



Etude scientifique des possibilités d'adduction d'eau potable dans la région de Manakara, cas du Fokontany d'Analavory



**ÉCOLE SUPÉRIEURE POLYTECHNIQUE
D'ANTANANARIVO**

UNIVERSITÉ D'ANTANANARIVO

Département : Mines

Filière : Génie Minéral

Mémoire en vue de l'obtention d'un diplôme d'étude approfondie

***ETUDE SCIENTIFIQUE DES POSSIBILITES
D'ADDUCTION D'EAU POTABLE DANS LA REGION DE
MANAKARA, CAS DU FOKONTANY D'ANALAVORY***

Présenté par :

ANDRIHERINDRAINY Falizo

Composition des membres de jury :

- **Président** : Professeur RANDRIANJA Roger
- **Examineurs** : - Professeur RASOLOMANANA Eddy Harilala
- Professeur RAJAOBELISON Joël
- **Rapporteur** : Docteur ROBISON Laurent Roger

Date de soutenance : 16 Août 2007

ANDRIHERINDRAINY Falizo

REMERCIEMENTS

Choisir un sujet de mémoire de DEA relève autant d'inclinaisons personnelles que de rencontres et de hasards heureux. Dès l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo où je fus étudiant, j'ai eu la chance d'être encadré par Monsieur ROBISON Laurent qui m'a orienté vers les problèmes d'eau en particulier l'adduction d'eau potable.

Je désire connaître d'autres horizons et peut être me confronter avec une nature souvent décrite mais qui demeure malgré tout lointaine et floue. Que Monsieur RAKOTO Heritiana trouve ici le témoignage de ma reconnaissance.

Monsieur RAMANATSIZEHENA Pascal, Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique qui ne ménage pas ses efforts pour la direction de l'Ecole et pour les instructions et encouragement, à tous les étudiants, pour pouvoir décrocher le titre de « Diplôme d'Etude Approfondie ».

Monsieur RANDRIANJA Roger chef de département mines de m'avoir autorisé à soutenir ce travail en acceptant de le présider aussi malgré vos occupations. Nous vous prions de trouver ici le témoignage de notre profonde gratitude et notre respect.

J'ai une dette de reconnaissance particulière pour Monsieur le Professeur RASOLOMANANA Eddy qui m'a fait confiance et par le même a été un soutien efficace durant cette année. Il a répondu constamment avec précision et célérité à mes questions.

Je remercie également Monsieur le Directeur du CNRE qui m'a toujours reçu avec une extrême délicatesse. Ce travail a été réalisé grâce aux conditions matérielles qui me sont offertes et à sa compréhension toujours très large comme ordinateur et les fournitures consommables.

Enfin, ma gratitude va à mon proche entourage, à ma famille, à mes amis et tous ceux qui m'ont aidé par leur gaîté et leur affection.

Je tiens à remercier vivement les membres de jury.

SOMMAIRE

Introduction

Première partie : Considérations théoriques

- I.1 Facteur hydrologique
- I.2. Facteur géologique
- I.3 Facteur hydrogéologique
- I.4 Photo aérienne
- I.5 Télédétection
- I.6 Description des travaux à réaliser
- I.7 Traitement des eaux
- I.8 Réservoir
- I.9 Conclusion

Deuxième partie : Présentation de la zone d'études

- II.1 Situation géographique
- II.2 Géomorphologie
- II.3 Géologie
- II.4 Hydrologie
- II.5 Ressource en eau
- II.6 Situation démographique
- II.7 Demande en eau
- II.8 Situation sanitaire
- II.9 Conclusion

Troisième partie : Cas d'Analavory

- III.1 Site, son environnement et choix du site
- III.2 Limites administratives
- III.3 Périmètre de projet
- III.4 Urbanisme et habitat
- III.5 Plan d'urbanisme
- III.6 Infrastructures et services

Etude scientifique des possibilités d'adduction d'eau potable dans la région de Manakara, cas du Fokontany d'Analavory

III.7 Calcul du bilan hydrique, caractéristiques physiques et les débits d'eau pluviale du bassin versant d'Analavory

III.8 Photo-interprétation

III.9 Télédétection

III.10 Implantation des ouvrages

III.11 Qualités des eaux

III.12 Interprétation des données

III.13 Traitement

III.14 Les réalisations d'ouvrage

III.15 Conclusion

Conclusion générale

Bibliographie

Annexes

LISTE DES ABREVIATIONS

ACORDS : Appui aux Communes et Organisations Rurales pour le Développement du Sud.

AEP : Adduction d'Eau Potable

APD : Avant Projet Détaillé

CEE : Communauté Economique Européenne

CEG : Collège d'Enseignement Général

CPA : Ciment Portland Artificiel

CSB 2 : Centre de Santé de base 2

DHT : Dureté Totale

EPP : Ecole Primaire Publique

FED : Fonds Européen de Développement

FID : Fonds d'Intervention pour le développement

FKT : Fokontany

INSTAT : Institut National de la Statistique

M O : Matières Organiques

NGF : Norme de Grandeur Française

NTU: Nuphelometric Turbidity Unit

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PVC : Polychlorure de vinyle

REM : Rayonnement Electromagnétique

SAMA : Société Agricole de Madagascar

TAC : Titre Alcalimétrique Complète

TA : Titre Alcalimétrique

LISTE DES CARTES

Carte n° 01 : Carte topographique (Source : BD 500 FTM)

Carte n° 02 : Carte géologique (Source : Carte géologique 1/200000^e, Service des mines)

Carte n° 03 : Carte hydrographique (Source : BD 500 FTM)

Carte n° 04 : Carte de localisation de la zone d'étude (Source : BD 500 FTM)

Carte n° 05: Carte des limites administratives

Carte n° 06 : Carte des limites des bassins versants

Carte n° 07 : Carte de photo-interprétation

Carte n° 08 : Carte de localisation du point d'implantation du puits

LISTE DES FIGURES

- Figure n°01 : Diagramme de phase de l'eau (Tiré de Musy)
- Figure n°02 : Cycle de l'eau
- Figure n°03 : Nappes libres et nappes captives
- Figure n°04 : Principe de base de la télédétection
- Figure n°05 : Spectre électromagnétique
- Figure n°06 : Courbe d'Evapotranspiration Potentielle moyenne
- Figure n° 07 : Courbe de variation des températures
- Figure n° 08 : Courbe d'évolution de la population par FKT
- Figure n° 09 : Photo aérienne utilisée (Source : FTM)
- Figure n° 10 : Zone de prise (Source : Photo aérienne FTM)
- Figure n°11 : Différentes unités de la photo (Source : Photo aérienne FTM)
- Figure n°12 : Image satellite canal TM1 (Source : Image Landsat FTM) de la zone d'étude et carte scannée et calée (Source : Carte FTM)
- Figure n°13 : Histogramme du canal TM1 (Source : Image Landsat FTM)
- Figure n°14 : Histogramme du canal TM2 (Source : Image Landsat FTM)
- Figure n°15 : Histogramme du canal TM3 (Source : Image Landsat FTM)
- Figure n°16 : Histogramme du canal TM4 (Source : Image Landsat FTM)
- Figure n°17 : Histogramme du canal TM5 (Source : Image Landsat FTM)
- Figure n°18 : Histogramme du canal TM6 (Source : Image Landsat FTM)
- Figure n°19 : Histogramme du canal TM7 (Source : Image Landsat FTM)
- Figure n°20 : Composition colorée
- Figure n°21 : Composition naturelle
- Figure n°22 : Image filtrée de la composition naturelle
- Figure n°23 : Classification non supervisée de l'image
- Figure n°24 : Résultat analytique sur le diagramme de Piper
- Figure n° 25: Diagramme de Schöeller Berkloff
- Figure n°26 : Schéma de principe de fonctionnement

LISTE DES PHOTOS

Photo n° 01 : Emplacement du puits en face du CSB 2

Photo n° 02 : Emplacement du puits derrière le bureau du Fokontany

Photo n° 03 : Emplacement du puits à côté l'EPP

LISTE DES TABLEAUX

Tableau n° 01 : Evapotranspiration potentielle moyenne enregistrée dans le station de Manakara

Tableau n° 02 : Données des températures moyennes (maximales, minimales et médiaux)

Tableau n° 03 : Débits observés du fleuve de Faraony

Tableau n° 04 : Répartition de la population par Fokontany

Tableau n° 05 : Evolution de la population par Fokontany

Tableau n° 06 : Projection de la demande en eau

Tableau n° 07 : Bilan hydrique

Tableau n° 08 : Caractéristiques physiques des bassins versants du Fokontany d'Analavory

Tableau n° 09 : Débits d'eau pluviale dans les bassins versants du Fokontany d'Analavory

Tableau n° 10 : Apparence des différentes classes

Tableau n° 11 : Comparaison des résultats d'analyses par rapport aux normes OMS et CEE

Tableau n° 12 : Dimensionnement d'un flocculateur

Tableau n° 13 : Dimensionnement d'un décanteur

Tableau n° 14 : Dimensionnement d'un bac de filtration

Tableau n° 15 : Dimensionnement du réservoir

Tableau n° 16 : Qualités de l'eau de puits brute et traitée

LISTE DES PLANCHES

Planche n° 01 : Flocculateur

Planche n° 02 : Décanteur

Planche n° 03 : Filtre monocouche

Planche n° 04 : Bac de stérilisation

Planche n° 05 : Réservoir

Planche n° 06 : Coupe du puits

GLOSSAIRE

Bassin versant : C'est un bassin limité topographiquement par la ligne de crête qui sépare des bassins voisins. Il fonctionne qu'un collecteur chargé de recueillir les pluies et de les transformer en écoulement vers l'exutoire. Cette transformation dépend des conditions climatologiques réunissant dans le bassin versant mais aussi de caractéristiques physiques de ce dernier.

Etude scientifique des possibilités d'adduction d'eau potable dans la région de Manakara, cas du Fokontany d'Analavory

INTRODUCTION

Madagascar possède beaucoup de ressources naturelles et l'Etat Malgache compte sur ces ressources pour lancer le développement du pays, entre autres : les ressources en eau.

Boire deux litres d'eau quotidiennement, en consommer vingt pour se laver, en utiliser un litre et demi pour faire cuire le riz sont des minima que ne peuvent se permettre, que de plus en plus difficilement, de nombreuses communautés dans le monde et à Madagascar, tant l'eau est devenue rare et de quantité souvent à désirer.

Ces besoins vitaux en eau sont déjà loin d'être satisfaits pour le monde entier et que dire alors de cette ressource incontournable dans l'agriculture et élevage ? C'est une question qui fait douter de notre chance de survie dans les années à venir.

La dernière statistique indique que seulement 30 % des malgaches ont accès à l'eau potable (Ministère de l'Energie et des Mines)

Ayant travaillé dans le domaine de l'adduction d'eau potable et de génie civil j'ai acquis des expériences dans nombreux domaines. Dans le cadre du projet ACORDS, La commune rurale d'Analavory bénéficiait d'un financement du FED pour construire un système d'adduction d'eau potable.

Mon intervention, c'est de faire une étude qui a abouti à l'établissement d'un dossier Avant Projet Détaillé (APD).

L'étude consistait à chercher les points de localisation des puits au nombre de huit et l'implantation de deux bornes fontaines dans quatre Fokontany, à savoir : Analavory, Satramaha, Antavibe et Ambodivoangy.

Nous faisons une étude du bassin versant et le calcul du bilan hydrique. Tous les calculs ont été basés sur l'alimentation en de pluie.

