



Ministère de l'industrie,
de la Poste et des
Télécommunications



MINISTÈRE DE
L'ENVIRONNEMENT



UNION EUROPEENNE

DOCUMENT PUBLIC



REGION
GUYANE

*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*

P. Lachassagne
avec la collaboration de
C. Castaing, Ph. Négrel et N. Rampoux
contrôle qualité C. Wittwer

mai 1997
R 39310



Mots clés : Hydrogéologie, Milieux composites, Socle fracturé, Altérites, Alluvions, Photo-interprétation, Images radar ERS-1, Analyse structurale, Géochimie, Reconnaissance géologique et hydrogéologique, Emanométrie radon, Radioactivité gamma, Géophysique électrique, Villages des fleuves, Camopi, Grand Santi, Loka - Papaïchton, Maripasoula, fleuve Maroni, Guyane, France.

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

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 R 39310, 77 p., 27 fig., 1 tabl., 2 ann.

© BRGM, 1997, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du client.

Synthèse

Le présent rapport synthétise l'état d'avancement du projet "Villages des Fleuves" à fin 1996. Il sera complété, en cours d'année 1997, par des rapports techniques complémentaires présentant l'interprétation de détail des données recueillies en 1996 dans le cadre du projet.

Après une année 1995 consacrée pour l'essentiel au secteur fluvial de l'Oyapock, en 1996, les travaux de recherche ont plus particulièrement concerné la vallée du Maroni.

Une mission de terrain, réalisée en basses eaux afin de permettre des observations géologiques optimales, a permis d'acquérir des données sur l'ensemble du cours habité du fleuve (de Saint-Laurent à Pilima sur le Maroni et à Cayodé sur le Tampok). Les informations recueillies seront organisées au sein d'une base de données.

- **Observations structurales** : les affleurements les plus significatifs du Maroni ont fait l'objet d'une caractérisation géologique et structurale de détail (lithologie, direction et orientation de la stratification, de la schistosité, de la fracturation, etc.), en insistant plus particulièrement sur l'étude de la fracturation qui représente un guide indispensable pour la recherche d'eau souterraine en contexte de roches fracturées. La schistosité est orientée soit NE, soit NW, selon les régions. Les joints se regroupent en trois familles orientées NNE, ENE et ESE. Les cisaillements sont majoritairement orientés NNW à NW et bien représentés de Grand Santi à Maripasoula. Ils sont souvent intrudés par des filons de dolérites, mis en place pendant l'ouverture de l'Atlantique. Certaines de ces structures paléoprotérozoïques réactivées pourraient être encore actives actuellement du point de vue hydraulique (cohérence avec les orientations de certaines anomalies radon, dans la région de Maripasoula en particulier). Ces observations permettent d'apporter des éléments supplémentaires pour la reconstitution du cadre des contraintes tectoniques actuelles de la Guyane.

La confrontation des résultats de la photo-interprétation, mise en oeuvre sur images satellite (ERS1) et sur photographies aériennes (IGN), avec les observations structurales de terrain a permis de proposer une méthodologie de photo-interprétation destinée à s'affranchir des artefacts liés au couvert végétal. En phase opérationnelle, la consultation de la base de données des mesures structurales réalisées sur l'ensemble du fleuve et la photo-interprétation permettront de mener à bien, sans avoir à se rendre sur zone, l'ensemble des travaux de sélection des sites de prospection de terrain.

- **Caractérisation géochimique** : des prélèvements pour analyses chimiques (chimie des éléments majeurs et traces) et isotopiques (isotopes stables de l'eau) et la mesure sur le terrain des paramètres non conservatifs de l'eau (conductivité électrique, température, pH, Eh, O₂, réserve alcaline, etc.) ont été réalisés sur les eaux du fleuve, celles de ses principaux affluents et celles des (rares) captages d'eau souterraine existant (forages existants et forages réalisés, en 1996, à Camopi et début 1997 à Grand Santi). Cette caractérisation de détail est destinée à disposer d'éléments d'interprétation de l'origine des eaux souterraines qui seront captées en forage afin de comprendre le fonctionnement des aquifères et par là même de prévoir les modalités de leur exploitation (ressource renouvelable - débits exploitables). Les résultats complets des analyses et leur interprétation seront disponibles courant 1997.

La mission de terrain sur le Maroni a également été mise à profit pour recueillir des échantillons d'eau de pluie. Ils permettront de compléter le travail de caractérisation de la chimie des précipitations, engagé dans le cadre du projet "Ile de Cayenne" (transects côtiers), et indispensable pour comprendre les modalités de transfert des eaux de pluie au sein des aquifères.

- **Localisation des foyers de peuplement** : la mission de terrain a permis de procéder à un inventaire, non exhaustif mais relativement détaillé, des foyers de peuplement situés sur les rives du Maroni. Les plus fortes densités de villages ont été rencontrées le long du cours aval du Maroni (au nord de Grand Santi). Ces informations compléteront les données INSEE dans le cadre d'une éventuelle programmation de travaux d'hydraulique villageoise.

Le Service Géologique Régional Guyane du BRGM a été sollicité dès 1995 par plusieurs collectivités locales pour des prospections hydrogéologiques à des fins d'Alimentation en Eau Potable. Ces travaux ont constitué une opportunité de mise en oeuvre des techniques développées dans le cadre du projet de recherche. Les résultats obtenus, tant lors des phases de prospection que lors des premiers forages, ont été analysés en détail :

- les travaux de forage réalisés sur le site de **Camopi** ont souligné les spécificités de ce type de chantier, tant du point de vue de l'adaptation de la technique de forage aux formations géologiques recoupées que des difficultés liées à l'approvisionnement du chantier. Ils ont pour partie motivé la réalisation d'un volet spécifique au projet concernant la recherche de techniques et d'outils de forage adaptés au contexte des villages des fleuves, inclus au sein du présent rapport d'avancement. Accessoirement, ces travaux ont également montré que les formations alluviales des fleuves pouvaient localement, même si elles ne sont pas très puissantes, mais dans des configurations favorables (position relative par rapport au niveau du fleuve en basses eaux), constituer des aquifères dont la ressource est suffisante pour l'alimentation de petites collectivités (débit exploitable en basses eaux voisin de 5 m³/h au sein de chacun des deux forages réalisés à Camopi) ;

- les résultats des travaux de prospection hydrogéologique mis en oeuvre à *Grand Santi* sont "classiques". Dans un contexte de granites et de migmatites, plusieurs anomalies émanométriques ont été identifiées et précisées au moyen de méthodes géophysiques. Les deux premiers sondages de reconnaissance (et deux seuls compte tenu des bons résultats obtenus), forés au premier trimestre 1997, sont tous deux positifs et laissent envisager un débit d'exploitation à long terme compris entre 6 et 8 m³/h pour chacun d'entre eux. Ces premiers résultats très encourageants ainsi que les techniques de transport du matériel de forage et de réalisation des ouvrages (l'ensemble de la campagne a été mise en oeuvre en moins d'un mois) seront analysés en détail dans le cadre du projet en 1997 ;
- à *Loka* (commune de Papaïchton), un contexte peu favorable pour ce qui concerne la ressource en eau au sein du socle fracturé (anomalies radon peu significatives, probablement en partie du fait des conditions météorologiques ayant présidé aux mesures) a été compensé par la mise en évidence d'une structure alluviale potentiellement favorable (vaste bras mort et anciennes terrasses alluviales du Maroni) qui méritera d'être validée par forage ;
- la prospection hydrogéologique réalisée à *Maripasoula* est très intéressante dans la mesure où il s'agit du premier site reconnu au sein de formations schisteuses. Elle a montré que des anomalies radon significatives pouvaient y être mises en évidence. En outre, ces anomalies sont bien corrélées avec des indices structuraux identifiés sur affleurements. Compte tenu des spécificités des formations schisteuses, la campagne de sondage à venir a été orientée vers la reconnaissance de l'intersection de ces zones potentiellement fracturées avec des lames de métavolcanites que renferment les schistes, au sein desquelles il est probable que la fracturation s'exprime mieux, et qui ont été mises en évidence au moyen des méthodes géophysiques.

Enfin, une synthèse bibliographique des informations concernant les aquifères de socle de régions d'Afrique présentant des caractéristiques géologiques et climatiques similaires à celles de la Guyane (Côte d'Ivoire, Ghana, Cameroun, etc.) a été réalisée. Elle confirme que des débits significatifs (localement supérieurs à 5 m³/h lorsque des techniques d'implantation de forage adaptées sont mises en oeuvre) peuvent être prélevés tant au sein des formations granitiques ou migmatitiques que schisteuses. Cette recherche bibliographique, dont l'intérêt dépasse le seul projet Villages des Fleuves, sera poursuivie et complétée en 1997, en l'orientant vers les éventuelles expériences acquises au sein du bouclier brésilien.

Sommaire

Introduction	11
1. Acquisition de données de base sur la vallée fluviale du Maroni	13
1.1. Analyse structurale	13
1.1.1. Introduction - Objectifs - Méthodologie.....	13
1.1.2. Analyse structurale d'affleurements situés sur le fleuve Maroni.....	15
1.1.3. Analyse morphostructurale sur images satellite et photographies aériennes.....	17
1.2. Caractérisation chimique et isotopique des eaux	27
1.3. Localisation des foyers de peuplement	30
2. Synthèse des résultats obtenus dans le cadre des projets menés en collaboration avec le Service géologique régional Guyane	33
2.1. Travaux réalisés sur le site de Camopi.....	33
2.1.1. Principaux résultats lors des travaux de prospection hydrogéologique.....	35
2.1.2. Mise en oeuvre et résultats de la campagne de forage	37
2.1.3. Résultats des pompages d'essai en hautes et basses eaux.....	39
2.1.4. Synthèse et valorisation des informations recueillies dans le cadre de l'opération "Camopi"	42
2.2. Travaux réalisés sur le site de Grand Santi	43
2.2.1. Principaux résultats obtenus lors des travaux de prospection hydrogéologique.....	44
2.2.2. Premiers résultats de la campagne de sondages de reconnaissance	46
2.3. Travaux réalisés sur le site de Loka	46
2.4. Travaux réalisés sur le site de Maripasoula.....	49
2.4.1. Prospections hydrogéologiques.....	53
2.4.2. Synthèse.....	57

3. Synthèse bibliographique de l'expérience africaine de l'hydrogéologie en contexte de socle fracturé.....	61
3.1. Géologie structurale comparative.....	61
3.2. Généralités sur l'hydrogéologie de socle.....	63
3.2.1. Les facteurs déterminants.....	63
3.2.2. La pertinence des études.....	63
3.3. Investigations.....	64
3.3.1. La photo-interprétation.....	64
3.3.2. Les méthodes géophysiques.....	64
3.3.3. Les essais hydrauliques.....	69
3.4. Analyse des résultats de productivité en fonction de la lithologie.....	70
4. Recherche de techniques et d'outils de forage adaptés au contexte des villages des fleuves.....	73
Bibliographie.....	75

Liste des illustrations

Fig. 1 -	Mission Maroni 1996. Carte de localisation des stations de levé géologique et structural.....	14
Fig. 2 -	Carte de localisation des zones couvertes par l'analyse morpho-structurale sur images ERS1 et photographies aériennes de l'IGN.....	18
Fig. 3 -	Analyse morphostructurale sur images ERS-1. Rosace d'orientation des discontinuités images.....	22
Fig. 4 -	Secteur d'Apatou. Analyse morphostructurale sur photographies aériennes IGN. Rosace d'orientation des photofractures.	24
Fig. 5 -	Secteur de Grand Santi. Analyse morphostructurale sur photographies aériennes IGN. Rosace d'orientation des photofractures.....	25
Fig. 6 -	Secteur de Papaïchton. Analyse morphostructurale sur photographies aériennes IGN. Rosace d'orientation des photofractures.....	26
Fig. 7 -	Secteur de Maripasoula. Analyse morphostructurale sur photographies aériennes IGN. Rosace d'orientation des photofractures.....	28
Fig. 8 -	Secteur d'Antécume Pata. Analyse morphostructurale sur photographies aériennes IGN. Rosace d'orientation des photofractures.....	29
Fig. 9 -	Mission Maroni 1996. Carte de localisation des stations de prélèvement pour analyses chimiques et isotopiques.	31
Fig. 10 -	Mission Maroni 1996. Carte de localisation des stations d'observation de foyers de peuplement.....	32
Fig. 11 -	Carte de localisation des sites ayant fait l'objet de travaux dans le cadre des opérations d'Alimentation en Eau Potable.	34
Fig. 12 -	Site de Camopi. Synthèse émanométrique et géophysique. Plan d'implantation des sondages de reconnaissance hydrogéologique prévus et des forages d'eau réalisés.....	36
Fig. 13 -	Site de Camopi. Coupes géologiques et techniques des forages CR1(-3) et CR2(-3).....	40
Fig. 14 -	Site de Camopi. Courbes caractéristiques "hautes eaux" et "basses eaux" des forages CR1 et CR2.....	41
Fig. 15 -	Site de Grand Santi. Carte d'implantation des prospections émanométrique et géophysique, des anomalies radon, des sondages de reconnaissance hydrogéologique prévus et des forages d'eau réalisés.....	45

Fig. 16 - Site de Grand Santi. Coupe géoélectrique établie à partir des sondages électriques et implantation des sondages de reconnaissance SR1 et SR2 sur le traîné électrique P5.....	47
Fig. 17 - Site de Loka. Carte d'implantation des prospections émanométrique et géophysique, des anomalies radon et des propositions de sondages de reconnaissance hydrogéologique prévus.....	50
Fig. 18 - Site de Loka. Coupe géoélectrique établie le long du Maroni à partir des sondages électriques (initiaux et complémentaires).....	51
Fig. 19 - Site de Maripasoula. Carte des anomalies radon.	52
Fig. 20 - Site de Maripasoula. Carte d'implantation de la prospection géophysique et des sondages de reconnaissance hydrogéologique prévus.....	54
Fig. 21 - Site de Maripasoula. Coupe géoélectrique établie à partir des sondages électriques.	56
Fig. 22 - Site de Maripasoula, secteur ouest. Carte de résistivité apparente.	58
Fig. 23 - Relations géologiques entre le bouclier guyanais et l'Afrique de l'Ouest.....	62
Fig. 24 - Prise en compte de critères morphologiques pour l'implantation des forages d'eau. Tableau récapitulatif.	65
Fig. 25 - Prise en compte de critères morphologiques pour l'implantation des forages d'eau. Analyse des réseaux hydrographiques. Réseau de type 1.	66
Fig. 26 - Prise en compte de critères morphologiques pour l'implantation des forages d'eau. Analyse des réseaux hydrographiques. Réseau de type 2.	67
Fig. 27 - Prise en compte de critères morphologiques pour l'implantation des forages d'eau. Analyse des réseaux hydrographiques. Réseau de type 3.	68
Tabl. 1 - Statistique de l'orientation des linéaments interprétés sur photographies IGN (données brutes).....	23

Liste des annexes

Annexe intégrée au rapport

Ann. 1 - Mesures de fracturation réalisées sur le site de Camopi et orientation des fractures de la carte géologique à 1/500 000.

Annexe jointe au rapport

Rapport n° 1 : Gutierrez A., Bertet E., Rampnoux N. (1997).- Identification de techniques de forage et complétion adaptés au contexte des villages des fleuves de Guyane. Rap. ANTEA A 08694, 23 p., 5 fig., 2 tabl., 1 ann.

Introduction

Le présent rapport synthétise l'état d'avancement du projet "Villages des Fleuves" à fin 1996. Il fait suite à deux rapports similaires concernant les années 1994 (Lachassagne *et al.*, 1995) et 1995 (Lachassagne *et al.*, 1996). Il sera complété, en cours d'année 1997, par des rapports techniques complémentaires présentant l'interprétation de détail des données recueillies en 1996 dans le cadre du projet. Ce travail est réalisé dans le cadre du Contrat de Plan Etat-Région 1994-1998 (FEDER - Région Guyane - Ministère de l'Industrie) intitulé "Recherche en eau souterraine. Villages des Fleuves".

En 1996, l'activité de recherche a été principalement focalisée sur la poursuite d'une part, de l'acquisition de données de base sur le contexte géologique et hydrogéologique des fleuves et d'autre part, de la mise au point d'une méthodologie d'implantation des forages d'eau adaptée au contexte particulier de la Guyane (couverture forestière dense, omniprésence d'une puissante couverture d'altérites, climat tropical humide, etc.). Le développement de cette méthodologie est mené en parallèle dans le cadre du projet de recherche "Ile de Cayenne" (Lachassagne *et al.* 1997) qui concerne plus particulièrement les ressources en eau souterraine du socle fracturé de la bande côtière.

Après une année 1995 consacrée pour l'essentiel au secteur fluvial de l'Oyapock, en 1996, les travaux de recherche ont plus particulièrement concerné la vallée du Maroni. Une mission de terrain, réalisée en basses eaux afin de permettre des observations géologiques optimales, a permis d'acquérir des données sur l'ensemble du cours habité du fleuve (de Saint-Laurent à Pilima sur le Maroni et à Cayode sur le Tampok) : observations structurales, géochimiques et identification des foyers de peuplement.

1. Acquisition de données de base sur la vallée fluviale du Maroni

1.1. ANALYSE STRUCTURALE

1.1.1. Introduction - Objectifs - Méthodologie

Le sous-sol de la Guyane est constitué presque exclusivement de roches cristallines, plutoniques ou métamorphiques, sur lesquelles reposent, le long des fleuves, des formations sédimentaires récentes de type alluvial, peu épaisses. Les travaux de synthèse bibliographique mis en oeuvre en 1994 (Lachassagne, Pointet, 1995) suggèrent que ces dernières, ainsi que les formations d'altération du substratum, ne sont pas susceptibles, d'une manière générale, de constituer une ressource en eau souterraine adaptée aux besoins exprimés.

Dans un tel contexte géologique, le substratum cristallin constitue donc la principale cible pour la prospection hydrogéologique. Il renferme des "systèmes aquifères composites" constitués schématiquement :

- de formations de recouvrement, des altérites en général, accompagnées localement de formations alluviales, caractérisées, du fait de leur dominante argileuse, par une faible perméabilité mais d'importantes capacités de rétention. Cette partie du système aquifère assure une fonction capacitive vis à vis des eaux souterraines qui peuvent être exploitées par forage ;
- de leur substratum, la roche saine en général, caractérisée par une perméabilité de fractures. Celui-ci, localement très perméable, mais d'une très faible capacité de stockage à l'échelle du massif, assure une fonction transmissive, si tant est que le forage réalisé recoupe le réseau de fractures.

La mise en valeur des ressources en eau de ces roches cristallines passe donc impérativement par la connaissance la plus précise possible de la géométrie et des propriétés du réseau de fractures.

Dans le cadre du projet de recherche, la connaissance de la géométrie et des propriétés du réseau de fractures est abordée en plusieurs étapes :

- dans un *premier temps*, il s'agit de **décrire la géométrie du réseau de fractures**. Dans la mesure où les formations rocheuses n'affleurent pas de manière continue sur l'ensemble du territoire étudié mais seulement le long des cours d'eau et en basses eaux, cette caractérisation a été menée en trois phases :

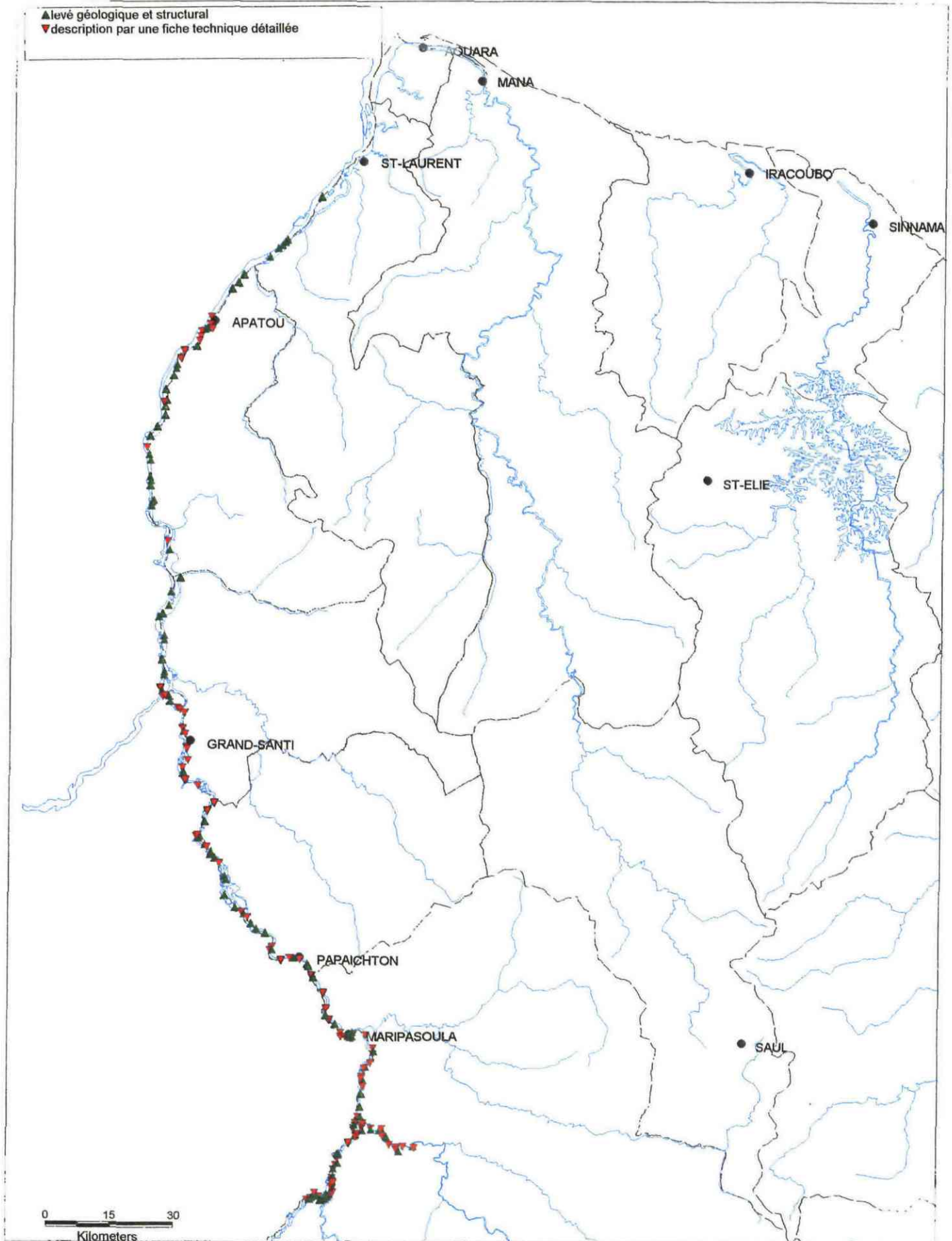


Fig. 1 - Mission Maroni 1996. Carte de localisation des stations de levé géologique et structural.

- . mise en évidence d'indices de fracturation (linéaments), au moyen de méthodes indirectes et à petite échelle, à l'aide des outils offerts par la télédétection (1/200 000 pour les images satellite, 1/50 000 pour les photographies aériennes),
- . réalisation de mesures directes de la fracturation sur les affleurements que constituent les sauts du Maroni. La campagne de terrain menée en 1996 en basses eaux permet de disposer d'informations bien réparties sur l'ensemble du linéaire habité du fleuve,
- . la confrontation des données de terrain aux linéaments permet d'identifier ceux qui constituent réellement l'expression de la fracturation.

L'objectif de cette acquisition est double. Il s'agit d'une part de définir la distribution statistique de la fracturation et son évolution éventuelle en fonction de l'échelle d'observation et d'autre part de disposer d'informations de base et d'une méthodologie pour la photo-interprétation destinées à permettre de caractériser rapidement, sur de futurs sites de prospection hydrogéologique, les caractères de la fracturation locale, afin de disposer de critères d'implantation des campagnes de prospection hydrogéologique de terrain ;

- dans une *deuxième phase*, il s'agit d'**appréhender l'état actuel du champ de contraintes**, afin d'identifier, en fonction de celui-ci, les orientations des fractures hydrauliquement actives, donc les plus favorables pour la prospection hydrogéologique. En effet, ce sont les accidents dont les orientations sont globalement perpendiculaires à la contrainte principale locale qui, d'une part présentent une géométrie propre à l'ouverture et d'autre part sont susceptibles d'être réactivés le plus souvent, limitant ainsi le risque de cristallisations et de dépôts le long de leurs épontes.

1.1.2. Analyse structurale d'affleurements situés sur le fleuve Maroni

a) Présentation des mesures

L'objectif de la mission de terrain a consisté à procéder à l'analyse structurale de certains affleurements situés sur le fleuve Maroni, en insistant particulièrement sur l'étude de la fracturation qui représente un guide utile pour la prospection hydrogéologique.

Plus de 200 affleurements répartis sur l'ensemble du cours habité du Maroni (fig. 1) ont fait l'objet d'une description géologique et/ou structurale. L'intégralité de ces résultats sera regroupé sous forme d'une base de données élaborée sous logiciel Microsoft Excel.

93 stations représentatives (fig. 1) ont fait l'objet de fiches descriptives détaillées mentionnant l'unité géologique, la lithologie, le type de structure (stratification, schistosité, plis faille, cisaillement, joint) et le fait que la direction de ces structures soit révélée, ou non, sur les photographies aériennes, l'image radar et les prospections radon.

Les résultats complets de l'analyse structurale ainsi que les documents de base et de synthèse correspondant seront publiés courant 1997 sous forme d'un rapport spécifique.

b) Synthèse structurale préliminaire

D'Apatou au Saut Poligoudou (confluence du Maroni et de la rivière Tapanahoni), les formations géologiques correspondent à des roches métasédimentaires montrant une schistosité subverticale orientée NW. Il existe trois familles de joints subverticaux, orientés NNE, NE à ENE et ESE. Des cisaillements subverticaux sont orientés ESE. Il existe quelques filons d'âge Protérozoïque orientés NW. Le filon doléritique d'Apatou, mis en place pendant l'ouverture de l'Atlantique, est orienté N-S.

Du Saut Poligoudou à Grand Santi, les formations correspondent généralement à des métavolcanites montrant une schistosité subverticale orientée ENE. Cette schistosité est parfois plissée, et se développe alors une deuxième schistosité orientée NNE. Deux familles de joints subverticaux ont été répertoriées, orientées NNE et ENE.

De Grand Santi au Saut Langa Tétéï (Abattis Kotika), on rencontre essentiellement des migmatites et granitoïdes. Ces formations sont affectées par quatre familles de joints subverticaux, orientées NNE, ENE, ESE et NNW à NW. Des cisaillements et des filons protérozoïques sont orientés NW.

Du Saut Langa Tétéï à Godolo Tabiki (au sud immédiat de Twenke), les formations rocheuses sont généralement des métavolcanites et des métasédiments. La schistosité subverticale est orientée NW et se développent trois familles de joints subverticaux orientés NNE, ENE et ESE. Il existe également de nombreux cisaillements orientés NNW à NW. Les filons protérozoïques et les filons doléritiques "Atlantique" sont orientés NW et NNW respectivement.

De Godolo Tabiki à Palassissi (Pilima), on rencontre généralement des gneiss et des granitoïdes basiques montrant une direction de foliation NNE, recoupée par trois familles de joints orientées NNE, ESE et NNW. Des filons protérozoïques sont orientés NNW.

Le long de la *rivière Tampok*, on longe des schistes volcano-sédimentaires qui montrent une schistosité orientée NW et recoupée par des joints orientés NNE et NE.

En résumé, la schistosité est soit orientée NE, soit NW, selon les régions. Les joints se recoupent en trois familles orientées NNE, ENE et ESE qui sont bien représentées sur l'ensemble de la zone étudiée. Les cisaillements sont majoritairement orientés NNW à NW et bien représentés de Grand Santi à Maripasoula. Ils sont souvent intrudés par des filons de dolérite mis en place pendant l'ouverture de l'Atlantique.

La comparaison de ces résultats avec ceux obtenus sur la zone côtière, montre que l'on retrouve les mêmes familles : NNE, ENE, ESE et NNW. La direction NNW présente certainement un intérêt du point de vue hydrogéologique car c'est elle qui a rejoué pendant l'ouverture de l'Atlantique et au sein de laquelle se sont mis en place les filons de dolérite.

1.1.3. Analyse morphostructurale sur images satellite et photographies aériennes

a) Données utilisées, méthode et limites de l'interprétation

• Images radar ERS-1¹

Les scènes ERS-1 utilisées dans le cadre de l'étude ont été acquises en pleine résolution (pixel 12,5 m). La restitution photographique est à l'échelle du 1/250 000. Elles permettent de couvrir une grande part du bassin du Maroni, du sud de Saint-Laurent jusqu'aux Abattis Kotika (fig. 2).

Les données utilisées sont celles fournies par le satellite de l'Agence Spatiale Européenne ERS-1. Ce satellite est doté d'un capteur AMI (Active Microwave Instrument) embarqué, fonctionnant dans le domaine des hyperfréquences (bande spectrale "C" de longueur d'onde 5,6 cm) et fournissant des images de type SAR (Synthetic Aperture Radar). Ce type d'imagerie représente en fait le temps mis par le signal pour être rétrodiffusé vers le capteur une fois qu'il a rencontré un objet au sol.

En Guyane, la densité du couvert végétal et son humidité ne permettent pas une pénétration significative de ce type de signal radar. Cet outil fournit donc une information sur la morphologie à partir de l'allure de la canopée, modulée par les variations de la surface topographique. Dans un tel contexte, le caractère régulier de la couverture végétale en Guyane (homogénéité de la hauteur de la canopée) simplifie la lecture de l'image radar.

Les "prises de vues" sont effectuées sur la droite du satellite (en considérant le sens du déplacement) avec une incidence de 23° par rapport à la verticale. De ce fait, les images radar présentent, en zone de relief, des déformations (distorsions) importantes. Elles sont dues au fait que les pentes qui font face au système imageur sont raccourcies tandis que celles qui lui sont opposées sont allongées. Compte tenu, d'une part de l'échelle des documents utilisés et d'autre part de la morphologie relativement douce de la zone étudiée, cette caractéristique des images radar n'a pas représenté, pour ce travail, une gêne importante.

