

**Diagnostic préliminaire relatif à  
deux projets écotouristiques dans  
la Région du Vakinankaratra  
(Madagascar) : patrimoine  
géologique et thermalisme**

Rapport final

BRGM/RC-57952-FR

Juillet 2010



# Diagnostic préliminaire relatif à deux projets écotouristiques dans la Région du Vakinankaratra (Madagascar) : patrimoine géologique et thermalisme

Rapport final

**BRGM/RP-57952-FR**

Juillet 2010

Étude réalisée dans le cadre de la convention Conseil  
Régional d'Auvergne - BRGM SG/DJ N° 2008/282 JMP

**C. Bertin,  
Ph. Rocher**

**Vérificateur :**

Nom : Ph. Vigouroux

Date : 06/08/2010

Signature :



**Approbateur :**

Nom : Y. Siméon

Date : 23/08/2010

Signature :



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

Diagnostic préliminaire relatif à deux projets écotouristiques dans la Région du Vakinankaratra (Madagascar) : patrimoine géologique et thermalisme

**Mots clés** : Vakinankaratra, Madagascar, Antsirabe, thermalisme, eau minérale, thermes, Ibity, Ihasy, patrimoine géologique, ressources minérales.

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

**Bertin C., Rocher Ph.** (2010) - Diagnostic préliminaire relatif à deux projets écotouristiques dans la Région du Vakinankaratra (Madagascar) : patrimoine géologique et thermalisme. Rapport final. Rapport BRGM RC-57952-FR, 84 p., 29 ill., 2 ann.

## Synthèse

A travers un protocole d'accord signé en 2005, le Conseil Régional d'Auvergne a mis en place une coopération décentralisée avec la Région du Vakinankaratra à Madagascar, dans laquelle le développement touristique est un thème majeur. La Région Auvergne apporte ainsi son appui à l'élaboration du Schéma Directeur du Tourisme durable et du Thermalisme, dont la réalisation a été confiée initialement au Cabinet ADC-Développement (devenu le Cabinet Tohana). Les orientations de ce schéma ont été validées en 2007.

La présente étude concerne deux thématiques appliquées à deux sites pilotes retenus dans le cadre des actions prioritaires de ce schéma :

- la thématique « Aires protégées et écotourisme » dans le secteur d'Ibity ;
- la thématique « Thermalisme et loisirs » sur le site d'Antsirabe.

Pour le volet « aires protégées et écotourisme » lié au patrimoine géologique, une mission a permis, en juillet 2008, de visiter les sites géologiques potentiellement intéressants et de rencontrer les acteurs et partenaires locaux du projet.

L'analyse de cet « état de lieux » conduit à proposer un ensemble de circuits de découvertes des curiosités géologiques locales sur le thème général « les hommes et les ressources du sous-sol », thème qui associe les aspects culturels, sociaux, économiques et patrimoniaux.

Pour le volet « thermalisme et loisirs », la mission effectuée en juillet 2008 a permis d'examiner le contexte d'émergence de nombreuses sources d'eau minérale à Antsirabe et ses environs proches.

Ces visites ont révélé que le gisement hydrothermal d'Antsirabe semble important mais qu'il est méconnu : son extension et ses potentialités ne sont pas définies.

Les forages utilisés par le Centre Thermal d'Antsirabe ne peuvent pas actuellement être utilisés à d'autres fins que le thermalisme du fait de la baisse de leur production. De plus, le contexte environnemental d'émergence n'est pas optimal.

Plusieurs pistes de développement pour l'utilisation de l'eau minérale d'Antsirabe et de ses environs existent : le développement des activités de bien-être autour de l'eau minérale pourraient être envisagé dans des sites où les conditions sanitaires peuvent être maîtrisées, des opérations de géothermie « basse énergie » pourraient également être mises en œuvre (récupération des calories de l'eau minérale pour le chauffage de bâtiments, de serres ou pour des bassins d'élevage de poissons par exemple).



## Sommaire

<b>1. Contexte de l'étude.....</b>	<b>13</b>
1.1. CONTEXTE GENERAL : LE SCHEMA DIRECTEUR DU TOURISME DURABLE ET DU THERMALISME .....	13
1.2. CONTEXTES ET OBJECTIFS DES DEUX PROJETS.....	16
1.2.1. Ibity : patrimoine géologique .....	16
1.2.2. Antsirabe : thermalisme et bien-être .....	16
1.3. DESCRIPTION DES TACHES .....	17
1.3.1. Ibity : patrimoine géologique .....	17
1.3.2. Antsirabe : thermalisme et « bien-être » .....	18
<b>2. Valorisation du patrimoine géologique dans le secteur d'Ibity .....</b>	<b>19</b>
2.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE DU SECTEUR D'IBITY .....	19
2.2. ACQUISITION DES DONNEES .....	21
2.2.1. Sites visités .....	21
2.2.2. Personnes rencontrées .....	28
2.3. SYNTHESE DES DONNEES ET CONCLUSIONS .....	29
2.4. SUITE DU PROGRAMME .....	30
<b>3. Les eaux minérales d'Antsirabe.....</b>	<b>31</b>
3.1. CONTEXTE GENERAL DE LA REGION D'ANTSIRABE.....	31
3.2. DONNEES SOMMAIRES SUR L'ACTIVITE THERMALE A ANTSIRABE .....	31
3.3. LES EAUX MINERALES DE LA VILLE D'ANTSIRABE.....	35

3.3.1. Historique de l'activité thermale .....	35
3.3.2. Description des sources d'eau minérale .....	36
Sources exploitées par le centre thermal d'Antsirabe .....	36
• Forage I .....	38
• Forage II ou Ranomafana V .....	39
• Forage de la Piscine ou Ranomafana VI .....	40
Sources exploitées pour l'embouteillage .....	41
• Forage Ranovisy I .....	41
• Forage Ranovisy II .....	41
Sources utilisées pour d'autres usages .....	43
• Buvette du lac .....	43
• Source du Parc .....	44
• Forage Ranovisy III .....	45
• Source de l'hôpital .....	46
• Emergences sommairement captées du parc de jeux de la plaine de Ranovisy .....	47
Sources abandonnées ou rebouchées .....	48
• Forage Ranomafana I .....	48
• Forage Ranomafana II .....	48
• Ancien forage Ranomafana III .....	49
• Forage Ranomafana III .....	49
• Forage IV .....	50
• Ancienne source de Ranovisy .....	50
• Sources de l'usine SOAM .....	51
• Source Alexander et source de l'Abattoir .....	51

3.4. SOURCES D'EAU MINERALE AUTOUR D'ANTSIRABE .....	52
3.4.1. La source d'Antsirakely (Visy Gazy).....	52
3.4.2. Sources près du pont de la Sahatsio .....	54
3.4.3. Sources de la Savolambo .....	54
3.4.4. Sources de Tsiafahy.....	55
3.4.5. Les sources du guérisseur .....	56
3.5. CONTEXTES GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE.....	57
3.5.1. Contexte géologique .....	57
3.5.2. Contexte hydrogéologique .....	57
3.6. CARACTERISTIQUES DES SOURCES .....	59
3.6.1. Aspects qualitatifs .....	59
3.6.2. Aspects quantitatifs .....	61
3.7. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL ET VULNERABILITE DES RESSOURCES	63
3.8. PROPOSITIONS POUR AMELIORER L'UTILISATION DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE.....	65
<b>4. Conclusion .....</b>	<b>68</b>
<b>5. Bibliographie.....</b>	<b>70</b>

#### **Liste des illustrations :**

<i>Illustration 1 - Carte de localisation des zones étudiées</i>	15
<i>Illustration 2 - Esquisse géologique du secteur d'Ibity (carte géologique, feuille     Manandona, BRGM, 1965, échelle 1/100 000)</i>	20

<i>Illustration 3 - Carte de localisation des sites géologiques visités</i>	25
<i>Illustration 4 - Evolution du nombre de curistes entre 1983 et 2008.</i>	31
<i>Illustration 5 - Vue panoramique des installations du centre thermal d'Antsirabe</i>	34
<i>Illustration 6 - Schéma simplifié du circuit des eaux minérales du centre thermal</i>	36
<i>Illustration 7 - Localisation des sources d'Antsirabe (images Google)</i>	37
<i>Illustration 8 - Vue de l'intérieur du réservoir abritant la tête du forage I</i>	38
<i>Illustration 9 - Tête du forage II ou Ranomafana V</i>	39
<i>Illustration 10 - Tête du forage de la piscine ou Ranomafana VI</i>	40
<i>Illustration 11 - Tête du forage Ranovisy II</i>	43
<i>Illustration 12 - Vasque de l'ancienne buvette de la source du lac</i>	44
<i>Illustration 13 - Buvette de la source du Parc</i>	45
<i>Illustration 14 - Fontaine surmontant le forage Ranovisy III</i>	46
<i>Illustration 15 - Source de l'hôpital</i>	47
<i>Illustration 16 - Source sommairement aménagée du vallon de la plaine des jeux</i>	47
<i>Illustration 17 - Vasque située au droit du forage Ranomafana I</i>	48
<i>Illustration 18 - Local abritant le forage Ranomafana III</i>	49
<i>Illustration 19 - Ancienne source de Ranovisy</i>	50
<i>Illustration 20 - Source d'Antsirakely (Visy Gazy)</i>	52
<i>Illustration 21 - Localisation des émergences d'eau minérale visitées en juillet 2008</i>	53
<i>Illustration 22 - Source d'eau minérale et lac présentant des dépôts carbonatés et des émanations gazeuses près du pont de la Sahatsio</i>	54
<i>Illustration 23 - Puits domestique et émergence d'eau minérale dans une rizière vers Tsiafahy.</i>	55
<i>Illustration 24 - Plateforme où émergent les sources du guérisseur</i>	56
<i>Illustration 25 - Circuit hydrothermal théorique des eaux minérales</i>	57

<i>Illustration 26 - Températures et conductivités mesurées sur les sources d'Antsirabe</i>	59
<i>Illustration 27 - Dépôts carbonatés dans le forage II (ou Ranomafana V)</i>	60
<i>Illustration 28 - Débit des sources en l/mn</i>	62
<i>Illustration 29 - Vues du site à proximité de la source Ranovisy en 1997 et en 2008</i>	64

### **Liste des annexes**

<i>Annexe 1 - Photographies de sites géologiques visités</i>	72
<i>Annexe 2 - Coupes géologiques et techniques des forages d'Antsirabe</i>	78



# 1. Contexte de l'étude

## 1.1. CONTEXTE GENERAL : LE SCHEMA DIRECTEUR DU TOURISME DURABLE ET DU THERMALISME

A travers un protocole d'accord signé en 2005, le Conseil Régional d'Auvergne a mis en place une coopération décentralisée avec la Région du Vakinankaratra à Madagascar, dans laquelle le développement touristique est un thème majeur. Dans ce cadre, et en partenariat avec le Ministère des Affaires Etrangères et Européennes, la Région Auvergne a apporté son appui à l'élaboration du Schéma Directeur du Tourisme durable et du Thermalisme, dont la réalisation a été confiée initialement au Cabinet ADC-Développement (devenu le Cabinet Tohana). Les orientations de ce schéma ont été validées en 2007.

A partir des axes de travail et des mesures de soutien à mettre en œuvre, ce Schéma a identifié 6 sites pilotes dans lesquels des actions prioritaires ont été entreprises à partir de 2008, représentant 31 projets thématiques au total.

Sur chaque site, l'action consiste à accompagner les organisations locales et les personnes ressources dans l'élaboration des produits, à définir et à mettre en œuvre les programmes de formation adaptés au contexte local, à organiser la relation avec les tours opérateurs pour anticiper la commercialisation des produits, à conseiller les partenaires locaux dans la recherche d'effets leviers du tourisme sur l'économie locale.

Cette mise en œuvre comporte plusieurs objectifs : construire un tourisme facteur de développement rural, diversifier l'offre touristique régionale et valoriser l'existant.

Il s'agit de stimuler la fréquentation touristique autour de l'axe de communication majeur du pays que constitue la RN 7 qui relie la capitale Antananarivo aux sites balnéaires du Sud malgache. Pour ce faire, il est envisagé d'élaborer une offre touristique fiable et identifiable à travers notamment la valorisation des richesses patrimoniales du Vakinankaratra qu'elles soient historiques, culturelles et surtout naturelles (thermalisme, patrimoine géologique, etc...).

D'une manière générale, les projets retenus ont pour objectif de maintenir et de développer une activité économique profitable aux acteurs locaux tout en valorisant l'environnement. Ils relèvent d'une démarche en faveur du développement durable.

La présente étude concerne deux thématiques appliquées à deux sites pilotes retenus dans le cadre des actions prioritaires de ce schéma (Illustration 1) :

- la thématique « Aires protégées et écotourisme » dans le secteur d'Ibity ;
- la thématique « Thermalisme et loisirs » sur le site d'Antsirabe.

Compte tenu de ses compétences thématiques, de son positionnement à l'international et de sa longue expérience et présence à Madagascar (depuis 1947), le BRGM s'est proposé pour être un partenaire technique des actions à développer dans la Région du Vakinankaratra, et pour participer à la Cellule Technique opérationnelle qui va rassembler tous les acteurs de cette coopération et en assurer la coordination.



Diagnostic préliminaire relatif à deux projets écotouristiques dans la Région du Vakinankaratra (Madagascar) : patrimoine géologique et thermalisme

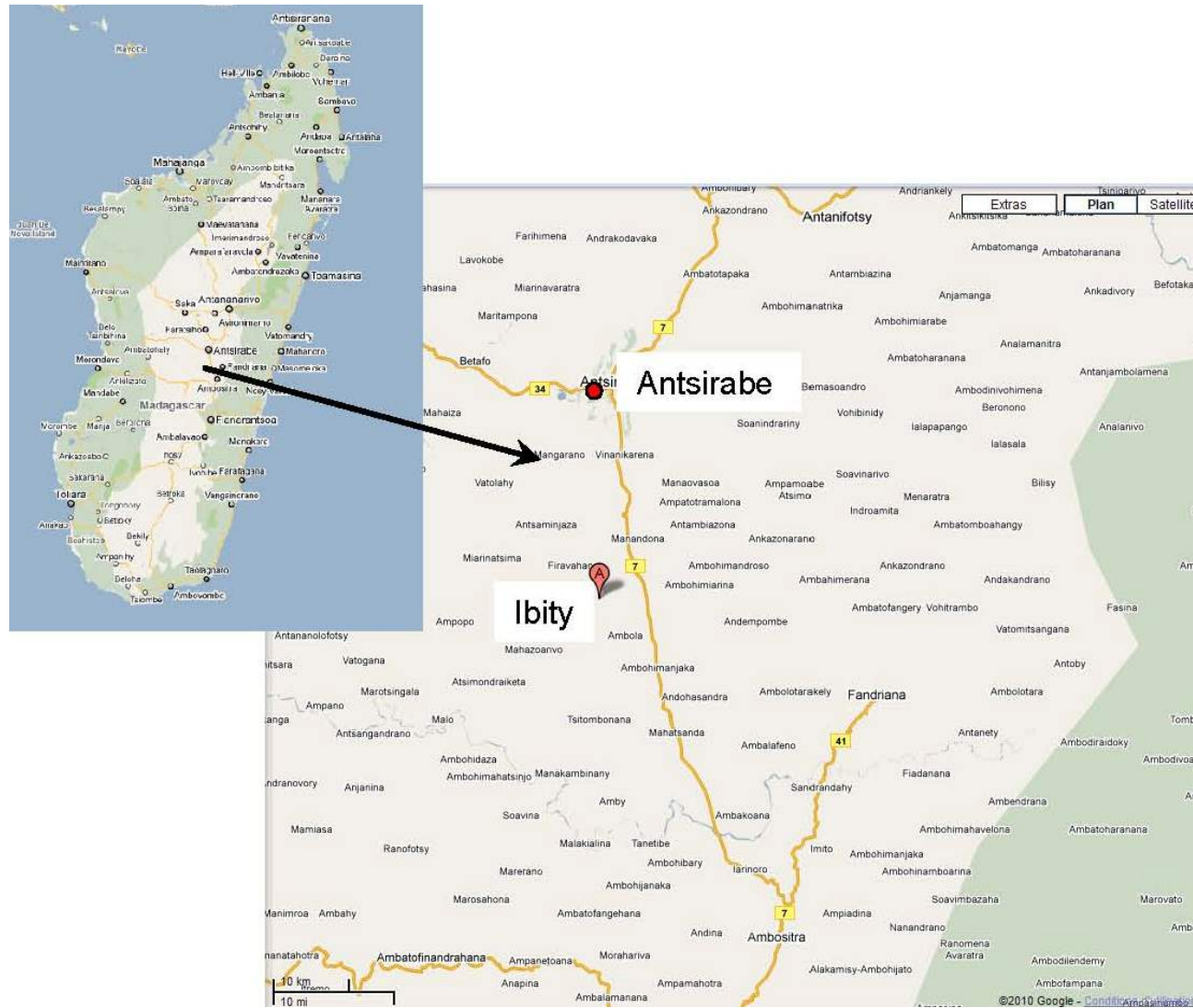


Illustration 1 - Carte de localisation des zones étudiées

## **1.2. CONTEXTES ET OBJECTIFS DES DEUX PROJETS**

### **1.2.1. Ibity : patrimoine géologique**

Le secteur d'Ibity recèle un patrimoine géologique très riche et très varié, représenté par des roches du socle métamorphique et plutonique, des roches sédimentaires et volcaniques, et comprenant en particulier :

- le massif de quartzites du Mont Ibity, qui correspond au sommet d'un ensemble géologique dénommé « complexe schisto-quartzo-calcaire et schisto-quartzo-dolomitique ». Ce massif est réputé pour sa richesse minéralogique et est caractérisé par une intense fracturation et des formes d'érosion spectaculaires, très rares dans ce type de contexte, à l'origine de « marmites de géants », de gouffres et d'avens ;
- la vallée de la Sahatany, où affleurent des quartzites, cipolins, granites et surtout des pegmatites très riches d'un point de vue minéralogique ;
- le secteur volcanique et granitique de Manandona qui présente des morphologies intéressantes et qui contient des émergences d'eaux minérales très riches en gaz carbonique, localement exploitées.

Connu notamment pour ses pierres précieuses, le secteur d'Ibity doit héberger un centre permanent d'initiation à l'environnement (CPIE) qui sera le pivot central des activités écotouristiques qui seront proposées aux visiteurs.

La présente étude visera à valoriser autant que possible l'ensemble de la diversité de ce patrimoine, en liaison avec l'activité artisanale d'extraction et de gemmologie.

### **1.2.2. Antsirabe : thermalisme et bien-être**

Le thermalisme est une activité historique d'Antsirabe et a fait en partie sa renommée. Les activités de crénothérapie dispensées au Centre Thermal d'Antsirabe, plus importante station thermale malgache, représentent depuis près d'une centaine d'années un secteur d'activité particulièrement important, qui contribue au développement économique de la région d'Antsirabe.

