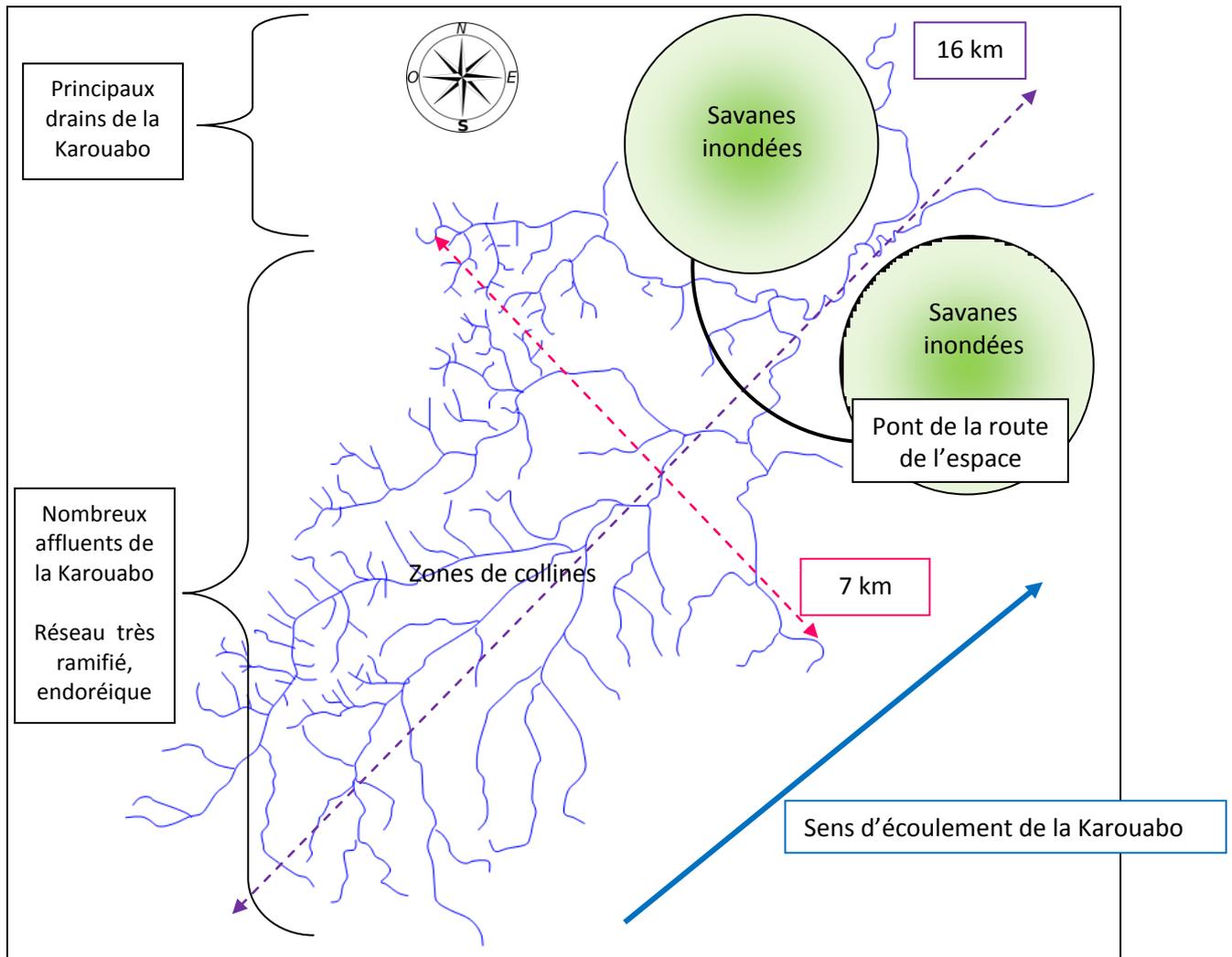


Figure 36 : Coupe longitudinale schématique de la Karouabo

1.3.3 Caractéristiques hydrodynamique

1.3.3.1 Réseau hydrographique

La crique Karouabo est hétérogène tout au long de la zone investiguée. La largeur de la surface d'eau libre varie de 5 à 30 m de large environ. Ces resserrements sont indépendants de la topographie des berges. Ils sont surtout liés à la remontée du fond de la crique Karouabo. Les apports d'eaux pluviales venant des zones humides aux alentours semblent transporter des particules argileuses de granulométrie très fine (d'où une forte turbidité) et des particules organiques liées à la décomposition de la flore. Ces dernières s'accumulent dans les zones de faible courant par un phénomène de décantation. Des dépôts d'argiles vaseuses riches en matières organiques ont été observés sur les berges. Dès que la lame d'eau devient mince et permet la photosynthèse, les plans de palétuviers, de palmiers et de Moucou Moucou colonisent le haut fond. La berge progresse alors petit à petit vers le milieu de la crique. Le tracé de la crique Karouabo est méandrique avec par endroit un réseau en tresse, caractéristique des cours d'eau à faible pente.

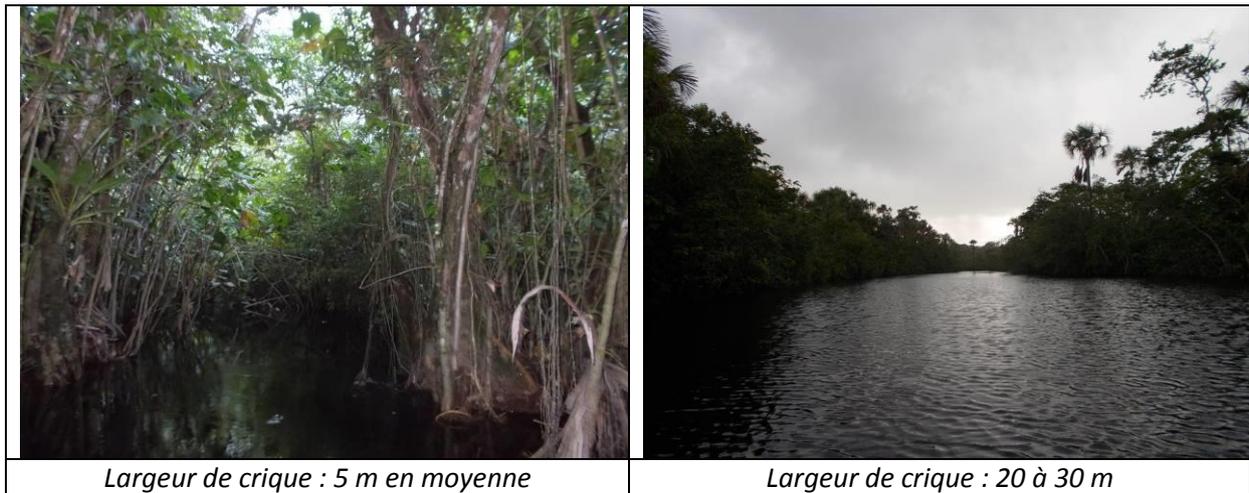


Figure 37 : Largeur de la crique Karouabo

La crique Karouabo possède de nombreux affluents que l'on devine le long du cours d'eau. Les confluences sont généralement peu profondes ce qui permet le développement de la végétation ripisylve. Les affluents ne présentent pas de linéaire long (quelques centaines de mètres tout au plus) et se ramifient rapidement puis se perdent dans la végétation des zones de prairies inondées et des savanes.



Figure 38 : Petits affluents de la Karouabo

La profondeur de la crique varie tout au long de la zone investiguée (entre 2,5 et 6 m). On remarque une diminution de la profondeur au niveau de notre point d'arrêt ou « bouchon » à environ 3 km de la mise à l'eau de notre embarcation (Cf. profil 3), et notre sondeur semble s'enfoncer dans un sol plus meuble. La diminution de la profondeur s'explique par une accumulation de végétaux et de matières organiques en surface (Cf. figure ci-dessous) qui finit par sombrer au fond de la crique créant ainsi un tapis vasard de quelques dizaines de centimètres. Ce phénomène est accompagné par la sédimentation des argiles fines mises en suspension lors des épisodes pluvieux et drainées vers la crique Karouabo.



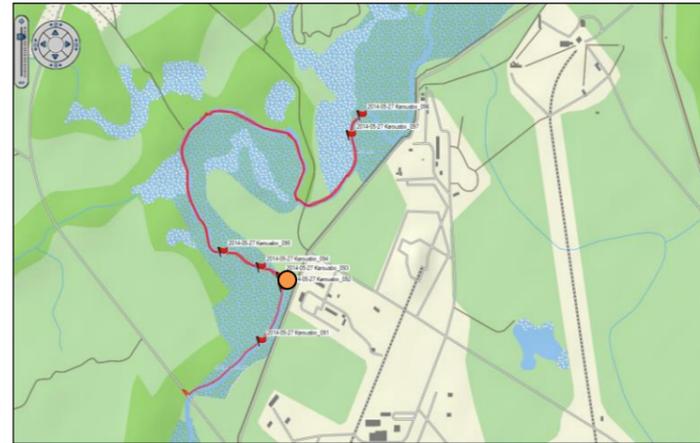
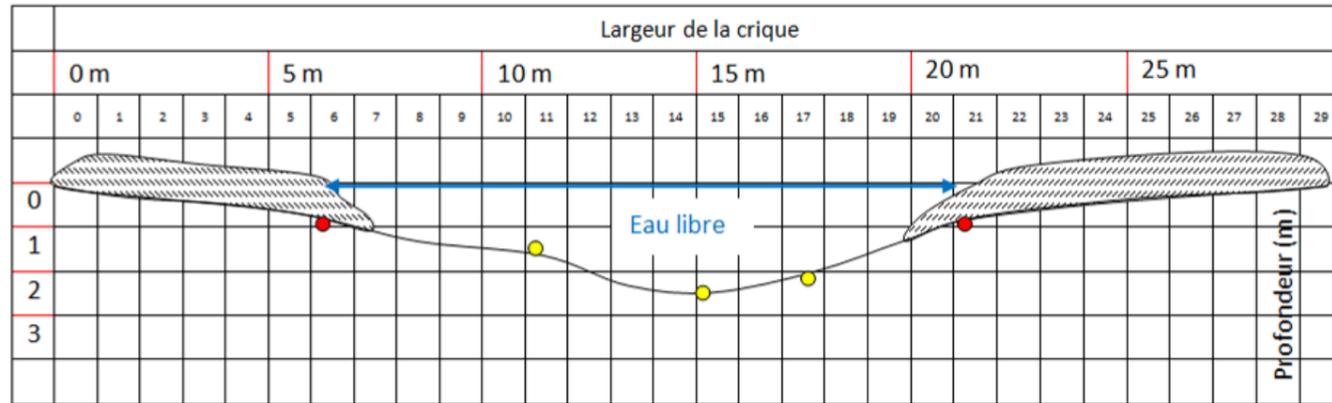
Figure 39 : Accumulation de matière organique (feuilles et autre) en surface

A cet endroit, la surface d'eau libre est grandement diminuée (inférieure à 10 mètres) mais la crique dans sa globalité (comprenant les zones inondées latérales) s'est élargie. Les écoulements passent ainsi d'un système d'écoulement canalisé à diffus.

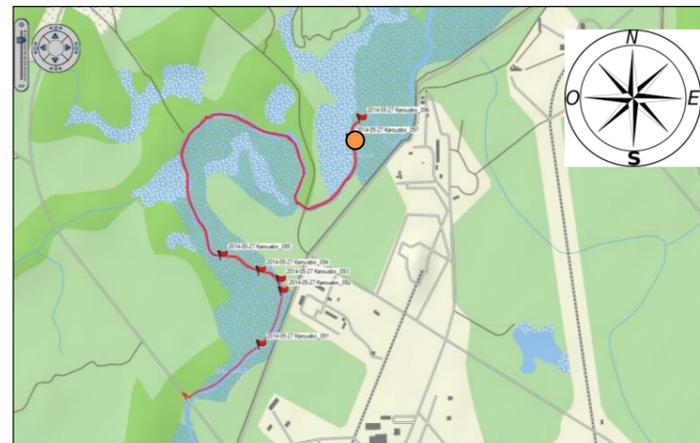
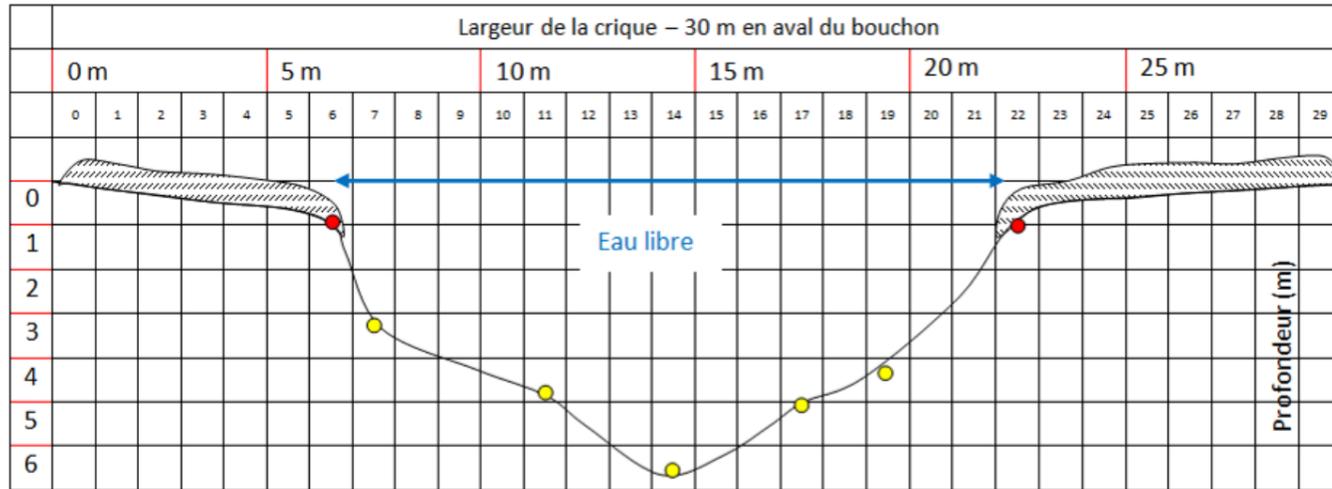
Les profils suivants ont été réalisés lors des investigations de terrain pendant les deux saisons. Les sections de la crique sont hétérogènes mais l'axe du drain est globalement au milieu de la crique. Cela nous renseigne sur le faible impact du courant sur l'érosion du lit de la Karouabo. Il n'a pas été mis en évidence, d'effet de méandre qui a tendance à creuser la berge opposée à son axe.

En saison des pluies, les eaux rentrent dans les terres rendant la ligne de berges difficile à délimiter. En saison sèche le niveau d'eau descend légèrement et libère les zones marécageuses.

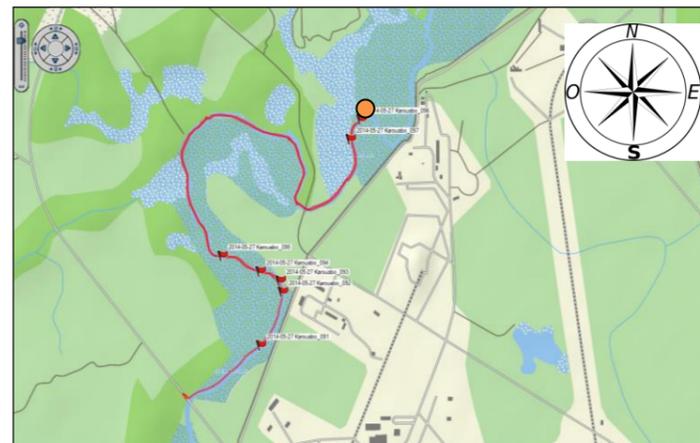
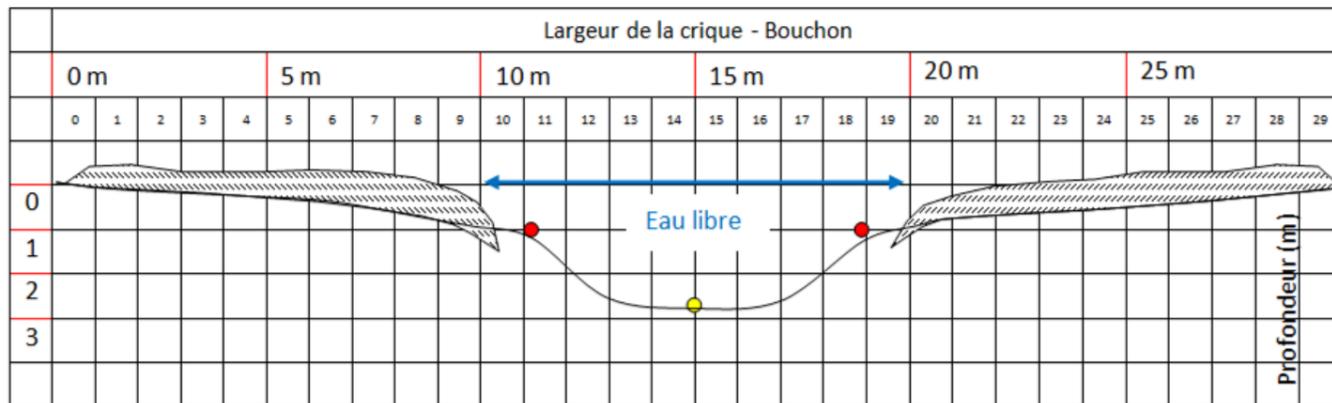
Profil 1 : Crique Karouabo à environ 500 m du pont de la route de l'espace



Profil 2 : Crique Karouabo à une 30^eme de mètres avant le bouchon



Profil 3 : Karouabo au niveau du bouchon



- Sondage de la profondeur réalisé
- Sondage de la profondeur estimé
- [Hatched pattern] Marécage vaseux à Moucou-Moucou

Figure 40 : Coupes transversales de la crique Karouabo

1.3.3.2 Fonctionnement hydrodynamique

La crique Karouabo s'écoule vers l'océan à vitesse faible du fait d'une topographie peu marquée. Dans les marrés et pripri latéraux, les écoulements sont également diffus et dépendant de la pluviométrie.