¹ L'analyse morphostructurale sur images ERS1 a été assurée par J.P. Deroin (BRGM/DR/GIG)

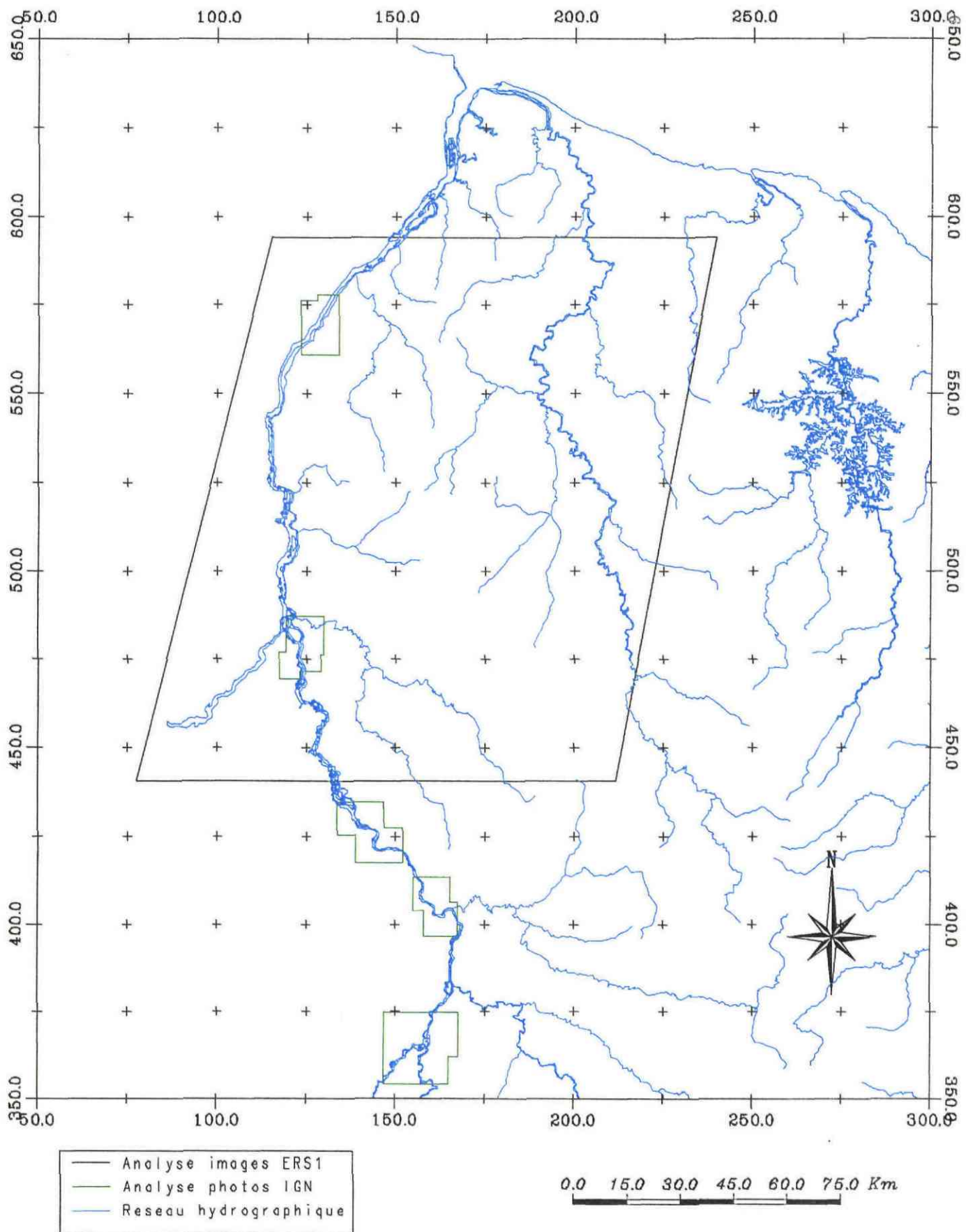


Fig. 2 - Carte de localisation des zones couvertes par l'analyse morphostructurale sur images ERS1 et photographies aériennes de l'IGN.

Selon le sens de déplacement du satellite, deux types de prises de vue sont disponibles en Guyane :

- les plus fréquentes, car prises la journée, sont réalisées en mode descending, sur une orbite allant du nord vers le sud. Les reliefs apparaissent donc comme "éclairés" de l'est ;
- certaines prises de vue, plus rares car réalisées de nuit (sur alimentation du capteur par accumulateurs), sont réalisées en mode ascending, c'est à dire lorsque le satellite se déplace du sud vers le nord.

Les réseaux de discontinuités mis en évidence sur les images radar ne sont pas isotropes du point de vue directionnel. Le radar semble en effet échantillonner les principales directions de la fracturation régionale imprimées dans les morphologies à l'exception des directions structurales situées parallèlement à celle du faisceau incident ($\pm 5^\circ$ environ).

Pour ce qui concerne les prises de vue de Guyane, compte tenu du fait que le faisceau radar est émis avec un angle de 23° (selon l'horizontale cette fois-ci) par rapport à la perpendiculaire à la trajectoire du satellite, il est probable que les familles de discontinuités images dont les orientations suivent seront atténuées voire non discernables :

- N $113^\circ E \pm 5^\circ$ environ pour les images prises en mode descending ;
- N $67^\circ E \pm 5^\circ$ environ pour les images acquises en mode ascending.

L'interprétation a été réalisée sur des images d'amplitude du signal radar, d'un point de vue qualitatif. Aucune analyse quantitative (comme la détermination de la valeur du coefficient de rétrodiffusion de l'onde émise par le radar par exemple) n'a été tentée. La démarche a simplement consisté à considérer l'image ERS-1 comme une représentation indirecte de la surface topographique. Les scènes ont donc été interprétées comme l'auraient été des images de télédétection classique (Landsat ou Spot). Ont été recherchées des discontinuités linéaires susceptibles de traduire la présence d'accidents structuraux. Il est donc possible, et même probable, que certaines discontinuités images³ ne soient pas associées à de la fracturation mais correspondent à des contacts lithologiques.

² Les directions sont comptées à partir du Nord, en degrés et dans le sens des aiguilles d'une montre (vers l'est).

³ alignements pouvant correspondre à des accidents structuraux : formes d'érosion, cours d'eau en particulier, modifications de nature ou de couleur de la végétation, etc.

• *Photographies aériennes IGN*

La photo-interprétation a été menée, en les débordant largement, sur les secteurs de 5 principaux villages ou villes riverains du Maroni (fig. 2) : Apatou, Grand Santi, Boniville - Loka - Papaïchton, Maripasoula et Antécume Pata. Ces sites d'étude ont été sélectionnés d'une part sur des critères socio-économiques (principales zones de peuplement, projets de prospection d'eau souterraine en cours - cf. § 2. - ou prévus à court ou moyen terme) et d'autre part en raison de la variété des contextes (lithologiques, morphologiques, etc.) qu'ils représentaient.

La superficie totale couverte par la photo-interprétation est d'environ 1 100 km².

Les photographies aériennes utilisées appartiennent pour l'essentiel à une mission réalisée en 1956 (Réf. NA-22-XIX). Les tirages étudiés sont en émulsion noir et blanc. Leur échelle est d'environ 1/50 000.

Les photographies aériennes sont analysées sous stéréoscope. L'interprétation est ensuite reportée sur les fonds topographiques à 1/50 000 de l'IGN. La continuité d'un axe de vol à l'autre est assurée pendant la phase de report. Le report final est ensuite digitalisé et traité sous système d'information géographique de la même manière que pour les informations tirées des images radar.

Sur les secteurs étudiés, les conditions d'affleurement ne permettent jamais l'observation directe de la fracturation sur les photographies aériennes. Aussi cette dernière doit-elle être interprétée sur la base de critères géologiques et surtout géomorphologiques. Sont ainsi recherchés :

- des arrangements particuliers du réseau de drainage, entre autres des alignements de thalwegs, des formes en baïonnettes, etc. ;
- des reliefs rectilignes dégagés ou mis en évidence par l'érosion différentielle : surcreusement de couloirs de fracturation altérés, dégagement de filons plus durs, etc. ;
- des escarpements rectilignes pouvant être liés à des mouvements verticaux (dont l'âge ne peut pas être déterminé) ou mettant en contact des matériaux de compétence différente.

On atteint là les limites de l'interprétation de structures cassantes en milieu totalement non affleurant : les fractures ne peuvent être reconnues ou supposées que lorsque leurs manifestations de surface sont suffisantes pour être exprimées par une signature morphologique.

Le report final, tant des observations réalisées sur image satellite que sur photographie aérienne, est ensuite digitalisé (logiciel MicroStation) afin de permettre la représentation de l'information sous système d'information géographique (logiciel ArcInfo) et son traitement statistique (logiciel Synergis)⁴.

b) Analyse morphostructurale à partir d'images radar ERS-1

L'analyse morphostructurale (fig. 3) réalisée sur le cours du Maroni, entre Maripasoula et l'embouchure, montre que le fleuve n'est pas directement contrôlé par de grandes directions structurales comme peut l'être l'Oyapock. Par contre, une fracturation N070°E à N080°E recoupe le cours du fleuve, principalement en trois secteurs caractérisés par des sauts importants : en aval immédiat de la confluence du Maroni avec la crique Beiman, dans le secteur de la confluence avec la rivière Tapanahoni (Poligoudou Soula) et en amont de Grand Santi (Abattis Kotika). Les deux secteurs les plus septentrionaux sont accompagnés de reliefs marquant des lithologies plus résistantes à l'érosion. Cette orientation de structures ressort nettement de l'analyse statistique (fig. 3).

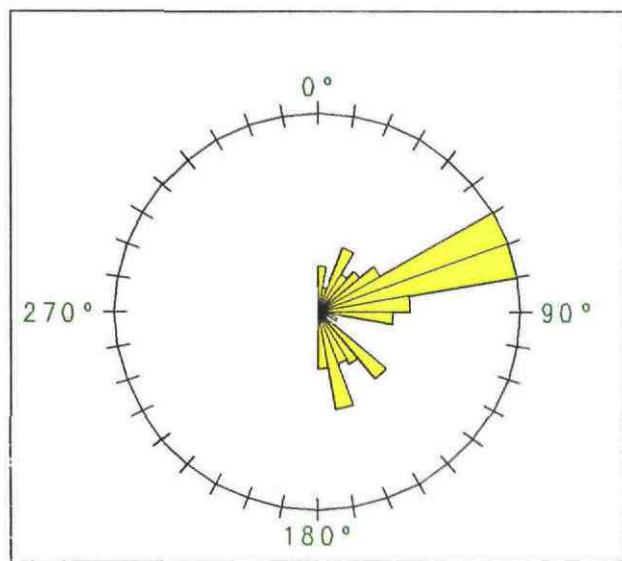
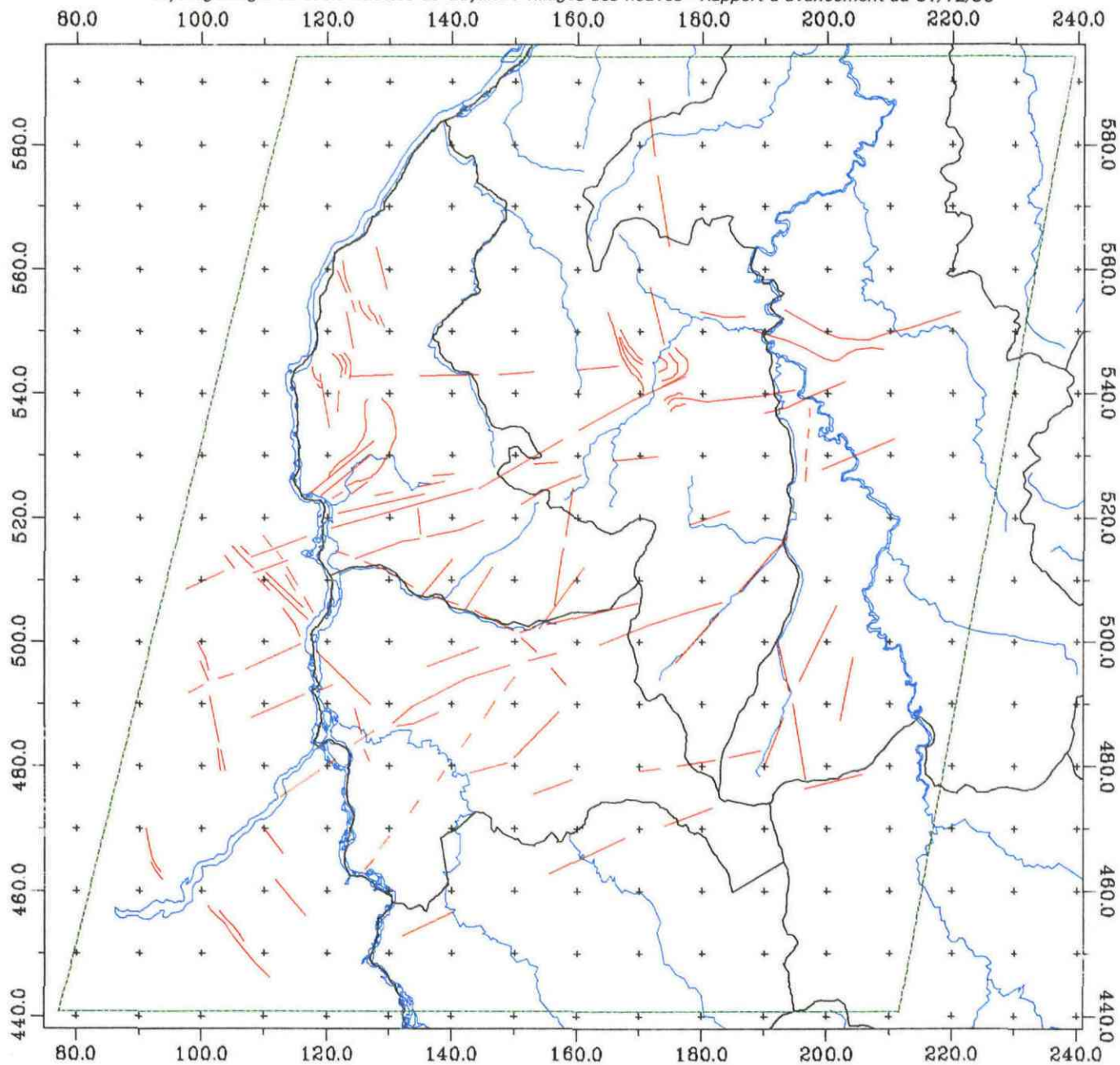
Globalement, les accidents structuraux sont traduits par des alignements de cours d'eau et/ou de confluences et de méandres, bien que ces derniers soient assez rares en dehors du cours même du Maroni et de celui de la Mana, dans le synclinorium nord de la Guyane. Quelquefois, les "linéaments" affectent aussi les unités lithologiques : par exemple les massifs situés au sud de la zone. Ces traits structuraux peuvent correspondre à de grands filons basaltiques liés à l'ouverture de l'Atlantique (qui peuvent bien entendu reprendre des structures antérieures).

Outre la direction structurale N070°E-N080°E, la direction N130°E, déjà vue sur l'Oyapock, est bien représentée. Elle pourrait traduire une fracturation importante du socle guyanais. Il semble en être de même pour la direction N160°E qui jalonne le bas cours de l'Oyapock et est encore assez bien représentée dans le cours inférieur du Maroni. Elle semble plus diffuse et pourrait éventuellement traduire une déformation souple des roches (tectonique ductile).

Les orientations N100°E-N120°E montrent une nette lacune. Il est possible qu'elle s'explique au moins partiellement du fait de l'atténuation liée au mode de prise de vue, de type descending.

Les accidents semblent moins nombreux (en nombre d'occurrences) sur le Maroni que sur l'Oyapock. Cependant, ils peuvent avoir une grande longueur : structures transverses au cours du Maroni et de la haute vallée de la Mana. Il semble y avoir une plus grande indépendance vis à vis de la lithologie dans le secteur du Maroni, sans doute parce que l'on est principalement dans le socle granito-gneissique guyanais, au sud du

⁴ Les travaux de digitalisation, traitement statistique et représentation graphique ont été assurés par J.F. Desprats (BRGM/SGN/UPE/SURF).



0 10 20 30 40 50 Km

- Réseau hydrographique
- Lineaments ERS1
- Limites administratives
- Limites interpretation ERS1



Fig. 3 - Analyse morphostructurale sur images ERS-1. Rosace d'orientation des discontinuités images.

synclinorium nord. La fracturation et la schistosité dominant sans doute sur la lithologie et la stratification, même si schistosité et stratification peuvent être localement confondues.

La comparaison avec les données de terrain suggère que la famille principale de linéaments NNE peut être imputée à des contacts entre des unités lithotectoniques. Par contre, les linéaments de direction NNW à NW, recoupant le Maroni au sud de Pina Tabiki, sont certainement liés à des cisaillements de même direction.

c) Photo-interprétation sur photographies aériennes IGN⁵

D'une manière générale (fig. 4 à 8), l'allongement des discontinuités assimilées à des fractures ou des filons est relativement faible (quelques centaines de mètres à quelques kilomètres). Les conditions d'observation influencent clairement la dimension des objets interprétés qui sont presque tous de dimension hectométrique à kilométrique. Néanmoins, ces discontinuités se réarrangent assez fréquemment, selon des directions qui pourront être comparées aux informations de terrain.

Le strict examen statistique des données linéamentaires montre, pour l'ensemble des sites étudiés (tabl. 1), la prépondérance des familles :

- ENE à E (N070°E à N110°E) ;
- NNW à NS (N000°E-N020°E et N170°E-N180°E) ;

et, dans une moindre mesure :

- SE (N110°E-N140°E) et NE (N030°E-N070°E).

Régions étudiées	Directions principales				
	NNW à N-S	NE	ENE à E	SE	ESE à S
Apatou	N170E-N180E	<i>N030E-N050E</i>	<i>N070E-N110E</i>	N110E-N130E	
Grand Santi	<i>N010E-N030E</i> <i>N170E-N180E</i>	N040E-N070E	N070E-N100E		
Papaïchton	<u>N000E-N030E</u>	N050E-N080E	<u>N090E-N110E</u>		<i>N130E-N160E</i>
Maripasoula	<u>N010E-N030E</u>	N050E-N070E	<u>N070E-N090E</u>		<i>N140E-N170E</i>
Antécume Pata	<i>N000E-N20E</i>	N050E-N080E	N090E	<i>N120E-N140E</i>	

Légende : Classement par ordre d'importance décroissante : 1. gras - 2. souligné - 3. normal - 4. Italique

Tabl. 1 - Statistique de l'orientation des linéaments interprétés sur photographies IGN (données brutes).

⁵ L'analyse morphostructurale sur photographies aériennes a été assurée par Ph. Dutartre (BRGM/SGN/UPE/ATTS).

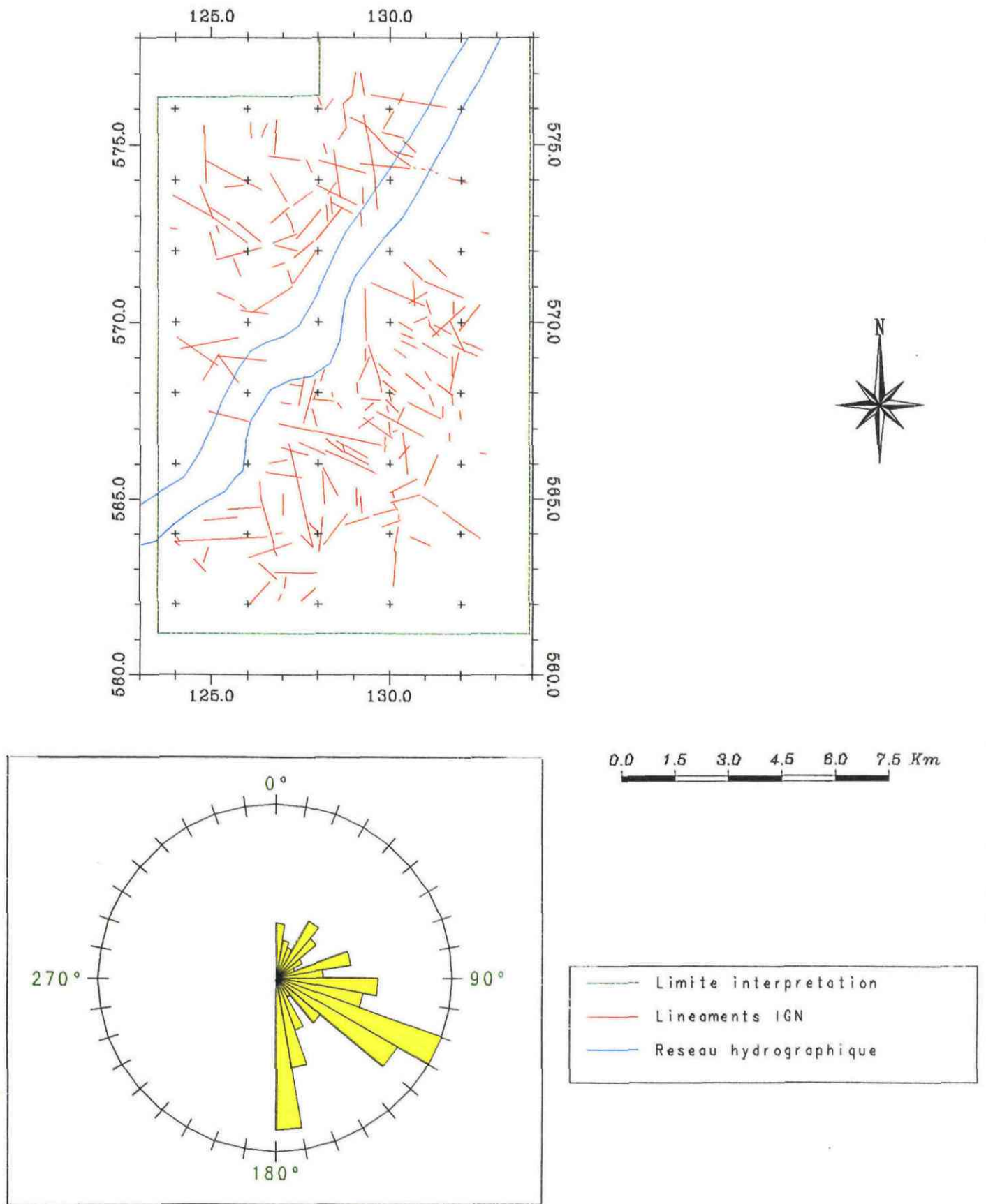


Fig. 4 - Secteur d'Apatou. Analyse morphostructurale sur photographies aériennes IGN. Rosace d'orientation des photofractures.

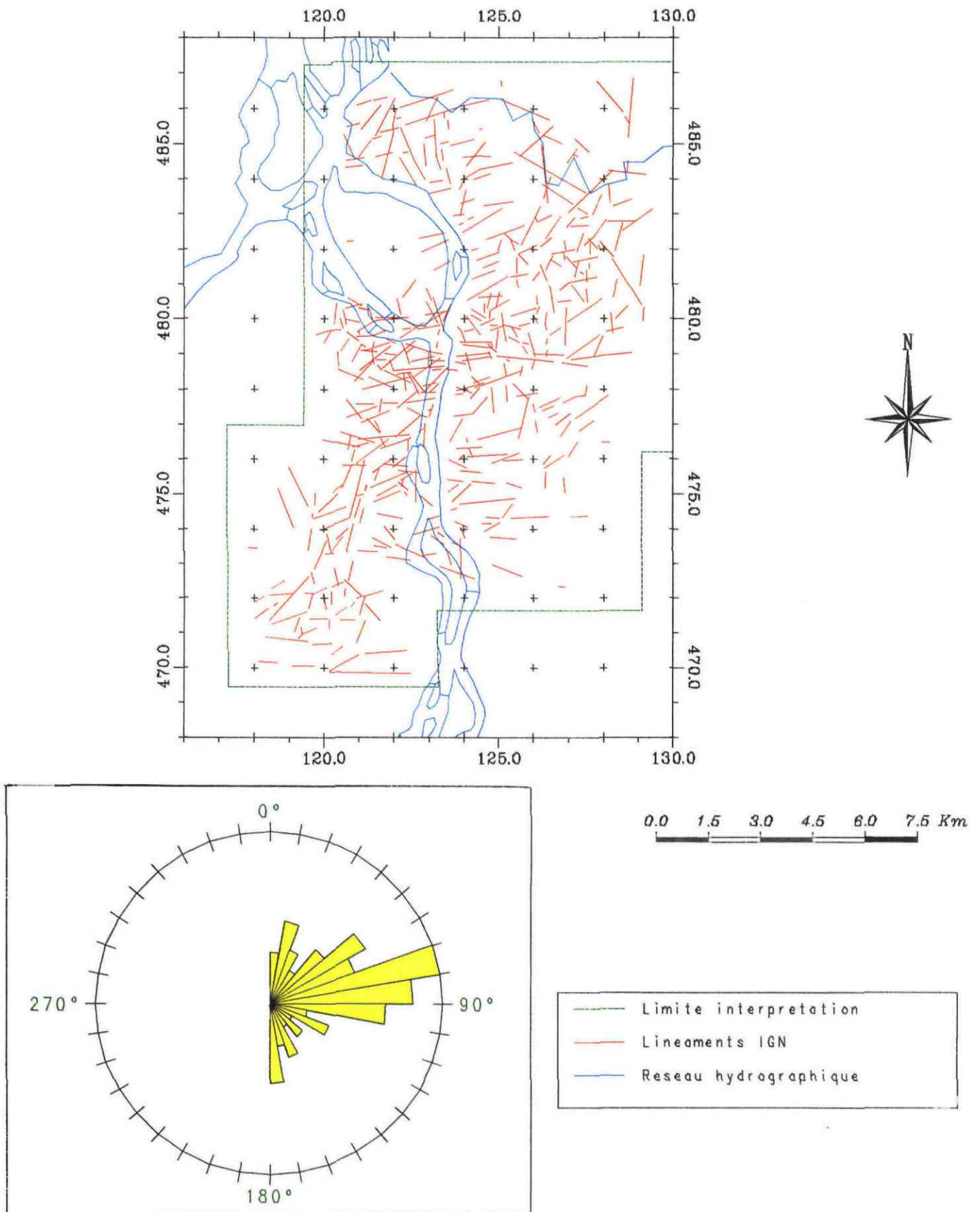


Fig. 5 - Secteur de Grand Santi. Analyse morphostructurale sur photographies aériennes IGN. Rosace d'orientation des photofractures.

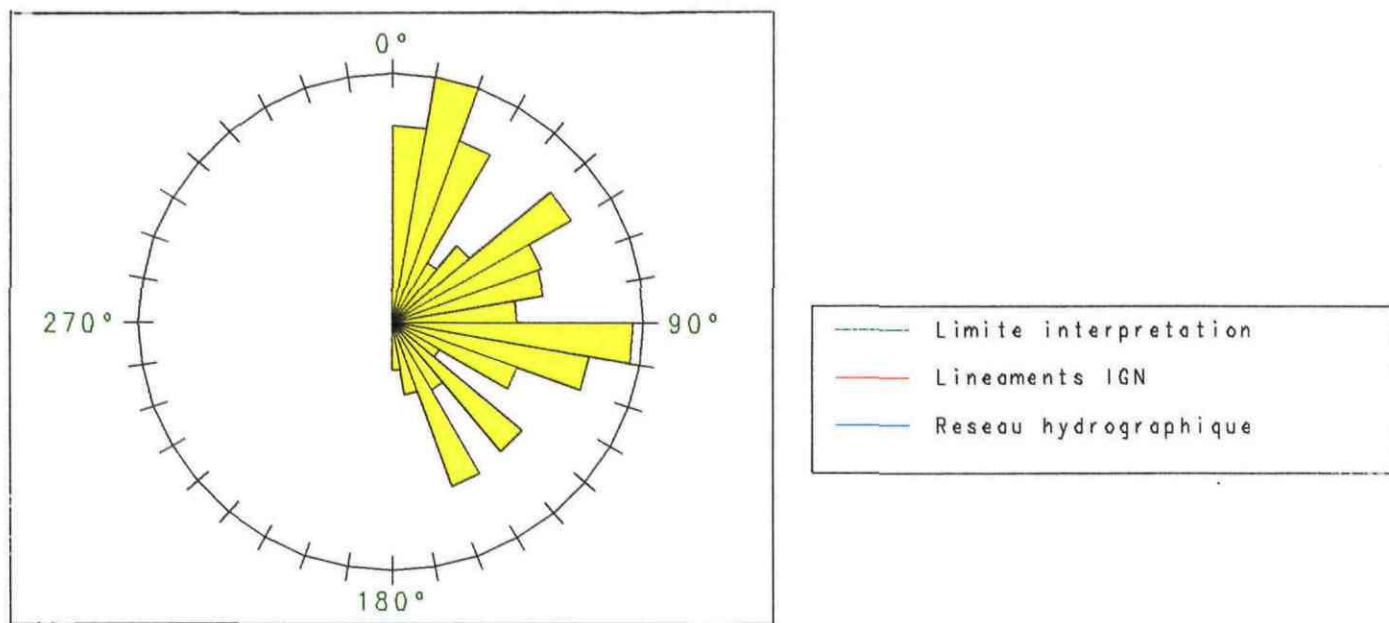
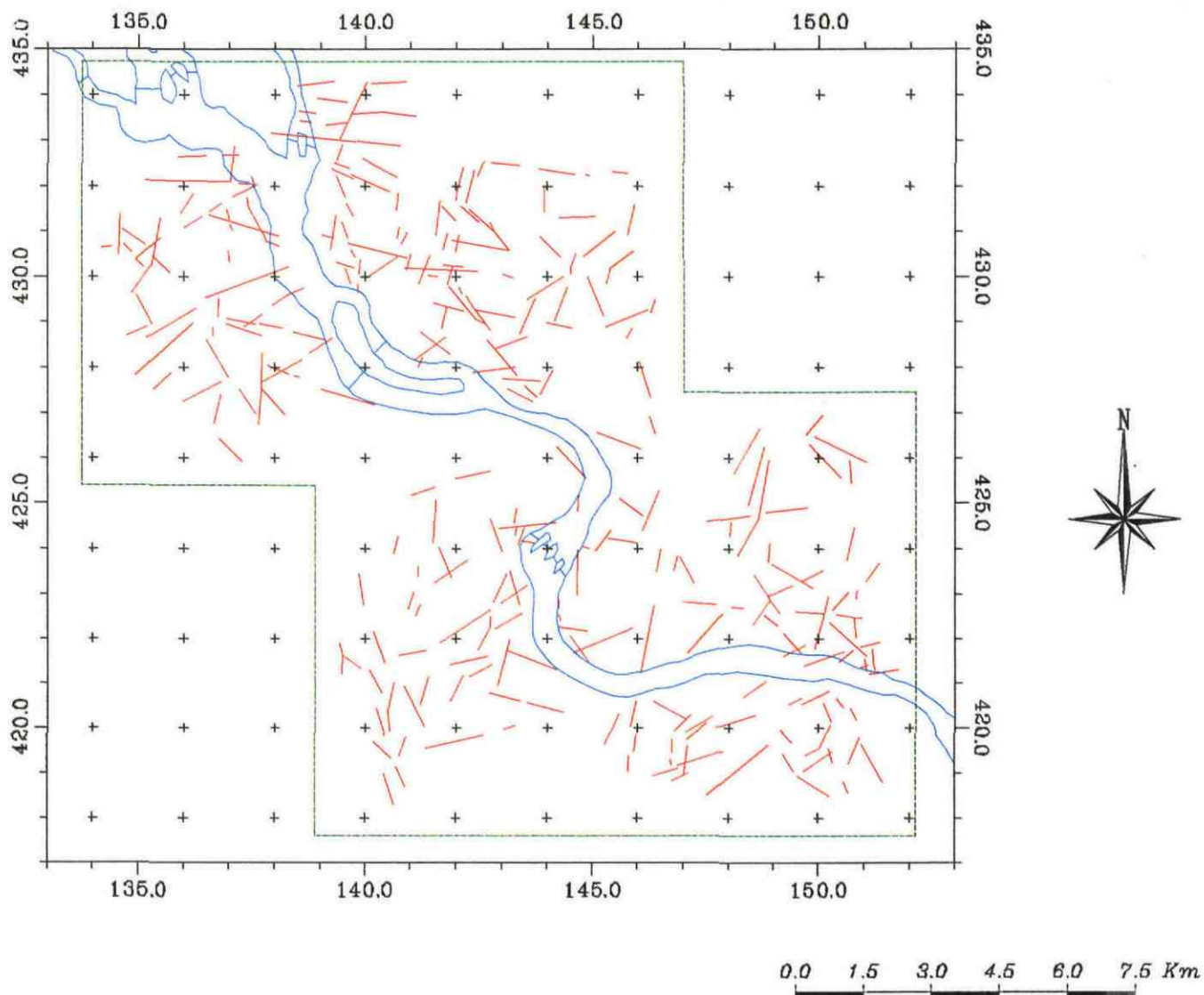


Fig. 6 - Secteur de Papaïchton. Analyse morphostructurale sur photographies aériennes IGN. Rosace d'orientation des photofractures.

