

Document public



Etude hydrogéologique pour le renforcement de l'alimentation en eau potable du bourg de Saint-Georges-de-l'Oyapock : Prospection par émanométrie radon et géophysique électrique

Rapport final

BRGM/RP- 67631 -FR

Février 2018



L'étude est cofinancée par l'Union Européenne.
L'Europe s'engage en Guyane avec le Fonds Européen de Développement Régional



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Etude hydrogéologique pour le renforcement de l'alimentation en eau potable du bourg de Saint-Georges-de- l'Oyapock : Prospection par émanométrie radon et géophysique électrique

Rapport final

BRGM/RP- 67631 -FR
Février 2018

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM AP16GUY015

M. Lhotelin, L. Bechelen, G. Aertgeerts, JM. Gandolfi, F. Mathieu, N. Brisset,
Avec la collaboration de
B. Joseph

Vérificateur :

Nom : P. Vigouroux
Fonction : Hydrogéologue
D3E/NRE
Date : 20 février 2018

Signature : 

Approbateur :

Nom : L. Verneyre
Fonction : Directrice DR Guyane
Date : 22 février 2018
Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Mots-clés : Eaux souterraines, aquifère fissuré, émanométrie radon, géophysique, tomographie, Saint Georges, Oyapock, Guyane

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

M. Lhotelin, L. Bechelen, G. Aertgeerts, JM. Gandolfi, F. Mathieu, N. Brisset, Collaboration, **B. Joseph** (2018) – Etude hydrogéologique pour le renforcement de l'alimentation en eau potable du bourg de Saint Georges-de-l'Oyapock : Prospection par émanométrie radon et géophysique électrique. Rapport final. BRGM/RP-**67631** -FR, 80. p., 42. Ill., 7. annexes.

© BRGM, 2018, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Le bourg de St Georges de l'Oyapock est alimenté par un captage sur la rivière Gabaret. Les eaux de surfaces étant vulnérables et coûteuses en traitement, la commune souhaite compléter et diversifier sa production actuelle grâce aux eaux souterraines. Elle a ainsi demandé la réalisation d'une prospection hydrogéologique.

Afin de satisfaire aux besoins de la Commune, le BRGM propose d'orienter sa prospection en eaux souterraines vers les aquifères de socle profonds présents sur des secteurs proches du bourg.

Pour ce faire une reconnaissance géologique et structurale, une étude émanométrique relative au radon, et une campagne de géophysique ont été réalisées. Les résultats obtenus ont mis en évidence les éléments suivants :

- Une géologie dans laquelle le socle occupe une place prépondérante, avec la présence de formations quaternaires reposant sur ce dernier à l'est de la zone d'étude. Deux principaux filons de dolérite ont par ailleurs été observés aux alentours du bourg de Saint Georges ;
- D'un point de vue structural, trois systèmes de failles tectoniques contrôlant la fracturation du socle ont été mis en valeur. Ceux-ci correspondent d'une manière générale à l'observation des linéaments et ont motivé la position des mesures des anomalies radon ;
- Les résultats obtenus via les mesures des anomalies radon recoupent bien les observations structurales, et ont permis de définir 4 zones d'intérêt hydrogéologique en vue de la réalisation de la tomographie de résistivité électrique ;
- Les profils de résistivité obtenus mettent en valeur des zones fracturées au sein du socle, et ont permis un choix pertinent de cibles hydrogéologiques en vue du positionnement des futurs forages de reconnaissance.

Ainsi 4 forages de reconnaissance ont été recommandés afin d'optimiser l'estimation des ressources en eau souterraines du secteur. Les couloirs de fracturation au sein du socle sont les cibles hydrogéologiques retenues en raison de leur potentiel hydrogéologique potentiellement intéressants, et en raison de la qualité relative à l'eau de ce type d'aquifère.

Sommaire

1. Introduction	11
2. Situation du secteur étudié.....	13
2.1. CONTEXTE GENERAL	13
2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE	14
2.3. OBSERVATION DES LINEAMENTS NATURELS A L'AIDE DES DONNEES RADAR 14	
2.4. INVESTIGATIONS PRELIMINAIRES DE TERRAIN	15
2.4.1. Indice lithologique	15
2.4.2. Indice structural	18
2.4.3. Les indices hydrogéologiques :.....	22
3. Prospection par émanométrie radon	23
3.1. PRINCIPE ET METHODOLOGIE DE LA PROSPECTION EMANOMETRIQUE RADON 23	
3.1.1. Le radon	23
3.1.2. Le radon : traceur de fractures profondes	24
3.1.3. Méthode de prélèvement	25
3.1.4. Méthode de mesure : la chambre à scintillation	26
3.2. PROSPECTION EMANOMETRIQUE RADON SUR SAINT GEORGES.....	28
3.2.1. Déroulement de la campagne	28
3.2.2. Précipitations	28
3.2.3. Comptage de l'activité radon.....	29
3.2.4. Résultats sur les Stations de référence.....	29
3.2.5. Calcul des seuils	30
3.3. INTERPRETATION DES RESULTATS.....	32
3.3.1. Localisation des points de prélèvement	32
3.3.2. Zones anormales	34
3.3.3. Zones d'intérêt hydrogéologique	37
3.3.4. Synthèse des résultats.....	40
4. Prospection par tomographie de résistivité électrique.....	41
4.1. CALENDRIER.....	41
4.2. PERSONNEL.....	41
4.3. EQUIPEMENT	41

4.4. TRAVAUX REALISES	42
4.4.1.Principe de la méthode du panneau électrique	42
4.4.2.Mise en place des électrodes sur les panneaux électriques	42
4.4.3.Tomographies de résistivité réalisées.....	42
4.4.4.Configuration d'acquisition des tomographies de résistivité électrique....	44
4.4.5.Paramètres d'acquisition	44
4.4.6.Positionnement des mesures	44
4.5. TRAITEMENT ET INVERSION.....	45
4.5.1.Analyse de la qualité des mesures	45
4.5.2.Traitement des mesures avec le logiciel X2IPI	45
4.5.3.Inversion des données avec le logiciel RES2DINV	47
5. Interprétation et résultats	49
5.1. PRESENTATION DES COUPES DE RESISTIVITE INTERPRETEES	49
5.2. CALAGE DE L'INTERPRETATION DES TOMOGRAPHIES DE RESISTIVITE EN TERMES DE LITHOLOGIE ET DE PROFIL D'ALTERATION.....	50
5.3. INTERPRETATION DETAILLEE DES TOMOGRAPHIES DE RESISTIVITE ...	52
5.3.1.Tomographie SG1	52
5.3.2.Tomographie SG2	54
5.3.3.Tomographie SG3	56
5.3.4.Tomographie SG4	58
5.3.5.Tomographie SG5	60
5.3.6.Tomographie SG6	62
5.3.7.Tomographie SG7	64
5.4. SYNTHESE DES RESULTATS	66
5.4.1.Interprétation en termes de lithologie et de profil d'altération	66
5.4.2.Interprétation en termes de structure	71
5.5. PROPOSITIONS DE SONDAGES DE RECONNAISSANCE	73
6. Discussion.....	77
7. Bibliographie.....	79
Annexe 1 Résultats de la prospection radon tous points confondus	81
Annexe 2 Conditions météorologiques de la campagne	85
Annexe 3 Résultats de la prospection radon des points validés	87
Annexe 4 Suivi de la station de référence R1	91
Annexe 5 Principe de la méthode de la tomographie de résistivité électrique (ou panneau électrique).....	93

Annexe 6 Paramètres d'inversion pour Res2Dinv101

Annexe 7 Coordonnées X, Y, Z des tomographies de résistivité SG1 à SG7109

Liste des figures

Figure 1 : Carte de localisation de Saint Georges-de-l'Oyapock	13
Figure 2 : Interprétation des données issues du satellite radar sentinel-1A (1/75000).....	15
Figure 3 : Affleurements étudiés sur Saint Georges (fond IGN 2015 au 1/50000)	15
Figure 4 : (a) photographie d'un filon de dolérite préservé dans la masse latéritique. (b) photographie d'une dolérite altérée.	16
Figure 5 : photographies des différentes lithologies identifiées dans la région de Saint-Georges-de-l'Oyapock. (a) dolérite à texture typique de cette roche, (b) dolérite à porphyroblaste de feldspath, (c) monzogranite à amphibole et rare biotite, (d) granite à biotite, (e) gneiss micacé.	18
Figure 6 : photographie illustrant la fracturation du socle dans la région de Saint-Georges-de-l'Oyapock. (a) fracturation dans les monzogranites. (b) fracturation dans les dolérites. (c) zone broyée avec deux réseaux de fracturation. (d) prise d'une mesure de la fracturation dans des dolérites altérées.	20
Figure 7 : photographie d'un affleurement de monzogranite (rive brésilienne de l'Oyapock) affecté d'une fracturation horizontale et présentant des figures verticales de dissolution.	20
Figure 8 : carte géologique à 1 : 100 000 de la région de Saint-Georges de l'Oyapock.	21
Figure 9 : Le nouveau modèle conceptuel d'aquifère de socle : un aquifère stratiforme, multicouches, lié à d'anciens profils d'altération latéritique (Wyns et al., 2004)	22
Figure 10 : Chaîne de désintégration de l'uranium 238.....	23
Figure 11 : Mesure de l'activité radon en sub-surface en domaine de socle	25
Figure 12 : Dispositif de prélèvement radon.....	26
Figure 13 : Analyse de l'activité radon avec le compteur Calen	27
Figure 14 : Suivi de l'activité radon sur la station de référence entre le 18 et 27 septembre 2017.....	30
Figure 15 : Comparaison de l'activité calculée et mesurée sur l'ensemble des échantillons	31
Figure 16 : Activité calculée sur l'ensemble des échantillons	32
Figure 17 : Localisation des points de prélèvement radon.....	33
Figure 18 : Carte de l'activité radon sur le secteur d'étude	35
Figure 19 : Carte des anomalies radon sur le secteur d'étude.....	36
Figure 20 : Localisation des zones d'intérêt hydrogéologique sur le secteur d'étude.....	39
Figure 21 : Localisation des tomographies de résistivité au 1/25 000.	43
Figure 22 : Pseudo-coupe de résistivité apparente (SG2, dispositif dipôle-dipôle) avant filtrage avec X2IPI.	45
Figure 23 : Première étape du filtrage	46
Figure 24 : Deuxième étape du filtrage	46
Figure 25 : Pseudo-coupe de résistivité apparente (SG2, dispositif dipôle-dipôle) après filtrage avec X2IPI.	47
Figure 26 : Etude réalisée pour l'AEP de Sparouine (Saint-Laurent du Maroni). Coupe géo-électrique interprétée en termes de lithologie, de profil d'altération et de structure avec proposition d'un sondage de reconnaissance (en haut). Résultats du sondage de reconnaissance (en bas).....	51

Figure 27 : Tomographie SG1 – Coupes de résistivité inversée interprétées en termes de lithologie et de structures	53
Figure 28 : Tomographie SG2 – Coupes de résistivité inversée interprétées en termes de lithologie et de structures	55
Figure 29 : Tomographie SG3 – Coupes de résistivité inversée interprétées en termes de lithologie et de structures	57
Figure 30 : Tomographie SG4 – Coupes de résistivité inversée interprétées en termes de lithologie et de structures	59
Figure 31 : Tomographie SG5 – Coupes de résistivité inversée interprétées en termes de lithologie et de structures	61
Figure 32 : Tomographie SG6 – Coupes de résistivité inversée interprétées en termes de lithologie et de structures	63
Figure 33 : Tomographie SG7 – Coupes de résistivité inversée interprétées en termes de lithologie et de structures	65
Figure 34 : Site de Saint-Georges de l'Oyapock – Schéma géo-électrique du profil d'altération	70
Figure 35 : Site de Saint-Georges de l'Oyapock – Synthèse des résultats des tomographies de résistivité. Schéma structural et propositions de sondages de reconnaissance	72

Liste des tableaux

Tableau 1 : Bruit de fond moyen des fioles	29
Tableau 2 : tableau de synthèse des seuils calculés pour l'ensemble des échantillons	32
Tableau 3 : Caractéristiques des tomographies de résistivité.....	43
Tableau 4 : Synthèse de l'interprétation des tomographies de résistivité en termes d'horizons géo-électriques.....	69
Tableau 5 : Localisation des sondages de reconnaissance.....	76
Tableau 6 : Hiérarchisation des sondages de reconnaissance.....	78

1. Introduction

Le bourg de St Georges de l'Oyapock est alimenté par un captage sur la rivière Gabaret. Les eaux de surfaces étant vulnérables et coûteuses en traitement, la commune souhaite compléter et diversifier sa production actuelle grâce aux eaux souterraines. Elle a ainsi demandé la réalisation d'une prospection hydrogéologique.

Dans ce cadre, une étude pour la recherche de ressources en eau souterraine a été confiée au BRGM. Pour réaliser la première phase d'étude, trois campagnes ont été réalisées :

1. Une reconnaissance géologique et structurale fine de la zone d'étude, en s'appuyant sur des photographies aériennes, des données radars, la carte géologique et sur des investigations terrains. Cette étape vise à dresser une carte structurale et géologique précise du secteur d'étude. Les investigations de terrain sont venues, par l'étude des affleurements de la zone d'étude, préciser les observations précédentes ;
2. Une étude émanométrique, afin de détecter les anomalies radon pouvant être en lien avec des fractures profondes. En effet, le radon est un gaz qui, mesuré à même le sol, est un indicateur de la présence de fractures hydrauliquement actives dans le sous-sol ;
3. Une étude de géophysique, permettant d'étudier la résistivité des différentes couches en fonction de la profondeur, et ainsi détecter des secteurs propices à la présence d'un aquifère producteur.

Ces données serviront *in fine* à ajuster l'implantation des forages de reconnaissance au droit des zones avec un fort potentiel concernant la production d'eaux souterraines. Par la suite, ces futurs forages permettront de déterminer l'intérêt hydrogéologique des secteurs investigués, et de réaliser le ou les forages d'exploitation.

Le présent compte rendu correspond au terme de l'exécution de la première phase de travail.

2. Situation du secteur étudié

2.1. CONTEXTE GENERAL

Le bourg de Saint-Georges-de-l'Oyapock est situé à l'Est de la Guyane à la frontière avec le Brésil, en rive gauche du fleuve Oyapock, à 185 kilomètres de Cayenne par voie terrestre (Figure 1). La commune comptait 4 020 habitants en 2014 (*source Insee*).

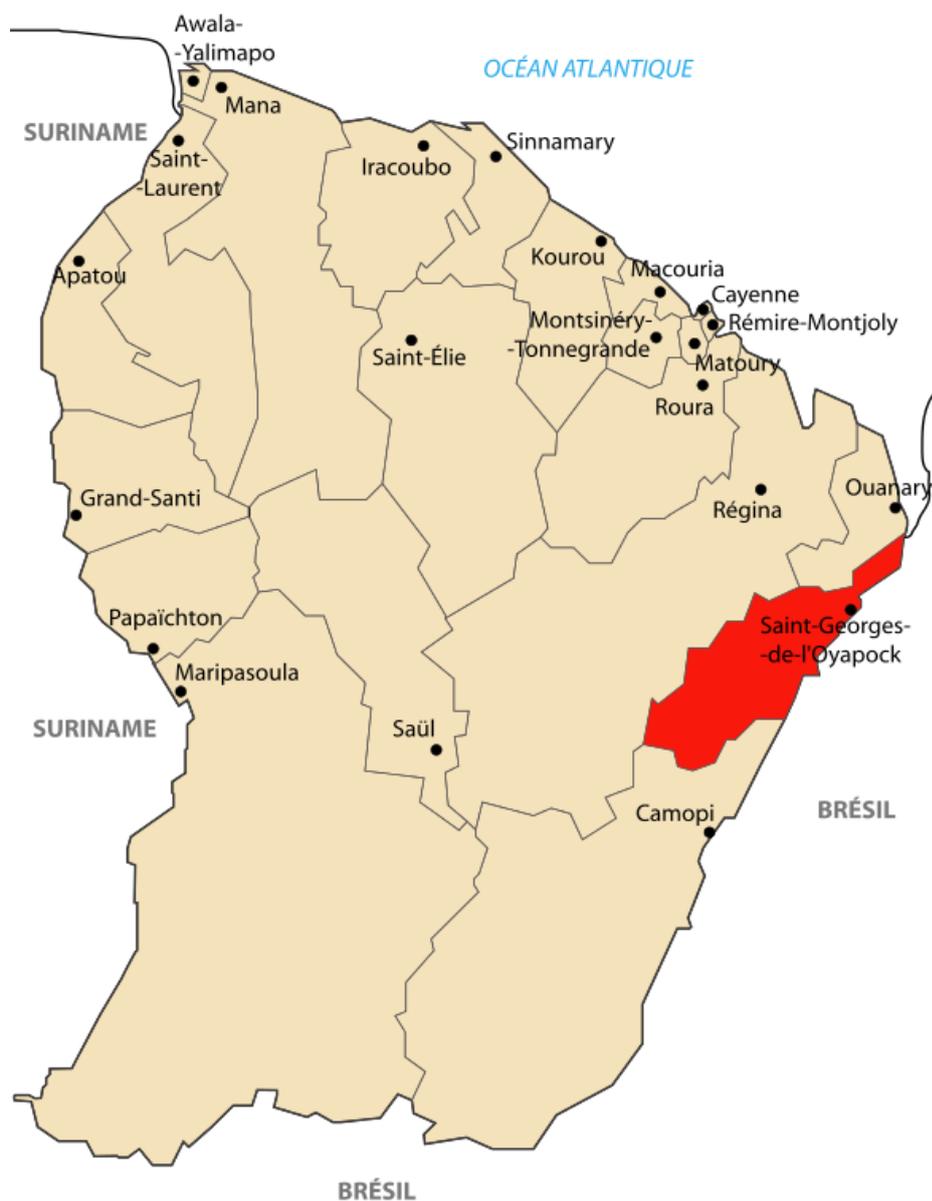


Figure 1 : Carte de localisation de Saint Georges-de-l'Oyapock

2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE

La commune de Saint-Georges-de-l'Oyapock est couverte par la feuille géologique à 1/100 000 de Saint-Georges (1210) qui n'a pas fait l'objet de levé géologique à cette échelle. Les cartes géologiques disponibles dans ce secteur sont de plus petites échelles. L'une à 1/250 000 (Théveniaut *et al.*, 2006) et l'autre à 1/500 000 (Delor *et al.*, 2001). Selon ces cartes, la ville de Saint-Georges-de-l'Oyapock est située sur des granitoïdes. A l'échelle régionale, ces granitoïdes apparaissent très variés et sont représentés par des termes (i) purement magmatique (ii) associant des granites d'anatexie et des restites biotitiques (e.i. des diatexites) et (iii) des termes représentant le protolithe des termes magmatiques (Delor *et al.*, 2003). Ces protolithes apparaissent en enclaves hétérométriques dans la masse granitoïdique, dont ils peuvent représenter jusqu'à 60 % (Delor *et al.*, 2003), et correspondent soit à des gneiss gris d'origine sédimentaire probable, soit à des tonalites ou des granodiorites (Delor *et al.*, 2003). De plus, cet ensemble granitoïdique est recoupé par une série de dykes orientés grossièrement nord-sud et constitués de dolérite. Enfin, ces roches de socle sont recouvertes, particulièrement au nord-est de Saint-Georges, par des dépôts fluviomarins quaternaires attribués à la formation de Démérara et constitués principalement de sables, d'argiles et de limons.

En termes de géomorphologie, le secteur étudié peut être divisé en deux parties. La partie septentrionale est caractérisée par des altitudes excédant rarement 60 m alors que la partie méridionale présente des altitudes presque toujours supérieures à 80 m. Sans distinction, chacune de ces parties est recoupée par un réseau hydrographique très dense centré sur la vallée taillée par la crique Gabaret. Au sud de cette vallée, les affluents sont orientés nord-est / sud-ouest et sont donc parallèles au fleuve Oyapock alors qu'au nord de la crique Gabaret, les affluents sont principalement orientés nord-nord-ouest / sud-sud-est.

2.3. OBSERVATION DES LINEAMENTS NATURELS A L'AIDE DES DONNEES RADAR

La compréhension du fonctionnement hydrogéologique du secteur étudié passe par l'étude des images radars acquises par de nouvelles technologies. Le satellite Sentinelle 1A mis en orbite en 2014 est équipé d'un module radar, le SAR (Synthetic Aperture Radar), permettant l'acquisition de données de la surface terrestre avec une résolution de 10 m, quelques soient les conditions météorologiques. Ce module est conçu pour apprécier, entre autre, la rugosité de l'extrême surface terrestre. Ces données peuvent ainsi aider à délimiter les zones à rugosité constante, souvent révélatrices d'une géologie identique. De la même manière, des discontinuités telles que les failles majeures et les filons peuvent ainsi ressortir sous forme de linéaments.

La *Figure 2* montre les données acquises sur le secteur de Saint Georges avec une polarisation de type VV (transmission verticale et réception verticale). Des linéaments bien marqués, d'orientation N30, N160 et N115 sont ainsi déterminés dans les environs de la zone d'étude. Ils sont matérialisés par une ligne en pointillé rouge sur la *Figure 2*.

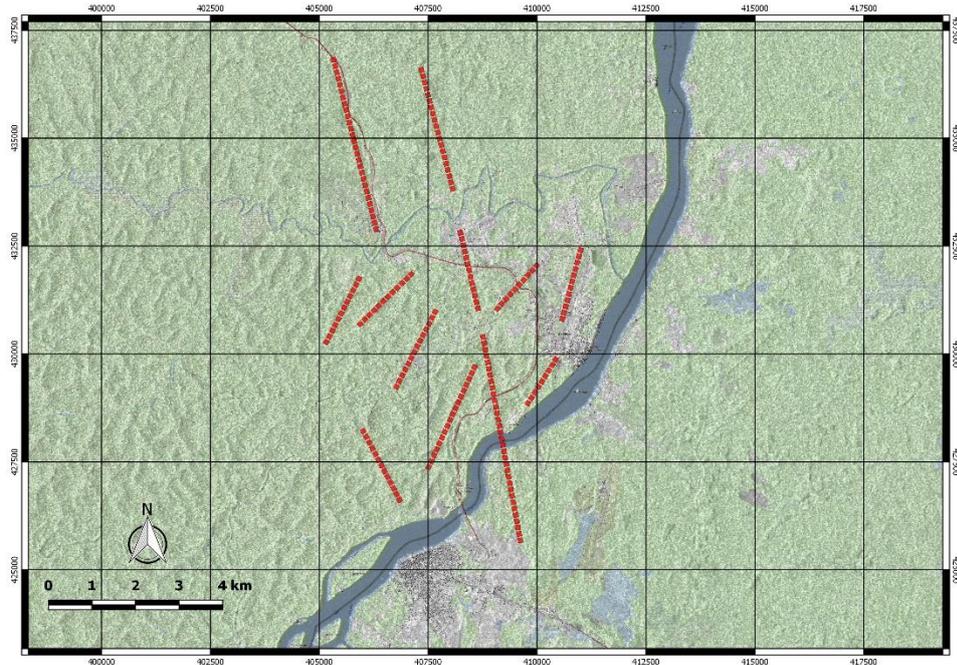


Figure 2 : Interprétation des données issues du satellite radar sentinel-1A (1/75000)

2.4. INVESTIGATIONS PRELIMINAIRES DE TERRAIN

2.4.1. Indice lithologique

Les investigations de terrain ont été effectuées le long de la RN 2, sur la crique Gabaret et sur le fleuve Oyapock entre le 28 et le 29 octobre 2016 (Figure 3)

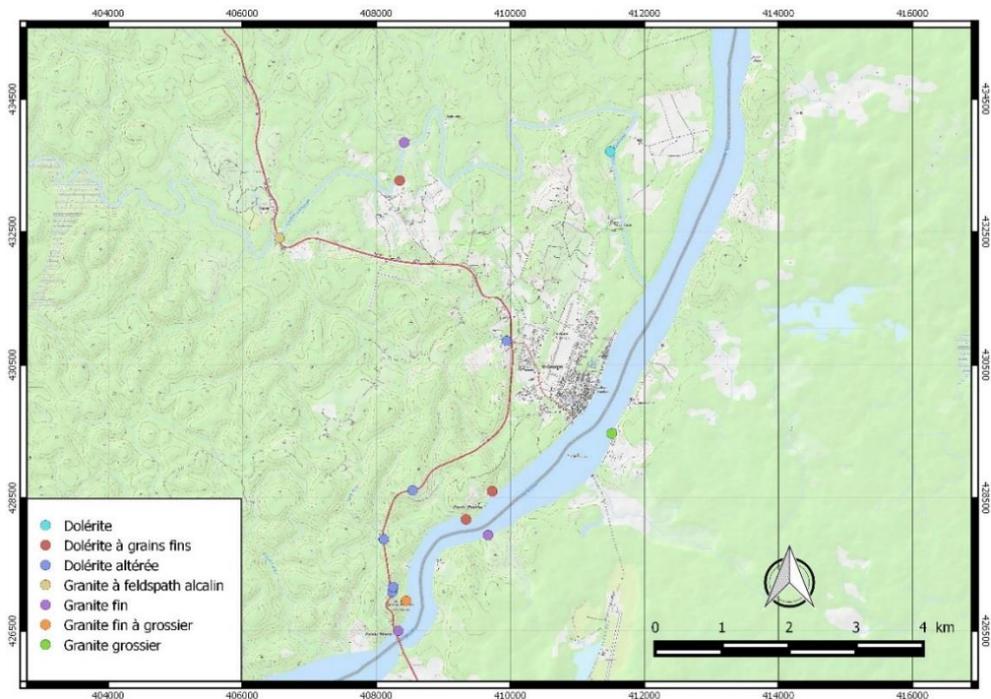


Figure 3 : Affleurements étudiés sur Saint Georges (fond IGN 2015 au 1/50000)

Le long de la route, les affleurements de roches saines sont inexistantes et seuls des dolérites altérées ont été reconnues (Figure 4). Sur les rivières, des syénogranites à biotite, des monzogranites à amphibole et biotite, des quartzites micacés et des dolérites ont été observés.



Figure 4: (a) photographie d'un filon de dolérite préservé dans la masse latéritique. (b) photographie d'une dolérite altérée (Photos BRGM 2016).

Les **syénogranites à biotite** occupent principalement la partie Sud du secteur étudié. Deux échantillons ont fait l'objet d'une lame mince. Au microscope, ces roches présentent une texture granoblastique et sont constituées de feldspath potassique de type microcline (souvent perthitique), de quartz formant des plages de cristaux xénomorphes, de plagioclase en proportion variable, mais toujours faible, de biotite et de muscovite subordonnée. Enfin, un grain de pyroxène (aégyrine possible) a aussi été observé sur l'un des échantillons.

Les **monzogranites à biotite** occupent principalement le secteur nord de la zone d'étude et la rive brésilienne. Dans l'ensemble, ces granitoïdes apparaissent, macroscopiquement, relativement isotropes. Au microscope, ces roches se distinguent des précédentes par une proportion plus importante de plagioclase. Dans les deux cas, le quartz forme des plages de cristaux xénomorphes et montre souvent une extinction roulante ; ce qui traduit l'effet d'une tectonique tardive déformant très légèrement la roche.

Outre le quartz, le monzogranite est constitué de feldspath potassique de type microcline, de feldspath plagioclase, souvent en inclusion dans le microcline et systématiquement altéré en séricite. La biotite, quant à elle, apparaît en petites lamelle non orientées. L'échantillon de (méta)tonalite présente en plus du quartz, de nombreux plagioclases très altérés en séricite et systématiquement entourés d'une frange plus ou moins épaisse où se développent de nombreux bourgeons de myrmékite, dont la genèse pourrait être attribuée à des processus métasomatiques associées à la déformation de la roche au cours de son exhumation. L'assemblage minéralogique est complété par de la chlorite en petites baguettes et quelques rares apatites en grain trapus.

En outre, localement, des enclaves métriques de **quartzite micacé** ont été reconnues au sein des syénogranites à biotite. Ces roches, mésocrates, voire mélanocrates, se distinguent des précédentes par la présence d'une schistosité pénétrative orientée au 173°N à pendage de 80° vers l'est (*Figure 5*). Au microscope, cette roche présente une texture granolépidoblastique qui traduit une intense déformation ductile qui pourrait être en relation avec les grand accidents Nord/Sud qui découpent le secteur et qui sont présentés ci-après. Le quartz apparaît finement recristallisé et plus ou moins orienté dans le plan de foliation. La biotite forme de nombreuses lamelles soulignant la foliation. La muscovite apparaît en porphyroclaste plus ou moins transposé dans le plan de foliation. Enfin, de nombreux minéraux opaques dans cette roche.

Par ailleurs, deux important filons de **dolérites** ont été observés aux alentours du bourg de Saint-Georges. A l'est immédiat du bourg, un filons d'orientation nord-nord-est – sud-sud-ouest arment la colline et est responsables du promontoire rocheux que constitue la Pointe de Blondin. Plus au nord-ouest, le troisième filon présente une orientation légèrement différente, nord-nord-ouest – sud-sud-est, mais il correspond aussi à un alignement de collines.



Figure 5 : photographies des différentes lithologies identifiées dans la région de Saint-Georges-de-l'Oyapock. (a) dolérite à texture typique de cette roche, (b) dolérite à porphyroblaste de feldspath, (c) monzogranite à amphibole et rare biotite, (d) granite à biotite, (e) gneiss micacé (Photos BRGM 2016).

2.4.2. Indice structural

Une vingtaine de mesures structurales a pu être réalisée sur les affleurements des rivières ainsi que sur quelques rares affleurements de dolérite préservée dans les argiles latéritiques. Ces mesures ont été reportées dans un stéréogramme de Schmidt afin de déterminer des orientations de fracturation principales (Figure 6). Dans la région de Saint-Georges de l'Oyapock, 4 réseaux d'orientations peuvent être distingués. Le premier réseau est constitué de fractures très verticales et orientées entre l'azimut N2 et l'azimut N38. Ce réseau de fracturation semble affecté indifféremment toutes les lithologies à l'exception des alluvions et des formations de la couverture sédimentaire. Le deuxième et le troisième réseau apparaissent aussi très verticaux. Ils sont constitués de fractures orientées respectivement entre N156 et N178 et entre N102 et N138. Enfin, à la différence des trois premiers réseaux, le quatrième réseau (Figure 7) apparaît beaucoup plus horizontal. Il est constitué de fractures dont le pendage est compris entre 2 et 29°.

L'analyse de la topographie à partir des cartes IGN à 1/50 000 a permis d'identifier plusieurs vallées qui sont interprétées comme des failles tectoniques (Figure 8). Les orientations de ces failles peuvent être regroupées en trois catégories qui sont identiques à celles des trois premiers réseaux de fracturation mesurés sur le terrain, c'est-à-dire

des failles de direction est-ouest, des failles de direction nord-sud et des failles de direction nord-est-sud-ouest. Parmi ces failles, il est possible de distinguer une faille majeure¹ qui découpe la région selon un axe est-ouest. Cette faille, dans laquelle s'est creusée la vallée de la crique Gabaret et également représentée sur la carte géologique à 1/500 000 (Delor *et al.*, 2001), appartient au système néorhycien (2.11-2.08 Ga) de failles sénestres et dont le fonctionnement apparait contemporain de la mise en place des granites exposés dans la région de Saint-Georges-de-l'Oyapock. Les failles orientées nord-sud pourraient appartenir à un système néorhycien plus récents (2.07-2.06 Ga) de failles dextres alors que les failles orientées nord-est-sud-ouest pourraient, quant à elles, être beaucoup plus récentes (190 Ma ?) et associées au fonctionnement de la faille de l'Oyapock. Sur la Figure 8, ces dernières ont été représentées relativement loin de la ville de Saint-Georges. Néanmoins, il faut préciser que ces dessins représentent des structures cartographiables selon l'échelle de restitution choisie (1/100 000). De ce fait, il est probable que des structures similaires, de moindre envergure existent à proximité de la ville. Par ailleurs, les fractures identifiées sur le terrain et qui pourraient correspondre à cet événement tectonique sont prédominantes par rapport aux autres réseaux de fractures identifiés. Aussi, il faut considérer ces structures comme étant d'intérêt majeur pour identifier une zone d'implantation de forage d'alimentation en eau potable.

Contrairement à ces trois systèmes de failles tectoniques qui contrôlent la fracturation du socle dans la région de Saint-Georges-de-l'Oyapock, le réseau de fractures subhorizontales ne s'explique pas, *a priori*, par la tectonique. En effet, il faudrait faire appel à de grands accidents chevauchants ou détachants pour générer de telles fractures. Néanmoins, ces fractures pourraient très bien s'expliquer par une hydratation des minéraux ferromagnésiens (e.g. biotite, pyroxène) selon la théorie proposée par Wyns *et al.* (Wyns *et al.*, 2004).

