

## Prospection hydrogéologique de l'aquifère migmatitique de Grand Santi - Guyane Française - Retour d'expérience

**M. Baisset**<sup>(1,2)</sup>, **A. Gutierrez**<sup>(1)</sup>, **JM. Gandolfi**<sup>(1)</sup>, **F. Mathieu**<sup>(1)</sup>, **B. Dewandel**<sup>(1)</sup>,  
**A. Boisson**<sup>(1)</sup>, **L. Bechelen**<sup>(1)</sup>

(1) BRGM, (2) actuellement ImaGeau : [matthieu.baisset@imageau.eu](mailto:matthieu.baisset@imageau.eu)

En Guyane Française, face aux coûts de traitement importants des eaux superficielles bien souvent polluées par les activités d'orpaillages avoisinantes, et à un faible développement généralisé des aquifères sédimentaires (Pointet, 2001), les aquifères de socle constituent souvent la seule solution pour répondre, de manière pérenne et à un coût acceptable, au besoin d'alimentation en eau potable des communes isolées. Ainsi en 1995, une vaste campagne de prospection des aquifères de socle a été entreprise à l'échelle de l'île de Cayenne et des communes du Maroni conduisant à l'installation de nombreux forages d'exploitation (Lachassagne et al., 1997). Vingt ans plus tard, face à une importante hausse démographique sur le territoire (+5,5%/an), ces ouvrages ne suffisent plus pour répondre aux besoins, et de nouveaux doivent être créés. Dans cette optique, une deuxième campagne de prospection hydrogéologique a été réalisée de 2013 à 2014, sur la commune de Grand Santi, située à 140km du littoral le long du fleuve Maroni. Elle a conduit à la mise en place de cinq nouveaux ouvrages d'exploitation afin de compléter la production des deux ouvrages de 1997.

Dans les deux cas la même méthodologie de prospection a été appliquée afin de localiser des secteurs dans le socle alliant le développement d'un aquifère d'altération perméable, à la proximité d'une singularité tectonique ou filonienne. Une étude photo-linéamentaire et une reconnaissance géologique de la zone à prospecter est dans un premier temps réalisée afin de localiser les zones d'intérêt. Celles-ci font l'objet d'une prospection émanométrique selon un maillage régulier afin de mettre en évidence des concentrations anormales en radon, indicateur potentiel de secteur favorable sur le plan hydrogéologique (Lachassagne et al., 2001). Ces anomalies Radon constituent un guide plus ciblé pour la mise en œuvre d'une prospection géophysique électrique par sondages, traînés et panneaux électriques. Ainsi, sur la commune de Grand Santi, les deux prospections, (au total 532 prélèvements Radon, 23 sondages électriques, 23 traînés électriques, et 3 panneaux électriques) ont permis d'implanter et réaliser 7 forages dont les débits d'exploitation varient de 2,5 à 8 m<sup>3</sup>/h.

Dans un contexte de forêt équatoriale à couvert végétal extrêmement dense, où quasiment aucune information de surface n'est disponible, où l'isolement de ce territoire induit des coûts de forage deux fois supérieurs à ceux pratiqués en métropole, il est particulièrement important de bien maîtriser les méthodes de prospection indirectes pour optimiser l'implantation d'un forage d'eau dans le socle. En effet, à 60 m de distance seulement, les transmissivités évaluées sur les ouvrages de Grand Santi varient d'un ordre de grandeur et les débits d'exploitation varient du simple au double.

Dans un souci d'améliorer la méthodologie d'implantation d'un forage d'eau dans le socle en Guyane, les données géologiques et hydrogéologiques obtenues suite à la réalisation de ces 7 ouvrages sur la commune de Grand Santi ont été confrontées *a posteriori* aux données de prospection ayant amené à leur implantation.

## I. Contexte

La commune de Grand Santi, située le long du Maroni, à 140 km au sud de l'estuaire de Saint-Laurent-du-Maroni, connaît une forte croissance démographique (5.5%/an), sa population étant passée en une vingtaine d'année de 1820 habitants (1990), à 5500 habitants (2011). Seule une partie de la commune est alimentée par le réseau de distribution, mais celui-ci se développe. Les besoins en eau potable de la commune ont ainsi dû être réévalués à 470 m<sup>3</sup>/j pour assurer son développement jusqu'à l'horizon 2020. Grand Santi est un bourg « isolé » de Guyane, uniquement accessible par liaison aérienne depuis Cayenne ou par pirogue via le Maroni, impliquant une logistique particulière, parfois périlleuse, pour l'acheminement par voie fluviale de matériel lourd et volumineux (foreuse, compresseur, tubages, etc.).