Une première comparaison avec les données de terrain suggère que :

- au niveau d'Apatou (fig. 4), la direction NS identifiée sur les photographies aériennes reflète la présence de dykes doléritiques "Atlantiques", alors que la direction ESE représente la schistosité ;
- dans le secteur de Grand Santi (fig. 5), les directions majeures ENE et ESE vues sur photos correspondent bien avec les deux directions de joints mesurées sur le terrain ;
- dans la région de Papaïchton (fig. 6), les linéaments NNW à NW, non majoritaires sur la rosace, sont certainement liés aux structures les plus importantes : cisaillements et filons doléritiques "Atlantiques". Les trois autres familles NNE, NE et ESE concordent bien avec des familles de joints ;
- au niveau de Maripasoula (fig. 7), la direction majoritaire ENE doit être induite par des joints, ainsi que celle NNE. Comme précédemment, la direction NNW est certainement la plus intéressante à prendre en compte ;
- dans le secteur d'Antécume Pata (fig. 8), les directions majeures ENE et ESE sont certainement imputables à des directions de joints.

Cette première interprétation sera complétée, au sein d'un rapport détaillé disponible courant 1997, par une analyse destinée à identifier, sur chacun des sites ayant fait l'objet de photo-interprétation, les linéaments les plus susceptibles de correspondre à de la fracturation et ceux qui représentent des artefacts ou à d'autres éléments d'information (contacts lithologiques, schistosité).

Ces travaux permettent d'envisager de mettre au point une méthodologie qui autorisera, en phase opérationnelle, par la consultation de la base de données des mesures structurales réalisées sur l'ensemble du fleuve et par photo-interprétation, de mener à bien, au bureau, l'ensemble des travaux de sélection des sites de prospection de terrain.

1.2. CARACTERISATION CHIMIQUE ET ISOTOPIQUE DES EAUX

Des prélèvements (plus de 50 au total) pour analyses chimiques (chimie des éléments majeurs et traces) et isotopiques (isotopes stables de l'eau) et la mesure sur le terrain des paramètres non conservatifs de l'eau (conductivité électrique, température, pH, Eh, O₂, réserve alcaline, etc.) ont été réalisés (fig. 9) sur les eaux du fleuve, celles de ses principaux affluents et celles des (rares) captages d'eau souterraine existant (forages existants et forages réalisés, en 1996, à Camopi et Grand Santi).

Cette caractérisation de détail est destinée à disposer d'éléments d'interprétation de l'origine des eaux souterraines qui seront captées en forage afin de comprendre le fonctionnement des aquifères et par là même de prévoir les modalités de leur exploitation (ressource renouvelable - débits exploitables).

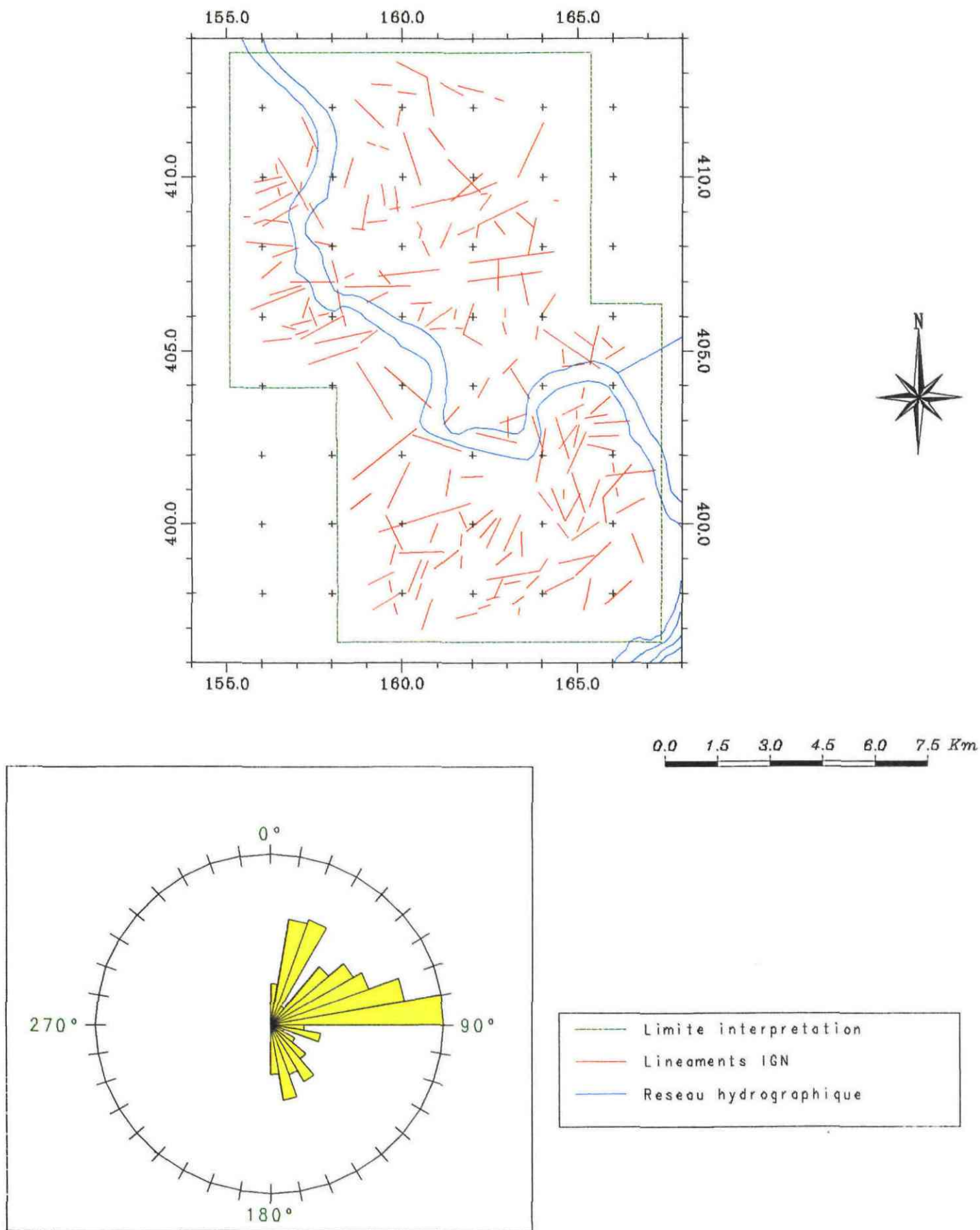


Fig. 7 - Secteur de Maripasoula. Analyse morphostructurale sur photographies aériennes IGN. Rosace d'orientation des photofractures.

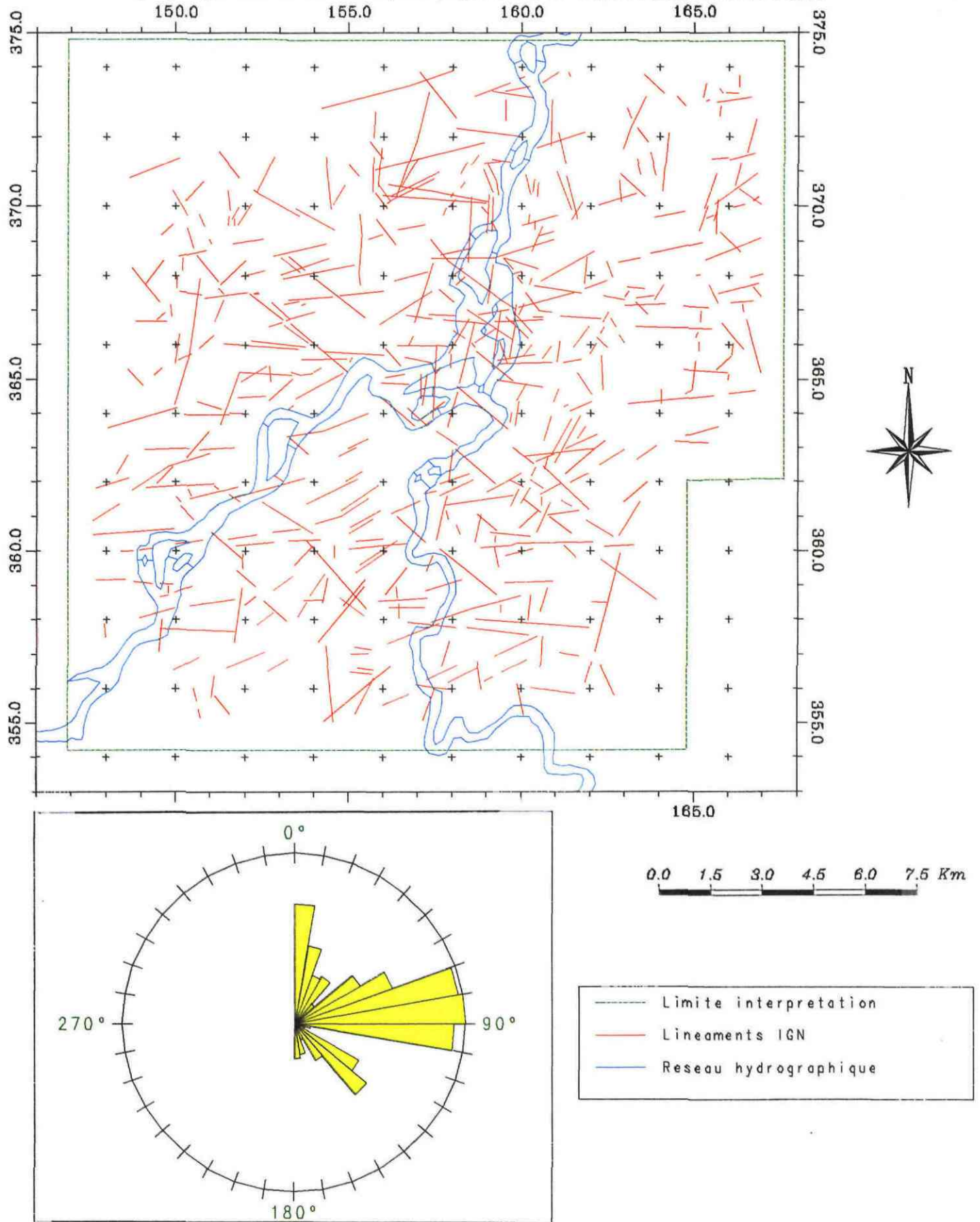


Fig. 8 - Secteur d'Antécume Pata. Analyse morphostructurale sur photographies aériennes IGN. Rosace d'orientation des photofractures.

La mission de terrain sur le Maroni a également été mise à profit pour recueillir des échantillons d'eau de pluie qui permettront de préciser le travail de caractérisation du signal "entrée" vers les aquifère que constituent les précipitations, en cours dans le cadre du projet "Ile de Cayenne" (transects côtiers).

Les résultats complets des analyses et leur interprétation seront disponibles courant 1997 et feront l'objet d'un rapport détaillé.

1.3. LOCALISATION DES FOYERS DE PEUPLEMENT

La mission de terrain a permis de procéder à un inventaire, non exhaustif mais relativement détaillé, des foyers de peuplement situés sur les rives du Maroni (fig. 10). Les résultats détaillés de ce travail seront présentés sous la forme d'une base de données sous logiciel Microsoft Excel comprenant pour chaque observation : les coordonnées géographiques, la toponymie (si disponible), la nature du foyer de peuplement (Abattis occupé, carbet, village, etc.), une estimation de la population (évaluée en général à partir du nombre de pirogues visibles sur les berges du fleuve), etc.

Les plus fortes densités de villages ont été rencontrées le long du cours aval du Maroni (au nord de Grand Santi). Ces informations compléteront les données INSEE dans le cadre d'une éventuelle programmation de travaux d'hydraulique villageoise.

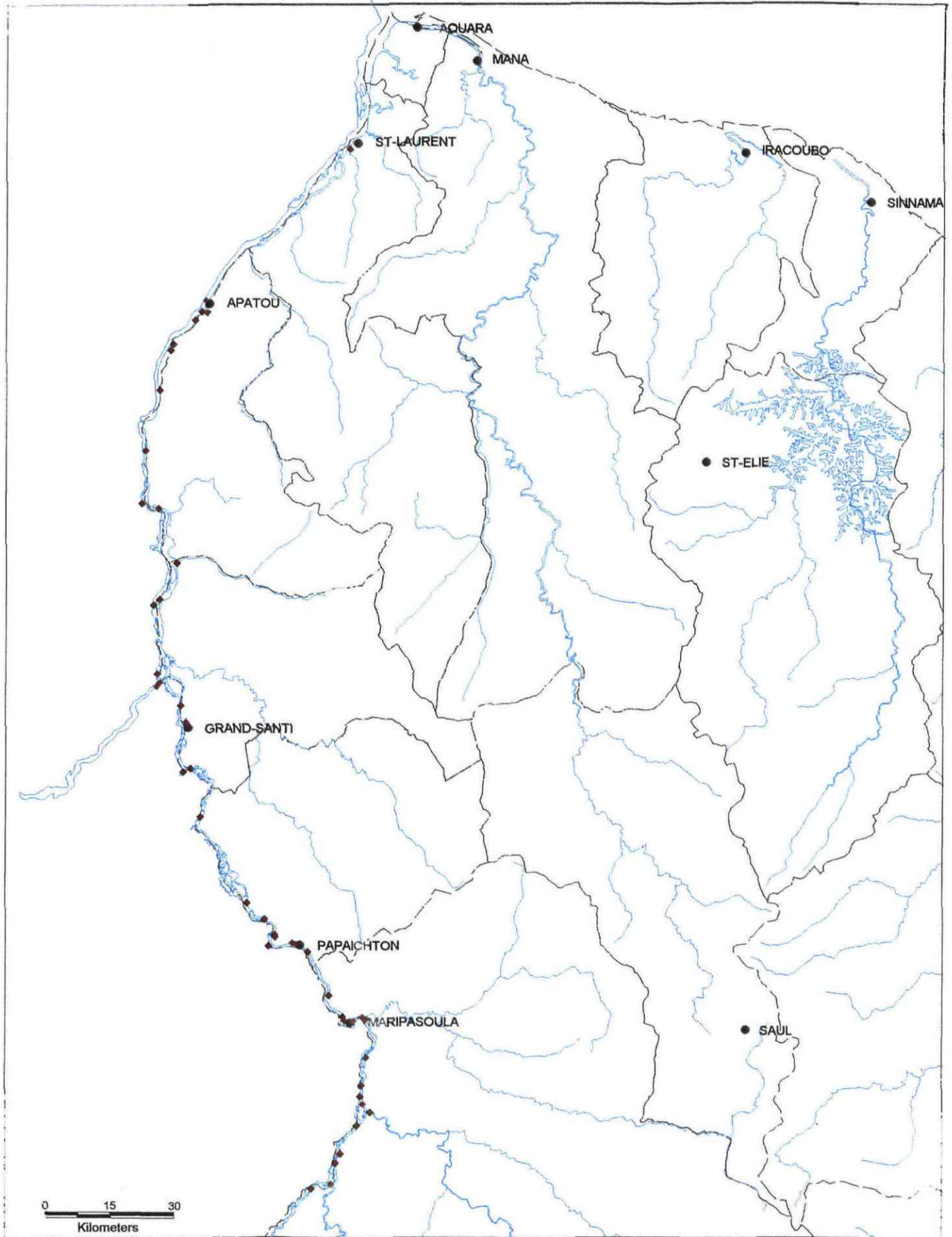


Fig. 9 - Mission Maroni 1996. Carte de localisation des stations de prélèvement pour analyses chimiques et isotopiques.



Fig. 10 - Mission Maroni 1996. Carte de localisation des stations d'observation de foyers de peuplement.

2. Synthèse des résultats obtenus dans le cadre des projets menés en collaboration avec le Service Géologique Régional Guyane

Le Service Géologique Régional Guyane a été sollicité dès 1995 par plusieurs collectivités locales qui souhaitent valoriser les éventuelles ressources en eau souterraines disponibles à proximité des agglomérations concernées, à des fins d'alimentation en eau potable. Sur ces sites isolés en effet, les techniques de traitement des eaux de surface, indispensables du point de vue sanitaire, s'avèrent très coûteuses à mettre en oeuvre, tant en terme d'investissement que de fonctionnement des installations, et d'une efficacité limitée (voire impossibilité de répondre aux normes de qualité pour certains paramètres).

Ces travaux ont donc constitué une opportunité de mettre en oeuvre les résultats préliminaires du programme de recherche "Villages des Fleuves" et, en particulier, ceux qui concernaient la méthodologie de prospection hydrogéologique destinée à implanter des sondages de reconnaissance au sein des secteurs fracturés du substratum cristallin. Ces travaux de prospection hydrogéologique ont donc été menés en collaboration étroite entre le Service Géologique Régional Guyane et la Direction de la Recherche du BRGM. Ils constituent des opportunités supplémentaires de valider et le cas échéant d'améliorer les techniques développées dans le cadre des projets de recherche.

2.1. TRAVAUX REALISES SUR LE SITE DE CAMOPI

Le site de Camopi, situé sur le Fleuve Oyapock (fig. 11), a fait l'objet de travaux de prospection hydrogéologique en 1995 et d'implantation de sondages de reconnaissance dont les principaux résultats et enseignements sur le plan technique ont été décrits en détail au sein du rapport d'avancement au 31/12/95 du projet "Villages des Fleuves" (Lachassagne *et al.*, 1996). Ces prospections ont été suivies d'une campagne de sondages mise en oeuvre en 1996 dont les résultats sont présentés ci-dessous.

Les besoins en eau potable de l'ensemble de cette communauté (Camopi et Ilet Moula) étaient estimés par le maître d'oeuvre du projet (Cabinet de géomètre Defos du Rau) à environ 120 m³/j.

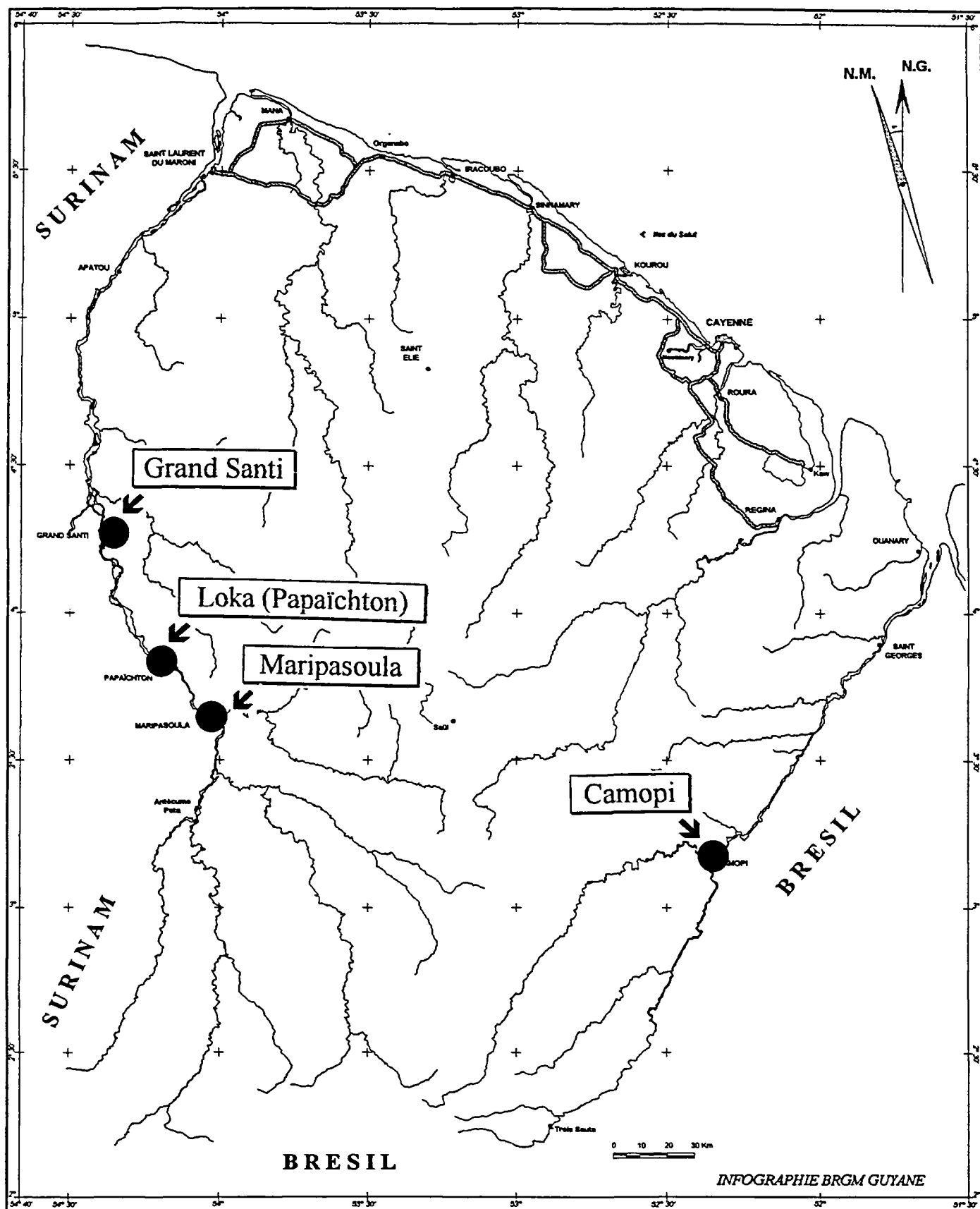


Fig. 11 - Carte de localisation des sites ayant fait l'objet de travaux dans le cadre des opérations d'Alimentation en eau potable.

2.1.1. Principaux résultats obtenus lors des travaux de prospection hydrogéologique

En l'absence de formations alluviales d'importance connues sur le site du village de Camopi, les travaux de prospection mis en oeuvre en 1995 ont été orientés vers l'exploration du substratum cristallin. Les prospections hydrogéologiques ont donc concerné la presqu'île que constitue la confluence de la rivière Camopi et du fleuve, en s'éloignant progressivement du village.

Les investigations de terrain mises en oeuvre montrent que le sous-sol du secteur du bourg de Camopi est constitué pour l'essentiel de **formations plutoniques, migmatitiques et métamorphiques**, appartenant au "domaine granito-gneissique central" de la Guyane, recoupées localement de filons d'épaisseur plurimétrique de dolérites contemporains de l'ouverture de l'Atlantique.

Les **linéaments** identifiés sur photographies aériennes de l'IGN montrent trois directions dominantes : NE-SW (N040°E à N070°E), NNW-SSE (N160°E à N180°E) et NW-SE (N120°E à N140°E). La direction N020°E - N030°E apparaît de manière secondaire.

L'analyse statistique des orientations des fractures mesurées sur le terrain permet d'individualiser quatre principales familles directionnelles. De la plus représentée vers celle qui l'est le moins, il s'agit des orientations :

- N120°E - N130°E (21 % de l'effectif total) ;
- N040°E - N050°E (14 % de l'effectif) ;
- N000°E - N170°E (10 % de l'effectif). Le filon de dolérite qui recoupe l'Oyapok appartient à cette famille ;
- N090°E (9 % de l'effectif).

Une campagne de **prospection émanométrique**, avec mesure de la radioactivité gamma, a été mise en oeuvre en fin de saison sèche et a connu de très bonnes conditions de prélèvement. Elle a permis d'identifier deux principales anomalies radon (seuil anomal # 3000 pCi/l, seuil de bruit de fond # 1300 pCi/l) montrant toutes deux un axe principal d'allongement de direction grossièrement nord-sud (fig. 12). La plus importante d'entre elles (A1) semble également structurée selon une direction secondaire, sensiblement orthogonale ; la deuxième (A2) semble coïncider avec le tracé d'une des épontes du filon de dolérite qui recoupe l'Oyapok.

Une campagne de **prospection géophysique** comprenant sondages et traînés électriques (Mercier et Miehe, 1996), focalisée sur les principales anomalies émanométriques, lui a fait suite. Elle a montré une bonne concordance entre l'anomalie émanométrique A1 et les accidents géophysiques (fig. 12) : direction d'allongement similaire, correspondance entre les principales stations anormales en radon et les axes conducteurs les plus marqués, caractérisés par de très forts gradients de résistivité, etc. Le coeur des anomalies radon apparaît cependant décalé de 20 (A1b) à 30-35 m (A1a) environ vers l'est par rapport aux axes conducteurs, en allant vers les zones de forts gradients de résistivité.

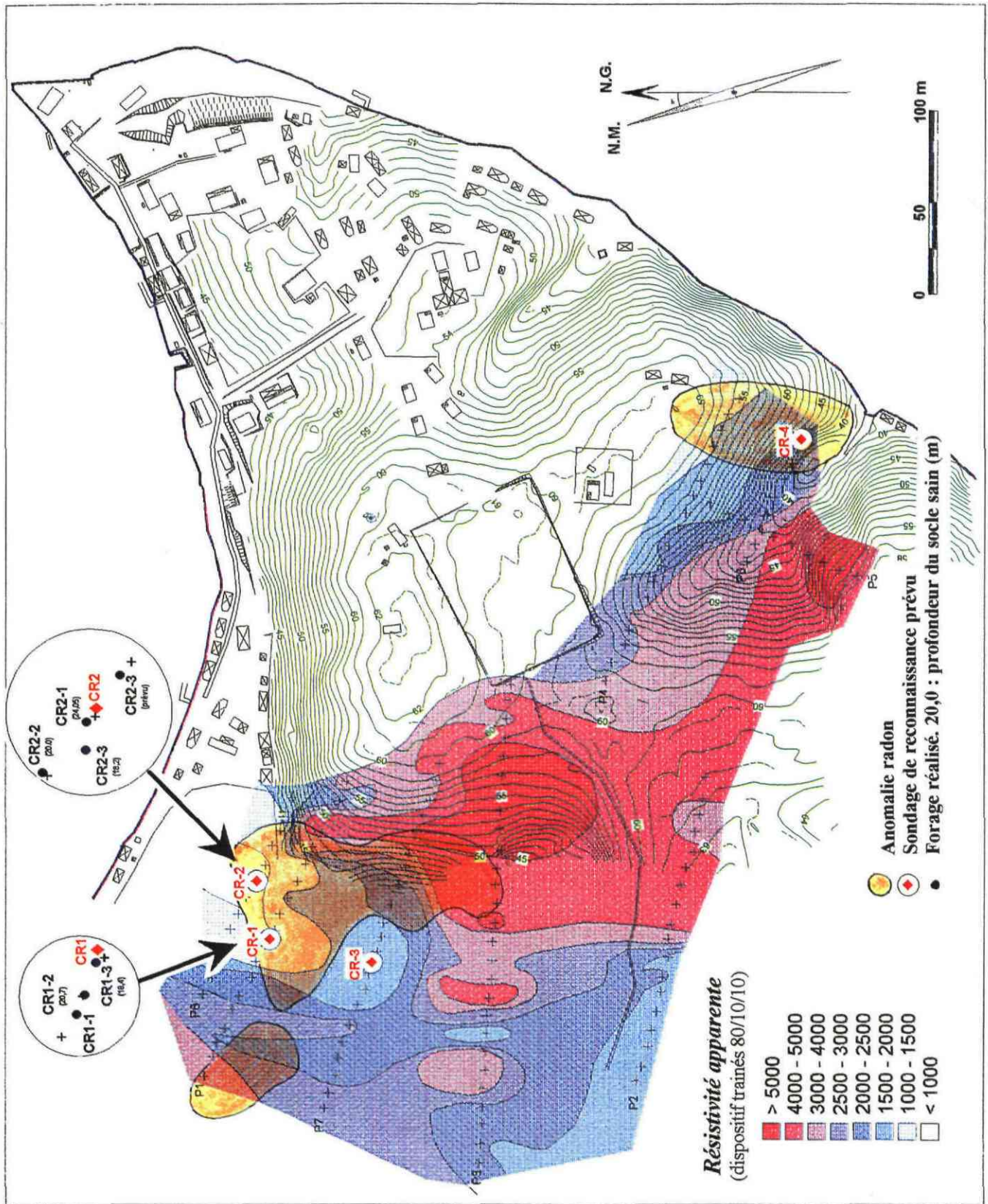


Fig. 12 - Site de Camopi. Synthèse émanométrique et géophysique. Plan d'implantation des sondages de reconnaissance hydrogéologique prévus et des forages d'eau réalisés.

L'anomalie émanométrique A2 a été interprétée à ce stade comme due au contact entre le dyke de dolérite et son encaissant. Cette anomalie radon ne coïncide en effet avec aucun axe conducteur identifié par géophysique. Ceci paraît logique dans la mesure où le contraste de résistivité entre ces deux formations est vraisemblablement peu marqué (roches toutes deux saines).

Les 4 sondages de reconnaissance proposés au maître d'ouvrage ont été implantés avec le socle cristallin fracturé comme principal objectif (fig. 12), à partir des critères radon et géophysique, en privilégiant les axes conducteurs électriques. Trois de ces sites (CR1, CR2 et CR3) concernent la principale anomalie émanométrique (A1) où la présence de formations superficielles (alluvions et altérites) puissantes permettait d'envisager une ressource significative ; l'un de ces trois ouvrages (CR2), implanté au sein de la terrasse alluviale dans le prolongement du principal axe géophysique conducteur, avait également pour objectif de reconnaître les formations alluviales au sein d'une zone de surépaisseur supposée. Le quatrième sondage (CR4) avait le contact filon de dolérite / encaissant comme objectif.

2.1.2. Mise en oeuvre et résultats de la campagne de forage

Les travaux de forage ont été confiés par le maître d'ouvrage à l'entreprise SAFOR.

Le démarrage de la campagne (Rampnoux, 1996a), prévu le 5 décembre 1995, n'a été effectif que le 9/12 sur le site CR1. En l'absence de compresseur, non encore arrivé à Camopi, un avant trou de 6 m de profondeur en Ø 220 mm a été foré au rotary à l'eau. Cet ouvrage a dû être abandonné pour cause de perte d'une clé à griffes dans le forage.