A partir de ces observations de terrain et d'une étude de quelques lames minces, une « proto » carte géologique a été dessinée (Figure 8)

¹ Au sens géologique du terme, c'est-à-dire visible sur de petites échelles cartographiques

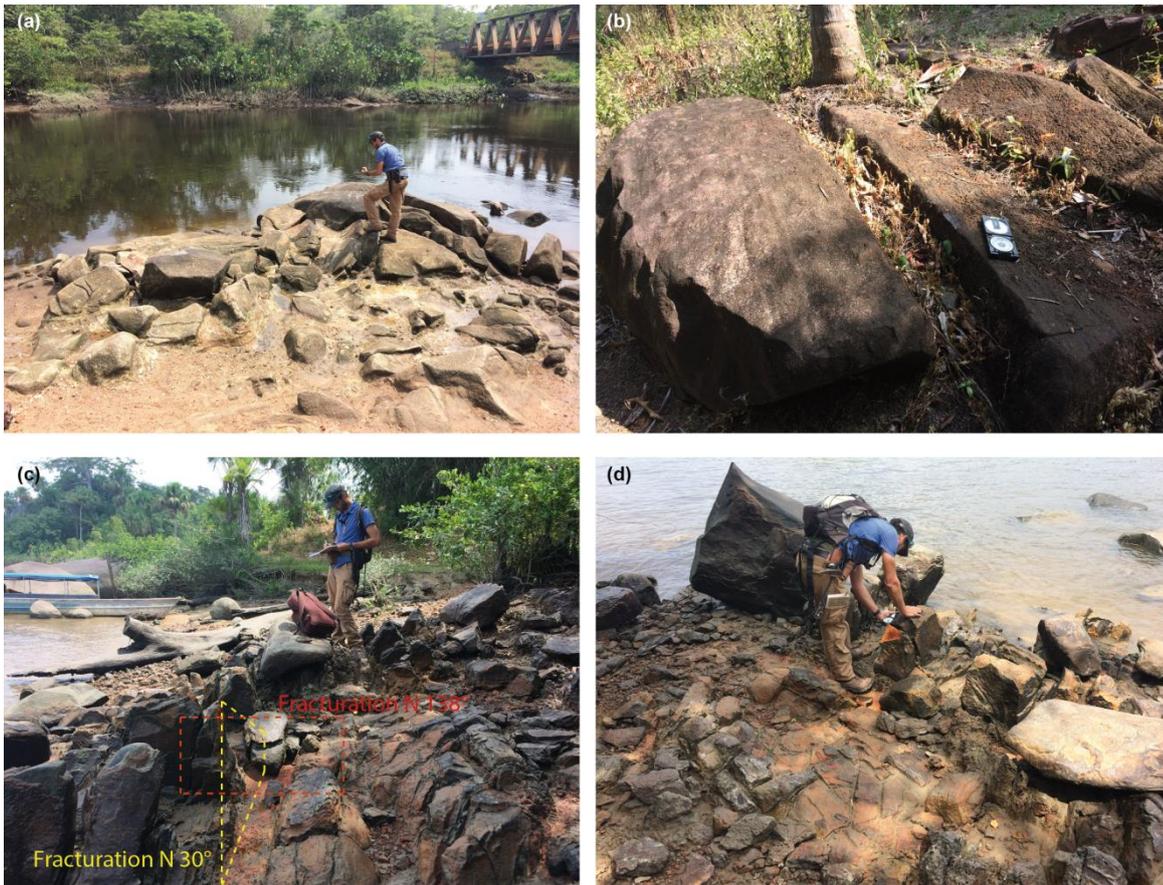


Figure 6 : photographie illustrant la fracturation du socle dans la région de Saint-Georges-de-l'Oyapock. (a) fracturation dans les monzogranites. (b) fracturation dans les dolérites. (c) zone broyée avec deux réseaux de fracturation. (d) prise d'une mesure de la fracturation dans des dolérites altérées (Photos BRGM 2016).

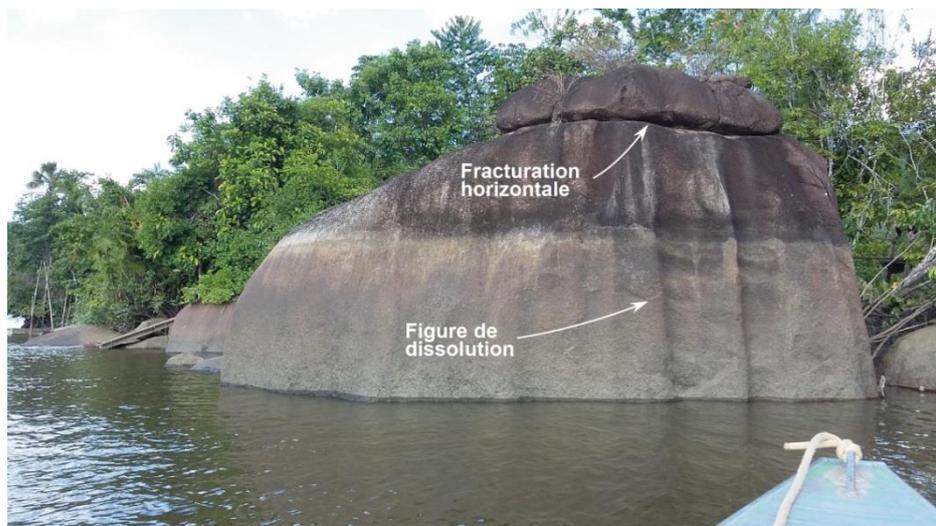


Figure 7 : photographie d'un affleurement de monzogranite (rive brésilienne de l'Oyapock) affecté d'une fracturation horizontale et présentant des figures verticales de dissolution (Photo BRGM 2016).

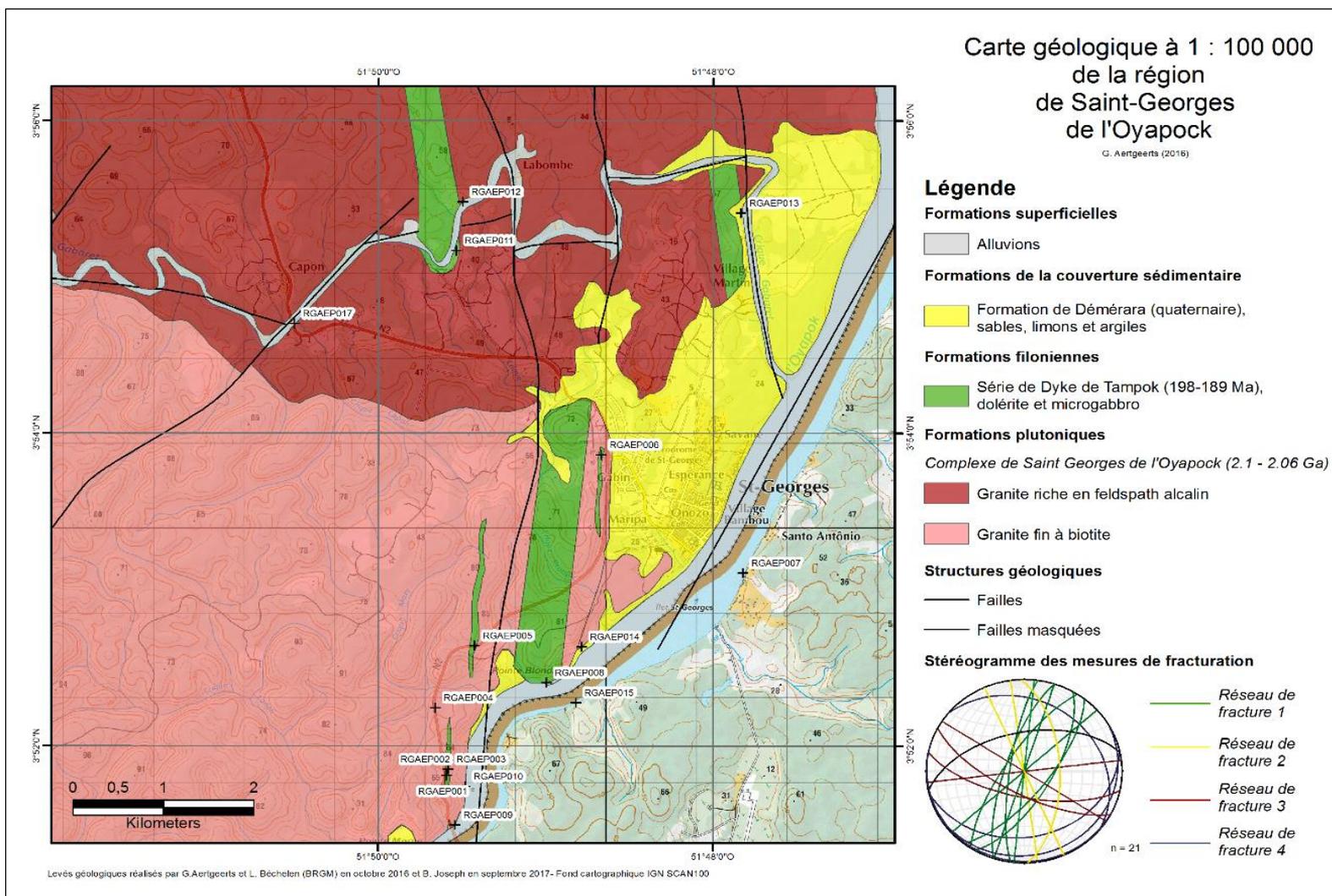


Figure 8 : carte géologique à 1 : 100 000 de la région de Saint-Georges de l'Oyapock (BRGM 2016).

2.4.3. Les indices hydrogéologiques :

Le bourg de Saint-Georges-de-l'Oyapock présente de nombreux petits forages domestiques, forés entre 0 et 4 mètres de profondeur, dans la nappe alluviale. Toutefois, cette nappe est peu productive (environ 1 m³/h).

Il a donc été jugé important de rechercher de l'eau dans le socle. De plus, la fracturation paraît importante dans cette zone (cf. les linéaments et les indices structuraux). La grande faille de l'Oyapock NNE-SSW a probablement engendré un réseau de failles dites secondaires dans le secteur, ainsi susceptible d'avoir développé un important réseau fracturé.

Les propriétés hydrogéologiques de ces horizons fissurés sont déterminées par la densité des fractures pour la porosité et par leur interconnexion pour la perméabilité. La densité des fractures est maximale au sommet de l'horizon fissuré et décroît vers le bas. On peut généralement diviser l'horizon fissuré en deux parties : une partie supérieure, épaisse de 15 à 25 m (horizon fissuré supérieur), où la porosité moyenne et la perméabilité sont optimales et une partie inférieure, épaisse de 40 à 60 m ou plus, où la porosité et la perméabilité décroissent régulièrement avec la profondeur.

Les débits d'exploitation moyens attendus dans les aquifères de socle fracturé sont généralement compris entre **3 et 6 m³/h** dans les cas favorables (lithologie adaptée au développement d'un profil d'altération). Ils peuvent être sensiblement supérieurs localement (une **dizaine de m³/h** voire exceptionnellement plus), lorsqu'ils captent une fracture drainante majeure et interconnectée à l'horizon fissuré.

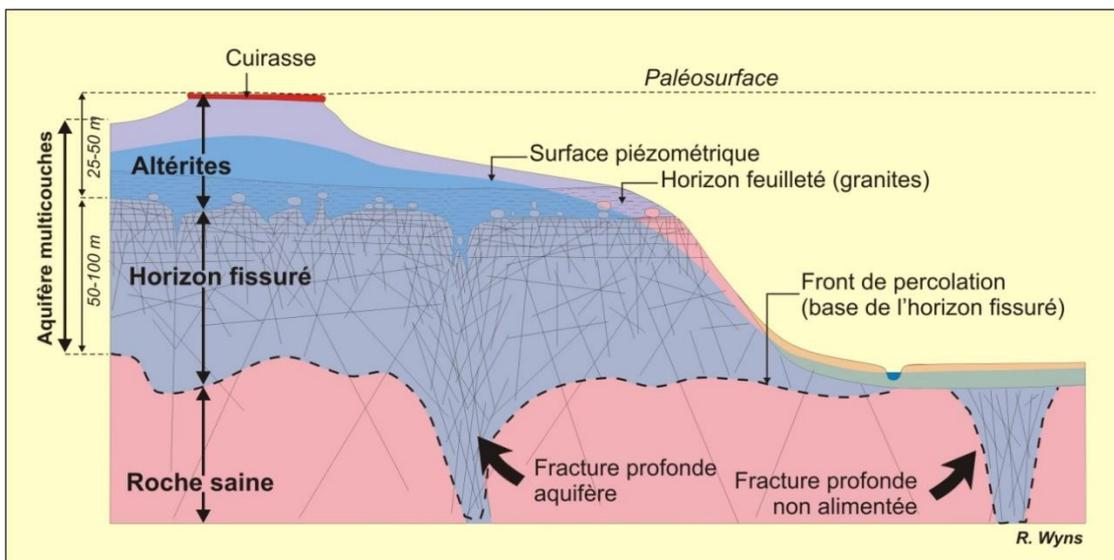


Figure 9 : Le nouveau modèle conceptuel d'aquifère de socle : un aquifère stratiforme, multicouche, lié à d'anciens profils d'altération latéritique (Wyns et al., 2004)

3. Prospection par émanométrie radon

3.1. PRINCIPE ET METHODOLOGIE DE LA PROSPECTION EMANOMETRIQUE RADON

3.1.1. Le radon

Le radon est un gaz radioactif, le seul à l'état naturel, provenant de l'émanation de minéraux des roches. Il est issu de la chaîne de désintégration radioactive de l'Uranium (Figure 10) et possède trois isotopes :

- Le radon 219, ^{219}Rn , dit **actinon** issu de la désintégration de l'uranium 235, ^{235}U . Sa concentration dans la croûte terrestre est négligeable de par sa courte demi-vie de 4 s ;
- Le radon 220, ^{220}Rn , dit **thoron** issu de la désintégration du thorium 232, ^{232}Th , plus abondant mais de courte demi-vie également (52 s) ;
- Le radon 222, ^{222}Rn , issu de la désintégration de l'uranium 238, ^{238}U . Sa demi-vie est de 3,82 jours.

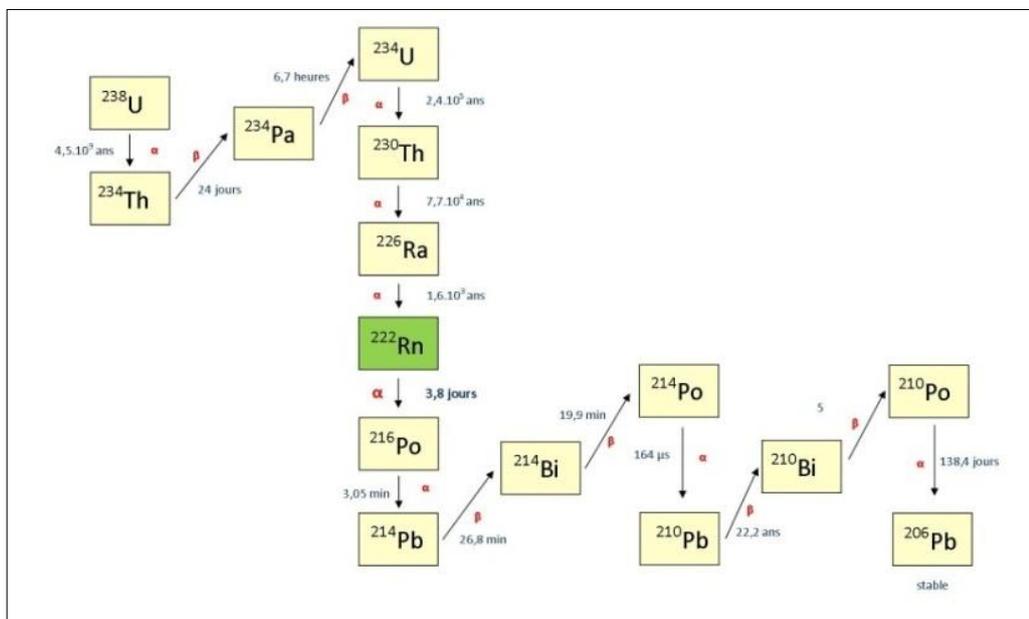


Figure 10 : Chaîne de désintégration de l'uranium 238

Comme tous les gaz présents en profondeur, le radon participe au dégazage terrestre et s'écoule du sol vers l'atmosphère sous l'influence d'un gradient de pression. Une fois

émis par l'uranium présent dans la roche, il transite au sein d'un milieu poreux (le sol et le sous-sol) afin de rejoindre la surface. Ce dernier se déplace par advection, c'est-à-dire qu'il est transporté par un autre fluide qui peut être gazeux (CO₂, CH₄...) ou liquide (l'eau).

3.1.2. Le radon : traceur de fractures profondes

La quantité de radon dans le sol est uniquement fonction de la teneur en uranium des roches et varie d'une lithologie à l'autre. En Guyane, il convient de distinguer :

- *Les formations plutoniques ou éruptives du bouclier guyanais.* Elles sont toutes constituées d'uranium en quantité, plus ou moins importante, de l'ordre du ppm (partie par million). En effet, lors de la différenciation du magma, au même titre que pour la silice, l'uranium se concentre dans les liquides magmatiques résiduels. La présence d'uranium dans les granites, les rhyolites et toutes autres roches endogènes différenciées est plus importante que dans des roches basiques tels que le gabbro ou des basaltes ;
- *Le niveau altéré,* au même titre que les niveaux sédimentaires argileux, peut également contenir de l'uranium. Cependant, il s'agit alors d'un élément peu mobilisable de par la faible perméabilité de ces formations ;
- *Les sables, grès et conglomérats* présentent des teneurs non négligeables en uranium. Ce dernier provient des produits d'altération de roches cristallines (granite, gneiss...), en amont du dépôt sédimentaire.

La faible demi-vie de cet élément, 3,82 jours, empêche tout phénomène d'accumulation en profondeur et assure la continuité du flux gazeux. De plus, il faut noter que le radon étant **l'unique gaz radioactif** à l'état naturel, il est le seul responsable de la radioactivité mesurée dans un prélèvement gazeux en profondeur.

Ainsi, à l'échelle d'un secteur de superficie limitée, la lithologie est relativement homogène, la quantité en radon mesurée à une profondeur donnée est constante et identique en ordre de grandeur. Elle est appelée : « **bruit de fond** ».

Cependant, au niveau des zones fracturées, d'importantes remontées de gaz profonds (He, CO₂, CH₄...) sont observables. Ce flux gazeux accru, ne permet pas au radon provenant de grandes profondeurs d'atteindre la surface, mais déforme le signal radon mesuré en sub-surface en l'augmentant d'un à deux ordres de grandeur. Ainsi, à l'aplomb d'une zone faillée, ou d'un filon de quartz, une « **valeur anormale** » d'activité radon est mesurée témoignant d'une circulation de fluides profonds localement plus intense. La mesure de l'activité radon en plusieurs points du secteur d'étude permet de localiser des zones anormales susceptibles de traduire la présence d'accidents tectoniques drainant les eaux souterraines (cf. schéma de principe en Figure 11).

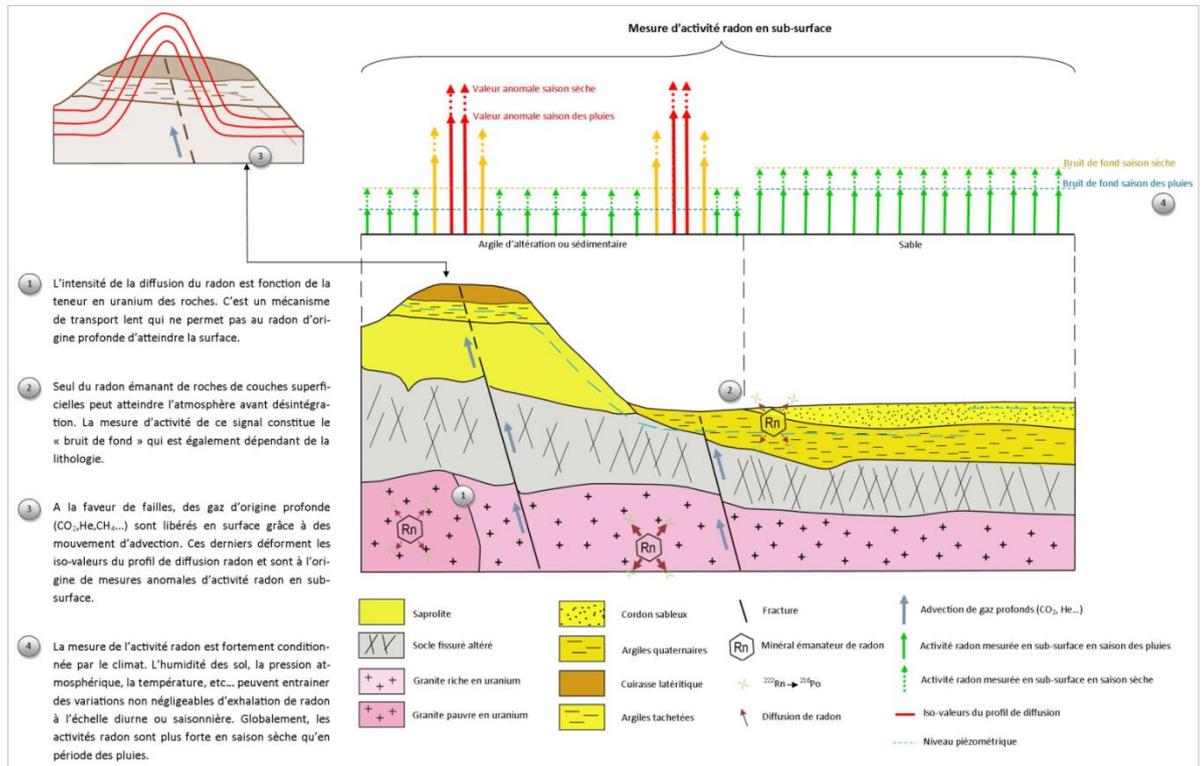


Figure 11 : Mesure de l'activité radon en sub-surface en domaine de socle

3.1.3. Méthode de prélèvement

Il s'agit d'une technique de terrain qui permet de faire abstraction des perturbations de la zone pédologique A1, correspondant aux premières dizaines de centimètres du sol.

Les gaz des sols sont prélevés au moyen d'une canne de prélèvement qui se compose d'un tube en inox creux (**a**) d'une longueur d'un mètre pour un diamètre de 1,5 cm, avec à l'intérieur une tige pleine (perforateur - **b**) de 1,15 m de longueur.

La méthode de prélèvement (Figure 12) suit les étapes suivantes :

- **Mise en place de la canne de prélèvement** : la canne est enfoncée au moyen d'une masse sur environ 75 cm dans le sol.
- **Extraction de la partie centrale** : la tige pleine centrale est retirée laissant ainsi un trou de 75 cm de profondeur tubé sur 60 cm et en découvert sur les 40 derniers centimètres ;
- **Raccordement du système** : canne de prélèvement, tuyaux (**c**), fiole de rétention d'eau (**d**), fiole de prélèvement spécialement conçue pour le dosage radon (fiole scintillante - **e**) et à une pompe à vide manuelle ou sur batterie munie d'un manomètre (**f**).

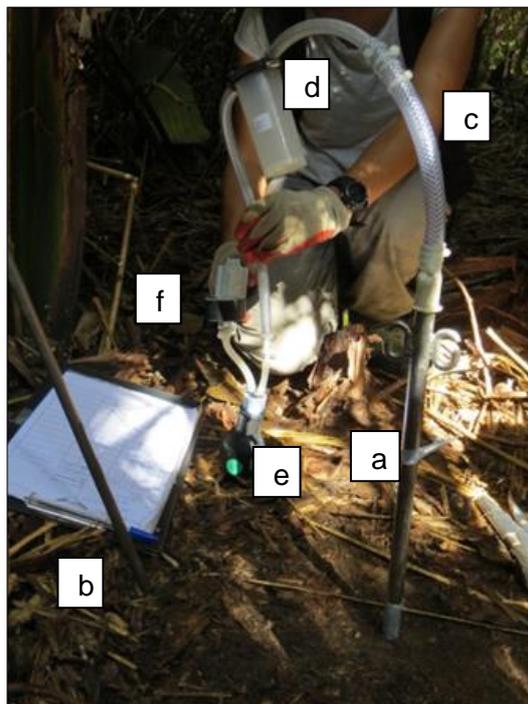


Figure 12 : Dispositif de prélèvement radon (Photo BRGM 2017)

- **Aspiration des gaz du sol** : on réalise une circulation des gaz à échantillonner au travers de la fiole de prélèvement chassant l'air qui y était contenu. Le contrôle de pression permet de détecter les sols peu perméables au gaz (terrain argileux).

3.1.4. Méthode de mesure : la chambre à scintillation

Cette méthode est basée sur les propriétés scintillantes du sulfure de zinc dopé à l'argent. Une particule rencontrant le scintillateur y induit des photons détectés à leur tour par une chambre à scintillation. (Compteur Calen, Algade - Figure 13). Il s'agit d'un photomultiplicateur qui permet de compter le nombre de particules α émises par le radon. En effet, en contact avec du sulfure de zinc (dont les fioles sont tapissées), ces particules émettent une luminescence captée par l'appareil. Le résultat en coup/min est ensuite converti en activité (pCi/L ou Bq/m³).

Les fioles cylindro-coniques utilisées pour récolter les gaz sont tapissées intérieurement de sulfure de zinc qui augmente le rendement du comptage. Ces fioles en verre ont un fond transparent qui permet leur couplage optique avec la photocathode du photomultiplicateur.

Ces fioles sont hermétiquement fermées à l'aide d'un bouchon en caoutchouc évidé.

Du gaz est ainsi prélevé en une multitude de points à l'échelle du secteur afin « d'accrocher » une valeur anormale. Compte tenu de la décroissance radioactive du radon, les échantillons doivent être analysés le jour même, trois à six heures après le prélèvement.



Figure 13 : Analyse de l'activité radon avec le compteur Calen (Photo BRGM 2017)

De telles campagnes doivent être réalisées en période sèche, par beau temps, sous une bonne stabilité météorologique. En effet, le flux de radon est fortement influencé par la barométrie et l'humidité des sols qui peuvent, à l'échelle de la journée, de la semaine ou du mois, faire varier les résultats de plusieurs ordres de grandeur. Le calendrier des campagnes ne permettant pas toujours de les réaliser dans de telles conditions, un réajustement des valeurs mesurées doit être effectué. Pour ce faire, une (ou plusieurs) station de référence doit être choisie afin de réaliser un suivi temporel des variations d'activité radon à l'échelle de la campagne.

La mesure l'activité du radon dans le sol est établie grâce à la formule suivante (cette dernière permet de revenir à un volume unitaire et de s'affranchir de la désintégration du radon entre le temps de prélèvement et le temps de la mesure)

$$A = \frac{(N-B)}{60} * \frac{1}{H} * \frac{100}{60} * \frac{1}{V}$$

- A : activité volumique en Bq/m³
- N : résultat du comptage de la fiole, exprimé en impulsions par minute
- B : résultat du comptage du bruit de fond de la fiole exprimé en impulsions par minute
- H : temps séparant l'horaire du prélèvement avec l'horaire d'analyse

- 100 / 60 : rendement pratique moyen des fioles scintillantes
- V : volume de la fiole en m³, soit 120.10⁻⁶ m³

Le temps d'analyse dans le compteur est fixé à 300 s. Bien que l'unité de mesure des concentrations en ²²²Rn soit le Bq/m³ les résultats sont souvent présentés en pCi/L, unité traditionnellement utilisée dans la communauté hydrogéologique.

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ pCi} = 37 \cdot 10^{-3} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ Bq} = 27 \text{ pCi}$$

3.2. PROSPECTION EMANOMETRIQUE RADON SUR SAINT GEORGES

3.2.1. Déroulement de la campagne

La campagne émanométrique radon sur le terrain s'est déroulée à Saint-Georges sur 8 jours avec une équipe de 2 personnes :

- Du 18 au 22 septembre 2017
- Du 25 au 27 septembre 2017

En 8 journées effectives de prélèvement, au total 119 échantillons de gaz ont été prélevés sur l'ensemble du secteur d'étude. Ne disposant pas d'éléments géologiques et hydrogéologiques suffisants pour guider efficacement la prospection (reconnaissance géophysique différée après la prospection émanométrique, et non en concomitance), les premiers jours de prélèvements se sont concentrés le long des pistes, routes et layons facilement accessibles, avant de se focaliser sur les zones ayant présenté les anomalies « radon » les plus fortes. Des travaux de layonnage ont été nécessaires sur les zones les moins accessibles.

La profondeur moyenne de prélèvement est de 50 cm, et le temps de pompage avec la pompe à vide est de 30 secondes. Ils ont tous rencontré un sol sec plus ou moins limoneux, souvent à éléments de cuirasse. Le tableau de résultats relatif à la campagne de terrain est fourni en annexe 1.

3.2.2. Précipitations

Les conditions climatiques ont été idéales sur toute la période située au cœur de la saison sèche. Les prélèvements n'ont ainsi pas été perturbés par les pluies. Les renseignements observés et pris localement auprès de plusieurs habitants sont indiquées en annexe 2. Peu d'activité de pluie a été observée durant la campagne de prélèvement.

Les principales pluies du 24 et 25 septembre étaient de faible intensité, sous forme d'averses de courte durée. Ces pluies ne sont pas susceptibles de saturer le sol en profondeur. Les prélèvements n'ont donc pas été influencés et sont considérés comme valides.

3.2.3. Comptage de l'activité radon

Les échantillons ont été analysés entre 3 et 6 heures après le prélèvement à l'aide du compteur Calen avec un temps de comptage de 300 secondes. Les corrections liées au rendement de comptage du scintillomètre n'ont pas été utiles (estimé par le constructeur à 0.08 coup/mn, donc négligeable). Le bruit de fond des fioles a été évalué sur un petit échantillon de fioles suivant le Tableau 1. Il est très peu variable, et s'élève en moyenne à une correction de 1,15 c/mn

N Flacon	Comptage radon (c/30 mn)	Activité mesurée (Bq/m3)	Bruit de fond des fioles (c/mn)
B207	30	76	1.00
C207	30	76	1.00
I207	96	245	3.20
O208	9	23	0.30
M208	8	20	0.27
Bruit de fond moyen des fioles			1.15

Tableau 1 : Bruit de fond moyen des fioles

En retirant tous les points relatifs aux mesures sur la station de référence R1, ainsi que les quelques échantillons qui n'ont pas pu être validés pour incidents de prélèvement, le nombre d'échantillons validés pour la définition des zones anormales s'élève à 110.

Le tableau des résultats validés et corrigés est fourni en annexe 3.

3.2.4. Résultats sur les Stations de référence

Une station de référence a fait l'objet de plusieurs prélèvements pour contrôle de la variabilité des conditions de prélèvement et éventuellement procéder à des corrections de valeurs obtenues lors de la campagne de terrain entre le 18 et 27 septembre 2017. Il s'agit du point référencé R1. Le tableau des résultats est présenté en annexe 4 et le graphique de suivi de l'activité radon sur la Figure 14.

Les variations à l'échelle de la période de prélèvement sont relativement faibles (variation maximale de 23 %), et les heures de prélèvements représentatives de l'ensemble des prélèvements effectués. L'écart type, évalué à 2427 Bq/m³, est limité et n'entraîne aucune modification des valeurs anormales. Aucune correction sur les valeurs de l'activité radon n'est nécessaire pour cette campagne.

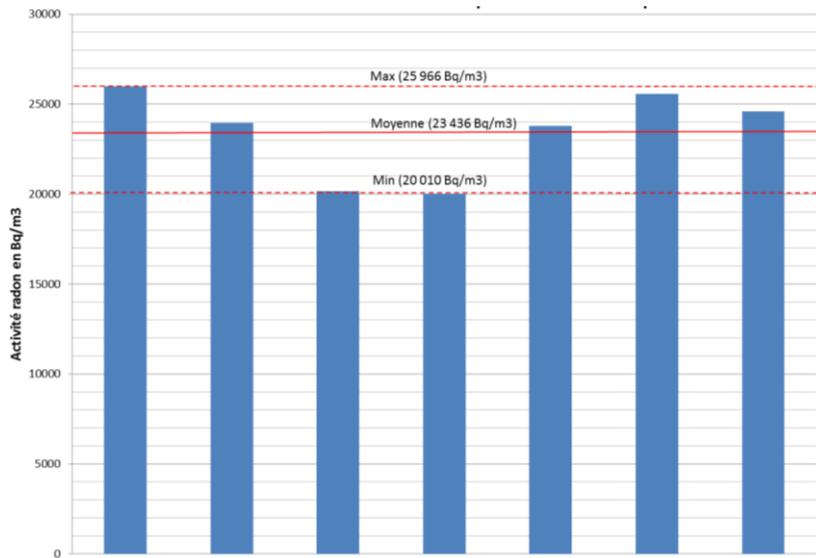


Figure 14 : Suivi de l'activité radon sur la station de référence entre le 18 et 27 septembre 2017

3.2.5. Calcul des seuils

La totalité des valeurs obtenues a fait l'objet d'un traitement statistique (ensemble du secteur d'étude). Les valeurs anormales correspondent au percentile 90% (soit 10% des valeurs les plus élevées sur l'ensemble des échantillons). Le bruit de fond correspond à la moyenne de l'ensemble des valeurs hormis les valeurs anormales.

Le graphique suivant (Figure 15) présente la comparaison de l'activité calculée et mesurée sur la totalité des échantillons. La différence est négligeable, ne présentant aucun artefact de mesure, validant ainsi la représentativité des mesures effectuées.