D'un point de vue géologique, la commune de Grand Santi est occupée, en bordure du fleuve, par des terrasses alluviales d'une extension latérale de 1 à 2 km, et dont l'épaisseur ne dépasse pas 11m. Le potentiel aquifère des formations alluviales est faible (Rampoux, 1996). Elles recouvrent des formations de socle migmatitique plus ou moins altérées et fissurées qui constituent la cible privilégiée des deux prospections hydrogéologiques réalisées. D'un point de vue structural, l'histoire tectonique de la Guyane est extrêmement riche et toujours géodynamiquement active au Quaternaire (Palvadeau, 1999), les fractures en ouverture ayant des directions privilégiées N340 à N20 et N100 à N140. Sur la commune de Grand Santi, les orientations linéamentaires principales N90, N60, N30, N120 ont pu être identifiées et sont conformes à celles reconnues lors de la prospection hydrogéologique de 1996 (Rampoux, 1996).

## II. Prospections de 1996-1997 et de 2013-2014

La Figure 1 présente les trois sites prospectés entre 1996 et 2014. En 1996, la prospection s'était concentrée à proximité immédiate du bourg, la faible extension du village le permettant, dans un souci de limiter le linéaire de conduites entre les forages et le château d'eau situé au centre du village. Près de 20 ans plus tard, la forte augmentation des besoins en eau et la vétusté du château d'eau ont amené à la construction d'un nouveau réservoir d'une capacité de 900 m<sup>3</sup>, en dehors des zones urbanisées à environ 2 km au sud du bourg. Les prospections hydrogéologiques de 2013-2014 se sont concentrées de façon privilégiée sur des secteurs situés à proximité de cette nouvelle infrastructure dans un souci d'économie.

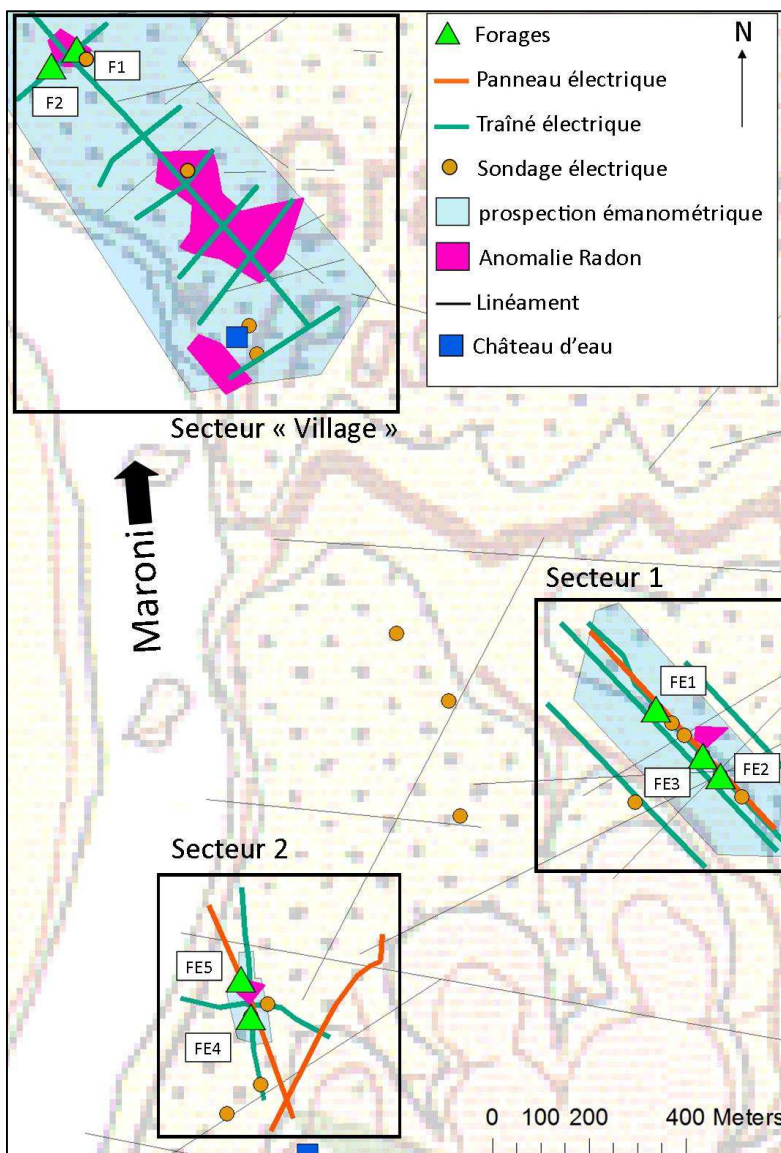
Les éléments structuraux d'origine tectonique, agissant en ouverture et existant avant le développement du profil d'altération actuel sont des structures d'un fort intérêt hydrogéologique du fait d'une perméabilité verticale sensiblement plus grande que l'encaissant qui pourrait être liée non pas à l'accident lui-même mais à l'altération périphérique de la zone broyée (Lachassagne et al., 2011). Elles constituent des cibles privilégiées à rechercher pour implanter des forages d'eau dans la mesure où elles sont connectées à un horizon d'altération fissuré ou poreux dont les réserves en eau sont sensiblement plus importantes. Cette configuration géologique pour assurer une exploitation pérenne des ouvrages nécessite une implantation fine des ouvrages. La même méthodologie de prospection hydrogéologique a été employée sur Grand Santi en 1996 et 2013-2014 selon l'enchaînement des 3 phases suivantes :