La photo-interprétation et la télédétection sont les méthodes utilisées pour la localisation des puits.

Le mémoire ici présenté se focalise sur le Fokontany d'Analavory et concerne donc la réalisation de trois puits :

Le Fokontany d'Analavory ne dispose d'aucun système d'alimentation en eau potable, la population puise l'eau dans les étangs insalubres ou dans les ruisseaux traversant la commune et la situation est de plus en plus alarmante. Ainsi, les maladies d'origine hydrique sont plus fréquentes et handicapent le développement dans cette région. Nous estimons que l'alimentation en eau potable de ce Fokontany est indispensable voire urgente.

Les ressources en eaux sont de trois types : la pluie, les eaux souterraines et les eaux de surface.

La gestion et l'exploitation en eau du Fokontany d'Analavory sont à la charge d'un comité de gestion.

Avec la prochaine réalisation des projets financés par l'ACORDS dans cette région, la commune possède de réelles chances de développement : l'agriculture et l'élevage.

Par ailleurs, ce projet que nous estimons duplicable pour d'autres communes de Madagascar, est un appui aux actions de développement communal, destinée à accueillir les migrants qui devraient bénéficier des conditions particulièrement favorables pour que l'incitation intervienne à tous les niveaux.

Le présent mémoire est divisé en trois parties :

- La première partie se consacre sur les considérations théoriques et techniques,
- La deuxième partie concerne la présentation de la zone d'études et
- La troisième partie traite du Fokontany d'Analavory.

PREMIERE PARTIE :
CONSIDERATIONS THEORIQUES ET
TECHNIQUES

I.1 Facteur Hydrologique

I.1.1 L'eau, généralités

L'eau est la source principale et originelle de toute vie. Elle se présente, dans la nature, sous trois états :

- Solide : grêle.
- Liquide : eau chimiquement pure ou chargée en solutés.
- Gazeux : à différents degrés de pression et de saturation.

Le changement de phase de l'eau dépend essentiellement de la température et de la pression mais aussi du degré de pollution de l'atmosphère. La figure suivante donne les différentes conditions de pression et de température pour les trois états de l'eau, ainsi que les transformations de phase.

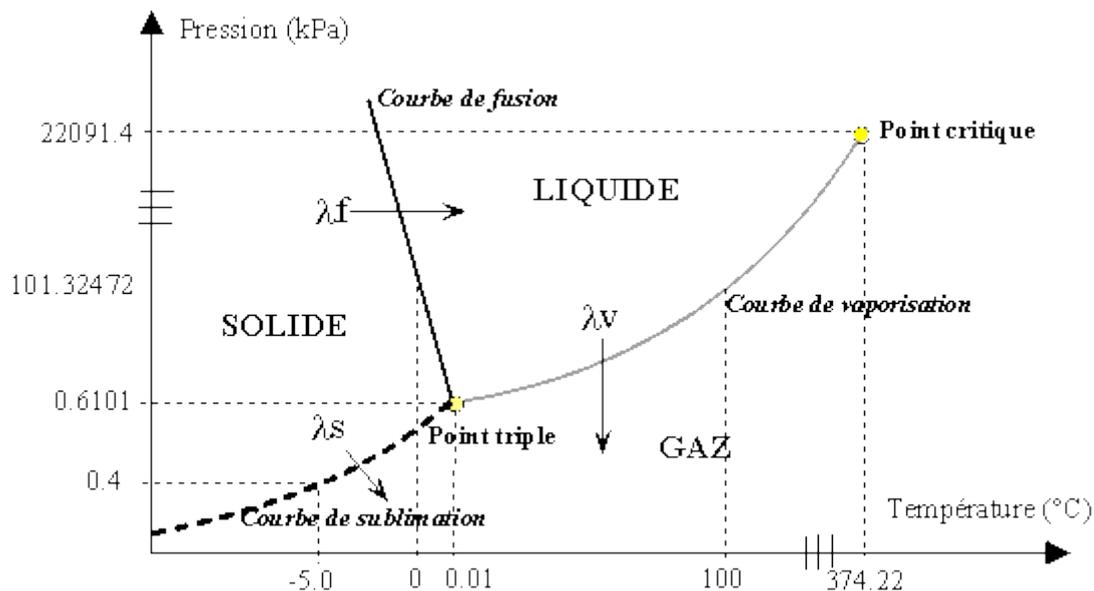


Figure 01 : Diagramme de phase de l'eau (Tiré de Musy)

I.1.2 Les précipitations

Sont dénommées précipitations toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (brume, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle) et les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,...). Elles sont provoquées par un changement de température ou de pression. La vapeur d'eau de l'atmosphère se transforme en liquide lorsqu'elle atteint le point de rosée par refroidissement ou augmentation de pression. Pour produire la condensation, il faut également la présence de

certaines noyaux microscopiques, autour desquels se forment des gouttes d'eau condensées. La source de ces noyaux peut être océanique (chlorides, en particulier Na Cl produit par l'évaporation de la mer), continentale (poussière, fumée et autres particules entraînées par des courants d'air ascendants) ou cosmiques (poussières météoriques). Le déclenchement des précipitations est favorisé par la coalescence des gouttes d'eau. L'accroissement de poids leur confère une force de gravité suffisante pour vaincre les courants ascendants et la turbulence de l'air, et atteindre le sol. Enfin, le parcours des gouttes d'eau ou des flocons de neige doit être assez court pour éviter l'évaporation totale de la masse. Les précipitations sont exprimées en intensité (mm/h) ou en lame d'eau précipitée (mm) (rapport de la quantité d'eau précipitée uniformément répartie sur une surface horizontale).

I.1.3 L'évaporation/l'évapotranspiration

L'évaporation se définit comme étant le passage de la phase liquide à la phase vapeur, il s'agit de l'évaporation physique. Les plans d'eau et la couverture végétale sont les principales sources de vapeur d'eau. On parle de sublimation lors du passage direct de l'eau sous forme solide (glace) en vapeur. Le principal facteur régissant l'évaporation est la radiation solaire.

Le terme évapotranspiration englobe l'évaporation et la transpiration des plantes. Il se subdivise :

- *l'évapotranspiration réelle* (ETR) : somme des quantités de vapeur d'eau évaporées par le sol et par les plantes quand le sol est à une certaine humidité et les plantes à un stade de développement physiologique et sanitaire spécifique.
- *l'évapotranspiration de référence* (ET_0) (anciennement évapotranspiration potentielle): quantité maximale d'eau susceptible d'être perdue en phase vapeur, sous un climat donné, par un couvert végétal continu spécifié (gazon) bien alimenté en eau et pour un végétal sain en pleine croissance. Elle comprend donc l'évaporation de l'eau du sol et la transpiration du couvert végétal pendant le temps considéré pour un terrain donné.

L'évaporation est une des composantes fondamentales du cycle hydrologique et son étude est essentielle pour connaître le potentiel hydrique d'une région ou d'un bassin versant. En général, des analyses spécifiques d'évaporation devront être faites pour des études de bilan et de gestion de l'eau par les plantes. Cependant, ces analyses approfondies sont moins nécessaires pour les études de projets d'aménagement où l'eau est plutôt considérée sous un aspect.

I.1.4 Le bassin versant hydrologique

Le bassin versant est défini par la ligne de crête délimitant le bassin versant par l'exutoire.

Si le sol est imperméable, il est évident que la limite du bassin est définie topographiquement par la ligne de crête la séparant des bassins voisins. Pour les sols perméables, le bassin versant réel peut différer pour le bassin topographique. En pratique, la plupart des temps le bassin versant coïncide avec le bassin topographique.

Le bassin versant fonctionne comme un collecteur chargé de recueillir les pluies et les transforme en écoulement vers l'exutoire. Pendant la transformation, les pertes en eau dépendent des conditions climatiques régnant sur dans le bassin versant mais aussi les caractéristiques physiques de ces derniers.

I.1.5 Le bilan hydrique

On peut schématiser le phénomène continu du cycle de l'eau en trois phases :

- les précipitations,
- le ruissellement de surface et l'écoulement souterrain,
- l'évaporation.

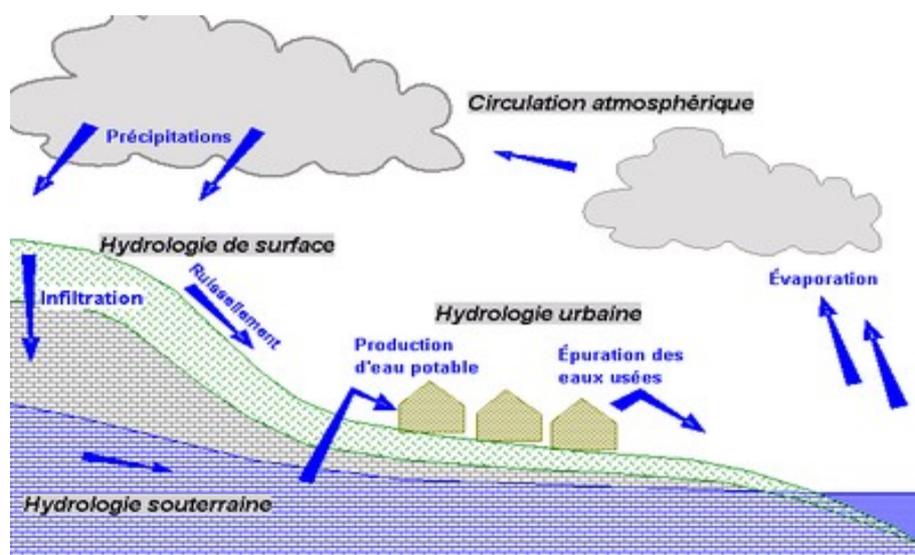


Figure 02 : Cycle de l'eau

Il est intéressant de noter que dans chacune des phases on retrouve respectivement un transport d'eau, un emmagasinement temporaire et parfois un changement d'état. Il s'ensuit que l'estimation des quantités d'eau passant par chacune des étapes du cycle hydrologique peut se faire à l'aide d'une équation "hydrologique" qui est le bilan des quantités d'eau entrant et sortant d'un système défini dans l'espace et dans le temps. Le temporel introduit la notion « d'année hydrologique ». En principe, cette période d'une année est choisie en fonction des conditions climatiques. Ainsi en fonction de la situation météorologique des régions, l'année hydrologique débute au mois de Novembre. Au niveau de l'espace, il est d'usage de travailler à l'échelle d'un bassin versant mais il est possible de raisonner à un autre niveau (zone administrative, entité régionale, etc.).

L'équation du bilan hydrique se fonde sur l'équation de continuité et peut s'exprimer comme suit, pour une période et un bassin donnés :

$$P + S = R + E + (S \pm \Delta S) \text{ ou } P = R + E \pm \Delta S \quad (1)$$

Avec :

P : précipitations (liquide et solide) [mm],

S : ressources (accumulation) de la période précédente (eaux souterraines, humidité du sol) [mm],

R : ruissellement de surface et écoulements souterrains [mm],

E : évaporation (y compris évapotranspiration) [mm],

S + ΔS : ressources accumulées à la fin de la période [mm].

ΔS : variation de stock [mm].