Toutefois, il est apparu nécessaire de diversifier les activités thermales et de développer la fréquentation de l'établissement, en particulier auprès des touristes, en développant une nouvelle activité de type « bien-être ».

Ce développement ne peut cependant se faire que par le biais d'une gestion durable des ressources en eau minérale et, corrélativement, en eau potable. L'augmentation de la fréquentation de la station nécessite, en effet, la prise en compte de ces dernières, ce qui implique leur bonne connaissance.

Contrairement à d'autres richesses du sous-sol, l'eau minérale présente la particularité d'être une matière première renouvelable, mais dans des limites souvent mal connues. Par ailleurs, ces ressources peuvent être très vulnérables, d'où la nécessité de bien appréhender le gisement et le circuit hydrothermal de l'eau minérale, mais aussi d'entretenir et de protéger les ouvrages de prélèvement.

### 1.3. DESCRIPTION DES TACHES

Pour atteindre les objectifs fixés par le Schéma Directeur en ce qui concerne le thermalisme à Antsirabe et le patrimoine géologique à Ibity, il convient de procéder en deux étapes successives :

- dans un premier temps, établir un état des lieux le plus complet et le plus objectif possible, sur la base de l'existant, en termes de connaissances et de réalisations, ce qui fait l'objet de la présente étude ;
- ensuite, sur la base des conclusions et recommandations de l'étape initiale, proposer et mener un programme d'actions spécifiques pertinentes pour atteindre les objectifs de ce Schéma.

Pour chacun de ces deux volets thématiques, la réalisation de cet état des lieux, qui a été mené en étroite concertation avec le Cabinet Tohana, maître d'œuvre du Schéma Directeur du Tourisme durable et du Thermalisme, a consisté en :

- des visites sur sites ;
- des échanges avec les principaux partenaires locaux (l'Agence Nationale de Développement de l'Eau et de l'Assainissement et les responsables du Centre Thermal d'Antsirabe pour le volet « thermalisme » par exemple) ;
- une compilation des données disponibles (rapports d'études, résultats d'analyses, publications scientifiques, ..).

#### 1.3.1. Ibity : patrimoine géologique

Le diagnostic a été réalisé en fonction des trois composantes des actions à programmer :

- formation de guides locaux, prenant en compte les aptitudes et la qualification des personnels pressentis ;
- élaboration d'un circuit de découverte, prenant en compte les contraintes locales, logistiques en particulier ;
- réalisation d'un support de communication à l'attention des touristes et visiteurs. A l'instar de ce que le BRGM a réalisé en d'autres lieux, comme récemment dans l'île voisine de Mayotte, ce support pourrait prendre la forme d'un guide des curiosités géologiques. Dans ce cas, un partenariat serait recherché avec des éditeurs malgache et français (Chamina par exemple).

Le périmètre pris en compte dans le cadre du projet, d'une superficie de l'ordre de 150 km<sup>2</sup>, est circonscrit dans une zone de forme triangulaire limitée :

- à l'Ouest par la ville et la cimenterie d'Ibity ;
- à l'Est par la Route Nationale 7 ;
- au Sud par la limite administrative de la région du Vakinankaratra.

Au sein de ce périmètre, qui s'intègre dans l'aire protégée d'Ibity, une attention particulière a été portée sur la vallée de l'hasy, sur le versant ouest du Mont Ibity, dans la mesure où elle représente la cible principale pour y organiser l'accueil touristique.

### **1.3.2. Antsirabe : thermalisme et « bien-être »**

La zone d'investigation correspond au gisement hydrothermal qui alimente le centre thermal d'Antsirabe.

Le programme comprend les tâches suivantes :

- rassembler et analyser l'ensemble des informations disponibles sur les caractéristiques géographiques, quantitatives et qualitatives du gisement d'Antsirabe, dont l'eau minérale est exploitée aujourd'hui par trois forages (deux alimentant les thermes et un la piscine) ; la synthèse des données existantes intégrera en particulier les résultats des analyses récentes effectuées par la DDR malgache et l'Ecopôle d'Auvergne ;
- formuler des recommandations et un programme d'actions en vue d'optimiser la gestion et de sécuriser la protection de ce patrimoine local.

La mission confiée au BRGM comporte l'analyse de la situation d'exploitation et de protection de la ressource en eau minérale.

En fonction des données disponibles, le présent rapport comporte :

- la description du gisement : caractéristiques physico-chimiques, schéma de fonctionnement hydrothermal, contours supposés du bassin d'alimentation ;
- la description des ouvrages de prélèvement (actuels et abandonnés) : localisation, caractéristiques techniques, utilisation, état... ;
- le recensement des émergences naturelles non captées, incluant une description la plus exhaustive possible de leurs caractéristiques (coordonnées géographiques, caractéristiques physico-chimiques, débits, ...) ;
- une évaluation des volumes exploités et des volumes exploitables ;
- une évaluation du contexte environnemental et des sources potentielles de contamination du gisement ;
- des recommandations sur les actions à engager afin d'améliorer les connaissances sur le gisement et sur sa protection.

## 2. Valorisation du patrimoine géologique dans le secteur d'Ibity

### 2.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE DU SECTEUR D'IBITY

Le secteur d'étude, situé à une vingtaine de kilomètres au Sud d'Antsirabe, est connu pour être particulièrement riche au niveau minéralogique.

Le bassin d'Antsirabe est limité au Sud par les sommets déchiquetés constitués par les quartzites du Mont Ibity.

Le secteur d'Ibity est caractérisé par la présence d'un ensemble géologique particulier dénommé « complexe schisto-quartzo-calcaire et schisto-quartzo-dolomitique » dont l'âge et la stratigraphie ne sont pas clairement connus. La base de cet ensemble est représentée par des micaschistes et schistes contenant des bancs de cipolins et de quartzites. Au sommet de cet ensemble est présente la puissante série quartzitique du Mont Ibity

Le Mont Ibity, qui culmine à 2254 m d'altitude, est un très imposant massif de quartzites (quartzites, grès quartzeux de type « itaclumites ») caractérisé morphologiquement par la présence de reliefs très spécifiques : blocs éboulés, tours et de lames déchiquetées. L'action de l'érosion (par l'eau et l'effet d'abrasion mécanique par les grains de quartz notamment) et la fracturation intense dans l'ensemble du massif y ont laissé des traces peu communes dans ce type de contexte : marmites de géants, « avens », gouffres et cavités diverses d'origine naturelle.

Les formations encaissantes de ce vaste complexe, ainsi que des granites intrusifs, correspondent au vieux socle migmatitique intensément altéré, représenté en surface par des latérites (altérites argileuses rouges).

Les granites intrusifs roses de l'Ibity renferment des pegmatites qui ont fait la réputation de Madagascar (« pays des béryls ») de par les minéraux gemmes qu'elles contiennent : béryls bleus et roses, tourmalines de diverses couleurs, grenat spessartite, triphane, ... Un type de pegmatites constitue essentiellement le célèbre « champ de la Sahatany » qui comprend une trentaine de gisements répartis de part et d'autre de la rivière Sahatany. Les pegmatites y sont caractérisées par la présence d'un mica particulier, la lépidolite, accompagnée par la tourmaline de couleur variée et de minéraux plus rares tels que la rhodizite.

L'illustration 2 présente une esquisse géologique du secteur d'Ibity datant de 1965. Aucune autre cartographie géologique de ce secteur n'a été publiée depuis cette date. La carte à 1/500 000 de la région d'Ibity, dont le British Geological Survey (service géologique national britannique) a la charge dans le cadre du programme international PGRM (Programme de Gouvernance sur les Ressources Minérales), n'est toujours pas disponible. Compte tenu de la situation politique à Madagascar, ce programme, financé par la Banque Mondiale, a été suspendu en mars 2009 et l'est toujours à ce jour.

Diagnostic préliminaire relatif à deux projets écotouristiques dans la Région du Vakinankaratra (Madagascar) : patrimoine géologique et thermalisme

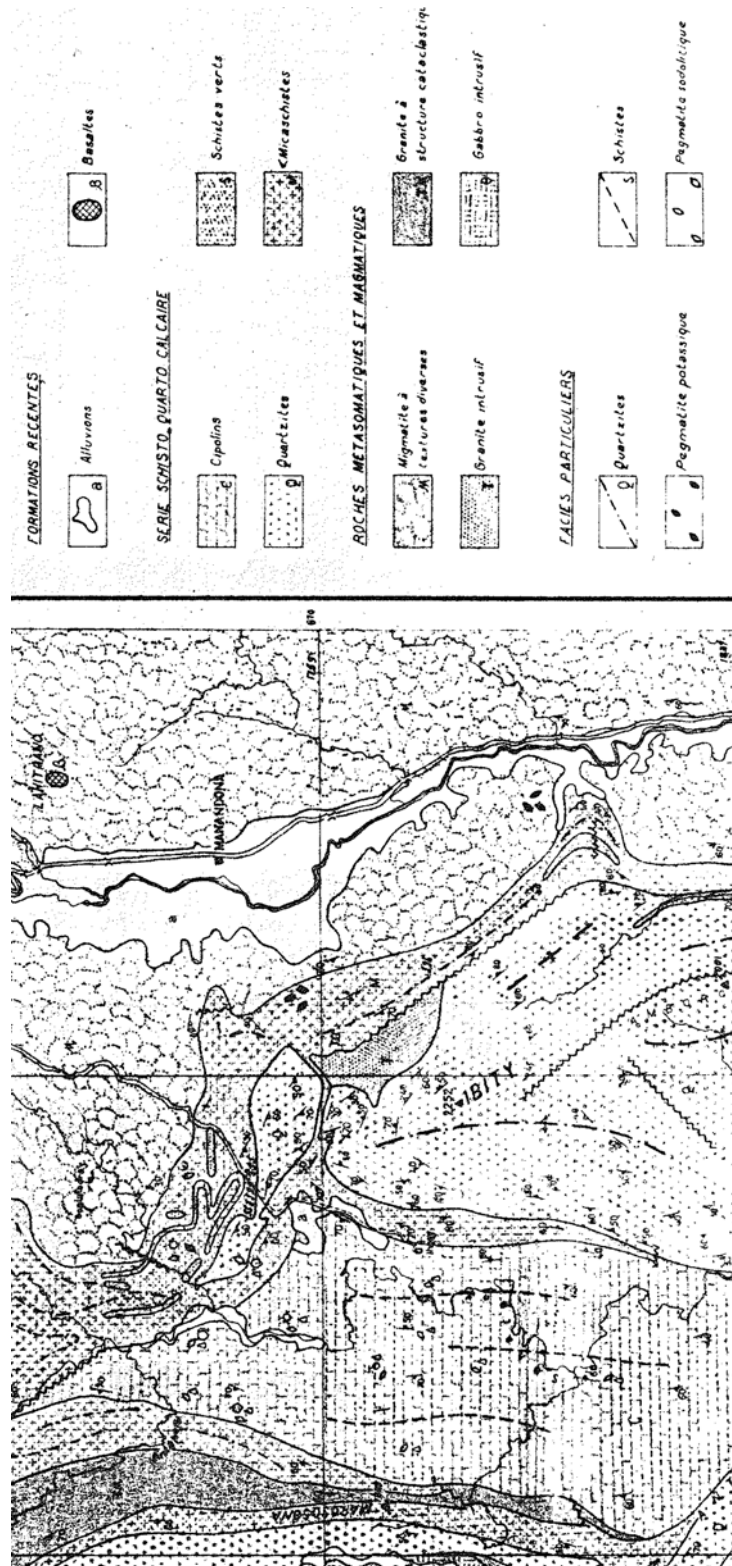


Illustration 2 - Esquisse géologique du secteur d'Ibity (carte géologique, feuille Manandona, BRGM, 1965, échelle 1/100 000)

## 2.2. ACQUISITION DES DONNEES

Les données ont été acquises essentiellement par une recherche bibliographique préalable suivie d'une mission dans la Région du Vakinankaratra, menée du 12 au 19 juillet 2008 avec l'appui technique et logistique de l'antenne malgache du BRGM, basée à Tananarive et dirigée par Luc Guyot, hydrogéologue.

Cette mission avait pour but de visiter les sites géologiques potentiellement intéressants et de rencontrer les acteurs et partenaires locaux du projet de développement écotouristique sur la commune d'Ibity : élus, villageois, guides touristiques, exploitants de carrières et industriels. Deux rencontres ont également été organisées, en début et fin de mission, avec André Dollfus et Cynthia Ithier du Cabinet Tohana, maître d'œuvre du Schéma Directeur du Tourisme durable et du Thermalisme.

### 2.2.1. Sites visités

Les sites ont été visités en présence d'un technicien malgache de l'équipe locale du BRGM, qui a assuré chaque fois que de besoin la traduction, et au moins d'un des trois guides malgaches locaux pressentis pour être les futurs accompagnateurs principaux des touristes (Tahiry et Mamy qui habitent le village d'Ihasy et Willy habitant celui d'Ibity).

Les sites décrits sont numérotés dans l'ordre chronologique des visites dont ils ont fait l'objet. Leur localisation, exprimée en coordonnées Laborde dans le texte ci-après, a été déterminée à l'aide d'un GPS et est reportée sur la carte de l'illustration 3. Le site 4 est correctement positionné mais il se situe hors de cette carte du fait de l'absence de disponibilité d'une carte (topographique ou géologique) géoréférencée dans ce secteur. Les photographies de quelques uns des sites visités sont présentées en annexe 1.

- **Site 1** : ancienne exploitation artisanale de **tourmaline** au sein d'une pegmatite (puits, galerie, déblais) ; coordonnées :  $x = 456\ 826$ ,  $y = 667\ 300$ ,  $z = 1458$  m.

- **Site 2** : affleurement en relief (« crêtes ») de micaschistes à foliation très redressée, montrant en fait une alternance de **niveaux schisto-gréseux** résistants à l'érosion (reliefs positifs) et de **micaschistes** typiques de couleur claire (à mica blanc) facilement érodés (reliefs négatifs), présentant un faciès spectaculaire en « huitres » (plissements très fins visibles sur la tranche) ; coordonnées :  $x = 456\ 839$ ,  $y = 667\ 146$ ,  $z = 1471$  m ; site idéal pour l'implantation d'un panneau de lecture du paysage (vue intéressante notamment sur le massif de quartzite du Mont Ibity et son gigantesque éboulis en bas de pente).

- **Site 3** : importante **cavité fissurale** (« grotte » naturelle liée à la présence d'une faille et d'un filon de pegmatite altérée, et due à une altération par abrasion mécanique de la roche quartzitique, représentant une curiosité géologique rare dans la région), à la base du massif de quartzite du Mont Ibity ; coordonnées de la base de la cavité :  $x = 457\ 655$ ,  $y = 665\ 569$ ,  $z = 1741$  m ; à noter la présence de micro-cheminées de fées dans l'éboulis basal de la cavité ; l'accès à ce site est particulièrement difficile à l'heure actuelle (nécessité de traverser la vaste zone d'éboulis pour l'atteindre, hors sentier).



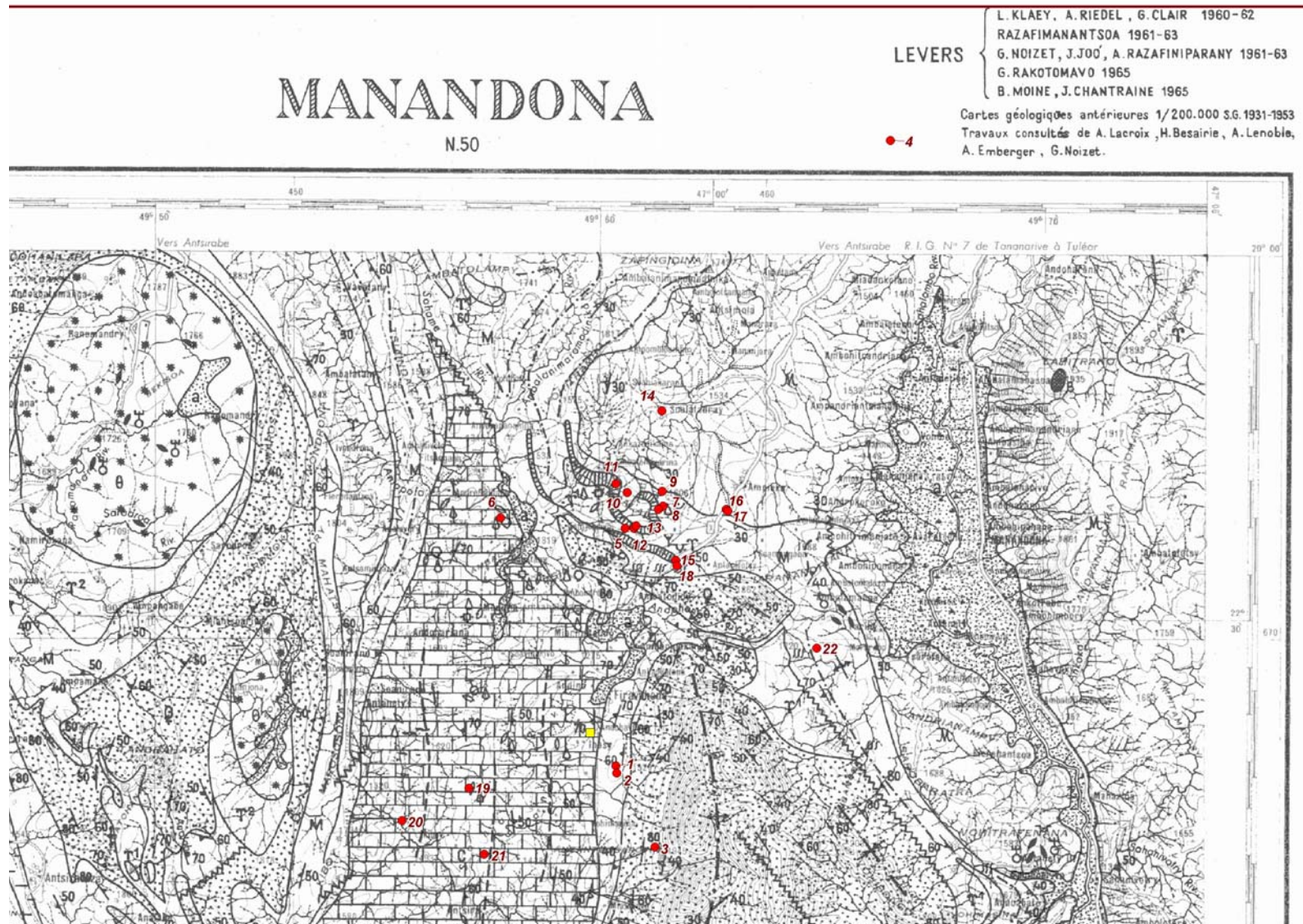


Illustration 3 - Carte de localisation des sites géologiques visités



- **Site 4** : en bordure de la piste menant de la RN7 au village d'Ibity, près du pont d'Amorona, en rive gauche de la rivière ; vue sur une **coulée de lave** basaltique typique, comprenant une zone prismée, un entablement et une zone scoriacée ; coordonnées :  $x = 462\ 644$ ,  $y = 680\ 570$ ,  $z = 1406$  m ; curiosité rare (peu de roches volcaniques dans le secteur d'Ibity) et facile d'accès, pouvant constituer un arrêt lors du transfert des touristes à Ibity et Ihasy.