Le fonctionnement hydrodynamique du réseau de drainage du bassin versant de la Karouabo est complexe du fait de l'absence de drain canalisant les eaux de façon directe. Les eaux pluviales s'accumulent dans les savanes et alimentent par surverse et de façon diffuse les pri-pri inondées accompagnant la Karouabo et au final cette dernière.

La vitesse d'écoulement a été estimée à environ 2 m/min lors de la campagne de terrain réalisée en saison des pluies au niveau du bouchon. Il s'agit d'une vitesse très faible liée à la très faible pente de la crique d'amont vers l'aval. En saison sèche, la vitesse d'écoulement est nulle, en effet la surface est recouverte d'un agglomérat de matière organique que semble dénué de tout mouvement.

Il n'a pas été observé de changement de courant lié à l'influence dynamique des marées. Cette observation importante tend à confirmer l'absence ou du moins les faibles connexions directes (notamment en saison de basses eaux) entre la crique et l'océan. Le réseau hydrologique de la Karouabo et des zones humides autour de cet axe semble endoréique durant une grande partie de l'année. Ce phénomène ne serait néanmoins que partiel. En période de hautes eaux, les eaux s'échappent au niveau du bouchon (observation d'un courant à ce niveau en saison des pluies). La crique Karouabo alimente alors par surverse les zones aval et vraisemblablement la mangrove. On peut aussi supposer que la crique alimente les aquifères contenu dans les sables argileux des anciens cordons littoraux et les aquifères situés à la base des formations de COSWINE. L'évaporation et l'évapotranspiration jouent aussi un rôle important dans la dynamique générale des eaux du secteur d'études.

La crique Karouabo est d'ordre 4 maximum selon la classification de Strahler. Les confluences se réalisent dans des secteurs de faibles profondeurs et la végétation semi-aquatique (Moucou Moucou en particulier mais aussi palétuviers) a tendance à se développer, rendant la trace de l'affluent à peine visible

❖ Détermination du débit spécifique :

Le débit spécifique est une mesure de l'écoulement moyen des précipitations au sein d'un bassin versant de cours d'eau. Il se définit comme le débit rapporté à l'unité de superficie du bassin versant. Les limites du bassin versant de la Karouabo sont difficiles à cerner dans la mesure où il n'y a pas réellement de lignes de crête et de topographie bien marquée. Nous prendrons par hypothèse les données bibliographiques pour la définition du bassin versant de la Karouabo, soit une surface de 83.3 km².

REUILLON (1964) a mis au point une formule permettant de définir le débit spécifique de cours d'eau en Guyane :

Pour des bassins versants moyens : $q_s = 112,805 - 18,742 \log(S)$, Avec S la surface du bassin versant en km² et q_s le débit spécifique en l/s/km².

En appliquant cette formule, on obtient un débit spécifique moyen de la Karouabo de 76,8 l/s/km².

❖ Détermination du débit décennal au bouchon

RODIER & AUVRAY ont proposé en 1965 une méthode d'estimation des débits de crues décennales pour les bassins versants de superficie comprise entre 10 et 200 km² en Afrique occidentale. Cette méthode est basée sur les résultats des études hydrologiques de 60 bassins versants répartis en Afrique au sud du Sahara et à l'ouest du Congo. La démarche consiste à classer le bassin étudié dans un groupe de bassins dont les caractéristiques physiographiques sont proches et de définir par abaque les paramètres de la crue décennale.

La mise en œuvre de cette méthode passe par 5 étapes : ☐

- estimation de la hauteur de l'averse décennale moyenne sur le bassin, ☐
- classification du bassin suivant ses caractéristiques, ☐
- étude du coefficient de ruissellement, ☐
- détermination du temps de ruissellement et du temps de montée, ☐
- détermination de la forme de la crue décennale.



Source : « Estimation des débits caractéristiques sur les bassins versants non jaugés en Guyane »

Figure 41 : Formule de la méthode ORSTOM pour l'estimation de la crue décennale

Les éléments de calcul sont donnés ci-dessous :

Terme	Source	Résultat
Superficie bassin versant	Bibliographie	83.3 km ²
précipitation décennale	Source : Météo France	250 mm
Coefficient d'abattement A	Sources : Abaques Rodier	0.93
Pluie décennale moyenne P _{10,BV}	Précipitation décennale x A	232.5 mm
Volume de précipitation décennale Vp	P _{10,BV} x S	19,4.10 ⁶ m ³
Kr ₁₀	Catégorie 3 RODIER	30 %
Tm	lg<10 ; R2 : Tm = 1,5 √S + 2	14 heures
Tb	lg<10 ; R2 : Tb = 3 √S + 6	33.4 heures
Volume ruisselé Vr	Vr = Kr x Vp	5,82.10 ⁶ m ³
Débit moyen de ruissellement M	M = Vr/Tb	48.4 m ³ /s
Coefficient de pointe K	Plaine (R2) ; S >10 km ²	2.30
Débit maximum décennale Q_{max,10}	Q_{max,10} = K x M	111,3 m³/s

Tableau 10 : Calcul du débit décennal de la Karouabo

1.3.4 Qualité de l'eau

Un relevé in-situ des paramètres physique et chimiques a été réalisé en saison humide au niveau du « bouchon » :



Figure 42 : Point de prélèvement des eaux de la crique Karouabo

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Température	Conductivité	pH	O2
27,7 °C	30 µS/cm	5,48	30,3 % - 2,38 mg/l

Dénomination		ES11	
Saison		Humide	Sèche
Température T en °C		Non échantillonné	23,2
pH en u.ph			5,81
Conductivité C en µS/cm			73
Oxygène O ₂	en mg/l		-
	en %		-
DCO en mgO ₂ /l			47,6
DBO en mgO ₂ /l			0,7
Turbidité NTU	Mesure 1		
	Mesure 2		517
	Mesure 3		
Matières en Suspensions MES	Mesure 1		768,6
	Mesure 2		219,4
	Mesure 3		882,6
Chlorures en mgCl/l			12,4
Phosphore total en mgP/l			<0,5
Azote Kjeldhal en mgN/l			<1
Ammonium en mgNH ₄ /l			0,395
Nitrates mgNO ₃ /l			0,03
Nitrites mgNO ₂ /l			0,004
Hydrocarbures totaux mgHCT/l			0,13
Arsenic As en µg/l			20
Cadmium Cd en mg/l		<2	
Chrome Cr en mg/l		41	
Fer Fe en mg/l		12,5	
Plomb Pb en mg/l		2,00	
Sodium Na en mg/l		9,1	
Mercure Hg en µg/l		0,08	

Tableau 11 : Qualité de l'eau de la crique Karouabo

La société HYDRECO a également réalisé des prélèvements dans la crique Karouabo, dans le cadre de la phase 1. Les résultats sont rappelés ci-dessous :

Paramètres	Karouabo Amont		Karouabo UPG		Unités
	07/05/14	04/09/14	06/05/14	04/09/14	
Prélevé le	07/05/14	04/09/14	06/05/14	04/09/14	
pH	5,14	4,70	5,00	4,80	u.ph
Température	24,6	24,7	29,7	28,2	°C
Conductivité	41	47	36	38	µS/cm

Paramètres	Karouabo Amont		Karouabo UPG		Unités
	07/05/14	04/09/14	06/05/14	04/09/14	
Prélevé le	07/05/14	04/09/14	06/05/14	04/09/14	
Oxygène dissous	64	62	46	12	%
	5,3	5,1	3,7	1,5	mg/l
Turbidité	1,88	2,88	1,80	9,18	NTU
MES	6,5	27,0	7,7	90,0	mg/l
	5,4	6,4	9,4	7,7	
	3,6	57,9	11,0	108,5	
ST-DCO	18,0	20,6	74,0	<5	mgO ₂ /l
DBO	0,7	<0,5	0,9	4,0	mgO ₂ /l
Cl	9,8	15,1	9,8	9,8	mgCl/l
NK	0,55	<0,5	0,50	<0,5	mgN/l
P total	1,50	<0,01	1,49	0,02	mg P/l
PO ₄	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	mgPO ₄ /L
NH ₄	<0,03	<0,03	<0,03	0,03	mgNH ₄ /L
NO ₃	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	mgNO ₃ /L
NO ₂	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	mgNO ₂ /L
HCT	<0,05	0,15	<0,05	0,13	mg/l

Tableau 12 : Résultat d'analyse des prélèvements HYDRECO sur la Karouabo

Globalement, les paramètres relevés sont typiques des rivières de Guyane qui présentent une température élevée, un pH légèrement acide et un taux d'oxygène dissous relativement faible du fait de la présence importante de matière organique.

Les variations de températures entre le point de prélèvement « Karouabo Amont et Karouabo UPG s'expliquent par la présence de couvert végétal sur le second point.

On observe très peu de différence de qualité des eaux entre la saison des pluies et la saison sèche, si ce n'est une augmentation de la turbidité et de la concentration en matière en suspension. Il est important de noter que les niveaux enregistrés peuvent être très largement au-delà des 35 mg/l, valeur seuil pour les rejets des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement. Les mesures ont probablement été réalisées juste après un orage qui a entraîné des matières venant des zones environnantes.

La faible DBO montre le peu d'activité biologique bactérienne caractéristique des milieux non dégradés. Cependant la faible concentration en oxygène quelque soit la saison ne favorise pas l'activité biologique. Le pic en DCO et phosphore total que l'on trouve en mai pourrait n'être que ponctuel puisqu'il ne se retrouve pas en septembre. Tous les autres paramètres qualifient une eau de bonne qualité d'un point de vue chimique.

Une légère variation des paramètres s'observe plus généralement entre l'amont et l'aval de la Karouabo :

- La conductivité est légèrement supérieure au niveau de la partie aval de la crique (ES11, prélèvement Antea Group). Elle est en effet de 73 µS/cm sur le point ES11 contre une

moyenne de 43 au niveau des points de prélèvement amont et UPG. Pour autant, cette variation n'est pas significative et ne permet pas d'établir une quelconque relation avec les eaux océaniques.

- La turbidité et la concentration en MES sont également plus fortes à l'aval, ce qui paraît normal au regard des phénomènes d'accumulation et de stagnation des eaux mis en évidence précédemment.

1.4 Crique Malmanoury

1.4.1 Situation hydrographique

1.4.1.1 Localisation géographique

La crique Malmanoury et son bassin versant sont situés sur le territoire du CNES/CSG. La crique draine une partie l'ensemble des installations du centre spatial, notamment les ensembles de lancement Soyouz.

Sa situation géographique par rapport à ces installations fait de cette crique un milieu sensible et d'ores et déjà fortement surveillé.

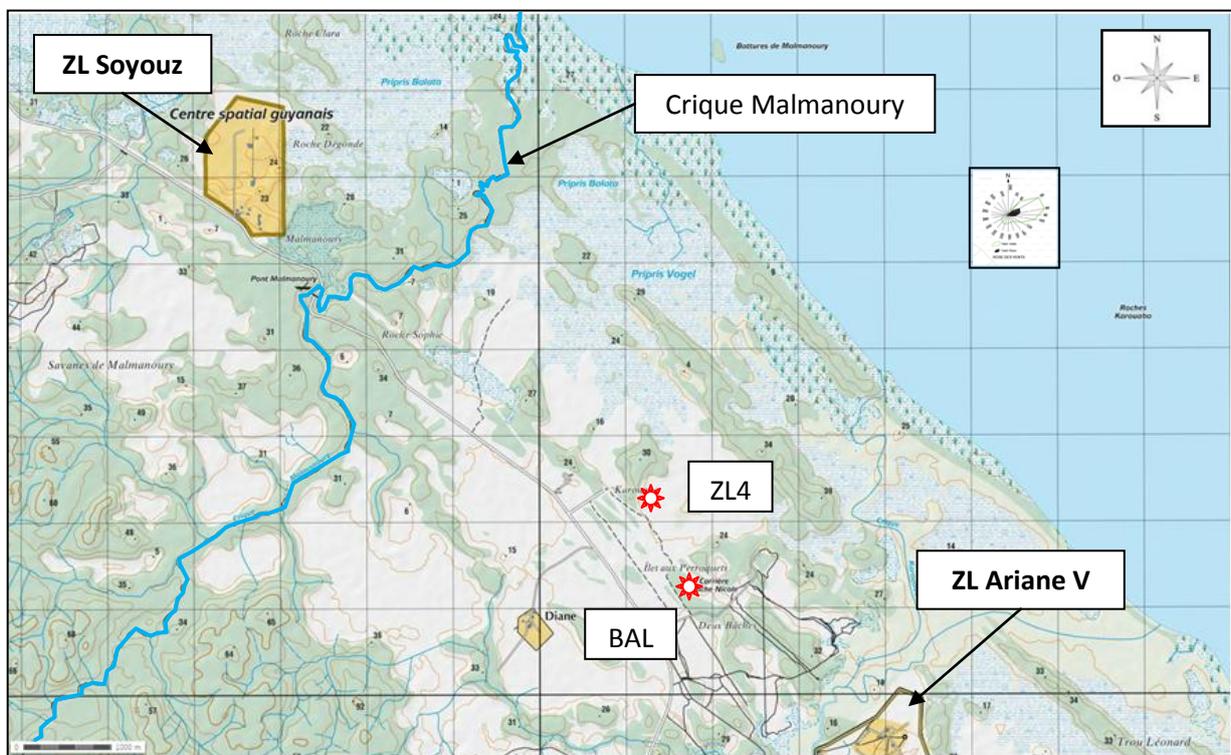


Figure 43 : Localisation géographique de la crique Malmanoury

Les éventuelles retombées de poussières d'Ariane VI depuis la ZL4 seraient, par le vent, dirigées vers le bassin versant de la Malmanoury. Une qualification de l'eau a donc été réalisée en saison sèche et en saison des pluies.

1.4.1.2 Secteur investigué

Dans le cadre de l'analyse de l'état initial hydrologique et hydrogéologique des zones d'implantation des futures installations A6, nous avons investigué la crique Malmanoury afin de comprendre le fonctionnement de ce cours d'eau et de qualifier les eaux en aval d'éventuelles retombées de poussières suivant un tir depuis la ZL4.

La reconnaissance a été menée en navigant sur la crique avec un canoë-kayak à partir du pont de la route de l'espace sur 1,5 km en amont du pont de la RN1 puis 1,1 km en aval du pont en direction de l'océan (Cf. figure ci-après).