Un nouvel ouvrage (CR1-2) a donc été foré le 10/12, à 3 m du précédent, en Ø 220 mm au rotary à l'eau de 0 à 4,5 m puis en Ø 75 mm au rock bitt à l'eau jusqu'à 13,5 m après pose d'un tubage acier provisoire de 0 à 4,5 m en Ø 160 mm. Compte tenu de l'impossibilité de disposer d'une vitesse d'avancement correcte, de pouvoir tester les éventuelles arrivées d'eau et de tuber au fur et à mesure de la foration, le chantier a été arrêté pour permettre l'amené du reste du matériel. Les travaux ont repris le 16/12. Ils ont permis d'atteindre, après une série d'incidents (éclatement du tuyau d'injection, blocage du train de tige, panne de la pompe à eau, etc.) *le toit du socle sain à 20,7 m* de profondeur le 17/12. En l'absence de tubage acier provisoire en quantité suffisante sur le site (impossibilité de tuber jusqu'à 20,7 m) pour permettre de descendre le marteau fond de trou, il a été décidé le 18/12 d'arrêter le sondage et de déplacer la machine. Le renversement de la machine lors de ce déplacement a justifié un nouvel arrêt du chantier devant permettre en outre à l'entreprise de forage d'approvisionner le matériel nécessaire.

Les travaux de réalisation d'un nouveau forage (CR1-3) ont repris le 21/01/96 à 10 m du trou CR1-2. Ils ont permis d'atteindre, après plusieurs incidents (ralentissement à l'avancement lié au manque d'eau en raison d'un trop faible diamètre des tuyaux d'amené, impossibilité de démarrage du compresseur, panne de la pompe d'injection

d'eau, chute d'une goupille de retenue du MFT, etc.), le *toit du socle sain à 18,4 m de profondeur* le 4/02, puis la profondeur de 28,8 m le 6/03 (avant trou en Ø 220 mm au rotary à l'eau de 0 à 8,5 m, pose d'un tubage provisoire en Ø 160 mm, foration en Ø 120 mm au rotary à l'eau de 8,5 à 13 m, réalésage avec pose d'un tubage acier provisoire de 0 à 13 m en Ø 140 mm, foration en Ø 120 mm au rotary à l'eau de 13 à 16,5 m, tentative de test de débit - compresseur ne démarrant pas, réalésage avec pose d'un tubage acier provisoire en Ø 140 mm de 13 à 17 m puis carottage (double carottier) de 17,3 à 27,1 m en Ø 116 mm afin de ne pas déstabiliser les formations traversées, non tubées à partir de 17 m, forage au Marteau Fond de Trou en Ø 75 mm jusqu'à 28,8 m).

Le forage CR1-3 ne montre pas de venues d'eau significatives au sein du socle (absence de fractures ouvertes au sein des carottes qui se délitent cependant selon la schistosité), constitué de migmatites rubanées (Rampoux, 1996b). En revanche, les formations alluviales en tête de puits (2,5 à 4,8 m), ainsi et surtout qu'un niveau de migmatites arénisées au contact altérites / substratum (17,4 à 18,4 m environ) présentent un débit significatif qui a justifié, après un test de l'intervalle 17 - 18,4 m à 1,2 m³/h pendant 4 h (conductivité électrique des eaux voisine de 60 µS/cm), l'équipement de l'ouvrage (fig. 13), la réalisation de pompages de développement (14 et 15/03) et la mise en oeuvre ultérieure de pompages d'essai.

Une tentative pour réhabiliter le sondage CR1-2 en piézomètre n'a pas abouti.

Les travaux de forage du puits CR2 (fig. 12) ont débuté le 10/03. Ils ont permis d'atteindre la *base des altérites à 24,05 m* le 12/03 (rotary à l'eau en Ø 190 mm de 0 à 20 m, tubage Ø 165 mm jusqu'à 12 m puis Ø 140 mm jusqu'à 20 m puis carottage en Ø 116 mm jusqu'à 24,05 m) et d'y réaliser un test de pompage sur l'intervalle 21,5 - 24 m, constitué de migmatites arénisées (0,8 m³/h pendant 1 h 30 puis 1,2 m³/h pendant 2 h). La foration, émaillée de plusieurs incidents (chute du tubage Ø 165 mm, blocage du carottier, etc.), a été poursuivie les 14 et 15/03 jusqu'à 25,7 m (fonçage de 1,5 m de tubage Ø 140 mm jusqu'à 21,5 m, carottage Ø 116 mm jusqu'à 25,5 m, puis 25,7 m). Le tubage du puits entre 18,4 et 24 m n'a pas pu être mené à bien en raison de la non disponibilité de tubages Ø 165 et Ø 140 mm puis de l'inondation du chantier par la Camopi à compter du 17/03 ce qui a justifié l'arrêt des travaux le 20/03. Ces aléas, ainsi que la perte de 12 m de tiges au sein du forage, ont conduit à son abandon.

Le socle, recoupé sur seulement 1,5 m d'épaisseur, n'a pu faire l'objet d'essais d'eau. Les carottes montrent cependant un délitage relativement important de la roche saine, selon les plans de schistosité, délitage qui pourrait constituer un indice de fracturation.

Un nouvel ouvrage CR2-2 a été implanté à 10 m au nord-ouest du CR2-1. Il a été arrêté au *toit du substratum, recoupé à 20 m de profondeur*. Il a cependant dû, lui aussi, être abandonné après une déstabilisation de l'ensemble de l'ouvrage liée aux travaux de dégagement du tubage, coincé par des venues de sable (Rampoux, 1996c) au droit du secteur aquifère que constituent les migmatites arénisées.

Pour éviter la dégradation des qualités des aquifères, ces deux ouvrages (CR2-1 et CR2-2) ont été rebouchés.

Un forage de remplacement CR2-3 a été implanté par le BRGM (Rampnoux, 1996c), entre 5 et 10 m au sud-est du CR2-1 (fig. 12) afin, tout en restant au sein de l'emprise de l'anomalie géophysique, de rechercher le secteur de puissance maximale des formations superficielles. Compte tenu des délais, des difficultés techniques de forage ainsi que des résultats préliminaires satisfaisants obtenus au sein des formations superficielles, il a été proposé de limiter cet ouvrage au captage des seules alluvions et migmatites arénisées. Suite à une erreur de positionnement de la sondeuse par l'entreprise de forage, l'ouvrage CR2-3 a été foré à 4 m à l'ouest de CR2-2 (fig. 12). Il a recoupé le toit du substratum à 18,2 m de profondeur seulement et n'a pas rencontré l'horizon de migmatites arénisées. En outre, les formations alluviales aquifères sont moins puissantes qu'en CR2-1 (fig. 13). Lors de la remontée du tubage provisoire, la rupture de la colonne de captage, par déboitage de deux tubes crépinés (la cimentation de la tête de puits n'ayant pu être réalisée en raison d'un problème d'approvisionnement en ciment), a provoqué une entrée de sable dans l'ouvrage qui a conduit à mettre en place, entre 16 et 18,2 m, du gravier calibré, afin de stopper ces venues et de permettre la réalisation des pompages d'essai.

2.1.3. Résultats des pompages d'essai en hautes et basses eaux

Deux séries de pompages d'essai ont été mis en oeuvre en hautes eaux (juin 1996), dans la foulée des travaux de forage (Rampnoux *et al.*, 1996a), puis en basses eaux (novembre 1996) (Rampnoux *et al.*, 1996c) sur chacun des deux ouvrages CR1 (CR1-3) et CR2 (CR2-3). En basses eaux, ces travaux ont comporté pour chaque ouvrage un pompage d'essai par paliers de débit et un pompage d'essai à débit constant (72 h). En hautes eaux, un pompage d'essai par paliers de débit a été mis en oeuvre sur chacun des puits tandis qu'une simulation d'exploitation d'une durée de 72 h a été réalisée sur les deux ouvrages pompés simultanément.

La transmissivité des formations aquifères est voisine sur chacun des deux puits (2 à 3.10^{-3} m²/s). Les interférences entre les deux forages sont limitées (une dizaine de centimètres au bout de 72 h de pompage) et n'ont pas permis d'évaluer le coefficient d'emmagasinement de la formation aquifère.

La comparaison des pompages d'essai par paliers de débit en hautes et basses eaux montre (fig. 14) :

- l'absence de variation significative des propriétés de la partie captante du forage CR1 qui peut être exploité à un débit de 4,5 m³/h en basses eaux et 5 m³/h en hautes eaux ;
- une dégradation des caractéristiques du forage CR2 en basses eaux (dénoyage probable d'un niveau particulièrement productif dans la partie supérieure de l'ouvrage au delà de 7 m³/h) qui limite son débit d'exploitation à 5 m³/h en basses eaux contre 8 m³/h en hautes eaux.

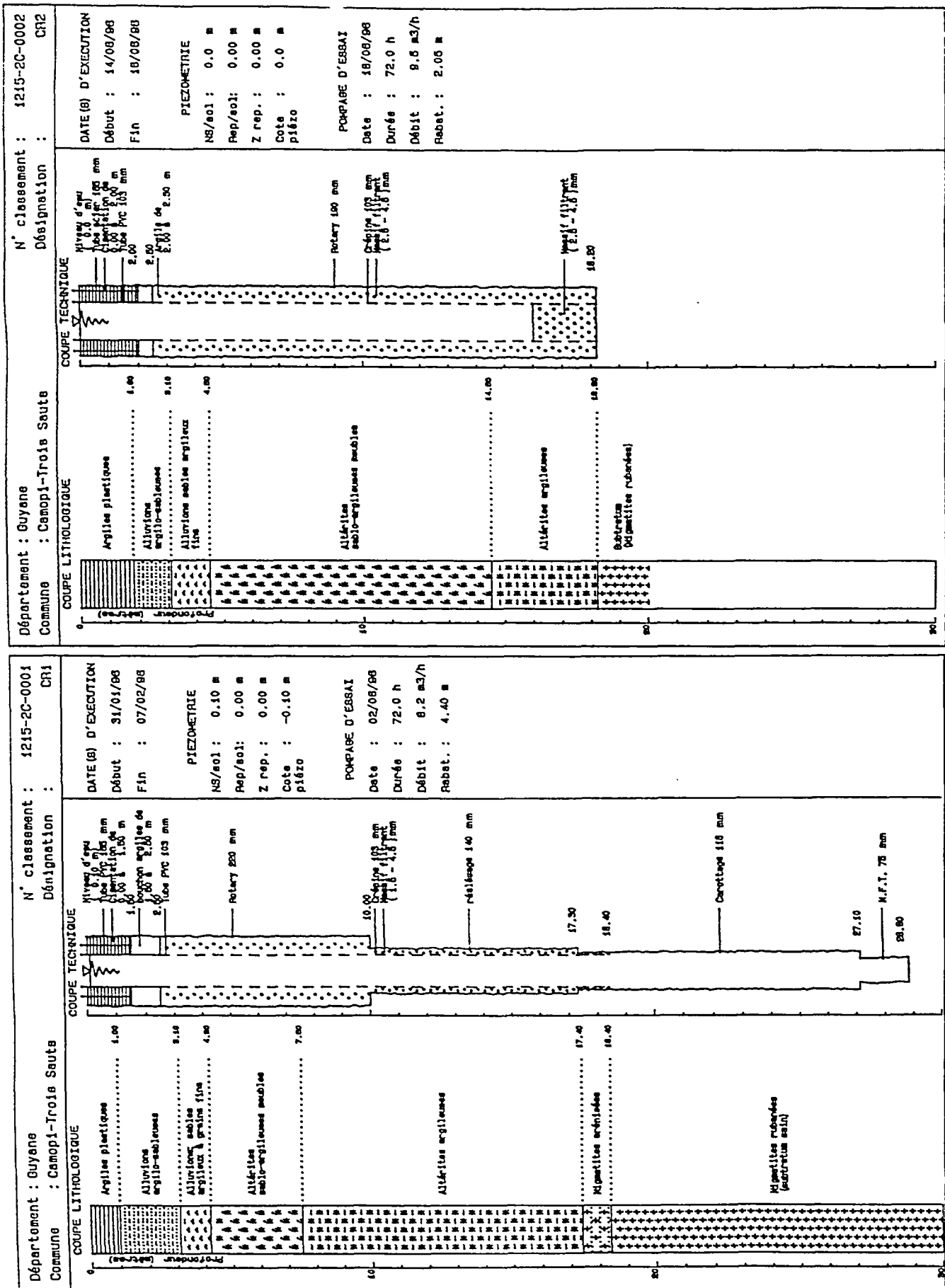


Fig. 13 - Site de Camopi. Coupes géologiques et techniques des forages CR1(-3) et CR2(-3).

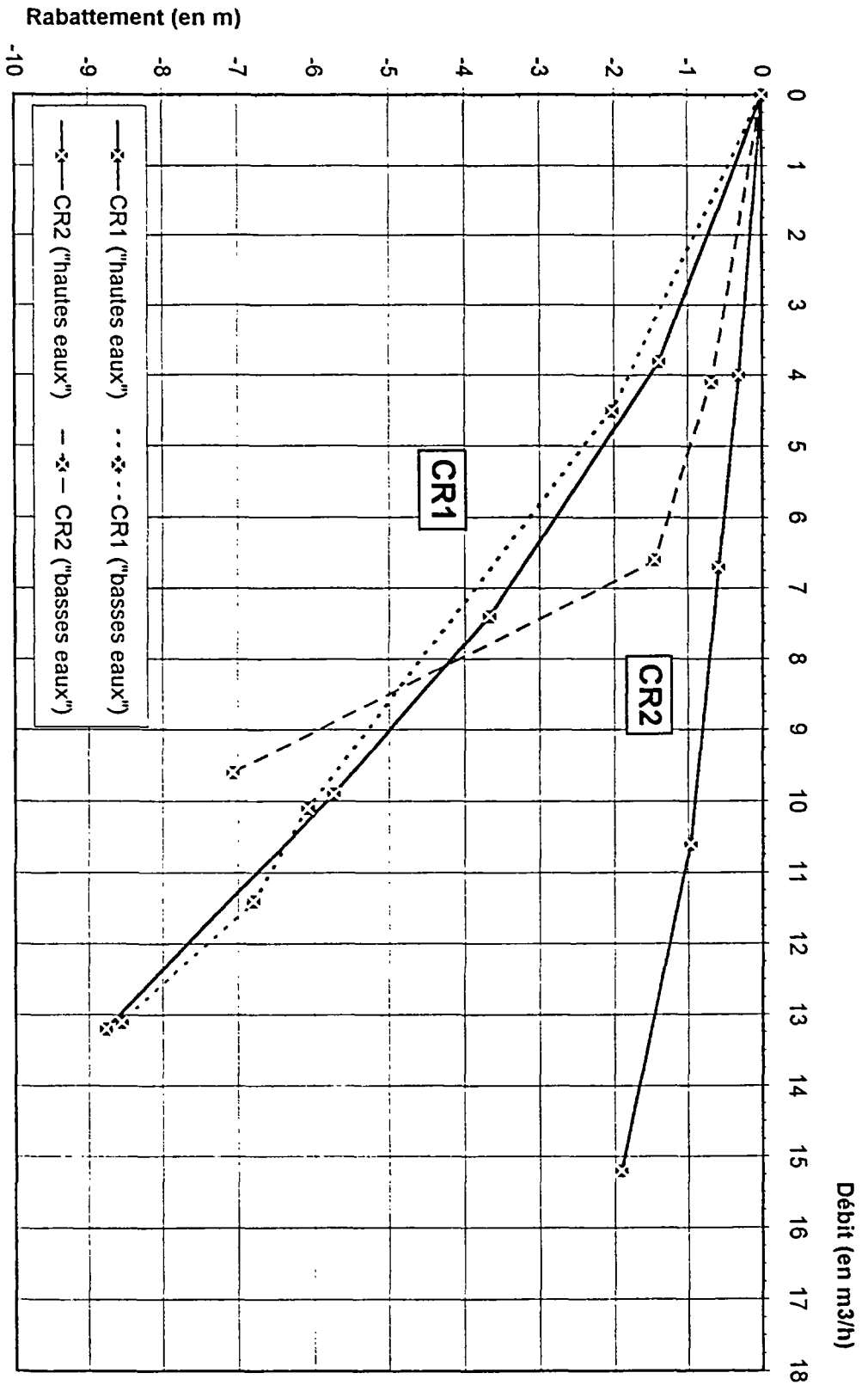


Fig. 14 - Site de Camopi. Courbes caractéristiques "hautes eaux" et "basses eaux" des forages CR1 et CR2.

Les pompages d'essai ont été mis à profit pour procéder, sur les deux forages et la Camopi, à des prélèvements pour analyses similaires à ceux mis en oeuvre dans le cadre de la mission Maroni et dont les résultats seront intégrés au volet "géochimie" du projet de recherche (cf. § 1.2.).

2.1.4. Synthèse et valorisation des informations recueillies dans le cadre de l'opération "Camopi"

Les travaux de forage réalisés sur le site de Camopi soulignent les spécificités de ce type de chantier, tant du point de vue de l'adaptation des techniques de forage aux formations géologiques recoupées que des difficultés liées au bon déroulement des opérations de forage :

- les outils de forage de type "marteau fond de trou" de trop petit diamètre (75 mm dans le cadre des travaux réalisés à Camopi) ne se sont pas révélés suffisamment résistants compte tenu des formations rocheuses recoupées. Ils ne permettent en outre pas une profondeur d'investigation suffisante au sein du socle fracturé ;
- la machine de forage utilisée (XCH 60), d'une taille permettant un transport relativement aisé, ne s'est par contre pas révélée d'une puissance suffisante pour répondre aux besoins d'un forage d'eau (fonçage du tubage, décoincement du train de tige, etc.). En outre, les déplacements sur site (au moyen d'un treuil) s'avèrent très laborieux ;
- la technique du carottage est plus satisfaisante en terme de résistance du matériel. Elle est cependant handicapée par l'extrême lenteur de sa mise en oeuvre qui augmente significativement le coût du suivi hydrogéologique du chantier de forage. Elle ne permet en outre pas de mettre en évidence à l'avancement les venues d'eau recoupées et n'induit pas, comme le marteau fond de trou, de développement des fractures grâce à l'air injecté ;
- d'une manière générale, ce type de chantier en autarcie exacerbe les carences éventuelles de l'entreprise de forage. Il convient donc de prévoir la présence d'un personnel hautement qualifié permettant de limiter les incidents de forages et de résoudre par lui même les difficultés susceptibles d'être rencontrées. Par ailleurs, l'approvisionnement du chantier en consommables (outils et tiges de forage, tubages, crépines, etc.) et pièces de rechange doit être correctement dimensionné dès le début de l'opération afin d'anticiper et le cas échéant de pallier les aléas.

Cette expérience a pour partie motivé la réalisation d'un volet spécifique au projet concernant la recherche de techniques et d'outils de forage adaptés au contexte des villages des fleuves (cf. § 4.).

Le caractère limité des reconnaissances n'a pas permis de valider la technique d'implantation de forages d'eau en milieu fracturé (il s'agissait effectivement des premiers forages réalisés dans le cadre de la mise en oeuvre de la technique développée au cours des projets de recherche "Village des Fleuves" et Ile de Cayenne"). En effet, un

seul forage (CR1) a recoupé le substratum et ce sur une épaisseur insuffisante (à peine plus de 10 m) pour être significative, tant en terme positif que négatif.

Des éléments encourageants peuvent cependant être notés :

- la morphologie en creux du substratum, conforme aux prévisions, suggère bien un approfondissement de son toit dans le secteur des anomalies radon et géophysique ;
- l'ouverture des plans de schistosité identifiés au sondage CR2 peut constituer un indice de la présence de fractures ouvertes proches.

Ces travaux montrent également que les **formations superficielles** présentent localement des structures favorables dont la ressource peut être suffisante pour l'alimentation de petites collectivités :

- **niveaux sableux peu puissants des alluvions des fleuves et rivières.** Leur position topographique par rapport au niveau de base local (fleuve) est primordiale pour leur exploitation. Néanmoins, les niveaux piézométriques au repos, toujours significativement supérieurs à la cote de la rivière au droit des forages tant en hautes eaux (artésianisme) qu'en basses eaux, suggèrent, sur le site de Camopi, une connexion nappe - rivière établie en amont du site de forage et/ou une alimentation provenant des versants. La part relative de ces différentes contributions pourra être évaluée à partir des résultats des prélèvements pour analyse chimique ;
- **niveaux d'arènes sableuses**, elles aussi peu puissantes, recoupées à proximité du mur des altérites. Ces formations sont potentiellement plus intéressantes car mieux protégées, situées dans une position topographique plus favorable, en relation éventuelle avec les fractures subhorizontales de décompression du substratum, etc.. Leur continuité latérale n'est cependant pas assurée.

Compte tenu de leurs faibles puissance et extension, il semble difficile d'envisager d'autres techniques de prospection de ces zones aquifères des formations superficielles que les méthodes destructrices (sondages de reconnaissance ; la mototarière ne sera vraisemblablement pas suffisamment puissante pour reconnaître les niveaux profonds - 10 à 30 m - d'arènes). Cette problématique sera cependant soumise aux géophysiciens dans le cadre du projet en 1997.

2.2. TRAVAUX REALISES SUR LE SITE DE GRAND SANTI

Le site de Grand Santi, situé sur le Maroni (fig. 11 et 15), a fait l'objet de travaux de prospection hydrogéologique en 1996 et de propositions d'implantation de sondages de reconnaissance (Rampnoux *et al.*, 1996a) à la demande de la commune de Grand Santi et de la SENOG. Ces prospections ont été suivies d'une campagne de sondages en cours de réalisation début 1997.

Les besoins en eau potable de l'ensemble de cette communauté (300 résidents permanents avec un surplus d'environ 200 élèves en provenance des villages situés sur

le fleuve en aval et en amont de Grand Santi) ont été estimés à environ 50 m³/j (estimation de la société AB2i sur la base d'une population de 1 000 habitants, avec besoins limités à l'usage "eau de boisson"). Il est cependant probable que la construction en cours d'un réseau de distribution augmente sensiblement cette évaluation.

2.2.1. Principaux résultats obtenus lors des travaux de prospection hydrogéologique

Les formations alluviales reconnues dans le cadre de travaux antérieurs sur le site de Grand Santi et captées par le puits actuel du village présentant une ressource limitée (tranche d'eau trop faible en basses eaux du fleuve), les travaux de prospection mis en oeuvre en 1996 ont été orientés vers l'exploration du substratum cristallin, sous le recouvrement alluvial et altéritique. Compte tenu des contraintes technico-économiques proposées par le maître d'oeuvre du projet, les prospections hydrogéologiques ont concerné la zone occupée par le bourg de Grand Santi, de la confluence de la crique et du fleuve (à environ 100 m au sud du bourg) jusqu'au village de Citron (au nord), sur une largeur de 500 m environ depuis la berge du fleuve (fig. 15).

Le sous-sol du secteur du bourg de Grand Santi est constitué de **formations migmatitiques et granitiques** (plutonisme "guyanais").

Une campagne de **prospection émanométrique** a été mise en oeuvre en fin de saison des pluies dans des conditions climatiques peu favorables (sols saturés voire inondés dans les zones basses) qui peuvent expliquer pour partie le caractère relativement faible, en valeur absolue, du signal radon (seuil anomal # 920 pCi/l, seuil de bruit de fond # 500 pCi/l). Le cadre géologique de la prospection (terrasses alluviales) peut également expliquer ceci. En conséquence, le contraste entre faibles et fortes activités radon (rapport seuil de bruit de fond sur seuil anomal : 0,55) est légèrement moins marqué que lors des prospections réalisées antérieurement sur d'autres sites (rapport compris entre 0,3 et 0,5). Il n'en reste pas moins suffisant pour permettre d'opposer zones anormales et secteurs sans signal émanométrique significatif. Cinq anomalies radon ont ainsi été mises en évidence (fig. 15) dont les trois plus significatives (A1, A2 et A5) ont fait l'objet de reconnaissances géophysiques. Compte tenu des conditions de prélèvement, il n'a pas été possible d'identifier de direction préférentielle d'orientation des structures émanométriques.

La campagne de **prospection géophysique** (fig. 15) a comporté 6 sondages électriques et 11 traînés de type 120/10/10 (AB = 120 m, MN = 10 m, pas de mesure 10 m). Les sondages électriques ont permis d'identifier une zone d'approfondissement significatif du toit du socle rocheux au droit de l'anomalie émanométrique A5 (fig. 16 et 15), compensée par une surépaisseur d'altérites. Au sein de cette zone d'approfondissement, le traîné électrique P5 a permis de proposer l'implantation de **deux sondages de reconnaissance** (S1 et S2 ; fig. 16), sur des anomalies conductrices bien structurées. Trois autres sites d'implantation de sondages de reconnaissance ont été identifiés grâce aux traînés électriques dans les environs des anomalies A1 et A2.

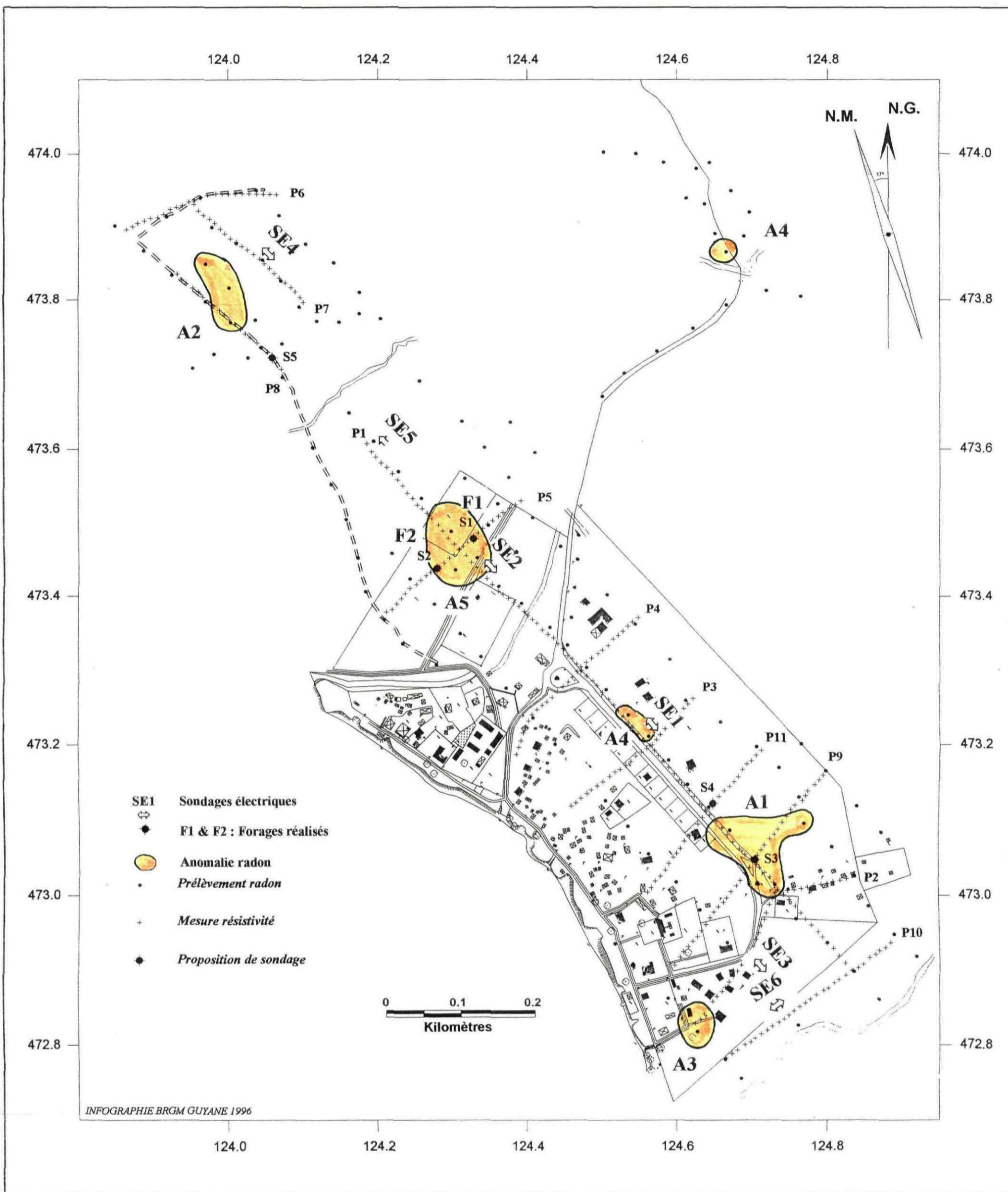


Fig. 15 - Site de Grand Santi. Carte d'implantation des prospections émanométrique et géophysique, des anomalies radon, des sondages de reconnaissance hydrogéologique prévus et des forages d'eau réalisés.

2.2.2. Premiers résultats de la campagne de sondages de reconnaissance

Deux premiers sondages de reconnaissance viennent d'être réalisés par l'entreprise BACHY, au cours des mois de février et mars 1997, sur les sites SR1 et SR2 du secteur de Grand Santi (Maroni). Le suivi des travaux a été assuré par le BRGM. La technique de foration mise en oeuvre (rotary au sein des alluvions et altérites et marteau fond de trou pour le socle rocheux) a donné pleine satisfaction tant en terme de délai de réalisation des ouvrages que de qualité des observations hydrogéologiques (identification des venues d'eau au sein du socle fracturé en particulier).

Le toit du substratum sain a été rencontré respectivement à 26 et 32 m de profondeur en SR1 et SR2 (profondeur totale des ouvrages : 46 et 62 m). Ces profondeurs sont conformes aux estimations déduites de la géophysique (fig. 16). Le deuxième forage a été approfondi d'une dizaine de mètres suite à la mise en évidence d'indices de fracturation en fond de trou : le débit au soufflage a alors été doublé (6 à 13 m³/h).

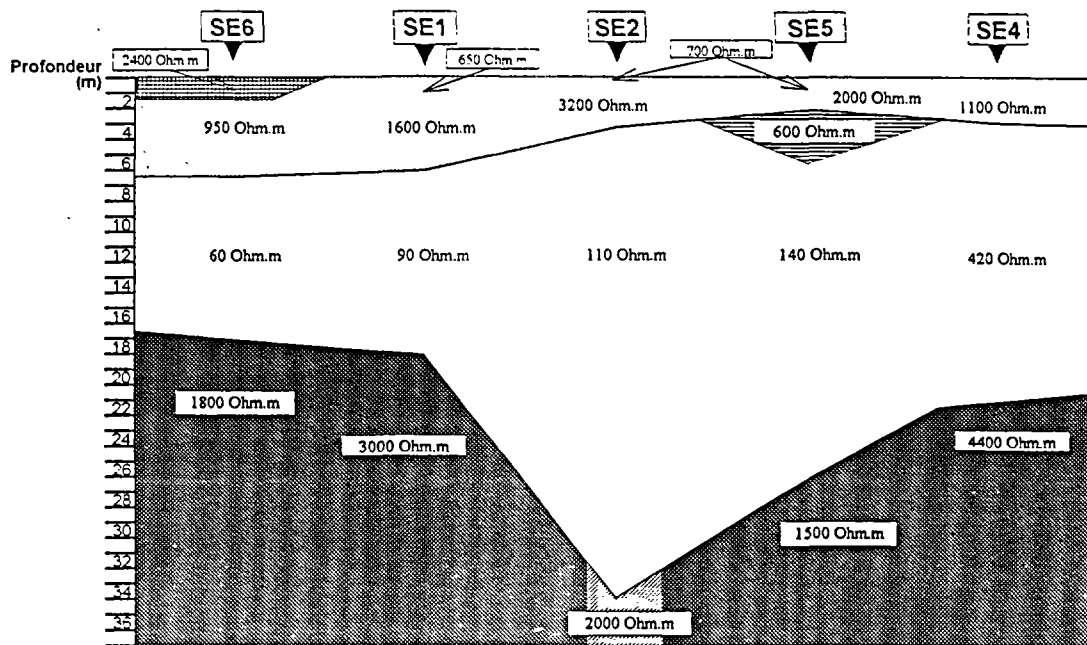
Sur chacun des deux puits, la productivité "au soufflage" des **niveaux fracturés du substratum rocheux** est voisine de 13 m³/h. Les pompages d'essai (par paliers de débit et de 24 h à débit constant) suggèrent la contribution des altérites à la stabilisation des niveaux piézométriques. Ils permettent d'envisager des débits exploitables de l'ordre de 8 à 9 m³/h sur chacun des deux ouvrages.