Phase 1 - reconnaissance géologique préalable de terrain et analyse structurale par photo-interprétation,

Phase 2 - prospection émanométrique (radon) sur les secteurs les plus aptes à développer un aquifère d'altération et où les indices structuraux (densité et directions des linéaments) laissent supposer la présence de fractures tectoniques jouant en ouverture,

Phase 3 - prospection géophysique centrée sur les anomalies « radon » mises en évidence pour l'implantation *in fine* des forages.

La prospection géophysique est basée sur la réalisation de sondages et traînés électriques. En 2014, l'opportunité de réaliser, en sus, plusieurs panneaux électriques en cours de phase de reconnaissance par forages des secteurs d'étude, a également permis de guider et d'optimiser l'implantation du dernier ouvrage réalisé (forage FE5). La Figure 1, synthétise les résultats obtenus à l'issue des phases 1 et 2, et présente la localisation des travaux réalisés en phase 3.



Des anomalies radon, traceurs supposés de la présence de fractures profondes, ont pu être localisées sur les trois secteurs prospectés (village-1996, secteur1-2013 et secteur2-2014). Le seuil anomal correspond aux valeurs supérieures à 90% des échantillons prélevés. La mesure de l'activité Radon étant extrêmement dépendante des conditions climatiques, de la nature et la perméabilité des formations superficielles, il n'est pas possible de comparer les valeurs absolues de seuil anomal entre les différents sites prospectés. Les anomalies « radon » présentées sur la figure 1 doivent donc être considérées indépendamment d'un site à l'autre. Suite à la détermination de ces secteurs anomaux, des investigations géophysiques ont été réalisées, centrées sur ces zones. Les résultats obtenus par les principaux traînés et panneaux électriques sont détaillés par secteurs en Figure 2, 3, et 4.

Figure 1 – Localisation des différents éléments de prospection impliqués dans l'implantation des forages de reconnaissance dans le socle de Grand Santi

Enfin sur la base de tous ces éléments, 7 forages ont été réalisés selon la même technique de foration, par la méthode du Rotary à la boue pour la traversée des formations superficielles meubles, puis par la technique du Marteau-Fond-de-Trou dans les roches dures du socle. Les

ouvrages sont équipés de manière à capter la base des altérites désignée sur les figures par le terme « saprock », et le socle fissuré sous-jacent. L'ensemble des ouvrages a fait l'objet de tests de pompage : essais de puits et essai de nappe d'une durée de 72 h. Ces pompages ont été réalisés en conditions de basses eaux en période sèche. Les coupes schématiques des forages, ainsi que l'évaluation des transmissivités et des débits d'exploitation recommandés sont indiqués en partie supérieure des Figures 2, 3, et 4.