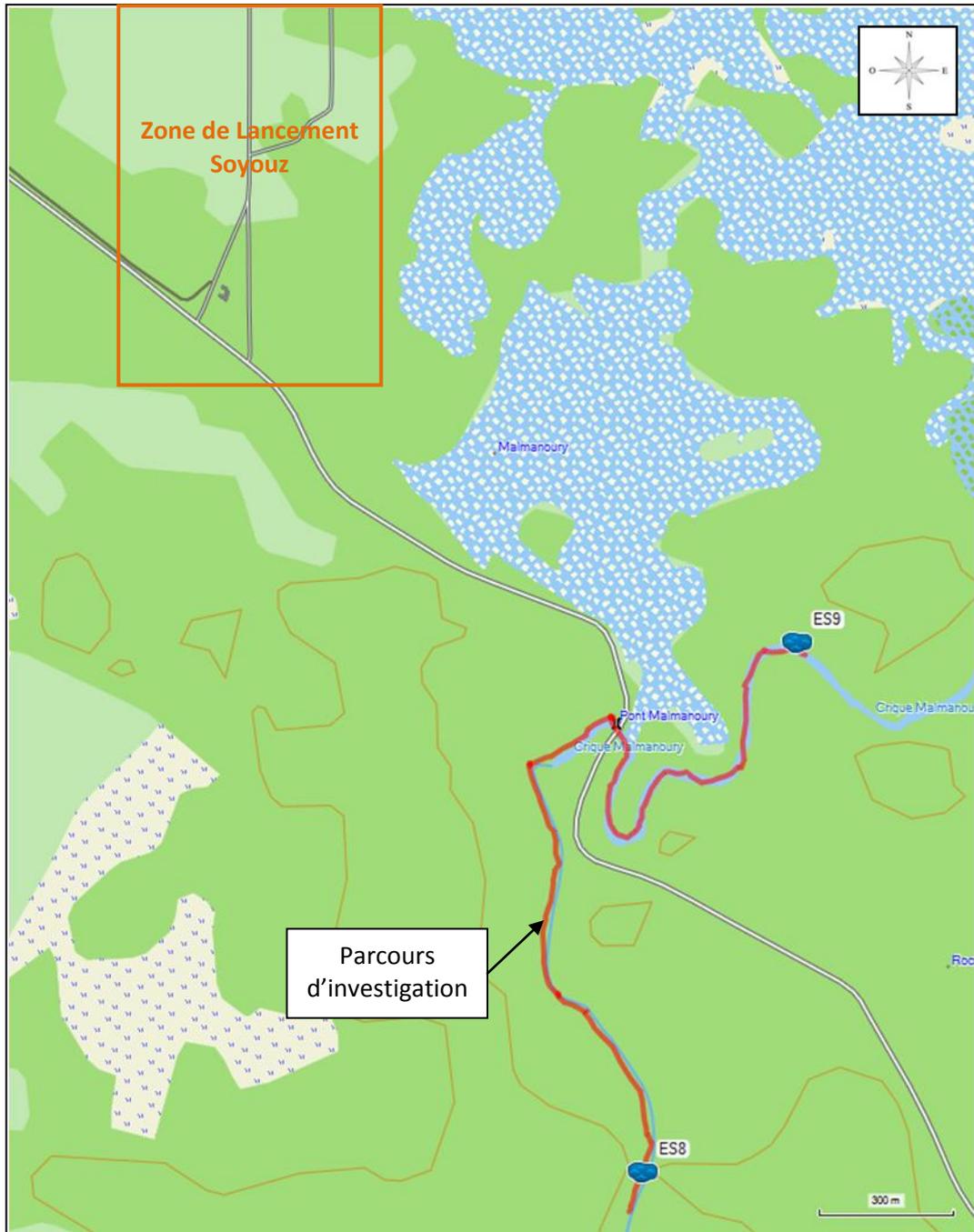


Figure 44 : Longueur de la crique Malmanoury investiguée

1.4.2 Description morphologique du cours d'eau et sa zone d'influence

Lors de l'investigation de la crique Malmanoury, un reportage photographique a été réalisé et la profondeur du cours d'eau a été sondée afin de définir des profils à différents points stratégiques. Les éléments de cette analyse sont décrits ci-dessous.

La crique Malmanoury peut être morphologiquement décomposée en plusieurs unités en relation les unes avec les autres, telles que présentées ci-après :

- Un cours d'eau bordée de forêt basse et inondable avec absence de berges franches et par endroit de la végétation de zones marécageuses sur les bords de la crique (moucou-moucou et palmiers bâche) ;
- Un cours d'eau libre bordée de forêt plus haute avec des berges franches latéritique et parfois des berges granitiques.



Figure 45 : Unités morphologiques de la crique Malmanoury

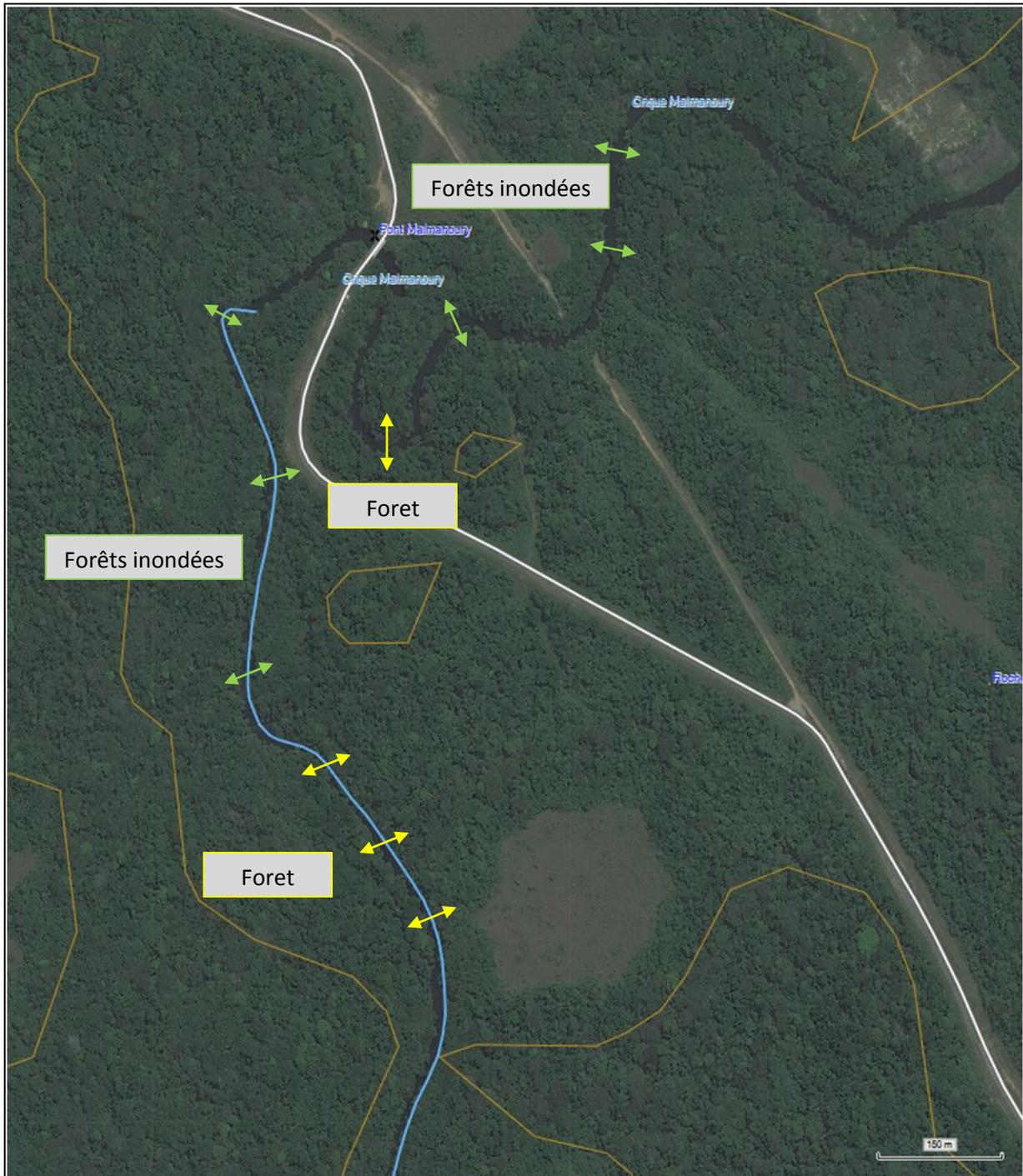
Le substrat de la crique est sableux voir rocheux par endroits.

Sur la partie investiguée, les berges sont en grande partie inondées. En effet, on observe la présence de marques de ruissellement au sein de forêt (petits thalwegs peu marqués) et d'une végétation typique des zones inondées (moucou-moucou, palmiers bâches).

En remontant vers l'amont de la crique Malmanoury, des berges sont observables car exondées, il

s'agit de rivages latéritiques surmontés par les forêts hautes de terre ferme. Les berges sont entamées par la crique créant des méandres et des zones d'effondrement dans leur partie extérieure.

Des berges constituées par le socle rocheux granitique (roche mère) ont également été observées en aval du pont.



Source : Garmin GPS

Figure 46 : Morphologie de la crique Malmanoury



Figure 47 : Socle rocheux et berges latéritiques franches sur les rives de la Malmanoury

Comme pour la crique Karouabo, on observe, en amont du pont de la route de l'espace, la présence de nombreux affluents de la Malmanoury qui forment un réseau ramifié très dense. Cette morphologie est typique d'une zone constituée de petites collines de faible amplitude créant ainsi de petits talwegs inter-collinaires. Les zones basses ainsi dessinées le long d'affluents temporaires sont colonisées par de la forêt inondée.

En aval, le bassin versant de la Malmanoury est constitué du drain principal, et de part et d'autres de savanes inondées, drainées ou pas par des criquet. Dans la partie la plus aval lorsque l'on se rapproche de l'Océan, la mangrove se développe de chaque côté du drain. Le cours de la Malmanoury est alors envasé et très peu profond.

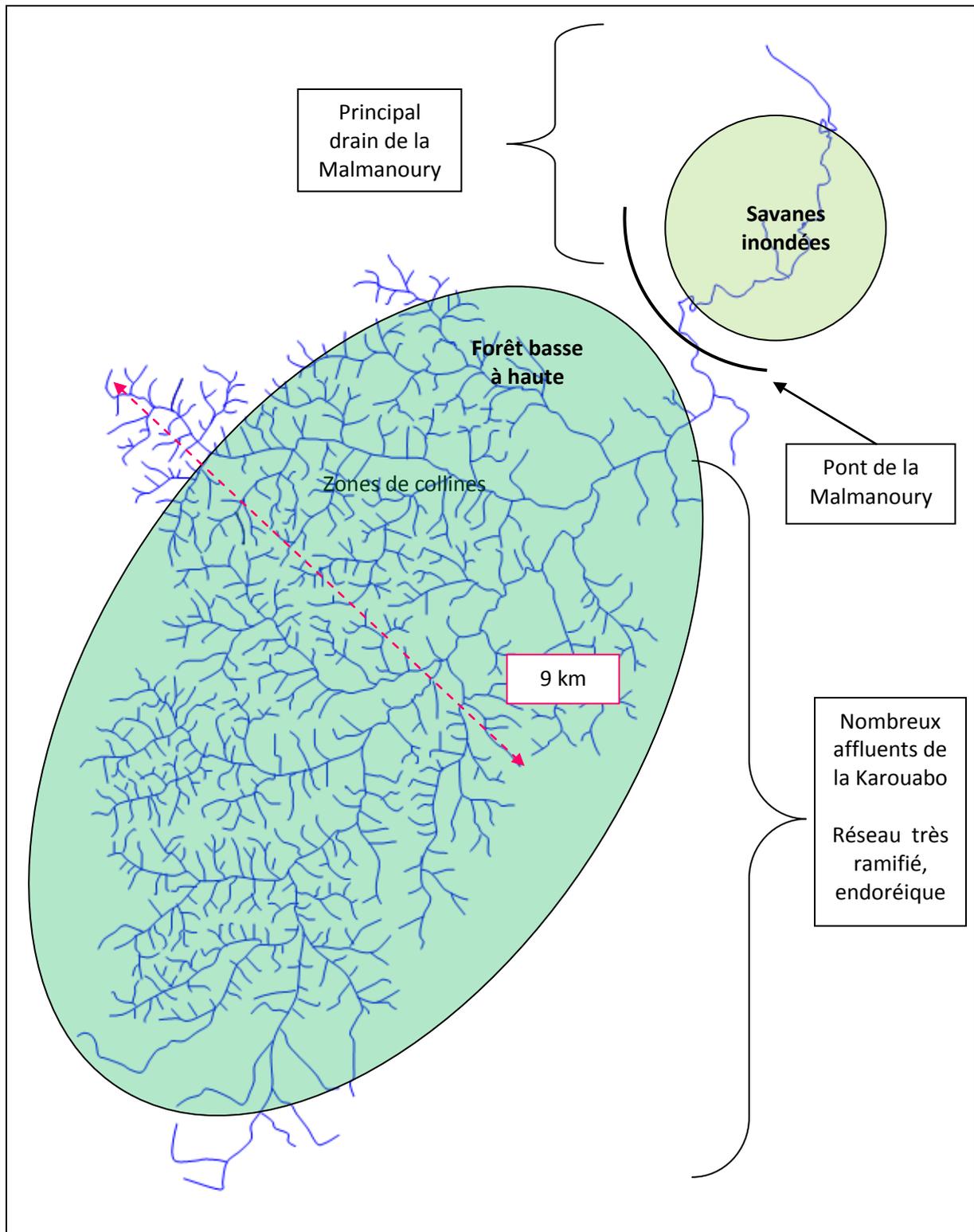


Figure 48 : Coupe longitudinale schématique de la Malmanoury

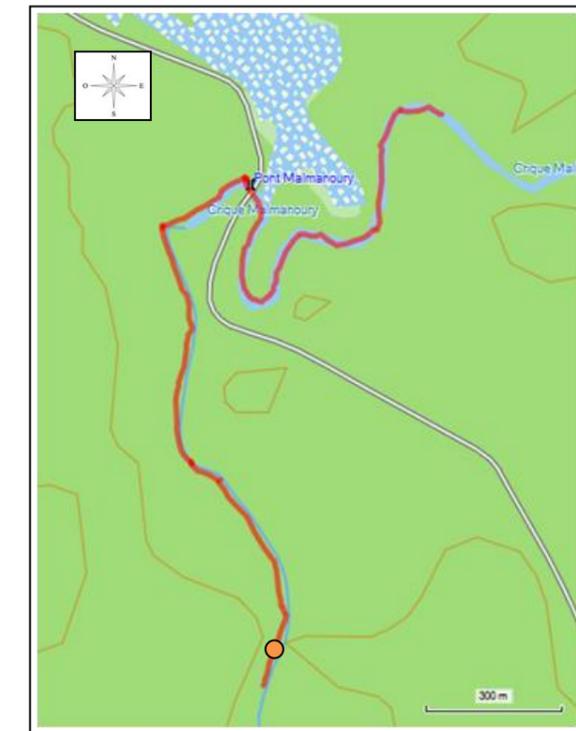
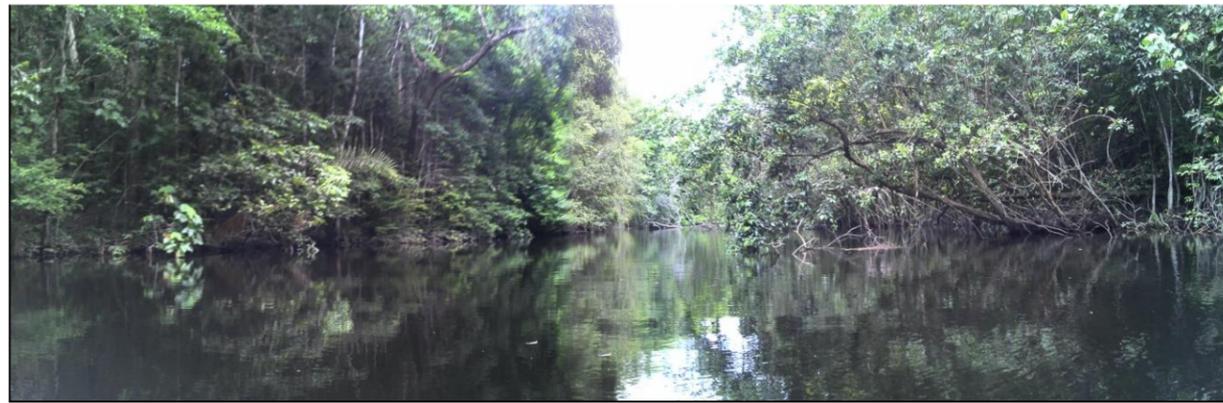
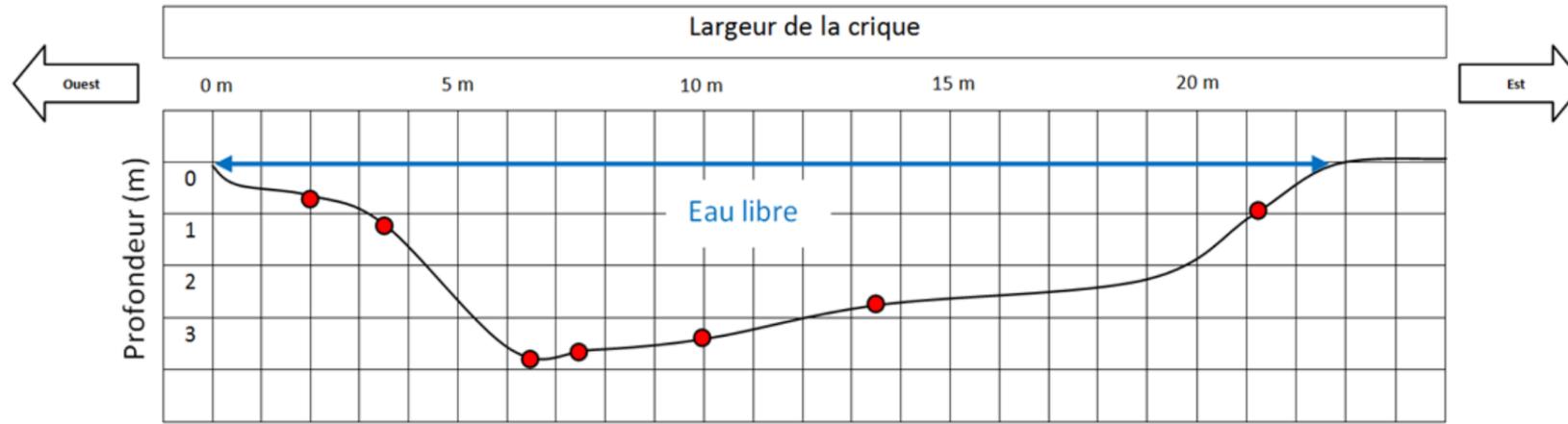
1.4.3 Caractéristiques hydrodynamique

1.4.3.1 Réseau hydrographique

Le sillage de la crique Malmanoury est assez homogène tout au long de la zone investiguée. La largeur de la surface d'eau libre varie de 15 et 25 m de large environ.