Généralement, les termes du bilan hydrique sont exprimés en hauteur d'eau (Par commodité en mm par exemple), nous parlons alors de lame d'eau (précipitée, écoulée, évaporée, stockée, etc.). Cette équation exprime simplement que la différence entre le débit d'eau entrant et le débit d'eau sortant d'un volume donné (par exemple un bassin versant) au cours d'une période déterminée est égale à la variation du volume d'eau emmagasinée au cours de la dite période. Elle peut s'écrire encore sous la forme simplifiée suivante :

$$E = I - O \pm \Delta S \quad (2)$$

Avec :

E : évaporation [mm] ou [m³],

I : volume entrant [mm] ou [m³],

O : volume sortant [mm] ou [m³],

ΔS : variation de stockage [mm] ou [m³].

Si le bassin versant naturel est relativement imperméable, la variation de stock sur une période donnée peut être considérée comme nulle (DS=0). Dès lors, nous pouvons introduire le déficit d'écoulement D dans l'équation qui s'écrit :

$$I - O = D \quad (\text{Cf. } E = I - O \pm \Delta S) \quad (3)$$

Ce déficit d'écoulement représente essentiellement les pertes dues à l'évaporation. Il peut être estimé à l'aide de mesures ou de méthodes de calcul. A titre illustratif, les formules de Turc, Coutagne et Thornthwaite sont les suivantes :

1. Formule de Turc

$$D = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (4)$$

Avec : D : déficit d'écoulement [mm],

P : pluie annuelle

T : température moyenne annuelle [°C].

$$L = 300 + 25 T + 0.05 T^3.$$

2. Formule de Coutagne

$$D = P - m \cdot P^2 \quad (5)$$

Avec : D : déficit d'écoulement [mm],

P : pluie annuelle [mm],

$m = 1 / (0.8 + 0.16 T)$: coefficient régional ($m=0.42$).

T = température moyenne annuelle [°C].

La connaissance du déficit d'écoulement permet d'évaluer le comportement du système ou la fiabilité des données sensées le décrire, par comparaison entre les valeurs du déficit calculées directement et les valeurs estimées dans un bassin versant plus grand.

3. Formule de Thornthwaite

$$D = 16 \times \left(10 \times \frac{t}{F}\right)^a \quad (6)$$

Avec a : une fonction complexe de I

$$a = 6.75 \cdot 10^{-7} \times F^3 - 7.71 \cdot 10^{-5} \times F^2 - 1.79 \cdot 10^{-2} \times F + 0.49$$

t : Température de la période considérée en °C

F : Indice thermique annuel qui est la somme des douze d'indice thermique mensuel i :

$$F = \sum_{j=1}^{12} i_j$$

$$\text{Avec } i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$$

I.2 Limite et caractéristiques de bassin versant

L'analyse hydrologique emploie des méthodes diverses, dont certaines parmi les plus utilisées ont fait l'objet de développement dans ce sous paragraphe. Cette méthode a recours à des degrés variés aux calculs mathématiques en général, à l'appareil statistique en particulier.

L'objet est d'illustrer l'aspect pratique de cette méthode de mesure des paramètres du milieu physique, en insistant plus particulièrement sur les paramètres géométriques de relief et morphométrie dont la détermination repose sur l'emploi des cartes topographiques et des photos aériennes.

I.2.1 Bassin versant

Pour avoir un tracé du périmètre réel du bassin, nous allons adopter la méthode suivante :

- Analyse stéréoscopique des photos aériennes mises à l'échelle exacte de 1/50 000.
- Traçage à la main sur la carte topographique la ligne de crête du bassin versant en identifiant le chevelu hydrographique.

I.2.2 Caractéristiques du bassin versant

Les caractéristiques du bassin versant dépendent de la mesure des paramètres géométrique et de relief.

A titre de rappel, les principaux paramètres de ce groupe, ce qui est devenu classique à mesurer :

- Comme paramètres géométriques la superficie A du bassin, son périmètre P , son indice de forme ou du compacité C , les côtés de son rectangle équivalent.
- Comme paramètre de relief l'indice de pente I_p de ROCHE et l'indice global I_g qui requièrent la connaissance de la répartition hypsométrique (pourcentages de la superficie entre les courbes de niveau connues) et de la dénivelée utile $D = H_{\min} - H_{\max}$

La détermination de ces divers paramètres s'effectue à la chaîne : les uns sont obtenus directement sur la carte par planimétrage et la mesure de longueur au curvimètre, les autres se calculent à partir des premiers.

Toute la mesure et par conséquent la précision de celle-ci dépend de la carte utilisée, de la précision des indications qu'elles contiennent et de la précision propre au planimètre et au curvimètre.

L'indice de compacité se calcule en appliquant la formule de Graveluis :

$$C = 0.28 \times P \times A^{-1/2} \quad (7)$$

Il est égal à 1 pour un bassin circulaire et croît d'autant plus que la compacité diminue.

Le rectangle équivalent est tel que $2 \times (L+l) = P$ et $L \times l = A$; il se réduit à un carré pour une compacité $C = 1.12$. Sa notion est admissible car pratiquement très peu de bassins ont des compacités inférieures à 1.12.

La longueur équivalente se calcule comme suit :

$$L = A^{1/2} \cdot \frac{C}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{1.12^2}{C}} \right] \quad (8)$$

L'indice de pente I_p de ROCHE se calcule aussi :

$$I_p = L^{-1/2} \cdot \sum_{i=1}^n \sqrt{a_i \cdot d_i} \quad (9)$$

a_i : Fraction en %

d_i : Dénivelée en m

Equation dans laquelle a_i représente la fraction en % de la surface A comprise entre deux courbes de niveau voisines distantes de d_i .

Si sur la courbe hypsométrique, on prend les points tels que la surface supérieure ou inférieure soit égale à 5 % de A, les altitudes respectives à 5 % et 95 % sont H_5 et H_{95} et le dénivelé est de $D = H_5 - H_{95}$.

H_5 : La valeur à partir d'une courbe hypsométrique à 5 %

H_{95} : La valeur à partir d'une courbe hypsométrique à 95 %

L'indice de pente global I_g est donné par la relation suivante :

$$I_g = \frac{D}{L} \quad (10)$$

L : Longueur équivalente.

Le périmètre qui influe sur la valeur de C puis sur celle de L se représente jusqu'aux indices de pente.

I.3 Débits d'eaux pluviales - Méthode ponctuelle

Le modèle mis au point par M CAQUOT dérive d'une méthode plus générale dite « formule rationnelle » qui repose sur le concept du temps de concentration et suppose une linéarité de la transformation de la pluie en débit. La formule rationnelle mise au point au XIX^e siècle aux Etats-Unis, donne le débit de pointe Q (Γ) de période de retour (Γ) à l'exutoire d'un bassin versant de surface A et de coefficient de ruissellement C_r pour une averse ayant une durée égale au temps de concentration t et d'intensité moyenne i (t , G) de période de retour Γ .

$$Q_p = 0.167 \times K_r \times i \times A \quad (11)$$

Avec

Q_p : débit de pointe en m^3/s

K_r : coefficient de ruissellement

i : intensité de la pluie en mm/mn

A : surface du bassin versant en ha

Le temps de concentration est défini comme le temps mis par l'eau pour rejoindre l'exutoire depuis le point le plus éloigné (en durée d'écoulement). Son estimation peut se faire à

l'aide de plusieurs formules empiriques dont la plus connue est celle du service routier de Californie qui peut être utilisée pour les bassins urbains comme pour les bassins ruraux. Sa formulation est la suivante :

$$t_c = 0.0195 \times L^{0.77} \times J^{-0.385} \quad (12)$$

Avec

- t_c : temps de concentration en mn
- L : longueur hydraulique en m
- J : pente suivant le parcours hydraulique en m/m

L'utilisation de la formule de type Montana représentant les courbes Intensité - Durée - Fréquence (courbes I.D.F.) caractéristiques de la pluviométrie permet de déterminer l'intensité moyenne maximale i sur une durée t :

$$i = \frac{P_{mensuelle}}{43200^b} \times t_c^{b-1} \quad (13)$$

Avec

- t_c : durée de l'averse en mn
- P mensuelle : Pluviométrie mensuelle en mm
- b : Coefficient (Paramètre régional) qui est égal à 0.288
- i : intensité de la pluie en mm/mn

La méthode rationnelle est un modèle simple qui peut permettre d'estimer rapidement le débit de pointe généré sur des petits bassins versants présentant des caractéristiques homogènes et un réseau comportant peu de points d'entrée. Elle devient plus laborieuse dès lors que la zone étudiée prend de l'extension : en réalité le temps de concentration croît de l'amont vers l'aval du réseau et l'intensité de l'averse décroît, les débits de pointe décroissent donc également et de fait les temps de concentration ont tendance à croître. En conséquence, l'application de cette méthode conduit à une majoration des débits de pointe réels, de plus elle n'intègre pas l'effet de stockage dans le réseau et conduit donc à un surdimensionnement des ouvrages.

I.2 Facteur géologique

G. Castany rappelle à juste titre que la géologie est « la base de l'hydrologie ». Les formations litho stratigraphiques (Matériaux et structure du sous sol) déterminent notamment les formations hydrologiques, leur localisation, leur profondeur et leur extension géographique.

Une formation hydrogéologique aquifère identifie ainsi un espace de matériau perméable et transmissible, reposé au fond du substratum imperméable ou semi-perméable, éventuellement limité par le toit. Une seule formation appelée aquifère monocouche. Une association de plusieurs formations perméable ou semi-perméable donne une naissance à une aquifère multicouche.

I.3 Facteur hydrogéologique

I.3.1 Niveau piézométrique

Le niveau piézométrique est le niveau auquel peut monter l'eau d'une nappe dans le tube lorsqu'on réalise un forage. Certains forages non exploités servent à mesurer ce niveau, ce sont des piézomètres. Le niveau qui varie avec l'exploitation nous renseigne sur la capacité de production de l'aquifère.

Ce niveau correspond à la pression de la nappe, il est généralement donné en mètres par rapport à la borne provisoire.

Quand ce niveau dépasse le niveau du sol, la nappe est dite artésienne : l'eau est jaillissante.

I.3.2 Définition

l'ensemble des eaux souterraines (autrement dit d'un aquifère). (autrement dit d'un aquifère). Le terme phréatique indique que ce sont des eaux libres et accessibles aux puits. Il existe deux types de nappes à savoir : la nappe libre et la nappe captive.