- **Site 5** : lieu-dit Antsilola, en bordure de piste entre le village d'Ibity et celui de Tsarafara ; affleurements : **altération typique d'un granite** à biotite en boules ; coordonnées :  $x = 457\ 018$ ,  $y = 672\ 341$ ,  $z = 1448$  m ; vue panoramique sur la vallée de Sahatany.

- **Site 6** : carrière de Tsarafara, base de la colline à l'Ouest du village de Tsarafara ; exploitation d'un ensemble de filons de pegmatites pour la **tourmaline** (différentes qualités : verte, polychrome, rouge et verte, trois tons, gemme de couleur rouge, bleue) et le **béryl rose**, par l'intermédiaire de puits (creusés dans les altérites rouges, sur 10 à 30 m de hauteur) et de petites galeries (profondeur de 5 à 7 m) ; minéraux semi-précieux associés au quartz (prismatique transparent, fumé ou jaune), au mica lépidolite, à la kaolinite, et parfois au feldspath alcalin ; coordonnées :  $x = 454\ 379$ ,  $y = 672\ 565$ ,  $z = 1334$  m ; cette carrière est la plus importante exploitation de pierres semi-précieuses de la commune d'Ibity : située en partie sur une propriété communale, elle emploie environ 70 villageois, le gisement se prolongeant au Nord où il est exploité par une société privée.

- **Site 7** : lieu-dit Andrianampy, ancienne carrière de **dolomite** de la Société Malgache d'Exploitation (SOMADDEX) pour la production d'engrais à base de dolomie (ancienne usine à Antsirabe) ; petite exploitation où affleure une succession de bancs de dolomites (faciès fins et grossiers) à fort pendage ouest ; coordonnées :  $x = 457\ 824$ ,  $y = 672\ 814$ ,  $z = 1566$  m ; vue panoramique sur l'usine Chaumad et le petit massif granitique (« granite rouge ») altéré en boules au Nord.

- **Site 8** : à proximité du site 7, carrière d'Andrianampy exploitée artisanalement par des villageois (2 personnes habituellement) : extraction de **tourmaline** (rose, verte et noire) et de **béryl rose** (parfois bleu) au sein de filons de pegmatites sous couverture d'altérites rouges ; coordonnées :  $x = 457\ 730$ ,  $y = 672\ 746$ ,  $z = 1564$  m ; vue sur l'usine Chaumad toute proche.

- **Site 9** : carrière de **granite** d'Analamitongona exploitée par la SARL Les Rak basée à Antsirabe (commercialisation), pour la production de granulats (pour le bâtiment, les travaux publics et la route) et de pavés de revêtement de sols, employant environ 30 personnes ; élaboration des granulats à l'aide d'un concasseur fixe à partir des zones les plus saines des imposantes boules de granite rose (pouvant atteindre la douzaine de mètres de diamètre), et pavés débités à la main, à la masse et au burin ; coordonnées :  $x = 457\ 806$ ,  $y = 673\ 130$ ,  $z = 1560$  m ; intérêt géologique fort car ce type d'exploitation permet une observation remarquable des différents faciès répartis concentriquement d'une boule de granite : partie saine au cœur, passées pegmatitiques vers les bordures, faciès purement pegmatitique formant l'enveloppe périphérique (cristaux de grande taille : quartz, feldspaths, biotite), altérites rouges

représentant l'encaissant ; l'exploitation sur ce site même dure de 1 à 2 ans et d'autres sites proches identiques prendront le relai.

- **Site 10** : carrière de Vohidroa, exploitation artisanale de **granite** rose par les villageois (2 personnes habituellement), à partir des boules dégagées par l'altération et l'érosion, pour la production de pavés de revêtement, de moellons et de gravillons (achetés par une entreprise commercialisant les matériaux de construction) ; coordonnées :  $x = 457\ 070$ ,  $y = 673\ 099$ ,  $z = 1548$  m ; autres petits sites du même type dans ce secteur.

- **Site 11** : carrière d'Antemotra où est exploité le **cipolin** pour l'alimentation de l'usine de chaux de la société Chaumad toute proche (principal lieu d'extraction) ; roche : cipolin (calcaire métamorphique) homogène contenant de grands cristaux de calcite au sein de poches, parfois associés à de grands cristaux de pyrite ; mode d'exploitation : abattage à l'explosif, débit des gros blocs à la masse sur place, chargement et transport des blocs par camions jusqu'au concasseur de l'usine ; coordonnées :  $x = 456\ 823$ ,  $y = 673\ 285$ ,  $z = 1516$  m ; autres petits sites d'extraction artisanale de cipolin pour l'usine Chaumad dans l'ensemble de ce secteur.

- **Site 12** : barre rocheuse dégagée par l'érosion, bien visible dans le paysage, orientée NNW-SSE, large de 15 m et longue de 30 à 40 m à l'affleurement, constituée d'une **pegmatite** très indurée à quartz, feldspaths et biotite en très gros cristaux, contenant quelques enclaves du granite formant l'encaissant ; coordonnées :  $x = 457\ 212$ ,  $y = 672\ 338$ ,  $z = 1530$  m (sommet de la barre rocheuse) ; intérêt : observation privilégiée d'un massif de pegmatite (caractérisée par des minéraux de très grande taille) affleurant, habituellement présente dans ce secteur sous forme de filons altérés peu visibles au sein des altérites rouges.

- **Site 13** : site d'Antsongombato nouvellement exploité artisanalement par les villageois (4 personnes), par un puits profond de 7 m, d'un filon de pegmatite altéré (kaolinite abondante) pour l'extraction de **béryl bleu** et d'**amazonite** ; coordonnées :  $x = 457\ 250$ ,  $y = 672\ 398$ ,  $z = 1490$  m (entrée du puits) et 1502 m (partie amont du gisement) ; site d'intérêt également pour l'observation des phénomènes érosifs : érosion régressive (environ sur un mètre après chaque saison des pluies) en tête de vallée au sein des altérites rouges (cirque d'érosion en formation).

- **Site 14** : village de Soalafadray, utilisation de différents types d'argiles extraites localement au sein des **altérites rouges**, pour la **construction** (murs de maisons d'habitation) et la **céramique** ; production céramique artisanale à partir d'une argile plastique : façonnage à la main avec utilisation d'un moule pour les fonds, cuisson sans four : pièces entourées de paille enflammée et cuites au bois à l'extérieur, productions utilitaires selon demande (jarres, marmites, ...); coordonnées :  $x = 457\ 796$ ,  $y = 674\ 826$ ,  $z = 1494$  m ; rare exemple d'une production céramique artisanale sur la commune d'Ibity, accessible par une voie carrossable ;

- **Site 15** : carrière de **cipolin** exploitée par Holcim pour alimenter sa cimenterie ; vaste ensemble de bancs verticaux de cipolin de diverses qualités (partie supérieure altérée avec passage latéral à de véritables altérites, partie basale saine et massive) ; coordonnées de la limite aval de la carrière :  $x = 458\ 095$ ,  $y = 671\ 667$ ,  $z = 1488$  m ; ce site n'est actuellement pas ouvert à la visite du public.

- **Site 16** : site d'extraction artisanale de **quartz rose** d'Avarantsena (près du village d'Ibity), exploité par les villageois ; gisement unique de quartz en filon réputé pour sa grande pureté ; coordonnées : x = 459 160, y = 672 745, z = 1543 m.

- **Site 17** : site d'exploitation d'un filon de pegmatite (à quartz, feldspath, biotite et muscovite) par puits et galerie pour l'extraction de **tourmaline noire**, de **béryl vert** et d'un minéral du phosphore, à proximité immédiate du site 16 ; coordonnées : x = 459 203, y = 672 713, z = 1545 m.

- **Site 18** : lieu-dit Antanifotsy, juste en aval de la carrière de cipolin d'Ibity et des sources de Ranosoa ; **site d'orpillage** artisanal exploité par un villageois : recherche d'or contenu dans la latérite constituant les berges de la rivière, production de 0,5 g à 1 g par semaine et par personne ; coordonnées : x = 458 116, y = 671 548, z = 1479 m ; il est à noter que les activités d'orpillage dans ce site, ainsi que dans les autres sites évoqués par les guides dans le secteur d'Ibity-Ihasy, sont réalisées sans emploi de produits chimiques polluants (pour amalgamer les minuscules paillettes d'or, les orpailleurs ont parfois recours au mercure par exemple).

- **Site 19** : lieu-dit Andasy (ensemble du versant de la colline), très vaste zone d'exploitation artisanale par les villageois (10), en surface et par des puits (profondeur de 7 m au maximum) et galeries, de filons de pegmatite (à très grands cristaux de quartz, feldspaths, muscovite et lépidolite) pour l'extraction de **tourmaline** (abondante, noire et rouge, en grands prismes et amas) et de **rhodizite** (peu abondante) ; niveaux de cipolin affleurant par endroits ; coordonnées de la partie aval de la zone exploitée : x = 453 902, y = 667 016, z = 1338 m ; coordonnées de la partie amont de la zone exploitée : x = 453 711, y = 666 819, z = 1431 m.

- **Site 20** : lieu-dit Anosymahery (village d'Ikobay), **lieu de culte ancestral** matérialisé par une pierre redressée (endroits des sacrifices d'animaux) et un grand bananier, où se déroulent les cérémonies de guérison des maladies mentales pendant lesquelles l'eau « sacrée », tirée d'un des quatre petits puits, est bue et sert à laver les malades ; coordonnées : x = 452 290, y = 666 134, z = 1285 m ; pas de véritable intérêt géologique pour ce site ; vue sur la tête de vallée montrant une morphologie particulière (barres rocheuses formant des cascades).

- **Site 21** : sur le sentier entre le village d'Antsira et Ampasampazimba, vue plongeante sur la vallée de la rivière Sahatany : plusieurs **cascades** dues à la présence de barres rocheuses très redressées, sub-verticales ; coordonnées : x = 454 033, y = 665 416, z = 1256 m ; le long du sentier conduisant à Ihasy : nombreux affleurements de schistes gréseux et de cipolins marquant des reliefs positifs.

- **Site 22** : carrière artisanale de **talc** de Marosoritra ; exploitation d'un filon de talc au sein d'une alternance de micaschistes et de quartzites, à proximité d'un massif granitique ; talc utilisé pour la fabrication de briques réfractaires (pour fours, usine à Antsirabe), de peintures (usines à Tananarive et Tamatave), d'insecticides et de produits d'hygiène pour les bébés (qualité supérieure) ; coordonnées (partie supérieure de l'exploitation, au niveau de l'aire de stockage des matériaux) : x = 461 078, y = 669 800, z = 1542 m.

- **Au-delà du site 22 en direction du Sud** (à environ 2 km, sites non visités au cours de la mission BRGM du fait de l'éloignement et de l'accès difficile par la seule piste

existante) : gisements poly-substances au sein et au voisinage immédiat du massif granitique de Faliandro (altération en boules typique) :

- filons de pegmatites dont les faciès sains sont exploités pour le **feldspath** rose (orthose, pour la fabrication de briques réfractaires), le **béryl**, la **tourmaline** polychrome et le **grenat** (pierre semi-précieuse), et les faciès altérés pour le **kaolin** (pour la fabrication de briques réfractaires, tuiles, briquettes et carreaux céramiques pour revêtement de sols) ;
- **oxydes de fer** : anciennement exploités pour l'élaboration de ciments.

L'exploitation de ces gisements emploie épisodiquement 5 villageois.

- **Site du sommet du Mont Ibity (côté nord)** : site visité par André Dollfus et Cynthia Ithier (Cabinet Tohana) en septembre 2008 ; sa partie sommitale, à l'extrémité nord du massif quartzitique, peut être atteinte en randonnée pédestre en 6 à 7 heures aller-retour à partir du village d'Ihasy ; intérêt au titre du patrimoine naturel : flore particulière (dont la drosera, symptomatique des zones humides de type tourbières), curiosités géologiques : très spectaculaires et nombreux figures de type « ripple mark » (rides allongées en relief au sein de sédiments détritiques, matérialisant d'anciens mouvements de houle sur une plage ou de courants marins sur le fond).

- **Autres sites** : d'autres sites d'intérêt sont représentés par des chantiers, temporaires et fréquents par définition, de fabrication artisanale de briques de construction : toutes les étapes de cette fabrication peuvent être observées : extraction des argiles le plus souvent en fond de vallons, en bordures des rizières, façonnage, séchage et/ou cuisson dans un four, stockage.

### 2.2.2. Personnes rencontrées

Les différentes personnes rencontrées au cours de la mission du BRGM ont été des guides locaux, des élus et des industriels.

- Willy, Tahiry et Mamy, les trois guides locaux qui ont été associés aux visites des sites lors de la mission BRGM, sont des candidats appropriés pour la formation qui doit avoir lieu au cours de la prochaine phase du projet. Participant occasionnellement à l'exploitation de certains gîtes minéralogiques, ils possèdent une très bonne connaissance du contexte local, humain et physique, des notions de base de géologie, et montrent une réelle motivation pour les futures activités d'accompagnement des touristes.

- M. Victorien Benala, premier adjoint au maire de la commune d'Ibity, a été informé du projet et du déroulement de la mission BRGM. Il a manifesté sa satisfaction vis-à-vis de la démarche entreprise sous l'égide du Conseil Régional d'Auvergne.

- M. Michel Viacroze, directeur de la cimenterie Holcim dans le village d'Ibity.

Le groupe suisse Holcim occupe avec le groupe français Lafarge le premier rang mondial des producteurs de ciments. Il s'engage fortement, au niveau de chacun de ses sites d'extraction et de production, dans des programmes sociaux et environnementaux. Sur le plan social, Holcim a financé plusieurs équipements collectifs dans le village d'Ibity (collège d'enseignement général et site de production de spiruline par exemple) et a proposé aux autorités la reconstruction complète du village électrifié et « en dur » à plus grande distance de la cimenterie. Sur le plan environnemental, l'usine est certifiée ISO 14001 et M. Viacroze suit de près le projet de

classement du Mont Ibity en zone protégée et les actions touristiques qui l'accompagneront. Pour cela, il est en relation avec l'ONG Missouri Botanical Garden basée à Tananarive. Concernant le Schéma Directeur du Tourisme durable et du Thermalisme, M. Viacroze souhaite être tenu informé de son évolution pour éventuellement y participer. Il demeure par contre réservé quant à la possibilité d'ouvrir sa carrière de cipolin d'Ibity à la visite touristique, pour des questions de sécurité. Mais il faudra reconsidérer cette question le moment venu car la configuration du site est par définition évolutive.

- M. Sylvain Rakotomalala, gérant de la société Les Rak, exploitant mécaniquement la carrière de granite d'Analamitongona (cf. site 9). Il est d'accord sur le principe qu'un de ses sites de production de ce type (la durée d'une exploitation de ce type est de 1 à 2 ans mais le fort potentiel local garantit une certaine pérennité à son activité) soit inscrit dans un circuit de découverte géologique.

Les responsables de la Société Chaumad n'ont pas pu être rencontrés lors de la mission BRGM du fait de son arrêt d'activité (carrière et usine).

### **2.3. SYNTHÈSE DES DONNÉES ET CONCLUSIONS**

Le constat tiré de la mission de terrain peut être résumé de la façon suivante :

- la zone d'investigation considérée correspond approximativement à la commune d'Ibity, au Nord et à l'Ouest de la partie septentrionale du Mont Ibity ; le secteur situé à l'Est de ce dernier, le long de la RN7 au Sud de Manandona est à exclure compte tenu de son éloignement du centre d'accueil d'Ihasy et de son moindre intérêt géologique patrimonial ;
- la zone considérée est caractérisée par une grande diversité géologique et par de fortes potentialités en terme de curiosités géologiques pouvant faire l'objet de visites touristiques ; cela concerne à la fois la géomorphologie (effets de l'altération et de l'érosion notamment) et la nature même des roches (pétrographie et minéralogie) ;
- toutes les roches présentes dans cette zone font ou ont fait l'objet d'exploitations, en majeure partie par les villageois eux-mêmes et de façon artisanale (absence quasi générale de sociétés exploitantes), qu'il s'agisse :
  - des altérites rouges argileuses, omniprésentes sur l'ensemble du territoire, utilisées pour les besoins de la vie courante (construction de murs en argiles crues, fabrication de briques crues et cuites, objets céramiques) ;
  - des pierres précieuses et semi-précieuses (ou pierres fines) : or contenu dans les altérites ; béryl, tourmaline, quartz, grenat, amazonite et rhodizite associés aux pegmatites ;
  - ou des substances minérales relevant de la catégorie des « roches et minéraux industriels », utilisées dans des domaines économiques très divers : granite, cipolin, dolomite, talc, feldspath, kaolin et oxydes de fer ;

- ces ressources minérales du sous-sol jouent un rôle prépondérant au niveau socio-économique dans ces milieux ruraux isolés : les altérites argileuses sont valorisées partout pour les besoins quotidiens ; l'exploitation des pierres précieuses et semi-précieuses constitue l'activité principale (extractions artisanales sur des terrains communaux par les habitants et à leur profit) ou complémentaire à une autre activité (agriculture, tourisme, ...) et représente souvent la seule activité rémunératrice d'une famille ;

En conclusion de ce constat, il peut être proposé un ensemble de circuits de découvertes des curiosités géologiques locales sur le thème général « **les hommes et les ressources du sous-sol** », thème qui l'intérêt d'associer à la fois les aspects culturels, sociaux, économiques et patrimoniaux.

Afin de tenir compte de la diversité et de la répartition géographique des différentes activités à prendre en compte, ces circuits pourraient se faire au départ :

- du village d'Ibity où, compte tenu du potentiel existant, seraient privilégiés les aspects relatifs aux pierres précieuses et semi-précieuses et aux roches et minéraux industriels ;
- et du village d'Ihasy qui représente le centre d'hébergement du projet, au voisinage duquel les activités humaines liées aux altérites argileuses d'une part, et la lecture des paysages (intérêt géomorphologique) d'autre part, seraient illustrées.