La profondeur de la crique varie assez peu elle aussi tout au long de la zone investiguée (environ 4 m de profondeur).

Profil 1 : Crique Malmanoury à environ 1,5 km du pont de la route de l'espace



Profil 2 : Crique Malmanoury à 1,1 km en aval du pont de la route de l'espace

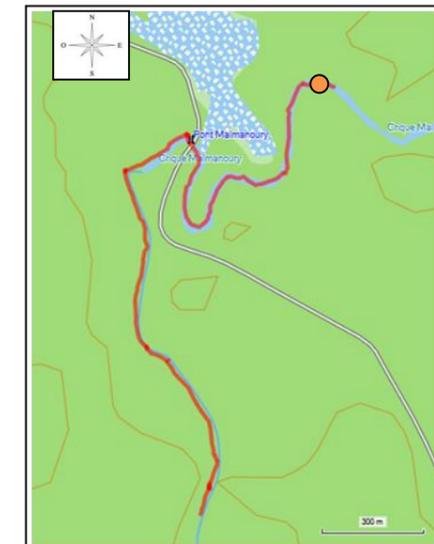
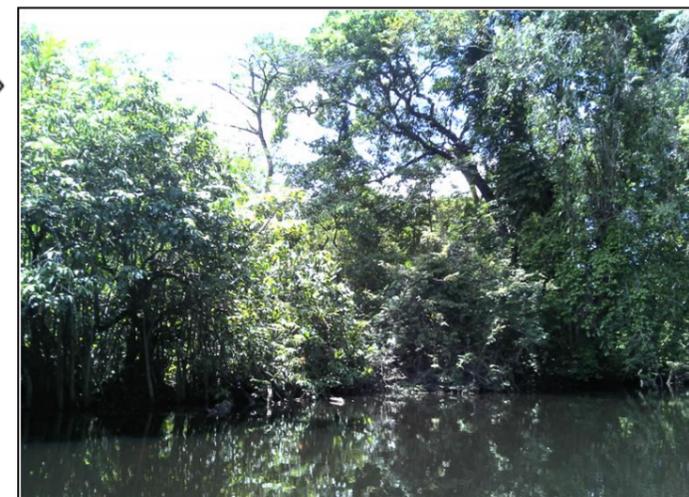
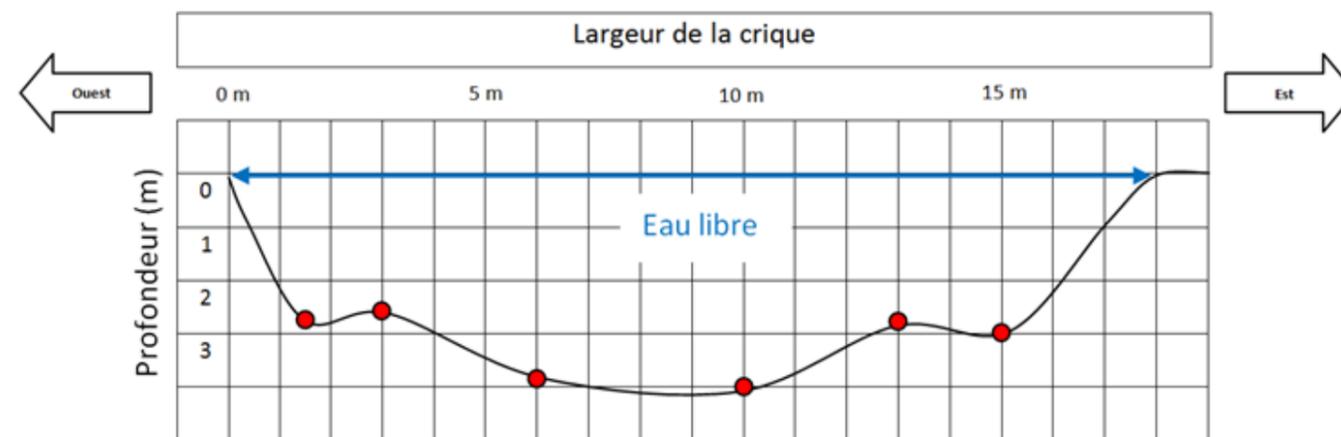


Figure 49 : Coupes transversales de la crique Malmanoury

1.4.3.2 Fonctionnement hydrodynamique

❖ Détermination du débit spécifique :

Le débit spécifique est une mesure de l'écoulement moyen des précipitations au sein d'un bassin versant de cours d'eau. Il se définit comme le débit rapporté à l'unité de superficie du bassin versant. Les limites du bassin versant de la Malmanoury sont difficiles à définir dans la mesure où il n'y a pas réellement de lignes de crête et de topographie bien marquée. Nous prendrons par hypothèse les données bibliographiques pour la définition du bassin versant de la Karouabo, soit une surface de 100 km² (R. ROHAN 1990).

REUILLON (1964) a mis au point une formule permettant de définir le débit spécifique de cours d'eau en Guyane :

Pour des bassins versants moyens : $q_s = 112,805 - 18,742 \log (S)$, Avec S la surface du bassin versant en km² et q_s le débit spécifique en l/s/km².

En appliquant cette formule, on obtient un débit spécifique moyen de la Karouabo de 75,3 l/s/km².

❖ Détermination du débit décennal au bouchon

Le débit décennal de la crique Malmanoury est calculé à partir de la méthode de RODIER & AUVRAY décrite précédemment (chapitre 1.3.3.2).

Les éléments de calcul sont donnés ci-dessous :

Terme	Source	Résultat
Superficie bassin versant	bibliographie	100 km ²
précipitation décennale	Source : Météo France	250 mm
Coefficient d'abattement A	Sources : Abaques Rodier	0,93
Pluie décennale moyenne P _{10 BV}	Précipitation décennale x A	232,5 mm
Volume de précipitation décennale Vp	P _{10 BV} x S	23,2.10 ⁶ m ³
Kr ₁₀	Catégorie 3 RODIER	30 %
Tm	lg<10 ; R2 : Tm = 1,5 √S + 2	17 heures
Tb	lg<10 ; R2 : Tb = 3 √S + 6	36 heures
Volume ruisselé Vr	Vr = Kr x Vp	6,96.10 ⁶ m ³
Débit moyen de ruissellement M	M = Vr/Tb	53,7 m ³ /s
Coefficient de pointe K	Plaine (R2) ; S >10 km ²	2,30
Débit maximum décennale Q_{max,10}	Q_{max,10} = K x M	123,5 m³/s

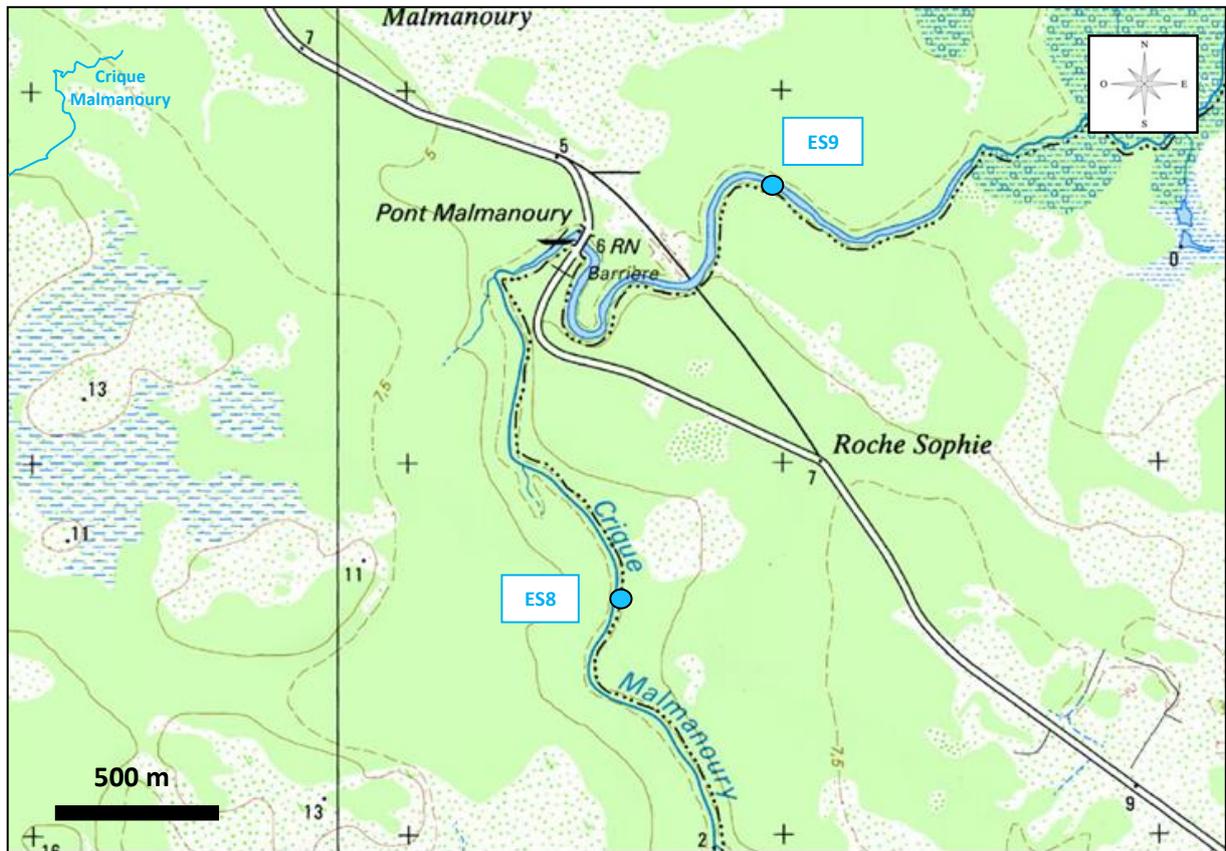
Tableau 13 : Calcul du débit décennal de la Malmanoury

1.4.4 *Qualité de l'eau*

1.4.4.1 Description du point de prélèvement

De par l'orientation des vents (nord-est / sud-ouest), la crique Malmanoury sera susceptible d'être impactée par d'éventuelles retombées atmosphérique lors des futurs lancements.

Les eaux de la crique Malmanoury ont donc été prélevées au droit de deux stations, l'une située en amont du pont de la Malmanoury (ES8), l'autre en aval (ES9).



(Source : Géoportail)

Figure 50 : Localisation des prélèvements ES8 et ES9 le long de la crique Malmanoury sur fond IGN

Le prélèvement ES8 a été réalisé sur la berge ouest de la Malmanoury en amont du pont de la route de l'espace. Au niveau de la station de prélèvement, la crique est large d'environ 15 m et profonde de 0,90 m à 3,80 m. Le fond de la crique est légèrement sableux. L'eau est claire et peu turbide.

Le prélèvement ES9 a été réalisé sur la berge nord de la crique, en aval du pont de la route de l'espace. Au niveau de la station de prélèvement, la Malmanoury est large d'environ 20 m sur une profondeur de 2,75 m à 3,90 m. Le fond de la crique est sableux, il a été noté la présence d'affleurements rocheux à 3,90 m de profondeur et les berges sont légèrement vaseuses. L'eau est claire et peu turbide.

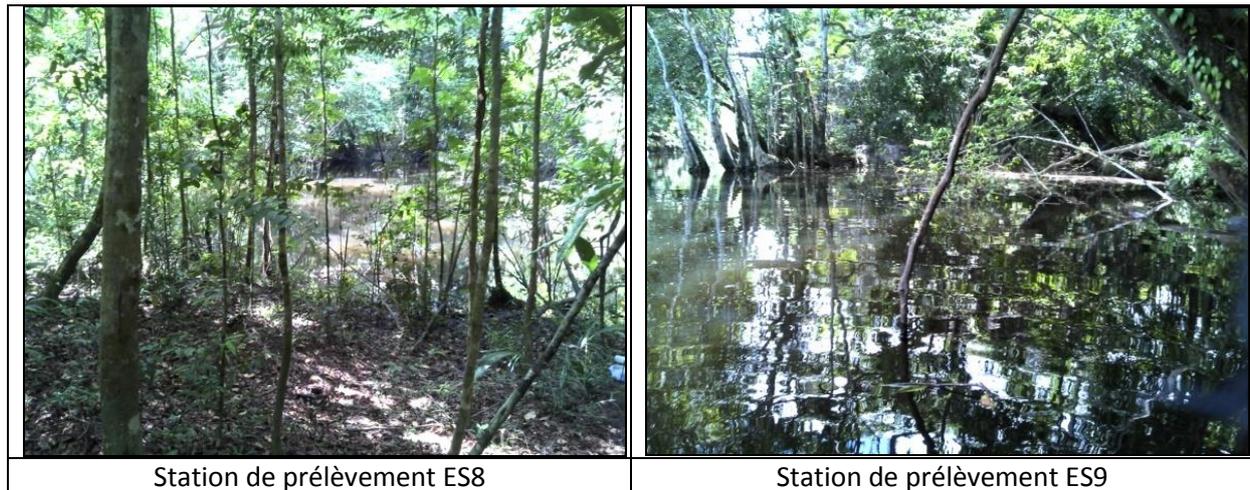


Figure 51 : Photographies des stations de prélèvement des eaux de le Malmanoury

1.4.4.2 Résultats des analyses**Mesures in-situ**

Dénomination	ES8		ES9	
	Humide	Sèche	Humide	Sèche
Température T en °C	25,6	/	/	30,2
pH en u.ph	5,78	6,42	5,59	6,47
Conductivité C en $\mu\text{S}/\text{cm}$	40	30	30	30
Oxygène O ₂ en %	71 (5,80 mg/l)	58,7 (4,48 mg/l)	55,6 (4,52 mg/l)	87,9 (6,69 mg/l)

Tableau 14 : Mesure des paramètres physico-chimiques sur les eaux de la Malmanoury

Les paramètres relevés sont typique des rivières de Guyane qui présentent une température élevée, un pH légèrement acide et un taux d'oxygène dissous relativement faible du fait de la présence importante de matière organique.

La conductivité de l'eau, très faible est due au faible taux de sels minéraux. C'est-à-dire que l'influence marine sur la crique Malmanoury est très faible.

Analyses en laboratoire

Dénomination	Saison	ES8		ES9	
		Humide	Sèche	Saison	Humide
Température T en °C		23,7	34	23,6	30
pH en u.ph		5,36	6,03	5,25	5,85
Conductivité C en $\mu\text{S}/\text{cm}$		34	22,9	32	23,3
Oxygène O ₂	en mg/l	5,0	-	4,3	-
	en %	59	-	49	-
DCO en mgO ₂ /l		57,7	48,4	44,6	50,8
DBO en mgO ₂ /l		1,1	2,5	0,3	4,2
Turbidité NTU	Mesure 1	4,09	-	2,72	-
	Mesure 2	3,92	2,79	2,56	5,99
	Mesure 3	3,9	-	2,55	-
Matières en	Mesure 1	7,1	<2,0	8,4	8,8

Dénomination		ES8		ES9	
Saison		Humide	Sèche	Saison	Humide
Suspensions MES	Mesure 2	2,4	3,2	21,3	10,9
	Mesure 3	8,4	15,2	0,2	10,3
Chlorures en mgCl/l		6,7	6	6,0	3,6
Phosphore total en mgP/l		0,06	0,01	0,07	0,04
Azote Kjeldhal en mgN/l		0,62	<0,5	0,68	<0,5
Ammonium en mgNH ₄ /l		0,053	0,056	0,036	0,008
Nitrates mgNO ₃ /l		0,38	0,29	0,31	0,17
Nitrites mgNO ₂ /l		0,011	0,007	0,007	0,006
Hydrocarbures totaux mgHCT/l		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Arsenic As en µg/l		<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Cadmium Cd en mg/l		<0,1	<0,5	<0,1	<0,5
Chrome Cr en mg/l		<0,2	<0,5	<0,2	<0,5
Fer Fe en mg/l		0,49	0,59	0,5	0,34
Plomb Pb en mg/l		<0,1	<0,5	<0,1	<0,5
Sodium Na en mg/l		4,4	6,40	5,0	9,80
Mercure Hg en µg/l		0,14	0,025	0,18	<0,015

Tableau 15 : Résultats des analyses en laboratoire sur les échantillons ES8 et ES9

Paramètre analysé	Saison des pluies 07/01/04	Saison sèche 20/10/03
Oxygène dissous (mg/l)	5.1	4.2
Oxygène dissous (%)	62	53
Carbone organique total (mg C/l)	10.92	7.83
Carbone organique particulaire (mgC/l)	0.62	0.39
Température (°C)	25.2	27.1
Conductivité (µS/cm)	45.0	80
Turbidité (NTU)	3.83	2.54
Alcalinité (°F)	0.24	0.55
Chlorures (mgCl/l)	9.05	5.50
Sulfates (mgSO ₄ /l)	1.66	4.22
Nitrates (mgNO ₃ /l)	0.42	0.5
pH	4.72	5.52
Aluminium (µg/l)	7.37	92.26
Fer (µg/l)	439	499
Manganèse (µg/l)	21.82	89.6
Cadmium (µg/l)	< 0.04	< 0.04
Plomb (µg/l)	1.28	0.27
Cuivre (µg/l)	2.65	1.04
Nickel (µg/l)	2.13	2.96
Chrome total (µg/l)	1.61	3.95
Hydrocarbures dissous (µg/l)	< 50	< 50

Source : Synthèse de données relatives à l'environnement de l'ensemble de Soyouz

Tableau 16 : Résultats d'analyses sur les eaux de la Malmanoury dans le passé

1.4.4.3 Analyses critiques et commentaires

Température

Les eaux échantillonnées présentent des caractéristiques de faciès des eaux de régions équatoriales ; la température des eaux est élevée.