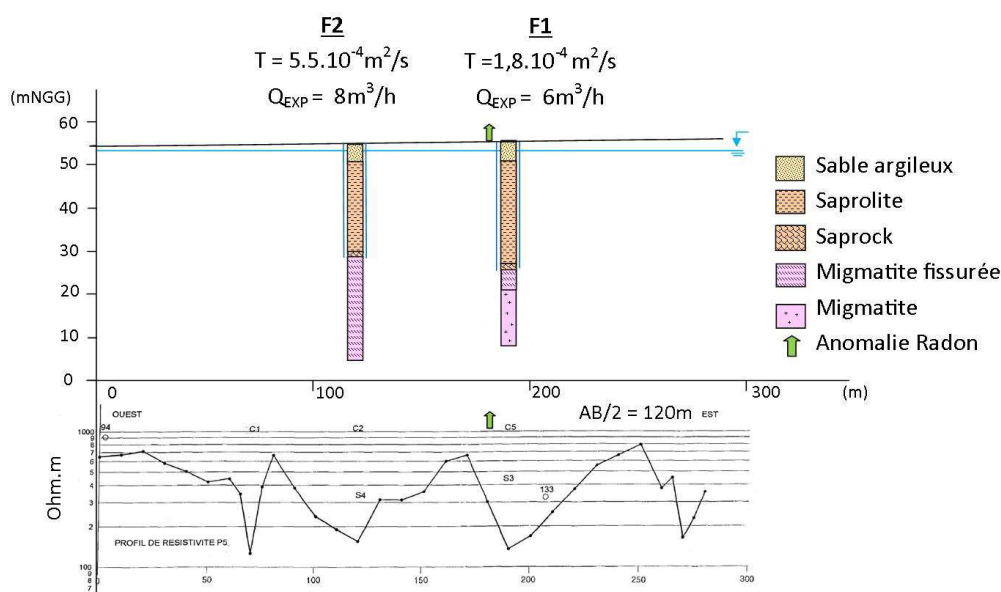


Figure 2 – Confrontation du trainé électrique et anomalie radon aux coupes de forage – secteur village – 1996

Les transmissivités évoluent sur un ordre de grandeur (entre  $5.E-5$  et  $5.E-4$   $m^2/s$ ). Les rayons d'action des pompages d'essais concernent une étendue de l'ordre de 100 à 200 m autour des ouvrages et de ce fait, affectent les ouvrages voisins qui peuvent être utilisés comme piézomètres. Dans ce cas les transmissivités caractérisent une valeur moyenne autour des ouvrages. Les débits d'exploitation des ouvrages, bien que dépendant pour partie des caractéristiques techniques des équipements, représentent mieux les hétérogénéités locales à une échelle compatible avec les résultats des prospections radon ou géophysiques. Il est finalement plus commode et plus parlant de raisonner sur les débits d'exploitation, à partir du moment où les modes de foration, développement et équipements sont tous semblables (au moins pour les 5 puits récents) et le mode de détermination des débits est identique.

Les débits d'exploitation estimés des 7 forages réalisés se classent selon 2 gammes de débit :

- de l'ordre de  $2,5m^3/h$ , pour 3 des ouvrages (FE1, FE2, FE4) ; ils sont représentatifs des débits habituellement rencontrés dans un aquifère d'altération de type migmatitique ; ils sont désignés comme « peu productifs » et représentent la productivité moyenne de l'aquifère d'altération migmatite, c'est-à-dire sans discontinuités géologiques,
- supérieurs à  $5m^3/h$  pour 4 des ouvrages (F1, F2, FE3, FE5) ; ils sont représentatifs d'un ouvrage interceptant un horizon fissuré significatif et/ou une zone faillée ; ils sont désignés comme « productifs ».

Le critère le plus déterminant pour l'implantation des ouvrages est analysé ci-après. Cette synthèse est forcément réductrice dans la mesure où une implantation est le résultat d'un ensemble de critères géologiques, hydrogéologiques, socio-économiques etc. L'accent est mis ici

sur les éléments de détermination indirecte qui ont argumenté en faveur de l'implantation de l'ouvrage.

En 1996, sur le secteur « village » (Figure 2), les ouvrages F1 et F2 « productifs » ont été implantés à l'aide d'un traîné électrique guidé par deux anomalies conductrices à proximité d'une anomalie radon.