## 2.4. SUITE DU PROGRAMME

Le diagnostic préliminaire réalisé ayant montré un potentiel intéressant de développement d'activités touristiques axées sur la thématique « patrimoine géologique », il conviendrait de définir de façon concertée, avec le Conseil Régional d'Auvergne maître d'ouvrage et le Cabinet Tohana maître d'œuvre, les programmes d'études et de travaux à réaliser au cours de la phase suivante du programme.

Pour ce volet « aire protégée et patrimoine géologique », il s'agirait notamment :

- de choisir les sites et les circuits retenus pour les visites touristiques (nombre, durée, difficulté d'accès, point de départ, ...), en fonction des contraintes logistiques notamment (voies d'accès, hébergement, ...) ;
- de définir les supports de communication à élaborer (guide, fiches pédagogiques, panneaux explicatifs, ...) et leurs destinataires (guides seulement -pour favoriser le recours des touristes à leurs services- et/ou touristes) ;
- d'établir le programme de formation « à la carte » des guides à mettre en place : durée, contenu, planning, lieu de formation, identification du ou des formateurs, ...

Sur ces deux derniers aspects, une collaboration sera recherchée avec des acteurs locaux.

## 3. Les eaux minérales d'Antsirabe

### 3.1. CONTEXTE GENERAL DE LA REGION D'ANTSIRABE

La ville d'Antsirabe est rattachée à la région de Vakinankaratra située dans la province d'Antananarivo. C'est la troisième ville de Madagascar en termes de population : 182 804 habitants (recensement 2005). Elle est située à 167 km au Sud de la capitale Antananarivo.

La région de Vakinankaratra est située au centre de l'île de Madagascar dans la région des hauts plateaux ou des hautes terres. Elle est localisée sur le plateau méridional du grand massif de l'Ankaratra, troisième sommet de Madagascar.

La région est soumise à un régime climatique tropical d'altitude. Elle est marquée par l'alternance d'une saison sèche et fraîche et d'une saison humide et chaude.

La ville d'Antsirabe est située et à 1 540 m d'altitude. La température moyenne annuelle est proche de 20 °C et peut approcher le zéro pendant l'hiver austral.

La pluviométrie annuelle moyenne de la région de Vakinankaratra est de 1 506 mm, la ville d'Antsirabe est quant à elle légèrement moins arrosée (1 331 mm).

Le site d'Antsirabe est scindé en : Antsirabe 1 qui correspond à la ville éponyme et Antsirabe 2 qui est un district rural s'étendant autour de la ville.

### 3.2. DONNEES SOMMAIRES SUR L'ACTIVITE THERMALE A ANTSIRABE

Le Centre National de crénothérapie et de thermoclimatisme<sup>1</sup> d'Antsirabe accueille entre 1 000 et 3 000 curistes par an (Illustration 4).

	1983	2004	2005	2006	2007	2008 (janvier à juin)
Hommes		1 723	1 368	1 884	1 381	849
Femmes		1 029	1 349	1 114	1 087	510
<b>Total</b>	<b>1 050</b>	<b>2 752</b>	<b>2 717</b>	<b>2 998</b>	<b>2 468</b>	<b>1 359</b>

Illustration 4 - Evolution du nombre de curistes entre 1983 et 2008.

---

<sup>1</sup> Par commodité, le terme « centre thermal » sera utilisé dans la suite du rapport

Ces chiffres montrent à une baisse de la fréquentation à partir de 2007, qui s'explique par une augmentation des tarifs.

Le centre thermal est ouvert toute l'année hormis le mois de juillet qui est consacré à l'entretien technique des installations. Les cures thermales ont une durée de 21 jours.

Les principales indications ou orientations thérapeutiques prises en charge par le centre thermal d'Antsirabe sont :

- les affections digestives ;
- les affections dermatologiques ;
- les affections gynécologiques ;
- les affections de l'appareil circulatoire ;
- les affections ostéo-articulaires ;
- les affections psychosomatiques ;
- les troubles de développement de l'enfant ;
- les voies respiratoires.

Les soins dispensés sont les suivants : cure de boisson, balnéothérapie (bains, douches au jet), applications de boue thermique.

Des soins de « bien-être » sont également réalisés à la demande : massages, bains, sauna, rééducation fonctionnelle, prescriptions diététiques.

Le fonctionnement du centre thermal est assuré par une soixantaine de personnes et cinq médecins. Il est composé de plusieurs installations (Illustration 5) :

- Un établissement de style colonial construit en 1924 scindé en deux secteurs :

Le premier secteur accessible au public comporte sept cabines individuelles avec baignoires. Les bains, d'une durée de 15 à 20 mn, sont réalisés avec de l'eau minérale refroidie par de l'eau de ville à 37°C.

Le deuxième secteur est dédié aux soins dispensés aux curistes et pour les activités de bien être. Cet espace comporte six cabines individuelles avec baignoire simple, une cabine équipée d'un bain bouillonnant et une cabine avec un bain tourbillonnant. La durée et la température des bains varient selon les pathologies traitées. Ce secteur comprend également des cabines de massage, des salles de massages avec de l'eau minérale à 37°C (massage sous-marin), des cabines avec douche à jet ainsi que deux salles équipées de lits pour des applications de cataplasmes de boue.

Les boues sont préparées in situ. Elles sont fabriquées avec les sédiments du lac attenant et l'eau minérale provenant de 2 forages situés à l'arrière de l'établissement. Les boues sont réchauffées dans des fours situés à l'arrière des bâtiments.

- Un bâtiment construit en 1978 :

Il abrite une piscine couverte accessible au public qui est également utilisée pour la rééducation. Cette piscine comporte deux bassins alimentés en eau minérale à partir d'un forage situé à proximité des installations.

Ce bâtiment comporte également trois salles de rééducation fonctionnelle, un sauna, une salle de physiothérapie, ainsi que des bureaux administratifs et les bureaux de consultation des médecins.

- Un bâtiment construit au début des années 1970 :

Cet édifice, destiné à remplacer les bâtiments de 1924, n'a pas été construit avec des fondations adaptées aux formations meubles qui existent au droit du site. Il a rapidement subi des désordres qui ont conduit à son abandon partiel. Actuellement, seule une partie du bâtiment est utilisée pour l'hébergement des curistes et par une salle de sauna.

- Un bâtiment construit en 1945 :

Ces locaux, qui comportaient une dizaine de cabines de bains, ne reçoivent plus de public du fait de leur vétusté.



A : établissement de 1924 – B : Etablissement de 1978 en service – C : Etablissement de 1970 partiellement abandonné – D : établissement de 1945 – E – Lac Andranomafana

Illustration 5 - Vue panoramique des installations du centre thermal d'Antsirabe

### **3.3. LES EAUX MINÉRALES DE LA VILLE D'ANTSIRABE**

#### **3.3.1. Historique de l'activité thermique**

La première mention de l'existence d'émergence de sources d'eau chaude à Antsirabe a été relatée par des missionnaires norvégiens et en particulier Lars Dahle en 1870. En 1873, un pasteur norvégien, T. W. Rosaas, signalait les bienfaits de l'eau minérale sur les séquelles du paludisme contracté par un dignitaire de la suite de la reine Ranomafana II.

Le premier établissement thermal d'Antsirabe sera construit en 1878 dans la plaine de Ranovisy. De taille modeste, il ne comprenait que quelques cabines de bains. Il sera détruit en 1896.

En 1924, un nouvel établissement est bâti dans le vallon de Ranomafana près du premier forage « Ranomafana ». Cet établissement est encore en service à l'heure actuelle. Plusieurs bâtiments lui seront adjoints, en particulier en 1945.

Entre 1912 et 1914, un enseignant français, Perrier de la Bathie, fait réaliser 14 forages. Deux d'entre eux seront équipés, en particulier le forage «Ranomafana I » qui porte également le nom « Perrier de la Bathie ».

Un lac artificiel sera créé à la place d'anciens marais pour maintenir une certaine pression hydrostatique sur les différentes émergences et pour favoriser l'artésianisme dans les forages.

Entre 1941 et 1946, une deuxième campagne de 25 forages est engagée. Elle aboutira à l'aménagement de plusieurs sources : « Ranomafana II », « source de l'hôpital », « source du Parc » et la « source du lac ».

De 1959 à 1962, deux nouveaux forages sont réalisés près de l'établissement thermal. Le premier (sa dénomination n'est pas connue) était implanté près de la source « Ranomafana I », le deuxième « Ranomafana III » a été utilisé pendant quelques années pour les soins dispensés par le centre thermal. Ces deux forages seront abandonnés à la fin des années 1960.

Entre 1970 et 1978, un nouvel établissement thermal sera créé au Nord des locaux datant de 1924. Inadapté aux formations géologiques du site, il sera rapidement endommagé et partiellement délaissé.

Dans les années 1970, deux nouveaux forages sont réalisés : «Ranomafana III » qui remplace le forage éponyme créé en 1962, et « Ranomafana IV ou Ranomafana III Est » qui alimente la piscine thermale.

En mai 1999, le forage « Ranomafana V » est créé pour alimenter l'établissement thermal de 1924. Au mois de juin de la même année, un nouveau forage « Ranomafana VI » viendra remplacer le forage « Ranomafana IV » pour alimenter la piscine thermale.

### 3.3.2. Description des sources d'eau minérale

Les sources émergent principalement dans deux secteurs d'Antsirabe :

- le vallon de Ranomafana qui comprend les sources alimentant le centre thermal, la source du lac et la source de l'hôpital ;
- la plaine de Ranovisy, située à 1 500 m environ au Sud du centre thermal.

L'illustration 7 présente l'implantation des sources actuelles, des sources abandonnées ainsi que les émergences non captées.

#### **Sources exploitées par le centre thermal d'Antsirabe**

Actuellement, trois sources sont exploitées sur le site mais seules deux d'entre elles sont utilisées pour la crénothérapie : forage I et forage II.

L'illustration 6 présente le circuit des eaux minérales : les eaux du forage II rejoignent un petit réservoir situé au droit de la tête du forage I. Elles sont ensuite distribuées soit vers un réservoir couvert de 80 m<sup>3</sup> qui alimente les salles de massages sous-marins et les douches à jet, soit vers 2 réservoirs de 13 m<sup>3</sup> environ adossés à l'établissement thermal et qui desservent les cabines de bains. Le forage Ranomafana VI quant à lui alimente directement les bassins de la piscine thermale.

L'artésianisme naturel des sources est accéléré par injection d'air comprimé.

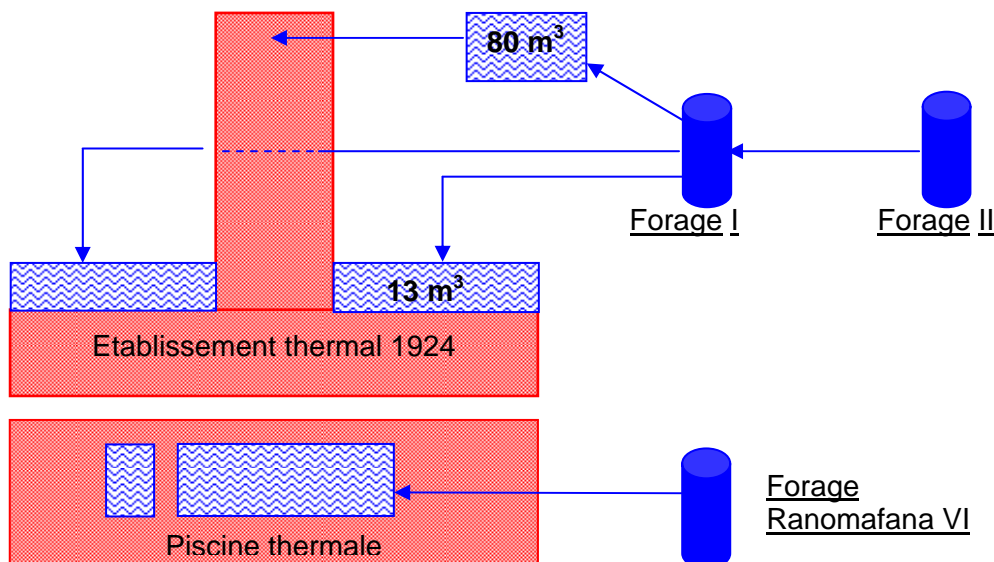


Illustration 6 - Schéma simplifié du circuit des eaux minérales du centre thermal

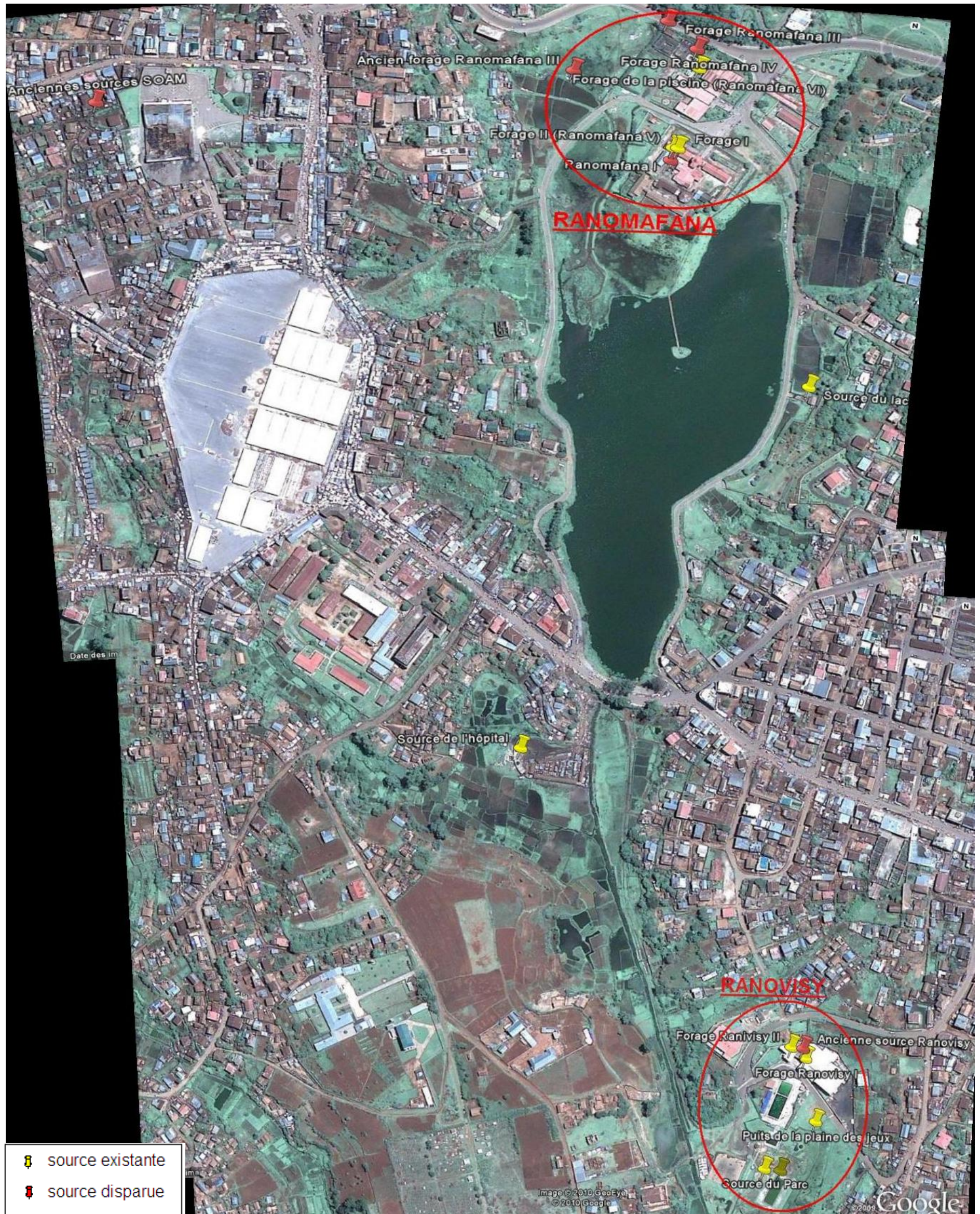


Illustration 7 - Localisation des sources d'Antsirabe (images Google)

### • Forage I

Localisation : il est situé à l'arrière du bâtiment de 1924, à quelques mètres des cabines de bains.

Usages : il est utilisé pour les soins externes dispensés par l'établissement thermal.

Caractéristiques : ce forage a atteint le socle à 26 m de profondeur. Il capte un aquifère de faible épaisseur (4 m) composé de sables argileux surmontant le socle. La coupe géologique est présentée en annexe 2.

Cette source jaillit naturellement toutes les 2 heures environ pendant 30 mn. Le débit artésien naturel mesuré le 15/07/08 était de 94 l/mn.

En phase d'exploitation, la production de l'ouvrage est stimulée par injection d'air comprimé dans la colonne d'exploitation à l'aide d'une tuyère positionnée à 18 m de profondeur.

La coupe technique pour cet ouvrage n'est pas disponible. La tête de forage aboutit dans un petit réservoir comportant deux arrivées et trois départs. Les arrivées correspondent à l'arrivée des eaux du forage II et à l'ancienne conduite provenant du forage Ranomafana I (abandonné). Les départs se font vers les deux réservoirs de 13 m<sup>3</sup> et le réservoir de 80 m<sup>3</sup> (Illustration 8).

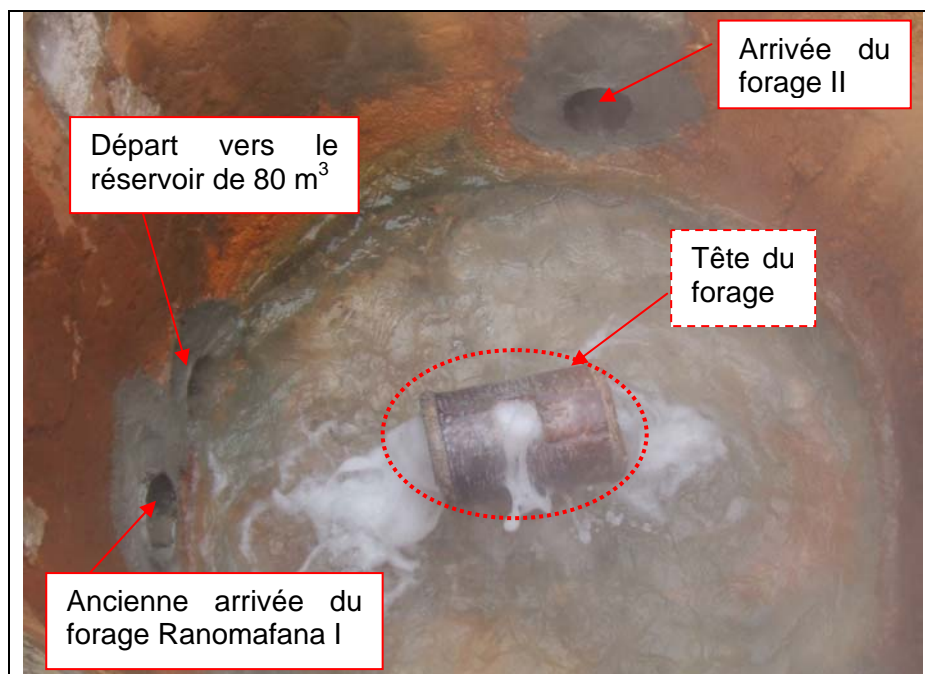


Illustration 8 - Vue de l'intérieur du réservoir abritant la tête du forage I

### • Forage II ou Ranomafana V

Localisation : ce forage est situé à quelques mètres du forage I (Illustration 9).