Acidité et minéralisation

Le pH de l'eau est légèrement acide, cette valeur est dans les standards du fond géochimique. Les valeurs de conductivité (<200 µS/cm) sont caractéristiques d'une eau douce et faiblement minéralisée.

Oxygène dissous et saturation en oxygène

Les teneurs en oxygène des eaux sont caractéristiques d'une eau de bonne qualité.

Charges en matières organiques

Le rapport de DCO/DBO en saison humide montre une pollution organique, particulièrement en aval du pont de la route de l'espace.

- DCO/DBO(ES8) = 55
- DCO/DBO(ES9) = 168

En saison sèche les valeurs de DCO et de DBO à 5 jours permettent de rejeter l'hypothèse de rejets en amont et sont significatives d'une eau assez vive et pure.

Matières en suspension et turbidité

Les valeurs de turbidité et de MES des échantillons sont caractéristiques d'une eau claire.

Éléments en solution

Les concentrations de chlorures n'indiquent pas de possible répercussion des activités anthropiques sur ces eaux. Néanmoins, une quantité significative de sulfates a été mise en évidence dans la Malmanoury en 2003 sur ces eaux.

Substances eutrophisantes :

La teneur en phosphore et composés azotés ne révèle pas de forte dégradation de la qualité de l'eau pour le développement de la vie aquatique.

Hydrocarbures

Il n'a pas été détecté d'hydrocarbures dans les échantillons d'eau.

Métaux lourds

Les métaux détectés en laboratoire (Fe, Hg) correspondent aux métaux caractéristiques du fond géochimique guyanais.

1.4.4.4 Conclusion

Les eaux de la crique Malmanoury apparaissent de bonne qualité. On observe très peu de variations des paramètres entre la saison sèche et la saison des pluies.

2 Etude hydrogéologique

2.1 Zone de Lancement (ZL4)

2.1.1 Géologie

La zone de lancement 4 occupe un secteur composé de plusieurs formations géologiques dont majoritairement appartenant aux formations de COSWINE. Ce sont des terrains sédimentaires récents datant du quaternaire. Leur épaisseur est généralement faible et des affleurements rocheux du socle cristallin sont également observables.

Les sols appartenant à la série de COSWINE se différencient en fonction de leur formation d'origine marine et subcontinentale (Grés tendres jaunes, Argiles rouges et blanches, Sables argileux et gravillons) ou fluviomarine (Argiles rouges et blanches, Concrétions latéritiques remaniées, Argiles sableuses).

Les dépôts sédimentaires fluviomarins sont formés dans les cours inférieurs des fleuves et leur estuaires sont généralement plus sableux que les dépôts marins et contiennent parfois des concrétions latéritiques.

Une troisième série de formation est également présente dans la zone ZL4, composée de sables jaunes légèrement consolidés en surface et recouvrant les argiles blanches et rouges de la série de COSWINE. Ils s'organisent parallèlement au trait de côte, ce sont les cordons littoraux anciens, ou barres littorales témoins des mécanismes de régression et de transgressions de l'Océan. Ces structures matérialisent les anciens traits de côte. Comme dans les savanes, les sables affleurant sont grossiers et grisâtres.

Il a été reconnu des zones rocheux épars dans les savanes et au niveau de bosquets. Le site de Roche Christine où seront installées les infrastructures de la ZL4, laisse apparaître une forme « en dos d'hippopotame » qui émerge des sables argileux de la série de Coswine. D'autres affleurements (Savanes Roches) ont été repérés dans les savanes environnantes. Il semble que la répartition des ces roches dessine une dorsale sur le secteur de la roche Nicole/Christine/Nord Kikiwi. La formation reconnue et absente de la carte géologique correspond à des leucogranites, c'est-à-dire des granites clairs, riches en minéraux comme le quartz et des feldspaths sodiques. Ils sont comparables à l'affleurement à proximité de la crique Malmanoury et sont probablement liés à la phase tectonique dite Caraïbe. Ils peuvent être parcourus par des filons métriques de pegmatites orientés Est-Ouest.

La série détritique de base n'a pas été reconnue sur le site lors des investigations mais elle est probablement présente notamment dans les fosses dessinées par le socle granitique. Elle est représentée par des sables grossiers riches en minéraux lourds.

2.1.2 Pédologie

Six sondages à la tarière ont été réalisés à proximité et au droit de la ZL4.

Le premier, ZL4 T1, fait clairement apparaître du sable gris fin sur la totalité du sondage, soit un mètre de profondeur. Ce sondage a été réalisé sur un léger sursaut topographique, vraisemblablement un cordon sableux ou bien témoins du phénomène de podzolisation de la série de COSWINE.

Le second, ZL4 T2, réalisé dans une zone de savane herbacée met en évidence ce même sable gris foncé, légèrement vasard sur environ 80 cm de profondeur. A partir de 80 cm, la proportion de passes argileuses sableuses ocre est de plus en plus marquée, jusqu'à l'obtention d'une argile sableuse ocre clairement définie et appartenant à la série de COSWINE.

Ce dernier sondage met en évidence les phénomènes d'accumulation des eaux dans le sous-sol à faible profondeur dans les zones de savanes basses, permettant ainsi la décomposition lente de la matière organique et la formation d'un horizon légèrement vasard.

A proximité des cordons de forêt (ZL4 T3 et ZL4 T4), les argiles plastiques ocres bariolées typiques de la série de COSWINE, sont plus proches de la surface (à partir de 30 cm).

Au droit des sondages ZL4 T5 et ZL4 T6, on retrouve en surface une épaisseur de sable gris comprise entre 30 et 40 cm surmontant les argiles ocre typique de la série de COSWINE, déjà observées au droit du sondage ZL4 T2.

De façon générale, on a donc un cordon sableux bien mis en évidence au droit du sondage T1. En remontant vers le nord-est, les sondages T2, T5 et T6 présentent encore une portion de sables en surface, vraisemblablement vestiges du cordon sableux proche qui se meurt. Les sondages T3 et T4 mettent en évidence les argiles de Coswine.

La figure suivante présente la localisation des sondages réalisés sur la ZL4 ainsi que les cordons sableux repérés.

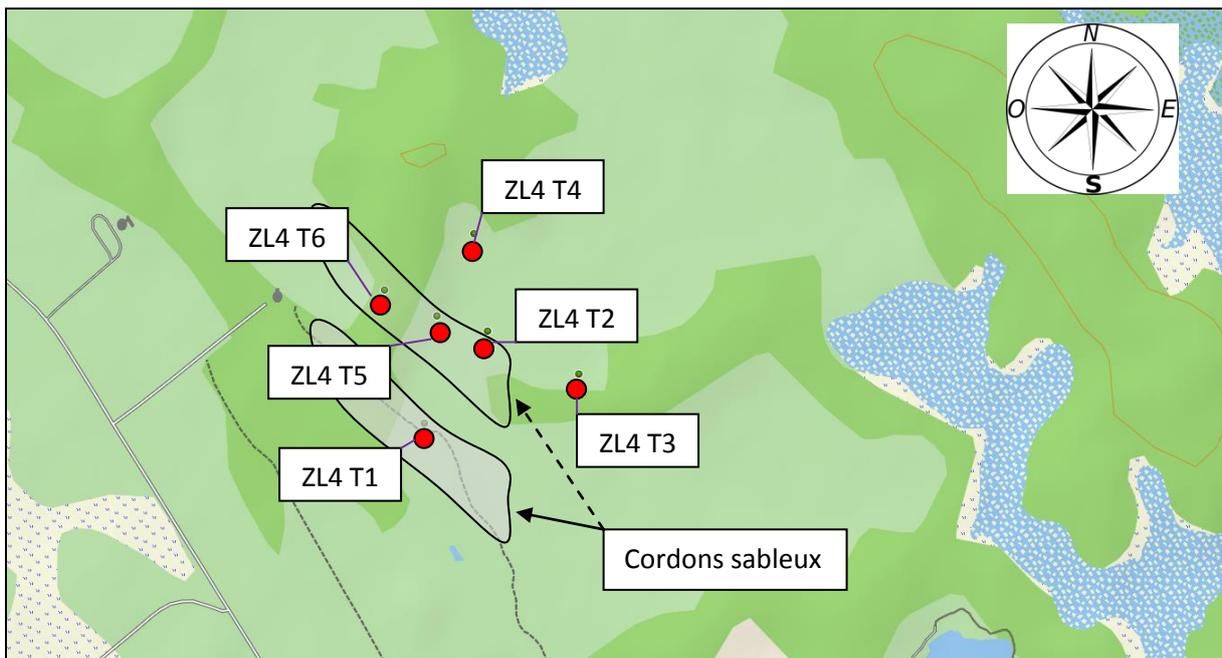


Figure 52 : Sondages réalisés au droit de la ZL4

2.2 Zone de préparation (BAL)

2.2.1 Géologie

Les formations géologiques au droit du secteur BAL sont identiques à celles de la ZL4 (série de Coswine, dépôts marins et fluviomarins et cordons littoraux). Elles sont décrites précédemment.

Le secteur du BAL correspond à un cordon littoral de nature sablo-argileuse. Il fait partie du secteur des savanes hautes, topographiquement plus élevées que les savanes au Nord de la roche Nicole. L'ensemble de la zone laisse apparaître en surface un substrat sableux très blanc à grisâtre mais néanmoins riche en matières organiques : débris végétaux, tourbe et charbons de bois. En profondeur, la proportion d'argile augmente rapidement et constitue une matrice plastique qui différencie ce secteur par rapport aux cordons sableux en amont de la ZL4.

Lorsque l'on se déplace vers le Nord et les zones topographiquement plus basse, les terrains deviennent plus argileux comme au niveau de la zone basse de la ZL4.

Il n'a pas été repéré d'affleurements rocheux sur cette zone. Ils sont présents plus au Nord au niveau du secteur de la Roche Nicole et dans les savanes basses situées à proximité.

❖ Carte géologique du secteur d'étude

L'ensemble des formations ont été repéré sur et autour du site. Elles se répartissent schématiquement de la façon suivante selon une coupe Nord Sud :

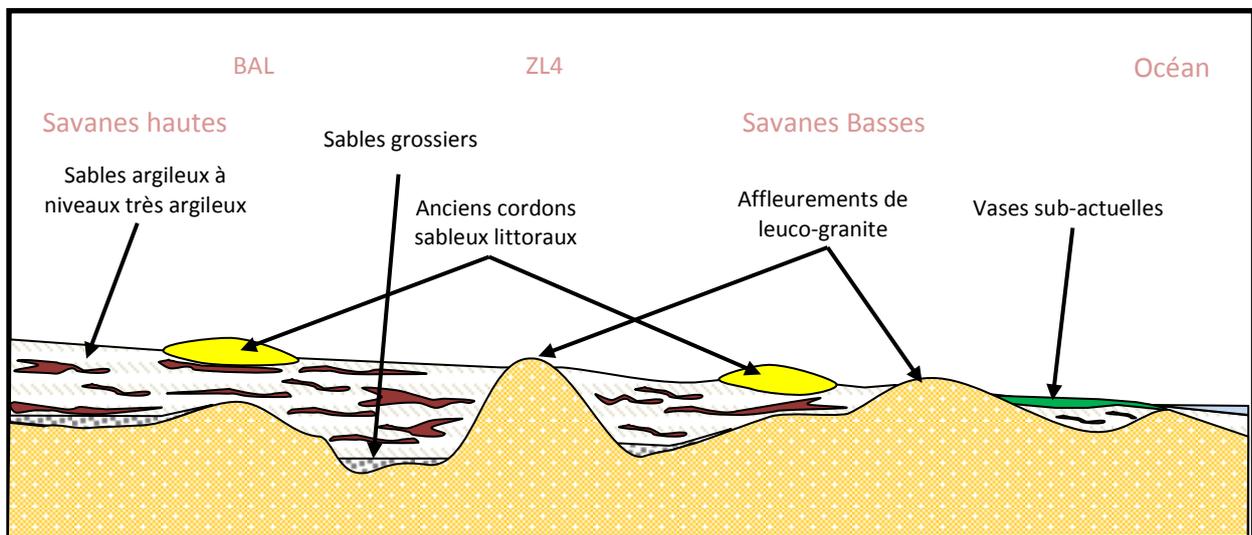


Figure 53 : Schéma de la géologie du secteur

2.2.2 Pédologie

Quatre sondages ont été réalisés à proximité du futur bâtiment d'assemblage. La lithologie est approximativement la même sur tout le secteur. On retrouve ainsi, une première épaisseur de sable argileux tourbeux gris/noir comprenant le réseau racinaire dans les premiers centimètres dont la proportion de matière organique diminue avec la profondeur au même titre que la couleur s'atténue. A partir de 20, 30 cm le sable devient de plus en plus argileux et prend une coloration ocre. Ce dernier recouvre une argile plastique de couleur ocre vive avec quelques pisolithes rouges.

Au droit du sondage BAL T2, les argiles ocre ne sont pas observées mais elles sont supposées à une profondeur supérieure à 1 m. En effet, jusqu'à 80 cm de profondeur, le sol est composé d'argile tourbeuse présentant de nombreux débris de végétaux. Il s'agit probablement d'une zone d'accumulation d'eau. A partir de 80 cm de profondeur, le sol devient de couleur plus claire, tendant très légèrement vers la couleur ocre.

Seul le sondage BAL T4 présente des sables gris tout au long de la coupe géologique. En effet, ce dernier a été réalisé au droit d'un ancien bras de la crique Karouabo.

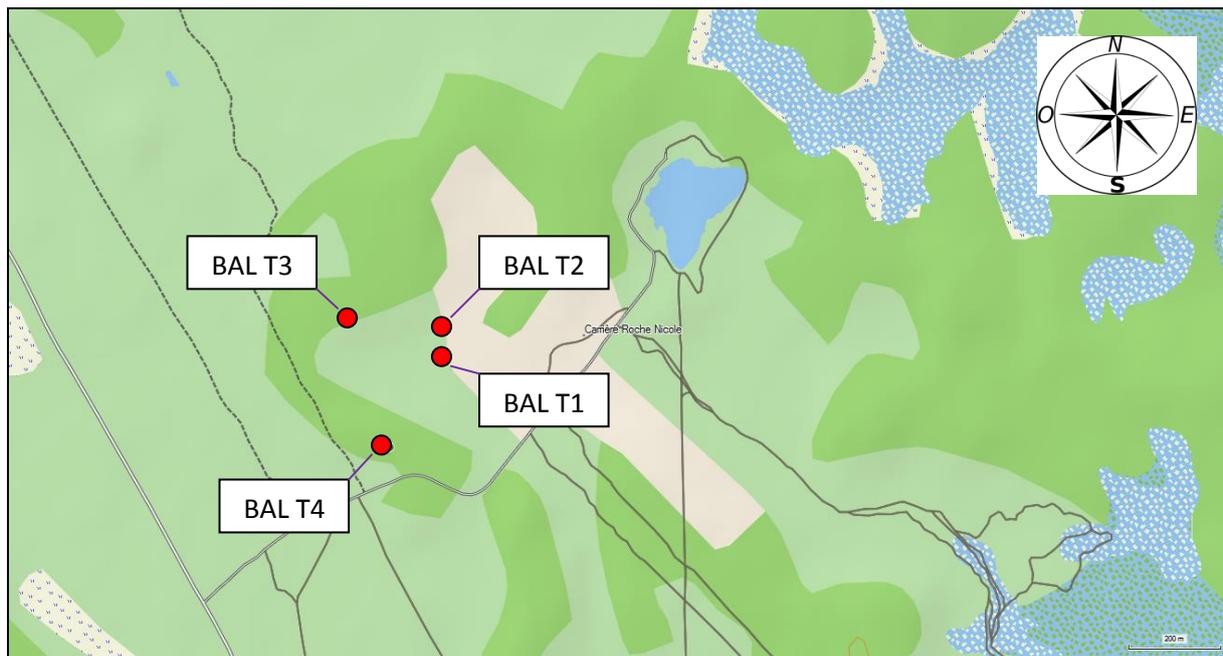


Figure 54 : Sondages réalisés au droit du secteur BAL

Les fiches de sondage de sol à la tarière manuelle sont présentées en **annexe1**.