Ces résultats constituent une première validation de la méthodologie d'implantation des forages qui permettront en outre de satisfaire les besoins actuels et à venir de cette communauté du fleuve. Ils seront analysés en détail en 1997 dans le cadre du projet de recherche.

2.3. TRAVAUX REALISES SUR LE SITE DE LOKA

Le site de Loka, situé sur le Maroni (cf. fig. 11), a fait l'objet de travaux de prospection hydrogéologique en 1996 et de propositions d'implantation de sondages de reconnaissance (Rampnoux *et al.*, 1996d) à la demande de la commune de Papaïchton, dont dépend Loka, et de la SENOG en vue de l'alimentation en eau potable.

Le village de Loka, situé en regard de l'île habitée d'Assissi, comporte une centaine d'habitations regroupant 300 habitants environ qui ne sont jusqu'à présent reliées à aucun réseau de distribution. Les besoins de cette communauté sont évalués à 30 à 45 m³/j.



GRAND SANTI
 Profil de résistivité AB = 120 m MN = 10 m
 Profil P5

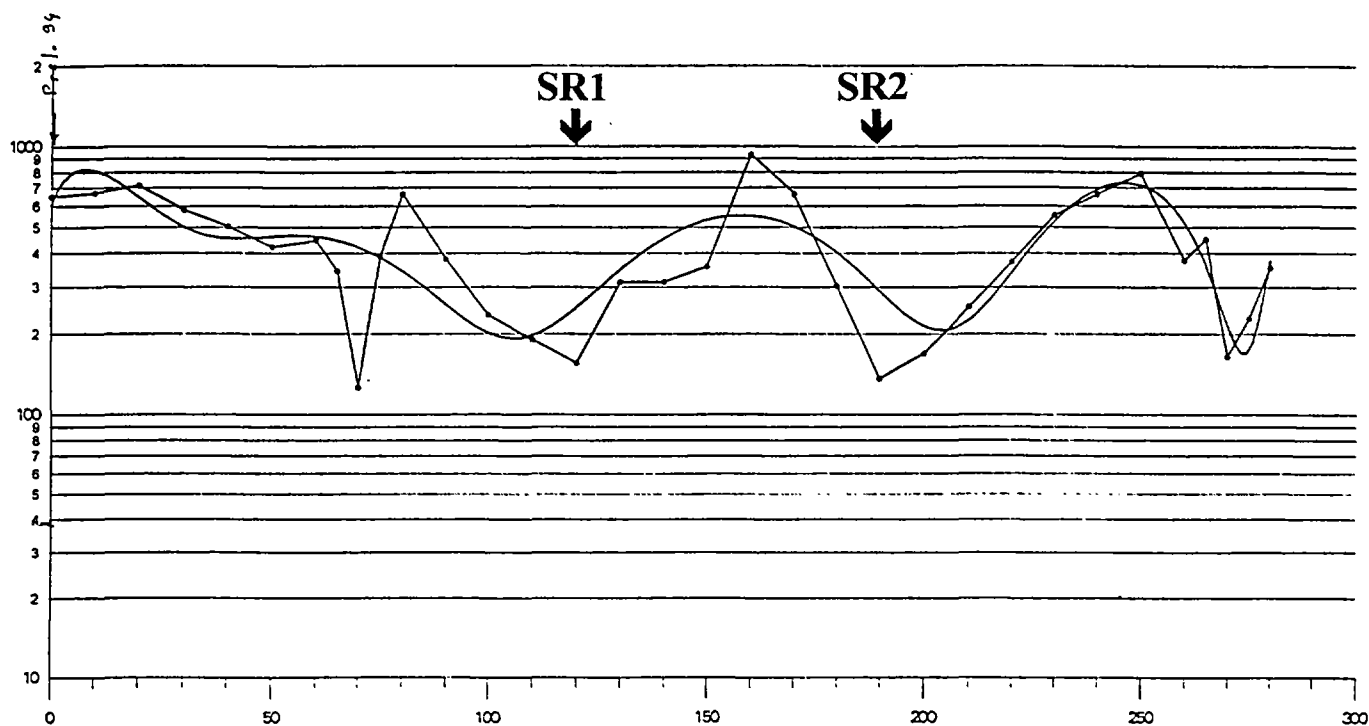


Fig. 16 - Site de Grand Santi. Coupe géoélectrique établie à partir des sondages électriques et implantation des sondages de reconnaissance SR1 et SR2 sur le trainé électrique P5.

Les prospections hydrogéologiques ont concerné la périphérie immédiate de Loka, en s'éloignant progressivement du bourg vers le sud le long de la piste de Papaïchton et vers le Nord en direction du village de Bonville (fig. 17). Elles ont été limitées par les hautes eaux du fleuve (inondation des zones basses) imposées du fait des délais impartis à l'étude.

Le sous-sol du secteur de Loka est constitué de la **série volcanique du Paramaca supérieur** (schistes intégrant des lames de roches volcaniques). Ces formations sont recouvertes de terrasses alluviales anciennes étendues en bordure du Maroni, et plus particulièrement au sud de Loka où elles semblent recouper complètement le méandre du fleuve.

Les observations géologiques réalisées dans le cadre de la mission Maroni (novembre 1996) ont montré qu'au droit d'Assissi, le lit vif du fleuve entaille le substratum rocheux, constitué de métalaves dont la schistosité, d'orientation N150°E à N170°E, structure le saut du fleuve. En aval immédiat de Loka, le Maroni ne montre la présence d'aucun affleurement. Au dégrad de Loka, en face de la partie sud de l'île d'Assissi, la berge du fleuve montre la limite occidentale des alluvions anciennes du Maroni (alluvions argileuses altérées à galets de quartz reposant sur le substratum lui-même argilisé). Un approfondissement des formations alluviales est donc possible vers l'est.

Une campagne de **prospection émanométrique** a été mise en oeuvre en fin de saison des pluies (juin 1996) dans des conditions climatiques très peu favorables (très hautes eaux du fleuve, vastes zones inondées), imposées par le maître d'oeuvre du projet compte tenu des délais à respecter. Ces conditions expliquent très probablement le caractère relativement faible, en valeur absolue, du signal radon (seuil anomal # 740 pCi/l, seuil de bruit de fond # 410 pCi/l). Le contraste entre faibles et fortes activités radon (rapport seuil de bruit de fond sur seuil anomal : 0,55) est similaire à celui obtenu sur Grand Santi. La cohérence apparente du signal radon (fig. 17) est en grande partie liée au contexte hydrologique et hydrique de réalisation des mesures (activités faibles en bordure des criques ou dans les zones argileuses rendues peu perméables du fait de leur état de saturation en eau). Il n'est donc pas possible de distinguer de direction préférentielle d'orientation des structures émanométriques. Plusieurs anomalies radon potentielles ont néanmoins pu être identifiées.

La campagne de **prospection géophysique** (fig. 17) a comporté 5 sondages électriques et 9 traînés de type 200/10/10 (AB = 200 m, MN = 10 m, pas de mesure 10 m).

Les **traînés électriques** ont permis de mettre en évidence plusieurs axes conducteurs (fig. 17), corrélés ou non à des anomalies radon, dont les plus significatifs ont été sélectionnés pour faire l'objet de sondages de reconnaissance avec le substratum potentiellement fracturé comme objectif (fig. 17).

Cependant, les sondages électriques ont permis d'identifier (sondage SE4) un approfondissement très important du toit du socle sain à l'est du village, dans une dépression occupée actuellement par la crique Pou Moufou (fig. 17) : les mesures semblent indiquer la présence d'un horizon relativement conducteur ($150 \Omega.m$; altérites, alluvions argileuses ?) dont le toit se trouve à une douzaine de mètres de profondeur, mais aussi et surtout que le toit du substratum résistant ($3000 \Omega.m$) de cette formation se situe à environ 65 m de profondeur.

Ces résultats ainsi que les observations géologiques présentées plus haut militent en faveur de l'existence d'un paléocours du Maroni sur la partie nord duquel se serait surimposée la crique Pou Moufou (fig. 18). L'intersection de ce paléocours avec le lit actuel du fleuve pourrait se situer au nord immédiat de Loka dans le secteur où le Maroni ne montre pas d'affleurement rocheux. Le sondage électrique SE4 suggère un surcreusement important du paléolith par rapport au niveau actuel du fleuve. Ceci pourrait conditionner la présence de formations alluviales situées sous le niveau de base actuel, donc dans un contexte où elles peuvent présenter, en cas de perméabilité favorable, des potentialités aquifères intéressantes.

Cette hypothèse a motivé la réalisation de sondages électriques complémentaires (SEA, SEB, SEC) dans le secteur de confluence supposée du paléocours et du lit actuel du Maroni (fig. 17). Les mesures (fig. 18) semblent confirmer un approfondissement significatif (jusqu'à une quarantaine de mètres au droit des sondages électriques) de la profondeur du toit du substratum sain dans l'axe de la paléovallée supposée. Les formations de comblement de cette structure, relativement résistantes (400 à $600 \Omega.m$), pourraient correspondre à des alluvions sableuses, saturées en eau compte tenu de leur position topographique par rapport au fleuve.

Il a donc été proposé d'implanter au moins un sondage de reconnaissance ayant les formations alluviales supposées comme objectif et ce dans le secteur des sondages électriques SEA et SEB.

2.4. TRAVAUX REALISES SUR LE SITE DE MARIPASOULA

Le site de la ville de Maripasoula, situé sur le Maroni (cf. fig. 11), a fait l'objet de travaux de prospection hydrogéologique en 1996 et de propositions d'implantation de sondages de reconnaissance (Rampnoux *et al.*, 1996b) à la demande de la commune et de la SENOG en vue de l'alimentation en eau potable.

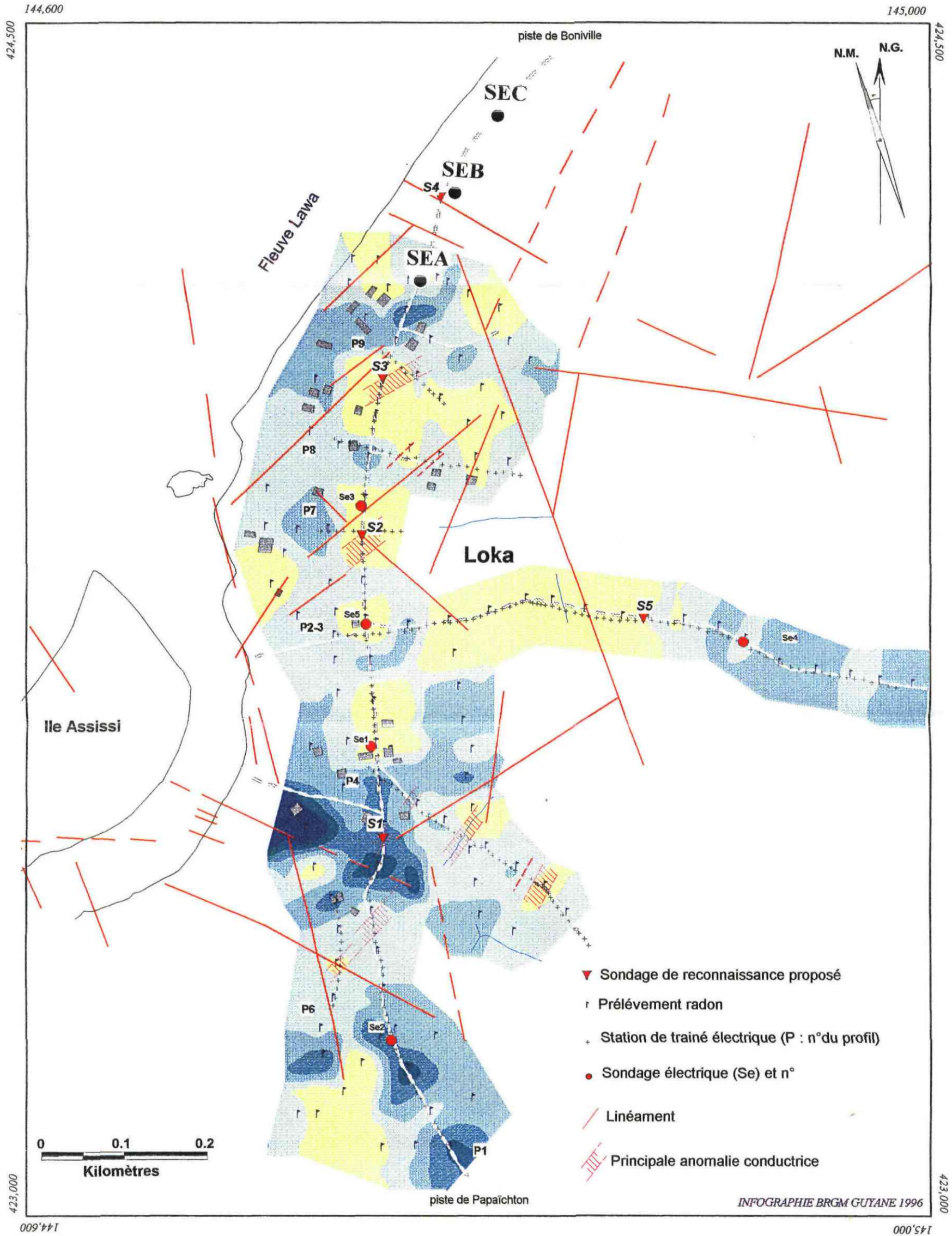


Fig. 17- Site de Loka. Carte d'implantation des prospections émanométrique et géophysique, des anomalies radon et des propositions de sondages de reconnaissance hydrogéologique prévus.

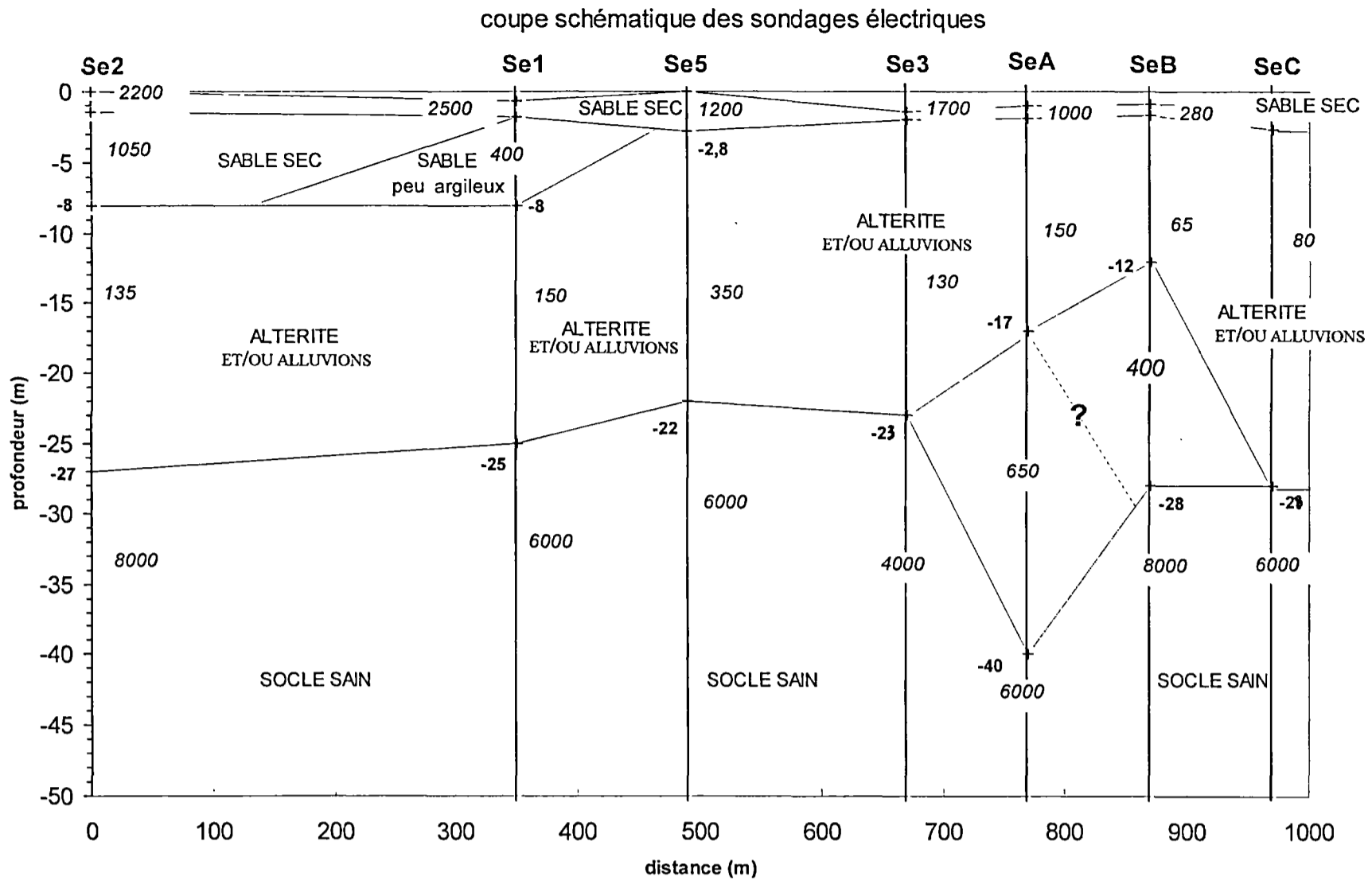


Fig. 18 - Site de Loka. Coupe géoélectrique établie le long du Maroni à partir des sondages électriques (initiaux et complémentaires).

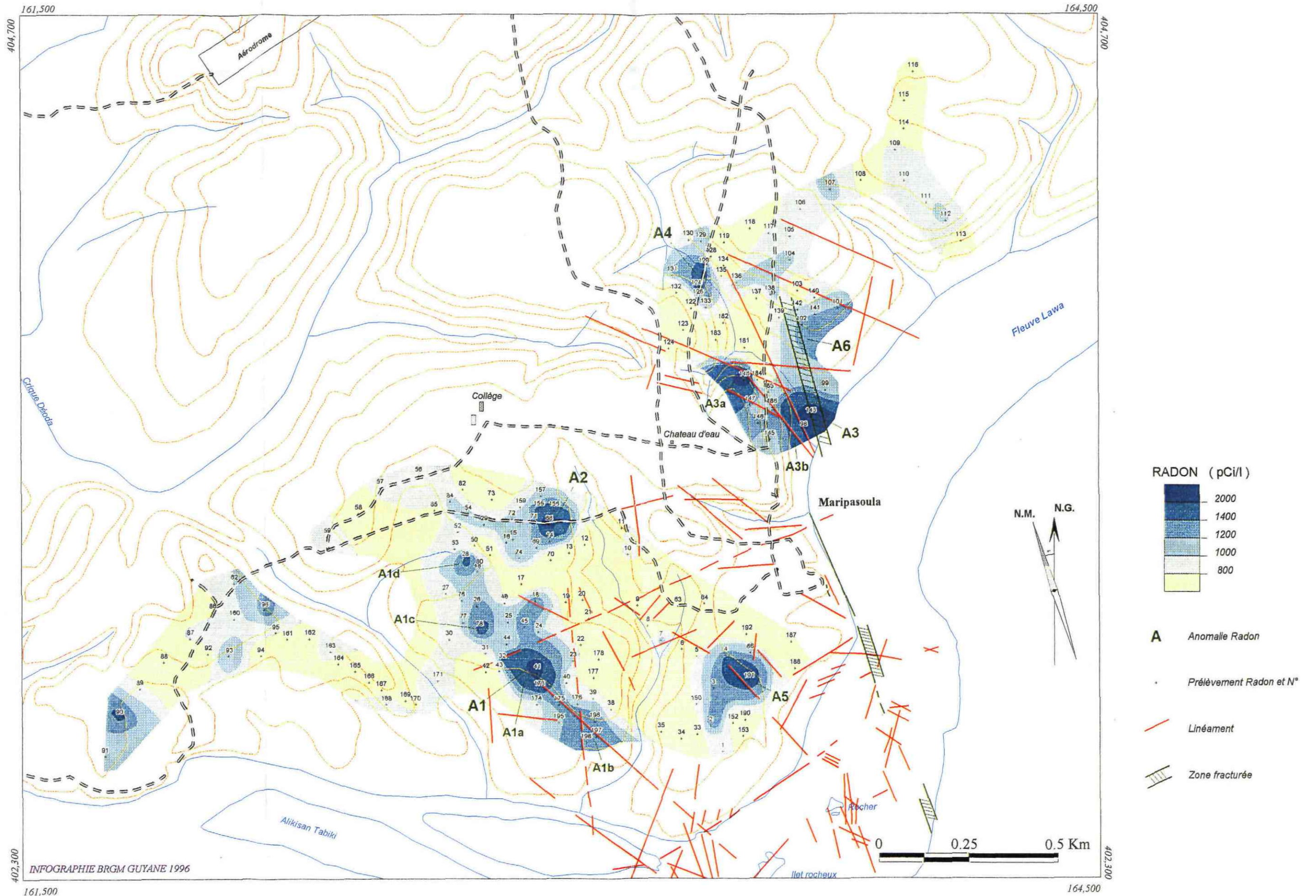


Fig. 19 - Site de Maripasoula. Carte des anomalies radon.

La population résidente de Maripasoula était d'environ 2 200 habitants au dernier recensement (1990), avec un surplus très difficilement estimable de personnes venant des villages des fleuves, des chantiers d'orpaillage et de l'étranger. La ville est actuellement alimentée en eau potable à partir d'une unité de pompage dans le fleuve, située à l'amont immédiat du bourg. La ressource en eau brute est suffisante, mais la quantité et la qualité de l'eau traitée et distribuée sont très insuffisantes : difficultés de traitement en raison de la forte turbidité de l'eau brute (rejets des nombreuses exploitations aurifères de l'Inini et du Tampok), usine sous dimensionnée (capacité de traitement de 5 m³/h alors que la demande est de plus de 15 m³/h), volume du réservoir insuffisant, etc. (Comte *et al*, 1997).

Les prospections hydrogéologiques ont concerné deux principales zones, situées respectivement à l'ouest-sud-ouest et au nord de la ville (fig. 19), d'une superficie totale de 2 km² environ.

2.4.1. Prospections hydrogéologiques

Le sous-sol de la région de Maripasoula est constitué de **formations métamorphiques d'origine volcanique** rattachées à la série de Paramaca (sédiments pyroclastiques, laves andésitiques et basaltiques, rhyolites, quartzites et schistes). Ces formations, profondément altérées, sont recouvertes de terrasses alluviales anciennes qui s'étendent loin à l'intérieur des terres.

Les observations géologiques de terrain montrent que les formations du socle, essentiellement schisteuses, renferment des lames de roches volcaniques plus compétentes qui, plus résistantes à l'érosion que leur encaissant, émergent parfois sous forme d'affleurements. Les formations alluviales des terrasses anciennes présentent localement des faciès de sables ou de sables et graviers relativement propres, interstratifiés avec des niveaux plus argileux. Ces terrains sont fortement rubéfiés et ne semblent pas, au moins en basses eaux, être en continuité hydraulique avec le fleuve (affleurements de schistes, sains ou altérés, en bordure du Maroni).

Une campagne de **prospection émanométrique** a été mise en oeuvre en début de saison sèche (fin juillet - début août) dans des conditions climatiques peu favorables (pluviométrie relativement importante et quotidienne ; fortes précipitations avant le début des mesures - 30 mm la veille - moyenne quotidienne de 7 mm durant les 7 jours de prospection) qui n'ont finalement que peu perturbé la qualité des mesures (difficultés locales de prélèvement au sein de sols argileux mais relativement bonne stabilité du signal aux points de base). Elle a permis d'identifier plusieurs anomalies radon (seuil anomal # 1 400 pCi/l, seuil de bruit de fond # 830 pCi/l) bien structurées (fig. 19).

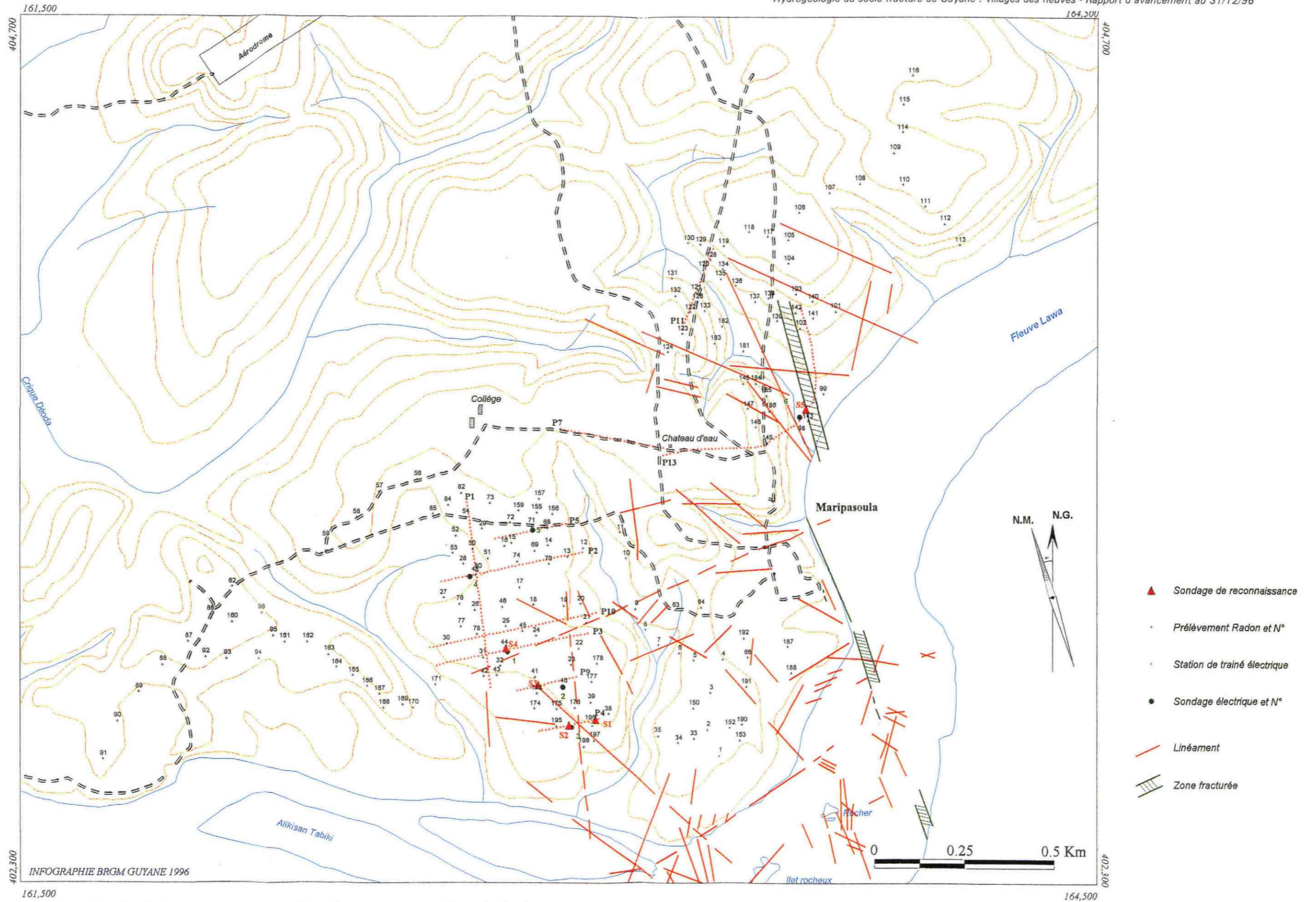


Fig. 20 - Site de Maripasoula. Carte d'implantation de la prospection géophysique et des sondages de reconnaissance hydrogéologique prévus.

La principale d'entre elles (A1) est particulièrement intéressante. Elle est composée de 4 anomalies élémentaires disposées au sein d'une structure de 700 m de long environ pour 200 m de large : *A1a*, en position centrale (4 stations d'activité supérieure à 1 400 pCi/l dont une à 2 500 pCi/l), cette anomalie élémentaire est séparée en deux (entre les stations 41 et 173 au sud et 32 au nord) par une zone marécageuse au sein de laquelle les prélèvements n'ont pas pu être réalisés ; *A1b*, à l'extrémité sud-est de l'ensemble (3 stations d'activité supérieure à 1 400 pCi/l), cette anomalie élémentaire n'a pas été "refermée" vers le sud et l'est lors de la prospection, il est donc possible qu'elle se prolonge dans ces directions ; enfin, deux stations isolées d'activité supérieure à 1 500 pCi/l (anomalies *A1c* et *A1d*). Deux autres stations proches du seuil anomal la complètent au nord de l'anomalie élémentaire *A1a*. L'ensemble de ces points est entouré d'une zone d'incertitude bien structurée montrant une décroissance progressive du signal émanométrique. Cet ensemble est bien séparé de l'anomalie voisine *A2* par un couloir de faible activité radon (300 à 600 pCi/l).

L'anomalie *A1* montre une forte structuration selon une orientation nord-Ouest - sud-est (N130° à 140°E) et, dans une moindre mesure, subméridienne (N170° - 175°E). Cette organisation se retrouve tant à l'échelle de l'anomalie dans son ensemble qu'à celle de ses composantes élémentaires (anomalie *A1a* pour la composante N130° - 140°E et *A1b* pour la composante N170° - 175°E). Les observations structurales de terrain suggèrent que ces orientations correspondent respectivement :

- N130° - N140°E : à l'orientation de joints ;
- N170° - N175°E : à l'orientation de la schistosité et à celle de fractures (joints, mais également couloirs de fracturation, voire mylonites) paléoprotérozoïques réactivées localement lors de l'ouverture de l'Atlantique (dyke de Wacapou).

Par ailleurs, l'anomalie *A3* se situe dans le prolongement d'un couloir de fracturation paléoprotérozoïque (fig. 19) identifié sur le terrain.

La campagne de **prospection géophysique** (fig. 20) a comporté 6 sondages électriques et 10 profils de résistivité de type 200/10/10 (AB = 200 m, MN = 10 m, pas de mesure 10 m) (BESSE, 1996).