Usages : il est utilisé pour les soins externes dispensés par l'établissement thermal.

Caractéristiques : cet ouvrage a été créé le 26 mai 1999 pour suppléer le forage Ranomafana I (situé à 10 m) dont le débit déclinait.

La coupe géologique du forage est présentée en annexe 2.

La partie supérieure a été forée au diamètre de 116 mm, la partie inférieure au diamètre 96 mm jusqu'à 41 m de profondeur. L'extrados de la colonne d'exploitation (tubage de 114 mm de diamètre en grès vernissé) a été cimenté sur 19 m. L'extrados de l'avant trou (diamètre 168 mm) est également cimenté sur 5 m de profondeur environ. La tête de puits est protégée par une petite margelle en béton de 10 cm de hauteur. Ces équipements protègent l'ouvrage des infiltrations d'eaux de surface parasites. Equipé sur 39 m de profondeur, il est relié au réservoir situé au droit de la tête du forage I.

L'aquifère capté est situé entre le socle (atteint à 39 m de profondeur qui constitue le substratum imperméable) et des argiles imperméables situées à 22 m de profondeur. D'une épaisseur de 17 m, les formations aquifères sont des sables argileux (arène) dérivés de l'altération du socle.

Le débit artésien naturel mesuré le 17/07/08 était de 106 l/mn. Cet artésianisme est intermittent et est étroitement dépendant de celui du forage I. En effet, lorsque ce dernier est jaillissant, le débit du forage II est très réduit, voire inexistant. Les jaillissements sont cependant plus fréquents que ceux du forage I. Le débit du forage II est intensifié pendant la période d'ouverture du centre thermal par injection d'air comprimé à l'aide d'une tuyère positionnée à 24 m de profondeur.



Illustration 9 - Tête du forage II ou Ranomafana V

### • Forage de la Piscine ou Ranomafana VI

Localisation : cet ouvrage est situé à l'arrière du bâtiment abritant la piscine thermique et à 150 m au Nord des forages alimentant le centre thermal. Il est implanté en limite du périmètre de protection.

Usages : il est utilisé uniquement pour le remplissage des deux bassins de la piscine thermique. L'eau des bassins, entièrement renouvelée tous les jours, est refroidie à 37 °C par apports d'eau de ville. Le plus grand bassin fait 14 m de longueur pour 6 m de largeur et sa profondeur varie de 1 à 1.5 m.

Caractéristiques : ce forage a été créé en juin 1999 pour remplacer le forage Ranomafana IV. La coupe géologique et la coupe technique du forage sont présentées en annexe.

D'une profondeur de 24.5 m, il est relié directement à la piscine. Une cimentation de l'extrados de la colonne d'exploitation (tubage de 114 mm en acier galvanisé) a été réalisée sur 5 m. L'extrados de l'avant trou (diamètre 168 mm) est également cimenté sur quelques mètres de profondeur. La tête de puits est protégée par un petit socle en béton.

Cet ouvrage a atteint les formations altérées du socle (altérites) à 23,5 m de profondeur et a pénétré ces dernières sur un mètre. D'après la coupe géologique, le forage n'a pas été foncé jusqu'au substratum imperméable.

En permanence artésien, la remontée de l'eau est cependant accélérée par l'injection d'air par une tuyère située en profondeur. Le débit n'est pas mesurable, il est simplement estimé à travers le temps nécessaire pour remplir les bassins qui ne cesse de s'accroître depuis la mise en exploitation : de 8 heures en 2000, il est passé à 12 heures en 2005 et 14 heures en 2008. Ce phénomène révèle un colmatage progressif de la colonne ascensionnelle (Illustration 10).



Illustration 10 - Tête du forage de la piscine ou Ranomafana VI

## **Sources exploitées pour l'embouteillage**

### **• Forage Ranovisy I**

Localisation : Ce forage est situé dans la plaine de Ranovisy, en amont d'un petit parc de loisirs comportant des jeux d'enfants et deux piscines. Il est localisé dans la partie sud d'Antsirabe, à 1 km en ligne droite au Sud-Sud-Est du centre thermal. Le forage est implanté dans l'usine d'embouteillage de la Société d'Exploitation des Eaux source RanovisyAntsirabe (S.E.E.R.), à une dizaine de mètres au Sud de l'ancienne source Ranovisy.

Usages : l'eau de ce forage est destinée à l'embouteillage. Ce forage a été créé pour suppléer à un éventuel colmatage du forage Ranovisy. Il n'est pas utilisé actuellement.

Caractéristiques : ce forage a été réalisé par le BRGM en 1997. Il a été transformé en forage d'exploitation en 1999.

Les coupes géologique et technique du forage sont présentées en annexe 2.

D'une profondeur de 72.5 m, cet ouvrage capte un aquifère situé dans les fractures du socle (granitoïde gneissique très fracturé). Les venues d'eau principales se situent entre 39 et 43.5 m de profondeur. Le socle fracturé est surmonté par des formations sédimentaires essentiellement argilo-silteuses. Elles comportent des travertins en tête qui traduisent des venues d'eau minérale jusqu'en surface ou sub-surface. Il faut noter que ces travertins sont observables en surface dans de nombreux secteurs du vallon de Ranovisy. A l'interface entre le socle fracturé et les formations sédimentaires, le forage a traversé 10 m d'altérites et de formations volcaniques.

Il est équipé de tubages en inox jusqu'à 26 m (diamètre 5" puis 4"), le trou est nu au-delà de 26 m (diamètre 6"). En tête, il dispose d'un tubage en acier (205 mm de diamètre) dont l'extrados et l'intrados sont cimentés de 0 à 23 m de profondeur. Un radier en béton vient compléter le dispositif de protection de l'ouvrage vis-à-vis d'éventuelles infiltrations de polluants à partir de la surface.

La tête de puits est fermée par une plaque en acier boulonnée comportant deux piquages latéraux pour le prélèvement d'échantillons et pour régler le débit de production de gaz lift. Le forage équipé présente un débit de gaz lift naturel de l'ordre de 7 m<sup>3</sup>/h.

### **• Forage Ranovisy II**

Localisation : Ce forage est situé dans la plaine de Ranovisy, dans l'usine d'embouteillage de la S.E.E.R., à 16 m à l'Ouest de l'ancienne source Ranovisy

Usages : Ce forage est utilisé pour l'embouteillage, sous l'appellation « Ranovisy ».

Avant la mise en bouteille (verre ou PET) l'eau subit plusieurs traitements :

- dégazage et récupération du CO<sub>2</sub> ;

- élimination du fer et du manganèse puis filtration ;
- élimination de l'arsenic ;
- micro-filtration et désinfection de l'eau par rayons ultraviolets ;
- re-gazéification de l'eau avec le gaz de la source à une concentration légèrement supérieure à la teneur initiale.

Tous ces traitements nécessitent un refroidissement de l'eau qui émerge entre 41 et 43°C selon la saison. Les calories retirées ne sont pas valorisées.

La qualité de l'eau est contrôlée mensuellement in situ ainsi que par l'Institut Pasteur de Madagascar. Les normes appliquées sont celles préconisées par l'Organisation Mondiale de la Santé.

L'eau embouteillée est destinée au marché malgache, mais l'industriel envisage une exportation vers l'île de la Réunion. La production actuelle est très faible (40 m<sup>3</sup>/h).

Caractéristiques : ce forage a été réalisé par le BRGM en 1997, en même temps que le forage précédent. Il a été transformé en forage d'exploitation en 1999.

Les coupes géologique et technique du forage sont présentées en annexe 2.

Moins profond que le forage Ranovisy I (54,6 m de profondeur), cet ouvrage capte également un aquifère situé dans les fractures du socle (granitoïde gneissique très fracturé). Les principales venues d'eau se situent entre 43 et 52 m de profondeur. Le socle fracturé est également surmonté par des formations sédimentaires essentiellement argilo-silteuses comportant des travertins en tête. A l'interface entre le socle fracturé et les formations sédimentaires, on ne retrouve pas de formations volcaniques mais uniquement les formations altérées du socle de 25 à 30 m de profondeur.

Il est équipé sur toute sa longueur de tubages en inox. En tête, il dispose d'un tubage en acier (205 mm de diamètre) dont l'extrados et l'intrados sont cimentés de 0 à 33 m de profondeur. Un radier en béton vient compléter le dispositif de protection de l'ouvrage vis-à-vis d'éventuelles infiltrations de polluants à partir de la surface.

La tête de puits est fermée par une plaque en acier boulonnée comportant deux piquages latéraux pour le prélèvement d'échantillons et pour régler le débit de production de gaz lift (Illustration 11). Le forage équipé présente un débit de gaz lift naturel de l'ordre de 35 m<sup>3</sup>/h.



Illustration 11 - Tête du forage Ranovisy II

### **Sources utilisées pour d'autres usages**

#### **• Buvette du lac**

Localisation : cette source est située à une vingtaine de mètres de la rive est du lac Andranomafana, à 300 m environ en ligne droite au Sud-Est des forages du centre thermal.

Usages : elle était aménagée en buvette pour des cures de boisson. Actuellement, les arrivées d'eau n'alimentent plus à la vasque (colmatage ?). Le dallage situé en pied de la vasque a été retiré afin de puiser l'eau minérale qui sert à alimenter un petit commerce de douches (Illustration 12).

Caractéristiques : cette source a été aménagée au début des années 1940. D'une profondeur de 19 m, elle capte des venues d'eau entre 13.5 et 15 m de profondeur. Le forage est tubé jusqu'à 15 m au diamètre 60 mm (intérieur).

Le débit n'était plus mesurable lors de notre visite. La température et la conductivité de l'eau, au pied de la vasque de l'ancienne buvette, étaient respectivement de 35.6 °C et 5.58 mS/cm le 15/07/09.

Il existe un risque sanitaire à utiliser cette eau dans les conditions actuelles. En effet, des apports continus d'eaux usées en provenance des habitations surplombant le site rejoignent le petit bassin situé au pied de la vasque.

Il est intéressant de noter que les petits plans d'eau situés aux alentours de la source présentent tous des émanations gazeuses plus ou moins continues.



Illustration 12 - Vasque de l'ancienne buvette de la source du lac

#### • Source du Parc

Localisation : cette source est située dans la partie basse de la plaine de Ranovisy, à 130 environ au Sud-Sud-Ouest de l'usine d'embouteillage de Ranovisy et en aval de la piscine municipale éponyme. Elle est située dans un parc comprenant des jeux pour les enfants et une petite piscine privée (Illustration 13).

Usages : aménagée en buvette, la source est exploitée par un propriétaire privé qui vend l'eau à la bouteille pour ses vertus thérapeutiques. Elle serait analysée une fois par an.

Caractéristiques : découverte en 1946, cette émergence naturelle a été réaménagée en 2005. Elle est protégée par un petit pavillon ouvert, de forme hexagonale.

Le débit était de l'ordre de 6 l/mn lors de notre visite. La température et la conductivité de l'eau étaient respectivement de 29.4 °C et 6.36 mS/cm le 15/07/09.

Aucune information sur la nature géologique des formations situées au droit de cette source n'a été trouvée dans la littérature.



Illustration 13 - Buvette de la source du Parc

#### • Forage Ranovisy III

Localisation : ce forage est implanté à 17 m à l'Est de la source du Parc et à 120 m environ au Sud-Sud-Ouest des forages Ranovisy I et Ranovisy II (Illustration 14).

Usages : ce forage a été créé pour l'embouteillage d'eau minérale mais, insuffisamment productif, il a été réaménagé pour alimenter une fontaine située dans un bassin d'agrément de la plaine de jeux de Ranovisy.

Caractéristiques : ce forage a été réalisé par le BRGM en 1997.

Les coupes géologique et technique du forage sont présentées en annexe 2.

D'une profondeur de 24.5 m, cet ouvrage atteint le socle (granitoïde gneissique) à 22 mètres. L'aquifère capté, constitué de sables grossiers provenant de l'altération du socle, a une puissance de 2 mètres. Il est surmonté par des formations sédimentaires argilo-silteuses comportant des travertins en tête. Ces travertins constituent un réservoir d'eau minérale très superficiel.

Le débit d'artésianisme de l'eau minérale contenue dans les sables d'altération du socle est de 3.7 l/mn (0,22 m<sup>3</sup>/h).



*Illustration 14 - Fontaine surmontant le forage Ranovisy III*

#### • Source de l'hôpital

Localisation : cette source est située à 620 m au Sud-Sud-Ouest du centre thermal et en aval de l'exutoire du lac Andranomafana (Illustration 15).

Elle est implantée en contrebas de l'hôpital d'Antsirabe.

Usages : elle a été utilisée pour les soins externes et internes en bains et en cure de boisson. Actuellement, elle alimente des douches et bains de pieds publics. Cette source appartient à la commune d'Antsirabe.

Caractéristiques : découverte en 1912, la source a été aménagée entre 1941 et 1946. Elle est exploitée par un forage de 26 m de profondeur. Les venues d'eau ont été rencontrées à 19 m de profondeur. La source était jaillissante (+ 5 m par rapport au sol). L'ouvrage est tubé sur 8 m à partir de la surface au diamètre 80 mm.

Actuellement la source émerge dans une vasque d'où est elle répartie vers deux canalisations ouvertes desservant les douches et bains. Les équipements sont très colmatés par des dépôts carbonatés, en particulier le départ droit.

La température et la conductivité de l'eau étaient respectivement de 42.2 °C et 6.26 mS/cm le 15/07/09. Son débit à cette date était d'environ 19 l/mn.



*Illustration 15 - Source de l'hôpital*

- **Emergences sommairement captées du parc de jeux de la plaine de Ranovisy**

Localisation : ces émergences sont situées à environ 80 mètres en aval de l'usine d'embouteillage de Ranovisy (Illustration 16).

Usages : elles ne sont pas utilisées actuellement.

Caractéristiques : ces sources ont été captées très sommairement par de petits puits de moins d'un mètre de profondeur. Ces aménagements ont été réalisés en 2005 par le propriétaire de la source du Parc qui souhaite les valoriser.

La température et la conductivité de l'eau mesurées dans l'un des puits étaient respectivement de 16.6 °C et 6.55 mS/cm le 15/07/09. Le débit n'était pas mesurable.



*Illustration 16 - Source sommairement aménagée du vallon de la plaine des jeux*

## **Sources abandonnées ou rebouchées**

### **• Forage Ranomafana I**

Localisation : cet ouvrage était implanté au droit à la première source captée au début du siècle dernier (source de la reine Ranomafana ou Perrier de la Bathie). Il ne subsiste actuellement que l'ancienne vasque située à une dizaine de mètres des forages actuels des Thermes (Illustration 17).

Usages : elle était utilisée pour les soins externes (bains et douches) dispensés dans l'établissement de 1924 et pour les bains publics situés à côté du lac Andranomafana.

Caractéristiques : cette source a été utilisée de 1878 à 1976, date à laquelle elle s'est définitivement colmatée et a été abandonnée. Le forage d'une profondeur de 30 mètres, a été réalisé en 1914. Il était tubé sur 14 m au diamètre 70 mm. Le trou (50 mm de diamètre) était nu au-delà de 14 m.

Ce forage était initialement artésien. Son débit, assez instable, a été divisé par deux environ après la mise en service du forage Ranomafana II (1941). A partir de 1984, un pompage a été mis en place à l'aide d'un compresseur.



*Illustration 17 - Vasque située au droit du forage Ranomafana I*

### **• Forage Ranomafana II**

Localisation : cette source était située à 15 mètres du forage Ranomafana I.

Usages : elle était utilisée pour les soins externes (bains et douches) dispensés dans l'établissement thermal.

Caractéristiques : réalisé en 1941, ce forage a atteint 41 m de profondeur. Les venues d'eau ont été rencontrées entre 22 et 26 m de profondeur.

Le forage était tubé en 200 mm de 0 à 4.15 m. Il comportait un tube de 80 mm de 0 à 22 m cimenté à l'extrados ainsi qu'une colonne ascensionnelle de 63 mm de + 2 m à - 24 m de profondeur également cimentée à l'extrados.

Initialement artésien, il a été abandonné en 1982 après son colmatage par des dépôts carbonatés. Son débit maximum a été de 120 l/mn en 1941.

#### • Ancien forage Ranomafana III

Localisation : cette source était située à environ 110 m au nord-nord ouest de l'établissement thermal de 1924, dans un secteur encore cultivé actuellement.

Usages : la source était utilisée pour les soins externes (bains et douches) dispensés dans l'établissement thermal.

Caractéristiques : le forage a été créé en 1962. Sa profondeur n'est pas connue, ni son équipement. Les venues d'eau ont été rencontrées à 13.5 m. Il a été abandonné en 1973 et rebouché en 1978.

#### • Forage Ranomafana III

Localisation : ce forage est situé dans les locaux techniques désaffectés des anciens thermes des années 1970. Il est implanté à 140 m au Nord des forages actuels (Illustration 18).

Usages : la source était utilisée pour les soins externes (bains et douches) dispensés dans les thermes de 1970, ainsi que pour alimenter l'hôtel des thermes situé à 250 m.

Caractéristiques : le forage a été créé en 1973 et a atteint 22 m de profondeur. Il comportait une colonne ascensionnelle en PVC de 90 mm de diamètre (longueur inconnue). Il est colmaté depuis 1986. Son débit était de l'ordre de 100 l/mn



*Illustration 18 - Local abritant le forage Ranomafana III*

#### • Forage IV

Localisation : ce forage était situé à l'arrière de la piscine thermale, soit à une quinzaine de mètres au Nord du forage Ranomafana VI.

Usages : la source était utilisée pour le remplissage de la piscine thermale.

Caractéristiques : le forage a été créé en 1982 et a atteint 22 m de profondeur. Il comportait une colonne ascensionnelle en PVC de 90 mm de diamètre (longueur inconnue). Son débit était de 200 l/mn. Il est colmaté depuis 1999.

#### • Ancienne source de Ranovisy

Localisation : cette source était située à l'emplacement de l'usine d'embouteillage de Ranovisy, entre les deux forages actuels. Il ne subsiste que l'ancienne vasque (Illustration 19).

Usages : elle a été aménagée en buvette pour des cures de boisson. Elle a également alimenté des douches et des bains de pieds et, pour partie, la piscine sportive de Ranovisy.