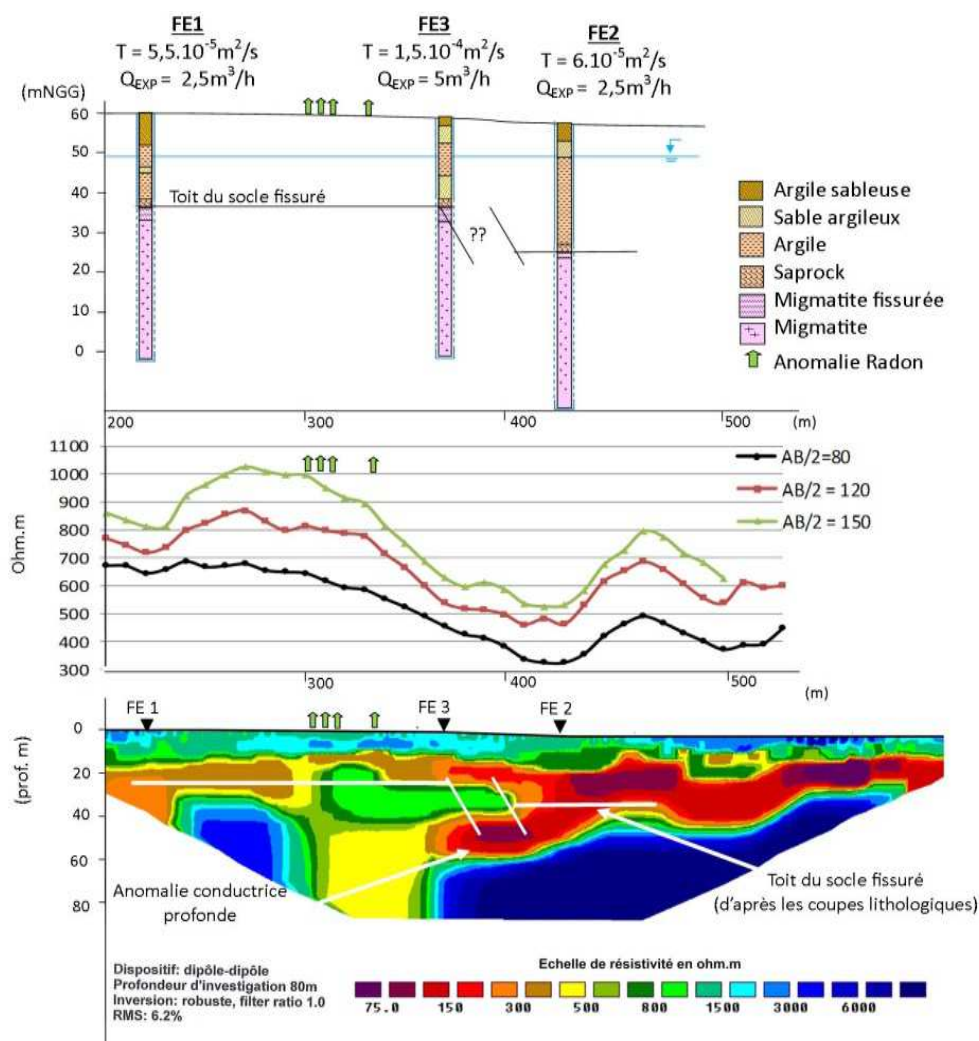


Figure 3 – Confrontation des traînés électriques, du panneau électrique et des anomalies « radon » aux coupes des forages – secteur 1 – 2013-2014

Sur le secteur 1 (Figure 3), les ouvrages FE1 et FE2 « peu productifs » ont été implantés à l'aide de traînés électriques guidés par deux anomalies conductrices interprétées comme une zone faillée ; ils se situent à une centaine de mètres d'une anomalie radon. Le forage FE3 « productif » a été implanté à proximité d'une anomalie radon en bordure d'une anomalie conductrice interprétée comme une zone faillée dont le cœur pourrait être trop argilisé pour être producteur. Le panneau électrique a été réalisé *a posteriori* et montre la présence d'au moins trois discontinuités.

Sur le secteur 2 (Figure 4), le forage FE4 « peu productif » a été implanté à une cinquantaine de mètres d'une anomalie « radon » dans un secteur ne présentant pas d'anomalie conductrice. Cette implantation a été guidée par la possibilité de recouper un aquifère d'altération bien développé et puissant. Le forage FE5 « productif » a été implanté en 2014, en s'appuyant plus

particulièrement sur un panneau électrique, dans une anomalie conductrice se plaçant en profondeur sous un horizon géoélectrique résistant. Il se situe à proximité d'une anomalie « radon ».