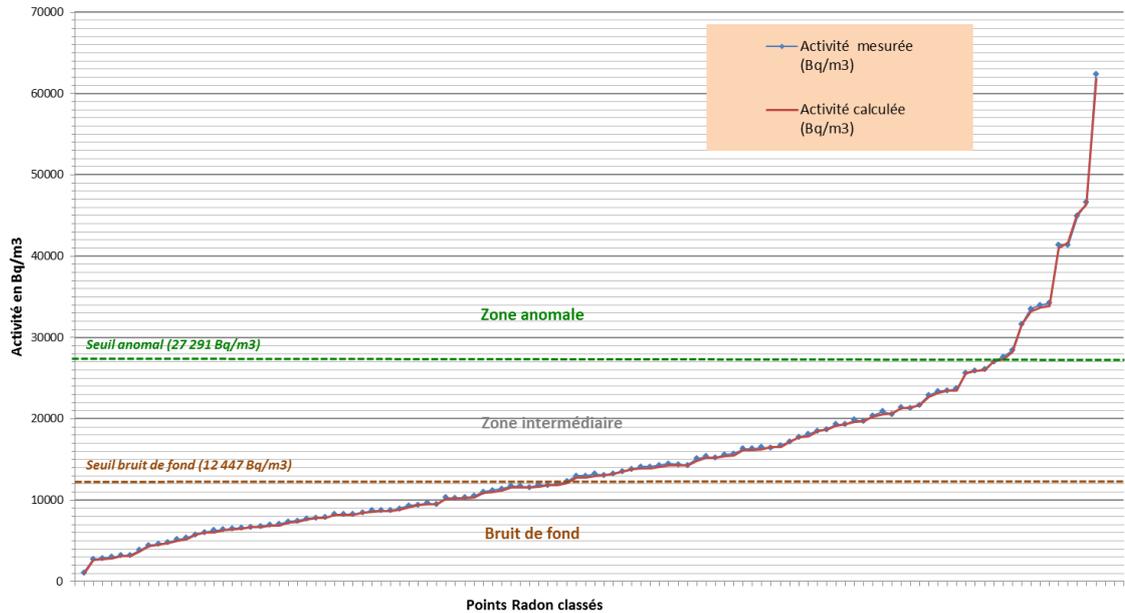


Figure 15 : Comparaison de l'activité calculée et mesurée sur l'ensemble des échantillons

La Figure 16 et le Tableau 2 présentent les valeurs anormales, les percentiles 80% et 70%, ainsi que le bruit de fond sur l'ensemble des valeurs calculées.

Ces résultats montrent très clairement que l'activité radon à Saint-Georges est sensiblement plus importante sur les formations de type migmatitique (ex : campagne de prospection radon sur le bourg de Papaïchton, 2016). Le seuil anomal est évalué à 27291 Bq/m³ (11 échantillons concernés), et le bruit de fond à 12 447 Bq/m³ (53 échantillons concernés). Les valeurs intermédiaires (46 échantillons concernés), identifiées par les seuils « percentiles 80% et 70% » (respectivement 21159 et 17565 Bq/m³), permettent de mieux affiner la réalité des anomalies mesurées. Cette forte activité dénote d'une zone d'étude particulièrement fracturée dans des formations granitiques dont la propension à l'ouverture de fractures est élevée. Ces fractures tectoniques constituent autant de cibles à privilégier pour leur mise en évidence dans le cadre des investigations géophysiques.

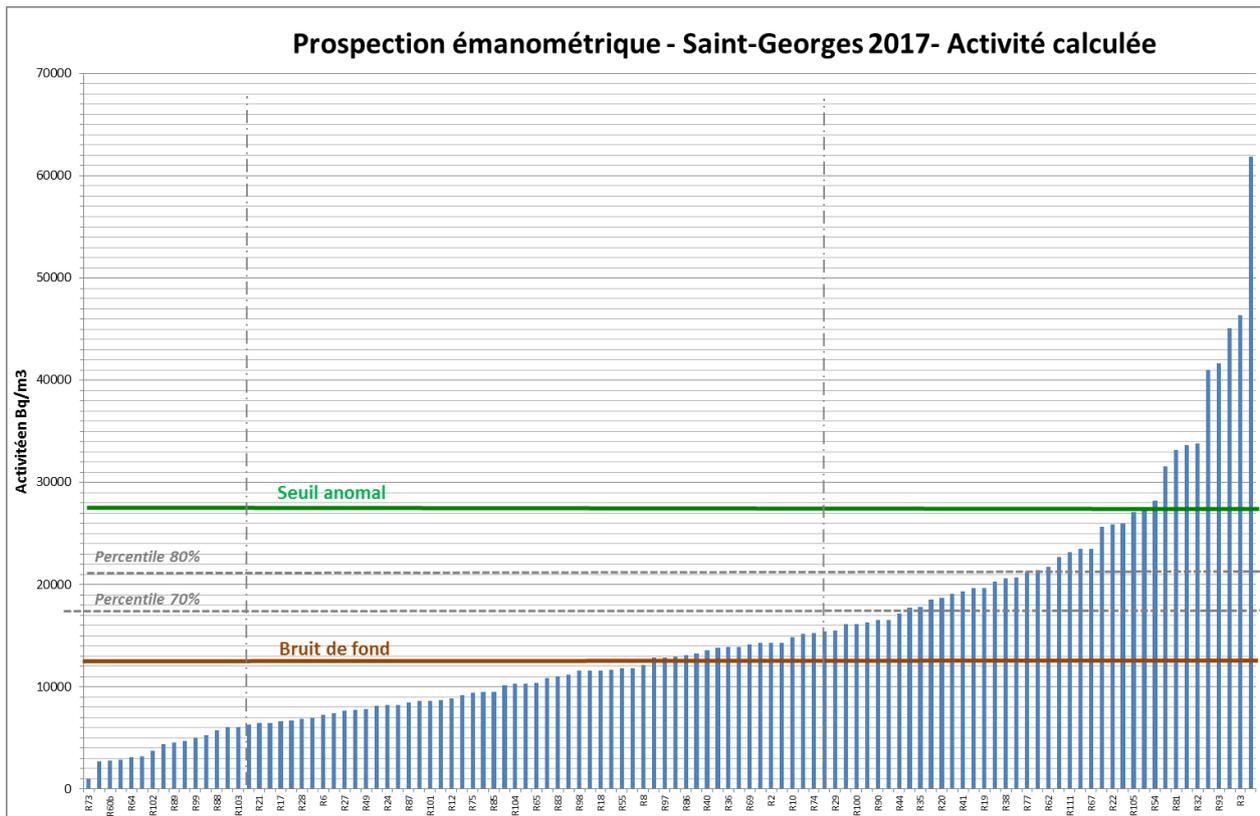


Figure 16 : Activité calculée sur l'ensemble des échantillons

SEUILS	Activite calculee (Bq/m3)
Seuil anomal de la campagne (toute mesure)	27291
Bruit de fond de la campagne	12447
Seuil percentile 80%	21159
Seuil percentile 70%	17565

Tableau 2 : tableau de synthèse des seuils calculés pour l'ensemble des échantillons

3.3. INTERPRETATION DES RESULTATS

3.3.1. Localisation des points de prélèvement

La Figure 17 présente la localisation des 110 points de prélèvement radon sur le secteur d'étude. La station de référence (R1, en jaune sur la carte) est localisée au début de la piste menant au saut Maripa.



Figure 17 : Localisation des points de prélèvement radon (BRGM sur fonds carte IGN)

3.3.2. Zones anormales

La carte de l'activité radon et des anomalies radon sur le secteur d'étude sont présentées respectivement sur la Figure 18 et la Figure 19. Les plus fortes activités se localisent principalement selon une direction sub-nord-sud au niveau de la crique Latawa dans la continuité d'un axe nord-sud d'un méandre de la crique Gabaret, et se poursuivant sur la crique menant jusque à la pointe Blondin en bordure de l'Oyapock. Une autre zone de forte activité a été mise en évidence à l'ouest du camp militaire situé immédiatement au sud de Saint-Georges. Les autres secteurs ne présentent pas d'anomalie marquée.

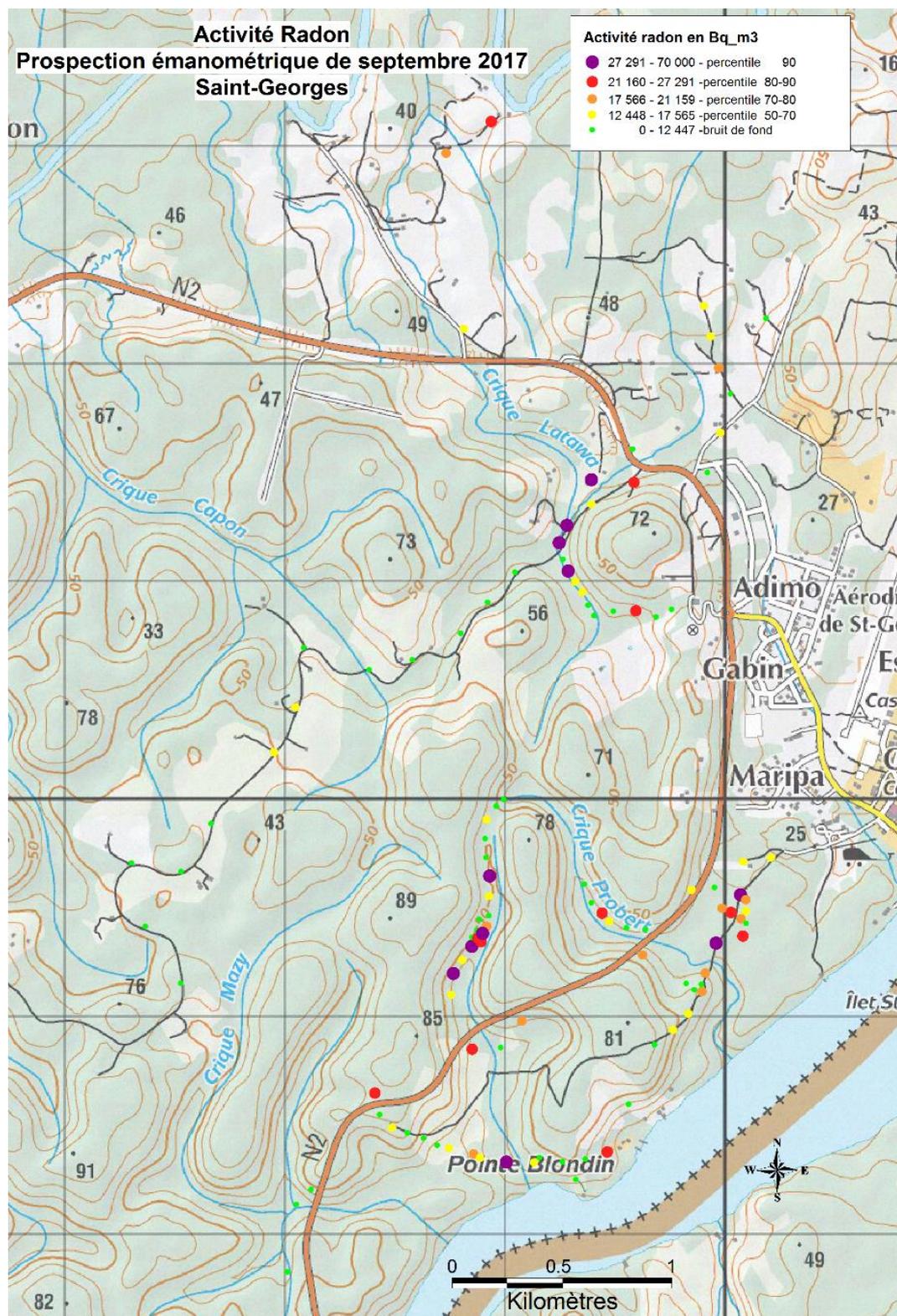


Figure 18 : Carte de l'activité radon sur le secteur d'étude (BRGM sur fond carte IGN)

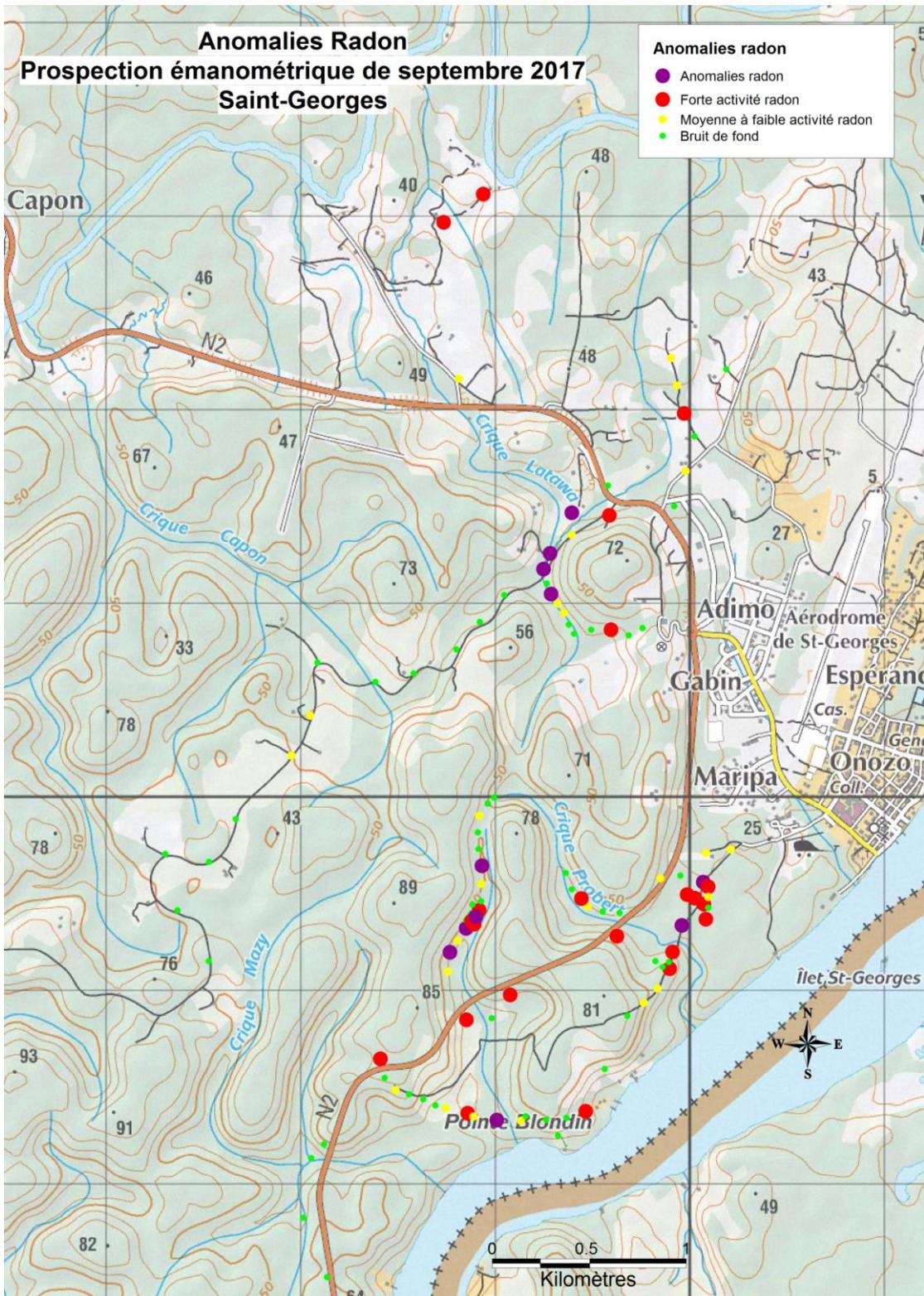


Figure 19 : Carte des anomalies radon sur le secteur d'étude (BRGM sur fond carte IGN)

3.3.3. Zones d'intérêt hydrogéologique

Très peu d'information géologique et hydrogéologique a pu être observée ou confirmée sur le terrain. L'absence de données géophysiques en amont (ou en concomitance) de la prospection hydrogéologique et radon ne permet pas de mettre en évidence d'autres indicateurs vis-à-vis de l'existence d'accidents présentant un intérêt hydrogéologique, notamment en ce qui concerne les directions de ces éventuels accidents. On notera simplement la confirmation d'un filon de dolérite de direction nord-sud armant la topographie entre la pointe Blondin et le réservoir d'eau potable (filon déjà reconnu sur la carte géologique). La présence d'un second filon de dolérite, suspecté dans l'étude géologique et structurale préliminaire et situé selon la même direction mais plus à l'est, n'a pas été confirmée. On notera également l'observation d'un gros bloc « volant » dans la crique Latawa à proximité de la colline abritant le réservoir d'eau potable. Dans ces conditions il a été préféré de ne pas dresser une zonation des anomalies radon relevées, mais de proposer 4 zones d'intérêt hydrogéologique sur lesquelles pourront se focaliser les investigations géophysiques (Figure 20). Ces zones sont classées selon un ordre d'intérêt hydrogéologique décroissant sur la base des données à disposition et de la prospection émanométrique :

Zone 1

Elle est la plus intéressante car coïncide avec un accident majeur sub – nord-sud identifié sur la carte géologique, avec identification de plusieurs anomalies radon. La prospection émanométrique a été affinée en fin de campagne pour tenter de mettre en évidence un nœud de fracturation suspecté. La direction de ce second accident potentiel n'a pas pu être mise en évidence. La partie sud de cette zone (prolongement de l'accident majeur vers le sud) a également mis en évidence une anomalie radon et mériterait de faire l'objet d'investigations géophysiques.

Zone 2

Sur le même accident majeur que celui identifié dans la zone 1 (prolongement vers le nord), plusieurs anomalies radon ont été mises en évidence. Il est également suspecté un nœud de fracturation nord-sud / nord 30-40 dans le prolongement d'un linéament interprété dans la reconnaissance géologique préliminaire du présent programme. Ce site a l'avantage de se situer à proximité du château d'eau existant, mais l'inconvénient est de se placer à proximité de l'ancienne décharge de Saint-Georges, sachant que la zone se place (a priori) en amont hydraulique de cette décharge.

Zone 3

Une série d'anomalies radon plutôt de forme concentrique a été mesurée sur cette zone qui montre de bonnes capacités à l'infiltration et donc une bonne alimentation du réservoir aquifère potentiel. Il est partiellement occupé par les formations alluviales de l'Oyapock, ce qui pourrait témoigner de l'existence localement d'anciens chenaux. Sur le plan foncier, la présence du camp militaire de Saint-Georges pourrait contraindre l'implantation des travaux géophysiques.

Zone 4

Si elle n'a pas été grandement investiguée, cette zone abrite le prolongement de l'accident majeur observé sur les zones 1 et 2. Cet accident coïncide notamment avec une direction nord-sud de la crique Gabaret qui pourrait être lié à cet accident. De fortes anomalies radon ont été relevées dans la partie nord de cette zone, qui doit être privilégiée pour la réalisation des travaux géophysiques. La partie sud de la zone est en effet située en aval hydraulique direct de l'ancienne décharge de Saint-Georges.

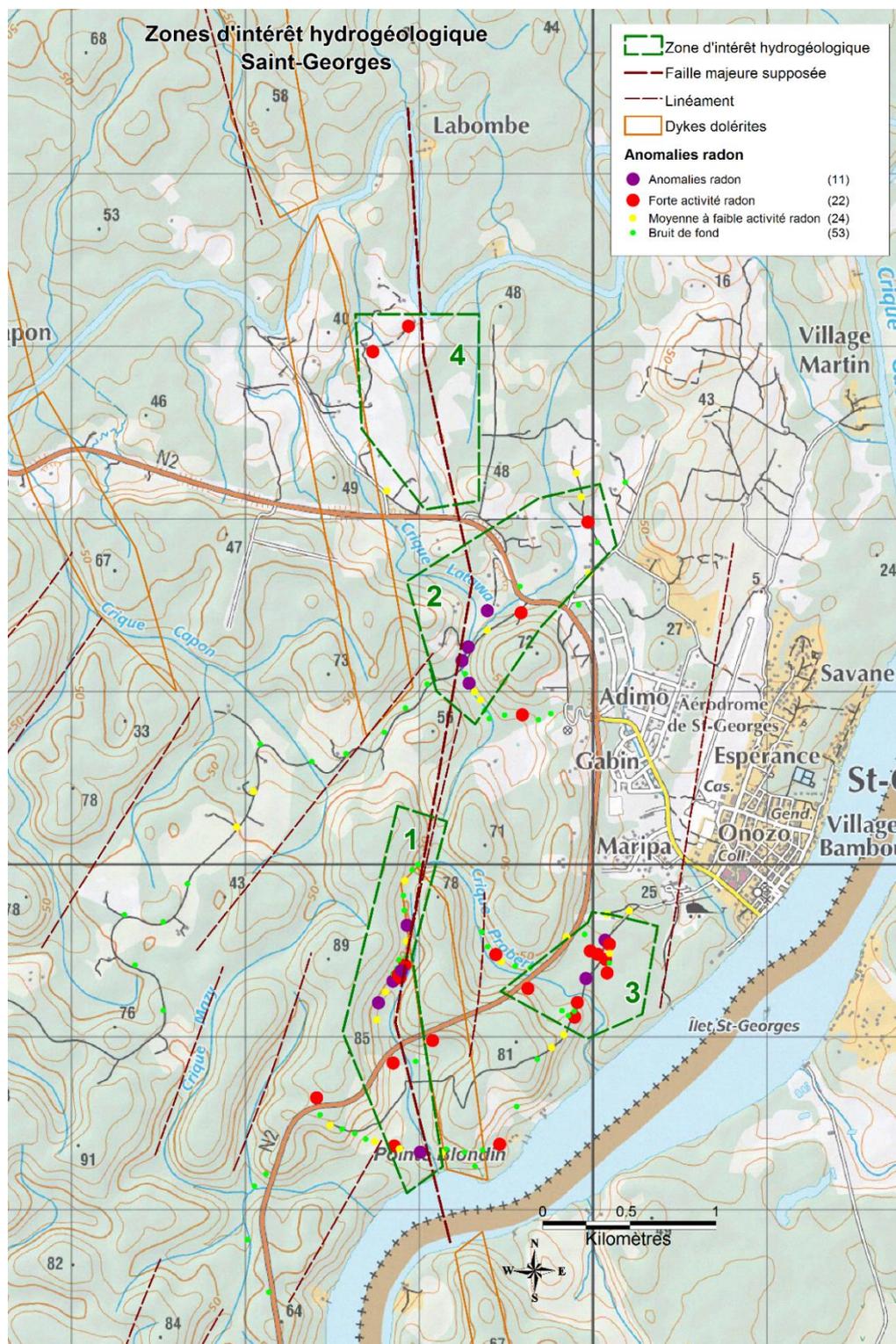


Figure 20 : Localisation des zones d'intérêt hydrogéologique sur le secteur d'étude (BRGM sur fond carte IGN)

3.3.4. Synthèse des résultats

La reconnaissance de terrain a permis de mettre en évidence quelques points d'eau (sources ou puits peu profonds avec un niveau d'eau sub affleurant). Ils se situent tous au contact en bordure est du filon de dolérite de direction nord-sud. Les sources seraient issues des formations altéritiques au droit des formations indurées qui participent probablement à l'écoulement de ces sources. Elles sont pérennes avec un débit évalué de l'ordre de 0,07 l/s en saison sèche. Ces observations confirment le caractère aquifère des formations en présence dans lesquelles les altérites jouent pleinement leur rôle capacitif. Le principal objectif de la prospection géophysique sera de mettre en évidence les accidents dans le socle induré qui sont susceptibles de drainer les altérites et offrir des zones privilégiées pour l'implantation de forages avec des débits en relation avec les objectifs affichés. Ces observations montrent également que le filon de dolérite pourrait jouer plutôt un rôle de barrière étanche vis-à-vis des écoulements souterrains et compartimenterait de fait les aquifères potentiels.

4. Prospection par tomographie de résistivité électrique

4.1. CALENDRIER

Les investigations géophysiques par la méthode de la tomographie de résistivité électrique sur le site de Saint-Georges se sont déroulées du 11/10 au 19/10/2017, mise en place et replis de l'équipe compris.

4.2. PERSONNEL

L'équipe d'intervention était composée de :

- 1 ingénieur géophysicien spécialiste des méthodes électriques : F. Mathieu ;
- 1 ingénieur hydrogéologue responsable du projet: M. Lhotelin ou N. Brisset ;
- 1 technicien supérieur, pour l'organisation, l'orientation, et la mise en place des dispositifs de mesure : Bernard Joseph
- 4 manœuvres pour le layonnage et pour la mise en place et le repli des dispositifs de mesures.

4.3. EQUIPEMENT

L'acquisition des tomographies de résistivité a été réalisée à l'aide d'un Syscal-Pro (Iris Instruments, France) connecté à 6 flûtes de 16 électrodes, soit 96 électrodes métalliques régulièrement espacées de 5 mètres sur 475 m de long. L'énergie provenait d'une batterie externe. L'espacement inter-électrodes de 5 m a été choisi afin d'assurer à la fois une résolution acceptable des terrains de surface, et l'obtention d'une profondeur d'investigation maximale d'environ 80 m pour un dispositif de 475 m minimum.

Le matériel utilisé comprend :

- 1 SYSCAL Pro (convertisseur interne DC/DC de 250 W)
- 6 flûtes de 16 traces, inter-trace de 5 m
- 96 électrodes
- 96 cordons
- 3 massettes
- 2 batteries de voiture 70 Ah
- 4 connecteurs de flûtes
- 1 télélaser Trupulse 360B
- 1 véhicule 4x4

4.4. TRAVAUX REALISES

4.4.1. Principe de la méthode du panneau électrique

Le principe de la méthode du panneau électrique est donné en annexe 5.

4.4.2. Mise en place des électrodes sur les panneaux électriques

La mise en place de chaque électrode (tige en inox de 30 cm de long) a été précédée de la réalisation d'un avant-trou, lequel a été abondamment arrosé avec de l'eau salée (250g/l).

Cette procédure a permis de réduire les résistances de prise, initialement comprises entre 15 et 20 kOhm, à des valeurs inférieures à 10 kOhm (en moyenne 4 kOhm), et ce, sur l'ensemble des profils.

4.4.3. Tomographies de résistivité réalisées

Les caractéristiques des différentes tomographies de résistivité sont résumées dans le *Tableau 3*. La localisation de ces tomographies de résistivité est présentée sur la *Figure 21*. Les coordonnées X, Y et Z sont disponibles en annexe 7.

Profil	Date acquisition	Orientation	Longueur (m)	Nombre de dispositifs	Dispositif retenu	Nb mesures brutes	Nb mesures retenues	Taux (%)
SG1	14/10/2017	SW - NE	475	1	DD	2266	2021	89.2
SG2	12/10/2017	W - E	475	1	DD	2266	2235	98.6
SG3	13/10/2017	SW - NE	475	1	DD	2266	2225	98.2
SG4	17/10/2017	W - E	475	1	DD	2266	2146	94.7
SG5	18/10/2017	W - E	475	1	DD	2266	2160	95.3
SG6	16/10/2017	W - E	475	1	DD	2266	1973	87.1
SG7	16/10/2017	SW - NE	475	1	DD	2266	2229	98.4
Total	7 profils		3325					

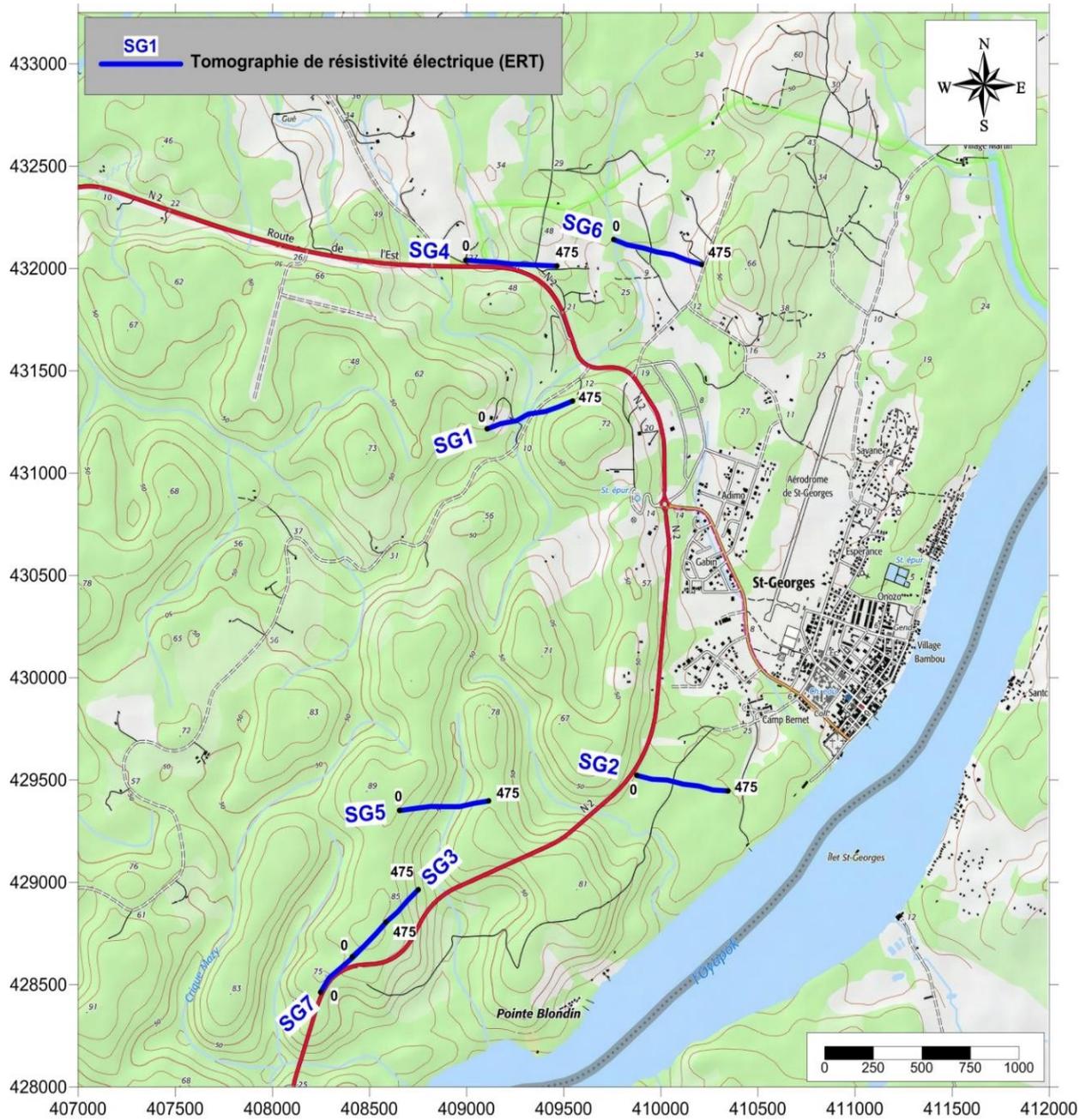


Figure 21 : Localisation des tomographies de résistivité au 1/25 000.

4.4.4. Configuration d'acquisition des tomographies de résistivité électrique

Une configuration d'acquisition est une manière d'agencer géométriquement les électrodes de courant et de potentiel en surface. Il en existe plusieurs, chacune présentant des avantages et des inconvénients, notamment en ce qui concerne l'amplitude du signal, la profondeur d'investigation et la résolution.

Le dispositif dipôle-dipôle donne une très bonne résolution des terrains de sub-surface et pour les discontinuités verticales. Il est peu sensible aux effets latéraux (structures telles que les ravines ou crêtes parallèles au profil). Par contre, le rapport signal/bruit décroît rapidement et la profondeur d'investigation peut donc être limitée.

Le dispositif Wenner-Schlumberger est beaucoup plus intégrant et, de ce fait, plus sensible aux effets latéraux. La résolution au niveau des horizons de sub-surface et des structures plus globales est cependant réduite. Son intérêt majeur réside dans la plus grande profondeur d'investigation atteinte grâce à un meilleur rapport signal/bruit.

Les premières investigations effectuées avec les dispositifs dipôle-dipôle et Wenner-Schlumberger ont montré que la profondeur d'investigation contractuelle (75m) était atteinte avec le dispositif dipôle-dipôle et que la qualité des mesures était excellente. Les acquisitions avec le dispositif Wenner-Schlumberger ont continué à être réalisées par sécurité.

4.4.5. Paramètres d'acquisition

Pour les acquisitions en configuration Dipôle-Dipôle, les paramètres d'acquisition ont été les suivants :

- Durée des créneaux d'injection : 0.5 s
- Nombre de cycle de mesures : 3 à 6 (3 si $Q < 0.5\%$, 6 si $Q > 0.5\%$)
- Déviation standard : $Q < 0.5\%$
- Tension d'injection : 800 V

4.4.6. Positionnement des mesures

Les panneaux électriques ont été positionnés (coordonnées X, Y dans le système WGS84 UTM zone 22N) grâce à un GPS de poche Garmin 60CSx. La précision, qui est fonction de la couverture végétale et du relief, peut être estimée à 2 ou 3 m en zone dégagée et à 5 m en zone couverte.

Les levés altimétriques ont été réalisés sur chaque profil avec un télémètre laser muni d'une fonction inclinométrique (TruPulse 360B). Le pas de mesure est de 10 m. En relatif, la précision sur les altitudes est de l'ordre de quelques dizaines de centimètres. En absolu, la précision est quant à elle estimée à 1 m car l'altitude de référence, pour chaque profil a été prise en zones dégagées (bonne précision sur X et Y) et en zone de

flat (faible incertitude sur Z) et extraite de la carte IGN à 1/25 000. Ce procédé évite des calages de bases longs et fastidieux en zone isolée tout en donnant une précision en adéquation avec les objectifs.