Caractéristiques : elle a été découverte lors de la première campagne de sondages entre 1912 et 1924. Le forage a atteint 23 m de profondeur. Il a été arrêté à cette profondeur par une venue d'eau très importante estimée à 230 l/mn.

D'autres venues d'eau ont également été rencontrées lors de la foration : 7 l/mn à 4.3 m de profondeur (température de 36 °C) ; 150 l/mn à 14.4 m (37,5 °C) ; 150 l/mn à 16 m (40 °C) et 150 l/mn à 21 m (42,5 °C).



Illustration 19 - Ancienne source de Ranovisy

### • Sources de l'usine SOAM

Localisation : ces sources étaient situées à 500 m l'Ouest du centre thermal, sur le relief qui surplombe le vallon de Ranomafana. Elles étaient implantées sur une distance horizontale de 250 m environ.

Usages : elles ont été exploitées de 1969 au début des années 1990, par la Société d'Oxygène et d'Acétylène de Madagascar (SOAM) pour la production de CO<sub>2</sub>.

Caractéristiques : Ces sources, au nombre de neuf, étaient captées par des puits de 8 mètres de profondeur environ pour un diamètre de 0.6 à 1.2 m.

Les puits ont atteint la base de formations peu perméables permettant la création d'un niveau aquifère captif. Ils ont été abandonnés suite à la baisse progressive des émissions de CO<sub>2</sub> due :

1. à la corrosion du cuvelage métallique des puits entraînant des fuites de gaz ;
2. à la création de fosses d'aisances dans les environs des puits qui ont permis au CO<sub>2</sub>, piégé sous les formations imperméables, de s'échapper par ces nouvelles ouvertures.

La source n° 1 qui a perduré jusqu'au début des années 1990 avait un débit approximatif de 0.10 l/mn. Ce faible débit s'explique en grande partie par la très faible perméabilité des formations géologiques au droit de la source.

L'urbanisation de ce secteur ne permet pas de retrouver la trace de ces puits sur le terrain.

### • Source Alexander et source de l'Abattoir

Ces sources sont citées dans la littérature mais n'ont pas été retrouvées sur le terrain.

La localisation de la source Alexander n'est pas connue. Elle était très peu minéralisée, légèrement chlorurée sulfatée sodique et ferrugineuse.

La source de l'Abattoir était implantée à 200 m environ au Sud-Est du forage Ranovisy III. Aucune indication n'existe sur ses caractéristiques techniques et sur l'aquifère capté. Des documents indiquent qu'elle était bicarbonatée, chlorurée, sulfatée sodique, calcique et légèrement ferrugineuse.

Il faut noter qu'il existe de très nombreuses petites émergences naturelles d'eau minérale non captées entre le vallon de Ranomafana et la plaine de Ranovisy, comme en témoignent les dépôts carbonatés observables en de nombreux secteurs, ainsi que les émanations gazeuses qui se produisent dans les plans d'eau (lac de Ranomafana et rizières).

### 3.4. SOURCES D'EAU MINERALE AROUND D'ANTSIRABE

De nombreuses émergences d'eaux minérales et/ou thermales ont été répertoriées dans la province du Vakinankaratra et plus particulièrement autour d'Antsirabe. D'après certains auteurs, il en existerait plus de 150 dans un rayon de 50 km autour d'Antsirabe.

Des investigations de terrain (une journée) ont été réalisées dans les environs d'Antsirabe afin d'améliorer les connaissances sur le circuit hydrothermal des eaux minérales. Les recherches se sont basées sur les travaux réalisés par le BRGM en 1996. Les sources visitées sont reportées sur l'illustration 21.

#### 3.4.1. La source d'Antsirakely (Visy Gazy)

Cette source est située à quelques mètres de la rivière Sahatsio qui présente également des émanations gazeuses en plusieurs endroits (Illustration 20).

La source est utilisée pour l'embouteillage sous l'appellation « Visy Gazy ». Il n'a pas été possible de visiter l'usine d'embouteillage de taille modeste.

L'eau minérale est acheminée vers l'usine située à une dizaine de mètres. Les installations de captage sont protégées par un grillage. Elles sont situées dans un point bas qui semble être ponctuellement inondé.

Des mesures ont été réalisées sur l'eau minérale avant rejet dans la rivière Sahatsio le 17/07/08. Elles ont montré une température de 28,2 °C et une conductivité de 4,05 mS/cm. Le débit n'était pas mesurable. On note la présence de dépôts d'hydroxydes de fer sur les installations dès lors que l'eau minérale est en contact avec l'atmosphère.

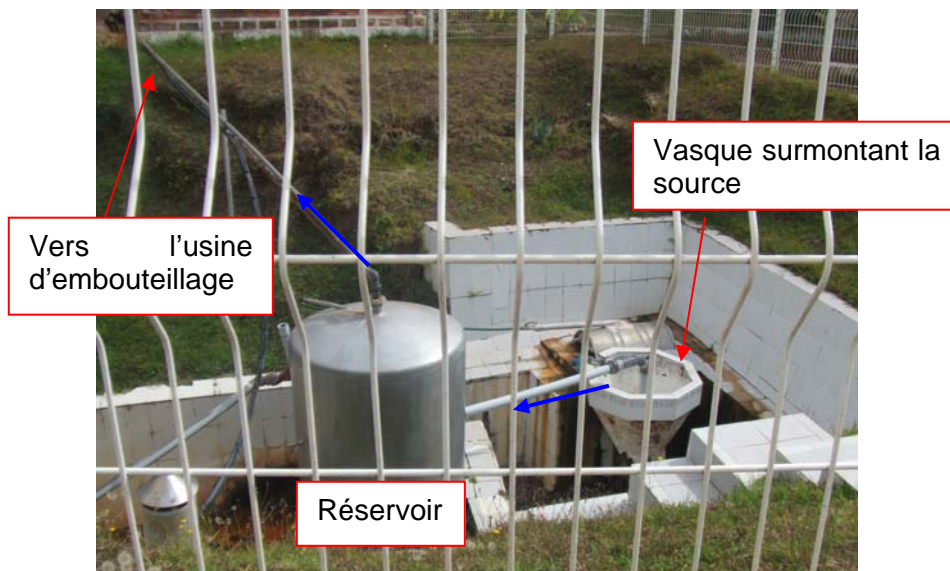


Illustration 20 - Source d'Antsirakely (Visy Gazy)

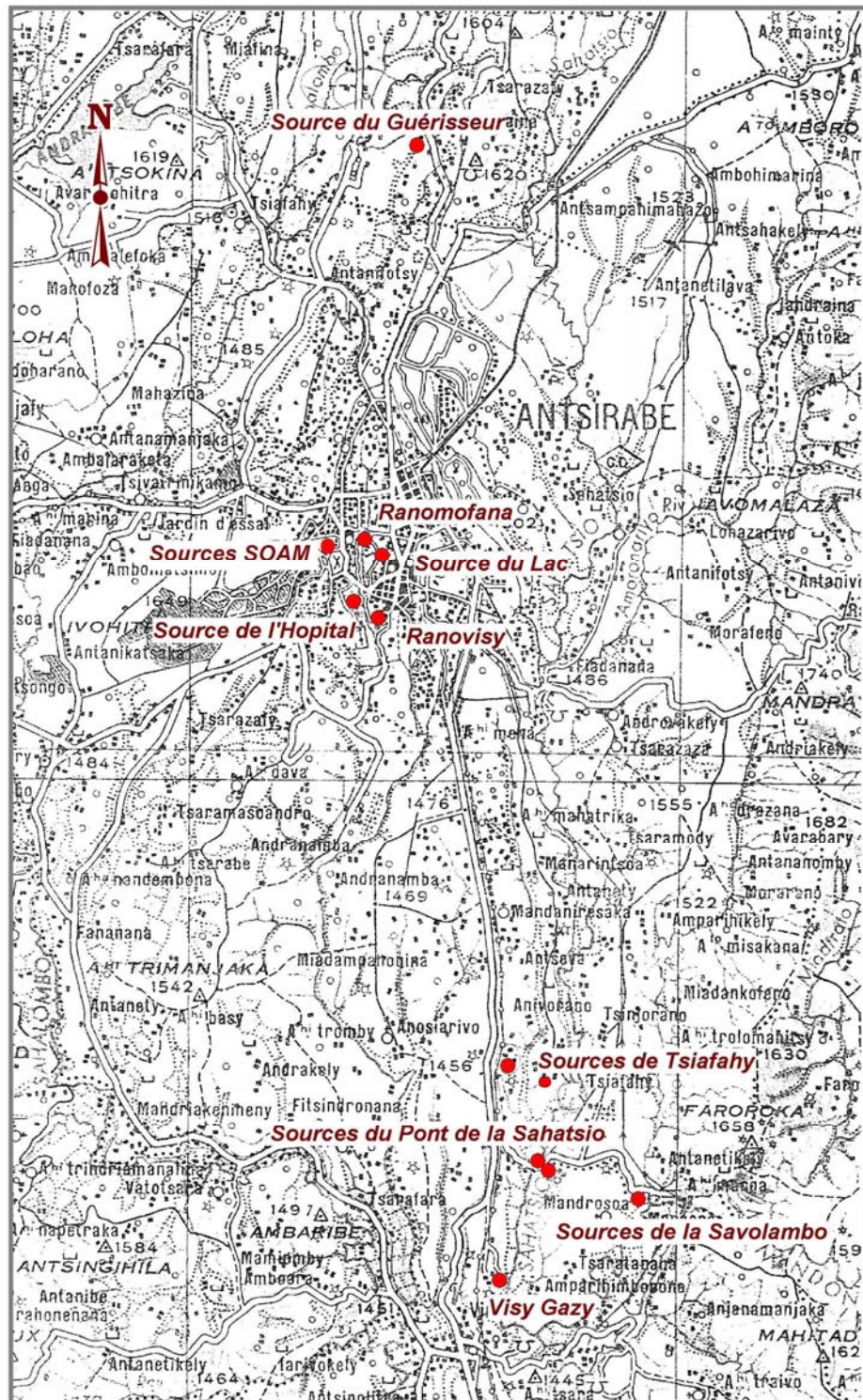


Illustration 21 - Localisation des émergences d'eau minérale visitées en juillet 2008

### 3.4.2. Sources près du pont de la Sahatsio

En rive gauche de la Sahatsio (Illustration 22), à proximité du barrage et du pont qui traverse la rivière, on peut observer plusieurs petites émergences d'eau minérale gazeuse et/ou dépôts carbonatés. Ces derniers ont même fait l'objet d'une petite exploitation (pierre à chaux). Les vestiges d'une trémie de chargement sont encore visibles à proximité d'un petit lac qui s'est formé dans une dépression située sur la rive gauche de la rivière.

Les températures de ces émergences sont comprises entre 16,4 °C et 22,3 °C, leurs conductivités étant quasi-identiques : 5,7 à 5,9 mS/cm.



*Illustration 22 - Source d'eau minérale et lac présentant des dépôts carbonatés et des émanations gazeuses près du pont de la Sahatsio*

### 3.4.3. Sources de la Savolambo

Après le barrage de la Sahatsio, et en direction d'Antanetikely, on rencontre une petite vallée sensiblement parallèle au cours de la Sahatsio. Cette vallée comporte un affluent de la rivière Savolambo située à 200 m environ au Sud-Est. En contrebas du village, les rizières situées sur la rive droite du petit cours d'eau présentent des émergences d'eau minérale froides et gazeuses ainsi que des dépôts carbonatés.

Les températures relevées s'échelonnent entre 14 et 21 °C tandis que les conductivités varient de 2.1 et 3.9 mS/cm.

### 3.4.4. Sources de Tsiafahy

Plusieurs sites ont été repérés à l'Est de la route nationale 7.

Le premier site comporte quatre forages (à présent rebouchés) et est situé à 150 m de la RN7. Deux forages se sont révélés improductifs.

D'après les villageois, l'un des forages aurait été réalisé en 1964 pour l'alimentation en eau potable. Initialement artésien, la source aurait arrêté de jaillir quand le forage s'est enfoncé dans le socle, soit vers 80 m de profondeur. L'eau était gazeuse et avait la particularité de tuer tous les insectes. Il faut noter que la description des caractéristiques de ce forage semble correspondre au forage d'Antseva que décrit P. Dréan dans son rapport de juin 1996.

Un puits situé dans la cour d'une maison à 60 mètres à l'Ouest du site précédent a été visité. Cet ouvrage, dont le niveau d'eau se situait à 4 m environ sous la surface du sol, présente des émanations gazeuses. Ces dernières sont plus conséquentes lors de la saison sèche (octobre). L'eau est froide (19,9 °C) et peu minéralisée (372 µS/cm).

A 300 mètres environ au Sud-Est du premier site, dans un petit vallon, de nombreuses émergences d'eau ferrugineuse et gazeuse sont visibles dans les rizières (Illustration 23). Deux mesures ont été réalisées à 10 m de distance : la première source était légèrement plus chaude et plus minéralisée que celle située plus au Sud : respectivement 18 °C pour 429 µS/cm et 14 °C pour 114 µS/cm.



Illustration 23 - Puits domestique et émergence d'eau minérale dans une rizière vers Tsiafahy

### 3.4.5. Les sources du guérisseur

Elles sont implantées à 9 km environ au Nord d'Antsirabe, non loin de la route nationale n° 7, dans un petit village (Illustration 24).

Treize « niches » correspondant à des sources réputées pour différentes vertus sont alignées sur une plateforme servant pour des sacrifices rituels. Il est vraisemblable qu'il s'agisse en réalité de la même source. L'eau est froide (18,5 °C), légèrement gazeuse et peu minéralisée (172µS/cm).



*Illustration 24 - Plateforme où émergent les sources du guérisseur*

Le cours d'eau situé en contrebas du village présente également des émanations gazeuses.

### 3.5. CONTEXTES GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

#### 3.5.1. Contexte géologique

La ville d'Antsirabe est située au pied du massif de l'Ankaratra constitué de formations gneissiques (socle) datées de l'ère tertiaire. Le socle a été recouvert, fin tertiaire - début quaternaire, par des formations volcaniques variées : coulées basaltiques, cendres et lapillis.

Des mouvements tectoniques ont provoqué localement des effondrements du socle qui se sont traduits par la mise en place de bassins d'effondrement dont l'abaissement a pu être plus ou moins important selon l'activité des failles.

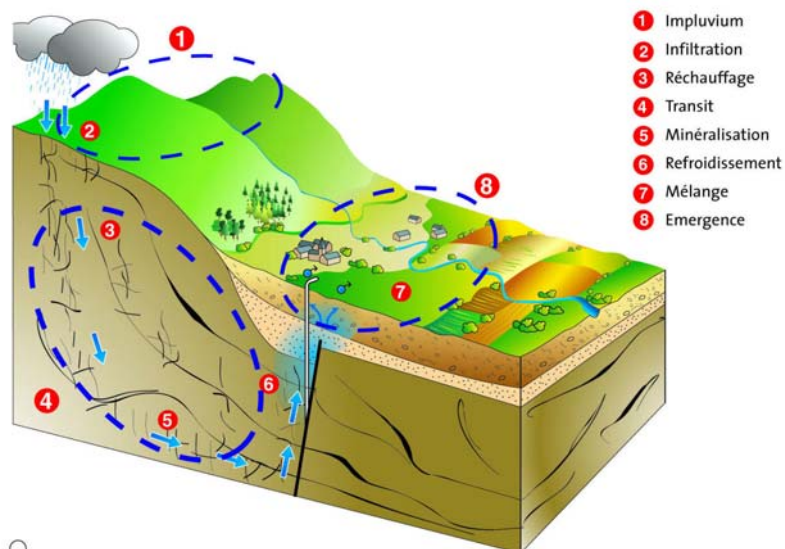
Les dépressions ont été remplies dans un premier temps par des sables plus ou moins argileux provenant de l'érosion du socle gneissique, puis par des argiles et des sédiments d'origine organique, par des cendres volcaniques et enfin par des boues et des sédiments récents.

Antsirabe est construite sur un ancien bassin d'effondrement lacustre créé par des coulées de laves qui ont formé des barrages naturels. L'épaisseur totale du remplissage lacustre est de l'ordre de 25 à 40 m.

#### 3.5.2. Contexte hydrogéologique

Les sources d'Antsirabe sont situées dans un rectangle de 1200 m de long pour 300 m de large.

Un schéma théorique de circuit hydrothermal est présenté sur l'illustration 25.



○

Illustration 25 - Circuit hydrothermal théorique des eaux minérales

Celui du gisement d'Antsirabe n'est pas connu avec précision. Seule la phase terminale du trajet souterrain des eaux minérales est identifiée. Elle est intimement liée à la présence de fractures d'origine tectonique ouvertes. Les forages profonds ont mis en évidence, en effet, que certaines failles affectant le socle permettaient la remontée des eaux minérales chaudes vers la surface.

Les principales émergences du vallon de Ranomafana et de la plaine de Ranovsy sont alignées selon un accident tectonique majeur de la région d'Antsirabe orienté sensiblement Nord-Sud. Cet accident est en relation avec le cisaillement de l'Angawo (orienté Nord 10) qui affecte le socle malgache du Nord au Sud de l'île sur plus de 800 km. Les autres sources situées dans les environs proches d'Antsirabe, visitées lors de la mission de juillet 2008, sont également implantées selon cet axe Nord-Sud.

L'utilisation de géothermomètres chimiques (Na-K, Na-K-Ca, SiO<sub>2</sub>, Na-Li) indiquerait que les eaux minérales d'Antsirabe atteindraient une température de 180 °± 20 °C lors de leur circulation en profondeur (Mauroux et al., 1989).

L'exploitation des sources se fait à partir de sondages captant les flux d'eau minérale, soit directement dans les fractures du socle pour les forages récents, soit dans les réservoirs intermédiaires : dépôts sableux qui surmontent le socle et qui résultent de son altération, ou formations sédimentaires sus-jacentes (cas des forages plus anciens). Le principal réservoir d'eau minérale est localisé dans les dépôts sableux qui surmontent le socle faillé.

Certaines venues d'eau peuvent atteindre la surface comme en témoignent les nombreux dépôts de travertins qui existent le long de l'axe Nord-Sud.

A l'état initial, les sources sont jaillissantes. Le colmatage progressif des colonnes ascensionnelles par des dépôts carbonatés provoque l'arrêt de l'artésianisme puis le déplacement de la venue d'eau vers un autre point de sortie. Le lac situé au Sud du centre thermal a été créé pour maintenir une certaine pression hydrostatique sur les différentes émergences et pour favoriser l'artésianisme dans les forages.

Il existe également un deuxième groupe de sources (sources de la SOAM) alignées selon un axe Est-Ouest sur une distance horizontale de 250 m environ. Ces sources ont été captées vers 8 m de profondeur dans des formations peu perméables qui permettent la mise en place d'un niveau aquifère captif.