2.3 Hydrogéologie de la zone d'étude

2.3.1 Objectifs d'état quantitatif et qualitatif des masses d'eaux souterraines du bassin

Les éléments ci-après proviennent du SDAGE de Guyane.

Les prélèvements d'eau souterraine en Guyane pour l'alimentation en eau potable ainsi que pour des usages agricoles et industriels n'occasionnent à priori pas de déséquilibre entre les débits pompés et la recharge des masses d'eau concernées. Sur le plan quantitatif, l'ensemble des masses d'eau souterraines de la Guyane peut être actuellement considéré comme étant en bon état. L'objectif pour la période 2016-2021 est de maintenir le bon état quantitatif des masses d'eau souterraines.

Le contexte géologique, les faibles pressions anthropiques exercées et la quasi-absence de relation eau de surface / eau souterraine limitent les risques de pollution de la masse d'eau du socle. Cette dernière est donc considérée comme étant en bon état chimique.

La masse d'eau sédimentaire du littoral constitue une succession de nappes aquifères d'extension modérée. Il est donc parfois possible d'observer une pollution ponctuelle localisée, sans que cela ne soit représentatif de l'ensemble de la masse d'eau. La masse d'eau sédimentaire est également considérée comme étant en bon état chimique.

Au même titre que pour l'état quantitatif, l'objectif pour la période 2016-2021 est de maintenir le bon état chimique des masses d'eau souterraines de Guyane.

L'importante évolution démographique de la Guyane contribuera à accentuer les pressions sur les masses d'eau souterraines. Avec le doublement de la population à l'horizon 2030, la demande en eau augmentera, les pollutions diffuses et les risques de pollution accidentelle également. Afin de maintenir le bon état de ces masses d'eau, le respect des prescriptions définies dans les Périmètres de Protection de Captage (PPC) sera essentiel. Pour cela, une attention toute particulière devra être accordée à la gestion des conflits d'usages ainsi qu'à la communication sur les PPC et les servitudes associées.

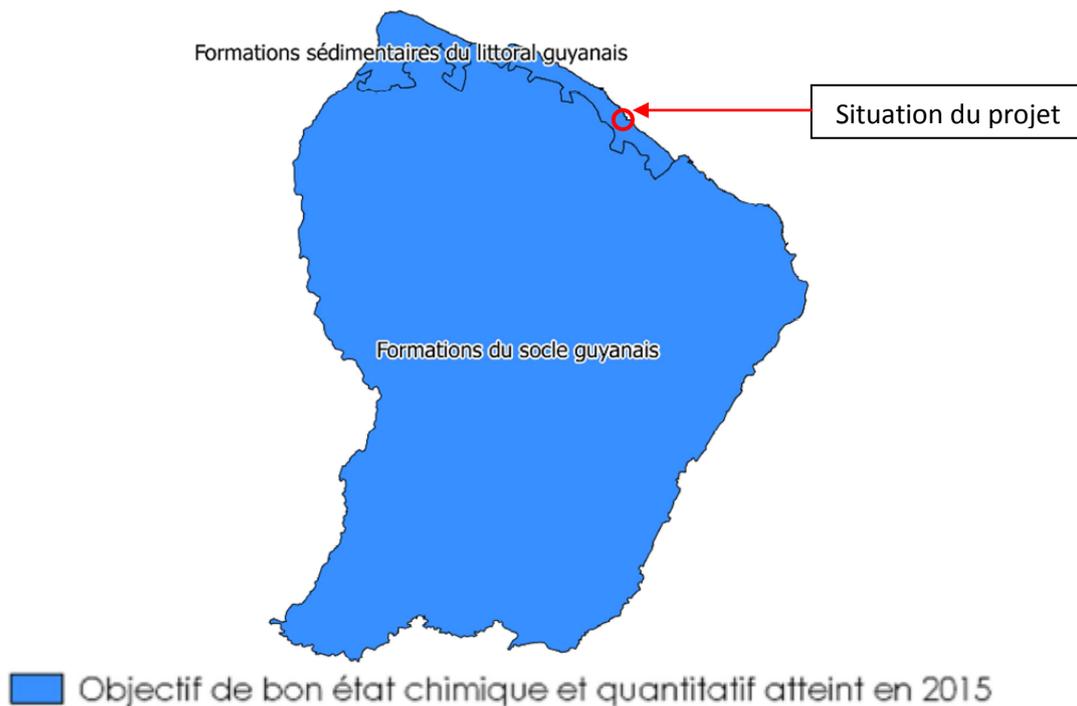


Figure 55 : Carte d'objectifs d'état des masses d'eau souterraines de Guyane

L'inversion de toute tendance à la hausse, significative et durable, de la concentration de tout polluant dans les eaux souterraines résultant de l'impact de l'activité humaine est un des objectifs environnementaux de la directive cadre sur l'eau (DCE).

L'ELA 4 est situé sur la masse d'eau FR 9311 (nappe de Coswine Démérara II) qui, comme toutes les masses d'eaux souterraines guyanaises, est de bonne qualité. La masse d'eau souterraine sédimentaire FR 9311 « nappe des séries Coswine-Démérara II » est constituée d'aquifères multicouches localement captifs et en relation possible avec le biseau salé souterrain.

Le CNES veillera à ce que toutes les parties prenantes respectent travaillant sur le terrassement de l'ELA 4 respectent les engagements environnementaux pris dans le cadre de la politique Qualité du CNES, notamment en matière de risque de pollution des eaux et des sols.

2.3.2 Essais de perméabilités

Les sols ont la capacité de laisser s'infiltrer les eaux météoriques et superficielles. Mais leurs comportements diffèrent en fonction de leur nature. En effet, un sol sableux va avoir tendance à laisser rapidement passer les eaux, alors qu'un sol argileux va favoriser le ruissellement. Les sols argileux ont une granulométrie fine à très fine. Les particules ont tendance à gonfler en présence d'eau (d'une fluide) et les sols se saturent alors rapidement jusqu'à présenter un faciès peu perméable.

Sur la zone d'étude, 3 essais de perméabilité dit de Porchet ont été réalisés afin de qualifier les 3 principales formations rencontrées sur et autour des futures zones d'implantation des infrastructures. Les résultats sont fournis ci-après.

Point de mesure	Localisation (RGFG 94, UTM 22N)	Géologie	Contexte	Perméabilité (m/s)
Point d'essai 1	X : 30 11 47 Y : 58 20 91	Formation sableuse légèrement argileuse de type cordon littoral	ZL4	$4,9.10^{-3}$
Point d'essai 2	X : 30 13 53 Y : 58 23 01	Formation argilo sableuse de savane basse	ZL4	$9,7.10^{-5}$
Point d'essai 3	X : 30 16 61 Y : 58 14 25	Formation argilo sableuse sous forêt basse (Coswine)	BAL	$9,43.10^{-8}$

Tableau 17 : Résultats des essais de perméabilités

Les résultats obtenus par le biais des tests porchet sont conformes à se que l'on peut retrouver dans la littérature concernant les formations rencontrées.

La carte de localisation des essais est donnée ci-dessous :

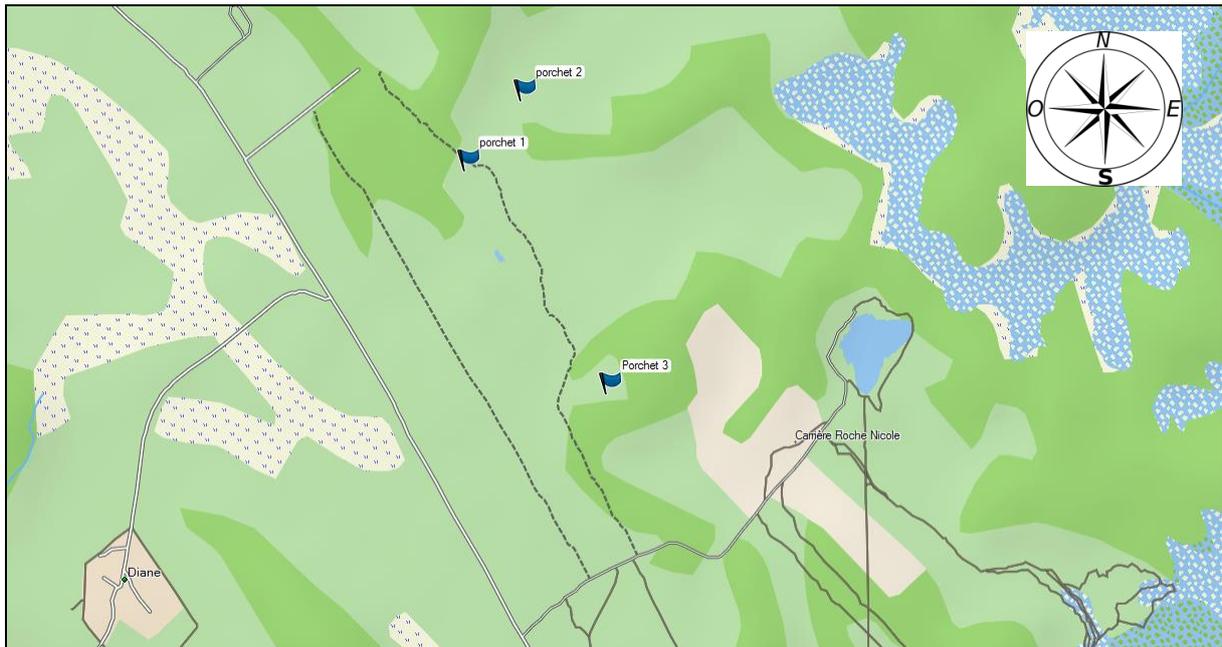


Figure 56 : Localisation des essais Porchet



Essais Porchet 1

Essais Porchet 2

Essais Porchet 3

Figure 57 : Photographie des zones d'essais de perméabilité

Les trois formations présentes sur la zone d'études ont été qualifiées du point de vue de leurs sensibilités à l'infiltration. Les secteurs où sont implantés les cordons dunaires (sables peu argileux) sont les plus sensibles. Leur perméabilité est importante de l'ordre de 10^{-3} m/s soit une vitesse d'infiltration potentielle de 430 m/j. Les zones de savane basse bien que qualifiées d'hydromorphes (formation argilo-sableuses) présentent une perméabilité faible de l'ordre de 10^{-6} m/s soit une vitesse d'infiltration potentielle de 0,08 m/j. Cela en fait des milieux moyennement sensibles. Les zones sous forêt en arrière des cordons dunaires (argiles compactes) présentent une perméabilité très faible de l'ordre de 10^{-7} m/s soit une vitesse d'infiltration potentielle de 0,008 m/j. Cela en fait des milieux moyennement sensibles.

Les formations sus-jacentes sont un facteur important de protection des aquifères. Elle détermine la vulnérabilité de ces derniers notamment pour les nappes peu profondes comme cela est le cas dans la zone d'études.

2.3.3 Mesures de la piézométrie

Aucun piézomètre existant ne permet de faire un état initial de la qualité des eaux souterraines à proximité des futurs ensembles de lancement d'Ariane 6, et la pose de piézomètres sur un chantier de terrassement de cette ampleur n'est pas envisageable, (circulation d'engins type tombereau et

pelles induisant un fort risque de destruction des piézomètres rapide).

Néanmoins, dans le cadre de l'étude et en l'absence de réseau de piézomètre et de données sur place (les données de forages pressiométriques de la société GEOTEC font état de venues d'eau mais de façon non stabilisées, ces données ne sont pas exploitables dans la mesure de la piézométrie des sites), nous avons réalisé quelques relevés piézométriques dans les ouvrages existants à l'Usine de Propergol de Guyane et sur la Zone de Lancement Ariane 6.

Les résultats sont présentés ci-après.

2.3.3.1 Localisations des points de prélèvement

Les prélèvements ont été réalisés dans deux piézomètres :

- Le piézomètre UPG-Témoins ;
- Le piézomètre ELA3-1.



Photo 3 : Station de prélèvement PZ ELA3-1



Photo 4 : Station de prélèvement PZ UPG-Témoin

Leur localisation est représentée sur la Figure 58 ci-après.

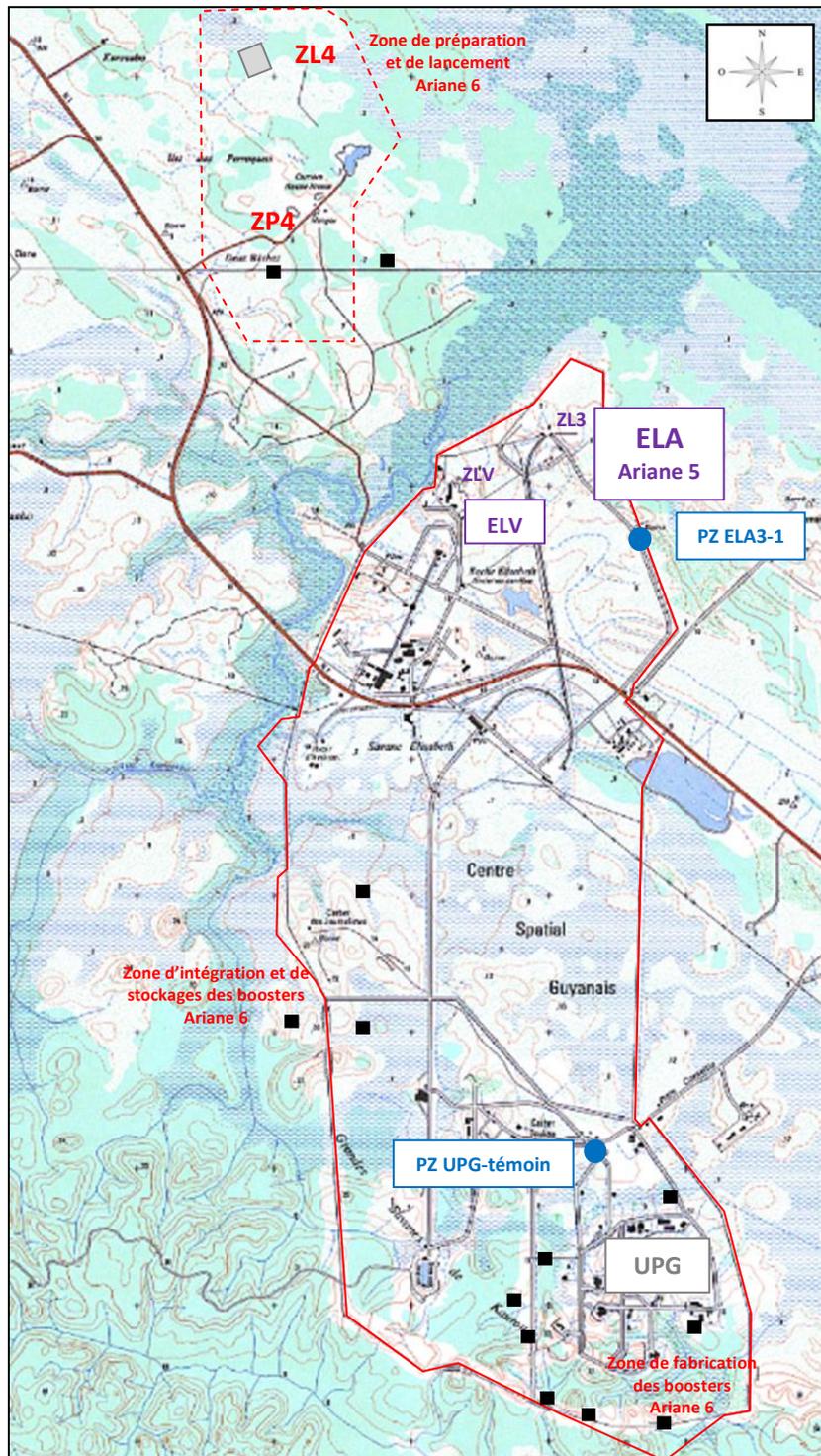


Figure 58 : Localisation des prélèvements PZ ELA3-1 et PZ UPG-témoin sur fond IGN (source : Géoportail)

Le sens d'écoulement régional des eaux est dirigé vers le nord-est, vers la ligne de côte et l'océan. Les piézomètres UPG-témoin et ELA3-1 sont des témoins des profondeurs de la nappe au niveau des zones de collines et en aval au niveau des zones de savanes.

La profondeur de la nappe relevée dans chaque piézomètre est indiquée dans le tableau ci-après.

	piézomètres UPG-témoin		Piézomètres ELA3-1	
Date	12/06/2014	03/09/2014	18/06/2014	03/09/2014
Niveau piézométrique m/TN	1,79	2,84	2,62	3,73

Tableau 18 : Mesure de la piézométrie

Le niveau d'eau de l'aquifère, supérieur au niveau des savanes, est proche de la surface. La vulnérabilité de la nappe à cet endroit est importante.