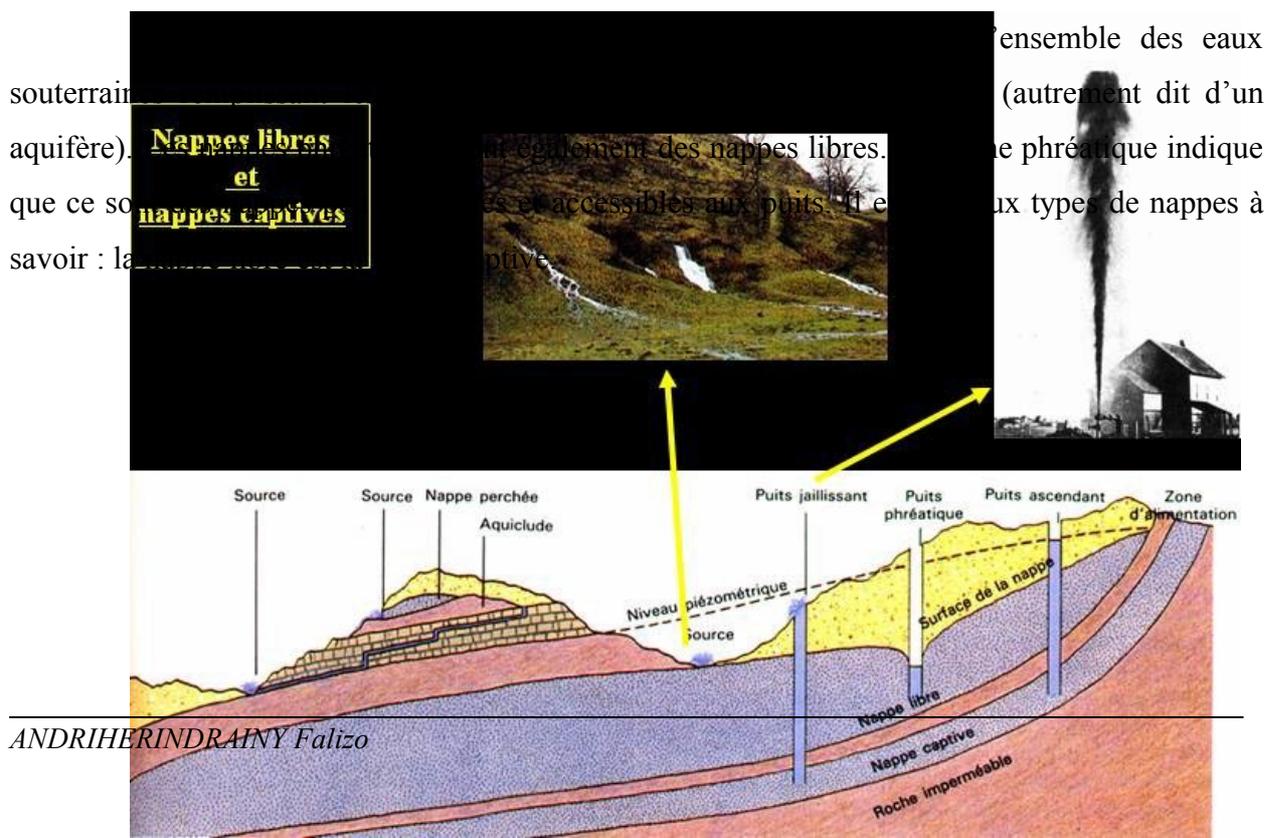


Figure n°03 : Nappes libres et nappes captives

- Nappes libres

Elles sont alimentées directement par les pluies qui ruissellent et pénètrent dans le sol et parfois par les rivières. La pression de la nappe est la même que la pression atmosphérique, elles ne sont pas surmontées d'une couche imperméable.

- Nappes captives

Elles sont piégées entre deux couches imperméables. Elles sont principalement alimentées par la migration lente de l'eau à travers des couches géologiques superposées, après recharge sur les affleurements. La pression dans la nappe est supérieure à la pression atmosphérique et lors de la création d'un forage l'eau remonte dans le tube.

I.4 La photographie aérienne

La photographie aérienne constitue un système d'acquisition de données sur la biosphère et de transformation de ces données sur information utiles à l'homme.

L'appareil photographique qui enregistre sur une surface sensible le rayonnement réfléchi par le sol son couvert dans la partie visible, fut le premier instrument utilisé pour la photographie aérienne la plus répandue.

L'information est donc caractérisée par un certain nombre des paramètres propres aux techniques de prise de vue. Il s'agit essentiellement :

- Du format de la prise de vue ;
- De l'émulsion photographique utilisée ;
- De la période de prise de vue, notamment la saison.

Le focal de l'appareil photographique (F), la hauteur de vol de l'avion (H) et l'échelle de prise de vue sont liées entre elles par la relation suivante :

$$\text{Echelle} = \frac{F}{H}$$

I.4.1 Maîtrise et utilisation de l'information

La lecture et l'analyse de l'information ainsi restituée dépendent de l'objet assigné à la mission aérienne. Les deux étapes ci-dessous sont indispensables :

- La lecture préliminaire

La lecture préliminaire correspond à l'opération d'identification qui répond à la question élémentaire où et quoi ? à un moment donné.

La lecture utilise l'œil nu pour le repérage et éventuellement l'identification des caractères généraux d'un paysage.

Cette lecture est en général une première étape de l'interprétation qui prélude à des études plus approfondies effectuées sur des couples stéréoscopiques et des logiciels d'interprétation.

- La lecture stéréoscopique

C'est l'utilisation essentielle des documents photographiques. La lecture se fait à l'aide d'un appareil binoculaire appelé stéréoscopique. La stéréoscopie permet la vision exagérée du relief et de la texture des objets visés qui constitue la base de la photo-interprétation.

I.4.2 La photo – interprétation

La photo - interprétation est une analyse déductive qui fait appel aux ressources du rayonnement des reconnaissances, de la spécialisation de l'interprète à sa logique et à son expérience. Elle débouche sur la classification et la modélisation de l'information.

L'interprétation est fondée sur l'analyse de certains éléments de l'image dont les plus importants sont :

- La texture des objets, qui permet leur classification ;
- La structure de l'image, dont la définition est de fruit d'une bonne connaissance du terrain d'une part, de la classification des textures d'autres part ;
- Les teintes et les tonalités, qui présentent un intérêt d'autant plus grand que l'échelle de prise de vue sont plus petites ;
- Les critères quantitatifs, qui expriment sous forme de nombre d'informations enregistrées par la photographie aérienne ;
- La présence des failles et des fractures.

La situation idéale étant de superposer une image à émulsion panchromatique avec de l'infrarouge. Mais dans notre cas, nous n'avons pas trouvé l'image à émulsion infrarouge. Et de procéder ensuite par photo-interprétation.

Les résultats de la photo-interprétation, soient présentés sur des supports transparents, ce qui permet de les superposer à d'autres informations à même échelle, soient une image calée et interprétée à l'aide des logiciels à savoir : ENVI 4.0, ARCVIEW et MAPINFO.

I.5 Télédétection

I.5.1 Qu'est que la télédétection ?

La télédétection utilise l'ensemble des connaissances et techniques pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objet par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci ». Elle englobe tout le processus qui consiste à capter ou enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser cette information, pour ensuite mettre application cette information.

Elle est basée sur un enregistrement de l'énergie provenant de la surface de la terre ou de son atmosphère dans la plupart des domaines utilisables du spectre électromagnétique. Les progrès en matière de technologie des engins spatiaux aujourd'hui embarquent des capteurs à bord de plate-forme d'observation satellisée autour de la terre, stationnaire ou défilement.

I.5.2 Principe de base

Le principe de base de la télédétection (Cf. Figure n°04) est similaire à celui de la vision de l'homme. La télédétection est le fruit de l'interaction entre trois éléments fondamentaux, à savoir : une source d'énergie, une cible et un vecteur.

1. La source d'énergie est l'élément qui éclaire la cible en émettant une onde électromagnétique (Flux de photons). La plupart, les sources principales sont le soleil. En outre, la technologie RADAR nécessite qu'un émetteur soit embarqué sur le satellite, dans le cas le RADAR lui-même est source d'énergie.
2. La cible est la portion de la surface terrestre observée par le satellite Sa taille peut varier de quelques Km² à plusieurs milliers.
3. Le vecteur ou plate-forme de télédétection mesure l'énergie solaire (Rayonnement électromagnétique) réfléchi par la cible. Le vecteur peut être un satellite ou un avion dominant la cible de quelques centaines de mètres à 36 000 kilomètres. Les capteurs embarqués sur le satellite mesurent le rayonnement électromagnétique réfléchi, puis un émetteur renvoie l'image sur la terre vers la station de réception.

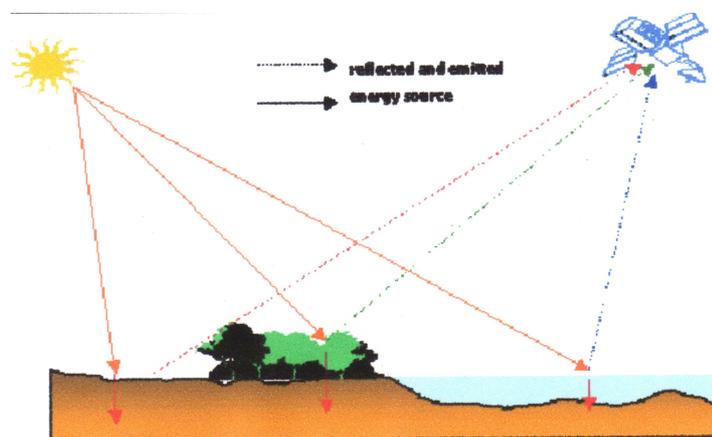


Figure n°04 : Principe de base de la télédétection

I.5.3 Rayonnement électromagnétique (REM)

Parmi les nombreuses propriétés des ondes électromagnétiques, certaines sont fondamentales pour la compréhension des principes de base de la télédétection. Ainsi, lorsque l'énergie électromagnétique est incidente sur un objet donné à la surface de la terre, trois

interactions fondamentales avec l'objet sont possibles, à savoir : la réflexion, l'absorption et la transmission. La relation entre elles est :

$$E_i(\lambda) = E_r(\lambda) + E_a(\lambda) + E_t(\lambda)$$

Avec,

λ = Longueur d'onde ;

E_i = Energie incidente ;

E_r = Energie réfléchié ;

E_a = Energie absorbée ;

E_t = Energie transmise.

Les interactions se définissent comme suit :

- **Réflexion** : Un corps qui reçoit une quantité de REM peut en réfléchi une partie. Elle s'exprime en pourcentage d'énergie réfléchié. La réflexion peut être spéculaire, qu'elle est dirigée entièrement dans une seule direction, ou diffuse lorsqu'elle est dirigée dans toutes directions.
- **Absorption** : Un corps reçoit une quantité de REM peut en absorber une partie. Cette énergie absorbée est transformée et modifie l'énergie interne du corps. Ainsi, la température interne du corps peut augmenter ce qui va être la source d'émissions plus importantes dans d'autres longueurs d'ondes (Infrarouge thermique par exemple).
- **Transmission** : Un corps qui reçoit une quantité de REM peut être transmise en partie. Un objet transparent a une transmittance élevée dans les longueurs d'ondes visibles. Une surface d'eau pure et le feuillage d'arbres sont des exemples de surfaces susceptibles de transmettre une partie du REM.

En outre, deux phénomènes s'ajoutent aux précédents, la diffusion et l'émission :

La diffusion est comme des particules microscopiques dans l'atmosphère qui amène dans toutes directions l'une partie du REM. Le REM traversant ce milieu peut alors être considérablement transformé.

L'émission d'un REM s'est soumise à tout corps dont la température thermodynamique est supérieure au zéro absolu (-273 °C). L'émetteur, appelé aussi source, peut être soleil, le satellite (RADAR) ou encore la cible (Infrarouge thermique).

Le spectre électromagnétique (Figure n°05) est le résultat de la décomposition du rayonnement électromagnétique en ses fréquences constituantes. Ainsi, lorsque une lumière passe à travers un prisme, elle se décompose en plusieurs couleurs constituantes (Arc-en-ciel).