4.5. TRAITEMENT ET INVERSION

4.5.1. Analyse de la qualité des mesures

Comme le montre le *Tableau 3*, la qualité des mesures peut être considérée comme étant très satisfaisante. Plus de 90% des mesures ont été retenues pour l'inversion car elles présentent un signal (V) supérieur à 0.3 mV et un coefficient de qualité (précision sur le rapport V/I) inférieur à 5%.

4.5.2. Traitement des mesures avec le logiciel X2IPI

Le logiciel X2IPI (Bobachev Alexey, Moscow University) permet d'atténuer les artefacts liés aux hétérogénéités de sub-surface afin de retrouver une réponse 2D plus claire du signal électrique attribué aux structures auscultées. Toutes les pseudo-coupes de résistivité apparente ont été traitées avec ce logiciel suivant une procédure explicitée sur les 4 figures suivantes.

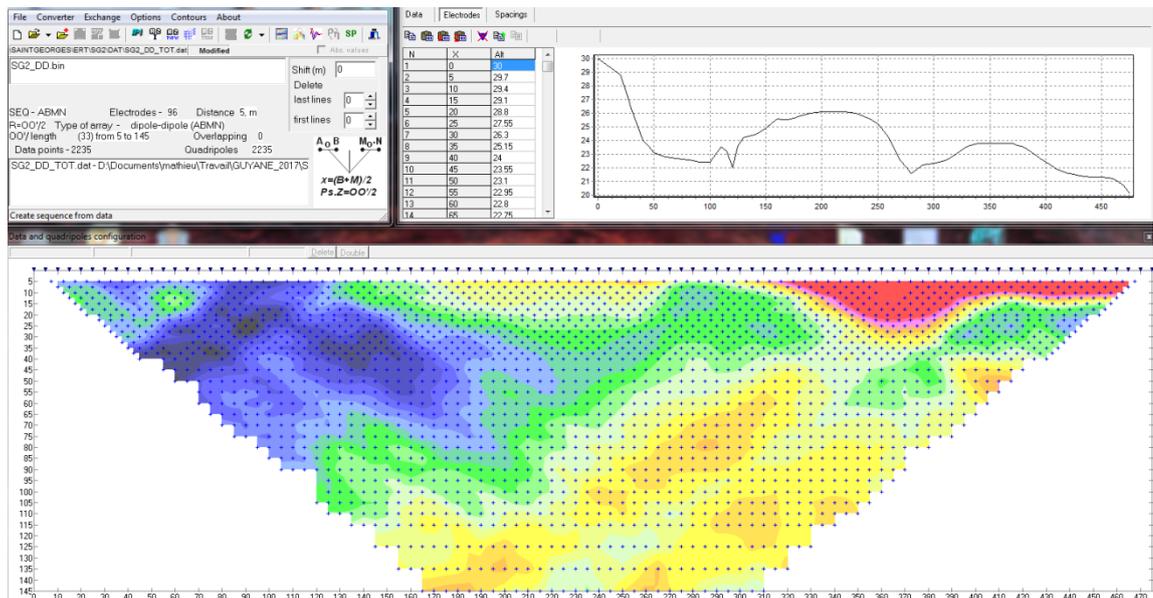


Figure 22 : Pseudo-coupe de résistivité apparente (SG2, dispositif dipôle-dipôle) avant filtrage avec X2IPI.

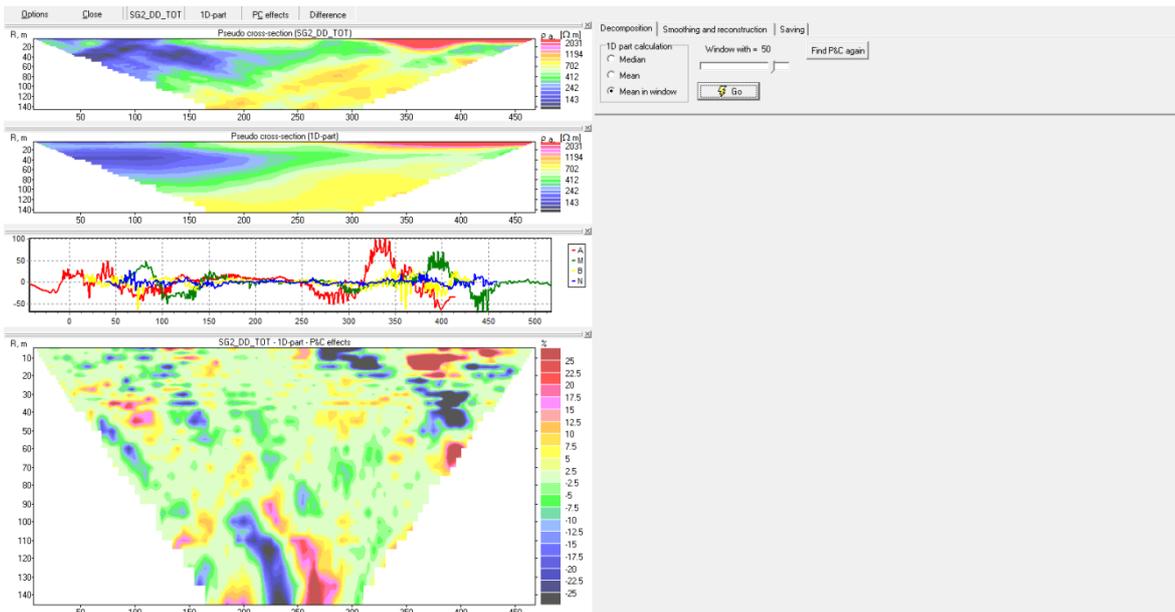


Figure 23 : Première étape du filtrage

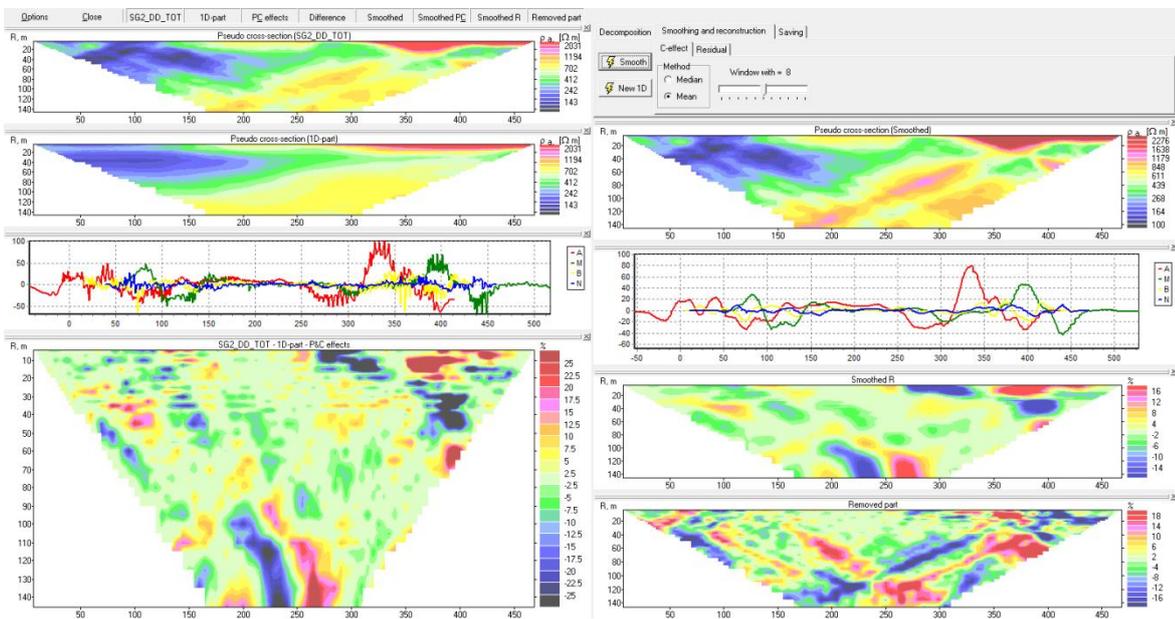


Figure 24 : Deuxième étape du filtrage

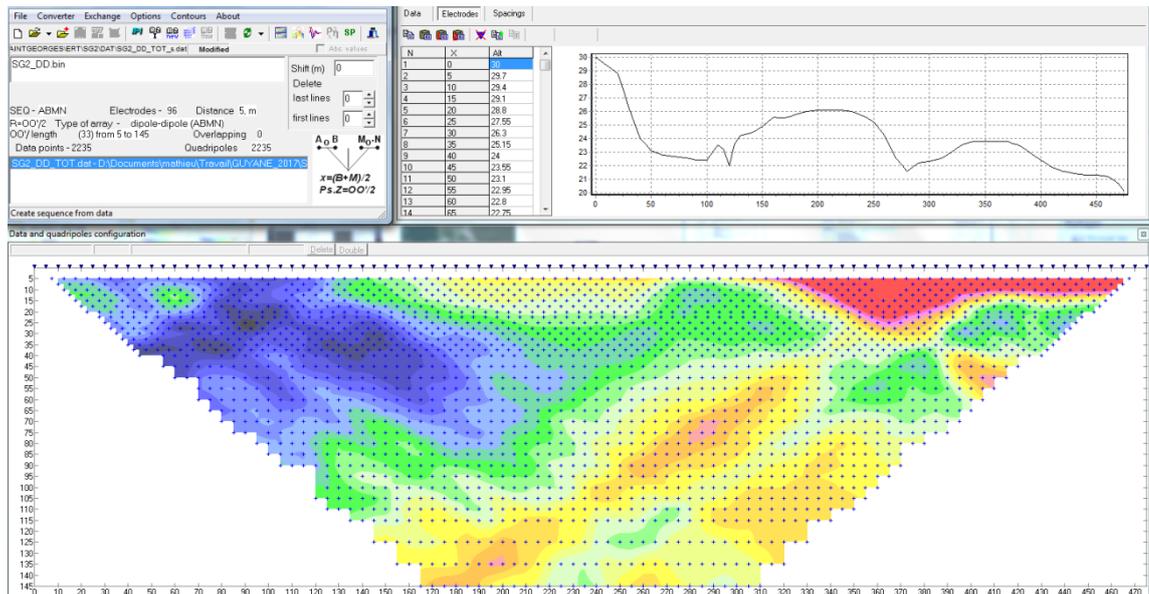


Figure 25 : Pseudo-coupe de résistivité apparente (SG2, dispositif dipôle-dipôle) après filtrage avec X2IPI.

4.5.3. Inversion des données avec le logiciel RES2DINV

Après filtrage des données avec le logiciel PROSYS et traitement de ces données filtrées avec le logiciel X2IPI, toutes les pseudo-sections de résistivité apparente ont été inversées avec le logiciel Res2DInv (Loke & Barker 1996).

Les sections de résistivité « vraie » (3^{ème} image (en bas) des figures présentées en Annexe 5), résultats de l'inversion, seront ensuite utilisées pour l'interprétation en termes de géologie et de structures. Elles fournissent des informations quantitatives permettant de caractériser l'origine des différentes anomalies mises en évidence : résistivité, géométrie et profondeur, pendage. Les résultats de l'inversion sont présentés sous forme d'une coupe présentant la distribution des résistivités calculées le long du profil en fonction de la profondeur (la topographie est prise en compte dans les inversions).

Quelles que soient les performances des algorithmes de convergence, en l'absence d'étalonnage (résistivité étalonnée, profondeur des interfaces géoélectriques connues) les résultats fournis par l'inversion ne sont pas définis de manière univoque (plusieurs solutions peuvent satisfaire au même jeu de données). Cette indétermination ne peut être évaluée qu'en testant différentes solutions ou en contraignant l'inversion au moyen de paramètres (résistivités, épaisseurs, profondeurs) obtenus par d'autres moyens (autre méthode géophysique, diagraphies, forages, observations des affleurements...).

Pour chaque dispositif, des paramètres d'inversion ont été testés de manière à obtenir une bonne convergence de la solution et une erreur minimale d'ajustement du modèle aux mesures. Les résultats de ces tests ont permis de sélectionner plusieurs ensembles de paramètres (Annexe 6):

- Standard horizontalisé (STDH): minimisation de l'erreur quadratique, inversion lissée. Associée à un facteur d'anisotropie (*filter ratio*) de 0.3, cette inversion permet de privilégier les structures horizontales et favorise la continuité des horizons géoélectriques ;
- Robuste (ROBH) : minimisation de l'erreur en valeur absolue, limites plus franches entre les différents horizons. Associée à un facteur d'anisotropie (*filter ratio*) de 0.3, cette inversion permet de privilégier les structures horizontales ;
- Standard verticalisé (STDV) ou robuste verticalisé (ROBV): Associées à un facteur d'anisotropie (*filter ratio*) de 2.0, ces inversions permettent de privilégier les structures verticales (localisation précise des discontinuités verticales). Les résultats de ces inversions ont été utilisés pour l'interprétation des coupes géoélectriques mais ne sont pas présentés.

5. Interprétation et résultats

5.1. PRESENTATION DES COUPES DE RESISTIVITE INTERPRETEES

Les figures présentant les résultats des inversions des données de résistivité apparente mesurées sur le terrain sont construites de la manière suivante :

- La première illustration (haut) montre le résultat de l'inversion des données acquises selon le dispositif dipôle-dipôle et inversées avec des paramètres (standards STDH) et une horizontalisation (filter ratio : 0.3). Y figurent également les interprétations en termes de profil d'altération et en termes de structures. Les horizons ou structures géo-électriques identifiés sont notés :
 - C pour conducteur ;
 - R pour résistant ;
 - F pour discontinuité (il peut s'agir d'une faille ou d'un brusque changement de lithologie) ;
 - Dyke pour les dykes de dolérite ;
 - Les chiffres 0, 1, 2 identifient des horizons différents et/ou sont en relation, si possible, avec la notion de superposition de différents terrains (0 étant le terrain le plus profond) ;
 - SR pour l'identification et la localisation des sondages de reconnaissance ;
- La seconde illustration (bas) montre le résultat de l'inversion des données acquises selon le dispositif dipôle-dipôle et inversées avec des paramètres (ROBH) robustes et une horizontalisation (filter ratio : 0.3). Les structures et les discontinuités sub-verticales ont également été reportées sur cette coupe.

D'une manière générale, la résistivité des terrains rencontrés durant cette étude sont globalement des terrains résistants ($> 30 \Omega.m$) par rapport à la gamme générale des résistivités des formations du sous-sol ($0.1 - 10\,000 \Omega.m$).

Des échelles de résistivité différentes ont été utilisées pour chaque tomographie du fait de l'importante disparité dans les gammes de résistivité suivant la localisation de ces tomographies.

5.2. CALAGE DE L'INTERPRETATION DES TOMOGRAPHIES DE RESISTIVITE EN TERMES DE LITHOLOGIE ET DE PROFIL D'ALTERATION

Sur ce secteur d'étude la seule source d'information disponible pour l'interprétation des tomographies de résistivité en termes de lithologie et de profil d'altération est la carte géologique revue et précisée par G. Aertgeerts lors d'une reconnaissance de terrain en octobre 2016 réalisée dans le cadre de ce projet (note technique sur la géologie de la commune de Saint-Georges de l'Oyapock). Les conclusions de cette note sont les suivantes :

- Présence d'un granite riche en feldspath alcalin dans la partie nord du secteur ;
- Présence d'un granite fin à biotite dans la partie sud ;
- Absence d'affleurement de roche saine sur l'ensemble de la zone d'étude dénotant la présence d'un profil d'altération bien développé ;
- Observations d'intrusions doléritiques (dykes, sills);
- Globalement deux réseaux de fracturation affectent le massif granitique : l'un d'orientation N-S et l'autre d'orientation NW-SE.

Compte tenu de ces informations, l'interprétation des coupes géo-électriques en termes de lithologie se réfère au schéma conceptuel (Figure 9) des aquifères stratiformes et continus liés aux différents horizons d'un profil d'altération en contexte de socle (Wyns, 2015) et à l'expérience acquise dans des contextes relativement similaires comme :

- Le secteur de Sparouine – Guyane (BRGM/RP-64467-FR) ;
- Le secteur de Roura – Guyane (BRGM/RC-67356-FR) ;
- Le secteur de Papaïchton – Guyane (BRGM/RP-66809-FR) ;
- Le secteur de Saint-Galmier – Métropole (BRGM/RP-65614-FR).

Comme le montre l'exemple tiré de l'étude réalisée sur Sparouine en contexte métamorphique (Figure 26), le schéma géo-électrique de base pour l'interprétation des tomographies de résistivité sera de bas en haut le suivant :

- Un substratum résistant R0 correspondant aux granites sains ;
- Un horizon conducteur C0 attribué à l'horizon fissuré ;
- Un horizon résistant R1 correspondant à l'horizon feuilleté ;
- Un niveau conducteur C1 attribué à la base des saprolites ;
- Un dernier terrain résistant correspondant au sommet de la saprolite et à la cuirasse latéritique.

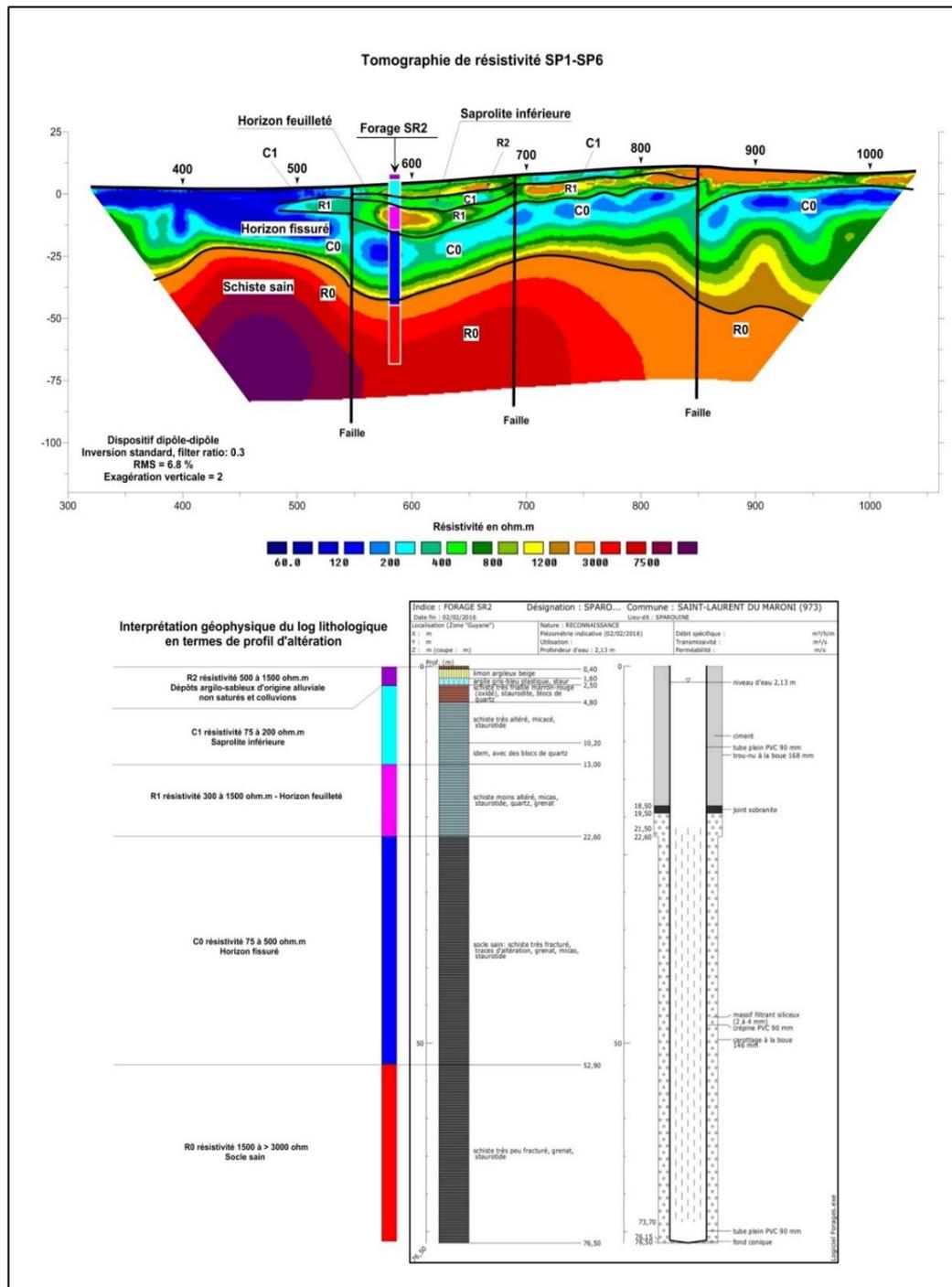


Figure 26 : Etude réalisée pour l'AEP de Sparouine (Saint-Laurent du Maroni). Coupe géo-électrique interprétée en termes de lithologie, de profil d'altération et de structure avec proposition d'un sondage de reconnaissance (en haut). Résultats du sondage de reconnaissance (en bas).

5.3. INTERPRETATION DETAILLEE DES TOMOGRAPHIES DE RESISTIVITE

5.3.1. Tomographie SG1

La tomographie SG1 a été implantée dans le but de localiser avec précision et de caractériser la faille géologique F1g et la présence éventuelle d'un dyke de dolérite. La présence de cette faille est pressentie par la présence de plusieurs anomalies radon au niveau de la crique Latawa. Les particularités du schéma géo-électrique au niveau de la tomographie SG1 (Figure 27) sont les suivantes :

- La résistivité du socle sain R0 (750 à 4000 ohm.m) caractérise le granite à feldspath alcalin qui occupe la partie nord de la zone d'étude. Elle est plus faible qu'au niveau des granites à biotite du sud ;
- La résistivité de l'horizon fissuré C0 (30 – 200 ohm.m) est également plus faible au niveau des granites du nord qu'au niveau des granites du sud ;
- L'horizon feuilleté (R1) et les horizons de saprolite (C1 et R2) n'ont pu être mis en évidence dans le fond de la vallée de la crique Latawa. Ces horizons auraient été érodés et remplacés par des dépôts sédimentaires de la formation Démérara. Compte tenu de leur résistivité (< 30 ohm.m), ces dépôts seraient essentiellement argileux ;
- Trois failles ont été mises en évidence (abscisses 100, 310 et 380 m). Aucune n'est en corrélation avec la faille géologique supposée F1g. En revanche les failles F1a et F1b qui délimitent un couloir de fracturation caractérisé par une résistivité de 250 à 500 ohm.m au sein du socle résistant pourraient correspondre à cette faille géologique F1g ;
- Au sein de ce couloir de fracturation F1a – F1b, la structuration des différents horizons reste ambiguë. Plusieurs hypothèses sont possibles :
 - Présence d'un sill de dolérite ;
 - Sur-épaisseur de l'horizon feuilleté et approfondissement de l'horizon fissuré ;
- Quelle que soit l'hypothèse retenue, le couloir de fracturation F1a – F1b constitue une cible hydrogéologique intéressante.

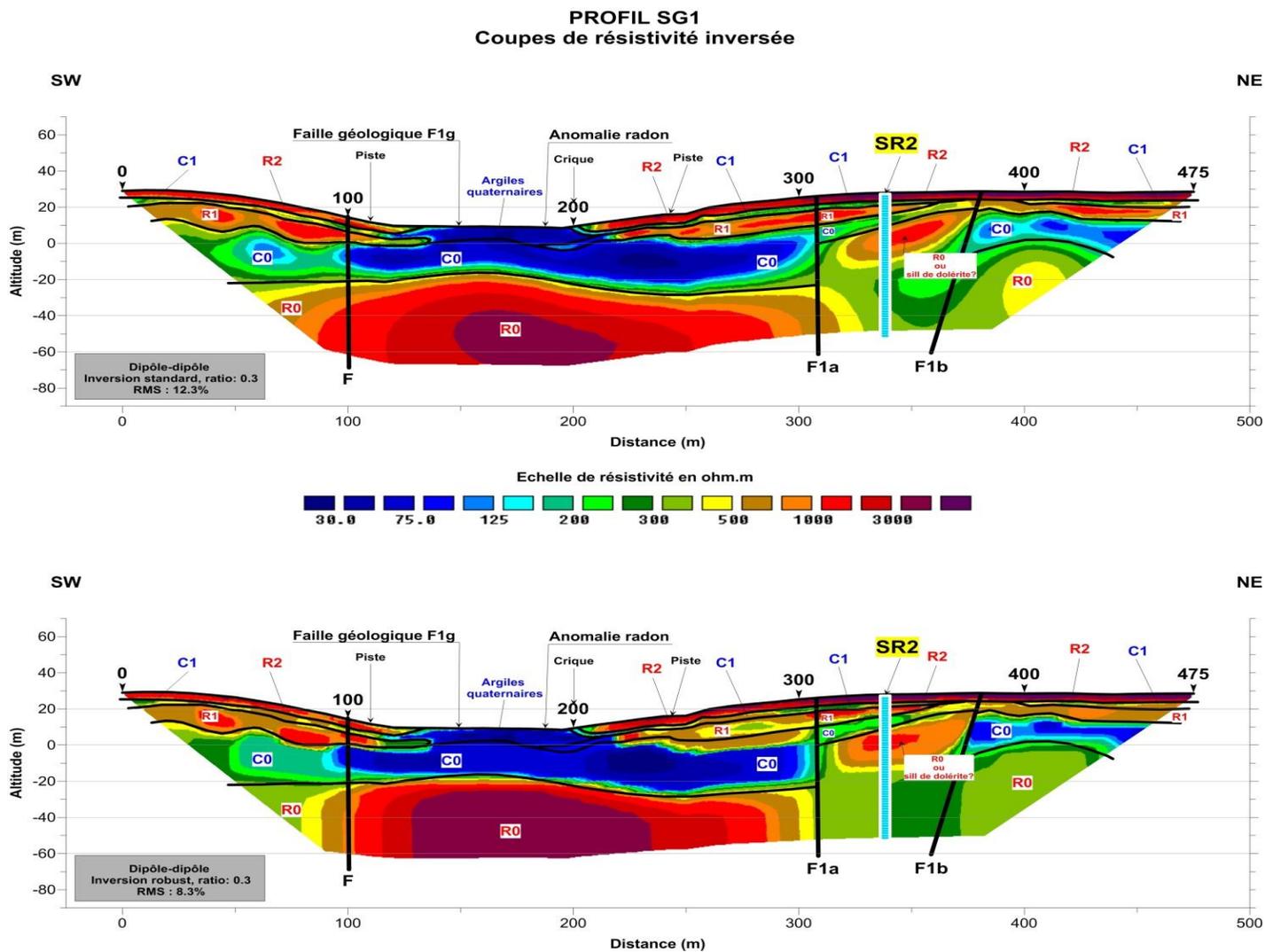


Figure 27 : Tomographie SG1 – Coupes de résistivité inversée interprétées en termes de lithologie et de structures

5.3.2. Tomographie SG2

La tomographie SG2 a été implantée dans le but de localiser et caractériser la faille géologique F2g. La présence d'un chapelet d'anomalies radon renforce l'intérêt porté à ce secteur. Les points marquants de la coupe géo-électrique SG2 (Figure 28) sont les suivants :

- La résistivité élevée (3000 – 10000 ohm.m) du socle sain R0 caractérise les granites à biotite de la partie sud de la zone d'étude ;
- La résistivité plus élevée (150 – 400 ohm.m) de l'horizon fissuré C0 dans ce secteur que dans le secteur nord ;
- Sur la partie est de la tomographie, l'horizon feuilleté (R1) et les horizons de saprolite (C1 et R2) auraient été érodés et remplacés par des dépôts d'origine fluviales (alluvions de l'Oyapock). Compte tenu de leur résistivité (> 5000 ohm.m) et de la position sub-affleurante du niveau d'eau, ces dépôts alluvionnaires seraient de type gravelo-sableux. Entre les deux failles mises en évidence à l'extrémité ouest (abscisses 350 et 410m) de cette coupe (voir paragraphe suivant), un paléo-chenal se serait mis en place. Au centre de ce paléo-chenal, l'épaisseur des alluvions gravelo-sableuses atteindrait une douzaine de mètres. Sous certaines conditions, cette cible pourrait avoir un intérêt hydrogéologique ;
- Quatre failles sont mises en évidence sur cette coupe géo-électrique :
 - La faille F2 (abscisse 85 m) est en parfaite corrélation avec la faille géologique F2g de direction NNE-SSW. La zone de fracturation associée à cette faille est très mal caractérisée du fait de sa localisation en bordure de tomographie. Malgré ce manque d'information cette zone de faille peut être considérée comme une cible hydrogéologique potentiellement intéressante du fait de sa parfaite corrélation avec la faille géologique avérée F2g ;
 - La faille mise en évidence à l'abscisse 157 m ne semble pas être associée à une zone de fracturation très prononcée ;
 - Les deux failles situées à l'extrémité Est de la coupe (abscisses 350 et 410 m) délimiteraient une petite structure de type hemi-graben. La zone de fracturation associée à la première de ces failles (abscisse 350 m) semble particulièrement bien développée (résistivité < 3000 ohm.m dans un encaissant à 10000 ohm.m) et constitue une cible hydrogéologique.

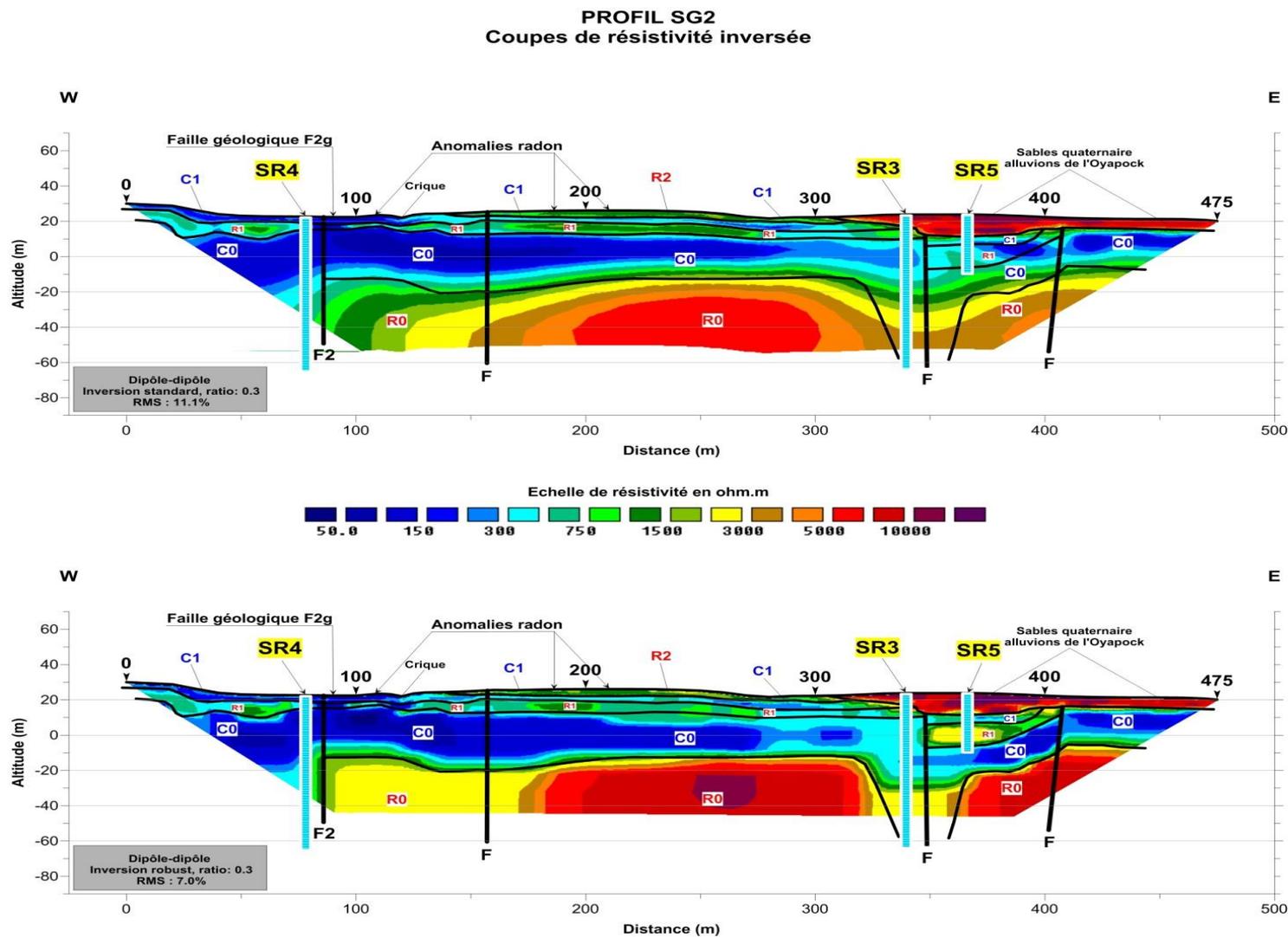


Figure 28 : Tomographie SG2 – Coupes de résistivité inversée interprétées en termes de lithologie et de structures

5.3.3. Tomographie SG3

L'objectif de cette tomographie était de caractériser les épontes d'un dyke de dolérite orienté N-S. Les particularités du schéma géoélectrique au niveau de la coupe SG3 (Figure 29) sont les suivantes :

- La résistivité du socle sain R0 est élevée (2000 à 6000 ohm.m) et caractérise les granites à biotite du sud ;
- L'épaisseur du profil d'altération dans son ensemble (C0 à R2) est particulièrement importante (42 à 50 m) ;
- La gamme de résistivité de l'horizon fissuré C0 (100 à 800 ohm.m) caractérise également les granites à biotite du sud ;
- Trois failles ont été mises en évidence sur cette coupe mais aucune ne semble associée à un couloir de fracturation pouvant constituer une cible hydrogéologique. Une incertitude subsiste au niveau de la faille située sur la bordure SW de la coupe (abscisse 75 m) ; c'est cette incertitude qui a motivée la réalisation de la tomographie SG7 ;
- Le dyke de dolérite qui constituait l'objectif de cette tomographie SG3 n'a pas été mis en évidence.