Les *sondages électriques* montrent (fig. 21) que :

- le socle sain, résistant (1400 à 3400 Ω .m), est surmonté d'un niveau très conducteur (10 à 20 Ω .m), d'épaisseur plurimétrique (de 7 à 12 m environ au droit des sondages électriques) et en apparence continu. Il s'agit probablement de schistes complètement argilisés ;
- ces formations argilisées sont surmontées de terrains plus résistants (210 à 500 Ω .m) qui peuvent être attribués à des alluvions saturées. Celles-ci semblent présenter une zone de surcreusement, dans le secteur des sondages électriques SE2 et SE3, qui met ces terrains dans une position topographique favorable vis-à-vis du niveau de base pour renfermer une ressource en eau souterraine significative.

Les *profils de résistivité apparente* ont été dimensionnés pour reconnaître le substratum schisteux. Ils sont caractérisés, dans le secteur de l'anomalie A1 (fig. 22), par la présence d'une alternance d'axes résistants étroits et d'axes conducteurs plus larges. La direction de cette structure est similaire à celle de la schistosité. Les résistants correspondent donc très vraisemblablement à des lames de métavolcanites intercalées au sein de niveaux schisteux.

Les sondages de reconnaissance (fig. 20) ont été implantés de manière à tester :

- sondages S1 et S2 : à la fois les alluvions anciennes, potentiellement sableuses et saturées sur une dizaine de mètres d'épaisseur, ainsi que les principaux axes conducteurs du substratum (axes conducteurs C1 et C2) qui encadrent la lame résistante, dans le secteur de l'anomalie émanométrique A1 ;
- sondage S3 et S4 : d'autres axes conducteurs au sein du substratum, toujours au sein de l'anomalie émanométrique A1, mais dans des secteurs où les alluvions sont moins puissantes. En cas d'échec au sein des schistes en S1 et S2 (fracturation mal exprimée ou altération trop importante par exemple), la campagne serait réorientée vers les secteurs potentiellement fracturés des métavolcanites (intersection des anomalies radon avec les axes résistants sur le plan géophysique) qui, plus compétentes, pourraient présenter une fracturation mieux exprimée qu'au sein des schistes ;
- sondage S5 : l'éponte occidentale du couloir de fracturation identifié au sein du fleuve, dans un secteur marqué par une forte anomalie émanométrique.

2.4.2. Synthèse

La prospection hydrogéologique mise en oeuvre à Maripasoula est très intéressante dans la mesure où il s'agit du premier site reconnu au sein de formations schisteuses. Elle montre que des anomalies radon significatives peuvent y être mises en évidence, anomalies qui sont en outre bien corrélées avec des indices structuraux identifiés sur affleurements. Les résultats des sondages de reconnaissance seront très instructifs pour la mise au point d'une méthodologie d'implantation dans ce contexte géologique : faut-il privilégier le forage au sein des axes conducteurs du point de vue géophysique, comme pour les granites ou les migmatites, ou plutôt l'implantation des sondages au sein des lames de roches plus résistantes où la fracturation pourrait mieux s'exprimer ?

La structuration des anomalies émanométrique, conforme aux orientations de zones de cisaillements paléoprotérozoïques réactivées lors de l'ouverture de l'Atlantique (dyke de Wacapou), suggère une permanence de l'activité de certains accidents anciens. Ces observations constituent des éléments complémentaires d'information dans la recherche du cadre des contraintes tectoniques actuelles en Guyane.

Cette campagne suggère également, dans une moindre mesure qu'à Loka cependant, que les terrasses anciennes peuvent constituer, dans certaines zones favorables (surcreusements), une cible de prospection. Une caractérisation plus approfondie de la géométrie de ces formations, donc de leur potentiel hydrogéologique, pourrait être déduite de travaux de localisation des zones d'émergence de ces formations aquifères

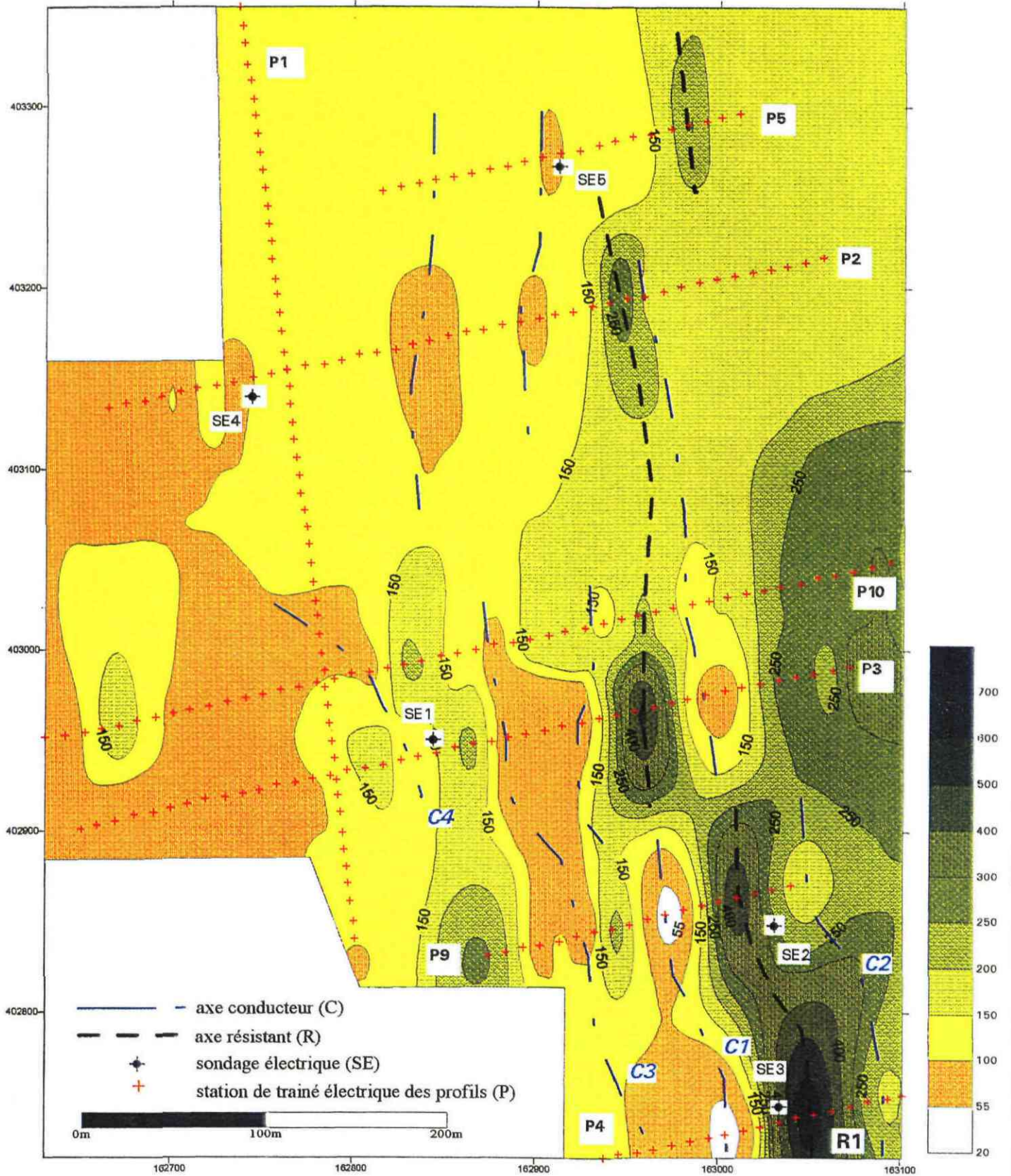


Fig. 22 - Site de Maripasoula, secteur ouest. Carte de résistivité apparente.

(localisation des zones humides, profils de conductivité électrique au sein des criques, etc.) menés en fin de saison sèche.

En cas de résultats positifs des forages, les travaux de recherche pourront être orientés vers la définition des modalités d'alimentation et de recharge de ces formations aquifères (pompages d'essai, analyses chimiques et isotopiques) afin de répondre aux interrogations suivantes :

- alluvions : les formations des alluvions anciennes sont-elles connectées (au moins temporairement en hautes eaux) au fleuve ou ne sont-elles rechargées que par les précipitations ?
- substratum schisteux : la présence d'une couverture d'altérites très argileuses est-elle de nature à limiter significativement la recharge du socle sain ?

3. Synthèse bibliographique de l'expérience africaine de l'hydrogéologie en contexte de socle fracturé⁶

Cette étude bibliographique a pour but d'extraire de l'abondante documentation existante sur l'Afrique de l'Ouest, dont les caractéristiques géologiques et climatiques sont similaires à celles de la Guyane, ce qui peut être susceptible de pouvoir être utilisé en Amérique du sud.

Cette démarche part du fait que les continents sud américain et africain ne faisant initialement qu'un, on retrouve donc les mêmes grands ensembles géologiques de part et d'autre de l'Atlantique.

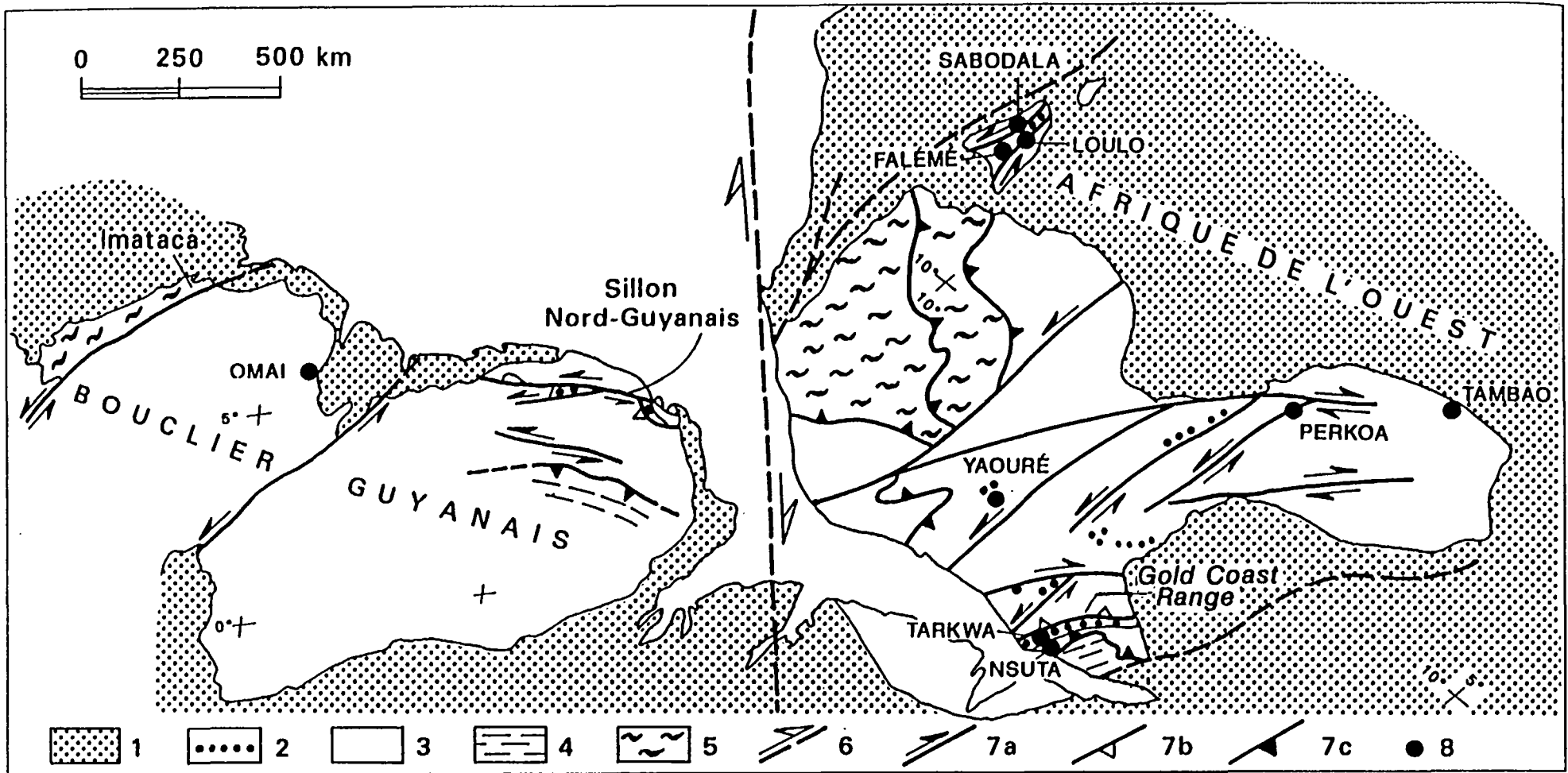
En conséquence, les très nombreuses études effectuées en Afrique de l'ouest, et spécialement dans le domaine de l'hydrogéologie au cours des grandes campagnes d'hydraulique villageoise, doivent être porteuses d'enseignements pour la Guyane française. En effet, cette dernière n'a pas fait l'objet d'autant de recherches dans le secteur de l'eau et souffre en outre d'un couvert végétal très dense et quasi général, très handicapant pour ce genre de prospection.

3.1. GEOLOGIE STRUCTURALE COMPARATIVE

Plus encore que les études hydrogéologiques, c'est en définitive dans les dossiers de recherches minières que l'on trouve des essais de corrélation entre les boucliers guyanais et africains. Ces comparaisons sont surtout d'ordre structural. Les géologues miniers sont arrivés à d'excellentes correspondances entre le domaine africain qui leur était mieux connu et son homologue guyanais qui leur posait les mêmes problèmes (pour les mêmes raisons) que ceux auxquels sont confrontés les hydrogéologues (fig. 23).

Ces similitudes structurales étudiées à des fins de prospection minière ne sont bien évidemment pas sans intérêt pour guider la recherche en eau. Elles donnent des indications "en grand" des traits structuraux majeurs qui vont influencer, dans leur voisinage, les circulations d'eau souterraine.

⁶ Cette synthèse bibliographique a été réalisée par J. Dagain et V. Petit (BRGM/SGN/UPE/Centre Thématique Eau).



1 : Post-Paléoprotérozoïque ; Paléoprotérozoïque : 2 : conglomérats et grès fluviodeltaïques ; 3 : Paléoprotérozoïque indifférencié ; 4 : Paléoprotérozoïque à métamorphisme élevé ; 5 : Archéen ; 6 : accidents panafricains majeurs ; 7 : accidents paléoprotérozoïques majeurs : a) décrochements senestres, b) chevauchements associés aux décrochements, c) chevauchements crustaux profonds ; 8 : gisements cités dans le texte.

Fig. 23 - Relations géologiques entre le bouclier guyanais et l'Afrique de l'Ouest
(Chronique de la recherche minière, mars 1995).

Par exemple, en Guyane, une évolution polyphasée, correspondant à la succession de deux déformations tectonométamorphiques majeures, a été reconnue dans l'ensemble inférieur volcanique et sédimentaire ; tandis qu'une seule déformation majeure a été caractérisée dans l'ensemble détritique supérieur. Des observations comparables ont été réalisées en Afrique de l'ouest et au Brésil à Jacobina.

3.2. GENERALITES SUR L'HYDROGEOLOGIE DE SOCLE

3.2.1. Les facteurs déterminants

La probabilité de trouver de l'eau dépend de plusieurs facteurs :

- géométrie de l'aquifère : recherche de la présence et de la continuité d'une couverture d'altérites saturées. Bien que de perméabilité réduite, cet aquifère contient presque la totalité des réserves en eau et réalimente les fissures. Cet aspect est d'un intérêt primordial ;
- longueur et densité du réseau de fracturation : une classification des fractures par rapport à leur intérêt hydrogéologique a été tentée ;
- la lithologie du socle : des corrélations statistiques entre les débits de forage et les lithotypes du socle ont été mises en évidence ;
- la géomorphologie : la position morphologique (en crête, sur un versant, dans un bas-fond), l'importance d'un bassin versant, la présence d'un cours d'eau, les possibilités d'existence d'une nappe de sous-écoulement, etc., constituent des facteurs déterminants de réussite.

3.2.2. La pertinence des études

L'analyse des études effectuées permet de tirer les conclusions suivantes :

- de simples considérations géomorphologiques ont permis de garantir un débit minimal de 1 m³/h dans 65 % à 80 % des cas en zone métamorphique, dans 50 à 60 % des cas en zone cristalline ;
- l'emploi systématique de la photo-interprétation a garanti la même gamme de débits jusqu'à 90 % des cas en zone métamorphique et jusqu'à 75 % des cas en zone cristalline.

Les études géophysiques peuvent améliorer ultérieurement ces résultats. A titre d'exemple, au Togo, la mise en oeuvre d'investigations géophysiques complémentaires a permis d'obtenir 100 % de réussite.

3.3. INVESTIGATIONS

3.3.1. La photo-interprétation

Les figures 24 à 27 récapitulent les observations morphologiques et les critères d'implantation qui y sont associés.

3.3.2. Les méthodes géophysiques

a) Cadre général

Les sondages électriques ont en général une allure en fond de bateau qui correspond à la superposition :

- d'un recouvrement résistant (200 à 3000 $\Omega.m$) ;
- un complexe conducteur (10 à 200 $\Omega.m$) ;
- un substratum résistant (plus de 500 $\Omega.m$).

b) La conductance longitudinale

La conductance longitudinale correspond à la somme des rapports e_i/β_i , où e est l'épaisseur de la strate et où β est sa résistivité. Ainsi, sur 41 sondages électriques d'étalonnage exécutés au Bénin et au Togo, on peut observer qu'à des valeurs élevées de la conductance longitudinale totale correspondent des débits relativement élevés et vice versa, à des valeurs basses de conductance correspondent des débits faibles. Selon certains auteurs (Bernardi, Detay, Marchard de Gramont) s'appuyant sur une analyse statistique, c'est le paramètre le plus significatif pour définir l'importance du complexe conducteur.

A partir de mesures au Togo, Bénin, Cameroun, et en République Centrafricaine, ces auteurs indiquent les valeurs suivantes :

valeur de la conductance (mho)	chances de succès
< 0,2	forages positifs < 25 %
0,2 < conductance < 0,5	78 à 86 % de forages positifs
conductance > 0,5	maximales (100 % des forages sont positifs au Togo et en RCA)

Sont considérés comme positifs, les forages ayant un débit minimal de 0,7 m³/h pour le Togo, le Bénin et la RCA et les forages ayant un débit minimal de 1 m³/h pour le Cameroun.

D'après D.C.H.-R.C.I. et Burgeap-Renardet 1979 - Projet de développement des régions cotonnières


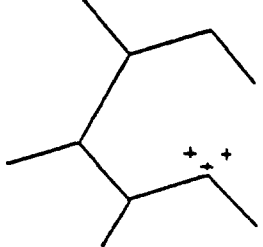
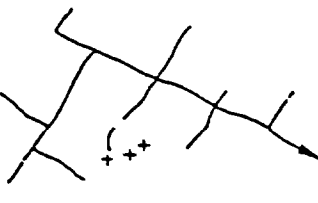


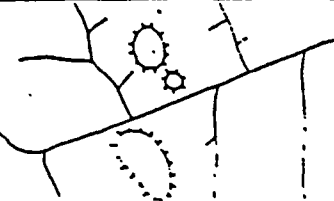

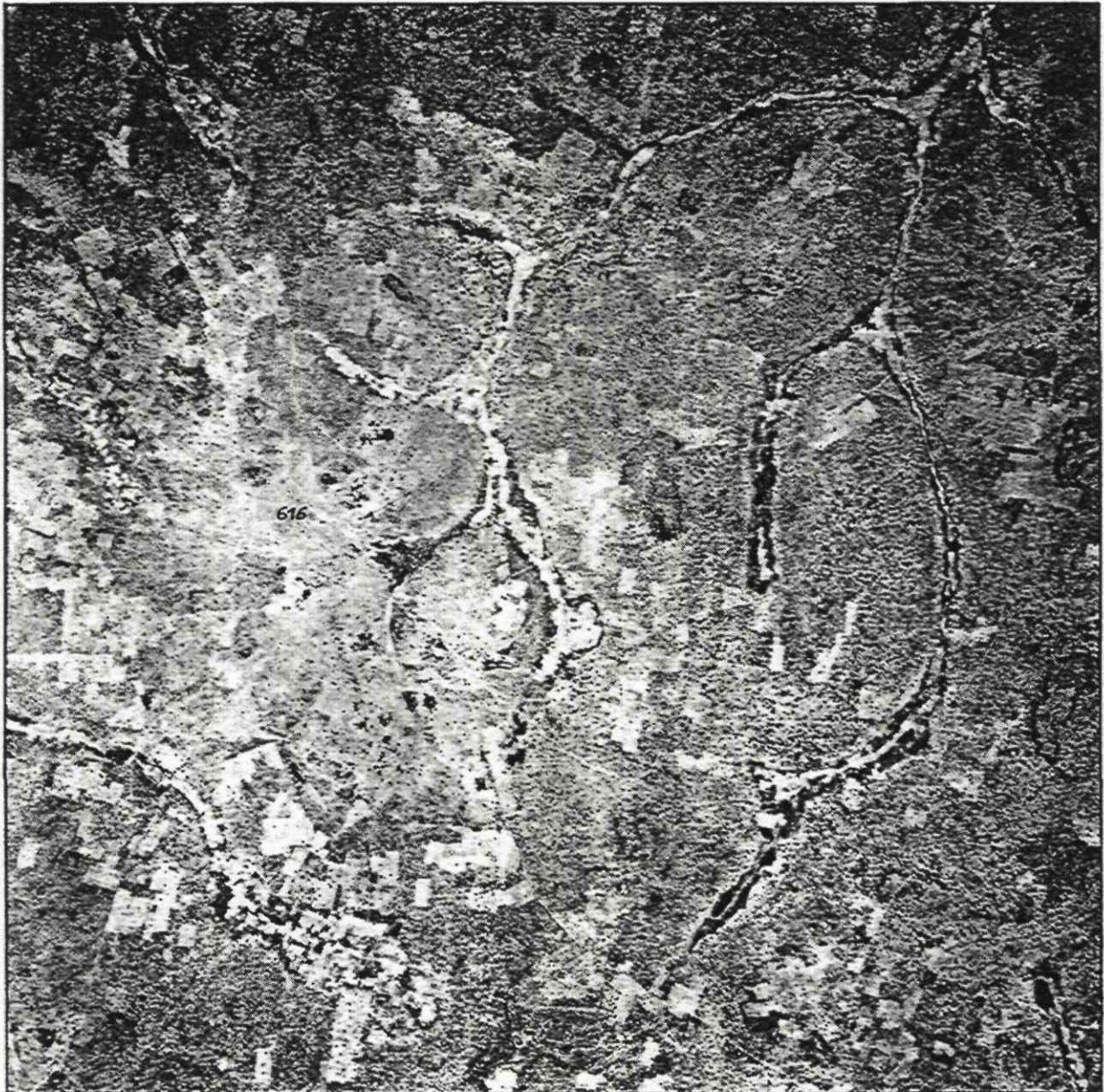
FIGURE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE	TYPE	OBSERVATIONS MORPHOLOGIQUES CRITERES D'IMPLANTATION	Epaisseur altération (m)	% échec forages	% échec puits
	1	Réseau arrondi, en "choux-fleur". Plateau cuirassé. Zones inondables. Faible pente du réseau hydrographique. Critères d'implantation : absence d'indices géologiques, zone inondable, filon, linéament dénivellation par rapport au marigot <15 m. Puits traditionnels nombreux.	20-25	16	35
	2	Réseau polygonal, en "nid d'abeille". Interfluves érodés. Affleurements fréquents Réseau forte pente. Marigots étroits. Forêt galerie. Cas difficile. Critères d'implantation : linéaments sécants larges, noeuds de fractures, replats. Rupture de pente avec changement de végétation. Pas de puits traditionnels.	10-15	54	Puits déconseillés
	3	Réseau orthogonal ou oblique. Interfluves érodés. Forte pente du réseau. Marigots temporaires étroits. Forêt galerie. Inselberg, affleurement. Cas peu favorable. Rechercher : site bas (alt. <5 m) noeud de fractures, filons, petits talwegs.	15-20	33	52
	4	Sur gneiss. Réseau pente faible. Cuirasse. Forêt galerie. Nombreux puits traditionnels. Rechercher : linéaments, replats la présence de granites (pour les puits). Pour les forages rechercher interfluves érodés, replats, linéaments.	15-24	43	42
	5	Zone forestière. On ne perçoit pas le réseau hydro. Zone granitique. Pente faible du réseau. Cuirasse. Nombreux puits. Grande largeur des zones de drainage. Aucun forage.	forte	?	26
	6	Schistes et granites. Zone indéterminée à secteurs variables. Epaisseur altération variable ; pas de puits. Chercher altération épaisse avec cuirasse, zone inondable absence d'éléments géologiques de surface, noeud de fractures	variable	26	pas de puits
	7	Schistes Birrimiens à linéation parallèle. Altération très épaisse. Pente du réseau faible. Larges zones inondables. Absence d'indices géologiques	>27	7	-
	8	Pas de puits. Pas de difficulté d'implantation des forages.	>60	faible	-
	9	Réseau digité, autour des collines de roches vertes, dans schistes Birrimiens. Chercher : marigot étroit avec forêt galerie. Filons de quartz et fractures	15-35	50	-

Fig. 24 - Prise en compte de critères morphologiques pour l'implantation des forages d'eau. Tableau récapitulatif.

RÉSEAU TYPE 1 - RÉGION NORD

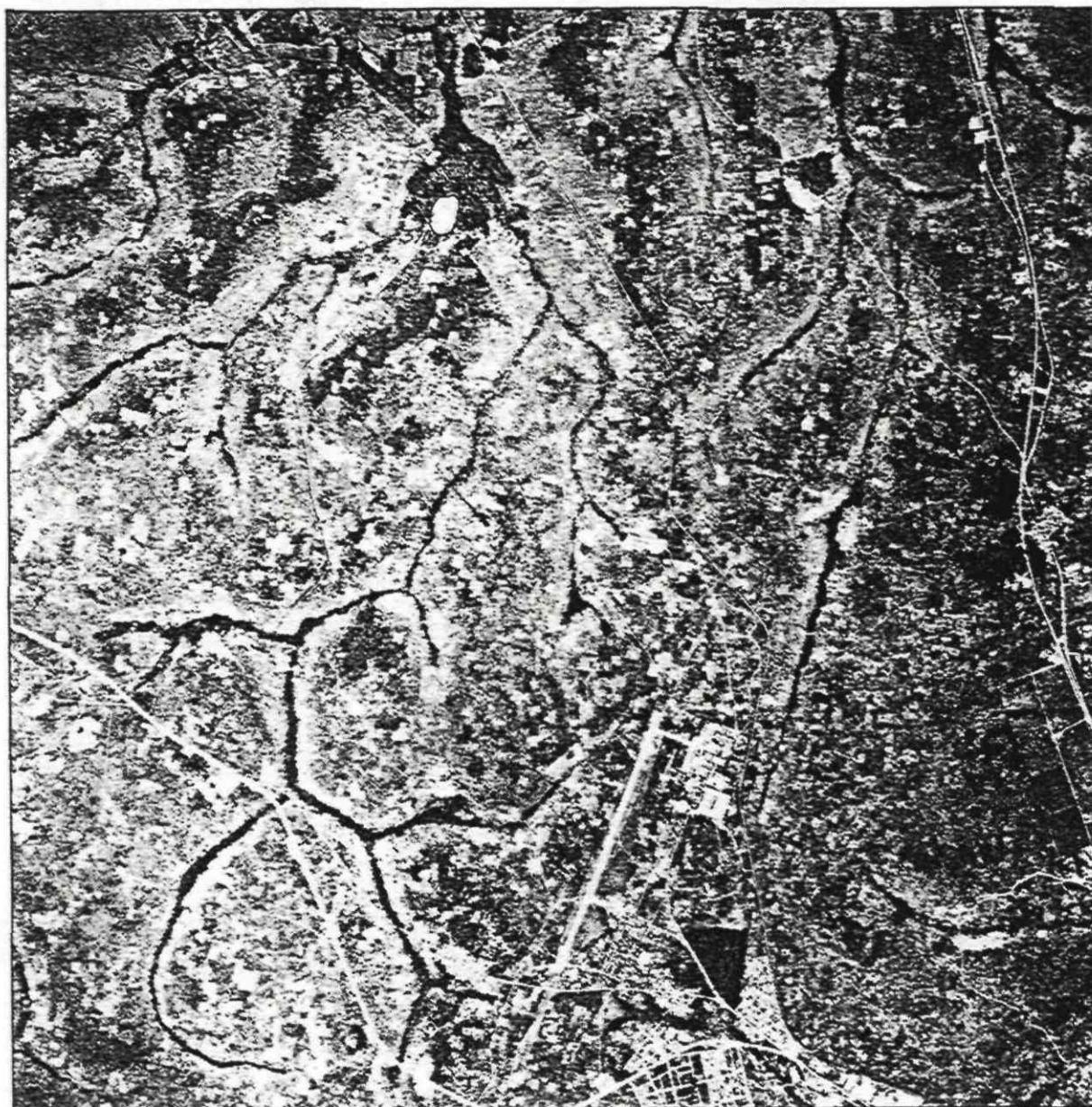
Photo UNDP 32 - 213 - Echelle 1/50 000



- Réseau hydrographique d'allure courbe ou arrondie ("choux fleur") délimitant des interfluves larges, arrondis ou allongés.
Thalwegs à fond plat, nombreuses zones inondables.
- Village PITIENGOMON (616) 1 sondage Calweld positif, socle non atteint à 23,70 m.

Fig. 25 - Prise en compte de critères morphologiques pour l'implantation des forages d'eau. Analyse des réseaux hydrographiques. Réseau de type 1.

Photo UNDP 45 - N° 192 - Echelle 1/50 000



- Réseau polygonal à 3 directions proches de 120° avec tronçons rectilignes de plusieurs kilomètres - Aspect nid d'abeille ou panneaux anguleux allongés.

- Village: PANGBABO (370) 3 sondages .Calweld négatifs - socle à 9,90 m ,
13,30 et 14,60 m
3 forages négatifs - 1 forage positif.

Fig. 26 - Prise en compte de critères morphologiques pour l'implantation des forages d'eau. Analyse des réseaux hydrographiques. Réseau de type 2.

RÉSEAU TYPE 3 - RÉGION OUEST

Photo 72 CIV 026 / 500 N° 039 - Echelle 1/50000



- Réseau rectiligne à 2 directions orthogonales ou obliques, avec petits affluents courts. Inselbergs à parois verticales.

- Villages NIANHOULEGO (345) 3 sondages Colweld positifs (test géophysique) socle vers 22 m. 1 puits 21 m³/j.

- DIAKALA (358) 3 sondages Colweld, socle atteint à 3 m et 19,20 m. 1 puits 14 m³/j.

Fig. 27 - Prise en compte de critères morphologiques pour l'implantation des forages d'eau. Analyse des réseaux hydrographiques. Réseau de type 3.

3.3.3. Les essais hydrauliques

Une station de pompage expérimentale a été réalisée en Côte-d'Ivoire à proximité de Yamoussoukro à des fins de programmes de recherche axés sur l'hydrodynamique souterraine et les ressources en eau. Cette station est équipée de 30 forages et sondages opérationnels, tant dans le socle que dans les altérites à diverses profondeurs. Les résultats publiés concernent les aquifères fissurés ; l'aquifère des altérites doit faire l'objet d'une note détaillée (indication provenant d'un article de 1987).