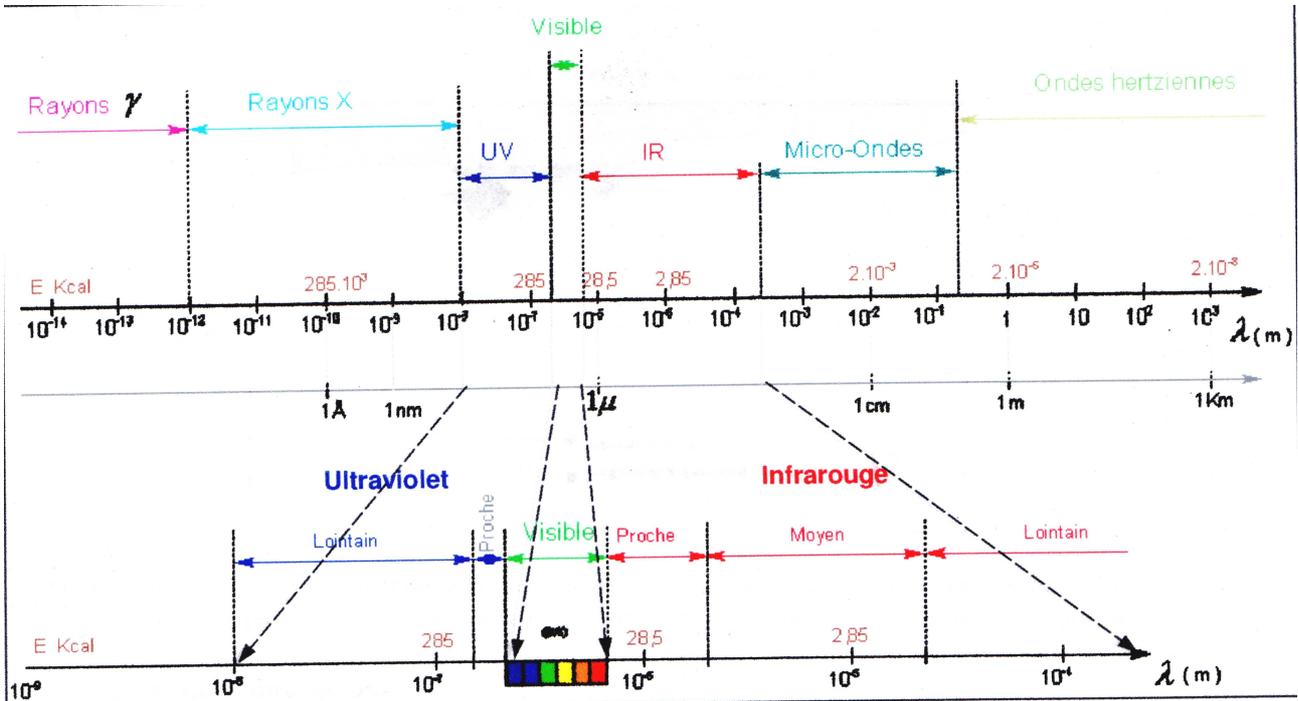


Figure n°05 : Le spectre électromagnétique

I.5.4 Capteurs et Plates-formes

Le capteur est le système qui est monté à bord d'une plate-forme. Les données sont obtenues par l'intermédiaire de ce système d'instruments.

- Capteurs

Les capteurs sont les instruments qui permettent de transformer les rayonnements électromagnétiques en informations perceptibles et analysables par l'œil humain. Plus précisément, un capteur désigne un instrument qui recueille de l'énergie radiative provenant de la scène de visée et délivre un signal électrique correspondant mesurable.

Il y a trois grands types de capteurs :

- Les systèmes photographiques : principe de l'appareil photo, émulsion chimique,

- Les radiomètres imageurs : transformation du rayonnement électromagnétique en un signal électrique qui va être stocké sur un support numérique,
- Les capteurs actifs : principe du radar, la source est le capteur lui-même.

- Plates-formes

Le plate-forme ou de vecteur désigne le véhicule sur lequel sont embarqués les capteurs, les instruments de mesure de rayonnement électromagnétique. Le véhicule peut être aérien ou spatial, mais également terrestre. Ainsi, les avions, satellites, ballons dirigeables ou non, sont des exemples des plates-formes souvent utilisés. Elles sont classées en fonction de l'altitude à laquelle elles évoluent.

Les plates-formes spatiales sont en orbite autour de la terre. Elles se classent aussi en fonction du type d'orbite.

Les satellites placés sur orbite géostationnaire (36 000 km à la verticale de l'équateur) restent constamment au-dessus du point fixe de la terre. Cette orbite qui permet la surveillance d'une même région est surtout utilisée pour les satellites de météorologie ou de la communication.

Les satellites placés sur orbite héliosynchrone (entre 300 et 1500 km d'altitude) passent au-dessus de la zone tous les jours à la même heure locale. L'orbite satellite est quasi-polaire, toutes les régions terrestres (hormis les pôles) sont couvertes. C'est l'orbite des satellites d'observation de la terre comme SPOT ou Landsat.

I.5.5 Utilisation de la télédétection

Les données recueillies par les satellites de télédétection sont utilisables dans de nombreux domaines. Le plus gros consommateurs d'informations sont cependant les géologues. En effet, la télédétection est parfaitement adaptée à la reconnaissance de phénomènes régionaux (linéaments, structures circulaires) du fait du caractère synoptique des images prises par les satellites, phénomène qui sont souvent réelles pour la végétation ou les caractéristiques du milieu hydrographique.

Les données Landsat ont utilisées dans ce travail.

Les quatre satellites d'observation de la terre Landsat, fabriquées et lancées par les Etats-Unis ont depuis 1972 fournis sur les sur faces continentales de la terre des vues nombreuses.

Ces quatre satellites présentent des caractéristiques voisines :

1. Les orbites sont circulaires à 920 km de la terre, leur plan fait un axe de 9° avec l'axe des pôles- orbites est héliosynchrone ;
2. Chaque satellite est équipé d'un radiomètre multi spectral à balayage. Ce radiomètre enregistre séparément dans quatre gammes de longueurs d'onde, chaque gamme de canal ;
3. Les satellites Landsat sont également munis de caméras vidéo ;
4. Il est équipé d'une mémoire qui permet de conserver les données enregistrées pendant que le satellite ne se survole aucune station de réception au sol et de restituer ces données dès que le satellite survole l'aire de réception d'une station.

Les images comportent à la fois un fichier RAS (image) et un fichier d'entête (document). Les images Landsat TM ont des caractéristiques suivantes :

Résolution spatiale : 30 m x 30m.

Sept bandes spectrales : Tm1, Tm2, Tm3, Tm4, Tm5, Tm6 et Tm7.

Dans le domaine d'études d'hydraulique, l'utilisation de Tm1 donne les bonnes informations significatives.

I.5.6 Caractéristiques spectrales des principaux objets

Après le vu global des principes de télédétection, nous avons donné les caractéristiques spectrales des principaux objets, à savoir : l'eau, végétation et le sol.

- Propriétés de l'eau

La réflectance de l'eau pure, assez forte dans la bande bleu de visible, diminue ensuite en suite pour devenir faible dès le proche de infrarouge. Des particules minérales, du plancton ou de végétaux, en suspension ou flottant dans l'eau, ces caractéristiques en augmentant la réflectance dans le visible.

- Propriétés de la végétation

La réponse spectrale de la végétation dépend entre autres de la pigmentation, de la structure physiologique et du contenu en eau de la plante. Tous ces paramètres auront une influence sur les propriétés de réflectance, absorbance et transmittance.

- Propriétés du sol

Les comportements spectraux des sols se caractérisent par des valeurs de réflectance croissante dans le visible et le proche infrarouge. Les principaux facteurs influençant la réflectance des sols sont : l'humidité du sol, sa texture, sa structure, son contenu en oxyde de fer et en matière organique. L'augmentation de l'humidité mis en évidence une diminution de la réflectance. Cette particularité sera importante dans notre étude.

I.6 Description des ouvrages

Les ouvrages pour une alimentation d'eau potables sont composés des éléments suivants :

- L'ouvrage de captage
- Puits

I.6.1 Captage des nappes peu profondes

Le captage des eaux des nappes de niveaux aquifères peu profondes (niveaux alluvionnaires ou nappes phréatiques de plaines) peut s'effectuer par puits. Il est indispensable de couvrir la partie captante du puits d'un revêtement approprié laissant passer l'eau mais s'opposant à la désagrégation de l'alluvion.

Des précautions indispensables doivent être prises pour empêcher rigoureusement l'accès des eaux extérieures au captage. Si les ouvrages sont ménagés dans une vallée inondable, on doit s'arranger pour que les eaux de crue ne puissent y pénétrer.

I.6.2 Puits

Réaliser des puits (voire des forages ou des tranchées) constitue une des étapes majeures d'une prospection hydrogéologique. Le but sera double :

- préparer les sites pour les captages d'essai ou d'exploitation.
- permettre d'étalonner la géophysique, voire de réinterpréter des données déjà acquises.

Le puits de reconnaissance est un puits réalisé uniquement dans un but de recherche et non d'exploitation. Suivant les conditions et les objectifs, il peut être fait rapidement et économiquement, ou inversement très soigneusement. Il permettra, outre les observations géologiques et l'étalonnage de la géophysique, de reconnaître l'aquifère soit principalement les éléments suivants :

- nature de l'aquifère ;
- charge hydraulique, parfois gradient ;
- physico-chimie et chimie de l'eau ;
- perméabilité par flow-meter.

I.7 Traitement des eaux

Trois types de traitements peuvent être envisagés. Les eaux captées ne présentent souvent pas les qualités requises pour la consommation, conformes aux normes de potabilités.

Pour leur conférer les propriétés souhaitées, afin de rendre potables, nous présentons successivement :

- L'élimination des éléments en suspension, par décantation et après la filtration ;
- La stérilisation.

I.71 Décantation

- Principe

La décantation est la séparation par gravité entre l'eau et les matières en suspension. Elle a pour but de permettre le dépôt des particules en suspension dans l'eau, soit que ces particules existent dans l'eau brute, soit qu'elles de l'action d'un réactif chimique ajouté artificiellement.

La floculation au sulfate d'alumine est tout à fait inoffensive, ne change pas la valeur de PH et n'a pas d'effets corrosifs. La solution du floculant est préparée avec de sulfate d'alumine en poudre que l'on dissout dans l'eau à l'aide d'un groupe – agitateur et injectée par l'intermédiaire d'une pompe doseuse. La consommation moyenne de sulfate d'alumine sera de 3 g/m³.

- Dimensionnement d'un décanteur

Les floes sont considérés indépendants et tombent à leur propre vitesse. Ses trajectoires sont en fonction de la vitesse de l'eau et de la vitesse de sédimentation. Le temps de séjour de l'eau dans le décanteur est de une heure.

Pour un décanteur rectangulaire appelé également décanteur de Hazen à flux horizontal, nous avons la relation suivante :

$$\frac{V_{eau}}{L} = \frac{V_s}{H}$$

La vitesse de Hazen est donnée par la relation : $V_s = \frac{Q_{eau}}{S}$

Avec

Q_{eau} = Le débit d'eau à l'entrée

S = La surface du décanteur

I.7.2 Filtration

- Principe

Elle procède à clarifier l'eau en le faisant passer à travers le milieu constitué des matériaux granulaires. Ces matériaux sont des granulats libres non adhérent les uns aux autres, insolubles, inattaquable par le liquide filtré ni par le liquide retenu. La granulométrie est comprise entre 0.7 et 1.35 mm.

- Dimensionnement d'un bac de filtration

La vitesse de filtration qui donne le débit admissible est de l'ordre de 5 à 6 m/h pour les matériaux filtrants uniques et environ de 10 m/h pour les bicouches. La hauteur des matériaux est comprise entre 0.8 à 1m pour les monocouches et 1.2 à 1.5 m pour les bicouches avec égalité d'épaisseur des matériaux.