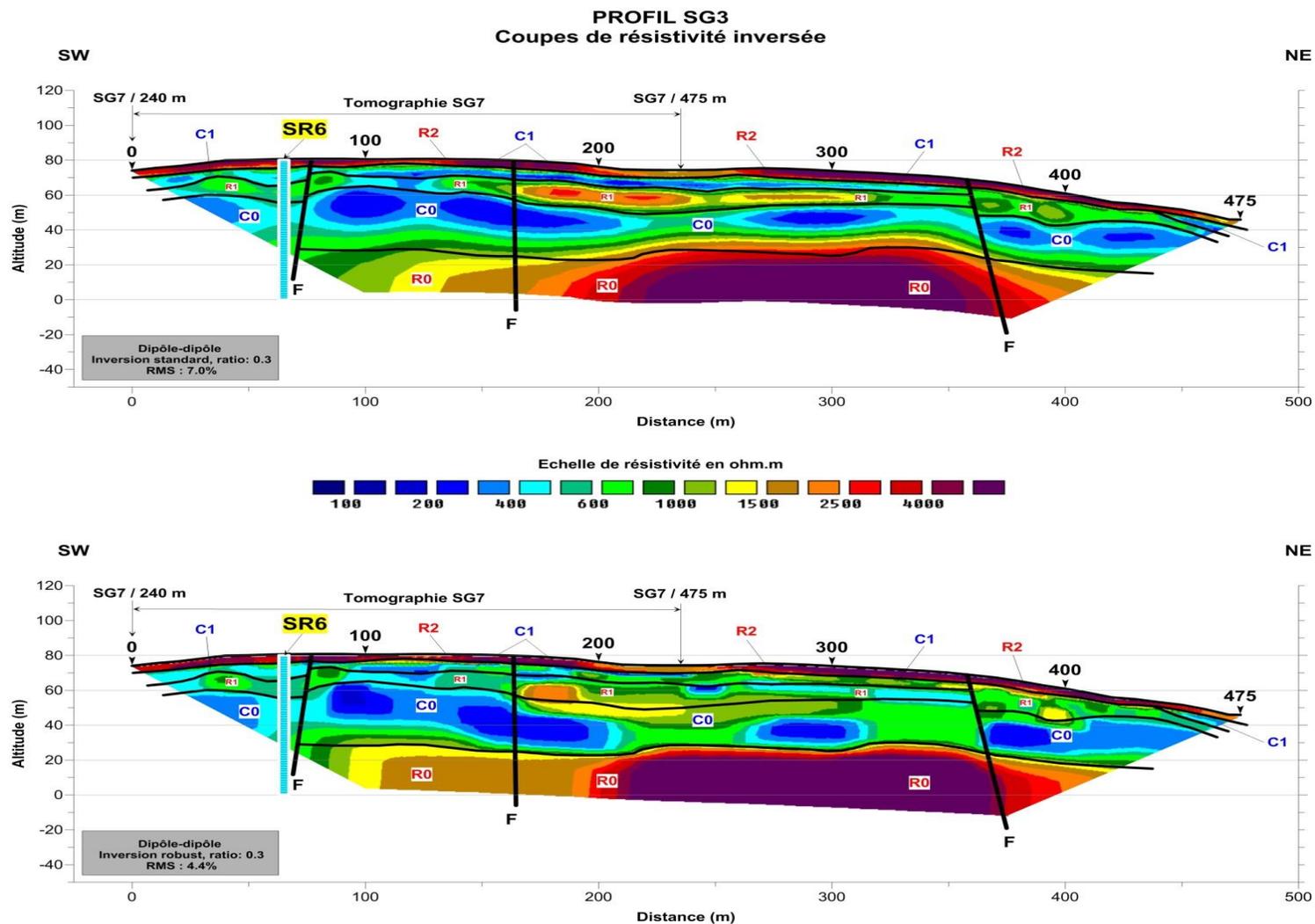


Figure 29 : Tomographie SG3 – Coupes de résistivité inversée interprétées en termes de lithologie et de structures

5.3.4. Tomographie SG4

La tomographie SG4 a été implantée de façon à recouper la faille géologique F1g dans sa partie nord. Les points marquants de cette tomographie (Figure 30) sont les suivants :

- Les faibles résistivités du socle sain R0 (750 – 4000 ohm.m) et de l'horizon fissuré C0 (50 – 300 ohm.m) caractérisent le granite à feldspath alcalin présent sur la partie nord de la zone d'étude ;
- Au niveau de cette coupe la puissance de l'horizon fissuré est particulièrement faible (13 à 25 m) ;
- La présence d'un dyke de dolérite a probablement été mise en évidence entre les abscisses 125 et 155 m. Il est caractérisé par une intrusion résistante (résistivité > 1000 ohm.m) au sein du profil d'altération avec une lacune de l'horizon fissuré (C0) et de l'horizon feuilleté (R1) ;
- Deux failles F1a et F1b ont été mises en évidence respectivement aux abscisses 235 et 345 m. Ces deux failles délimitent un couloir de fracturation caractérisé par une sur-épaisseur de l'horizon fissuré C0 et par une zone de faible résistivité (500 à 1000 ohm.m) au sein du socle résistant R0 ;
- Ce couloir de fracturation est en parfaite corrélation avec la faille géologique F1g et constitue une cible hydrogéologique potentielle.

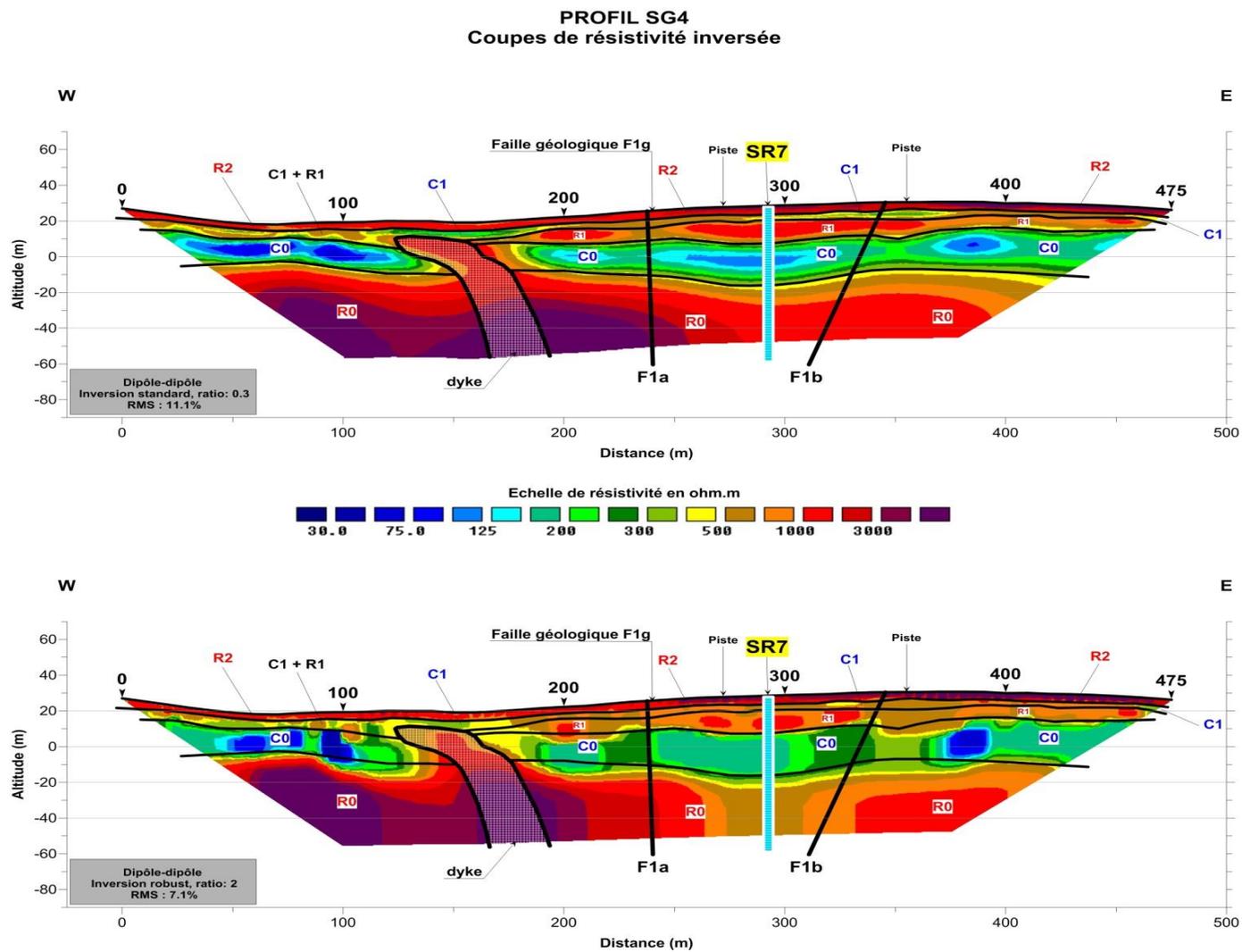


Figure 30 : Tomographie SG4 – Coupes de résistivité inversée interprétées en termes de lithologie et de structures

5.3.5. Tomographie SG5

La tomographie SG5 a été implantée dans le but de localiser avec précision et de caractériser la faille géologique F1g. La présence de plusieurs anomalies radon de forte amplitude confirme l'intérêt de cette implantation. Les points marquants de cette tomographie (Figure 31) sont les suivants :

- Les résistivités élevées du socle sain R0 (2500 – 8000 ohm.m) et de l'horizon fissuré C0 (150 – 750 ohm.m) caractérisent le granite à biotite présent sur la partie sud de la zone d'étude ;
- Dans le fond de la vallée l'horizon de saprolite supérieure (R2) a probablement été érodé et remplacé par des dépôts plus argileux d'origine alluvionnaire ;
- Trois failles ont été mises en évidence :
 - Les failles F1a et F1b situées respectivement aux abscisses 195 et 275 m délimitent un couloir de fracturation caractérisées par une sur-épaisseur de l'horizon fissuré C0 et par une zone de faible résistivité (<3000 ohm.m) au sein du socle résistant (> 6000 ohm.m). Cette zone de failles est en parfaite corrélation avec la faille géologique F1g et constitue une cible hydrogéologique d'autant que des anomalies radon de forte amplitude sont associées à cette structure ;
 - La faille mise en évidence à l'abscisse 365 m semble avoir une signature conductrice au sein du socle résistant mais sa localisation en bordure de coupe ne permet pas une caractérisation précise de la zone de fracturation associée à cette faille. Ce site n'est donc pas retenu comme cible hydrogéologique.

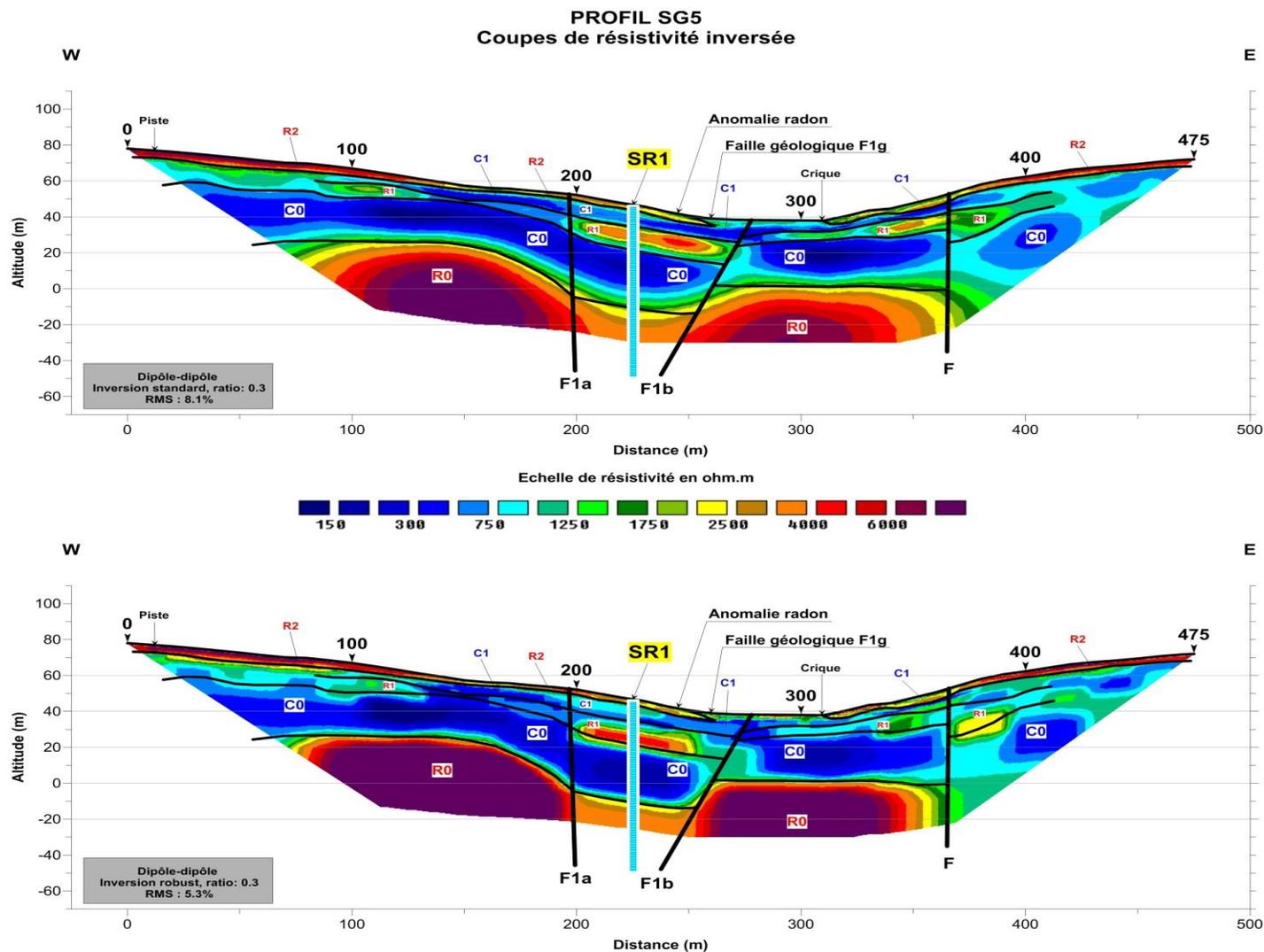


Figure 31 : Tomographie SG5 – Coupes de résistivité inversée interprétées en termes de lithologie et de structures

5.3.6. Tomographie SG6

L'objectif de la tomographie SG6 est de préciser la localisation de la faille géologique F3g de direction N-S et de la caractériser. Les particularités de cette coupe géo-électrique (Figure 32) sont les suivantes :

- Les faibles résistivités du socle sain R0 (500 à 4000 ohm.m) et de l'horizon fissuré C0 (30 à 150 ohm.m) caractérisent le granite à feldspath alcalin qui occupe la partie nord de la zone d'étude ;
- L'épaisseur de l'horizon fissuré est croissante de l'ouest (17 m) vers l'est (30 m) ;
- Entre les abscisses 0 et 200 m, l'horizon géoélectrique, dont la résistivité est inférieure à 500 ohm.m, pourrait correspondre soit à la partie supérieure de la saprolite (R2) soit à des dépôts sédimentaires (formation de Démérara) de type sableux ;
- Aucune discontinuité électrique pouvant être assimilée à une faille n'a été mise en évidence sur cette coupe ;
- La présence d'un dyke de dolérite, caractérisé par une intrusion résistante au sein du profil d'altération globalement conducteur, est suspectée à l'extrémité ouest de la coupe ;
- Aucune cible hydrogéologique n'a été retenue au niveau de la tomographie SG6.

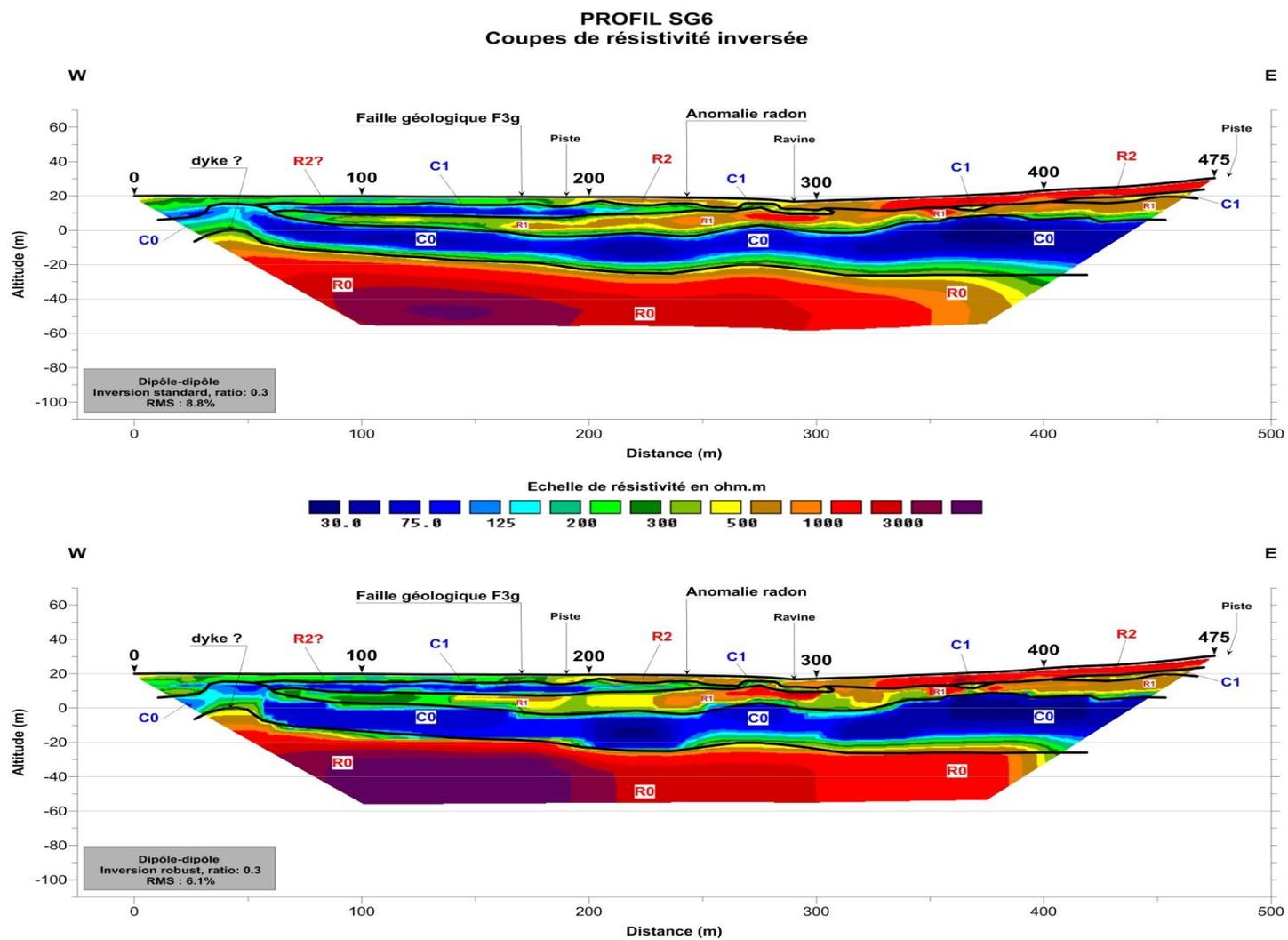


Figure 32 : Tomographie SG6 – Coupes de résistivité inversée interprétées en termes de lithologie et de structures

5.3.7. Tomographie SG7

La tomographie SG7 a été implantée suite aux résultats de la tomographie SG3 qui laissaient suspecter la présence d'un couloir de fracturation associé à une faille à l'extrémité SW de cette coupe. La tomographie SG7 a donc été centrée sur la structure suspectée. Les points marquants au niveau de cette coupe géoélectrique (Figure 33) sont les suivants :

- Les gammes de résistivité du socle sain R0 (2000 – 5000 ohm.m) et de l'horizon fissuré C0 (100 – 500ohm.m) sont caractéristiques du granite à biotite du sud de la zone d'étude et tout à fait cohérents avec les résultats obtenus le long du profil SG3 ;
- Une importante sur-épaisseur de l'horizon fissuré C0 a été mise en évidence dans la partie centrale de la coupe ;
- Trois failles principales situées aux abscisses 165, 262 et 314 m ont été mises en évidence. Elles délimitent un important couloir de fracturation (largeur d'une centaine de mètres) caractérisé par un approfondissement du mur de l'horizon fissuré C0 et par une très faible résistivité (< 200 ohm.m) au sein du socle résistant environnant (> 2000 ohm.m) ;
- Cette structure conductrice est profondément enracinée et dépasse largement les 80 m correspondant à la profondeur d'investigation de la tomographie. Elle constitue une cible hydrogéologique potentielle.

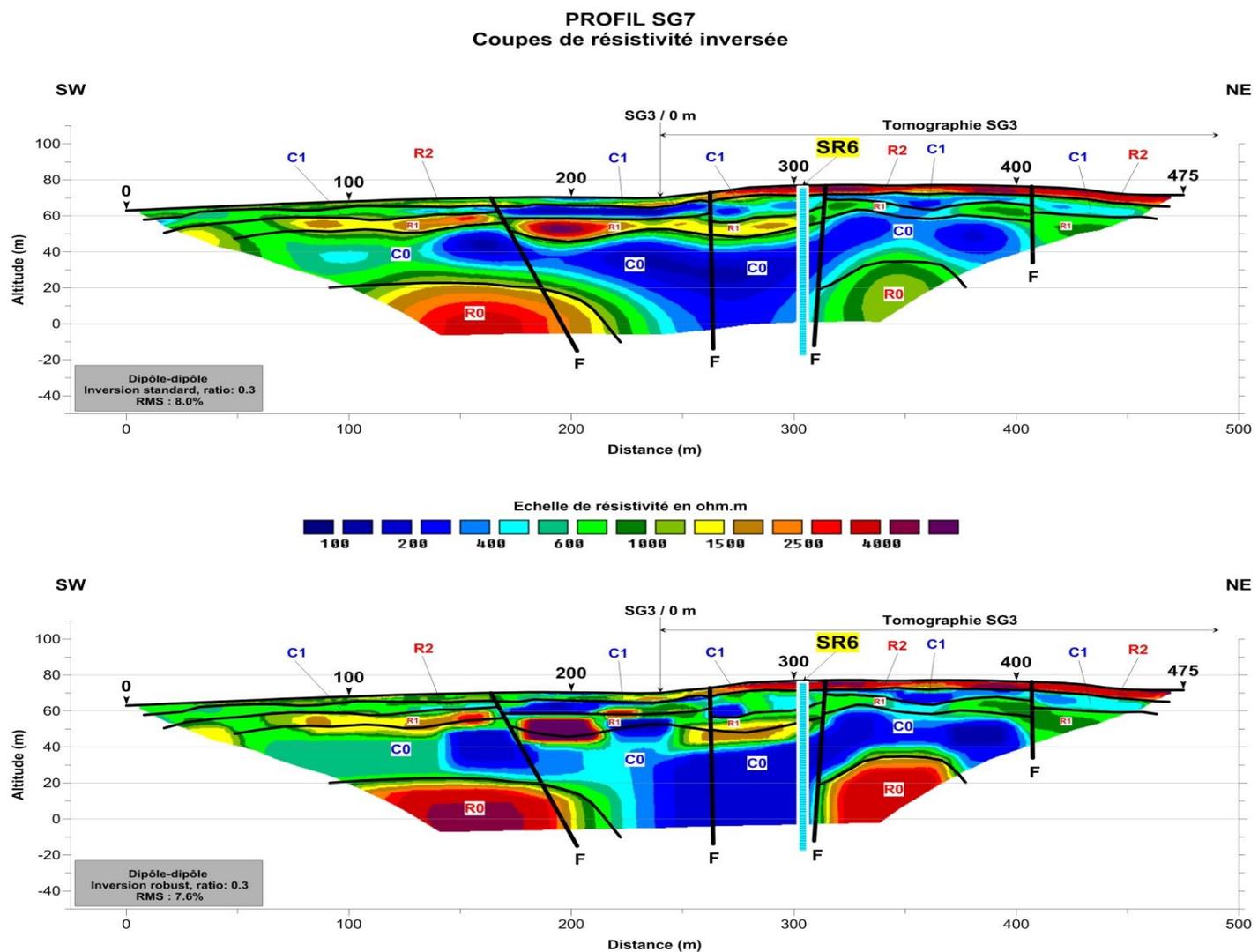


Figure 33 : Tomographie SG7 – Coupes de résistivité inversée interprétées en termes de lithologie et de structures

5.4. SYNTHÈSE DES RESULTATS

5.4.1. Interprétation en termes de lithologie et de profil d'altération

Les sept tomographies de résistivité réalisées sur le secteur de Saint-Georges confirment que l'ensemble de la zone investiguée se situe dans un contexte de profil d'altération développé sur un massif granitique (Complexe de Saint-Georges de l'Oyapock). Ce profil d'altération (Tableau 4 et Figure 34) est caractérisé par un empilement d'horizons géologiques plus ou moins stratiformes qui sont de haut en bas les suivants :

- Une cuirasse latéritique qui arme les sommets et dont l'épaisseur serait comprise entre 2 et 5 m. La résistivité de cet horizon (R2) est supérieure à 1000 ohm.m ;
- La saprolite qui d'un point de vue résistivité est scindée en deux parties :
 - Une saprolite supérieure (R2) qui sur les hauteurs topographiques forme un ensemble résistant avec la cuirasse latéritique. Dans les zones basses, la résistivité de cet horizon est comprise entre 200 et 2000 ohm.m, ce qui est très élevé pour une argile même si celle-ci est située au-dessus du niveau d'eau. En fait, il s'agit d'un mélange argiles, oxydes et hydroxydes de fer et d'alumine (Wyns, 2015) dans lequel la prépondérance des deux derniers éléments explique les fortes résistivités. L'épaisseur de la saprolite supérieure avec ou sans la cuirasse latéritique ne dépasse pas 6 m ;
 - Une saprolite inférieure (C1) qui est conductrice (résistivité 150 à 500 ohm.m). Le caractère conducteur de cet horizon est dû en partie au fait qu'il est situé en zone saturée et en partie à l'augmentation de la fraction argileuse par rapport à la fraction oxydes-hydroxydes de fer ;
- Un horizon feuilleté (R1) dont la résistivité fluctue entre 400 et 2500 ohm.m. Il est présent sur l'intégralité des 7 tomographies et de façon continue. Son épaisseur fluctue entre 2 et 13 m. La réalité de cet horizon résistant situé au toit de l'horizon fissuré a été récemment démontré (Mathieu, 2017) par des diagraphies de résistivité réalisées dans les forages de Roura. L'intérêt hydrogéologique de cet horizon feuilleté réside essentiellement dans le fait que sa base matérialise avec précision le sommet de l'aquifère de l'horizon fissuré ;
- Un horizon fissuré (C0) caractérisé par une résistivité comprise entre 30 et 750 ohm.m. Contrairement aux résultats obtenus sur le secteur Papaïchton

(BRGM/RP-66809-FR) aucune partition entre la partie inférieure et la partie supérieure de cet horizon n'a été mise en évidence. La résistivité est relativement homogène sur l'ensemble de la colonne reflétant ainsi une fissuration/argilisation également homogène. En revanche, les gammes de résistivité au niveau de cet horizon fissuré sont différentes entre les tomographies réalisées au nord de la zone d'étude (SG1, SG4 et SG6) et celles du sud (SG2, SG3 SG5 et SG7). L'horizon fissuré est globalement plus conducteur au nord qu'au sud. La base de l'horizon fissuré est généralement bien caractérisée par un fort gradient de résistivité alors qu'à priori la transition entre le fissuré et le sain est plutôt progressive. Cette interface semblerait donc plutôt être en corrélation avec le front de percolation (limite correspondant à la disparition de l'interconnexion entre les fissures).

L'épaisseur de l'horizon fissuré fluctue entre 15 et 35 m. Des zones de sur-épaisseur de cet horizon ont été mises en évidence et sont en général corrélées avec des couloirs de fracturation associés à des failles ou des dykes de dolérite ;

- Un socle sain résistant (R0) caractérisé par une résistivité comprise entre 1000 et 6000 ohm.m. Ce socle sain est représenté par un granite appartenant au Complexe de Saint-Georges.