Il est possible que les sources de Ranomafana soient situées à l'intersection de ces deux failles.

Des modifications chimiques se produisent au cours du refroidissement accompagnant la remontée de l'eau minérale. Les principaux processus qui interviennent sont :

- des mélanges avec les eaux superficielles ;
- des interactions avec les minéraux des formations lacustres du bassin d'effondrement d'Antsirabe ;

- des rééquilibrations chimiques à une température proche de la température d'émergence.

### 3.6. CARACTERISTIQUES DES SOURCES

#### 3.6.1. Aspects qualitatifs

Les sources d'Antsirabe ont le même faciès hydrochimique : elles sont bicarbonatées sodiques. Elles sont riches en gaz carbonique (99 % de la phase gazeuse) et chaudes.

Une compilation de valeurs de température et de conductivité relevées sur les sources actuelles ou disparues est présentée sur l'illustration 26.

Nom	Température (°C)		Conductivité (mS/cm)	
	littérature	juillet 2008	littérature	juillet 2008
<b>Sources actuelles</b>				
Forage I	50 à 54	52.0		6.17
Forage II		51.4		6.15
Forage Ranomafana VI	50	47.1		6.17
Source du Lac	35 - 35.6	35.6	5.70	5.58
Source de l'Hôpital	41.7 - 42.5	42.2	6.26	6.26
Source du Parc	27	29.4	6.27 - 6.62	6.36
Forage Ranovisy I	40.9		6.40	
Forage Ranovisy II	41.1 - 41.5		6.41 - 6.48	
Forage Ranovisy III	34.5	32.4	6.20	6.34
Emergences du vallon		16.6		6.55
<b>Sources disparues</b>				
Forage Ranomafana I	47 - 52		6.66	
Forage Ranomafana II	51			
Ancien forage Ranomafana III	50			
Forage Ranomafana III	50			
Forage Ranomafana IV	48.9 - 50		6.27	

Illustration 26 - Températures et conductivités mesurées sur les sources d'Antsirabe

Il ressort de ce tableau que les températures les plus élevées se situent au Nord du vallon de Ranomafana. Les forages de la plaine de Ranovisy, qui sont pourtant les plus profonds (72 m pour Ranovisy I et 55 m pour Ranovisy II), captent des eaux dont la température est inférieure d'une dizaine de degrés à celle des forages Ranomafana.

La conductivité de l'eau minérale est quasiment identique pour toutes les sources, hormis celle du lac. La conductivité plus faible de l'eau de ce forage s'explique peut-être par sa proximité avec le lac qui permet la mise en relation de l'eau souterraine avec des eaux de surface, induisant une certaine dilution de l'eau minérale.

Les concentrations en certains éléments dissous peuvent être importantes : fluor (4.6 à 5 mg/l), fer (0.5 à 1.5 mg/l), manganèse (100 à 150 µg/l), bore (1.22 à 2.87 mg/l), strontium (5.4 à 9.16 mg/l), lithium (2.9 à 3.2 mg/l), arsenic (480 à 508 µg/l).

Ces quatre derniers éléments révèlent un transit profond de l'eau minérale dans des formations du socle et à une température élevée. Cette dernière, ainsi que les teneurs importantes en CO<sub>2</sub> sont reliées au contexte volcanique du secteur.

Le dégazage naturel du CO<sub>2</sub> près de la surface provoque une sursaturation de l'eau minérale en carbonates (Ca, Mg et Fe). Il en résulte la formation de dépôts carbonatés sur les installations. L'utilisation de l'air lift dans les forages pour obtenir des débits plus importants accentue ce phénomène. L'illustration 27 montre l'entartrement dans le forage Ranomafana V.



*Illustration 27 - Dépôts carbonatés dans le forage II (ou Ranomafana V)*

Afin de palier au colmatage progressif des sources, une acidification (à l'acide chlorhydrique) est réalisée en tête des forages du centre thermal lors de la période de

fermeture technique (juillet). Ces opérations ne permettent cependant pas d'éliminer tous les dépôts, ce qui conduit à une baisse des débits des forages puis, au bout de quelques années, à leur abandon.

Les réservoirs, baignoires, murs des douches... sont également recouverts par les dépôts carbonatés que les employés des thermes éliminent au chalumeau et au grattoir.

Par ailleurs, et bien que l'eau de la piscine sportive soit renouvelée quotidiennement, il est peu engageant de s'y baigner du fait de la précipitation des carbonates qui lui confère un aspect trouble.

Des cas de contaminations bactériologiques sont mentionnés dans la littérature. Un rapport de 1989, en particulier, a révélé que l'eau de la source du Parc, du forage Ranomafana IV et de l'ancienne source Ranovisy étaient non potables. La pollution semblait provenir d'infiltrations d'eau de surface le long des tubages suite à l'absence de cimentation ou la détérioration de cette cimentation. Plus récemment, une contamination a été mise en évidence sur le forage Ranovisy III en 1997.

### **3.6.2. Aspects quantitatifs**

Les débits mesurés sur les différentes sources sont variables temporellement et spatialement. L'illustration 28 présente des valeurs de débits mesurées sur les sources d'Antsirabe.

Les variations temporelles s'expliquent d'une part par le colmatage progressif des forages suite à la précipitation des carbonates contenus dans l'eau. Ce phénomène est accéléré par l'injection d'air comprimé pour augmenter le débit de certains forages.

Les variations pluviométriques saisonnières permettent également d'expliquer la baisse du débit pendant la saison sèche. En effet, les pores du sol n'étant plus saturés en eau, il se crée des petites fissures qui permettent à l'eau minérale de remonter vers la surface. Les dépôts blanchâtres que l'on peut observer entre les thermes et le lac en particulier, révèlent ce phénomène. Le directeur technique des thermes nous a précisé que ces « fuites » peuvent être accentuées par le passage de camions et voitures.

Les différences de débit entre forages peuvent s'expliquer par l'implantation des forages au droit de venues d'eau minérale plus ou moins importantes, ainsi que par des différences de colmatage entre forages.

Il faut noter également que l'exploitation de certains forages interfère sur le débit de sources situées à proximité. Ceci reflète l'unicité de la ressource au même titre que le faciès hydrochimique bicarbonaté-sodique qui caractérise les sources d'Antsirabe.

En 2008, les besoins pour les activités liées au thermalisme et pour les bains publics étaient de 300 m<sup>3</sup>/j. Ce volume doit être disponible sur la matinée car les thermes sont fermés l'après-midi. On constate que le débit naturel artésien des forages I et II en juillet 2008 n'était que de 12 m<sup>3</sup>/h. En période d'exploitation, la production naturelle est

artificiellement stimulée par injection d'air dans la colonne des forages, ce qui a permis de fournir 23 m<sup>3</sup>/h en 2007-2008. Ce débit étant insuffisant, il a donc été nécessaire de solliciter les forages durant plusieurs heures afin de pouvoir satisfaire les besoins.

La durée de pompage augmente au fur et à mesure que les forages se colmatent. La saison thermale s'est même achevée une semaine plus tôt en 2008 car les débits étaient insuffisants. L'augmentation de la durée de pompage nécessaire au remplissage des bassins s'observe également au niveau du forage de la piscine.

Nom	Débit (l/mn)	
	littérature (date)	juillet 2008
Sources actuelles		
Forage I	90	94
Forage II	200	106
Forage Ranomafana VI	210 (1999)– ~150 (2007)	~ 130 (2008)
Source du Lac	15 (1946) – 15.4 (1989)	
Source de l'hôpital	100 (1920) - 35 (1946) - 65 (1989)	19
Source du Parc	6	6
Forage Ranovisy I	116 (1997)	
Forage Ranovisy II	580 (1997)	
Forage Ranovisy III		3,7
Sources disparues		
Forage Ranomafana I	210 à 300 (1914) - 130 après la réalisation du forage Ranomafana II - 108 (1956) - 50 (1959) - 130 à 300 (1984) avec compresseur-200 (1989) avec compresseur	
Forage Ranomafana II	120 (1941) - 90 (1946 à 1956)	
Ancien forage Ranomafana III	150 à 200 (1962)	
Forage Ranomafana III	100	
Forage Ranomafana IV	248 - 200	

Illustration 28 - Débit des sources en l/mn

### **3.7. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL ET VULNERABILITE DES RESSOURCES**

Antsirabe est desservie par un système de collecte unitaire des eaux pluviales et des eaux usées. Selon la pente du versant, les eaux pluviales et les eaux usées sont évacuées vers la rivière Sahatsio ou dans le lac Ranomafana.

Des analyses chimiques réalisées en 2004 (projet Voarisoa relatif à la mise en place d'un observatoire de la pollution dans la commune d'Antsirabe) dans la commune d'Antsirabe, sur les eaux de surface, ont montré que les eaux du lac Ranomafana devaient être rattachées à la classe « contamination excessive ». Elles présentaient en particulier une demande chimique en oxygène (DCO) élevée et des teneurs en aluminium et chrome VI non négligeables.

La rivière Sahatsio, quant à elle, était classée « qualité médiocre » en aval d'Antsirabe. On observe une dégradation de la qualité de l'eau de la rivière après sa traversée d'Antsirabe, qui se traduit par le doublement de la conductivité, des teneurs en chlorures, phosphates, ammonium, nitrites et DCO. Outre les eaux usées d'origine domestique, la rivière reçoit les effluents d'usines.

Des prélèvements ont également été réalisés sur quelques puits utilisés pour l'AEP, en centre ville et à l'extérieur d'Antsirabe. Ils ont mis en évidence des concentrations élevées en nitrates dans les eaux souterraines (jusqu'à 52,2 mg/l en ville) et la présence d'Escherichia Coli (contamination d'origine fécale).

D'une manière générale, l'urbanisation rapide de la ville d'Antsirabe, comme le montre l'illustration 29, rend précaire le ramassage des ordures et les systèmes de collecte des eaux usées et des eaux pluviales. De plus, le taux d'accès aux infrastructures d'assainissement de base est faible et il n'existe pas a priori de sites de stockage des déchets. Tout ceci provoque des conditions sanitaires médiocres à Antsirabe.

Ce contexte défavorable est accentué dans les zones de captage des sources d'eau minérale du fait de leur émergence dans des points bas du relief (fonds de vallon).

Les forages alimentant en eau minérale les thermes d'Antsirabe sont inclus dans un périmètre de protection qui couvre une surface de 13 hectares. Toutefois, les limites de ce périmètre ne sont pas connues avec précision et il semblerait que ce dernier ait été créé plus dans un objectif de protection quantitative que qualitative. En effet, les 9 ha du lac Ranomafana, dont l'utilité est de maintenir une pression hydrostatique sur les émergences, sont compris dans le périmètre de protection.

Il n'existe visiblement pas de mesures particulières visant à protéger la ressource à l'intérieur du périmètre de protection. De plus, l'accès aux têtes des forages n'est pas restreint (pas de clôture). Des dégradations peuvent même s'y produire, comme à la source du Lac où l'eau minérale est à présent puisée à la surface du sol.

Les forages qui captent les venues d'eau minérale dans les formations volcano-sédimentaires (réservoir intermédiaire), et qui ne bénéficient pas d'une cimentation des tubages à partir de la surface, sont donc très vulnérables.



Photographie prise de la colline (1997)



Photographie prise du bas de la colline (2008)

*Illustration 29 - Vues du site à proximité de la source Ranovisy en 1997 et en 2008*

### **3.8. PROPOSITIONS POUR AMELIORER L'UTILISATION DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE**

Le contexte environnemental dans lequel sont captées les eaux minérales utilisées pour le thermalisme n'est pas favorable à une exploitation pertinente d'un point de vue sanitaire. En effet, les thermes sont situés dans un point bas qui reçoit des eaux usées et des eaux de ruissèlement dont la collecte et le traitement ne paraissent pas optimaux. De même, le ramassage des déchets ne paraît pas être organisé de façon adéquate.

Un périmètre de protection existe autour des sources du vallon de Ranomafana mais il n'est accompagné d'aucune mesure de protection particulière. Dans un premier temps, il est recommandé de protéger physiquement (clôture, cabanon...) les têtes de forages afin d'empêcher leur dégradation. Dans un deuxième temps, il est conseillé de réviser les mesures de protection à mettre en œuvre en fonction de l'occupation du sol actuelle et future (cf. les documents d'urbanisme).

Selon les documents en notre possession, il apparaît que les forages récents soient protégés des infiltrations d'eaux superficielles grâce à la cimentation de l'extrados des forages. Leur artésianisme leur confère également une certaine « protection » vis-à-vis des eaux parasites.

Les conditions d'exploitation des eaux minérales ne sont pas adaptées à la chimie des eaux du gisement d'Antsirabe, qui sont sursaturées en carbonates lorsqu'elles atteignent la surface. L'exploitation par air-lift provoque un colmatage rapide des forages qui nécessite, au bout d'une dizaine d'années, de recapter une nouvelle source. Il est conseillé de cesser de stimuler la production des forages par cette technique.

Afin de palier à ces désagréments, il conviendrait de réaliser un ou plusieurs forages dans les règles de l'art, équipés avec des tubages adaptés à la chimie de l'eau du gisement d'Antsirabe (tubages en inox par exemple). La connaissance de la pression à laquelle le CO<sub>2</sub> commence à se libérer (pression du point de bulle) pourrait indiquer la profondeur où la phase fluide commence à être instable et où les dépôts commencent à se former. Le soutirage de l'eau à une profondeur inférieure à celle qui permet la formation du point de bulle, et son acheminement sans contact avec l'atmosphère vers les points d'usages, permettrait de conserver les forages pendant plusieurs années.

Compte-tenu du contexte sanitaire défavorable, de la vétusté des installations existantes et de la baisse de débit des forages liée à leur colmatage progressif, il n'apparaît pas pertinent d'envisager le développement du centre thermal vers des activités thermo-ludiques. Les travaux à engager seraient en effet très importants.

Une réflexion doit être menée sur le développement éventuel des activités de « bien-être » en dehors d'Antsirabe. Le potentiel en eau minérale dans les environs proches d'Antsirabe semble en effet intéressant et les conditions sanitaires pourraient être compatibles avec une exploitation correspondant aux standards de qualité internationaux.

Un autre axe de développement doit également être étudié. En effet, il n'existe actuellement aucune valorisation du potentiel thermique de l'eau minérale du gisement d'Antsirabe. La thermalité de l'eau est même considérée comme une gêne pour certains usages. En effet, l'eau embouteillée à Ranovisy doit être refroidie, il en est de même pour l'eau du forage de la piscine thermale.

Il serait intéressant d'exploiter les calories de l'eau minérale pour chauffer des bâtiments publics à Antsirabe où les températures peuvent être relativement basses durant l'hiver austral. L'eau de la piscine sportive de Ranovisy pourrait également être réchauffée par les calories non utilisées des forages Ranovisy de l'usine d'embouteillage.

L'utilisation des calories du gisement d'eau minérale d'Antsirabe pourrait aussi servir au chauffage de serres, de bassins d'élevage de poissons ou de bassins de culture d'algues de type spiruline par exemple (complément alimentaire). La création de forages dédiés uniquement à la production de chaleur pourrait être réalisée à proximité de ces installations.

En conclusion, il existe plusieurs pistes de développement d'utilisation de l'eau minérale d'Antsirabe et de ses environs. Il est indispensable toutefois d'améliorer les connaissances sur le circuit de l'eau minérale (impluvium, temps de transit, nature des formations géologiques traversées par l'eau ...) ainsi que sur les aspects qualitatifs et quantitatifs du gisement.



## 4. Conclusion

La présente étude concerne deux thématiques appliquées à deux sites pilotes retenus dans le cadre des actions prioritaires du Schéma Directeur du Tourisme durable et du Thermalisme de la Région du Vakinankaratra à Madagascar :

- la thématique « Aires protégées et écotourisme » dans le secteur d'Ibity ;
- la thématique « Thermalisme et loisirs » sur le site d'Antsirabe.

Pour le volet « aires protégées et écotourisme » lié au patrimoine géologique, les conclusions sur l'état des lieux laissent entrevoir d'intéressantes possibilités quant à des circuits de découvertes des curiosités géologiques locales, sur le thème général « les hommes et les ressources du sous-sol ».

Pour le volet « thermalisme et loisirs », l'examen du contexte d'émergence de nombreuses sources d'eau minérale à Antsirabe et ses environs proches a révélé que le gisement hydrothermal d'Antsirabe semble important.

Les forages utilisés par le centre thermal d'Antsirabe ne peuvent pas actuellement être utilisés à d'autres fins que le thermalisme du fait de la baisse de leur production. De plus, le contexte environnemental d'émergence n'est pas optimal.

Plusieurs pistes de développement pour l'utilisation de l'eau minérale d'Antsirabe et de ses environs existent : activités de bien-être et opérations de géothermie « basse énergie ».

Le diagnostic préliminaire dont fait état le présent rapport, réalisé essentiellement à partir de données de terrain collectées à l'occasion d'une mission réalisée par le BRGM en juillet 2008, permet de jeter les bases des orientations pour la suite du programme, dans le cadre des objectifs fixés par le Schéma Directeur du Tourisme durable et du Thermalisme.



## 5. Bibliographie

Bertin C., Rocher Ph. (2008) - Diagnostic préliminaire relatif à deux projets écotouristiques dans la Région du Vakinankaratra (Madagascar) : patrimoine géologique et thermalisme. Rapport intermédiaire. Rapport BRGM RC-56961-FR.

Dréan P. (1996) - Recherche d'un site favorable pour la réalisation d'un forage d'eau minérale. Rapport BRGM N2288.

Dréan P. (1998) - Essai de débit de longue durée sur les forages R1 et R2 de Ranovisy à Antsirabe (Madagascar). Rapport BRGM N 2601.

Laurendon P., Gadalia A., Honegger J.-L. (1998) - Programme de reconnaissance du gîte hydrominéral de Ranovisy à Antsirabe (Madagascar). Réalisation de trois forages de reconnaissance sur le site de Ranovisy. Compte rendu des travaux. Rapport ANTEA A 11895.

Mauroux B., Iundt F., Robinirina A. R. (1989) - Etude du potentiel en eaux thermominérales du vallon Ranomafana et de la plaine de Ranovisy à Antsirabe (Madagascar). Rapport BRGM 89 REU 39.

Office National pour l'Environnement de Madagascar (2005) - Tableau de bord environnemental de la région du Vakinankaratra.

Rakotomalala M. (2007) - Transfert de technologies et estimation des besoins prioritaires dans le cadre des changements climatiques. Rapport final du groupe d'experts en transfert de technologies.

Raelina Rakotobe D. (1990) - Actualités sur l'établissement thermal d'Antsirabe. Indications thérapeutiques des eaux bicarbonatées sodiques.