I.7.3 Stérilisation

- Principe

La stérilisation a pour but de supprimer impérativement tous les germes pathogènes que pourraient contenir l'eau d'alimentation. Cette stérilisation s'effectue sans laisser dans l'eau de corps susceptibles de la rendre impropre à la consommation. Les produits chimiques les plus employés sont le chlore, ses dérivées et l'ozone.

Les principaux dérivés des chlores utilisables pour la stérilisation sont généralement l'hypochlorite de sodium (eau de javel), les chloramines (monochloramine) NH_2Cl , Dichloramine $NHCl_2$, Trichloramine NCl_3 : cette dernière est la plus stable et le peroxyde de chlore ClO_2 , dont l'instabilité nécessite une préparation sur place.

- Dimensionnement d'un bac de stérilisation

Le temps de contact de l'hypochlorite de calcium dans le bac de stérilisation sera supérieur ou égal à trente (30) minutes.

I.8 Réservoir

- Principe

Un réservoir est une enceinte destinée à stocker l'eau stérilisée avant la distribution. Il l'accumule afin de permettre la satisfaction des demandes importantes lors de la période de pointe.

Les réservoirs peuvent être, soit construits en maçonnerie, en béton armé, soit en plastique (Makiplast).

- Dimensionnement

La capacité de réservoir est dimensionnée à partir de la consommation journalière. Elle sera donnée par la relation suivante :

$$X = \frac{C}{24}$$

X= valeur du débit horaire de distribution

C = consommation totale sur 24 heures.

I.9 Conclusion

Cette partie a mis en évidence les considérations techniques d'une étude de possibilités d'adduction d'eau potable en consacrant sur l'étude des paramètres physiques et de l'application de photo-interprétation et de la télédétection pour localiser les zones qui ont des potentialités en eau.

Les techniques d'adduction d'eau ont beaucoup évolué depuis quelques décennies : techniques de captages, les ouvrages tels que le puits que nous essayons de développer dans le chapitre suivant.

DEUXIEME PARTIE :
PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDES

En terme d'écologie, les zones humides sont parmi les milieux les plus productifs et la région d'étude en possède beaucoup. Des concentrations de mammifères, de poissons et d'oiseaux y sont trouvées. De plus, les interactions entre les éléments physiques, biologiques et chimiques tels que l'eau, le sol, les plantes et les animaux, permettent aux zones humides de remplir de nombreuses fonctions vitales, notamment le stockage d'eau pour l'adduction d'eau.

La zone d'étude se trouve dans le Sud-Est, dans la région de Vatovavy- Fitovinany. Elle est dans le district de Manakara et commune rurale d'Analavory.

Cette localité a ses caractéristiques spécifiques telles que : un fort taux de précipitations annuelles et l'existence de forêt dense humide sempervirente propre à ses conditions climatiques, et le développement sera essentiellement basé sur l'exploitation et mis en valeur des potentiels existants. L'activité principale de la population est l'agriculture et l'élevage. La production annuelle de la commune est de 750 tonnes de riz, 290 tonnes de café, 40 tonnes d'orange et de mandarine, 26 tonnes de girofles et etc. L'élevage des bovidés et des volailles est le plus pratiqué. Elle dispose tout de même naturellement de diverses ressources en eau, en particulier de l'eau de surface à travers des rivières de Tanjonge, d'Andranobiby, de Mandranofotsy, de Fitary et Vorovoka.

Le problème majeur de cette localité est l'eau potable, les habitants souffrent de l'insalubrité de l'eau qu'ils consomment. En effet, l'utilisation de l'eau brute ou naturelle conduit à la précarité de la santé publique.

II.1 Situation géographique

La zone d'études se situe dans le sud-est de Madagascar entre les X = 486.4 m à 491.2 m et Y = 551.5 m à 558.3 m. Les bassins versants de cette zone assurent la collecte des eaux du Fokontany d'Analavory centrale jusqu'à l'amont immédiat de la plaine et des autres Fokontany qui l'entourent. Le bassin versant s'appuie sur le versant nord de la commune constitué de reliefs continus et couverts des forêts.

II.2 Géomorphologie

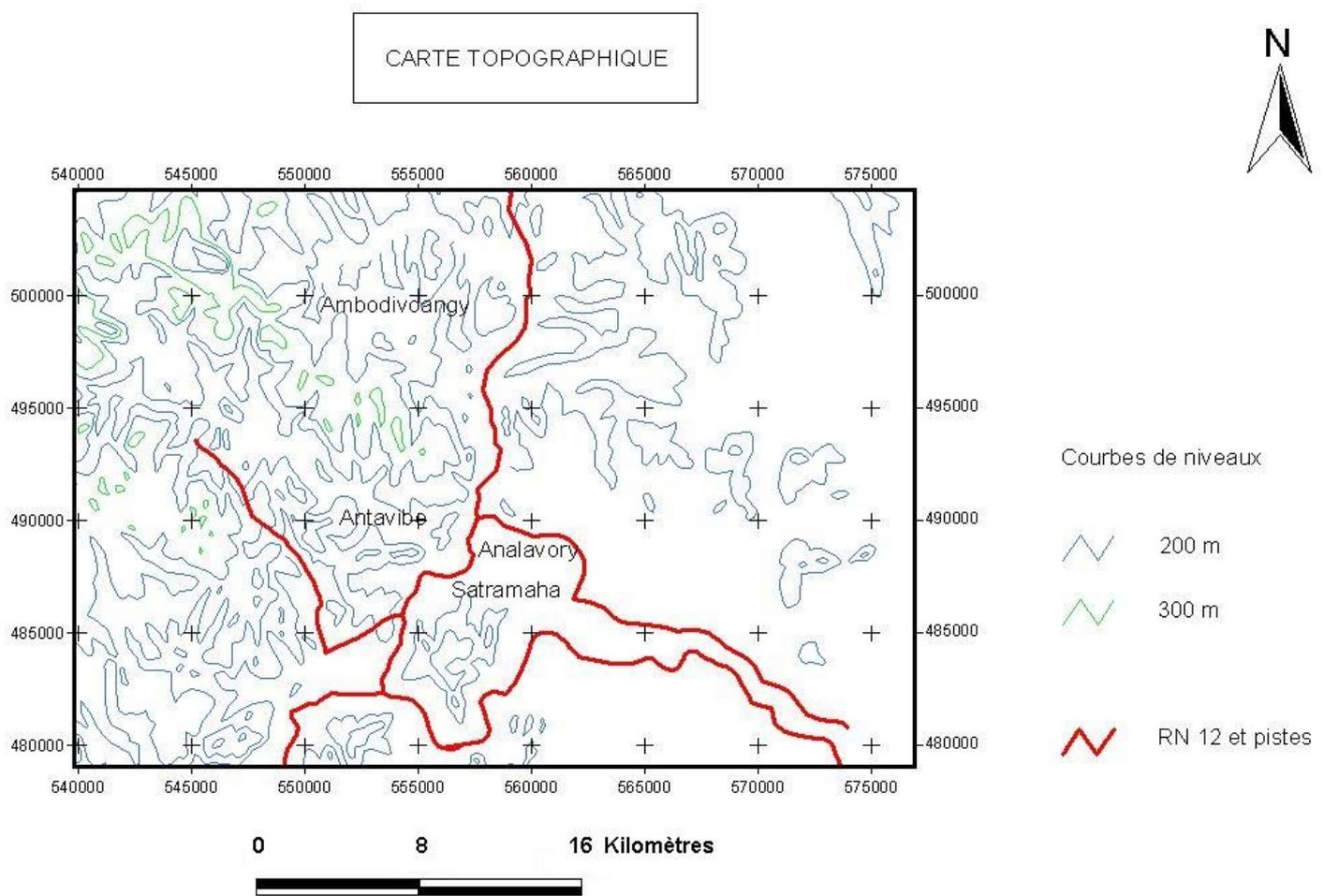
La ville d'Analavory est située entre des reliefs montagneux couverts des forêts et bordés de vallées de plantations de café et de rizières à une altitude de 190 à 300 m (Cf. carte n° 01 : Carte topographique).

Au nord, la crête de Sahandrohy de 290 m d'altitude constituera la limite du village ;

Au sud, les plantations de café de SAMA s'étendent sur une large plaine de 220 m d'altitude environ ;

A l'Ouest, les forêts de Vorovoka et de Magninika occupent les collines (Altitude 270 m);

Et à l'Est, la majeure partie de ces zones est également verte de plantations de café et des rizières (Altitude de 190 m).



Carte n° 01 : Carte topographique (Source : BD 500 FTM)

II.3 Géologie

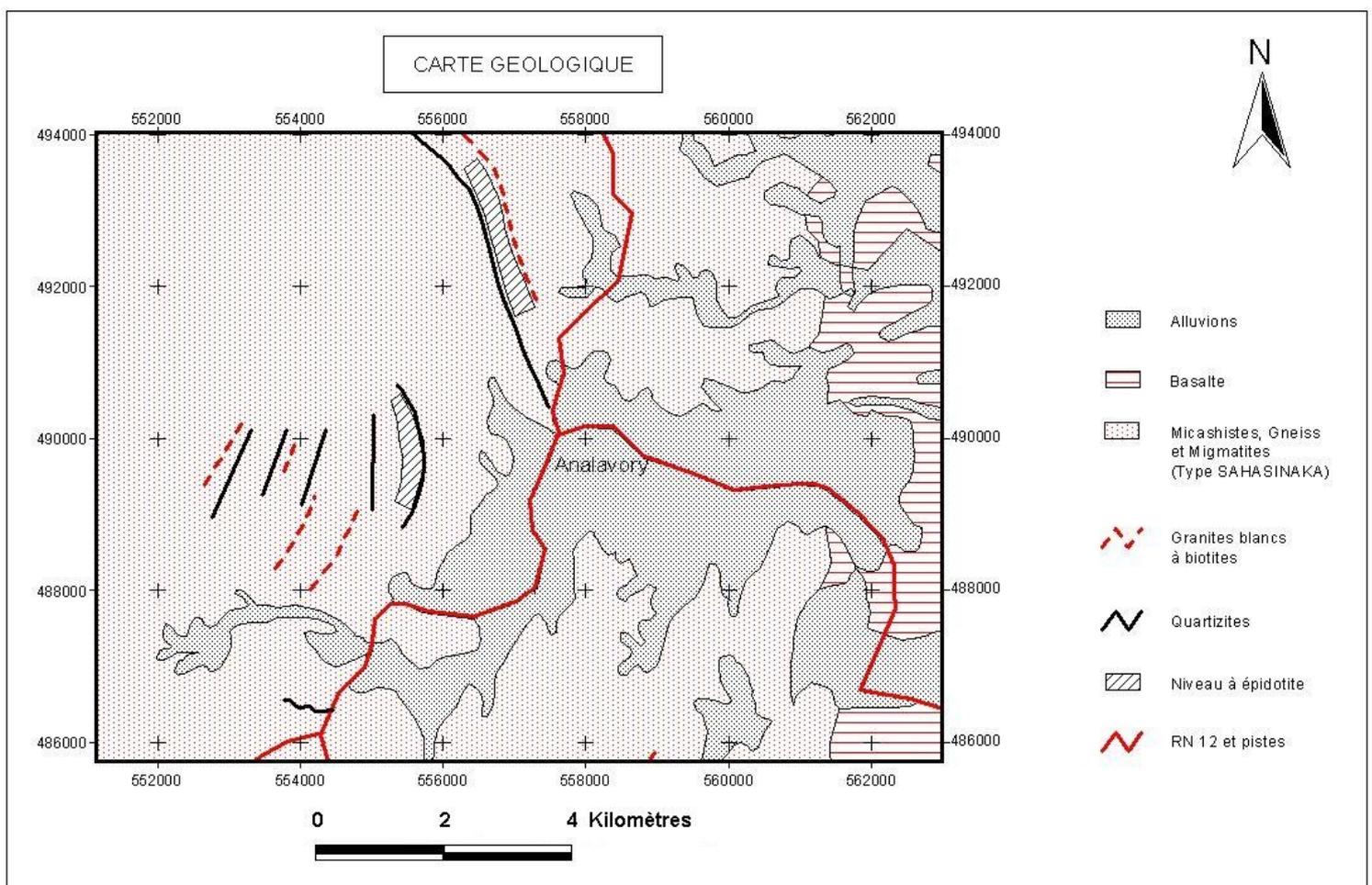
La région d'Analavory est une vaste plaine alluvionnaire (cf. carte n°02 : Carte géologique). Elle est située dans les zones de Namorona et de Matitanana. Elle est issue de la

falaise orientale (TANALA) et repose sur les formations cristallines de socle (gneiss, micaschistes, et migmatites) du système de graphite profondément altéré ou latérites ferralitiques de couleur jaune sur rouge et l'existence de roche volcanique (Formation de basalte) et sédimentaire (Alluvions, sable).