2.3.3.2 Qualité des eaux souterraines

Mesures in-situ

Dénomination	PZ ELA3-1		PZ UPG-témoin	
	Humide	Sèche	Humide	Sèche
Température T en °C	/	30,2	/	/
pH en u.ph	5,39	5,55	/	6,30
Conductivité C en $\mu\text{S}/\text{cm}$	110	50	/	80
Oxygène O ₂ en %	30,1 (2,28 mg/l)	34,3 (2,56 mg/l)	/	53,3 (4,06 mg/l)

Tableau 19 : Mesure des paramètres physico-chimiques sur les eaux souterraines :

Analyses en laboratoire

Dénomination	PZ ELA3-1		PZ UPG-témoin	
	Humide	Sèche	Humide	Sèche
Température T en °C	20,0	25,3	23,2	24,3
pH en u.ph	4,56	4,98	5,15	5,73
Conductivité C en $\mu\text{S}/\text{cm}$	44	42	77	71
Oxygène O ₂	en mg/l	2,6	-	4,8
	en %	32	-	56
Turbidité NTU	Mesure 1	9,19	-	712
	Mesure 2	12,9	114	766
	Mesure 3	10,8		434
Matières en Suspensions MES	Mesure 1	12,3	451,0	109,0
	Mesure 2	15,6	179,4	89,6
	Mesure 3	8,7	172,4	36,0
Chlorures en mgCl/l	8,5	8,9	7,1	9,8
Phosphore total en mgP/l	0,1	0,07	1,36	0,19
Azote Kjeldhal en mgN/l	0,50	<0,5	2,22	<0,5
Ammonium en mgNH ₄ /l	0,050	0,092	0,023	0,180
Nitrates mgNO ₃ /l	0,24	0,07	0,35	0,69
Nitrites mgNO ₂ /l	0,010	0,38	0,001	<0,003
Hydrocarbures totaux mgHCT/l	<0,1	0,20	0,11	0,12
Arsenic As en $\mu\text{g}/\text{l}$	<0,5	2,6	<0,5	<0,5
Cadmium Cd en mg/l	<0,1	<0,5	<0,1	<0,5

Dénomination	PZ ELA3-1		PZ UPG-témoin		
	Saison	Humide	Sèche	Humide	Sèche
Chrome Cr en mg/l		<0,2	2,4	<0,2	1
Fer Fe en mg/l		0,59	7,60	5,74	1,30
Plomb Pb en mg/l		<0,1	4,40	<0,1	21
Sodium Na en mg/l		6,5	5,9	5,0	5,5
Mercure Hg en µg/l		0,12	0,12	0,10	0,08

Tableau 20 : Résultats des analyses en laboratoire sur les échantillons PzELA3-1 et PzUPG-témoin :

2.3.3.3 Analyses critiques et commentaires

Température

Les eaux échantillonnées présentent des caractéristiques de faciès des eaux souterraines de régions équatoriales ; la température des eaux est élevée (comprise entre 20°C et 25°C).

Acidité et minéralisation

Le pH de l'eau est légèrement acide, cette valeur est dans les standards du fond géochimique. Les valeurs de conductivité (<200 µS/cm) sont caractéristiques d'une eau douce et faiblement minéralisée.

Matières en suspension et turbidité

Au sein de PzUPG-témoin ainsi que PzELA3-1, l'altération des particules en suspension ne permet pas une bonne aptitude au développement biologique.

Éléments en solution

Les concentrations de chlorures n'indiquent pas de possibles répercussions des activités anthropiques sur ces eaux.

Substances eutrophisantes : les composés azotés et le phosphore

Le taux de phosphore analysé indique une qualité moyenne des eaux voire un indice de pollution de l'eau au niveau du piézomètre de l'UPG en saison humide.

La teneur en composés azotés ne révèle pas de forte dégradation de la qualité de l'eau pour le développement de la vie aquatique.

Hydrocarbures

Il a été détecté une faible quantité d'hydrocarbures dans les échantillons d'eau, il s'agit probablement d'un impact des eaux de ruissellement s'infiltrant au sein de ces nappes de surface. En effet, les deux piézomètres sont implantés à proximité de voiries imperméabilisées.

Métaux lourds

Les métaux détectés en laboratoire (Cd, Fe, Hg, Cr, Pb) correspondent aux métaux caractéristiques du fond géochimique guyanais.

2.3.3.4 Conclusion

Globalement, les eaux souterraines à proximité du secteur d'étude apparaissent de bonne qualité physico-chimique.

2.3.4 Fonctionnement hydrogéologique du secteur d'étude

D'après les données géologiques, on peut identifier plusieurs aquifères potentiels :

- Dans des formations sableuses ou sablo-argileuses des cordons littoraux,
- Dans les niveaux supérieurs et les poches sablo-argileuses des savanes (Coswine),
- Dans les sables des zones de drainage autour des criques et criquot (domaine alluvial),
- Dans les sables de la série détritique de base et la zone altérée des granites en périphérie des massifs.

Les aquifères ont des caractéristiques et des comportements différents selon leur position topographique et la nature des formations géologiques.

Le tableau suivant regroupe les informations synthétiques sur leurs caractéristiques.

Formation géologique	Type d'aquifère	Type de nappe	Vitesse d'infiltration verticale en m/j
Cordons sableux	Superficiel Sables grossiers situés à la base des cordons et reposant sur les formations argilo-sableuses de Coswine Aquifère se développant le long des cordons sableux, moyennement étendu (largeur du cordon) et continu jusqu'aux intersections avec les secteurs alluviaux	Nappe libre Excellente Transmissivité verticale et horizontale	424
Coswine savanes	Superficiel Sables argileux limités au mur par le niveau argileux hydromorphe peu profond. Peu profond dans les zones basses. Aquifère se développant dans les savanes étendues et continu, limité par les cordons sableux	Nappe libre Transmissivité verticale faible après saturation des sols. Transmissivité horizontale moyenne	8.4
	Profond Poches sableuses ou argilo-sableuses Plusieurs aquifères (chenaux) peu étendus et discontinus	Succession de nappes captives Transmissivité verticale et horizontale moyenne à faible	0,86 à 8,6*
Alluviale	Superficiel Sables et graviers distribués latéralement et verticalement le long des drains hydrologiques Aquifères peu étendus le long du cours d'eau (fonction de la largeur	Nappe libre Excellente transmissivité verticale et horizontale	0,86 à 8,6*

Formation géologique	Type d'aquifère	Type de nappe	Vitesse d'infiltration verticale en m/j
	et débit du cours d'eau)		
Série détritique de base et la zone altérée des granites en périphérie des massifs	Profond Graviers grossiers, sables et arénites couvrant le massif rocheux sain ou fracture Aquifère très étendu et continu au-delà des zones amont des bassins versants des criques au sud	Nappe captive Excellente transmissivité verticale et horizontale	8,6*

* Données issues de la bibliographie

Tableau 21 : Caractérisation des aquifères au droit du BAL et de la ZL4

Les essais de perméabilité ont montré que les sables et les argiles sableuses dans les savanes facilitent une alimentation des aquifères par transfert vertical dans les sols. Il en est de même au niveau des zones alluviales autour des criquots. Les transferts des eaux de ruissellement vers les eaux souterraines est plus difficile au niveau des zones argilo-sableuses des savanes basses et des zones de forêt en arrière des cordons sableux. L'infiltration est rendu encore plus difficile avec le caractère hydromorphe des sols qui rend plus difficile les transferts vers les aquifères plus profonds (nappes perchées et nappe de base des formations sédimentaires). Cette disposition va privilégier des transferts d'eau horizontaux vers les zones topographiquement plus basses et les drains hydrologiques.

Une carte simplifiée de la lithologie du secteur est présentée ci-après.

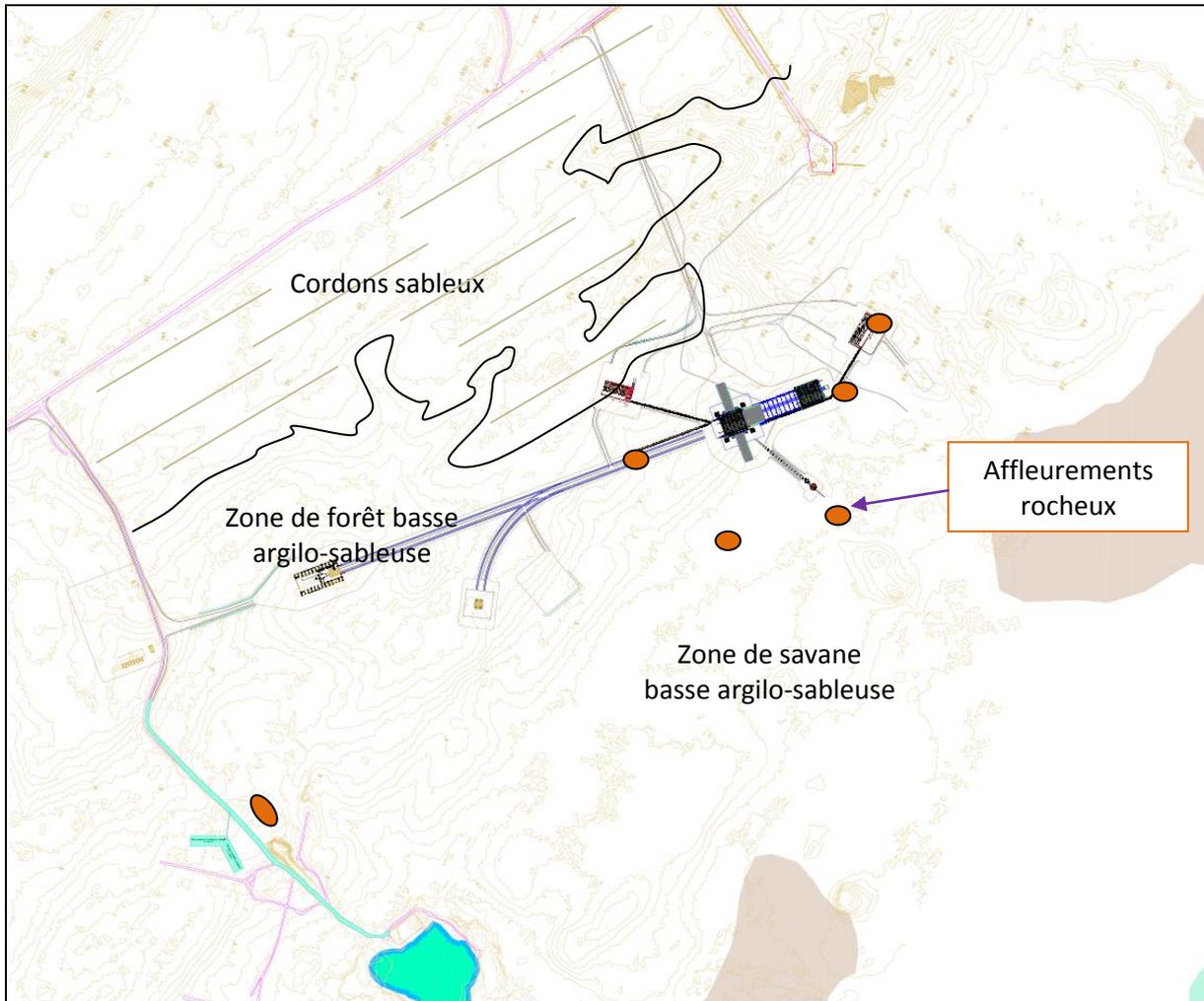


Figure 59 : Carte simplifiée de la lithologie du secteur d'études

Les zones de forte perméabilité constituent des zones d'alimentation non seulement pour les aquifères supérieurs qu'elles contiennent mais aussi pour les systèmes profonds dans les formations littorales des cordons dunaires. Les formations supérieures perméables laissent passer l'eau jusqu'à un contraste de perméabilité. La profondeur de ce dernier varie selon la formation géologique et pédologique. Dans les savanes basses, il est proche de la surface (de l'ordre du mètre). Dans les cordons sablo-argileux, la formation peut faire plus d'une dizaine de mètres.

Au mur de l'aquifère (contraste de perméabilité) est présente une couche moins perméable de nature plus argileuse. En saison des pluies, le niveau piézométrique augmente dans la tranche supérieure du sol. Le transfert horizontal des eaux souterraines vers des zones basses s'opère alors. Le niveau peut aussi dépasser le niveau topographique lors d'épisodes pluvieux chroniques. Cet état peut même être permanent pendant plusieurs semaines (grande saison des pluies). Un transfert vertical intervient grâce à la perméabilité relative du mur de l'aquifère. Même si la perméabilité est faible, les eaux souterraines continuent leur progression vers d'autres zones plus perméables situées en profondeur dans les formations de Cosvine mais aussi in fine vers l'aquifère situé au toit du massif granitique (série détritique de base et arénites).

Les nappes dans les cordons sableux vont s'écouler vers les drains hydrologiques qui bordent la zone d'études. A proximité de la Karouabo, les cordons sableux recoupent les formations alluviales ce qui

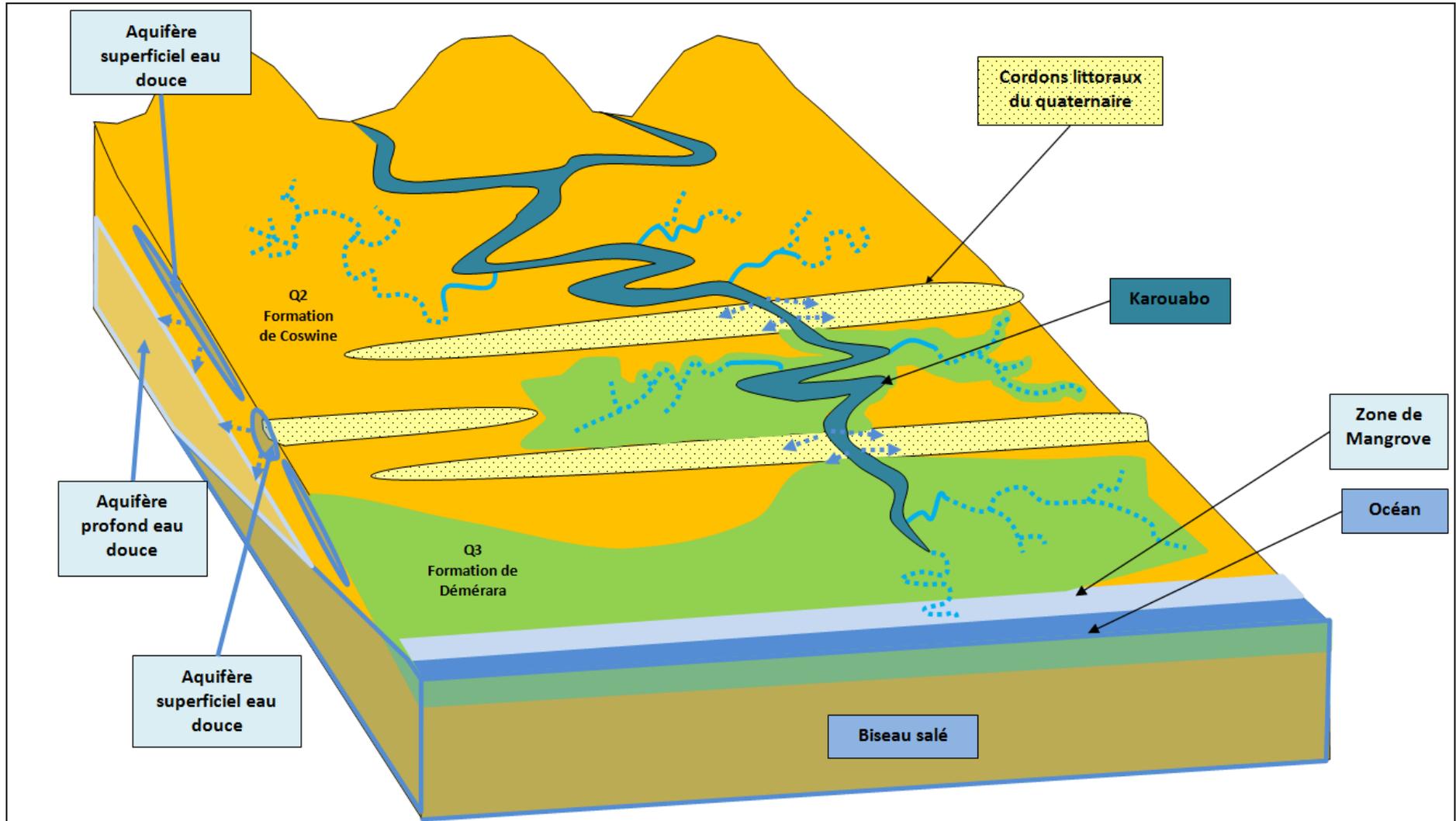
permet une mise en relation des deux aquifères. Les écoulements se dirigent alors vers l'Est vers le système alluvial.

La nappe peut aussi s'écouler par surverse vers les zones plus basses, du Sud vers le Nord, quand le niveau piézométrique est haut comme en fin de saison des pluies. Mais un échange inverse est tout à fait envisageable lorsque le niveau d'eau est haut dans les savanes inondées et plus bas dans les cordons sableux. L'aquifère superficiel de la série de Coswine peut alors alimenter temporairement celui des cordons sableux.