Yamoussoukro dans un contexte de climat tropical humide de transition, avec un module pluviométrique de 1 200 mm environ, et des températures moyennes annuelles de 26°C. Le sous-sol est constitué par des granitoïdes du socle précambrien. Il est recouvert par des altérites argilo-sableuses de 13 à 25 m d'épaisseur.

Trois types d'approche au moins sont utilisés pour analyser les pompages d'essai dans un aquifère fissuré :

- 1) le milieu fissuré est assimilé à un milieu poreux équivalent ;
- 2) un système à double porosité (la matrice, à coefficient d'emménagement élevé et à faible perméabilité, et le réseau de fractures à faible coefficient d'emménagement et à forte conductivité hydraulique) est considéré ;
- 3) la ou les fractures recoupées par le puits sont assimilées à une fracture unique, de perméabilité donnée, le reste de l'aquifère étant représenté par un milieu poreux anisotrope ou pas, homogène, à faible perméabilité et à fort coefficient d'emménagement.

Le phénomène le plus intéressant mis en évidence par les essais réalisés est la variation des paramètres hydrauliques, d'une part suivant la distance des piézomètres au point de pompage, d'autre part, suivant la position du point de pompage par rapport à chacun des piézomètres : il y a tendance à l'augmentation puis à la stabilisation lorsque la distance augmente et que le "volume élémentaire représentatif" est atteint. Ce phénomène est à mettre en relation avec l'hétérogénéité du milieu, elle-même liée étroitement à la géométrie du réseau fissuré. Les valeurs calculées au puits de pompage, pour des temps généralement courts, n'auront donc qu'une signification locale, en fonction de la géométrie de la fracture recoupée et de son interconnexion avec le réseau fissuré. La partie de la courbe interprétable au puits ou dans les piézomètres, sera le plus souvent limitée par l'effet de fissure unique ou de capacité de l'ouvrage d'une part, et d'autre part, par l'effet de drainance.

Certains auteurs (Faillat, Drogue) soulignent l'utilité de mettre au point des méthodes qui tiendraient compte à la fois :

- de l'influence prépondérante que peut avoir la géométrie de la fissure recoupée par le forage de pompage sur l'allure du cône de rabattement ;
- de l'effet de l'anisotropie, au moins à une certaine distance de la fracture unique ;

- de l'effet de drainance ;
- du fait qu'en zone de socle éruptif, la matrice rocheuse n'est pratiquement jamais poreuse mais est le siège de microfissures plus ou moins abondantes.

3.4. ANALYSES DES RESULTATS DE PRODUCTIVITE EN FONCTION DE LA LITHOLOGIE

Des paramètres plus spécifiques à l'hydrogéologie, comme par exemple l'épaisseur et le degré d'altération des altérites, sujet abordé dans plusieurs publications sur l'Afrique, sont plus délicats à extrapoler en Guyane. Il n'est pas sûr en effet que ces formations superficielles aient subi une altération similaire en raison de facteurs climatiques locaux spécifiques.

Dans le domaine des altérites, la bibliographie indique le plus souvent que plus les altérites sont épaisses, mais à condition qu'elles ne dépassent pas 30 m de puissance, plus la possibilité de trouver de bonnes réserves d'eau est grande. Cette eau se localisera dans la partie inférieure des altérites (isaltérites), moins argilisée que dans leur partie supérieure (allotérites).

Néanmoins, Lenck (1977) note à propos de 900 forages réalisés en Côte-d'Ivoire que les débits rencontrés étaient inversement proportionnels aux épaisseurs des altérites ; il est même fréquent d'obtenir des débits très importants lorsque la frange altérée est très peu épaisse (1 à 2 m) ou même nulle.

De son côté, J.P. Faillat (1986) conclut que la recherche d'une relation entre débit spécifique Q/s et épaisseur des altérites par le report sur graphique log-log ne permet pas de dégager ne serait ce qu'une tendance évolutive entre ces deux paramètres. C'est là un résultat qui paraît en contradiction avec l'hypothèse vraisemblable d'une relation étroite entre épaisseur des altérites et intensité de la fracturation du socle sous-jacent.

Cependant, outre les incertitudes sur Q/s et sur l'épaisseur des altérites, qui doivent contribuer fortement à la dispersion des points représentatifs, il faut noter que l'action de l'érosion, le développement préférentiel de l'altération suivant certaines directions de fracturation, en relation avec les paléoconditions aux limites, font qu'un forage peut être implanté sur une fracture à bonne hydraulicité, bien que sous recouvrement faible.

En définitive, pour Langsdorf (1977) les zones de roches cristallines et schisteuses les plus prometteuses pour l'exploitation de l'eau souterraine sont celles où la texture de la roche a été ameublie par l'altération, mais qui n'est pas encore désagrégée. Pour le Bénin (précipitations comprises entre 1300 mm et 2000 mm/an), il donne des ordres de grandeurs de débits spécifiques $\frac{\text{(litre)}}{\text{heure} \times \text{mètre}}$ suivant la nature des roches et en conditions géomorphologiques favorables :

Quartzite	2 400 l/h/m
Roche filonienne basique	> 2 000 l/h/m
Alternance de couches aréno-schisteuses	1 000 l/h/m
Gneiss granitique et pegmatitique, granite	> 250 l/h/m
Gneiss à hornblende-biotite, schiste micacé	0-100 l/h/m

4. Recherche de techniques et d'outils de forage adaptés au contexte des villages des fleuves

Ce travail a été confié à la direction de la production et du développement d'ANTEA, filiale d'ingénierie et de conseil du groupe BRGM. Il a fait l'objet d'un rapport (Gutierrez *et al.*, 1997) joint en annexe au présent document.

Bibliographie

Références documentaires spécifiques à la synthèse bibliographique (§ 4.)

- Anonyme (1990). L'hydrogéologie de l'Afrique de l'Ouest. Synthèse des connaissances. Socle cristallin et cristallophylien et sédimentaire ancien. Univ. d'Avignon - CEFIGRE, 2ème édition : 1990.
- Anonyme (1992). Document - guide pour l'implantation et la mise en exploitation des forages à gros débits en zone de socle cristallin. CIEH (Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques), 1992.
- Anonyme (1980). Méthodologie de la recherche hydrogéologique en zone de socle cristallin. BURGEAP-DCH Côte d'Ivoire, 1980.
- Anonyme (1989). Recherche et exploitation des eaux souterraines dans les zones rurales de l'Ouaddai (géographique), République du Tchad. Rapport de fin de campagne. UN/DCTD. 1989.
- Anonyme (1987). Groundwater Conference Crystalline Basement Rocks of Africa, Harare, Zimbabwe, June 15-24, 1987 (38 publications).
- Asomaning G. (1992). Groundwater resources of the Birim basin in Ghana. *Journal of African Earth Sciences*. Vol. 15, n° 3/4, pp. 375-384.
- Assouma D. (1988). Etude par modèle mathématique de la structure et du fonctionnement d'un aquifère de socle exploité en région tropicale (alimentation en eau potable de la ville de Dapaong, Togo). Thèse 3ème cycle, Univ. Orléans.
- Bernardi A., Detay M., Marchard de Gramont. (1988). Recherche d'eau dans le socle africain. Corrélation entre les paramètres géoélectriques et les caractéristiques hydrodynamiques des forages en zone de socle. *Hydrogéologie*, n° 4, pp. 245-253, 7 fig.
- Detay M., Poyet P., Emsellem Y., Bernardi A., Aubrac G. (1989). Influence du développement du réservoir capacitif d'altérites et de son état de saturation sur les caractéristiques hydrodynamiques des forages en zone de socle cristallin. *C.R. Aca. Sci.*
- Faillat J.P. (1986). Aquifères fissurés en zone tropicale humide : structure, hydrodynamique et hydrochimie (Afrique de l'Ouest). Thèse, Montpellier, 536 p.

- Faillat J.P., Drogue C. (1987). Influence de l'effet d'échelle, de l'hétérogénéité et de la connexité des aquifères fissurés sur le comportement des forages en zone de socle (Afrique de l'Ouest). *Journal of Hydrology*, 90 (1987) 159-182.
- Langsdorf (1977). Possibilités d'exploration d'eau souterraine dans les structures schisteuses et cristallines altérées du Dahomey. Pascal-Geode BRGM 77-2.0381081.
- Lenck P.P. (1977). Données nouvelles sur l'hydrogéologie des régions à substratum métamorphique ou éruptif. Enseignements tirés de la réalisations de 900 forages en Côte d'Ivoire. *C.R. Aca. Sci.*

Bibliographie des autres parties du rapport

- Besse A. (1996). Reconnaissance par prospection électrique à Maripasoula (Guyane). Rapport BRGM R39178 DGA 96.
- Comte J.P., Durand F., Rampnoux N. (1997). Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux de la Guyane. Rapport BRGM R39416, atlas cartographique.
- Gutierrez A., Bertet E., Rampnoux N. (1997). Identification de techniques de forage et complétion adaptés au contexte des villages des fleuves de Guyane. Rapport ANTEA A 08694, 23 p., 5 fig., 2 tabl., 1 ann.
- Lachassagne P., Besse A., Laporte P., Rampnoux N. (1997). Ile de Cayenne (Guyane). Hydrogéologie du socle fracturé. Mise au point de méthodologies de prospection, exploitation et gestion des aquifères. Rapport d'avancement au 31/12/96. Rapport BRGM R 39311 DR/HGT 97, 63 p., 16 fig., 1 tabl., 4 ann.
- Lachassagne P., Pointet Th. (1995). Recherche d'eau souterraine en Guyane : villages des fleuves. Rapport d'avancement au 31/12/94. Rapport BRGM R 38359 DR/HYT 95, 22 p., 1 fig., 1 tabl.
- Lachassagne P., Rampnoux N., Deroin J.P., Dutartre Ph., Laporte P., Mercier F. (1996). Compréhension de l'hydrogéologie du socle fracturé. Mise au point de méthodologies de prospection : villages des fleuves de Guyane. Rapport d'avancement au 31/12/95. BRGM/Direction de la Recherche. Rapport BRGM R38760 DR/HGT 96, 41 p., 19 fig., 2 tabl., 2 ann.
- Mercier F., Miehe J.M. (1996). Reconnaissance par prospection électrique sur le secteur de Camopi (Guyane). Rapport BRGM N2159 DGA 96, 22 p., 6 fig.
- Rampnoux N. (1996a). AEP du bourg de Camopi. Suivi et réalisation des sondages de reconnaissance. Etat d'avancement du chantier de sondages de reconnaissance au 6/02/96. Note BRGM/SGN/GUY du 7/02/96, 4 p., 0 fig., 0 tabl., 0 ann.

- Rampnoux N. (1996b). AEP du bourg de Camopi. Suivi et réalisation des sondages de reconnaissance. Etat d'avancement du chantier de sondages de reconnaissance au 26/03/96. Note BRGM/SGN/GUY du 27/03/96, 7 p., 0 fig., 0 tabl., 0 ann.
- Rampnoux N. (1996c). AEP du bourg de Camopi. Implantation du CR2-3. Note sur l'implantation du forage de remplacement du CR2-2. Note BRGM/SGN/GUY du 13/06/96, 2 p., 0 fig., 0 tabl., 0 ann.
- Rampnoux N., Lachassagne P., Laporte P., Besse A. (1996a). Alimentation en eau potable du bourg de Grand Santi. Commune de Grand Santi (Guyane). Recherche d'eau souterraine. Propositions d'implantation de sondages de reconnaissance. Rapport BRGM R39012 SGR/GUY 96, 22 p., 10 fig., 0 tabl., 3 ann.
- Rampnoux N., Lachassagne P., Laporte P., Besse A. (1996b). Alimentation en eau potable de la ville de Maripasoula (Guyane). Recherche d'eau souterraine. Propositions d'implantation de sondages de reconnaissance. Rapport BRGM R39192 SGR/GUY 96, 29 p., 14 fig., 0 tabl., 3 ann.
- Rampnoux N., Laporte P. (1996c). Alimentation en eau potable de la commune. Pompages en période de "basses eaux" sur les forages CR1 et CR2. Camopi (Guyane). Compte rendu du suivi des pompages. Rapport BRGM N2380 SGR/GUY 96, 16 p., 11 fig., 7 tabl., 3 ann.
- Rampnoux N., Laporte P., Besse A. (1996d). Alimentation en eau potable du village de Loka. Commune de Papaïchton (Guyane). Recherche en eau souterraine. Rapport BRGM R39011 SGR/GUY 96, 36 p., 10 fig., 0 tabl., 3 ann.
- Rampnoux N., Laporte P., Noel J.P. (1996e). Alimentation en eau potable de la commune. Pompages par paliers et de longue durée sur les forages CR1 et CR2. Commune de Camopi (Guyane). Rapport BRGM R39010 SGR/GUY 96, 12 p., 10 fig., 5 tabl., 1 ann.



Ministère de l'industrie,
de la Poste et des
Télécommunications



MINISTÈRE DE
L'ENVIRONNEMENT



UNION EUROPEENNE

DOCUMENT PUBLIC



REGION
GUYANE

*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*

ANNEXE

A 08694

mai 1997

R 39310



IDENTIFICATION DE TECHNIQUES ET MATERIELS DE FORAGE ET COMPLETION ADAPTES AU CONTEXTE DES VILLAGES DES FLEUVES DE GUYANE

Auteur : Alexis GUTIERREZ
Avec la collaboration de Nicolas RAMPNOUX (BRGM Guyane)
et Eric BERTET

24 février 1997

Rapport définitif

A 08694



Sommaire

1. RAPPEL DU CONTEXTE GÉNÉRAL	2
1.1. Contexte géographique.....	2
1.2. Contexte hydrogéologique	2
1.2.1. Contexte de forage	4
1.2.2. Faisabilité technique	5
2. CONSULTATION D'ENTREPRISES DE FORAGE	7
2.1. Choix des entreprises.....	7
2.2. Synthèse	9
3. CAHIER DES CHARGES TYPE POUR LA RÉALISATION DE FORAGES POUR L'ALIMENTATION EN EAU DES « VILLAGES DES FLEUVES »	12
3.1. Article 1 : Objet et étendue des travaux	12
3.2. Article 2 : Matériel.....	12
3.3. Article 3 : Contexte géographique et Implantation des ouvrages	13
3.4. Article 4 : Coupe géologique prévisionnelle	13
3.5. Article 5 : Programme de forage	14
3.5.1. Forage carotté	15
3.5.2. Forage destructif.....	16
3.5.3. Fin du forage et développement.....	17
3.6. Article 6 : Prestations particulières de l'entrepreneur.	17
3.7. Article 7 : Directives du maître d'ouvrage et du maître d'oeuvre	18
3.7.1.....	18
3.7.2.....	18
3.7.3.....	18
3.8. Article 8 : Conseil technique attaché au maître d'oeuvre	18
3.8.1.....	18
3.8.2.....	18
3.9. Article 9 : Personnel du maître d'ouvrage et du maître d'oeuvre.....	18
4. ANNEXES : ÉLÉMENTS POUR LE CALCUL DU COÛT	
4.1.1. Transport par pirogues	
4.1.2. Transport aérien	

Cette note s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche dirigé par le BRGM-DR-HGT concernant la mise au point de méthodologies de prospection, captage, gestion et exploitation des eaux souterraines de Guyane. Dans cette étude, Antea a été chargé du volet concernant principalement la faisabilité technique de forages pour l'alimentation en eau des "villages des fleuves".

1. Rappel du contexte général

1.1. Contexte géographique

L'appellation "villages des fleuves" désigne un ensemble de villages situés le long des deux fleuves principaux qui constituent les frontières de la Guyane : le Maroni à l'Ouest et l'Oyapock à l'Est (cf. carte en Figure 1). Ces villages sont pour la plupart constitués d'une population sédentaire d'une centaine de personnes. La zone habitée ne s'étend généralement pas au delà d'une distance de 500 m vers la forêt.

Le fleuve est le seul moyen de communication entre ces villages à l'exception de deux villes plus importantes (Maripasoula sur le Maroni et St-George sur l'Oyapock) qui disposent de pistes d'atterrissages bétonnées et donc de liaison aérienne régulière. L'ensemble des transports de matériel et de denrées se fait essentiellement par pirogue.

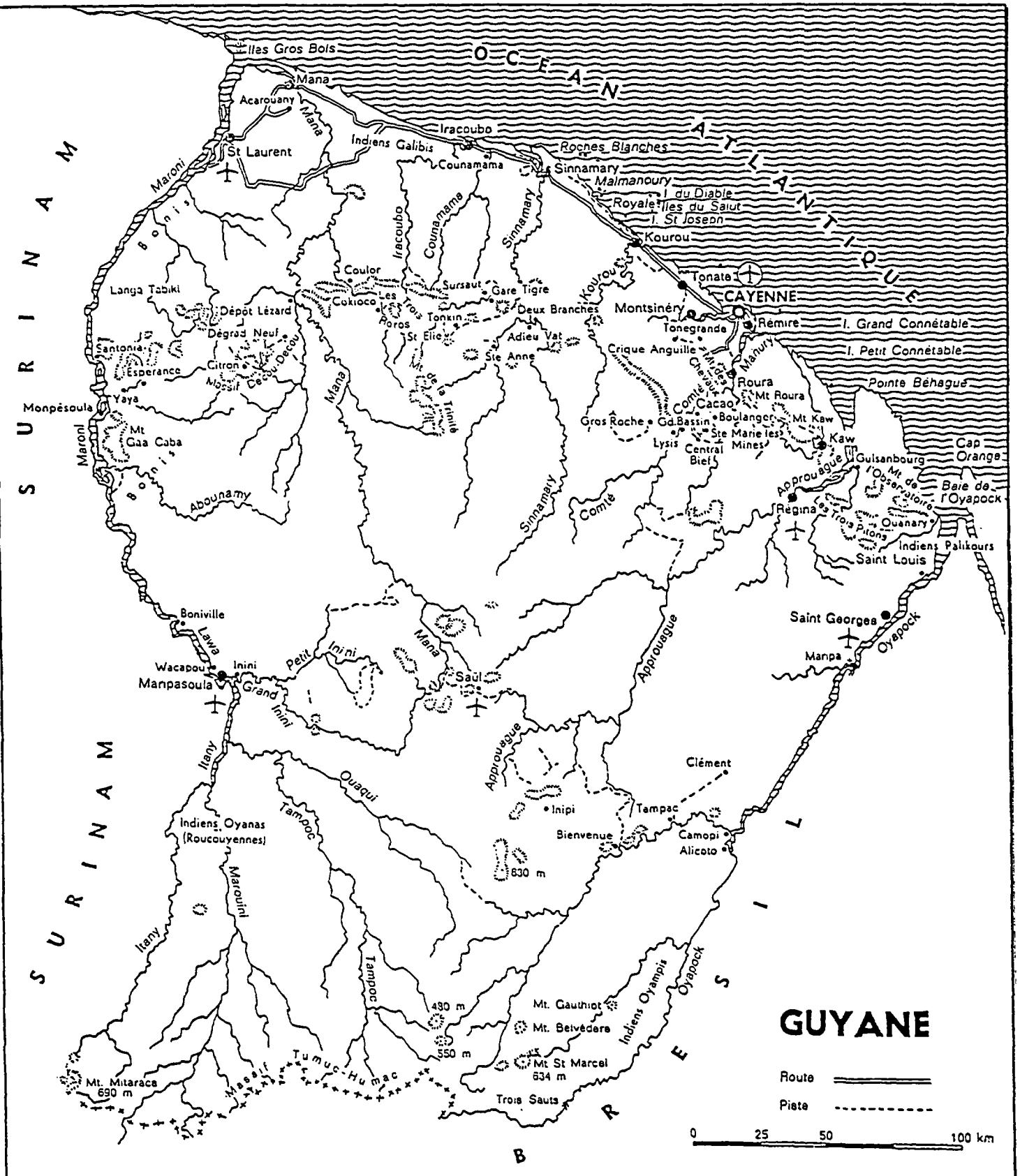
Les autres fleuves sont peu utilisés, sauf dans le cadre des chantiers de recherche minière ou du tourisme. Les fleuves de Guyane se caractérisent par l'existence de zones de rapides (les "sauts") qui sont des zones de passages difficiles qui nécessitent une connaissance des "passes". En très basses eaux, il est parfois nécessaire de décharger et recharger des marchandises des pirogues à ces endroits..

1.2. Contexte hydrogéologique

Les formations cibles sont des roches plutoniques et métamorphiques, souvent très dures. Ces roches sont surmontées d'une couche d'altérites de type latéritique, parfois très épaisses (10 à 70 m.). Près des fleuves les forages traverseront des alluvions sur une dizaine de mètres en moyenne.

Les formations plutoniques et métamorphiques sont donc susceptibles d'être rencontrées à partir de 20 m. de profondeur, mais peuvent n'apparaître que beaucoup plus profondément selon les endroits. Les formations alluviales, ainsi que des horizons sableux résultant de l'arénisation au toit des formations métamorphiques, sont à considérer comme une cible potentielle. Il existe déjà par endroits de petits ouvrages dans les formations alluviales mais qui s'assèchent en période de basses eaux.

Figure 1 : Géographie de la Guyane



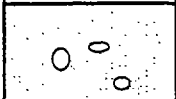
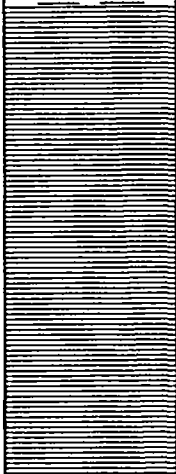
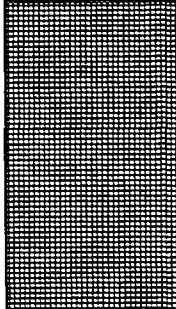
Géologie	Description
	<p style="text-align: center;">Alluvions Matériau très hétérogène (sablo argileux) épaisseur variable (0 à 20 m.)</p>
	<p style="text-align: center;">Altérites épaisseur très variable (20 à 70 m., voire 100 m.)</p>
	<p style="text-align: center;">Socle cristallin fracturé Pénétration minimale de 25 m.</p>

Figure 2 : Coupe géologique prévisionnelle

1.2.1. Contexte de forage

Les formations de tête (formations alluviales et argiles latéritiques) sont généralement instables en forage. Elles ont tendance à refermer le trou. Il est donc nécessaire de prévoir un tubage à l'avancement. En outre, elles ne permettent pas de concevoir simplement des mises en place de tubage provisoire.

L'objectif de rendement de l'ouvrage est supposé être satisfait avec l'emploi d'une pompe 4 pouces. Les ouvrages de captage devront être réalisés en tenant compte de cette contrainte.

Etant donné les conditions de transport sur pirogue, il faut nécessairement utiliser une machine légère, si possible démontable en une dizaine d'éléments, l'élément le plus lourd étant généralement le moteur.

Il est également important d'utiliser des techniques rapides afin que le matériel puisse être réacheminé par le fleuve avant que le niveau de ce dernier ne soit trop bas.

La diversité des terrains à traverser imposera peut-être l'utilisation de techniques mixtes, à l'air et à la boue. En effet le passage des altérites est difficilement concevable à l'air si celles-ci sont épaisses. Elles se lessivent et se cavent, et posent, en plus des problèmes de stabilité, des risques de colmatage de l'outil.

Par contre, la foration des terrains cristallins imposera l'utilisation d'un matériel extrêmement résistant. Des forages dans le socle effectués par des entreprises locales ont usé des marteaux inadaptés en quelques mètres.

D'une manière générale, la réalisation de ce type de forage d'eau nécessite des moyens et des compétences solides dans ce type de travaux. Il est conseillé de faire appel à une entreprise ayant une expérience reconnue dans ce domaine.

1.2.2. Faisabilité technique

- Rappel des contraintes techniques

Contraintes de transport

transport fluvial

L'ensemble des transports de matériel et de denrées se fait essentiellement par des pirogues traditionnelles en bois. Les plus grandes pirogues font une longueur de 13 à 15 m. maximum, une largeur maximale d'environ 1.50 m. et peuvent supporter une charge de 5 tonnes si celle-ci est convenablement répartie sur la pirogue. Les colis ne doivent pas dépasser une hauteur de 1.50 m. en moyenne (variable en fonction de la position de leur centre de gravité).

Les pirogues sont parfois assemblées pour convoier des charges plus lourdes ou plus volumineuses, lorsque la destination et les conditions de navigation le permettent.

La navigation est la plus aisée en fin de saison des pluies (juillet) lorsque les eaux des fleuves sont hautes. La charge maximale est possible à cette période. En basses eaux, les difficultés de navigation peuvent compromettre ou empêcher le transport des engins et appareils lourds. La charge utile par pirogue est alors diminuée de 25 à 50 % (soit 2.5 tonnes).

Les temps de transports constituent également une contrainte importante. Ils peuvent durer, en fonction de la localisation et de la saison, jusqu'à 10 jours.

Des barges sont parfois spécialement conçues pour transporter des masses d'une vingtaine de tonnes vers les chantiers d'exploitation aurifère; des engins de terrassements (jusqu'à 10 tonnes, ou même 12 tonnes) en partie démontés sont acheminés de cette façon vers les chantiers par les fleuves tel que sur le Maroni jusqu'à Maripasoula et sur l'Innini. De même sur l'Oyapock de Saut Maripa à Camopi, et sur le Camopi jusqu'à Saut Alexis.

Sur l'Oyapok entre Cayenne et St-Georges, il existe un bateau de transport de type "ferry" la "Normélia", avec un voyage tous les 15 jours (190 F/m³). Il est possible de transporter du matériel lourd, de type engins de travaux publics.

Transport aérien

Les autres moyens de transport sont limités au transport aérien qui est soit trop coûteux, soit inadapté pour le transport de matériel de forage. En effet, la plupart des avions effectuant des liaisons avec des pistes en terre battue situées à l'intérieur du pays ne peuvent acheminer plus d'une tonne. De même, l'héliportage est cher et limité à des charges de 500 kg sur les longues distances. Enfin les avions militaires (Transals) qui peuvent emporter du matériel lourd, ne peuvent se poser que sur des pistes aménagées bétonnées.

Le transport aérien est limité aux zones desservies par des aérodromes.

Les départs se font depuis l'aéroport international de Rochambeau, qui dispose de toutes les infrastructures nécessaires.

Pour les sites desservis par avion, il existe deux pistes revêtues (béton) ; quant aux autres, leur état et leur capacité d'accueil varient beaucoup. Il s'agit de terrain d'atterrissage de classe D1 équipé d'une piste en latérite compactée permettant de recevoir des monomoteurs ou de petits bimoteurs (cf. Tableau 1 suivant).

Désignation	longueur piste (m)	observation
Aérodromes "publics"		
Maripasoula	1200	piste revêtue, accessible par piste depuis le bourg
St-Georges	1200	piste revêtue, accessible par piste depuis le bourg
Grand Santi	800	piste en mauvais état en saison des pluies, accessible par piste depuis le bourg
Camopi	950 (1200)	piste en cours de ré-aménagement (allongement et élargissement), non accessible par piste depuis le bourg, rivière Camopi à traverser
Saül	1200	accessible par piste depuis le bourg
Principaux Aérodromes privés (sites d'exploitation aurifère)		
Délices	500	
Dorlin	360	
Saint Elie	440	
Paul-Isnard	650	
Espérance	700	

Tableau 1 : terrains d'atterrissage de l'intérieur de la Guyane (zones non accessibles par la route)

Dans le cas d'affrètement d'avions de type "tourisme" (Guyane Aéro Services) : la capacité des avions est très réduite, il s'agit d'avions de petite taille ne permettant que le transport de colis de taille réduite et de poids limité (280 à 500 kg) (cf. tarifs en annexe 1).

Il existe actuellement deux avions "cargos" monomoteurs, destinés au transport de fret, soit en vols réguliers (Air Guyane), soit en affrètement (Guyane Aéro Services). Ils permettent le transport de colis ou de matériel plus important (plusieurs m³) (cf. tarifs en annexe 1).

2. Consultation d'entreprises de forage

2.1. Choix des entreprises

Le contexte de forage a été présenté à trois entreprises de forage métropolitaines, qui ont accepté de nous répondre. Chaque entreprise propose des techniques différentes, en fonction de son expérience et de ses capacités matérielles.

L'objectif demandé aux entreprises est de réaliser une série de forages de 6 pouces à 150 m. de profondeur maximale avec un matériel démontable et transportable par pirogues.

Les entreprises contactées sont représentatives des sociétés de forage métropolitaines susceptibles, de par leur taille et leur expérience sur des projets similaires, de proposer une solution technique viable.

Il s'agit de :

- la Société COREIS, qui a déjà l'expérience du forage en Guyane et possède un représentant local.
- La Société FORACO, qui dispose d'une machine sur place et a déjà réalisé de nombreux forages en Guyane profonde dans le domaine minier.
- La Société BONIFACE, sans expérience spécifiquement guyanaise, mais qui dispose de son propre atelier de machines de forage et est donc susceptible de développer un équipement spécialisé pour un tel projet.

ANTEA a eu l'occasion de travailler à plusieurs reprises avec ces entreprises, notamment dans des projets nécessitant des transports de foreuse sur barge (Zones lacustres du Benin, Gabon, Guinée Bissau ...)

Les résultats de la consultation de ces entreprises sont présentés dans le Tableau 2.

	Entreprise		
	COREIS	FORACO	BONIFACE
technique			
Recouvrement alluvial	tubage à l'avancement MFT ou Tricône à l'air	Rotary à la boue.	Rotary à l'air en circulation inverse, avec adjonction de boue polymère.
Altérites	tubage à l'avancement Tricône à l'air	Rotary à la boue.	Rotary à l'air en circulation inverse, avec adjonction de boue polymère.
Roches métamorphiques	Marteau fond de trou	Carottage	Marteau fond de trou en circulation inverse
diamètres			
Recouvrement alluvial	Non spécifié	216 mm (8"1/2)	311 mm (12"1/4)
Altérites	Non spécifié	159 mm (6"1/4)	311 mm (12"1/4)
Roches métamorphiques	149 mm (5"7/8)	122 mm (PQ)	225 mm (8"7/8)
tubages			
Recouvrement alluvial	PVC plein 190 mm int.	tubage provisoire 178 mm (7")	tubage provisoire PVC 260-285 mm (10")
Altérites	PVC vissé lisse 152,4 mm	tubage provisoire 127 mm (5")	tubage provisoire PVC 260-285 mm (10")
Roches métamorphiques	PVC vissé lisse 112-125 mm plein et crépiné	PVC plein et crépiné 110-113 mm	tubage PVC plein et crépiné 150-165 mm (6")
logistique			
sondeuse	sondeuse sur chenille, 12 tonnes 3 pirogues assemblées	Longyear 38 14 tonnes 4 pirogues séparées.	BF 250 CI sur tracteur 10 tonnes 3 pirogues assemblées
compresseur	Compresseur 17 b. sur roue, env. 6 tonnes 2 pirogues assemblées	pas de compresseur	Compresseur 14 b. 13 m3/mn, 3.6 tonnes sur 2 pirogues assemblées
tiges et tubages	tiges et tubages de 3 m. 2 tonnes pirogues individuelles	tiges de carottage et tubages de 3 m. 2 tonnes pirogues individuelles	tiges et tubages de 3 m. 2 tonnes disposés sur remorque
transport à terre	compresseur tiré par la sondeuse, autre équipement à dos d'homme	Sondeuse fixe (sur skids) Transport des colis à dos d'homme ou avec les moyens locaux	Tracteur + remorque contenant équipements et consommables 12.5 tonnes pirogues assemblées
débarquement	rampe de déchargement	non spécifié	rampe de déchargement

Tableau 2 : consultation d'entreprises de forage

2.2. Synthèse

Les éléments transmis par les sociétés de forage, associés à l'expérience du personnel du SGR Guyane, permettent de définir le cadre technique d'un programme de forage d'eau pour l'alimentation des villages des fleuves.