## **Annexe 1**

### **Photographies de sites géologiques visités**



Photographie 1 - Vue du versant nord-ouest du massif de quartzites du Mont Ibity  
(cliché BRGM)



Photographie 2 - Entrée aval d'une cavité naturelle creusée au sein du massif de quartzites du Mont Ibity (site 3, cliché BRGM)



Photographie 3 - Vue d'une zone d'exploitation de filons de pegmatites pour extraction de la tourmaline et du béryl (site 6, cliché BRGM)



Photographie 4 - Carrière de granite exploitée artisanalement (site 10, cliché BRGM)



Photographie 5 - Site d'orpaillage près du village d'Ibity (site 18, cliché BRGM)

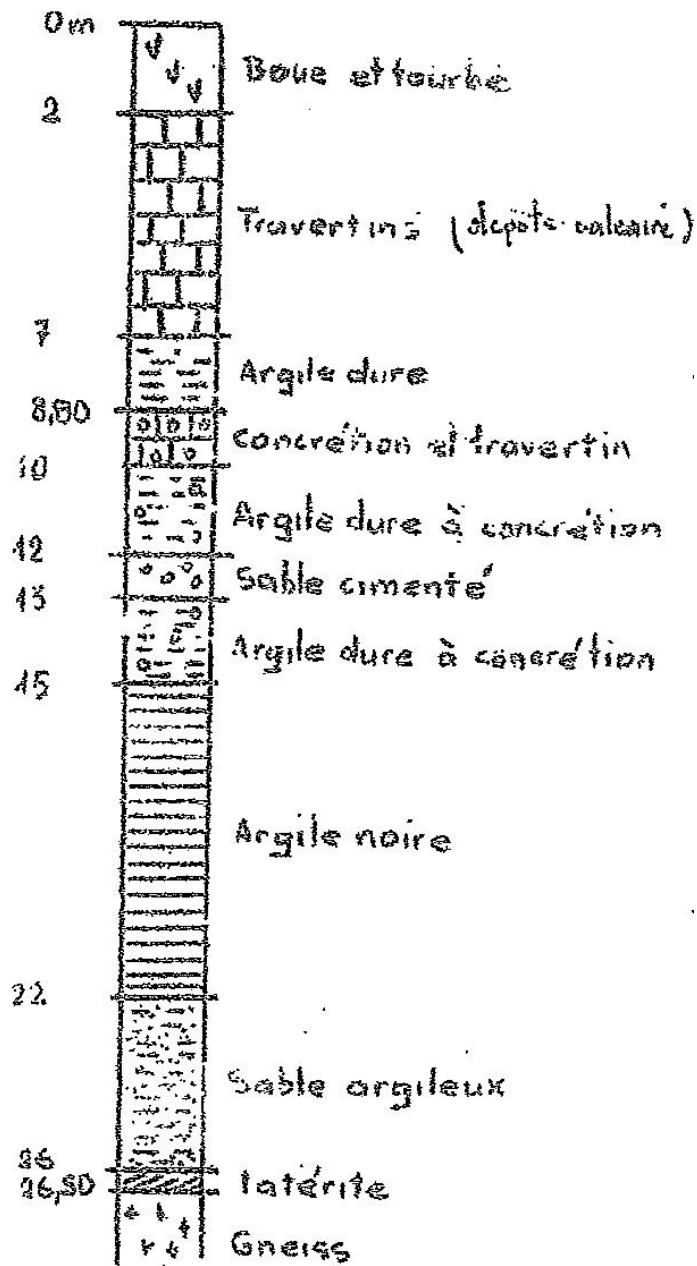


Photographie 6 - Extraction de l'argile et fabrication artisanale de briques près du village d'Ibity (cliché BRGM)

Diagnostic préliminaire relatif à deux projets écotouristiques dans la Région du Vakinankaratra  
(Madagascar) : patrimoine géologique et thermalisme.

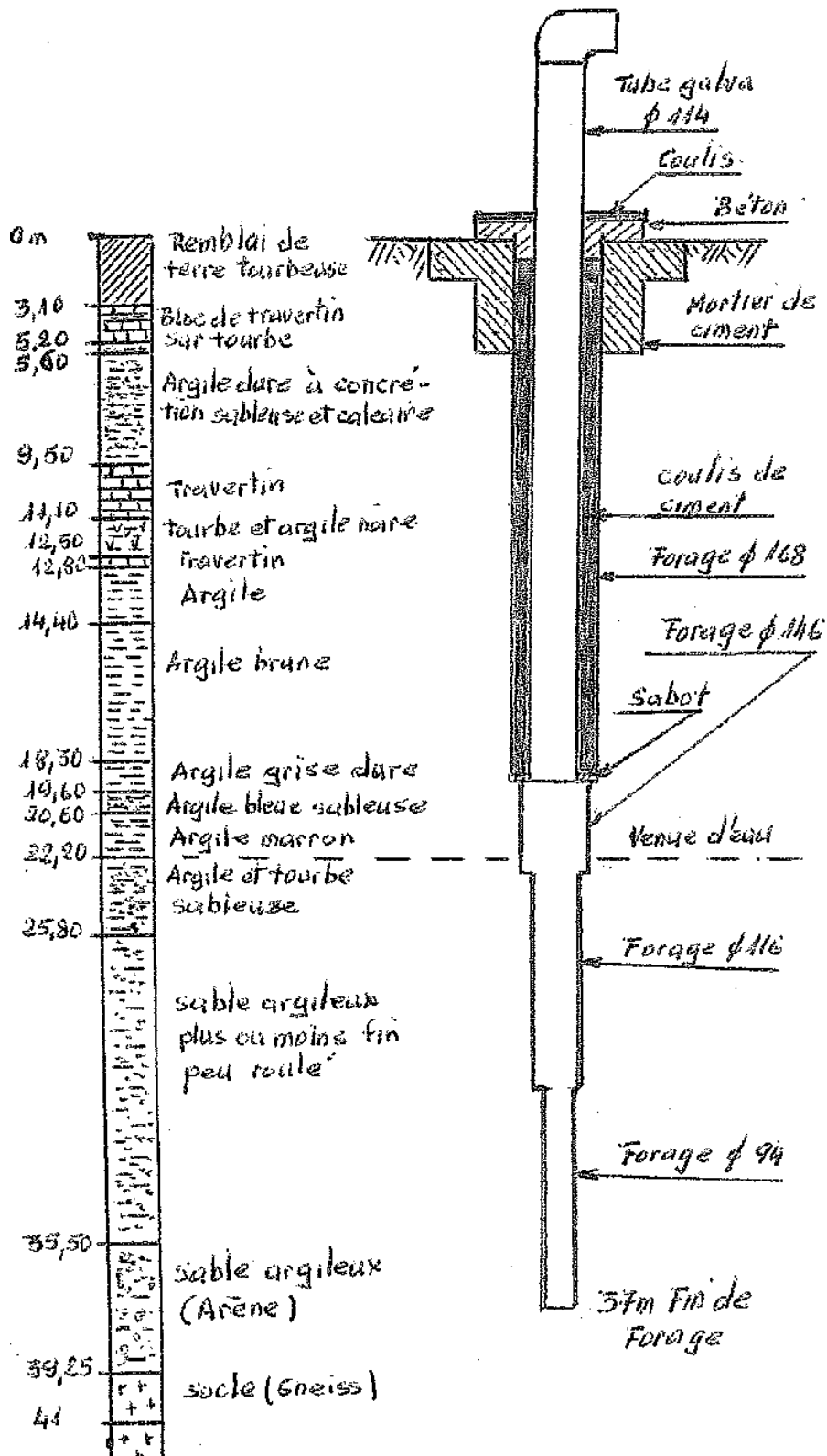
## **Annexe 2**

# **Coupes géologiques et techniques des forages d'Antsirabe**

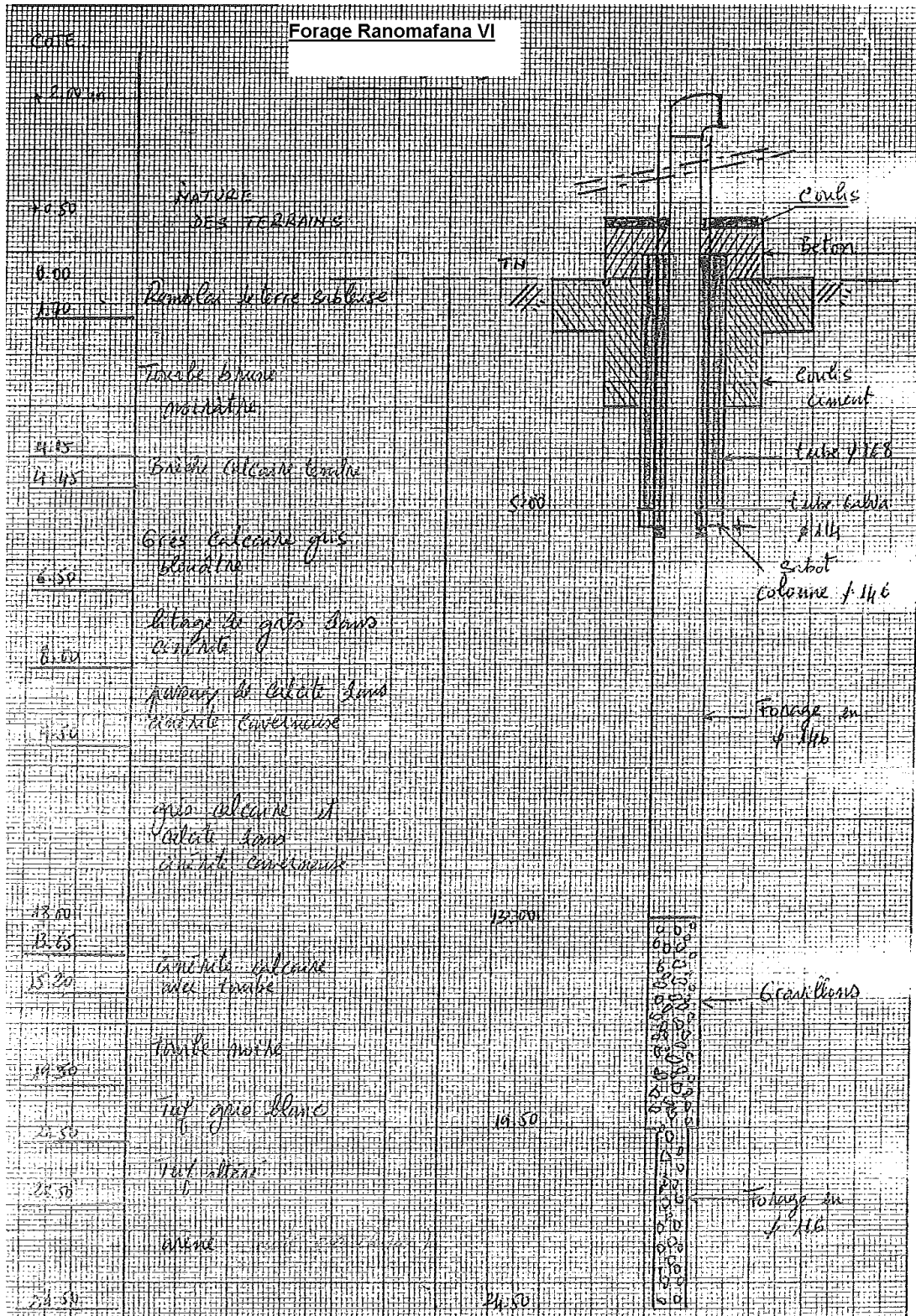


### FORAGE I

#### Coupe géologique du forage I

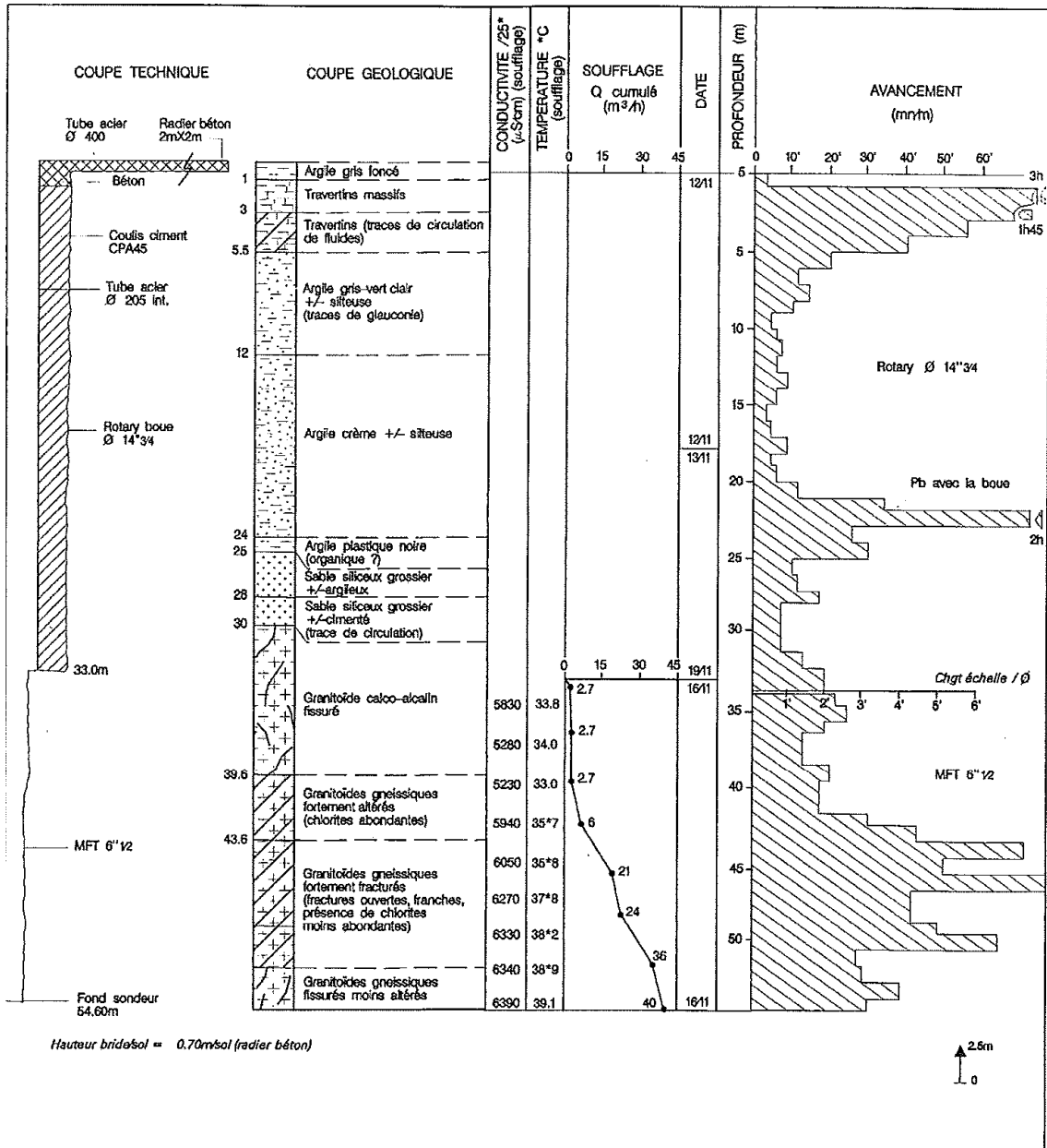


Coupes géologiques et techniques du forage II (Ranomafana V)

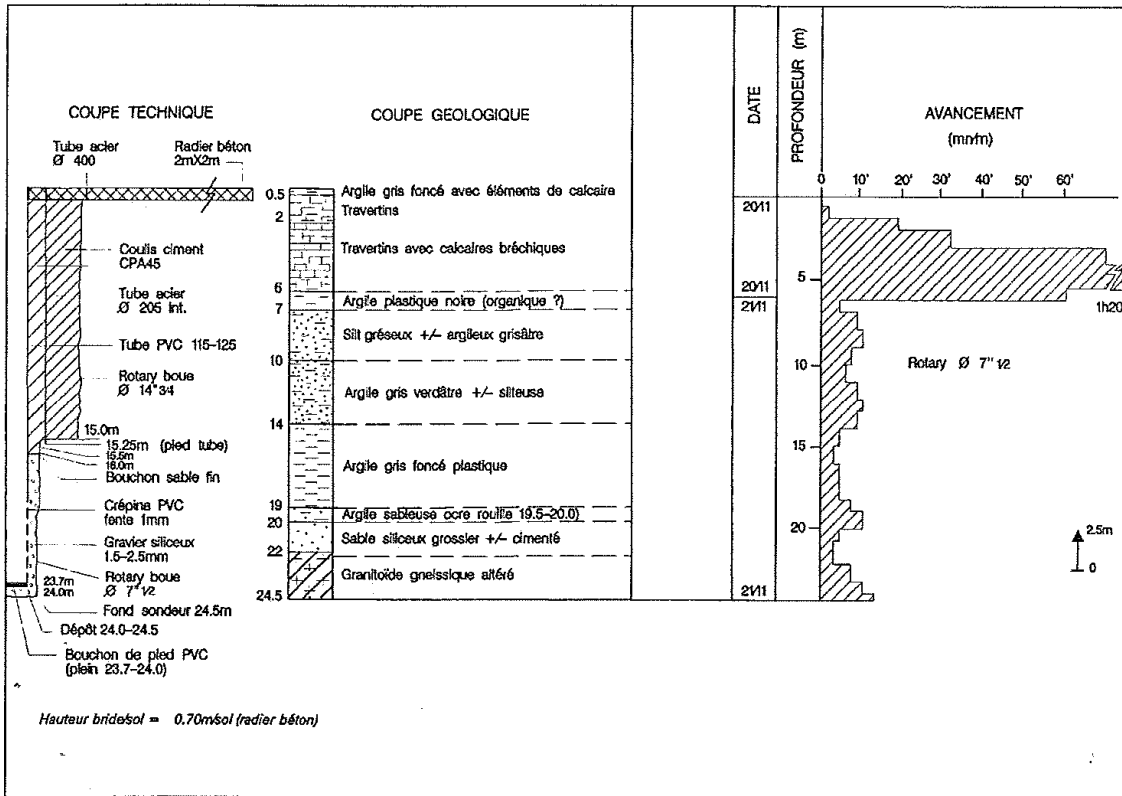


Coupes géologiques et techniques du forage Ranomafana VI (piscine)





Coupes géologiques et techniques du forage Ranovisy II



Coupes géologiques et techniques du forage Ranovisy III





**Centre scientifique et technique**  
3, avenue Claude Guillemin  
BP 36009  
45060 Orléans cedex 2 - France  
Tél. : 02 38 64 34 34

**Service Géologique Régional Auvergne**  
Campus des Cézeaux  
12, avenue des Landais  
63170 Aubière - France  
Tél. : 04 73 15 23 00