Les tomographies de résistivité confirment une variation pétrographique de ce granite entre la partie sud du secteur d'étude et la partie nord :

- Au sud (tomographies SG2, SG3, SG5 et SG7) le granite sain est caractérisé par une résistivité élevée, de l'ordre de 2000 à plus de 6000 ohm.m et correspondrait à un granite fin à biotite ;
- Au nord (tomographies SG1, SG4 et SG6) la résistivité du granite sain est plus faible, de l'ordre de 500 à 4000 ohm.m et correspondrait à un granite riche en feldspath alcalin ;
- Des couloirs de fracturation, associés soit à des failles soit à des dykes de dolérite ont été mis en évidence dans le socle sain. La résistivité (250 à 3000 ohm.m) et la largeur (jusqu'à plus de 100 m) de ces structures sont très variables. La localisation de ces structures, qui constituent les principales cibles hydrogéologiques sur la zone d'étude et sur lesquelles seront proposés des sondages de reconnaissance, est la suivante :
 - SG1 : entre les abscisses 310 et 380 m, entre les failles F1a et F1b ;
 - SG2 : à l'ouest de la faille F2 et entre les abscisses 315 et 370 m ;
 - SG3 : au sud-ouest de l'abscisse 80 m (voir SG7) ;

- SG4 : entre les abscisses 250 et 320 m, entre les failles F1a et F1b ;
 - SG5 : entre les abscisses 195 et 255 m, entre les failles F1a et F1b ;
 - SG6 : non concerné ;
 - SG7 : entre les abscisses 200 et 310 m ;
- Des dépôts sédimentaires appartenant à la série de Démérara (âge quaternaire) ont été mis en évidence au niveau des tomographies suivantes :
 - SG1 : dans le fond de la vallée entre les abscisses 135 et 200 m. Ces dépôts sont de type argileux et sont caractérisés par de très faibles résistivités (de l'ordre de 30 ohm.m). Leur épaisseur est indéterminée (coalescence avec les saprolites conductrices sous-jacentes C1) ;
 - SG2 : à l'extrémité est de la tomographie entre les abscisses 300 et 475 m. Compte tenu de sa résistivité (> 5000 ohm.m) et de la position sub-affleurante du niveau d'eau, ce dépôt ne peut être que de type gravelo-sableux. Son épaisseur maximale est de l'ordre de 12 m ;
 - SG5 : dans le fond de la vallée, l'origine du dépôt de sub-surface reste indéterminée : argiles de la formation de Démérara ou alluvions argileuses de la crique ;
 - SG6 : sur la partie ouest de la tomographie (abscisses de 0 à 200 m) le terrain de sub-surface possède une résistivité comprise entre 200 et 500 ohm.m et pourrait donc être attribué à des dépôts sablo-argileux de la formation de Démérara (la résistivité de l'horizon R2 étant en principe plus élevée : 1000 à 5000 ohm.m)

ERT	R2		C1		R1		C0 (hors couloir de fracturation)		Epaisseur totale du profil d'altération (m)	R0 socle sain	
	Epaisseur (m)	Résistivité (ohm.m)	Epaisseur (m)	Résistivité (ohm.m)	Epaisseur (m)	Résistivité (ohm.m)	Epaisseur (m)	Résistivité (ohm.m)		Résistivité (ohm.m)	Localisation des couloirs de fracturation (abscisses en m) et résistivité (ohm.m)
SG1	3 - 5	1000 - 5000	2 - 3	250 - 500	3 - 13	400 - 2000	15 - 30	30 - 200	25 - 50	750 - 4000	310 - 380 (250 - 500)
SG2	1 - 4	1500 - 5000	2 - 5	150 - 500	2 - 14	400 - 1500	15 - 32	150 - 400	20 - 45	3000 - 10000	0 - 100 (<750), 315 - 370 (< 3000)
SG3	3 - 5	2500 - 6000	5 - 8	150 - 500	5 - 13	600 - 2500	20 - 35	100 - 800	42 - 50	2000 - 6000	0 - 80 (< 1500)
SG4	3 - 5	1000 - 5000	2 - 5	200 - 750	5 - 12	500 - 1500	13 - 25	50 - 300	20 - 45	750 - 4000	250 - 320 (<750)
SG5	2 - 5	2500 - 10000	4 - 8	150 - 1000	3 - 13	750 - 4000	23 - 32	150 - 750	35 - 55	2500 - 8000	195 - 255 (<2500)
SG6	2 - 6	750 - 2000	2 - 6	50 - 400	6 - 13	300 - 2000	17 - 30	30 - 150	20 - 50	500 - 4000	non concernée
SG7	2 - 5	1000 - 5000	3 - 7	100 - 600	4 - 13	600 - 3000	27 - 32	100 - 500	40 - 55	2000 - 5000	200 - 310 (300 -1200)
Moyennes	2 - 5	1000 - 5000	2 - 7	150 - 500	2 - 13	500 - 2500	15 - 30	75 - 500	30 - 50	1500 - 6000	résistivité moyenne: 250 à 1000 ohm.m

Tableau 4 : Synthèse de l'interprétation des tomographies de résistivité en termes d'horizons géo-électriques

Schéma géoélectrique du profil d'altération en contexte de socle (cas de Saint-Georges de l'Oyapock)

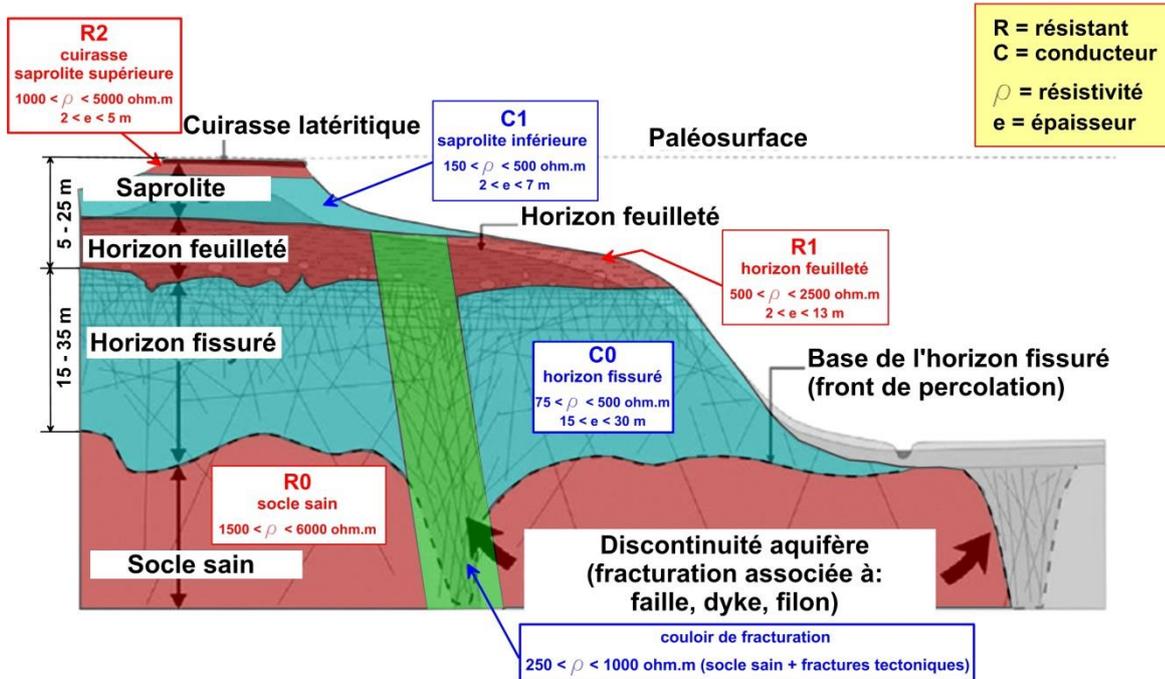
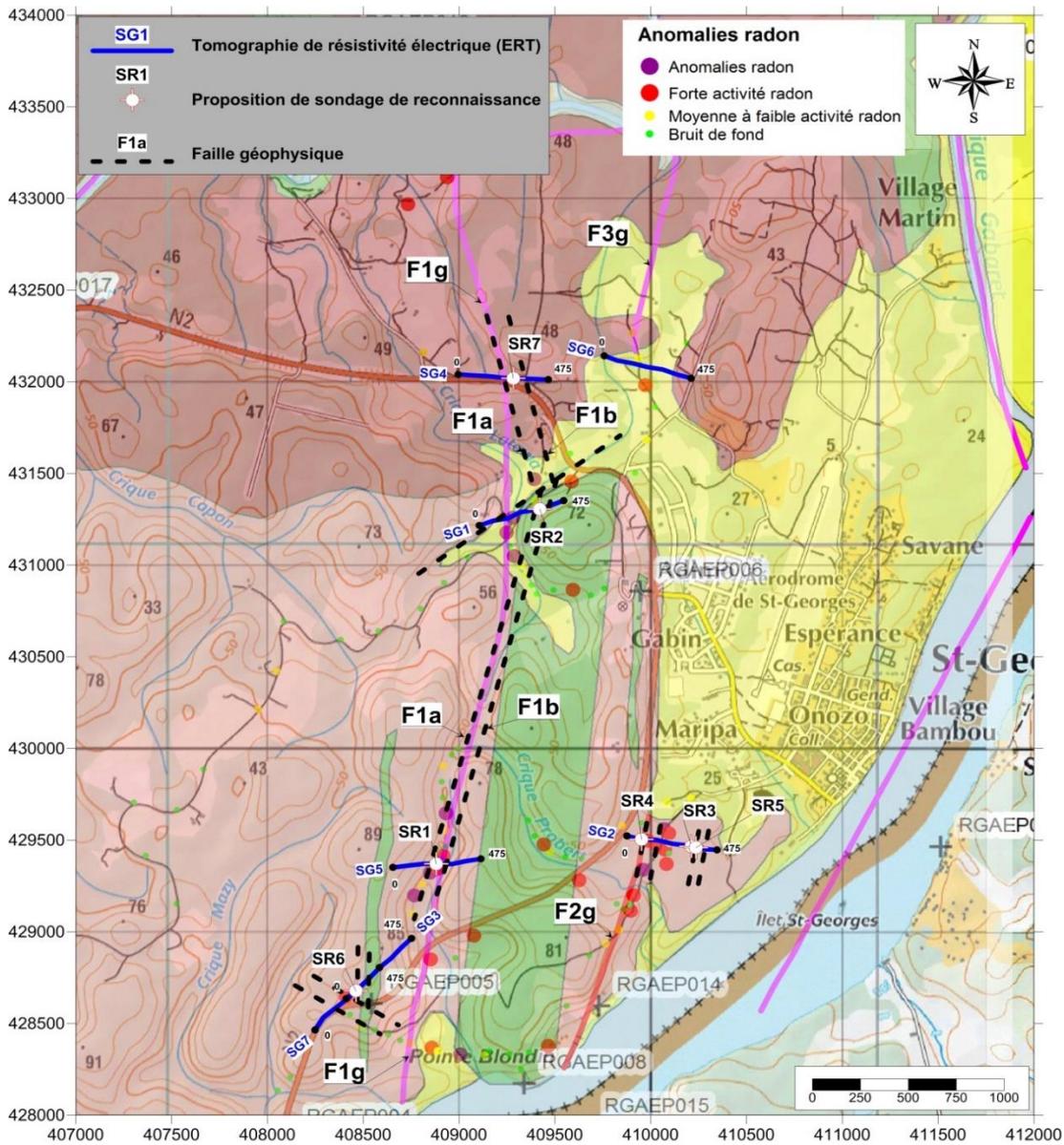


Figure 34 : Site de Saint-Georges de l'Oyapock – Schéma géo-électrique du profil d'altération

5.4.2. Interprétation en termes de structure

Compte tenu de la dispersion des investigations géophysiques, l'interprétation en termes de structure des 7 tomographies de résistivité ne permet pas de construire le schéma structural de la zone d'étude. Par contre certains éléments structuraux notés sur la carte géologique ont pu être confirmés et précisés (Figure 35) :

- La présence de la faille géologique F1g est confirmée et sa localisation est précisée. Elle est en parfaite corrélation avec le faisceau de failles géophysiques F1a et F1b intersecté au niveau des tomographies SG5, SG1 et SG4 ;
- La présence et la localisation de la faille géologique F2g sont également confirmées au niveau de la tomographie SG2 ;
- Au niveau de la tomographie SG6, l'extension vers le sud de la faille géologique F3g n'a pas été mise en évidence ;
- Deux dykes de dolérite (non cartographiés sur la carte géologique mise à jour) ont été mis en évidence, l'un au niveau de la tomographie SG4 et l'autre sur la tomographie SG6. Une troisième intrusion doléritique a peut-être été mise en évidence au niveau de la coupe SG1 au sein du couloir de failles F1a-F1b ;
- Le dyke de dolérite cartographié au niveau du profil SG3 n'a pas été identifié sur la coupe géo-électrique ;
- La limite entre les granites à feldspath alcalin qui occupent la partie nord de la zone d'étude et les granites à biotite du sud a été précisée. Elle passerait au sud de la tomographie SG1.



Légende

Formations superficielles

Alluvions

Formations de la couverture sédimentaire

Formation de Démérara (quaternaire), sables, limons et argiles

Formations filoniennes

Série de Dyke de Tampok (198-189 Ma), dolérite et microgabbro

Formations plutoniques

Complexe de Saint Georges de l'Oyapock (2.1 - 2.06 Ga)

Granite riche en feldspath alcalin

Granite fin à biotite

Structures géologiques

Failles

Failles masquées

Figure 35 : Site de Saint-Georges de l'Oyapock – Synthèse des résultats des tomographies de résistivité. Schéma structural et propositions de sondages de reconnaissance

5.5. PROPOSITIONS DE SONDAGES DE RECONNAISSANCE

Sept implantations de sondages de reconnaissance (Tableau 5, Figure 35) sont proposées. La hiérarchisation de ces propositions tient essentiellement compte de l'interprétation des tomographies de résistivité en termes de lithologie et de structures.

- **SR1 - SG5 abscisse 225 m** (Figure 31)
 - Critères de sélection : couloir de fracturation associé aux failles F1a et F1b caractérisé par une résistivité de 750 à 3000 Ω .m au sein d'un socle sain dont la résistivité est de l'ordre de 8000 Ω .m.
Localisation sur une faille géologique supposée (F1g).
Présence d'anomalies radon de forte amplitude.
 - Coupe prévisionnelle :
 - 0 – 3 m : saprolite non saturée – R2
 - 3 – 12 m saprolite saturée – C1
 - 12 – 25 m horizon feuilleté – R1
 - 25 – 57 m horizon fissuré – C0 (cible hydrogéologique potentielle)
 - 57 – 100 m zone de fracturation dans le socle sain – R0 (principale cible hydrogéologique)
 - Profondeur du sondage de reconnaissance : 100 m

- **SR2 - SG1 abscisse 338 m** (Figure 27)
 - Critères de sélection : couloir de fracturation associé aux failles F1a et F1b caractérisé par une résistivité de 250 à 400 ohm.m au sein d'un socle résistant (résistivité de l'ordre de 3000 ohm.m).
Possible intrusion d'un dyke de dolérite (signalé sur la carte géologique) au sein de ce couloir de fracturation.
Ce couloir de fracturation pourrait également être en relation avec la faille géologique F1g (similitude des réponses géophysiques entre les profils SG5 et SG1).
 - Coupe prévisionnelle :
 - 0 – 4 m : saprolite non saturée – R2
 - 4 – 7 m saprolite saturée – C1
 - 7 – 11 m horizon feuilleté – R1
 - 11 – 18 m horizon fissuré – C0 (cible hydrogéologique potentielle)
 - 18 – 42 m intrusion d'un dyke possible

- 42 – 100 m zone de fracturation dans le socle sain – R0 (principale cible hydrogéologique)
- Profondeur du sondage de reconnaissance : 100 m
- **SR3 - SG2 abscisse 340 m** (Figure 28)
 - Critères de sélection : couloir de fracturation associé à une faille et caractérisé par une résistivité inférieure à 3000 ohm.m dans un encaissant dont la résistivité est à plus de 10 000 ohm.m.
Sur-épaisseur de l'horizon fissuré C0 (environ 35 m).
Localisé au sein d'un petit (hemi-)graben accueillant un paléo-chenal rempli d'alluvion sablo-graveleuses de l'Oyapock.
 - Coupe prévisionnelle :
 - 0 – 8 m : sables quaternaire
 - 8 – 13 m horizon feuilleté – R1
 - 13 – 52 m horizon fissuré – C0 (cible hydrogéologique potentielle)
 - 52 – 100 m zone de fracturation dans le socle sain – R0 (principale cible hydrogéologique)
 - Profondeur du sondage de reconnaissance : 100 m
- **SR4 - SG2 abscisse 78 m** (Figure 28)
 - Critères de sélection : couloir de fracturation associé à la faille F2. Cette structure bien que mal caractérisée car située en bordure de tomographie présente un certain intérêt car elle correspondrait à la faille géologique F2g (faille avérée) et est plus ou moins en corrélation avec des anomalies radon de forte amplitude.
 - Coupe prévisionnelle :
 - 0 – 3 m saprolite saturée – C1
 - 3 – 8 m horizon feuilleté – R1
 - 8 – 42 m horizon fissuré – C0 (cible hydrogéologique potentielle)
 - 42 – 100 m zone de fracturation dans le socle sain – R0 (principale cible hydrogéologique)
 - Profondeur du sondage de reconnaissance : 100 m

➤ **SR5 - SG2 abscisse 365 m** (Figure 28)

- Critères de sélection : ce sondage vise la reconnaissance d'un aquifère fluviatile représenté par un paléo-chenal qui s'est mis en place à la faveur d'une petite structure de type graben.

Compte tenu de leur résistivité (>5000 ohm.m), les sédiments constituant ce paléo-chenal sont probablement de type gravelo-sableux.

La formation résistante (R1) sous-jacente à ce paléo-chenal et séparée de celui-ci par un horizon conducteur C1 pouvant constituer un écran étanche, pourrait correspondre soit à l'horizon feuilleté (sans grand intérêt hydrogéologique), soit à des altérites colluvionnées qui elles présentent un intérêt hydrogéologique.

- Coupe prévisionnelle :
 - 0 – 12 m : sables quaternaire (principale cible hydrogéologique)
 - 12 – 17 m : saprolite saturée – C1
 - 17 – 30 m : horizon feuilleté (R1) ou altérites colluvionnées ou dyke (cible hydrogéologique potentielle)
 - 30 – 35 m : horizon fissuré – C0
- Profondeur du sondage de reconnaissance : 35 m

➤ **SR6 - SG7 abscisse 305 m** (Figure 33)

- Critères de sélection : couloir de fracturation associé à au moins 3 failles et caractérisé par une résistivité de l'ordre de 200 ohm.m au sein d'un encaissant dont la résistivité dépasse les 1000 ohm.m.

Présence d'une anomalie radon de forte amplitude.

Le sondage de reconnaissance est placé sur la bordure nord-est de la structure conductrice pour deux raisons : éviter la partie centrale de la structure qui pourrait être très argilisée (colmatage des fractures) et s'éloigner au maximum de la route.

- Coupe prévisionnelle :
 - 0 – 6 m : saprolite non saturée – R2
 - 6 – 15 m : saprolite saturée – C1
 - 15 – 22 m : horizon feuilleté – R1
 - 22 – 59 m : horizon fissuré – C0 (cible hydrogéologique potentielle)
 - 59 – 100 m : zone de fracturation dans le socle sain – R0 (principale cible hydrogéologique)
- Profondeur du sondage de reconnaissance : 100 m

➤ **SR7 - SG4 abscisse 290 m** (Figure 30)

- Critères de sélection: couloir de fracturation associé aux failles F1a et F1b caractérisé par une résistivité inférieure à 1000 ohm.m au sein d'un socle résistant (résistivité de l'ordre de 3000 ohm.m).
Sur-épaisseur de l'horizon fissuré C0.
Localisé sur la faille géologique F1g.
- Coupe prévisionnelle :
 - 0 – 5 m : saprolite non saturée – R2
 - 5 – 8 m saprolite saturée – C1
 - 8 – 21 m horizon feuilleté – R1
 - 21 – 44 m horizon fissuré – C0 (cible hydrogéologique potentielle)
 - 44 – 100 m zone de fracturation dans le socle sain – R0 (principale cible hydrogéologique)
- Profondeur du sondage de reconnaissance : 100 m

Sondage de reconnaissance	Localisation (RGF95 / UTM N22)				
	Tomographie	Abscisse (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
SR1	SG5	225	408880	429370	48
SR2	SG1	338	409420	431306	28
SR3	SG2	340	410212	429466	24
SR4	SG2	78	409952	429504	23
SR5	SG2	365	410236	429460	24
SR6	SG7	305	408461	428678	77
SR7	SG4	290	409282	432020	28

Tableau 5 : Localisation des sondages de reconnaissance

6. Discussion

Cette étude a permis une bonne caractérisation géologique et hydrogéologique du secteur du bourg de Saint-Georges-de-l'Oyapock. Les observations ainsi que résultats obtenus sont très satisfaisants dans l'optique de l'implantation des sondages de reconnaissance. 4 sondages de reconnaissance parmi les 7 mentionnés dans le chapitre précédent sont recommandés, afin d'optimiser l'estimation des ressources en eau souterraine du secteur. La hiérarchisation proposée par la géophysique ne prend toutefois pas en compte les contraintes environnementales, économiques (par exemple avec la mise en place d'un réseau d'adduction coûteux) et d'accessibilité. Cette partie propose donc une nouvelle priorisation des sondages de reconnaissance.

➤ Sondages de reconnaissance non retenus

Il semble sage d'éliminer le sondage SR5 captant les sables et graviers en surface (0 à 12 mètres) du fait de la haute vulnérabilité de cet aquifère fluviatile. En effet, la perméabilité élevée, caractéristique de ce type d'aquifère, ne laisse pas envisager une protection idoine de l'eau souterraine sans couche argileuse sus-jacente. Néanmoins un large périmètre de protection pourrait permettre une éventuelle mise en exploitation mais s'avérerait très contraignant pour l'aménagement du territoire.

Premièrement, le sondage SR3 serait à écarter en raison de l'absence d'anomalie radon. Par ailleurs, il présente un cas de figure assez similaire à SR5. En effet, la lithologie est constituée de sables quaternaires, reposant sur un horizon feuilleté, en contact direct avec l'horizon fissuré sous-jacent. L'horizon feuilleté peut parfois se caractériser par du sable grossier et argileux résultant de l'altération du granite sous l'action des eaux de ruissellement (on parle d'arène granitique). Celui-ci pourrait ainsi présenter une perméabilité significative, laissant hélas l'aquifère fissuré sans réelle protection.

Le sondage SR7 se situe *a priori* à l'aval hydraulique de l'ancienne décharge (à environ 100 m). Bien que les aquifères captant les fractures du socle sont particulièrement bien protégés lorsqu'ils sont coiffés d'un profil d'altération de puissance plurimétrique (environ 20 mètres dans ce cas), il semble plus judicieux d'orienter les sondages de reconnaissance dans des zones vierges de toute pollution, et présentant des potentiels hydrogéologiques tout autant pertinents.

➤ Sondages de reconnaissance retenus

Nonobstant l'accès qui nécessitera la réalisation d'une piste et l'éloignement par rapport à Saint Georges (3 kilomètres environ), SR1 laisse envisager un potentiel hydrogéologique fort intéressant. Les anomalies radon d'amplitudes importantes ainsi que le profil de résistivité laissent en tous cas entrevoir cela, avec une zone de fracturation dans le socle, protégée par un horizon latéritique d'environ 12 mètres.

Bien qu'éloigné d'environ 3 ou 4 kilomètres du bourg de Saint Georges, SR6 pourrait présenter des propriétés hydrogéologiques très intéressantes. Une anomalie de forte amplitude a été mesurée à cet endroit. Les résistivités mesurées sont en revanche assez faibles ce qui pourrait traduire la présence d'argile, et par la même d'un colmatage partiel des fractures. Le sondage serait donc réalisé sur la bordure du couloir de fracturation afin d'éviter la partie centrale potentiellement argilisée.

SR2 semble le sondage à retenir en troisième lieu. En effet, à l'instar de SR1 il aura pour avantage de capter un couloir de fracturation situé au sein du socle, coiffé d'une épaisseur latéritique d'environ 7 mètres, lui apportant ainsi une protection non négligeable. De plus, **ce sondage aurait l'avantage d'être situé à proximité du château d'eau existant**. Le seul bémol est qu'il se trouverait (comme SR7) proche de l'ancienne décharge (à environ 600m de distance) mais *a priori* à l'amont hydraulique.

Même si la puissance des latérites ne semble pas excéder 3 mètres, SR4 présente le même profil que SR1 et SR2, avec une cible hydrogéologique potentiellement intéressante et des anomalies radon bien marquées.

La hiérarchisation des sondages de reconnaissance est présentée comme suit, dans le Tableau 6 suivant :

Sondage de reconnaissance	Localisation (RGF95 / UTM N22) *				
	Priorité	Abscisse (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
SR1	1	225	408880	429370	48
SR6	2	305	408461	428678	77
SR2	3	338	409420	431306	28
SR4	4	78	409952	429504	23

Tableau 6 : Hiérarchisation des sondages de reconnaissance

* Les coordonnées proposées sont provisoires et seront affinées lors de l'implantation des points sur le terrain.

7. Bibliographie

Baïssset M., Gutierrez A., Gandolfi JM., Mathieu F. (2015) – Prospection hydrogéologique de l'aquifère migmatitique de Gran-Santi, Guyane Française, Résumé étendu des 42^{èmes} journées techniques du Comité Français d'Hydrogéologie de l'AIH.

Mathieu F. (2017) – Réalisation de diagraphies de résistivité et gamma naturel dans les forages de Roura - Guyane. Rapport final. BRGM/RC-67356-FR, 32 p., 7 fig., 1 tabl., 2 ann.

Mathieu F., Baïssset M. (2015) – Prospection géophysique par la méthode du panneau électrique sur les sites de Sparouine et de l'îlet Bastien - commune de Saint Laurent du Maroni - Guyane. Rapport BRGM/RP-64467-FR, 78p. 26ill. fig., 2ann. 1CD.

Wyns R. (2015) – Géologie de la surface (0-100 m): impact des paléo-altérations sur les propriétés des roches. Support de cours, BRGM FORMATION, 198 p.

Loke, M.H. (2001) - Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. GeotomoSoftware, Malaysia.

Loke, M.H., Acworth, I., Dahlin, T. (2003) - A comparison of smooth and blocky inversion methods in 2D electrical imaging surveys. *Explor. Geophys.* 34, 182–187

Mathieu F., Maurice B. (2016) – Investigations géophysiques par tomographie de résistivité électrique sur le gisement de Badoit, Saint Galmier – Campagne 2015-2016. Rapport final. BRGM/RP-65614-FR, 103 p., 25 fig., 6 tab., 3 pl., 8 ann.

Belle P., Lachassagne P., Barbet C., Mathieu F., Delpech J. (2016) - Granitic hard rock aquifers deep geometry from a 3D geological model based on an exceptionally high density geophysical survey. Résumé étendu du 43^{ème} Congrès International de l'Association Internationale des Hydrogéologues (AIH, Montpellier, 2016).

Brisset N., Mathieu F., Bourbon P. collaboration, B. Joseph (2017) – Etude hydrogéologique pour la recherche d'eau potable au lieu-dit Chire sur la commune de Mana : Reconnaissance géologique et prospection géophysique. Rapport final. BRGM/RP-66758-FR, 45 p., 22 ill., 3 annexes

Brisset N., Mathieu F., Gandolfi JM., Bourbon P., Collaboration, B. Joseph (2017) – Etude hydrogéologique pour le renforcement de l'alimentation en eau potable du bourg de Papaïchton : Prospection par émanométrie radon et géophysique électrique. Rapport final. BRGM/RP-66809-FR, 76 p., 38 ill., 7 annexes

Belle P., Lachassagne P., Mathieu F., Barbet C., Brisset N., Gourry JC. (2017) - Characterization and location of the laminated layer within hard rock weathering profiles from electrical resistivity tomography. Implications for water well siting. Geological Society of London - GSLSpecPub17-121R2.

Belle P., Lachassagne P., Mathieu F., Barbet C., Bonneval F. (2016) – Nouvelles avancées dans l'interprétation géologique et hydrogéologique des profils de tomographie électrique en contexte de socle granitique et métamorphique. Société Géologique de France, N° 191 de la revue *Géologues*.

Delor C., Lahondère D., Egal, E., Marteau P. (2001). Carte géologique de la France à 1/500 000, Guyane, 2ème édition, Orléans, BRGM.

Delor C., Lahondère D., Egal E., Lafon J.-M., Cocherie A., Guerrot C., Rossi P., Truffert C., Theveniaut H., Phillips D., Avelar V. (2003) – Transamazonian crustal growth and reworking as revealed by the 1:500000-scale geological map of French Guiana (2nd edition). *Géologie de la France - spécial Bouclier guyanais*, 2003, n°2-3-4, 5-57, 13 fig. 5 tabl.

Lachassagne P., Wyns R. et Dewandel B. (2011). The fracture permeability of Hard Rock Aquifer is due neither to tectonics, nor to unloading, but to weathering processes. *Terra Nova*, Vol. 23, pp. 145-161.

Théveniaut H., Telma Lins Faraco M., et al., (2006). Carte géologique Franco-Brésilienne à 1/250 000, Saint-Georges-de-l'Oyapock - Oiapoque, 1ème édition, Orléans, BRGM.

Wyns R., Baltassat J.-M., Lachassagne P., Legchenko A., Vairon J., et Mathieu F. 2004. Application of SNMR soundings for groundwater reserves mapping in weathered basement rocks (Brittany, France). *Bulletin de la Société Géologique de France* 175 (1): 21-34.

Annexe 1

Résultats de la prospection radon tous points confondus

Prospection hydrogéologique pour le bourg de Saint-Georges-de-l'Oyapock

Matériel :	Compteur Calen - Algade
Profondeur de prélèvement (cm) :	50
Temps de pompage pompe à vide (s) :	30
Temps de comptage (s) :	300
Rendement de comptage du scintillomètre :	1 (négligeable : 0.08 c/mn)
Bruit de fond moyen des foies (c/min) :	1.15

Prospection émanométrique (radon) - Saint-Georges 2017 - RESULTATS TOUS POINTS CONFONDUS

Date	N REF	N flacon	Heure Prelevement	Heure Analyse	Temps d'attente (mn)	Facteur de décroissance	Comptage radon (c/5 mn)	Comptage radon (c/mn)	Activite mesuree (Bq/m3)	Coefficient multiplicateur	Activite calculee (pCi/L)	Activite calculee (Bq/m3)	Activite calculee/Activite mesuree
18/09/2017	R1	A207	13H40	17H46	246	0.9695	1705	341	26100	2.0650	701.78	25966	0.995
18/09/2017	R2	B207	13H59	17H53	234	0.9710	942	188.4	14400	2.0618	386.08	14285	0.992
18/09/2017	R3	C207	14H13	17H58	225	0.9721	3049	609.8	46600	2.0595	1253.52	46380	0.995
18/09/2017	R4	D207	14H31	18H10	219	0.9728	349	69.8	5336	2.0580	141.28	5227	0.980
18/09/2017	R5	E207	14H40	18H16	216	0.9732	541	108.2	8271	2.0572	220.22	8148	0.985
18/09/2017	R6	F207	14H55	18H21	206	0.9744	481	96.2	7354	2.0546	195.29	7226	0.983
18/09/2017	R7	G207	15H09	18H27	198	0.9754	722	144.4	11000	2.0525	294.02	10879	0.989
18/09/2017	R8	H207	15H18	18H33	195	0.9758	806	161.2	12300	2.0518	328.38	12150	0.988
18/09/2017	R9	I207	15H26	18H39	193	0.9760	609	121.8	9311	2.0512	247.48	9157	0.983
18/09/2017	R10	J207	15H34	18H45	191	0.9762	985	197	15100	2.0507	401.63	14860	0.984
18/09/2017	R11	K207	15H43	18H51	188	0.9766	850	170	13000	2.0499	346.13	12807	0.985
18/09/2017	R12	L207	15H51	18H56	185	0.9770	587	117.4	8975	2.0492	238.22	8814	0.982
18/09/2017	R13	M207	15H58	19H02	184	0.9771	632	126.4	9663	2.0489	256.63	9495	0.983
18/09/2017	R14	N207	16H06	19H08	182	0.9774	571	114.2	8730	2.0484	231.57	8568	0.981
18/09/2017	R15	O207	16H20	19H28	188	0.9766	314	62.8	4801	2.0499	126.38	4676	0.974
18/09/2017	R16	P207	16H29	19H34	185	0.9770	461	92.2	7048	2.0492	186.58	6903	0.979
19/09/2017	R17	A207	08H26	13H40	314	0.9612	437	87.4	6681	2.0827	179.63	6646	0.995
19/09/2017	R18	B207	08H38	13H49	311	0.9616	757	151.4	11600	2.0819	312.81	11574	0.998
19/09/2017	R19	C207	09H03	13H56	293	0.9638	1286	257.2	19700	2.0772	531.87	19679	0.999
19/09/2017	R20	D207	09H19	14H04	285	0.9648	1225	245	18700	2.0751	506.02	18723	1.001
19/09/2017	R21	E207	09H28	14H10	282	0.9651	425	85	6498	2.0743	173.93	6436	0.990
19/09/2017	R22	F207	09H45	14H16	271	0.9665	1695	339	25900	2.0715	699.85	25894	1.000
19/09/2017	R23	G207	09H59	14H21	262	0.9676	1539	307.8	23500	2.0691	634.50	23476	0.999
19/09/2017	R24	H207	10H11	14H27	256	0.9683	541	108.2	8271	2.0676	221.33	8189	0.990
19/09/2017	R25	I207	10H25	14H33	248	0.9693	16	3.2	245	2.0655	4.23	157	0.639
19/09/2017	R26	J207	10H32	14H38	246	0.9695	290	58	4434	2.0650	117.39	4344	0.980
19/09/2017	R27	K207	10H45	14H43	238	0.9705	505	101	7721	2.0629	205.98	7621	0.987
19/09/2017	R28	L207	11H00	14H49	229	0.9716	455	91	6957	2.0606	185.14	6850	0.985
19/09/2017	R29	M207	11H40	14H54	194	0.9759	1027	205.4	15700	2.0515	419.02	15504	0.987
19/09/2017	R30	N207	11H49	15H00	191	0.9762	1265	253	19300	2.0507	516.47	19110	0.990
19/09/2017	R31	O207	11H57	15H06	189	0.9765	1006	201.2	15400	2.0502	410.14	15175	0.985
19/09/2017	R1_b	P207	12H12	15H20	188	0.9766	1586	317.2	24200	2.0499	647.89	23972	0.991
19/09/2017	R32	Q207	12H30	15H38	188	0.9766	2236	447.2	34200	2.0499	914.38	33832	0.989
19/09/2017	R33	R207	14H42	18H00	198	0.9754	2222	444.4	34000	2.0525	909.78	33662	0.990
19/09/2017	R34	S207	14H54	18H06	192	0.9761	2709	541.8	41400	2.0510	1108.86	41028	0.991
19/09/2017	R35	T207	15H18	18H19	181	0.9775	1181	236.2	18100	2.0481	481.42	17812	0.984
19/09/2017	R36	A208	15h35	18H35	180	0.9776	920	184	14100	2.0479	374.46	13855	0.983
19/09/2017	R37	B208	15H58	18H58	180	0.9776	860	172	13200	2.0479	349.88	12946	0.981
19/09/2017	R38	C208	16H14	19H14	180	0.9776	1364	272.8	20900	2.0479	556.31	20583	0.985
19/09/2017	R39	D208	16H44	22H07	323	0.9602	0	0	0	2.0851	0.00	0	
19/09/2017	R40	E208	16H58	22H09	311	0.9616	885	177	13500	2.0819	366.11	13546	1.003
20/09/2017	R39b	A207	08H58	14H16	318	0.9608	1394	278.8	21300	2.0838	578.56	21407	1.005
20/09/2017	R41	B207	09H14	14H22	308	0.9620	1260	252	19300	2.0811	522.06	19316	1.001
20/09/2017	R42	C207	09H31	14H44	313	0.9614	1346	269.2	20600	2.0825	558.20	20653	1.003
20/09/2017	R43	D207	09H42	14H49	307	0.9621	1209	241.8	18500	2.0809	500.76	18528	1.002
20/09/2017	R44	E207	09H51	14H56	305	0.9623	1122	224.4	17200	2.0804	464.44	17184	0.999
20/09/2017	R45	F207	09H59	15H04	305	0.9623	673	134.6	10300	2.0804	277.62	10272	0.997
20/09/2017	R46	G207	10H15	15H13	298	0.9632	1672	334.4	25600	2.0785	692.67	25629	1.001
20/09/2017	R47	H207	10H50	15H20	270	0.9666	212	42.4	3241	2.0712	85.44	3161	0.975
20/09/2017	R48	I207	11H09	15H25	256	0.9683	444	88.8	6788	2.0676	181.22	6705	0.988
20/09/2017	R49	J207	11H20	15H32	252	0.9688	514	102.8	7859	2.0665	210.06	7772	0.989
20/09/2017	R50	K207	12H03	15H38	215	0.9733	418	83.6	6391	2.0569	169.59	6275	0.982
20/09/2017	R51	L207	15H00	18H05	185	0.9770	1080	216	16500	2.0492	440.26	16290	0.987
20/09/2017	R52	M207	15H17	18H17	180	0.9776	674	134.8	10300	2.0479	273.70	10127	0.983
20/09/2017	R53	N207	15H32	18H34	182	0.9774	195	39	2981	2.0484	77.53	2869	0.962
20/09/2017	R1c	O207	15H45	18H45	180	0.9776	1335	267	20400	2.0479	544.43	20144	0.987
20/09/2017	R54	P207	16H22	19H55	213	0.9735	1859	371.8	28400	2.0564	762.21	28202	0.993
21/09/2017	R55	A207	08H53	13H54	301	0.9628	773	154.6	11800	2.0793	319.07	11806	1.000
21/09/2017	R56	B207	09H03	13H59	296	0.9634	2939	587.8	44900	2.0780	1219.06	45105	1.005
21/09/2017	R57	C207	09H08	14H04	296	0.9634	865	173	13200	2.0780	357.11	13213	1.001
21/09/2017	R58	D207	09H18	14H34	316	0.9610	933	186.6	14300	2.0832	386.34	14294	1.000
21/09/2017	R59	E207	09H24	14H40	316	0.9610	396	79.2	6054	2.0832	162.60	6016	0.994
21/09/2017	R60b	F207	09H33	14H45	312	0.9615	186	37.2	2844	2.0822	75.06	2777	0.977
21/09/2017	R61	G207	09H59	14H50	291	0.9640	511	102.2	7813	2.0767	209.85	7764	0.994
21/09/2017	R62	H207	10H16	14H55	279	0.9655	1419	283.8	21700	2.0736	586.09	21685	0.999
21/09/2017	R63	I207	10H33	15H00	267	0.9669	179	35.8	2737	2.0704	71.74	2654	0.970
21/09/2017	R64	J207	10H50	15H08	258	0.9680	210	42	3211	2.0681	84.48	3126	0.973
21/09/2017	R65	K207	11H42	15H14	212	0.9737	686	137.2	10500	2.0561	279.74	10350	0.986
21/09/2017	R1_d	L207	12H00	15H19	199	0.9753	1323	264.6	20200	2.0528	540.81	20010	0.991