Ce programme est défini pour un forage de profondeur maximale de 150 m.. Cette profondeur est vraisemblablement surestimée dans la majorité des cas de figure, car elle est basée sur des hypothèses d'épaisseur totale des alluvions et des latérites très importante. Ce schéma constitue la configuration la plus difficile à réaliser, et la plus lourde au niveau logistique. Un programme de travail répondant à cette contrainte sera a fortiori capable de réaliser des forages de moins grande profondeur.

Les propositions présentées par COREIS et BONIFACE sont très satisfaisantes sur le plan technique, car elles reposent sur l'utilisation d'un matériel puissant et performant dans ce type de formation. En effet, la recherche d'eau dans le socle est basée sur l'intersection par le forage de fractures dans les roches métamorphiques, qui constituent le siège de la circulation de l'eau souterraine. Il y a donc lieu de privilégier des techniques qui ne soient pas limitées par la profondeur à forer. De plus les techniques de foration à l'air permettent l'acquisition des informations sur la profondeur des venues d'eau, essentielles pour un positionnement efficace des équipements de captage éventuels. Ces techniques permettent de répondre sans difficulté à l'objectif fixé (forage de 150 m. équipé d'une pompe 4 pouces), la profondeur n'étant pas le facteur limitant pour ce type de machine.

Cependant, de l'avis des ingénieurs locaux, les conditions de navigation ne permettent pas toujours un assemblage de pirogues et certains éléments des équipements proposés par ces deux entreprises ne sont pas démontables en colis plus petits. Ces solutions ne sont donc pas adaptables à la totalité des sites pour lesquels une recherche d'eau est envisagée. En effet, une partie des villages des fleuves (qui constitue cependant une minorité) n'est pas accessible avec un assemblage de pirogues du fait de l'existence de « sauts » sur le fleuve. Cette configuration restreint l'utilisation des méthodes préconisées par COREIS ou BONIFACE aux villages accessibles par assemblage de pirogues.

BONIFACE se déclare disposé à examiner la faisabilité d'un équipement Marteau-fond-de-trou entièrement démontable, à condition évidemment que le nombre d'ouvrage qui serait ainsi réalisé permette l'amortissement des frais engagés dans la création d'une machine spécifique. Néanmoins, l'utilisation d'une nouvelle machine n'est pas forcément un avantage, surtout pour un terrain aussi peu accessible, dans le cas où, par exemple, une pièce s'avérerait défectueuse ou mal conçue.

Il est intéressant de signaler qu'une recherche sur Internet a permis de constater que ce projet avait un caractère novateur. Bien que loin d'avoir un caractère exhaustif, la communauté scientifique contactée par ce moyen n'a pas été capable de citer des cas d'expériences similaires pour des ouvrages aussi profonds.

D'après les informations obtenues, les moyens utilisés pour alimenter en eau ce type de villages, sont soit des forages de faible profondeur (généralement dans les alluvions) soit des mini-stations de traitement de l'eau des fleuves. Dans le cas des forages, la technique utilisée est souvent le battage, qui permet de s'affranchir de l'encombrement des tiges de

forage et des équipements de chantier (compresseurs, pompes à boue, etc...), mais cette technique est limitée aux formations meubles. Elle ne permet ni un rendement de foration efficace, ni une profondeur suffisante pour l'objectif de cette étude.

Une organisation américaine, Lifewater International, a fait fabriquer une machine transportable par pirogue, pour réaliser des forages en Guyane Britannique. Mais cette machine est destinée à réaliser des ouvrages de 30 m. en formation non consolidée.

FORACO propose de son côté une solution simple et légère, adaptable à l'ensemble des villages. De plus, la récupération des carottes procure à l'hydrogéologue une information parfaite sur la position des fractures, sans toutefois permettre une identification du débit associé à ces fractures.

Cependant FORACO ne garantit pas que sa sondeuse atteigne la profondeur de 150 m. au diamètre prévu (122 mm), et a établi son programme pour une profondeur moyenne de 60 m.. De plus le transport de la sondeuse d'un endroit à un autre est limité et fortement dépendant de la main d'œuvre et du matériel disponible sur place. Enfin, la durée d'exécution d'un sondage carotté profond dans des formations dures (roches cristallines) peut s'avérer plus longue qu'avec une méthode par percussion à l'air.

Au moment de terminer ce rapport, des informations complémentaires nous sont parvenues. Elles concernent la réalisation en cours d'un sondage à Grand Santi sur le Maroni par l'entreprise BACHY implantée en Guyane. La sondeuse utilisée est de type minier (TRH 300) montée sur roues mais peut être utilisée en Rotary et en Marteau Fond de trou avec un compresseur. D'un poids de 9 tonnes, elle a pu être transportée en hautes eaux sur un assemblage de deux pirogues, après démontage des roues pour abaisser au maximum le centre de gravité de l'ensemble. Il s'agit donc d'une solution mixte qui combine le faible encombrement d'une petite sondeuse avec l'avantage des techniques de foration à l'air.

Le transport a été réalisé sur le fleuve par une entreprise de Saint-Laurent-du-Maroni. L'ensemble du matériel a été transporté sur le lieu de forage en 2 à 2.5 jours, par deux couples de pirogues et une pirogue isolée. Chaque pirogue est équipée d'un moteur de l'ordre de 65 chevaux. Le déchargement et la mise en place du matériel ont nécessité deux jours.

La foration de la reconnaissance a été réalisée au Rotary dans les latérites et au Marteau-fond-de-trou dans le socle (qui a été foré sur 20 m.). Le résultat de la reconnaissance a été très positif bien que l'ouvrage de diamètre 116 mm soit profond de seulement 46 m..

Cette expérience montre d'une part que le transport par assemblage de deux pirogues est parfaitement réalisable, et d'autre part que la démarche adoptée (recherche d'eau dans le socle) peut être couronnée de succès sans nécessairement atteindre la profondeur de 150 m.

Avec un objectif de profondeur plus faible, la logistique est allégée, mais le risque de forage sec est augmenté.

Il y a donc deux niveaux de solution au problème de l'alimentation en eau par forage des villages des fleuves. Pour les villages accessibles avec un assemblage de pirogues, on préférera les solutions du type forage du socle au marteau fond de trou avec un moyen de locomotion terrestre ou une sondeuse autotractée, et un matériel convoyé sur un

assemblage de 3 pirogues. Pour les autres, une solution de type forage carotté, moins profond mais dont la sondeuse est capable d'être transportée sur des pirogues indépendantes, peut être considérée comme parfaitement acceptable.

On peut remarquer également qu'un objectif moins ambitieux (en profondeur et en diamètre) est réalisable avec des sondeuses plus légères (telle que l'a montré l'entreprise BACHY) sans démonter entièrement la sondeuse, en utilisant un assemblage de deux pirogues.

Les résultats de la consultation des entreprises montrent qu'il n'y a pas de solution unique et idéale pour la réalisation d'un programme de forage dans le contexte des villages des fleuves. En conséquence, il n'est pas souhaitable de définir pour l'instant un cadre trop strict sur le plan matériel et logistique, mais il est indispensable dans la préparation d'un tel projet de rappeler à l'entreprise qui effectuera les travaux, les moyens qu'elle doit se charger de mettre en oeuvre.

C'est pourquoi le programme technique est détaillé ci-après sous la forme d'un cahier des charges type.

3. Cahier des charges type pour la réalisation de forages pour l'alimentation en eau des « villages des fleuves »

3.1. Article 1 : Objet et étendue des travaux

Les travaux prescrits à l'entreprise comprennent :

- l'exécution de forages verticaux d'exploitation pour l'alimentation en eau des « villages des fleuves ».
- la mise en production des forages qui auront donné des résultats satisfaisants.

Ils nécessitent la mise à disposition de matériel et de personnel spécialisés dans l'exécution de ce type d'ouvrage, et dans le contexte de leur réalisation.

3.2. Article 2 : Matériel

L'entrepreneur exécutera les travaux définis à l'article 1 ci-dessus en utilisant et mettant à la disposition du chantier le matériel et les approvisionnements utiles.

D'une part, l'appareil devra être capable de réaliser un forage à une profondeur pouvant atteindre 150 m et de l'équiper des tubes et crépines nécessaires et d'une pompe 4 pouces.

D'autre part, l'entrepreneur devra s'assurer au préalable, que l'ensemble du matériel pourra être acheminé sur les sites d'implantation des forages, compte tenu du contexte géographique de ces sites.

Le matériel mis à la disposition devra permettre au chantier de fonctionner de manière entièrement autonome, étant donné que dans la majorité des cas les sites seront dépourvus d'électricité, d'appareils de manutention ou de logement, d'engins de terrassement.

L'entrepreneur remettra au maître d'oeuvre, avant le début des travaux, une liste détaillée du matériel qu'il compte mettre en oeuvre pour la réalisation des forages. Cette liste devra donner, outre les caractéristiques théoriques du matériel, les possibilités minimales garanties de ce matériel, notamment concernant les équipements suivants:

levage et rotation
train de sonde
instrumentations
matériel de sécurité générale
pompages
tubages et crépines
boues et produits chimiques éventuels
carburants (avec une évaluation de la consommation journalière).

La liste du matériel devra également inclure les équipements de mesure et de contrôle des paramètres de forage.

3.3. Article 3 : Contexte géographique et Implantation des ouvrages

Les ouvrages à réaliser seront situés dans la proximité immédiate de chaque village à approvisionner, et ne devraient pas être éloignés des fleuves par lesquels le matériel sera acheminé.

L'entreprise devra prévoir les détails du transport, de l'installation et de la désinstallation du matériel. L'amenée s'effectuera par pirogues qui constituent le moyen de transport local. Les pirogues, d'une longueur de 13 à 15 m. peuvent supporter des charges de 5 tonnes, voire, dans les hypothèses les plus pessimistes seulement 2.5 tonnes. Le matériel devra de préférence pouvoir être démonté en colis pour être transporté par ce moyen. Dans le cas contraire, l'entreprise s'assurera que le transport de son matériel sur des barges ou des pirogues juxtaposées permet d'atteindre les sites de forage.

L'encombrement des colis ne devra pas dépasser une hauteur et une largeur de 1.50 m. L'entrepreneur s'assurera également des moyens d'embarquement et de débarquement de ses colis.

L'amenée et le repli du matériel et des équipements sont à la charge de l'entreprise. L'entreprise assurera à ses frais toute intervention nécessaire au fonctionnement du chantier, et ne pourra se prévaloir des dommages causés aux travaux dus à un manque de matériel.

A terre, l'entreprise devra être capable de déplacer le chantier sur les différents emplacements de forages, susceptible d'être distants de quelques centaines de mètres. L'implantation des ouvrages à réaliser sera définie sur le terrain par le maître d'ouvrage ou son représentant.

3.4. Article 4 : Coupe géologique prévisionnelle

Les forages traverseront les formations superficielles qui seront masquées par un tubage, pour rechercher l'eau dans le socle sous-jacent, constitué de roches métamorphiques très dures. Celles-ci sont susceptibles d'être rencontrées à partir d'une vingtaine de mètres sous la surface, mais peuvent n'apparaître qu'au delà d'une profondeur de 70 à 100 m.

Les formations superficielles sont constituées de matériaux argilo-sableux généralement meubles et instables. En surface, la présence d'alluvions est très probable, en fonction de la proximité du fleuve.

Dans le cas où les formations superficielles seraient aquifères, leur captage pourra être envisagé.

Une configuration théorique moyenne est donnée sur la Figure 3.

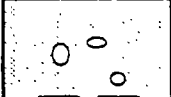
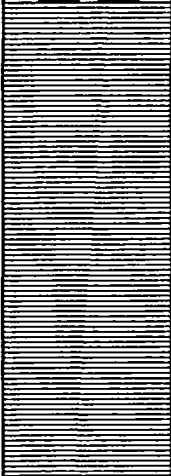
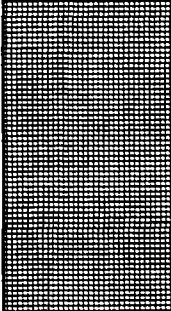
Géologie	Description
	Alluvions Matériau très hétérogène (sablo argileux) épaisseur variable (0 à 20 m.)
	Altérites épaisseur très variable (20 à 70 m., voire 100 m.)
	Socle cristallin fracturé Pénétration minimale de 25 m.

Figure 3 : coupe géologique prévisionnelle

3.5. Article 5 : Programme de forage

L'entrepreneur, en fonction du matériel qu'il compte mettre en oeuvre pour réaliser les objectifs, a le choix de la méthode de forage. Cependant, il sera préféré une solution technique visant à avoir des vitesses d'avancement élevées, de manière à traverser sur une profondeur relativement importante la formation cible ; le but étant de recouper le plus grand nombre possible de fractures. Le temps étant une contrainte très forte sur le projet en raison des conditions de navigations et d'approvisionnement des chantiers, il pourra être envisagé des pénalités au dépassement.

Deux cas sont envisageables : un forage utilisant une technique mixte de forage destructif et de forage carotté, ou un forage entièrement destructif.

Les tubages et les crépines seront constitués de matériaux PVC vissés lisses.

L'emploi éventuel d'une boue de forage devra être limité au passage des formations superficielles et des altérites.

Ces programmes pourront être aménagés avec l'accord du maître d'œuvre, en fonction des informations acquises au cours de la foration. Ainsi, selon la profondeur du niveau statique et l'épaisseur des altérites, il pourra être envisagé de faire la chambre de pompage dans les altérites et de laisser les formations plutoniques ou métamorphiques sous-jacentes en trou nu.

3.5.1. Forage carotté

Les forages par carottage possèdent l'avantage de nécessiter une sondeuse de faible encombrement. Par contre, le choix des diamètres est limité, et les vitesses d'avancement parfois plus lentes. Un exemple de coupe technique prévisionnelle est donné par la Figure 4.

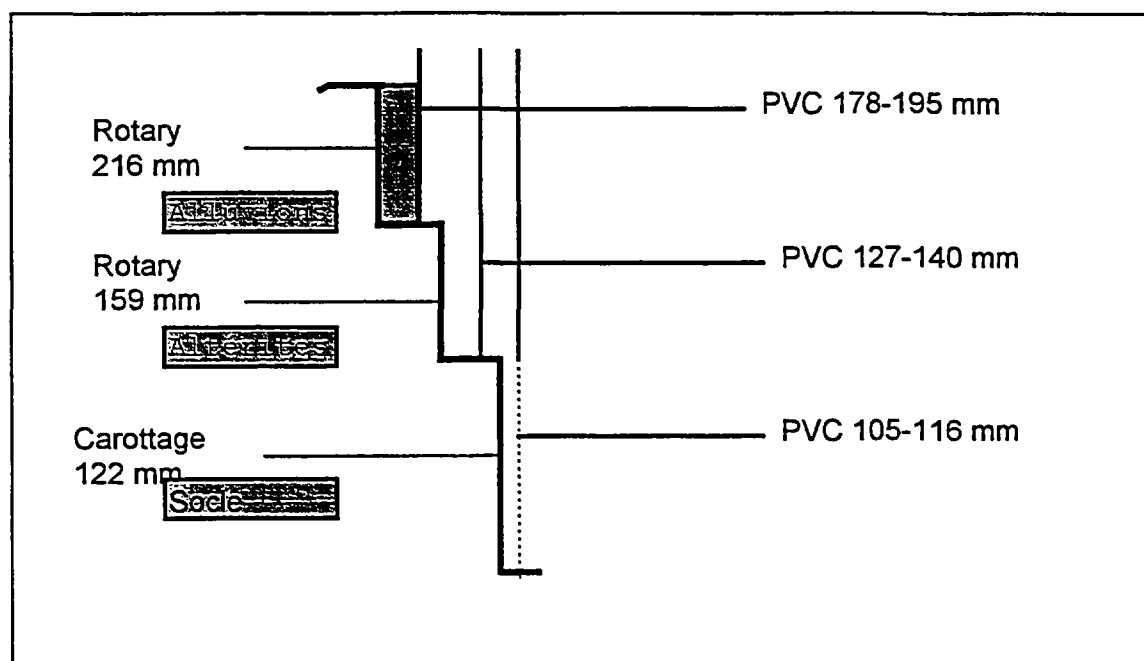


Figure 4 : Coupe technique de sondage carotté

- Formations superficielles et recouvrement alluvial : Ces terrains, présumés instables, sont susceptibles d'être le siège d'une nappe phréatique. Ils pourront être forés au Rotary à la boue en diamètre 216 mm (8"1/2) puis masqués par un tubage 178-195 mm. Le tubage de tête pourra être cimenté afin d'assurer une meilleure protection à l'ouvrage.
- Altérites : Ces formations peuvent apparaître meubles ou indurées, elles pourront être traversées en Rotary à la boue, diamètre 159 mm (6"1/4) puis tubées par un tube provisoire 127-140 mm. Si les formations de type altérites sont instables, ou contiennent une nappe dont le captage n'est pas envisagé, le tubage provisoire, ancré au toit des formations métamorphiques, restera en place et sera cimenté.

- Roches métamorphiques : Ces formations dures seront forées en carottage 122 mm (PQ) sur une profondeur minimale de 20 m.. L'équipement descendu pourra être constitué d'un tube PVC 105-116 mm, percé de fentes verticales. L'entrepreneur veillera à ce que la pompe à installer soit compatible avec les tubages mis en place.

3.5.2. Forage destructif

Dans le cas d'un forage destructif, il est préconisé d'utiliser une méthode de forage à l'air, plus rapide.

La coupe technique prévisionnelle pourrait être celle de la Figure 5

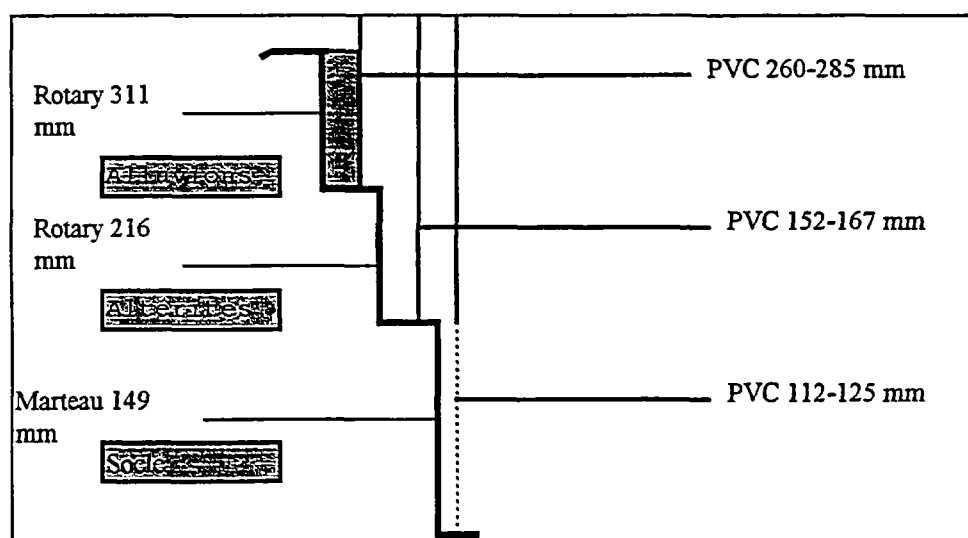


Figure 5 : Coupe technique pour un sondage destructif

- Formations superficielles et recouvrement alluvial : Ces terrains, présumés instables, sont susceptibles d'être le siège d'une nappe phréatique. Ils pourront être forés au Rotary à l'air en diamètre 311 mm (12"1/4), avec tubage à l'avancement 260-285 mm, ou en Rotary à la boue. Le démarrage dans ce diamètre permet une réduction supplémentaire éventuelle dans le cas de difficultés importantes dans ces formations d'épaisseur variable. Le tubage de tête pourra être cimenté afin d'assurer une meilleure protection à l'ouvrage.
- Altérites : Ces formations peuvent apparaître meubles ou indurées, elles pourront être traversées en Rotary à l'air ou à la boue, diamètre 216 mm (8"1/2), ou au marteau fond de trou 225 mm (8"7/8) (si elles sont indurées), puis tubées par un tube provisoire 152-167 mm. Si les formations de type altérites sont instables, ou contiennent une nappe dont le captage n'est pas envisagé, le tubage provisoire, ancré au toit des formations métamorphiques, restera en place et sera cimenté.
- Roches métamorphiques : Ces formations dures seront forées au Marteau-fond-de-trou en diamètre 149 mm (5"7/8) sur une profondeur minimale de 20 m.. L'équipement descendu pourra être constitué d'un tube PVC 112-125 mm, percé manuellement de fentes verticales au droit des venues d'eau identifiées.

3.5.3. Fin du forage et développement

L'hydrogéologue représentant du maître d'oeuvre déterminera la profondeur finale du forage.

Si les formations métamorphiques sont productrices, l'emploi d'un massif de gravier ne devrait pas être nécessaire. Cependant, un développement sera entrepris pour éliminer les fines et nettoyer les fissures. Ce développement s'effectuera soit par air lift, soit par pistonage et surpompage s'il n'y a pas de compresseur sur le chantier.

L'emploi d'agents chimiques pourra être préconisé sur le terrain : en fonction du remplissage argileux des fractures dans le socle, l'entrepreneur utilisera un défloculant (hexametaphosphate) conjointement au pistonage.

Des essais de pompage seront réalisés à l'aide d'un groupe de pompage dont les débits, la profondeur d'immersion et les détails du programme de pompage seront fixés par l'hydrogéologue, au vu des résultats du développement. Ils permettront la détermination des caractéristiques de l'ouvrage et de la profondeur à laquelle la pompe d'exploitation sera positionnée.

Le programme de pompage comportera un essai par palier de débits croissants (ou décroissants), d'une durée unitaire d'une à plusieurs heures, séparées par des périodes d'arrêts de mêmes durées. Il sera poursuivi par un essai à débit constant de plus longue durée.

L'évacuation des eaux d'exhaure, si possible jusqu'à la rivière sera assurée par l'entrepreneur.

L'entrepreneur est tenu de fermer le forage par une tête de forage cadénassée et de remettre en état le site avant son départ sur un autre chantier.

3.6. Article 6 : Prestations particulières de l'entrepreneur.

Outre l'exécution du forage et des opérations de mise en place des tubes et crépines PVC, il appartient à l'entrepreneur d'effectuer les prestations suivantes.

- Procéder au montage et démontage du chantier, au déplacement de son personnel, ainsi qu'aux travaux annexes en faisant son affaire des travaux et sujétions correspondants;
- Exécuter ou faire exécuter sous sa responsabilité, la manutention et les transports du matériel de sondage et de ses annexes.
- Exécuter les essais demandés par le maître d'oeuvre, prélever suivant une fréquence spécifiée par l'hydrogéologue représentant du maître d'oeuvre les déblais (cuttings) de forage, dégerber et ranger proprement les carottes. Carottes ou cuttings devront être identifiés par le nom du forage, la date et la profondeur, et si possible, mis en caisses.
- Fournir au maître d'oeuvre toutes les informations utiles sur le déroulement des travaux. A cet effet, un rapport quotidien d'avancement sera rempli de la main du ou des chefs de postes.

- Assurer la sécurité des intervenants sur le chantier et en interdire l'accès aux autres personnes.

3.7. Article 7 : Directives du maître d'ouvrage et du maître d'oeuvre

3.7.1.

Le maître d'ouvrage fixe avec le maître d'oeuvre le point d'implantation de l'ouvrage, le programme des travaux, et en détermine les spécifications techniques. Le maître d'oeuvre assure la supervision des travaux.

3.7.2.

Le maître d'oeuvre se réserve le droit de modifier le programme en cours d'exécution et de donner toutes instructions qu'il jugera utiles, étant entendu qu'il n'exigera pas l'utilisation du matériel de l'entrepreneur dans des conditions techniques incompatibles avec ses possibilités.

3.7.3.

Le maître d'oeuvre peut arrêter le travail sur le puits sans rémunération pour l'entrepreneur, dans le cas où l'équipement serait hors d'état de servir, ou non conforme à la réglementation, ou présentant des dangers pour le personnel ou la conservation du trou, jusqu'à ce que l'entrepreneur ait remédié à cette situation.

3.8. Article 8 : Conseil technique attaché au maître d'oeuvre

3.8.1.

Le maître d'oeuvre pourra être assisté, pour la supervision de la campagne de forage, du personnel de toute autre société.

3.8.2.

Il se réserve le droit de déléguer les prérogatives énumérées à l'article 6 à l'un quelconque des membres de cette société qu'il habilitera à cet effet.

3.9. Article 9 : Personnel du maître d'ouvrage et du maître d'oeuvre.

Les agents du maître d'ouvrage, du maître d'oeuvre ou le personnel de la société précitée sont soumis aux consignes de sécurité que pourra être amené à édicter l'entrepreneur, ou

le maître d'oeuvre dans l'emprise de l'espace de travail concerné par le forage, ainsi qu'aux obligations de secret professionnel et de discrétion mentionnés à l'article 6.

4. ANNEXES : Eléments pour le calcul du coût

4.1.1. Transport par pirogues:

Eléments techniques:

- moteur de type hors bord de 30 à 65 CV ;
- consommation moyenne de 12 l/h à 30 l/h ; le coût actuel d'un litre d'essence (mélange pour moteur hors bord) est de 7 à 8 F
- vitesse moyenne hors de zones de franchissement des rapides ("sauts") : 20 à 25 km/h maximum à vide ou avec des passagers, 10 à 20 km/h en charge.

• Sur le Maroni

Temps de parcours (pirogue moyennement chargée, kilométrage moyen)

Hautes eaux : St-Laurent / Maripasoula : 2 jours
St-Laurent / Apatou : 2h
St-Laurent / Grand Santi : 1 jour

Basses eaux : St-Laurent / Maripasoula : 4 jours à plus d'une semaine
St-Laurent / Apatou : 2h
St-Laurent / Grand Santi : 2 à 4 jours

En basses eaux, le transport à couple n'est pas possible dans les zones de saut.

Dans le sens inverse (descente), tenir compte de la réduction d'environ 1/3 de la charge de chaque pirogue.

• Sur l'Oyapok

Entre Cayenne et St-Georges, il existe un bateau de transport de type "ferry" la "Normélia", avec un voyage tous les 15 jours (190 F/m³). Il est possible de transporter du matériel lourd, de type engins de travaux publics.

Entre St-Georges et Saut Maripa, il existe une piste qui permet de contourner le saut, la circulation par camion y est possible.

Temps de parcours (pirogue moyennement chargée, kilométrage moyen)

Hautes eaux : St-Georges (Saut Maripa) / Camopi : 5 à 6 heures
St-Georges (Saut Maripa) / Trois Sauts - Ziddock : 2 jours.

Basses eaux : St-Georges (Saut Maripa) / Camopi : 1,5 jour
St-Georges (Saut Maripa) / Trois Sauts - Ziddock : 4 jours.

En basses eaux, le transport à couple n'est pas possible dans les zones de saut.

Dans le sens inverse (descente), tenir compte de la réduction d'environ 1/3 de la charge de chaque pirogue.

4.1.2. Transport aérien

Le fret aérien est assuré par avion ou par hélicoptère. Les tarifs varient en fonction de la charge et de la destination.

Transport par avion

La société Guyane Aéro Services dessert, à partir de l'aéroport de Rochambeau, les villes de :

CAMOPI,
CITRON,
DORLIN,
GRAND-SANTI,
MARIPASOULA,
OUANARY,
REGINA,
SAUL,
SAINT-LAURENT,
SAINT-GEORGES.

La société dispose de quatre types d'avions, dont le plus puissant (Pilatus Porter) est capable de transporter une charge de 600 kg à une tonne, en fonction de la destination.

Les tarifs d'affrètement de cette société sont indiqués ci-après. Ils sont fonction du type d'avion, de la destination, et aussi de la durée d'immobilisation sur le terrain de destination (350 f/heure). Ces renseignements sont disponibles par Fax auprès de :

Guyane Aéro Services
Aéroport de Rochambeau
97351 Matoury
Tel : 0594 35 61 62
Fax : 0594 35 84 50

Transport par hélicoptère

La société Héli inter Guyane possède 4 types d'appareils. La charge transportable est d'environ 500 kg sur les longues distances, mais peut atteindre (en jouant sur la quantité de carburant) 800 kg sur de petites distances. Le coût varie approximativement entre 6 500 F et 12 500 F de l'heure. Les tarifs au 1er Janvier 1996 étaient les suivants.

<i>Appareils</i>	<i>Liaison</i>	<i>Travail Aérien</i>
Ecureuil AS 350 B1 Monomoteur 5 Passagers	6 480.00 F/H	7 560.00 F/H
Ecureuil AS 350 B2 Bimoteur 5 Passagers	7 920.00 F/H	9 540.00 F/H
Ecureuil AS 355 F1 Bimoteur 5 Passagers	9 240.00 F/H	10 020.00 F/H
Dauphin SA 365 C3 Bimoteur 8 passagers	12 420 F/H	

L'attente est facturée au 1/6ème du tarif horaire par heure d'immobilisation de l'appareil.

Les coordonnées de cette société sont les suivantes:

Héli Inter Guyane
Aéroport de Rochambeau
97 351 Matoury
Tél: 0594 35 62 31
Fax 0594 35 82 56

Fiche signalétique

Rapport

Titre : *Identification de techniques et matériels de forage et complétion adaptés au contexte des villages des fleuves de Guyane*

Numéro : 08694

Date d'envoi : 28/02/97

Statut du rapport :

Nombre de pages : 23

Nombre d'annexes dans le texte : 1

Nombre de plans séparés :

Diffusion (nombre et destinataires) :

BRGM/DR : P. LACHASSAGNE (4ex + 1 ex reproductible)

ANTEA/DPD : A. GUTIERREZ (1 ex)

DOC (1 ex)

AR/CENTRE : E. BERTET (1 ex)

Client

Coordonnées complètes : BRGM/DR/HGT - Mas Josserand - 1039 Rue de Pinville -
34000 Montpellier

Nom et fonction des interlocuteurs : P.LACHASSAGNE

ANTEA

Unité réalisatrice : Direction de la Production et du Développement

Nom des intervenants et fonction remplie dans le projet :

Alexis GUTIERREZ, auteur

Eric BERTET, responsable du projet

Qualité :

Contrôlé par : E.BERTET (signature)

Date : 25/02/97

Traçabilité

N° du projet : UDEPP96140

Références et date de la commande : Fax du 26/04/96 et 02/05/96

Mots-clés : *Forage, Guyane, Faisabilité, Cahier des charges*

BRGM
Service Reprographie
Impression et façonnage

BRGM
DIRECTION DE LA RECHERCHE
Département Hydrologie, Géochimie et Transferts
1039, rue de Pinville - 34000 Montpellier - France - Tél. : (33) 4.67.15.79.80