Les types de formations sont :

- Les latérites sont essentiellement argileuses avec des passées sableuses.
- Les migmatites ne sont visibles à l'affleurement que dans le lit des rivières, principalement dans les rapides ou sur les pentes à la faveur de l'érosion du recouvrement de l'altération.

Après déboisement et feux de brousses, elles sont très vite emportées par l'érosion. Les éléments remaniés se déposent en aval et les parties fines sont emportées lors des hautes eaux des rivières.



Carte n° 02 : Carte géologique (Source : carte géologique 1/200000°, Service des mines)

II.4 Hydrologie

II.4.1 Climatologie

Le climat est de type tropical humide et chaud.

- Température

Sous l'effet de la forte humidité atmosphérique et des précipitations abondantes et continues, la température fait preuve d'une homogénéité dans cette zone. L'isotherme moyenne actuelle d'Analavory oscille autour de 24 °C. On enregistre les plus fortes valeurs au mois de Janvier et exceptionnellement le Février et Décembre. La température maximale enregistrée tourne autour de 30 °C. Le minimum est enregistré le mois de Juillet.

Le tableau qui suit donne les températures moyennes des maximales, moyennes des minimales et les moyennes :

Mois	Températures		
	Moyennes des maximales en °C	Moyennes des minimales en °C	Moyennes en °C
Janvier	30.1	23.3	26.7
Février	37.0	23.0	30.0
Mars	20.7	22.2	21.5
Avril	28.7	21.7	25.2
Mai	23.9	18.9	21.4
Juin	27.2	20.9	24.0
Juillet	24.5	15.3	19.9
Août	26.9	14.9	20.9
Septembre	26.9	18.1	22.7
Octobre	26.5	18.1	22.3
Novembre	29.2	20.4	24.8
Décembre	31.2	23.1	27.1

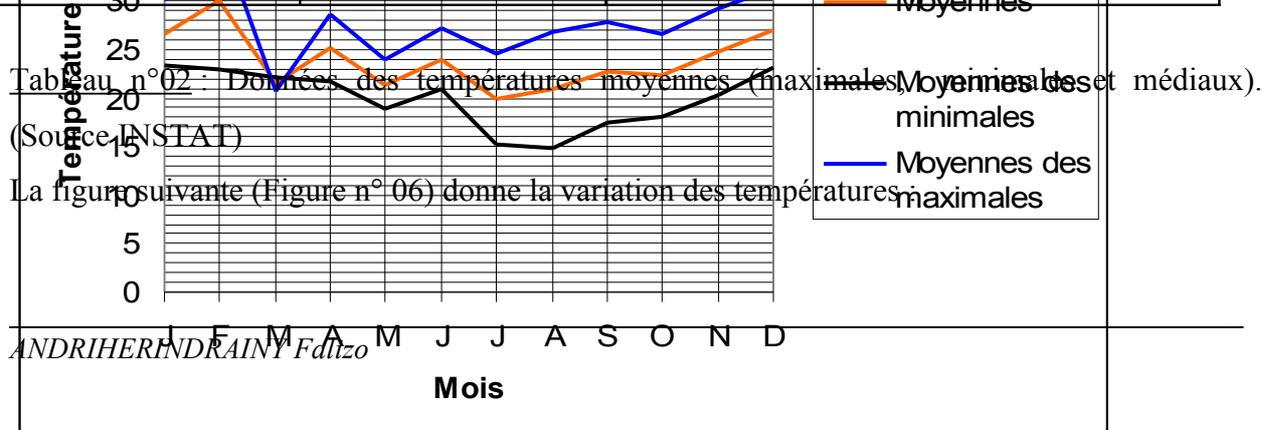


Figure n° 06 : Courbe de variation des températures

- Précipitation

L'alizé domine de l'année cette partie de l'île se manifestant par l'abondance des ces précipitations annuelles et l'absence de véritable saison sèche.

Au cours de douze mois, les quantités d'eau tombées sont supérieures à 1,5 m.

Notons que la pluie varie en fonction de la morphologie et l'exposition au vent : elle est de 987mm à 1200 et de 1600 mm à 2000 mm.

- Evapotranspiration

La température exprime le degré d'évapotranspiration des masses d'eau. Il présente un maximum en été et minimum en hiver.

Les données recueillies auprès de la Direction de la Météorologie Nationale sont présentées dans le tableau suivant :

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Latitude
Manakara	145	132	124	101	78	61	57	63	70	91	111	135	22° 08

Tableau n°01 : Evapotranspiration potentielle moyenne enregistrée dans la station de Manakara

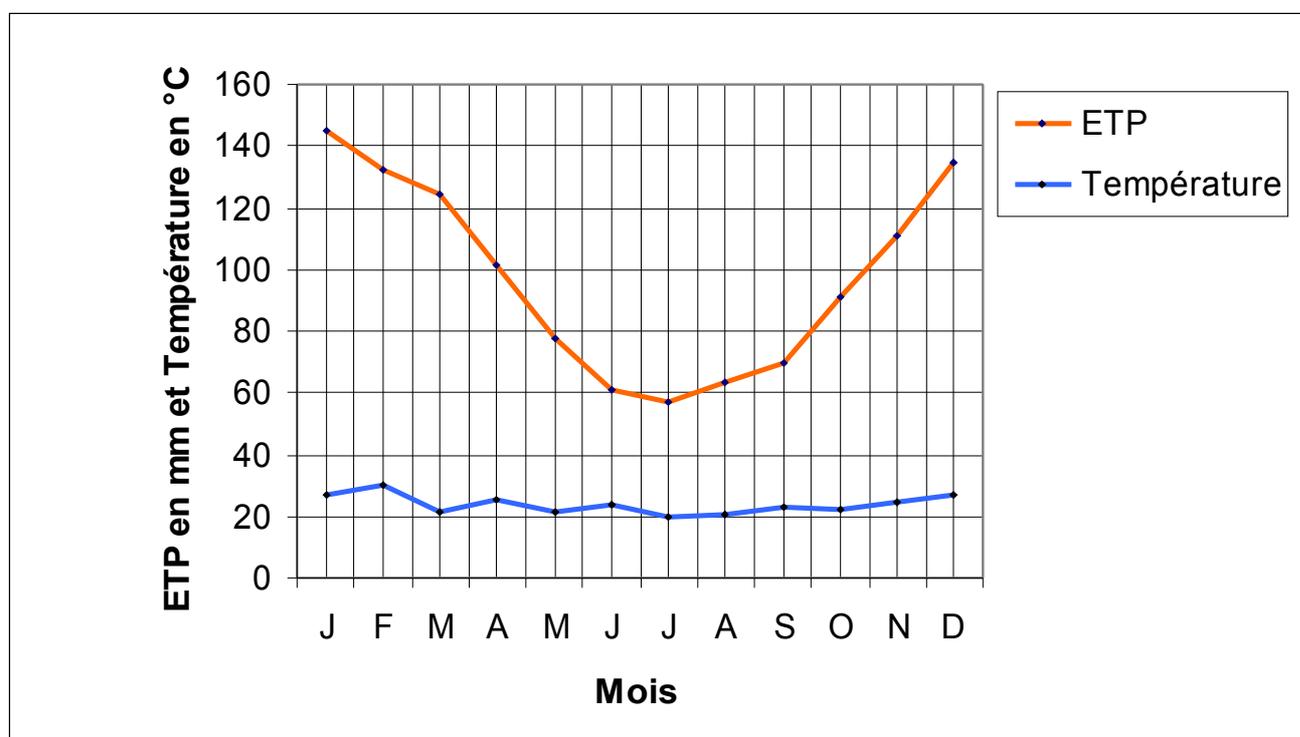


Figure n°07 : Courbes de l'Evapotranspiration Potentielle moyenne et la température moyenne

- Vent

Le vent de l'est ou l'alizé prédomine en toutes saisons. Il prend une grande importance en intensité à partir de centre de la côte orientale et augmente encore en intensité à Manakara.

II.4.2 Réseau Hydrographique

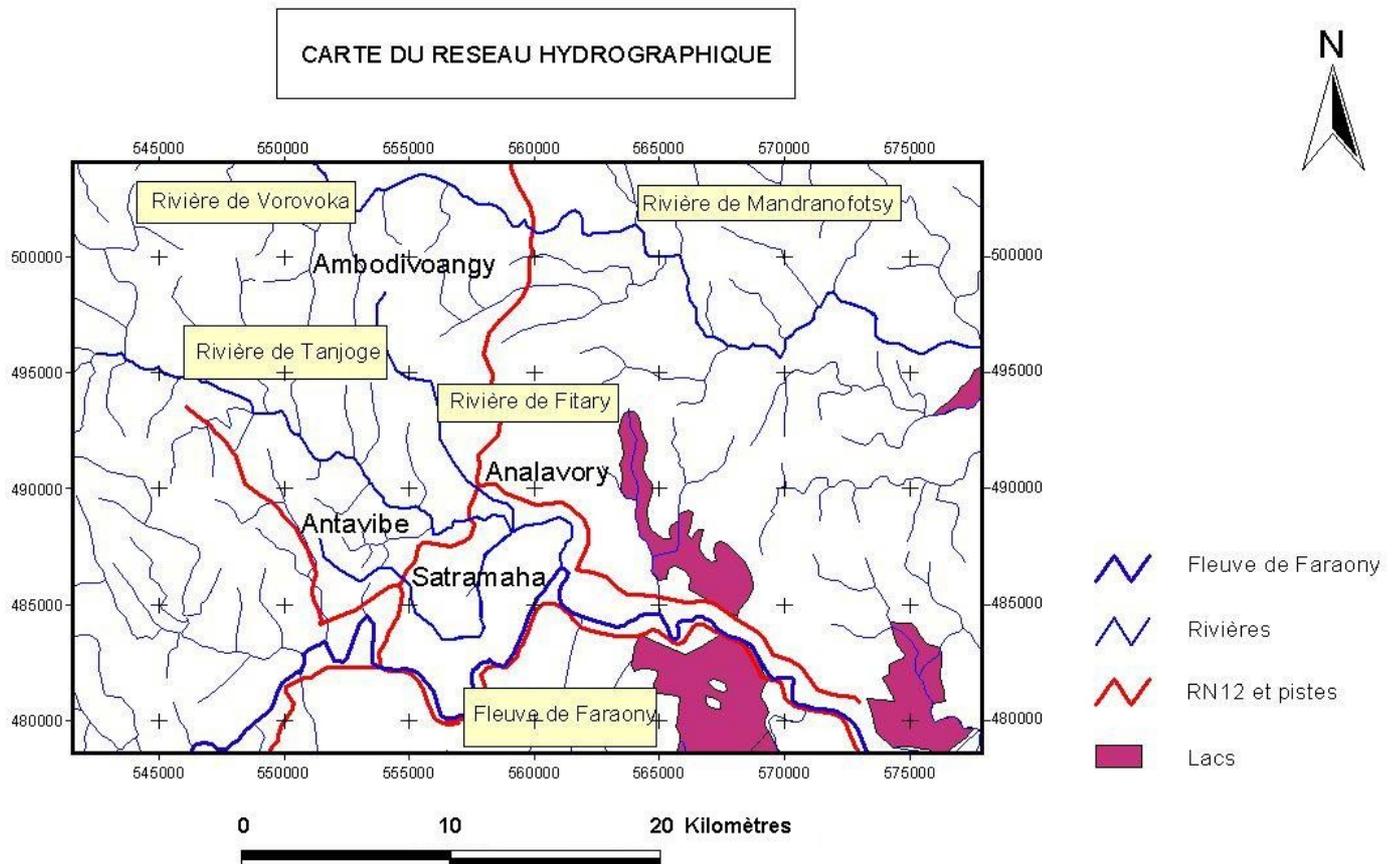
Le réseau hydrographique (Cf. carte n° 03 : Carte hydrographique) est assez dense. Les principales rivières de la région sont : Tanjonge, de Mandranofotsy, Fitary et Vorovoka. Elles sont toutes dirigées de Ouest vers Est. Après elles prennent la direction Nord-Sud en rejoignant le fleuve de Faraony.