Prospection hydrogéologique pour le bourg de Saint-Georges-de-l'Oyapock

21/09/2017	R66	M207	12H19	15H24	185	0.9770	776	155.2	11900	2.0492	315.67	11680	0.982
21/09/2017	R67	N207	15H24	18H43	199	0.9753	1553	310.6	23700	2.0528	635.23	23504	0.992
21/09/2017	R68	O207	15H35	18H49	194	0.9759	1299	259.8	19900	2.0515	530.62	19633	0.987
21/09/2017	R69	P207	15H49	18H54	185	0.9770	936	187.2	14300	2.0492	381.25	14106	0.986
21/09/2017	R70	Q207	16H10	19H17	187	0.9767	3	0.6	46	2.0497	0.00	0	0.000
21/09/2017	R1_e	R207	16H37	19H37	180	0.9776	1575	315	24100	2.0479	642.73	23781	0.987
22/09/2017	R71	A207	09H57	13H24	207	0.9743	1095	219	16700	2.0549	447.65	16563	0.992
22/09/2017	R72	B207	10H29	13H34	185	0.9770	946	189.2	14500	2.0492	385.35	14258	0.983
25/09/2017	R73	A207	13H03	18H00	297	0.9633	70	14	1070	2.0783	26.71	988	0.923
25/09/2017	R74	B207	13H11	18H05	294	0.9637	997	199.4	15200	2.0775	411.86	15239	1.003
25/09/2017	R75	C207	13H19	18H10	291	0.9640	616	123.2	9418	2.0767	253.46	9378	0.996
25/09/2017	R76	D207	14H20	18H15	235	0.9709	429	85.8	6559	2.0621	174.56	6459	0.985
25/09/2017	R77	E207	14H34	18H21	227	0.9718	1402	280.4	21400	2.0600	575.26	21285	0.995
25/09/2017	R78	F207	15H07	18H27	200	0.9751	1020	204	15600	2.0530	416.46	15409	0.988
25/09/2017	R79	G207	15H15	18H32	197	0.9755	1804	360.8	27600	2.0523	738.10	27310	0.989
25/09/2017	R80	H207	15H27	18H38	191	0.9762	1068	213.6	16300	2.0507	435.68	16120	0.989
25/09/2017	R81	I207	15H48	18H53	185	0.9770	2194	438.8	33500	2.0492	896.82	33182	0.991
25/09/2017	R82	J207	16H09	19H14	185	0.9770	4084	816.8	62400	2.0492	1671.41	61842	0.991
25/09/2017	R83	K207	16H29	19H36	187	0.9767	732	146.4	11200	2.0497	297.72	11016	0.984
25/09/2017	R84	L207	16H51	19H54	183	0.9772	923	184.6	14100	2.0487	375.83	13906	0.986
25/09/2017	R1_f	M207	17H29	22H50	321	0.9604	1664	332.8	25400	2.0846	691.34	25580	1.007
26/09/2017	R85	B207	08H50	14H22	332	0.9591	621	124.2	9495	2.0874	256.86	9504	1.001
26/09/2017	R86	A207	08H59	14H27	328	0.9596	854	170.8	13100	2.0864	353.96	13096	1.000
26/09/2017	R87	C207	09H06	14H33	327	0.9597	552	110.4	8440	2.0861	227.91	8433	0.999
26/09/2017	R88	D207	09H13	14H39	326	0.9598	378	75.6	5779	2.0859	155.29	5746	0.994
26/09/2017	R89	E207	09H19	14H44	325	0.9599	300	60	4587	2.0856	122.74	4541	0.990
26/09/2017	R90	F207	09H25	14H50	325	0.9599	1074	214.8	16400	2.0856	445.59	16487	1.005
26/09/2017	R91	G207	09H34	14H55	321	0.9604	1155	231	17700	2.0846	479.13	17728	1.002
26/09/2017	R92	H207	09H42	15H00	318	0.9608	901	180.2	13800	2.0838	373.10	13805	1.000
26/09/2017	R93	I207	09H52	15H06	314	0.9612	2707	541.4	41400	2.0827	1125.19	41632	1.006
26/09/2017	R94	J207	10H53	15H11	258	0.9680	2070	414	31600	2.0681	853.81	31591	1.000
26/09/2017	R95	K207	11H09	15H21	252	0.9688	488	97.6	7461	2.0665	199.32	7375	0.988
26/09/2017	R96	L207	11H22	15H29	247	0.9694	543	108.6	8302	2.0652	221.91	8211	0.989
26/09/2017	R97	M207	11H54	15H34	220	0.9727	847	169.4	13000	2.0582	346.30	12813	0.986
26/09/2017	R98	N207	12H09	15H40	211	0.9738	764	152.8	11700	2.0559	311.78	11536	0.986
26/09/2017	R99	O207	12H18	15H45	207	0.9743	337	67.4	5152	2.0549	136.13	5037	0.978
26/09/2017	R100	P207	15H16	18H53	217	0.9731	1067	213.4	16300	2.0574	436.69	16158	0.991
26/09/2017	R101	Q207	15H23	18H58	215	0.9733	572	114.4	8745	2.0569	232.95	8619	0.986
26/09/2017	R102	R207	15H55	19H03	188	0.9766	251	50.2	3838	2.0499	100.55	3720	0.969
26/09/2017	R103	S207	16H30	19H30	180	0.9776	406	81.2	6269	2.0479	163.93	6066	0.968
26/09/2017	R104	T207	16H55	22H26	331	0.9592	670	134	10200	2.0872	277.28	10259	1.006
26/09/2017	R105	U207	17H07	22H32	325	0.9599	1763	352.6	27000	2.0856	732.99	27120	1.004
26/09/2017	R106	V207	17H28	22H40	312	0.9615	570	114	8715	2.0822	234.98	8694	0.998
27/09/2017	R107	A207	09H32	13H04	212	0.9737	1337	267.4	20400	2.0561	547.45	20256	0.993
27/09/2017	R108	B207	09H44	13H09	205	0.9745	785	157	12000	2.0543	320.17	11846	0.987
27/09/2017	R109	C207	09H54	13H15	201	0.9750	743	148.6	11400	2.0533	302.76	11202	0.983
27/09/2017	R110	D207	10H05	13H20	195	0.9758	768	153.6	11700	2.0518	312.79	11573	0.989
27/09/2017	R111	E207	10H14	13H25	191	0.9762	1532	306.4	23400	2.0507	625.98	23161	0.990
27/09/2017	R112	F207	10H20	13H30	190	0.9764	1501	300.2	22900	2.0505	613.19	22688	0.991
27/09/2017	R1_g	G207	10H45	13H45	180	0.9776	1629	325.8	24200	2.0479	664.84	24599	1.016

Point non validé ou non considéré (doublet, station de référence) dans le traitement général

Annexe 2

Conditions météorologiques de la campagne

Conditions météorologiques durant la campagne de prélèvement radon

Date	Conditions météo	Commentaires
Samedi 16/09/2017	pluie de 7h à 13h	Aucun prélèvement
Dimanche 17/09/2017	pluie de 12h à 17h	Aucun prélèvement
Lundi 18/09/2017	soleil, vent, aucune pluie	Début campagne - Prélèvement
Mardi 19/09/2017	soleil, aucune pluie	Prélèvement
Mercredi 19/09/2017	soleil, aucune pluie	Prélèvement
Jeudi 20/09/2017	soleil, nuageux, aucune pluie	Prélèvement
Vendredi 21/09/2017	soleil et nuages, aucune pluie	Prélèvement
Samedi 22/09/2017	soleil et nuages, aucune pluie	Aucun prélèvement
Dimanche 23/09/2017	soleil et nuages, aucune pluie	Aucun prélèvement
Lundi 24/09/2017	pluie en averses peu intenses sporadiques entre 14h et 17h	Prélèvement
Mardi 25/09/2017	nuageux et pluies en averses sporadiques l'après midi, plus intenses en fin d'après midi	Prélèvement
Mercredi 26/09/2017	soleil, nuages, aucune pluie	Fin campagne - Prélèvement

Validité des prélèvements:	Peu d'activité de pluie durant la campagne. Les pluies du 24 et 25 septembre sont peu intenses, averses de courte durée. Ces pluies ne sont pas susceptibles de saturer le sol en profondeur. Les prélèvements ne sont pas influencés et sont donc validés.
-----------------------------------	---

Annexe 3

Résultats de la prospection radon des points validés

Prospection hydrogéologique pour le bourg de Saint-Georges-de-l'Oyapock

Matériel :	Compteur Calen - Algade
Profondeur de prélèvement (cm) :	50
Temps de pompage pompe à vide (s) :	30
Temps de comptage (s) :	300
Rendement de comptage du scintillomètre :	1 (négligeable : 0.08 c/mn)
Bruit de fond moyen des fioles (c/min) :	1.15

Prospection émanométrique (radon) - Saint-Georges 2017 - RESULTATS COMPLETS (POINTS VALIDES)

Date	N REF	N flacon	Heure Prelevement	Heure Analyse	Temps d'attente (mn)	Facteur de décroissance	Comptage radon (c/5 mn)	Comptage radon (c/mn)	Activite mesuree (Bq/m3)	Coefficient multiplicateur	Activite calculee (pCi/L)	Activite calculee (Bq/m3)
25/09/2017	R73	A207	13H03	18H00	297	0.9633	70	14	1070	2.0783	26.71	988
21/09/2017	R63	I207	10H33	15H00	267	0.9669	179	35.8	2737	2.0704	71.74	2654
21/09/2017	R60b	F207	09H33	14H45	312	0.9615	186	37.2	2844	2.0822	75.06	2777
20/09/2017	R53	N207	15H32	18H34	182	0.9774	195	39	2981	2.0484	77.53	2869
21/09/2017	R64	J207	10H50	15H08	258	0.9680	210	42	3211	2.0681	84.48	3126
20/09/2017	R47	H207	10H50	15H20	270	0.9666	212	42.4	3241	2.0712	85.44	3161
26/09/2017	R102	R207	15H55	19H03	188	0.9766	251	50.2	3838	2.0499	100.55	3720
19/09/2017	R26	J207	10H32	14H38	246	0.9695	290	58	4434	2.0650	117.39	4344
26/09/2017	R89	E207	09H19	14H44	325	0.9599	300	60	4587	2.0856	122.74	4541
18/10/2016	R15	O207	16H20	19H28	188	0.9766	314	62.8	4801	2.0499	126.38	4676
26/09/2017	R99	O207	12H18	15H45	207	0.9743	337	67.4	5152	2.0549	136.13	5037
18/10/2016	R4	D207	14H31	18H10	219	0.9728	349	69.8	5336	2.0580	141.28	5227
26/09/2017	R88	D207	09H13	14H39	326	0.9598	378	75.6	5779	2.0859	155.29	5746
21/09/2017	R59	E207	09H24	14H40	316	0.9610	396	79.2	6054	2.0832	162.60	6016
26/09/2017	R103	S207	16H30	19H30	180	0.9776	406	81.2	6269	2.0479	163.93	6066
20/09/2017	R50	K207	12H03	15H38	215	0.9733	418	83.6	6391	2.0569	169.59	6275
19/09/2017	R21	E207	09H28	14H10	282	0.9651	425	85	6498	2.0743	173.93	6436
25/09/2017	R76	D207	14H20	18H15	235	0.9709	429	85.8	6559	2.0621	174.56	6459
19/09/2017	R17	A207	08H26	13H40	314	0.9612	437	87.4	6681	2.0827	179.63	6646
20/09/2017	R48	I207	11H09	15H25	256	0.9683	444	88.8	6788	2.0676	181.22	6705
19/09/2017	R28	L207	11H00	14H49	229	0.9716	455	91	6957	2.0606	185.14	6850
18/10/2016	R16	P207	16H29	19H34	185	0.9770	461	92.2	7048	2.0492	186.58	6903
18/10/2016	R6	F207	14H55	18H21	206	0.9744	481	96.2	7354	2.0546	195.29	7226
26/09/2017	R95	K207	11H09	15H21	252	0.9688	488	97.6	7461	2.0665	199.32	7375
19/09/2017	R27	K207	10H45	14H43	238	0.9705	505	101	7721	2.0629	205.98	7621
21/09/2017	R61	G207	09H59	14H50	291	0.9640	511	102.2	7813	2.0767	209.85	7764
20/09/2017	R49	J207	11H20	15H32	252	0.9688	514	102.8	7859	2.0665	210.06	7772
18/10/2016	R5	E207	14H40	18H16	216	0.9732	541	108.2	8271	2.0572	220.22	8148
19/09/2017	R24	H207	10H11	14H27	256	0.9683	541	108.2	8271	2.0676	221.33	8189
26/09/2017	R96	L207	11H22	15H29	247	0.9694	543	108.6	8302	2.0652	221.91	8211
26/09/2017	R87	C207	09H06	14H33	327	0.9597	552	110.4	8440	2.0861	227.91	8433
18/10/2016	R14	N207	16H06	19H08	182	0.9774	571	114.2	8730	2.0484	231.57	8568
26/09/2017	R101	Q207	15H23	18H58	215	0.9733	572	114.4	8745	2.0569	232.95	8619
26/09/2017	R106	V207	17H28	22H40	312	0.9615	570	114	8715	2.0822	234.98	8694
18/10/2016	R12	L207	15H51	18H56	185	0.9770	587	117.4	8975	2.0492	238.22	8814
18/10/2016	R9	I207	15H26	18H39	193	0.9760	609	121.8	9311	2.0512	247.48	9157
25/09/2017	R75	C207	13H19	18H10	291	0.9640	616	123.2	9418	2.0767	253.46	9378
18/10/2016	R13	M207	15H58	19H02	184	0.9771	632	126.4	9663	2.0489	256.63	9495
26/09/2017	R85	B207	08H50	14H22	332	0.9591	621	124.2	9495	2.0874	256.86	9504
20/09/2017	R52	M207	15H17	18H17	180	0.9776	674	134.8	10300	2.0479	273.70	10127
26/09/2017	R104	T207	16H55	22H26	331	0.9592	670	134	10200	2.0872	277.28	10259
20/09/2017	R45	F207	09H59	15H04	305	0.9623	673	134.6	10300	2.0804	277.62	10272
21/09/2017	R65	K207	11H42	15H14	212	0.9737	686	137.2	10500	2.0561	279.74	10350
18/10/2016	R7	G207	15H09	18H27	198	0.9754	722	144.4	11000	2.0525	294.02	10879
25/09/2017	R83	K207	16H29	19H36	187	0.9767	732	146.4	11200	2.0497	297.72	11016
27/09/2017	R109	C207	09H54	13H15	201	0.9750	743	148.6	11400	2.0533	302.76	11202
26/09/2017	R98	N207	12H09	15H40	211	0.9738	764	152.8	11700	2.0559	311.78	11536
27/09/2017	R110	D207	10H05	13H20	195	0.9758	768	153.6	11700	2.0518	312.79	11573
19/09/2017	R18	B207	08H38	13H49	311	0.9616	757	151.4	11600	2.0819	312.81	11574
21/09/2017	R66	M207	12H19	15H24	185	0.9770	776	155.2	11900	2.0492	315.67	11680
21/09/2017	R55	A207	08H53	13H54	301	0.9628	773	154.6	11800	2.0793	319.07	11806
27/09/2017	R108	B207	09H44	13H09	205	0.9745	785	157	12000	2.0543	320.17	11846
18/10/2016	R8	H207	15H18	18H33	195	0.9758	806	161.2	12300	2.0518	328.38	12150
18/10/2016	R11	K207	15H43	18H51	188	0.9766	850	170	13000	2.0499	346.13	12807
26/09/2017	R97	M207	11H54	15H34	220	0.9727	847	169.4	13000	2.0582	346.30	12813
19/09/2017	R37	B208	15H58	18H58	180	0.9776	860	172	13200	2.0479	349.88	12946
26/09/2017	R86	A207	08H59	14H27	328	0.9596	854	170.8	13100	2.0864	353.96	13096
21/09/2017	R57	C207	09H08	14H04	296	0.9634	865	173	13200	2.0780	357.11	13213
19/09/2017	R40	E208	16H58	22H09	311	0.9616	885	177	13500	2.0819	366.11	13546
26/09/2017	R92	H207	09H42	15H00	318	0.9608	901	180.2	13800	2.0838	373.10	13805

Prospection hydrogéologique pour le bourg de Saint-Georges-de-l'Oyapock

19/09/2017	R36	A208	15H35	18H35	180	0.9776	920	184	14100	2.0479	374.46	13855
25/09/2017	R84	L207	16H51	19H54	183	0.9772	923	184.6	14100	2.0487	375.83	13906
21/09/2017	R69	P207	15H49	18H54	185	0.9770	936	187.2	14300	2.0492	381.25	14106
22/09/2017	R72	B207	10H29	13H34	185	0.9770	946	189.2	14500	2.0492	385.35	14258
18/10/2016	R2	B207	13H59	17H53	234	0.9710	942	188.4	14400	2.0618	386.08	14285
21/09/2017	R58	D207	09H18	14H34	316	0.9610	933	186.6	14300	2.0832	386.34	14294
18/10/2016	R10	J207	15H34	18H45	191	0.9762	985	197	15100	2.0507	401.63	14860
19/09/2017	R31	O207	11H57	15H06	189	0.9765	1006	201.2	15400	2.0502	410.14	15175
25/09/2017	R74	B207	13H11	18H05	294	0.9637	997	199.4	15200	2.0775	411.86	15239
25/09/2017	R78	F207	15H07	18H27	200	0.9751	1020	204	15600	2.0530	416.46	15409
19/09/2017	R29	M207	11H40	14H54	194	0.9759	1027	205.4	15700	2.0515	419.02	15504
25/09/2017	R80	H207	15H27	18H38	191	0.9762	1068	213.6	16300	2.0507	435.68	16120
26/09/2017	R100	P207	15H16	18H53	217	0.9731	1067	213.4	16300	2.0574	436.69	16158
20/09/2017	R51	L207	15H00	18H05	185	0.9770	1080	216	16500	2.0492	440.26	16290
26/09/2017	R90	F207	09H25	14H50	325	0.9599	1074	214.8	16400	2.0856	445.59	16487
22/09/2017	R71	A207	09H57	13H24	207	0.9743	1095	219	16700	2.0549	447.65	16563
20/09/2017	R44	E207	09H51	14H56	305	0.9623	1122	224.4	17200	2.0804	464.44	17184
26/09/2017	R91	G207	09H34	14H55	321	0.9604	1155	231	17700	2.0846	479.13	17728
19/09/2017	R35	T207	15H18	18H19	181	0.9775	1181	236.2	18100	2.0481	481.42	17812
20/09/2017	R43	D207	09H42	14H49	307	0.9621	1209	241.8	18500	2.0809	500.76	18528
19/09/2017	R20	D207	09H19	14H04	285	0.9648	1225	245	18700	2.0751	506.02	18723
19/09/2017	R30	N207	11H49	15H00	191	0.9762	1265	253	19300	2.0507	516.47	19110
20/09/2017	R41	B207	09H14	14H22	308	0.9620	1260	252	19300	2.0811	522.06	19316
21/09/2017	R68	O207	15H35	18H49	194	0.9759	1299	259.8	19900	2.0515	530.62	19633
19/09/2017	R19	C207	09H03	13H56	293	0.9638	1286	257.2	19700	2.0772	531.87	19679
27/09/2017	R107	A207	09H32	13H04	212	0.9737	1337	267.4	20400	2.0561	547.45	20256
19/09/2017	R38	C208	16H14	19H14	180	0.9776	1364	272.8	20900	2.0479	556.31	20583
20/09/2017	R42	C207	09H31	14H44	313	0.9614	1346	269.2	20600	2.0825	558.20	20653
25/09/2017	R77	E207	14H34	18H21	227	0.9718	1402	280.4	21400	2.0600	575.26	21285
20/09/2017	R39b	A207	08H58	14H16	318	0.9608	1394	278.8	21300	2.0838	578.56	21407
21/09/2017	R62	H207	10H16	14H55	279	0.9655	1419	283.8	21700	2.0736	586.09	21685
27/09/2017	R112	F207	10H20	13H30	190	0.9764	1501	300.2	22900	2.0505	613.19	22688
27/09/2017	R111	E207	10H14	13H25	191	0.9762	1532	306.4	23400	2.0507	625.98	23161
19/09/2017	R23	G207	09H59	14H21	262	0.9676	1539	307.8	23500	2.0691	634.50	23476
21/09/2017	R67	N207	15H24	18H43	199	0.9753	1553	310.6	23700	2.0528	635.23	23504
20/09/2017	R46	G207	10H15	15H13	298	0.9632	1672	334.4	25600	2.0785	692.67	25629
19/09/2017	R12	F207	09H45	14H16	271	0.9665	1695	339	25900	2.0715	699.85	25894
18/10/2016	R1	A207	13H40	17H46	246	0.9695	1705	341	26100	2.0650	701.78	25966
26/09/2017	R105	U207	17H07	22H32	325	0.9599	1763	352.6	27000	2.0856	732.99	27120
25/09/2017	R79	G207	15H15	18H32	197	0.9755	1804	360.8	27600	2.0523	738.10	27310
20/09/2017	R54	P207	16H22	19H55	213	0.9735	1859	371.8	28400	2.0564	762.21	28202
26/09/2017	R94	J207	10H53	15H11	258	0.9680	2070	414	31600	2.0681	853.81	31591
25/09/2017	R81	I207	15H48	18H53	185	0.9770	2194	438.8	33500	2.0492	896.82	33182
19/09/2017	R33	R207	14H42	18H00	198	0.9754	2222	444.4	34000	2.0525	909.78	33662
19/09/2017	R32	Q207	12H30	15H38	188	0.9766	2236	447.2	34200	2.0499	914.38	33832
19/09/2017	R34	S207	14H54	18H06	192	0.9761	2709	541.8	41400	2.0510	1108.86	41028
26/09/2017	R93	I207	09H52	15H06	314	0.9612	2707	541.4	41400	2.0827	1125.19	41632
21/09/2017	R56	B207	09H03	13H59	296	0.9634	2939	587.8	44900	2.0780	1219.06	45105
18/10/2016	R3	C207	14H13	17H58	225	0.9721	3049	609.8	46600	2.0595	1253.52	46380
25/09/2017	R82	J207	16H09	19H14	185	0.9770	4084	816.8	62400	2.0492	1671.41	61842

■	Bruit de fond
■	Percentile 50-70%
■	Percentile 70-80%
■	Percentile 80-90%
■	Anomale

Seuil anormal de la campagne (toute mesure)	738	27291
Bruit de fond de la campagne	336	12447
Seuil percentile 80%	572	21159
Seuil percentile 70%	475	17565

Annexe 4

Suivi de la station de référence R1

Prospection hydrogéologique pour le bourg de Saint-Georges-de-l'Oyapock

Matériel :	Compteur Calen - Algade
Profondeur de prélèvement (cm) :	50
Temps de pompage pompe à vide (s) :	30
Temps de comptage (s) :	300
Rendement de comptage du scintillomètre :	1 (négligeable : 0.08 c/mn)
Bruit de fond moyen des fioles (c/min) :	1.15

Prospection émanométrique (radon) - Saint-Georges 2017 - SUIVI DE LA STATION DE REFERENCE R1

Date	N REF	N flacon	Heure Prelevement	Heure Analyse	Temps d'attente (mn)	Facteur de décroissance	Comptage radon (c/5 mn)	Comptage radon (c/mn)	Activite mesurée (Bq/m3)	Coefficient multiplicateur	Activite calculee (pCi/L)	Activite calculee (Bq/m3)
Station de référence R1												
18/09/2017	R1	A207	13H40	17H46	246	0.9695	1705	341	26100	2.0650	701.78	25966
19/09/2017	R1b	P207	12H12	15H20	188	0.9766	1586	317.2	24200	2.0499	647.89	23972
20/09/2017	R1c	O207	15H45	18H45	180	0.9776	1335	267	20400	2.0479	544.43	20144
21/09/2017	R1_d	L207	12H00	15H19	199	0.9753	1323	264.6	20200	2.0528	540.81	20010
21/09/2017	R1_e	R207	16H37	19H37	180	0.9776	1575	315	24100	2.0479	642.73	23781
25/09/2017	R1_f	M207	17H29	22H50	321	0.9604	1164	332.8	25400	2.0846	691.34	25580
27/09/2017	R1_g	G207	10H45	13H45	180	0.9776	1629	325.8	24200	2.0479	664.84	24599

Statistique (Bq/m3)	
Moyenne	23436
Minimum	20010
Maximum	25966
Amplitude maximale	5956
Variation maximale (%)	23%
Ecart type	2427

Annexe 5

Principe de la méthode de la tomographie de résistivité électrique (ou panneau électrique)

La tomographie électrique (ERT pour Electrical Resistivity Tomography) est une méthode géophysique permettant d'obtenir la distribution de la résistivité électrique des matériaux (roches ou structures) en profondeur (2D et 3D selon le dispositif d'acquisition mis en place) à partir de mesures de potentiel électrique en surface. Les termes «panneau électrique» ou «tomographie électrique» sont utilisés pour qualifier une prospection électrique (initialement basée sur quatre électrodes) automatisée le long d'un profil multi-électrodes (2D) ou sur une surface (3D). Ce type d'acquisition présente l'avantage de fournir des résultats fiables en 2D ou 3D, et d'être rapidement mis en œuvre.

Le principe de base de la prospection électrique est d'injecter dans le sol un courant électrique d'intensité I entre deux électrodes A et B et de mesurer la différence de potentiel ΔV induite entre une autre paire d'électrodes M et N (figure 1).

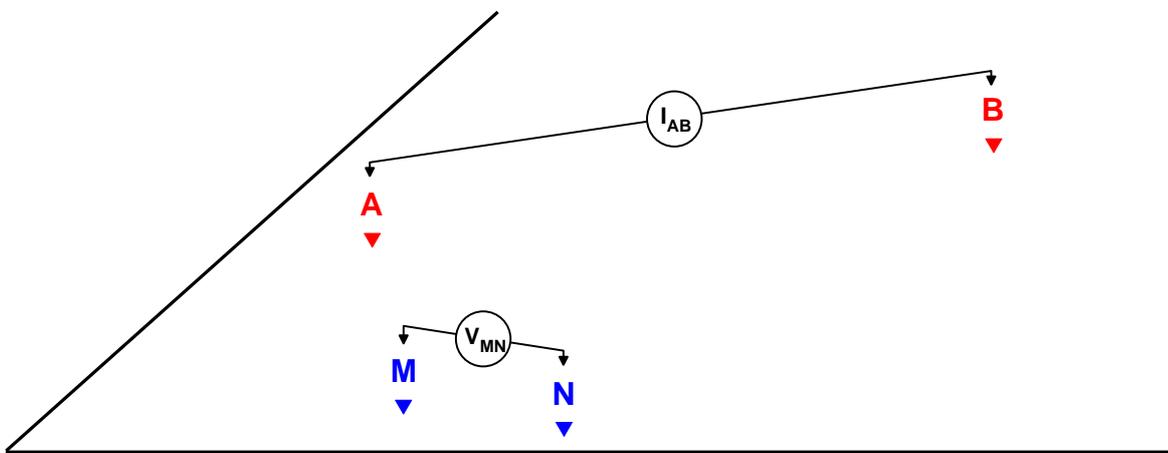


Figure 1 : Principe de la mesure en courant électrique continu

A partir de la valeur du courant injecté I , de la mesure de la différence de potentiel ΔV et de l'écartement entre les différentes électrodes, on peut déterminer la **résistivité électrique apparente** du sous-sol sur base de la loi d'Ohm :

$$\rho_{app} = K \times \frac{\Delta V}{I}$$

où K est un facteur dépendant de la géométrie du dispositif de mesure (figure 2) :

$$K = 2\pi \times \left[\frac{1}{r_{11}} - \frac{1}{r_{12}} - \frac{1}{r_{21}} + \frac{1}{r_{22}} \right]^{-1}$$

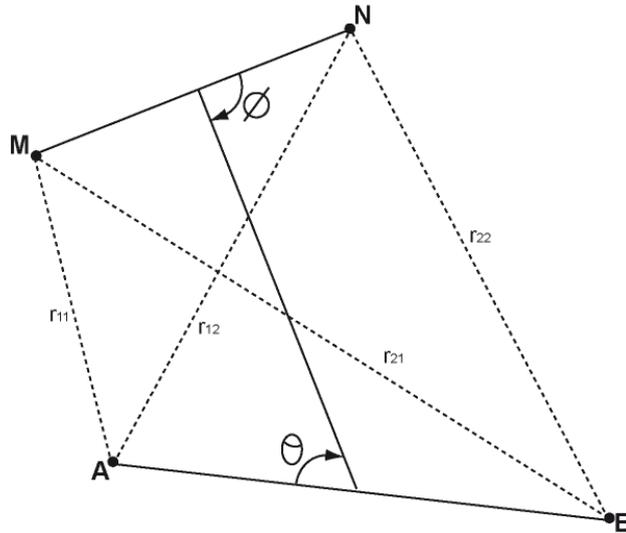


Figure 2 : Disposition générale d'électrodes où A et B sont les électrodes de courant, M et N, les électrodes de potentiel ($0 < \theta, \phi < \pi$)

La résistivité apparente d'un terrain hétérogène correspond à la résistivité d'un terrain homogène qui, pour une configuration identique des électrodes et un même courant injecté, donnerait la même mesure ΔV . Elle est fonction de la résistivité, de la géométrie des diverses couches et de la disposition des électrodes. Il existe plusieurs dispositifs d'électrodes utilisés en pratique : Schlumberger, Wenner, dipôle-dipôle, pôle-pôle, etc.

- **Dispositifs d'électrodes / configurations d'acquisition**

Une configuration d'acquisition est une manière d'agencer géométriquement les électrodes de courant (AB) et de potentiel (MN) (soit les quadripôles ABMN) en surface. Il en existe plusieurs, chacune présentant avantages et inconvénients. Les différences majeures entre ces configurations sont la distribution des lignes de courant électrique dans le sol et donc la forme des équipotentielles en surface ainsi que la valeur du coefficient géométrique K qui conditionnera les valeurs du courant minimal I à injecter pour mesurer un potentiel électrique minimal U fiable. Selon les équipements utilisés, certains dispositifs sont également plus rapides (dipôle-dipôle) à acquérir que d'autres

(Schlumberger) grâce à des acquisitions multi-voies (plusieurs mesures de ΔV pour une injection de courant.

Pour la configuration Wenner, par exemple, la profondeur d'investigation est estimée égale à la moitié du plus grand écartement utilisé entre deux électrodes successives mais elle peut varier suivant la nature des terrains et leur résistivité. L'écartement entre électrodes détermine donc la profondeur d'investigation ainsi que les résolutions horizontale et verticale. Par rapport aux autres configurations, le dispositif Wenner rend les structures plus facilement reconnaissables sur la pseudo-section.

D'une manière générale, la mise en œuvre d'au moins deux configurations d'électrodes permet dans la plupart des contextes de mieux appréhender la géométrie des différents corps en présence. Ci-dessous sont présentées trois configurations souvent mises en œuvre avec les équipements automatisés actuels.

Le dispositif dipôle-dipôle donne une très bonne résolution des terrains de subsurface et pour les discontinuités verticales. Dans cette configuration, le rapport signal/bruit décroît rapidement et la profondeur d'investigation se réduit également (figure 3).

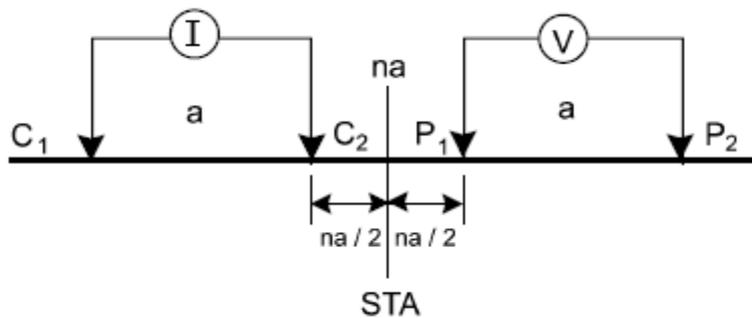


Figure 3 : Configuration dipôle-dipôle

Le dispositif Schlumberger est plus intégrant et, de ce fait, plus sensible aux effets latéraux. La résolution au niveau des horizons de sub-surface est moins bonne et celle des structures plus globale. Son intérêt majeur est la profondeur d'investigation atteinte grâce à un meilleur rapport signal/bruit (figure 4).