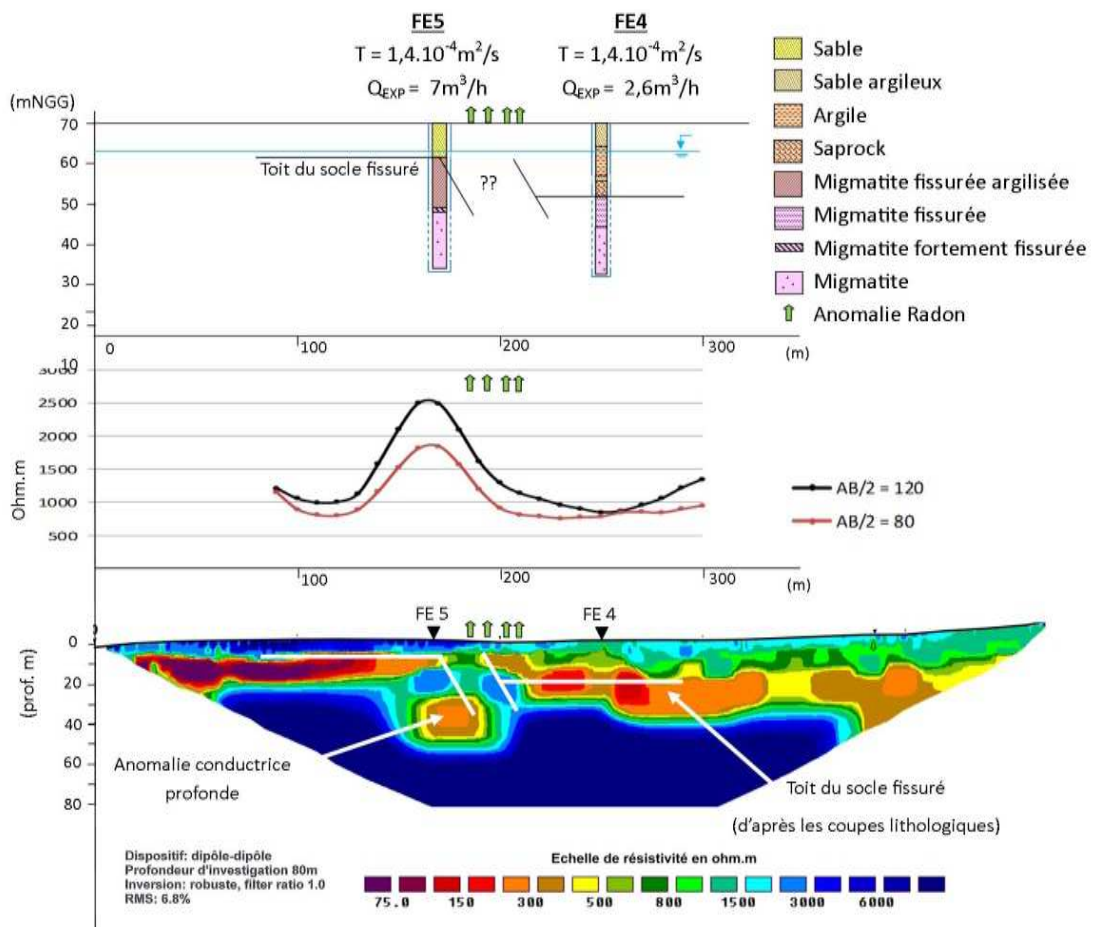


Figure 4 – Confrontation des traînés, du panneau électrique, et des anomalies « radon » aux coupes des forages – secteur 2 – 2013-2014

### III. Discussion des résultats d'implantation

Sur la base de tous ces éléments, il est possible de réétudier post implantation l'ensemble des données issues des forages, des essais de pompage, des campagnes radon et géophysiques afin d'identifier, a posteriori, les outils et facteurs qui ont joué favorablement dans l'implantation des forages « productifs ».