Globalement les eaux souterraines dans les aquifères superficiels s'écoulent vers le Nord. Localement la topographie influe sur la direction d'écoulement. Les thalwegs et les formations alluviales jouent alors un rôle important dans l'évacuation des eaux des zones hautes inondées. A proximité du BAL, un tel système a été repéré. La nappe alluviale qui accompagne un écoulement superficiel intermittent, dirige les eaux souterraines vers l'Est et la crique Karouabo. Plusieurs systèmes associés à des savanes inondées sont disposés perpendiculairement à cette crique. Ils créent la dynamique qui alimente ce drain hydrologique et de son cortège alluvial. Au niveau de la Karouabo, les eaux souterraines se dirigent vers le Nord. Elles peuvent potentiellement subir des phénomènes d'inversion, liés au flux et reflux des marées et son influence sur la piézométrie (proximité du biseau salé). Par endroit le niveau topographique est très proche de celui de la mer. Cependant, ce phénomène reste à démontrer car aucune inversion de marée n'a été constatée sur la Karouabo lors des visites de terrain.

Dans les sables détritiques et les arénites, l'aquifère profond est alimenté de deux façons. Les zones localisées en amont des bassins versant, notamment dans le secteur de transition entre le domaine de collines et les zones de savanes, constituent des zones d'infiltration privilégiées. Les eaux qui s'écoulent sur les collines ruissellent vers les zones basses et la série déritique de base. Cette dernière affleure dans le bassin versant amont de la Karouabo et de la Malmanoury. Elle peut être recouverte par des dépôts peu épais de nature sableuse. L'alimentation de l'aquifère profond situé à la base des formations sédimentaires (Coswine) est alors directe. Les eaux s'écoulent ensuite vers le Nord et le littoral, suivant la topographie du socle rocheux qui s'approfondit. L'alimentation de l'aquifère profond est aussi verticale avec les phénomènes d'infiltration décrits plus haut au travers les formations de Coswine. En périphérie des massifs rocheux qui affleurent dans les savanes, on peut trouver des arénites perméables et des fracturations dans le granite. L'infiltration est facilitée par la bonne perméabilité des formations et des systèmes faillés.

Un schéma de fonctionnement hydrogéologique de la zone d'étude est présenté en page suivante.



Source Antea Group

Figure 60 : Schéma de fonctionnement hydrogéologique de la zone d'étude

2.3.5 Proposition de mise en place d'un réseau de piézomètres

2.3.5.1 Rappel sur les objectifs du réseau de piézomètres existant

La mise en place de piézomètres a permis de compléter la connaissance du sous-sol grâce aux coupes des formations traversées et de repérer les eaux souterraines dans les formations aquifères.

Tout au long de la vie des ouvrages, les piézomètres ont deux rôles :

- identifier les nappes présentes et d'établir leurs sens d'écoulements (relevé du niveau et évolution au cours du temps) ;
- vérifier un éventuel impact des activités du BEAP et de l'ADP sur la qualité des eaux souterraines.

Ce réseau piézométrique préexistant permet d'avoir un historique de la zone et sera complété par un réseau piézométrique plus proche de l'ELA 4.

2.3.5.2 Définition de la source et des zones cibles

Le BAL et la ZL4 sont des installations très particulières puisque les effluents sont principalement gazeux et particuliers (aérosols de combustion du propergol). Ils sont émis au décollage à forte température dans un carneau qui de par sa forme va permettre une ascension du nuage de combustion pour une meilleure dispersion. La fusée quittant le pas de tir va continuer à émettre des gaz de combustion dans l'atmosphère qui vont rapidement se diluer. Des particules peuvent sédimenter sur les sols notamment en champ proche.

Les vents dominant proviennent du secteur Nord-est. La majeure partie des particules sédimentables vont retomber au Sud et au Sud-ouest après que le nuage de combustion se soit élevé.

Dans ces secteurs, la nature des sols argileux va favoriser les ruissellements jusqu'aux drains hydrologiques. Comme le montre les essais de perméabilité réalisés sur site, l'infiltration sera limitée dans les zones de savanes hautes mais plus importante aux niveaux des cordons sableux et des criquets que nous avons repérés sur site. La pente générale des savanes et des zones alluviales est faible. Ainsi le temps de séjour des eaux pluviales est plus important et accentue les phénomènes d'infiltration. **La diffusion des polluants potentiels dans les sols et les eaux souterraines se fera préférentiellement dans les secteurs de cordons sableux et des savanes basses.**

2.3.5.3 Produits à rechercher

Le propergol en se consumant produit de l'acide chlorhydrique et de l'alumine. Ainsi un apport acide et d'oxyde d'aluminium au milieu est à prévoir. Théoriquement, une baisse du pH des eaux de ruissellement peut se produire sur une courte période. Ce phénomène peut être à l'origine d'une attaque des minéraux du sol et la libération d'ions métalliques.

Pour le cas présent, il sera nécessaire de surveiller :

- le pH des eaux : lié à l'apport acide au milieu,
- la conductivité : en raison de la dissolution des minéraux,

- le Chlore et les chlorures : lié à l'apport d'acide chlorhydrique,
- l'aluminium : lié à la présence d'alumine,
- le fer : en raison de la dissolution des minéraux (le fer est l'élément le plus présent avec la silice et l'aluminium dans les minéraux des argiles).

En raison des trajets et de l'utilisation de véhicules utilisant des carburants fossiles, les hydrocarbures devront être recherchés.

2.3.5.4 Définition des aquifères à surveiller

Dans les zones du BAL et de la ZL4, on trouve plusieurs types d'aquifères :

- Les aquifères alluviaux à proximité des drains hydrologiques ;
- Les nappes peu profondes dans les zones de savanes, contenues dans les formations de Coswine ;
- La nappe profonde (série de base).

Ces aquifères devront faire l'objet d'une surveillance.

La surveillance coordonnée des eaux de surface avec les eaux souterraines, après un vol et cela sur une période assez longue (plusieurs années) pourrait aussi être utile à la compréhension des phénomènes de transfert. Ces derniers peuvent être longs si l'on se réfère aux vitesses d'infiltration calculées à partir des essais menés sur le terrain.

2.3.5.5 Proposition d'implantation du réseau de surveillance spécifique du BAL et de la ZL4

La prise en compte des éléments précédents, nous permet de proposer un réseau complet en fonction de notre connaissance actuelle du fonctionnement des installations et de l'environnement. Ainsi, il nous apparaît nécessaire de surveiller les 3 types d'aquifères présents dans les zones impactées par les retombées :

- Des piézomètres permettant de surveiller la nappe peu profonde autour du BAL et de la ZL4 – Notés respectivement BAL – PZ et ZL4-PZ ;
- Des piézomètres permettant de surveiller la nappe profonde autour de la ZL4 - Notés ZL4-PP ;
- Des piézomètres permettant de surveiller les eaux souterraines peu profondes aux abords des criquots en aval du BAL et à l'ouest de la ZL4. – Notés respectivement BAL – PA et ZL4-PA.

Il sera nécessaire de placer des piézomètres en amont des aquifères à surveiller ou réaliser des prélèvements sur au moins un an (prélèvements trimestriels) avant le premier vol afin de déterminer le fond géochimique au droit des installations.

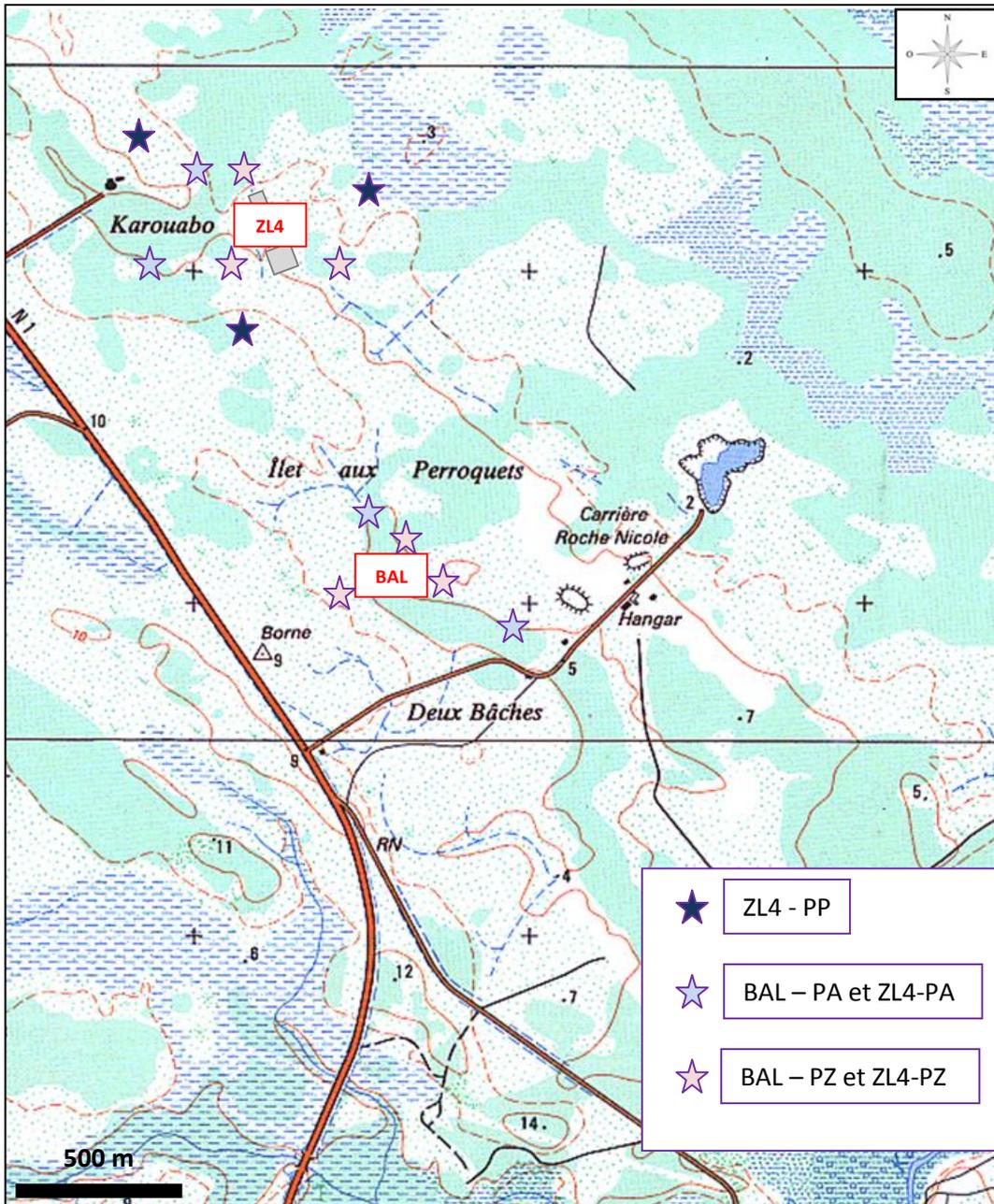


Figure 61 : Localisation des ouvrages de suivi de la qualité des eaux souterraines

2.3.5.6 Dispositions techniques des ouvrages de surveillance

Les ouvrages devront être réalisés conformément à la norme AFNOR FD X 10-999 "Forage d'eau et de géothermie - Réalisation, suivi et abandon d'ouvrage de captage ou de surveillance des eaux souterraines réalisés par forages. Une déclaration de travaux auprès des organismes concernés devra être réalisée selon les termes de la norme AFNOR NF X10-980 "Forage d'eau et de géothermie - Réalisation, suivi et abandon d'ouvrage de captage ou de surveillance des eaux souterraines réalisés par forages -Démarches administratives".

Les principaux textes applicables sont :

- Le code Minier article 131 "Forages d'une profondeur supérieure à 10 mètres",

- Le Code de l'Environnement - réglementation loi sur l'eau,
- Le décret 93-742 du 29 mars 93 dit "décret procédure" codifié : opérations soumises à déclaration ou autorisation,
- Le décret 93-743 du 29 mars 93 dit "décret nomenclature" codifié,
- Le décret 94-364 du 29 avril 94 qui définit les zones de répartition codifié,
- Le décret 96-102 du 2 février 96 qui établit des règles techniques codifié,
- Les 3 arrêtés du 11 septembre 2003 - application du décret 96-102 : prescriptions générales et prescriptions applicables aux prélèvements soumis à déclaration ou autorisation.

Plusieurs forages prévus dans le cadre de cette étude vont traverser plusieurs formations potentiellement aquifères : les forages prévus pour atteindre la nappe profonde autour de la ZL4. Dans ce cas, l'opérateur ne devra pas mettre en relation plusieurs aquifères. Il devra imperméabiliser les parois de son ouvrage à l'avancée pour éviter tout transfert potentiel de polluants vers les aquifères inférieurs.

Le diamètre du piézomètre devra être au minimum de 120 mm pour permettre l'interception de l'aquifère étudié et permettre une alimentation convenable pour le prélèvement lors des campagnes de surveillance. Il devra être proscrit les forages avec une injection d'eau en grande quantité. Il faudra plutôt privilégier des forages à la boue (bentonite et/ou adjuvant biodégradable). L'utilisation de lubrifiant contenant des hydrocarbures ne doit pas être autorisée afin de ne pas contaminer les eaux souterraines.

Le tableau suivant présente les hypothèses pour les différents forages à réaliser :

Caractéristiques	BAL/ZL4-PZ Nappe peu profonde Coswine	ZL4-PP Nappe profonde série de base	BAL/ZL4-PA Nappe alluviale et Coswine supérieur autour des criquets
Nature des matériaux de l'ouvrage	Tube PVC	Tube PVC	Tube PVC
Profondeur estimée	10 m	20 m	5-8 m
Isolement de la partie supérieure de l'ouvrage	Tube plein sur 1,5 m avec un espace annulaire comblé en surface par un ciment puis par des argiles bentonitiques ou matériel similaire	Tube plein sur toute la partie de l'ouvrage qui traversera les formations de Coswine supérieures (17,5 m environ avec un espace annulaire comblé en surface par un ciment puis par des argiles bentonitiques ou matériel similaire	Tube plein sur 1 m avec un espace annulaire comblé en surface par un ciment puis par des argiles bentonitiques ou matériel similaire
Interception de l'aquifère	Tube crépiné sur 8 m environ (dans les terrains argilo-sableux avec pour cible un niveau perméable, avec un espace annulaire comblé avec du gravier (20/40) grossier propre	Tube crépiné sur 2 m environ (dans les sables grossiers), avec un espace annulaire comblé avec du gravier (20/40) grossier propre	Tube crépiné sur 3,5 à 6,5 m environ (dans les terrains argilo-sableux), avec un espace annulaire comblé avec du gravier (20/40) grossier propre
Fond de piézomètre	Tube plein sur 0,5 m	Tube plein sur 0,5 m	Tube plein sur 0,5 m

Tableau 22 : Hypothèse de création des différents piézomètres

Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne sauraient engager la responsabilité de celle-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

Il est rappelé que les résultats de la reconnaissance s'appuient sur un échantillonnage et que ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas liés à l'hétérogénéité du milieu naturel ou artificiel étudié.

Antea Group

CNES

*Analyse de l'état initial et environnemental du site Ariane 6
Phase 2 : Etude hydrologique et hydrogéologique ZL4 /BAL*

Rapport 80559 Version A

Annexes

Antea Group

CNES

*Analyse de l'état initial et environnemental du site Ariane 6
Phase 2 : Etude hydrologique et hydrogéologique ZL4 /BAL*

Rapport 80559 Version A

Annexe 1 : Fiche de sondages à la tarière

Antea Group

CNES

*Analyse de l'état initial et environnemental du site Ariane 6
Phase 2 : Etude hydrologique et hydrogéologique ZL4 /BAL*

Rapport 80559 Version A

Annexe 2 : Fiche de prélèvement des eaux superficielles

Fiche signalétique

Rapport

Titre : Etudes hydrologiques et hydrogéologiques - ZL4 / BAL

Numéro et indice de version : 80559

Date d'envoi : Juillet 2015

Nombre de pages : 80

Diffusion (nombre et destinataires) :

1 ex. service de documentation

Nombre d'annexes dans le texte : 0

Nombre d'annexes en volume séparé : 2

1 ex. client

1 ex. (unité)

Client

Coordonnées complètes : CNES - CSG BP 726 97387 KOUROU

Téléphone :

Télécopie :

Nom et fonction des interlocuteurs : Sandrine Richard : sandrine.richard@cnes.fr

ANTEA

Unité réalisatrice : EANT

Nom des intervenants et fonction remplie dans le projet :

RENAUD VIOT , interlocuteur commercial

RENAUD VIOT , responsable du projet

BEAUVAIS.P.,CHEILLETZ.C.,VIOT.R. auteurs

Secrétariat : Elvina MOTTEREAU

(signature)

Qualité

Contrôlé par : *Renaud VIOT*

(signature)

Date : *Juillet 2015 - Version A*

..... - Version B

N° du projet : GUYP140002

Références et date de la commande : 21/03/2014

Mots-clés : cordons sableux, ZL4, BAL, Karouabo, Malmanoury