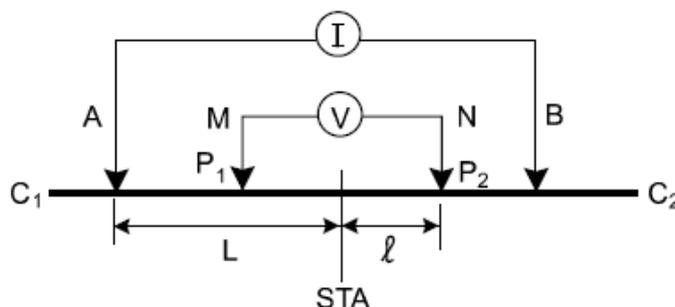


Figure 4 : Configuration de Schlumberger

Le dispositif Wenner est un dispositif présentant la particularité d'avoir trois espacements identiques entre les quatre électrodes. Avec ce dispositif, les résistivités apparentes sont moins affectées par les variations latérales superficielles (figure 5).

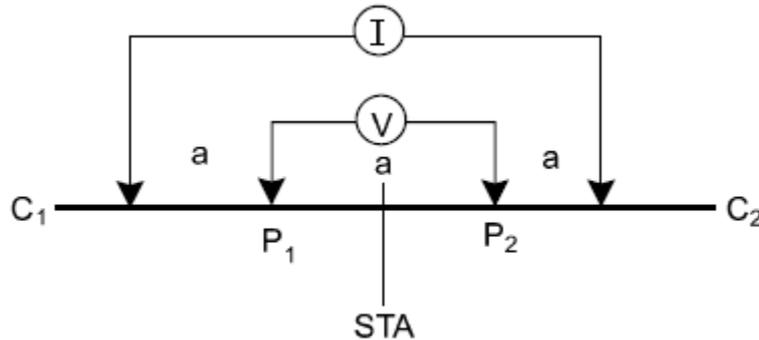


Figure 5 : Configuration de Wenner

- **Construction d'une pseudo-section de résistivité apparente**

Après filtrage des données brutes de résistivité apparente (mesurées sur le terrain) sur la base de critère de qualité, de courant émis ou de potentiel mesuré (logiciels Iris Instruments et X2ipi), celles-ci sont agencées de manière à obtenir une coupe (pseudo-section) de résistivité apparente du sous-sol. Cette dernière est construite (automatiquement) en reportant la valeur de la résistivité apparente mesurée au centre du dispositif et à une profondeur dépendant de l'écartement entre les électrodes. Cette représentation conduit à une image pour laquelle les valeurs de résistivité (puisqu'apparentes) et celles de profondeur ne sont pas correctes (figure 6).

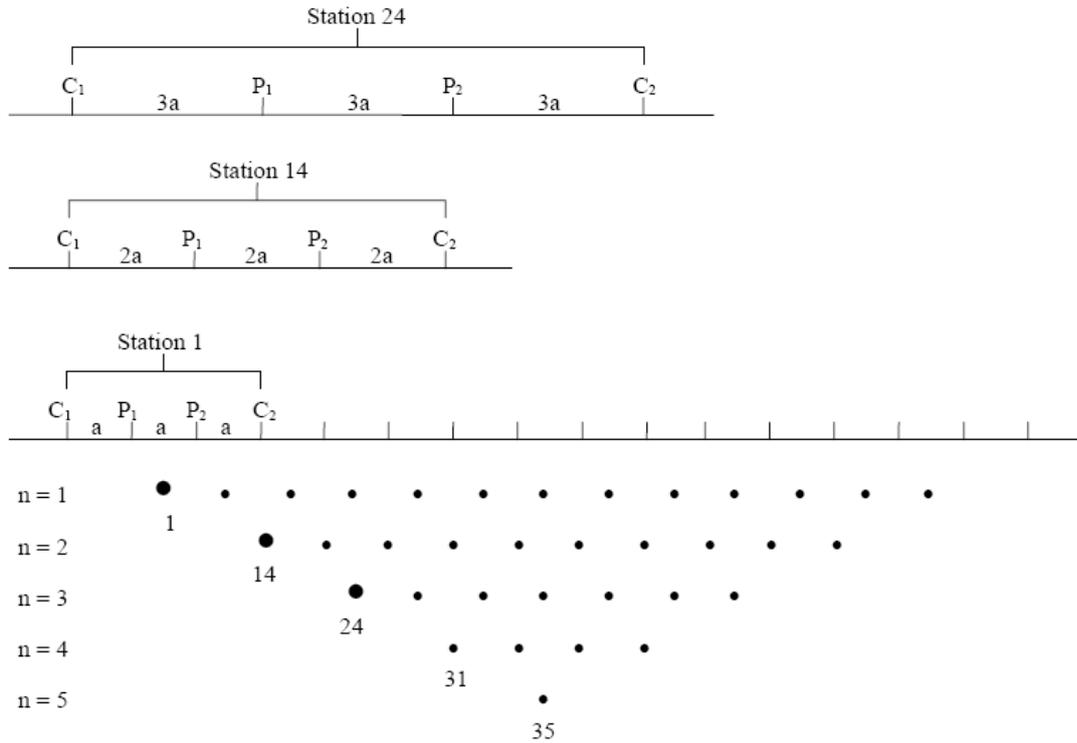


Figure 6 : Principe de construction d'une pseudo-section pour un dispositif Wenner

- **Traitement et inversion des données**

Afin d'obtenir une image quantitative représentant les variations de résistivité réelle (et non apparente) en fonction de la vraie profondeur, il est nécessaire d'inverser la pseudo-section (figure 7). Cette étape est réalisée à l'aide du logiciel Res2DInv (Loke & Barker). Cette inversion des données est réalisée suivant un processus itératif qui tente de minimiser l'écart entre la pseudo-section de résistivités apparentes mesurées et une pseudo-section recalculée à partir d'un modèle de résistivité électrique. Ce modèle est modifié à chaque itération jusqu'à ce que les données mesurées et calculées atteignent une concordance acceptable ou jusqu'à ce qu'aucune nouvelle amélioration ne soit possible. Afin de prendre en compte les morphologies rencontrées, la topographie de chaque profil est incluse lors de l'inversion (figure 8).

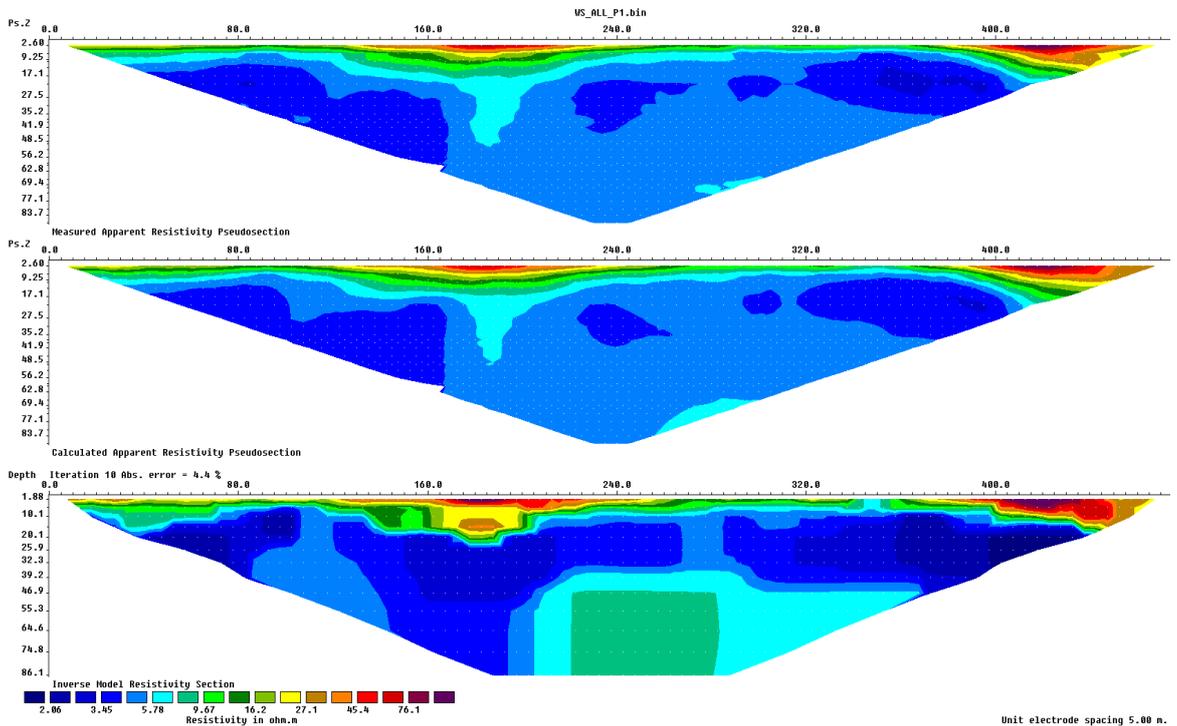


Figure 7 : Résultats complets (en images) d'une inversion. En haut la pseudo-section de résistivité apparente mesurées. En bas, le modèle de résistivité issu de l'inversion. Au centre, la pseudo-section de résistivité calculée sur la base du modèle de résistivité. L'erreur (RMS) constitue la différence entre les deux premières pseudo-sections (ici 4.4%).

La section de résistivité « vraie » (illustration du bas de la figure 7), résultat de l'inversion, sera ensuite utilisée pour l'interprétation. Elle fournit des informations quantitatives permettant de caractériser l'origine des différentes anomalies mises en évidence : résistivité, géométrie des horizons, profondeur, pendage. Les résultats de l'inversion sont présentés sous forme d'une coupe semblable à celle de résistivité apparente présentant la distribution des résistivités calculées le long du profil en fonction de la profondeur. Cela pour les différentes configurations d'acquisition choisies.

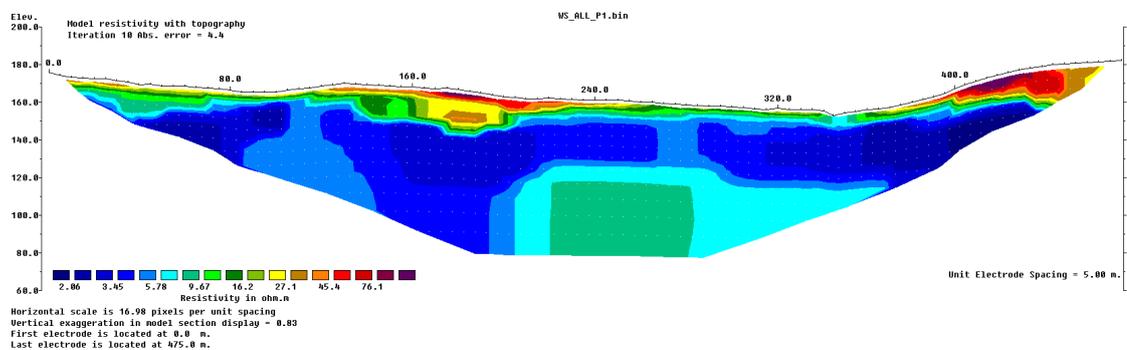


Figure 8 : Résultat de l'inversion de la figure 7 avec la topographie.

Pour chaque cas, des paramètres d'inversion sont choisis de manière à optimiser la réponse du modèle en incluant une information « à priori ».

Quelles que soient les performances des algorithmes de convergence, en l'absence d'étalonnage (résistivité étalonnée, profondeur des interfaces géoélectriques) les paramètres fournis par l'inversion ne sont pas définis de manière univoque (il y a plusieurs solutions satisfaisant au même jeu de données) et sont soumis à des principes d'équivalence. Cette indétermination ne peut être évaluée qu'en testant différentes solutions ou en contraignant l'inversion au moyen de paramètres (résistivités, épaisseurs, profondeurs) obtenus par d'autres moyens (autre méthode géophysique, diagraphies, forages, observations de terrain).

- **Applications**

La tomographie électrique proche surface (< 100m) s'applique globalement à toutes les sciences environnementales dans des domaines divers et variés.

- **Hydrogéologie (épaisseur d'aquifère), profondeur du substratum, identification d'invasions salines en milieu côtier**
- Volcanologie : identification des zones de fortes altérations hydrothermales
- **Géologie : identification de contact géologique ou tectonique**
- Environnement : suivi de panache de contamination dans le sol ou dans un aquifère
- Risques naturels : délimitation de la base de glissements de terrain
- Dans le domaine minier (associée à des mesures de polarisation provoquée (PP)), pour mettre en évidence des corps minéralisés
- En archéologie pour l'identification de structures enterrées
- Risques naturels : recherche de cavité en proche surface
- Géotechnique : qualité de fondations

Annexe 6

Paramètres d'inversion pour Res2Dinv

Paramètres STD, STDH et STDV

Inversion settings
Initial damping factor (0.01 to 1.00)
0.1000
Minimum damping factor (0.001 to 0.75)
0.0200
Line search option (0=Never, 1=Sometimes, 2=Always)
2
Convergence limit for relative change in RMS error in percent (0.1 to 20)
1.0000
Minimum change in RMS error for line search in percent (0.5 to 100)
0.5000
Number of iterations (1 to 30)
7
Vertical to horizontal flatness filter ratio (0.25 to 4.0)
STD = 1.0
STDH = 0.3
STDV = 2.0
Model for increase in thickness of layers(0=default 10, 1=default 25, 2=user defined)
2
Number of nodes between adjacent electrodes (2 or 4)
2
Flatness filter type, Include smoothing of model resistivity
(0=model changes only,1=directly on model)
1
Reduce number of topographical datum points? (0=No,1=Yes. Recommend leave at 0)
0
Carry out topography modeling? (0=No,1=Yes)
1
Type of topography trend removal (0=Average,1=Least-squares,2=End to end)
1
Type of Jacobian matrix calculation (0=Quasi-Newton, 1=Gauss-Newton, 2=Mixed)
1
Increase of damping factor with depth (1.0 to 2.0)
1.2000
Type of topographical modeling (0=None, 1=No longer supported so do not use, 2=uniform distorted FEM, 3=underwater, 4=damped FEM, 5=FEM with inverse Swartz-Christoffel)
2
Robust data constrain? (0=No, 1=Yes)
0
Cutoff factor for data constrain (0.0001 to 0.1))
0.0100
Robust model constrain? (0=No, 1=Yes)
0
Cutoff factor for model constrain (0.0001 to 1.0)
0.0020
Allow number of model parameters to exceed datum points? (0=No, 1=Yes)
1
Use extended model? (0=No, 1=Yes)
0

Prospection hydrogéologique pour le bourg de Saint-Georges-de-l'Oyapock

Reduce effect of side blocks? (0=No, 1=Slight, 2=Severe, 3=Very Severe)
3
Type of mesh (0=Normal,1=Fine,2=Finest)
2
Optimise damping factor? (0=No, 1=Yes)
1
Time-lapse inversion constrain (0=None,1=Least-squares,2=Smooth,3=Robust)
0
Type of time-lapse inversion method (0=Simultaneous,1=Sequential)
0
Thickness of first layer (0.25 to 1.0)
0.5000
Factor to increase thickness layer with depth (1.0 to 1.25)
1.1000
USE FINITE ELEMENT METHOD (YES=1,NO=0)
1
WIDTH OF BLOCKS (1=NORMAL WIDTH, 2=DOUBLE, 3=TRIPLE, 4=QUADRUPLE, 5=QUINTIPLE)
1
MAKE SURE BLOCKS HAVE THE SAME WIDTH (YES=1,NO=0)
1
RMS CONVERGENCE LIMIT (IN PERCENT)
1.000
USE LOGARITHM OF APPARENT RESISTIVITY (0=USE LOG OF APPARENT RESISTIVITY, 1=USE RESISTANCE VALUES, 2=USE APPARENT RESISTIVITY)
0
TYPE OF IP INVERSION METHOD (0=CONCURRENT,1=SEQUENTIAL)
1
PROCEED AUTOMATICALLY FOR SEQUENTIAL METHOD (1=YES,0=NO)
1
IP DAMPING FACTOR (0.01 to 1.0)
0.150
USE AUTOMATIC IP DAMPING FACTOR (YES=1,NO=0)
0
CUTOFF FACTOR FOR BOREHOLE DATA (0.0005 to 0.02)
0.00100
TYPE OF CROSS-BOREHOLE MODEL (0=normal,1=halFSIZE)
0
LIMIT RESISTIVITY VALUES(0=No,1=Yes)
1
Upper limit factor (10-50)
20.000
Lower limit factor (0.02 to 0.1)
0.050
Type of reference resistivity (0=average,1=first iteration)
0
Model refinement (1.0=Normal,0.5=Half-width cells)
1.00
Combined Combined Marquardt and Occam inversion (0=Not used,1=used)
0
Type of optimisation method (0=Gauss-Newton,2=Incomplete GN)
2
Convergence limit for Incomplete Gauss-Newton method (0.005 to 0.05)
0.010
Use data compression with Incomplete Gauss-Newton (0=No,1=Yes)

0
 Use reference model in inversion (0=No,1=Yes)
 0
 Damping factor for reference model (0.0 to 0.3)
 0.05000
 Use fast method to calculate Jacobian matrix. (0=No,1=Yes)
 1
 Use higher damping for first layer? (0=No,1=Yes)
 1
 Extra damping factor for first layer (1.0 to 100.0)
 2.50000
 Type of finite-element method (0=Triangular,1=Trapezoidal elements)
 1
 Factor to increase model depth range (1.0 to 5.0)
 1.000
 Reduce model variations near borehole (0=No, 1=Yes)
 0
 Factor to control the degree variations near the boreholes are
 reduced (2 to 100)
 5.0
 Factor to control variation of borehole damping factor with
 distance (0.5 to 5.0)
 1.0
 Floating electrodes survey inversion method (0=use fixed water
 layer, 1=Incorporate water layer into the model)
 0
 Resistivity variation within water layer (0=allow resistivity to
 vary freely,1=minimise variation)
 1
 Use sparse inversion method for very long survey lines (0=No,
 1=Yes)
 0
 Optimize Jacobian matrix calculation (0=No, 1=Yes)
 1
 Automatically switch electrodes for negative geometric factor
 (0=No, 1=Yes)
 1
 Force resistance value to be consistant with the geometric factor
 (0=No, 1=Yes)
 0
 Shift the electrodes to round up positions of electrodes (0=No,
 1=Yes)
 0
 Use difference of measurements in time-lapse inversion (0=No,1=Yes)
 1
 Use active constraint balancing (0=No,1=Yes)
 0
 Type of active constraints (0=Normal,1=Reverse)
 0
 Lower damping factor limit for active constraints
 5.0000
 Upper damping factor limit for active constraints
 8.0000
 Water resistivity variation damping factor
 4.0000

Paramètres ROB, ROBH et ROBV

Inversion settings

Initial damping factor (0.01 to 1.00)

0.1000

Minimum damping factor (0.001 to 0.75)

0.0200

Line search option (0=Never, 1=Sometimes, 2=Always)

2

Convergence limit for relative change in RMS error in percent (0.1 to 20)

1.0000

Minimum change in RMS error for line search in percent (0.5 to 100)

0.5000

Number of iterations (1 to 30)

7

Vertical to horizontal flatness filter ratio (0.25 to 4.0)

ROB = 1

ROBH = 0.3

ROBV = 2.0

Model for increase in thickness of layers (0=default 10, 1=default 25, 2=user defined)

2

Number of nodes between adjacent electrodes (2 or 4)

2

Flatness filter type, Include smoothing of model resistivity (0=model changes only, 1=directly on model)

1

Reduce number of topographical datum points? (0=No, 1=Yes. Recommend leave at 0)

0

Carry out topography modeling? (0=No, 1=Yes)

1

Type of topography trend removal (0=Average, 1=Least-squares, 2=End to end)

1

Type of Jacobian matrix calculation (0=Quasi-Newton, 1=Gauss-Newton, 2=Mixed)

1

Increase of damping factor with depth (1.0 to 2.0)

1.2000

Type of topographical modeling (0=None, 1=No longer supported so do not use, 2=uniform distorted FEM, 3=underwater, 4=damped FEM, 5=FEM with inverse Swartz-Christoffel)

4

Robust data constrain? (0=No, 1=Yes)

1

Cutoff factor for data constrain (0.0001 to 0.1)

0.0100

Robust model constrain? (0=No, 1=Yes)

1

Cutoff factor for model constrain (0.0001 to 1.0)

0.0020

Allow number of model parameters to exceed datum points? (0=No, 1=Yes)

1

Use extended model? (0=No, 1=Yes)

0

Reduce effect of side blocks? (0=No, 1=Slight, 2=Severe, 3=Very Severe)
3
Type of mesh (0=Normal,1=Fine,2=Finest)
2
Optimise damping factor? (0=No, 1=Yes)
1
Time-lapse inversion constrain (0=None,1=Least-squares,2=Smooth,3=Robust)
0
Type of time-lapse inversion method (0=Simultaneous,1=Sequential)
0
Thickness of first layer (0.25 to 1.0)
0.3418
Factor to increase thickness layer with depth (1.0 to 1.25)
1.2000
USE FINITE ELEMENT METHOD (YES=1,NO=0)
1
WIDTH OF BLOCKS (1=NORMAL WIDTH, 2=DOUBLE, 3=TRIPLE, 4=QUADRUPLE, 5=QUINTIPLE)
1
MAKE SURE BLOCKS HAVE THE SAME WIDTH (YES=1,NO=0)
1
RMS CONVERGENCE LIMIT (IN PERCENT)
1.000
USE LOGARITHM OF APPARENT RESISTIVITY (0=USE LOG OF APPARENT RESISTIVITY, 1=USE RESISTANCE VALUES, 2=USE APPARENT RESISTIVITY)
0
TYPE OF IP INVERSION METHOD (0=CONCURRENT,1=SEQUENTIAL)
1
PROCEED AUTOMATICALLY FOR SEQUENTIAL METHOD (1=YES,0=NO)
1
IP DAMPING FACTOR (0.01 to 1.0)
0.150
USE AUTOMATIC IP DAMPING FACTOR (YES=1,NO=0)
0
CUTOFF FACTOR FOR BOREHOLE DATA (0.0005 to 0.02)
0.00100
TYPE OF CROSS-BOREHOLE MODEL (0=normal,1=halfsize)
0
LIMIT RESISTIVITY VALUES(0=No,1=Yes)
1
Upper limit factor (10-50)
20.000
Lower limit factor (0.02 to 0.1)
0.050
Type of reference resistivity (0=average,1=first iteration)
0
Model refinement (1.0=Normal,0.5=Half-width cells)
1.00
Combined Combined Marquardt and Occam inversion (0=Not used,1=used)
0
Type of optimisation method (0=Gauss-Newton,2=Incomplete GN)
2
Convergence limit for Incomplete Gauss-Newton method (0.005 to 0.05)
0.010
Use data compression with Incomplete Gauss-Newton (0=No,1=Yes)

Prospection hydrogéologique pour le bourg de Saint-Georges-de-l'Oyapock

0
Use reference model in inversion (0=No,1=Yes)
0
Damping factor for reference model (0.0 to 0.3)
0.05000
Use fast method to calculate Jacobian matrix. (0=No,1=Yes)
1
Use higher damping for first layer? (0=No,1=Yes)
1
Extra damping factor for first layer (1.0 to 100.0)
2.50000
Type of finite-element method (0=Triangular,1=Trapezoidal elements)
1
Factor to increase model depth range (1.0 to 5.0)
1.000
Reduce model variations near borehole (0=No, 1=Yes)
0
Factor to control the degree variations near the boreholes are reduced (2 to 100)
5.0
Factor to control variation of borehole damping factor with distance (0.5 to 5.0)
1.0
Floating electrodes survey inversion method (0=use fixed water layer, 1=Incorporate water layer into the model)
0
Resistivity variation within water layer (0=allow resistivity to vary freely,1=minimise variation)
1
Use sparse inversion method for very long survey lines (0=No, 1=Yes)
0
Optimize Jacobian matrix calculation (0=No, 1=Yes)
1
Automatically switch electrodes for negative geometric factor (0=No, 1=Yes)
1
Force resistance value to be consistent with the geometric factor (0=No, 1=Yes)
0
Shift the electrodes to round up positions of electrodes (0=No, 1=Yes)
0
Use difference of measurements in time-lapse inversion (0=No,1=Yes)
1
Use active constraint balancing (0=No,1=Yes)
0
Type of active constraints (0=Normal,1=Reverse)
0
Lower damping factor limit for active constraints
5.0000
Upper damping factor limit for active constraints
8.0000
Water resistivity variation damping factor
4.0000

Annexe 7

Coordonnées X, Y, Z des tomographies de résistivité SG1 à SG7

Prospection hydrogéologique pour le bourg de Saint-Georges-de-l'Oyapock

ERT - SG1				
Abscisse (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Repères
0	409105	431216	29	Point GPS + piquet
10			29,4	
20			29,3	
30			28,7	
40			27,6	
50			26,4	
60			24,4	
70			22,3	
80	409176	431242	19,7	Point GPS + piquet
90			17,3	
100			14,3	
110			11,6	piste
120			9,7	Filon de quartz à 125
130			9,5	
140			9,4	
150			9,2	
160	409256	431256	9,3	Piste, point GPS + piquet
170			9,1	
180			9	
190			8,7	
195			8,4	
200			9,3	Crique
210			11,1	
220			12,7	
230			14,4	
240	409317	431289	15,9	Piste, point GPS + piquet
250			16,2	
260			19,8	
270			21,6	
280			22,8	
290			23,9	
300			25,3	
310			26,3	
320	409404	431301	27,1	Point GPS + piquet
330			27,7	
340			28	
350			28,1	
360			28,3	
370			28,6	
380			28,8	
390			28,6	
400	409476	431325	28,5	Point GPS + piquet
410			28,6	
420			28,6	
430			28,2	
440			28	
450			28,3	
460			28,4	
470			28,5	
475	409546	431353	28,5	Point GPS + piquet

ERT - SG2				
Abscisse (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Repères
0	409876	429523	30	Point GPS + piquet
10			29,4	
20			28,8	
30			26,3	
40			24	
50			23,1	
60			22,8	
70			22,7	
80	409954	429504	22,6	Point GPS + piquet
90			22,4	
100			22,4	
110			23,5	
115			23,2	
120			22	crique
125			23,6	
130			24,2	
140			24,4	
150			24,9	
160	410034	429500	25,6	Point GPS + piquet
170			25,5	
180			25,8	
190			26	
200			26,1	
210			26,1	
220			26,1	
230			26	
240	410115	429480	25,7	Point GPS + piquet
250			25,2	
260			24,2	
270			22,5	
280			21,6	
290			22,2	
300			22,3	
310			22,5	
320	410194	429471	23	Point GPS + piquet
330			23,6	
340			23,8	
350			23,8	sable
360			23,8	sable
370			23,8	sable
380			23,5	sable
390			23	sable
400	410268	429452	22,4	Point GPS + piquet
410			21,9	
420			21,6	
430			21,4	
440			21,3	
450			21,3	
460			21,2	
470			20,7	Point GPS + piquet
475	410346	429447	20,1	Point GPS + piquet

Prospection hydrogéologique pour le bourg de Saint-Georges-de-l'Oyapock

ERT - SG3				
Abscisse (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Repères
0	408411	428637	74	Point GPS + piquet
10			75,5	
20			76,6	
30			78,2	
40			79,9	
50			80,1	
60			80,5	
70			80,7	
80	408471	428688	80,8	Point GPS + piquet
90			80,8	
100			80,5	
110			80,5	
120			80,7	
130			80,7	
140			80,5	
150			80,4	
160	408531	428747	80	Point GPS + piquet
170			79,6	
180			78,8	
190			78	
200			76,2	
210			74,7	
220			74,4	
230			74,3	
240	408589	428809	74,3	Point GPS + piquet
250			74,5	
260			75,1	
270			75,4	
280			75,1	
290			74,6	
300			73,9	
310			73,2	
320	408645	428856	72,6	Point GPS + piquet
330			71,8	
340			71,1	
350			70,1	
360			68,7	
370			67,3	
380			65,3	
390			62,9	
400	408696	428912	60,9	Point GPS + piquet
410			58,5	
420			55,9	
430			54,9	
440			53,2	
450			51,6	
460			49,1	
470			46	Pied talus
475	408751	428965	45,9	Point GPS + piquet

ERT - SG4				
Abscisse (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Repères
0	408994	432041	27	Point GPS + piquet
10			25,3	
20			23,6	
30			21,8	
40			20,3	
50			19	
60			18,2	
70			18	
80	409072	432035	18,7	Point GPS + piquet
90			19,1	
100			19,3	
110			19,5	
120			20	
130			19,9	
140			19,9	
150			19,1	
160	409151	432031	19,1	Point GPS + piquet
170			19,8	
180			20,6	
190			21,5	
200			22,2	
210			22,8	
220			23,9	
230			25	
240	409233	432022	25,7	Point GPS + piquet
250			26,5	
260			27,3	
270			27,7	piste à abscisse 272
280			28	
290			28,4	
300			28,8	
310			29,1	
320	409311	432019	29,4	Point GPS + piquet
330			30	
340			30,4	
350			30,5	piste à abscisse 355
360			30,5	
370			30,7	
380			30,7	
390			30,6	
400	409396	432015	29,9	Point GPS + piquet
410			30	
420			29,5	
430			29,3	
440			28,9	
450			28,3	
460			27,6	
470			26,7	
475	409464	432012	26,2	Point GPS + piquet

Prospection hydrogéologique pour le bourg de Saint-Georges-de-l'Oyapock

ERT - SG5				
Abscisse (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Repères
0	408655	429351	78	Point GPS + piquet
10			77,1	Piste abscisse 12 m
20			76,2	
30			75,1	
40			73,9	
50			72,7	
60			71,3	
70			70,1	
80	408731	429361	69,7	Point GPS + piquet
90			68,4	
100			66,9	
110			65,1	
120			63,2	
130			61,1	
140			59,3	
150			57,3	
160	408815	429371	56,2	Point GPS + piquet
170			55,7	
180			54,5	
190			53,5	
200			52,2	
210			49,9	
220			47,7	
230			45,8	
240	408895	429370	42,9	Point GPS + piquet
250			40,6	
260			39	début flat abscisse 265
270			38,4	
280			38,2	
290			38,1	
300			38	crique abscisse 309
310			37,9	fin flat abscisse 310
320	408963	429370	40,4	Point GPS + piquet
330			43,5	
340			44,6	
350			47,6	
360			50,6	
370			54,3	
380			58	
390			60,6	
400	409036	429386	62,3	Point GPS + piquet
410			64,3	
420			66,2	
430			67,4	
440			68,3	
450			69,4	
460			70,7	
470			71,7	
475	409114	429398	72	Point GPS + piquet

ERT - SG6				
Abscisse (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Repères
0	409757	432142	20	Point GPS + piquet
10	409757	432142	20,1	
20			20,1	
30			20	
40			20	
50			19,9	
60			19,8	
70			19,9	
80	409826	432116	19,9	Point GPS + piquet
90			19,9	
100			19,9	
110			19,8	
120			19,7	
130			19,6	
140			19,6	
150			19,6	
160	409910	432100	19,5	Point GPS + piquet
170			19,6	
180			19,5	
190			19,4	axe piste à 190m
200			19,5	
210			19,5	
220			19,5	
230			19,3	
240	409980	432081	19,1	Point GPS + piquet
250			18,9	
260			18,7	
270			18,4	câble électrique enterré
280			17,8	
290			16,7	petite ravine
300			17,1	
310			17,6	
320	410063	432067	17,9	Point GPS + piquet
330			18,4	
340			19	
350			19,6	
360			20	
370			20,6	
380			21,2	
390			21,9	
400	410139	432039	23,1	Point GPS + piquet
410			24	
420			24,5	
430			25	
440			25,9	
450			27	
460			28,3	
470			29,8	
475	410210	432020	30,4	Point GPS + piquet, piste à 478

ERT - SG7				
Abcisse (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Repères
0	408248	428464	63	Point GPS + piquet
10			63,5	
20			64,1	
30			64,6	
40			65,1	
50			65,6	
60			66,1	
70			66,7	
80	408291	428533	67,1	Point GPS + piquet
90			67,6	
100			68	
110			68,4	
120			68,9	
130			69,2	
140			69,5	
150			69,7	
160	408353	428583	70	Point GPS + piquet
170			70,2	
180			70,4	
190			70,4	
200			70,3	
210			70,2	
220			70	
230			69,8	
240	408416	428635	70	Point GPS + piquet
250			71,4	
260			72,5	
270			74,1	
280			75,8	
290			76,3	
300			76,8	
310			76,9	
320	408471	428688	77,2	Point GPS + piquet
330			77,2	
340			76,8	
350			76,8	
360			77,1	
370			77,1	
380			77	
390			76,8	
400	408531	428747	76,4	Point GPS + piquet
410			76,1	
420			75,6	
430			74,7	
440			73	
450			71,9	
460			71,6	
470			71,6	
475	408585	428805	71,6	Point GPS + piquet



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale Guyane

Domaine de Suzini – route de Montabo
BP 10552

97333 – CAYENNE – France

Tél. : 05 94 30 06 24