#### III. 1 Proximité d'une discontinuité structurale

Pour les trois secteurs, sur la base des coupes de forage, des coupes géologiques schématiques (présentées en partie supérieure des Figures 2, 3 et 4) mettent en évidence des discontinuités dans le socle qui passe en l'espace de 60 m de 19 à 30 m de profondeur sur le secteur 1 (Figure 3), ou de 9 m à 21m de profondeur en l'espace de 80 m sur le secteur 2 (Figure 4). De telles discontinuités pourraient être attribuées à des failles ayant décalé de quelques mètres la morphologie du socle sain. Cette hypothèse est confortée par les coupes lithologiques des ouvrages FE3 et FE5 à proximité des plans de faille supposés où des cuttings plus oxydés, riches en quartzite, et présentant pour certains des faces lisses striées, ont été observés. Le forage FE5 a traversé entre 9 et 20 m une zone très fracturée et riche en argile, non productrice, avant de

trouver de l'eau à 21 m de profondeur. Dans les deux cas, à l'aplomb de ces structures une anomalie Radon a été détectée et les forages implantés à proximité directe de ces plans de faille supposés sont des forages « productifs » (forages FE3 et FE5, Figure 3 et 4). Ces anomalies argumentent également le fait que ce décalage dans le socle n'est pas lié qu'à des altérations/érosions différentielles puisqu'elles constituent des marqueurs en surface de fractures profondes. A l'inverse, les forages plus éloignés du plan de faille supposé sont « peu productifs » (forages FE4, FE1 et FE2, figures 3 et 4). Ainsi, pour les secteurs 1 et 2, il apparaît que l'implantation d'un ouvrage à proximité immédiate d'un plan de faille a permis d'obtenir des débits 2 à 3 fois supérieurs, les débits passant de 2,5 m<sup>3</sup>/h, pour un socle uniquement soumis à l'altération, à 5 et 7m<sup>3</sup>/h pour un socle faillé.

### III. 2 Méthodes indirectes pour déceler l'élément structural

Les décalages structuraux probablement d'origine tectonique mis en évidence par les coupes lithologiques des ouvrages sont décelables sur les trainés électriques et clairement identifiables sur les panneaux électriques. Sur les Figure 3 et 4, l'interprétation schématique de la position de l'interface socle/altérite rencontrée en forages a été dessinée en superposition aux panneaux électriques. De part et d'autre de la limite ainsi dessinée, la réponse électrique est difficile à interpréter car elle dépend à la fois de la saturation en eau, de la porosité, de la connectivité des pores, et de l'argilosité qui sont des paramètres variables à l'échelle du panneau. Elle caractérise le passage des altérites essentiellement argileuses à la zone fissurée progressivement moins argileuse. En profondeur, la réponse électrique tend à s'uniformiser et caractérise le socle sain où l'argilosité et la porosité disparaissent et la lithologie du socle est homogène à l'échelle du panneau. Ainsi, lorsque l'on regarde cette réponse en profondeur (valeurs > 3000 ohm.m), il est possible de retrouver les mêmes décalages de morphologie du socle que ceux mis en évidence par les coupes géologiques issues des travaux de forages. Sur les figures 3 et 4, les interpolations du toit du socle fissuré observé en forages sont parallèles aux courbes d'iso-résistivité à 3000 ohm.m en profondeur. Sur la coupe de la figure 3, une autre faille (au moins) pourrait être dessinée (la zone concernée est d'ailleurs à l'intersection de plusieurs linéaments, cf. figure 1). Tout en ayant conscience des limites des interprétations géophysiques et des dangers des analogies entre les variations de résistivité inversées et l'interprétation des structures, il est séduisant de poursuivre l'hypothèse de la présence d'une zone faillée, en observant la présence, entre ces décalages et en profondeur, de fortes anomalies conductrices (150 -300 Ohm.m) sous des niveaux dont les résistivités inversées ont été précédemment considérées comme caractéristiques du socle fissuré (1500 Ohm.m) (figures 3 et 4). Ces anomalies conductrices profondes (>30m) dont la forme plus ou moins rectangulaire est liée aux paramètres d'inversions utilisés (robustes), pourraient signer le centre d'un plan de faille complètement argilisé, à la manière de ce que Lachassagne et al (2011) ont conceptualisé dans le granite indien, avec ici un pendage probable (s'il s'agit d'une faille normale). Sur les secteurs 1 et 2, les deux forages implantés dans ces anomalies conductrices de forte profondeur entre deux niveaux de socle sain décalés de 10m ont conduit à deux ouvrages « productifs ».

Les anomalies radon semblent également constituer un indice pour localiser ces décalages puisque dans les deux cas elles se situent à l'aplomb de ces structures présumées. Ces structures tectoniques peuvent être indirectement détectées par les trainés électriques qui pour un écartement adapté de la ligne d'injection AB sont susceptibles de caractériser des différences de morphologie du toit du socle via des variations de résistivité apparente. Sur ces profils, au regard des coupes lithologiques obtenues par forage, il semblerait que le plan de faille présumé soit situé dans le gradient de résistivité entre deux plateaux de résistivité.

#### IV. Conclusion

Un retour d'expérience sur l'utilisation des outils de prospection pour l'implantation de forages d'eau, peut être établi de la façon suivante, notamment dans les zones peu accessibles à fort couvert végétal dans lesquelles les observations géologiques et structurales sont parfois extrêmement limitées.

L'intérêt de la prospection radon est confirmé, non pas en tant que critère unique pour l'implantation des forages mais comme un outil permettant de guider les prospections géophysiques sur lesquelles se basent l'implantation des ouvrages. Dans les migmatites de Grand-Santi, les anomalies « radon » se corrèlent avec les discontinuités structurales identifiées ou présumées. Elles semblent constituer un bon indicateur de la présence de « couloirs de fracturation », zones faillées potentiellement aquifères en particulier à leur périphérie dans l'hypothèse d'une partie centrale plus altérée et argilisée.

Les traînés électriques, précédés par la réalisation de quelques sondages électriques verticaux pour la détermination de la longueur optimale de la ligne d'injection, permettent la mise en évidence des discontinuités tectoniques lorsque les effets topographiques ne sont pas trop prononcés. Ils se révèlent en revanche moins efficaces pour identifier l'épaisseur de l'aquifère d'altération.

La tomographie électrique se révèle un outil géophysique bien adapté pour la recherche d'eau dans le socle guyanais, où elle est pour l'instant très peu employée. Les contrastes de résistivité des horizons altérés (saprolites), très fissuré et sain se traduisent en horizons géoélectriques généralement identifiables par les géophysiciens. L'observation a posteriori des panneaux électriques de Grand Santi montre que la résolution et la profondeur d'investigation sont suffisantes pour identifier de manière relativement précise les accidents structuraux du socle. Indéniablement, les modèles d'inversion utilisés n'aboutissent pas toujours à une correspondance parfaite entre les coupes lithologiques des forages et les interprétations, car la résistivité électrique dépend de trop de paramètres non maîtrisés lors de la prospection. Cependant les deux implantations localisées sur des superpositions d'horizons géoélectriques contrastés (anomalie conductrice au sein d'un horizon résistant attribuée au socle sain) ont conduit à l'obtention de deux forages nettement plus productifs que ceux implantés sur des secteurs ne présentant pas cette configuration. Ces résultats doivent être considérés comme un encouragement à intégrer cette technique dans la méthodologie de recherche en eau en zone de socle initiée dans les années 90 sur le socle guyanais (Lachassagne et al., 1997).

#### Références bibliographiques :

- Lachassagne P., Castaing C., Négrel Ph. et Rampnoux N. (1997) – Villages des fleuves de Guyane. Hydrogéologie du socle fracturé. Mise au point de méthodologies de prospection, exploitation et gestion des aquifères. Rapport d'avancement au 31 décembre 1996. Rap. BRGM R39310, 77p., 27 fig., 1 tabl., 2 ann.
- Lachassagne P., Wyns R., Dewandel B. (2011). The fracture permeability of hard rock aquifers is due neither to tectonics, nor to unloading, but to weathering processes, *Terra Nova* 23 (3), 145-161
- Lachassagne, P., Pinault, J.L., Laporte, P., 2001. Radon 222 emanometry: a relevant methodology for water well siting in hard rock aquifers. *Water Resour. Res.* 37, 3131–3146.
- Palvadeau E (1999) - Géodynamique quaternaire de la Guyane française. – *Doc BRGM 287, 232 p*
- Pointet Th. (2001).- Les ressources en eaux souterraines de la Guyane, *BRGM-50549-FR*.
- Rampnoux N et al., (1996) - Alimentation en eau potable du bourg de Grand-Santi (Guyane). Recherche d'eau souterraine. Propositions d'implantation de sondages de reconnaissance - *BRGM/RR-39012-FR, 42p*