Notons par ailleurs que les rivières : Tanjonge, d'Andranobiby, d'Andranofotsy, de Fitary et Vorovoka aucun débit de ces rivières n'a pu observé pendant la saison sèche car l'eau s'infiltré en profondeur et alimente la nappe.

Le fleuve de Faraony est le plus important des cours d'eaux permanents dans cette zone. . Le débit annuel observé par une station localisée au point X= 554 m, Y= 483 m est présenté dans le tableau suivant :

Année	1960 -1961	1961 -1962	1962 -1963	1963 -1964	1964 -1965	1965 -1966	1966 -1967	1967 -1968	1968 -1969	1969 -1970	1970 -1971	1971 -1972	1972 -1973	1973 -1974	1974- 1975
Débits (m3/s)	64.8	120	96.9	91.3	175	82.3	110	78.8	128	238	114	129	132	123	115

Tableau n° 03 : Débits observés dans le fleuve de Faraony (Source : Fleuves et rivières de Madagascar)



Carte n°03 : Carte du réseau hydrographique (Source : BD 500 FTM)

II.5 Ressources en eau

La côte EST dispose d'une forte pluviométrie. Les eaux de surfaces sont abondantes mais parfois exposées à la pollution due à l'absence des systèmes d'assainissement. Jusqu'à maintenant, il y a eu peu d'études hydrologiques. Mais cette région a de potentialités à savoir :

- Nappe d'alluvions.
- Nappe du crétacé.

(Hydrogéologie de Madagascar : Service de Mines Ampadrianomby).

II.6 Situation démographique

II.6.1 Répartition de la population par Fokontany.

Comme le recensement général de Madagascar date de 1993, en conséquence les chiffres du recensement de 2006 effectués par la mairie, sont maintenus comme base et utilisés par les études de la population de la commune d'Analavory.

Fokontany	Habitants
Analavory	3607
Satramaha	1217
Antavibe	931
Ambodivoangy	1389
Total	7234

Tableau n° 04 : Répartition de la population par Fokontany

Le nombre d'habitants dans le Fokontany d'Analavory est de 3607 dont 42.6 % de sexe masculin et 57.4 % de sexe féminin et représentant environ le 50 % de la population totale.

II.6.2 Dynamique de la population

Après les recensements auprès de la Fokontany d'Analavory, les immigrants sont le phénomène le plus enregistré lors de la dernière année. Ils sont dus à l'existence des infrastructures et le projet en cours comme l'alimentation en eau potable.

La première hypothèse ou hypothèse de base, correspond au taux de croissance apparent de plus faible du périmètre d'étude sans apport d'immigrants. Ce taux d'accroissement devrait être voisin de taux de croissance naturel et nationale de 2.6 %.

Sur la période de 2006 – 2015 : une deuxième hypothèse ou « hypothèse moyenne » supposerait une immigration pour la réalisation de l'alimentation en eau de la commune, nous devons prévoir un taux de croissance supérieur à celui de l'hypothèse précédente qui est de 3 %.

Fokontany	2006	2007	2008	2010	2013	2015
Analavory	3607	3715	3827	4060	4438	4708
Satramaha	1217	1254	1291	1370	1497	1589
Antavibe	1021	1052	1083	1149	1256	1333
Ambodivoangy	1389	1431	1474	1563	1709	1813

Tableau n° 05 : Dynamique de la population par Fokontany

La figure suivante donne l'allure de la courbe d'évolution de la population par Fokontany :

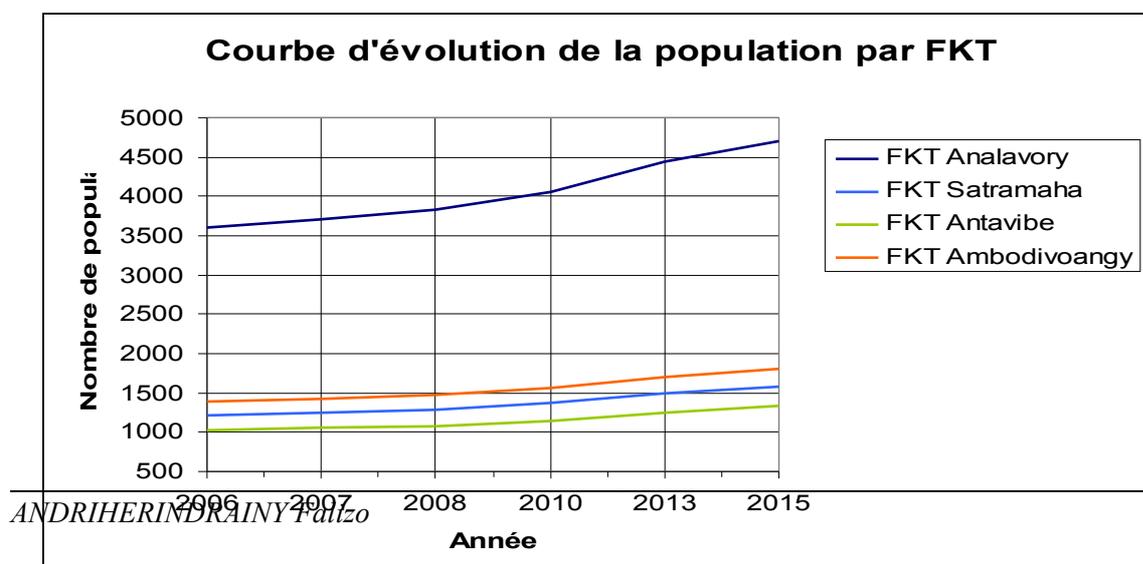


Figure n° 08 : Courbe d'évolution de la population par Fokontany

Après une source de base, la population dans le Fokontany d'Analavory devrait être entre 4500 – 5000 habitants en 2015.

II.7 Demande en eau

L'évaluation de la demande est basée sur la perspective de desservir une population de 4708 habitants à l'horizon de 2015.

Pratiquement, la majeure partie de la population (90 %) déclare qu'elle utilisera le réseau public, bien que la population ne soit jamais exclusivement desservie par les systèmes publics. Ce pourcentage ne fera qu'augmenter lorsque le respect des règles d'hygiène fera abandonner les quelques utilisateurs des cours d'eau pollués.

II.7.1 Consommation unitaire

La population utilise essentiellement des bornes fontaines et des puits, nous prendrons la valeur de la consommation unitaire recommander par l'OMS qui est de 20 l/j/hab.

II.7.2 Prévision de la demande en eau

Le tableau ci-dessous donne les prévisions de la demande en eau. A l'horizon de 2015, les besoins à produire s'élèveraient à environ 94 m³/j.

Année	2006	2007	2008	2010	2013	2015
Population (hab)	3607	3715	3827	4060	4438	4708
Puits (U)						
Taux de desserte	0 %	90%	95%	100%	100%	100%
Consommation jour (m ³ /j)	0	63	73	81	89	94
Consommation unitaire jour (l/j/hab)	20	20	20	20	20	20
Nombre de puits (U)	0	3	4	6	7	9
Augmentation du nombre de puits (U)	0	3	1	2	1	2
Consommation moyenne totale jour (m³/j)	0	63	73	81	89	94

Tableau n°06 : Projection de la demande en eau

II.8 Situation sanitaire et eau

Dans cette localité, le district de Manakara dispose d'un hôpital. La commune d'Analavory a un CSB II fonctionnel. Il est créé en 2001 suite au financement de l'Armée Pacifique Américaine. Il est bénéficiaire d'un médecin et une assistante médicale.

II.8.1 Maladies hydriques

Comme toutes les communes non équipées d'un système d'adduction d'eau potable, la population de la commune rurale d'Analavory puise de l'eau des rivières de Tanjonge, d'Andranobiby, d'Andranofotsy, de Fitary et de Vorovoka. Les maladies d'origine hydriques sont fréquentes à Analavory à savoir : la diarrhée et le taux de mortalité infantile ne cesse d'augmenter.

Par ailleurs, les maladies hydriques entraînent des dépenses d'argent (Soins et achats de médicaments) et une diminution de force de travail. A noter que l'insuffisance ou l'absence de l'alimentation en eau potable et d'un système d'assainissement fait courir les risques importantes d'épidémies, comme l'épidémie récente de choléra ou de la peste qui se traduiront toujours par des coûts considérables pour le pays.

II.8.2 Latrines

Quelques bâtis disposent des installations individuelles (fosses perdues). Le niveau d'équipement individuel décroît voire nul suivant des localités.

II.8.3 Elimination des déchets solides

Les déchets étaient transformés en compostage individuel ou par incinération. En outre, il n'existe aucun ramassage et lieu de dépôts d'ordures collectifs ce qui constituent des lieux de dépôts d'ordures sauvage qui sont des foyers permanent de pollution et d'insalubrité.

II.9 Conclusion

La commune rurale d'Analavory est localisée dans la région du Sud-Est où on enregistre une forte précipitation annuelle. Les conditions géologiques locales favorisent l'alimentation de la nappe phréatique.

Le taux d'évolution de la population est estimé à 3 % qui est légèrement en hausse par rapport au taux d'accroissement national qui est de 2,6 %. Face à cette augmentation de la population, l'administration doit multiplier ou améliorer l'adduction d'eau potable pour satisfaire les besoins de la population.

Nous allons passer maintenant à la troisième partie pour entamer le cas du Fokontany d'Analavory.

TROISIEME PARTIE :
CAS DU FOKONTANY D'ANALAVORY

La commune rurale d'Analavory est composée de quatre (04) Fokontany à savoir le fokotany d'Analavory, de Satramaha, d'Antavibe et d'Ambodivoangy avec une population totale de 7234 habitants en 2006.

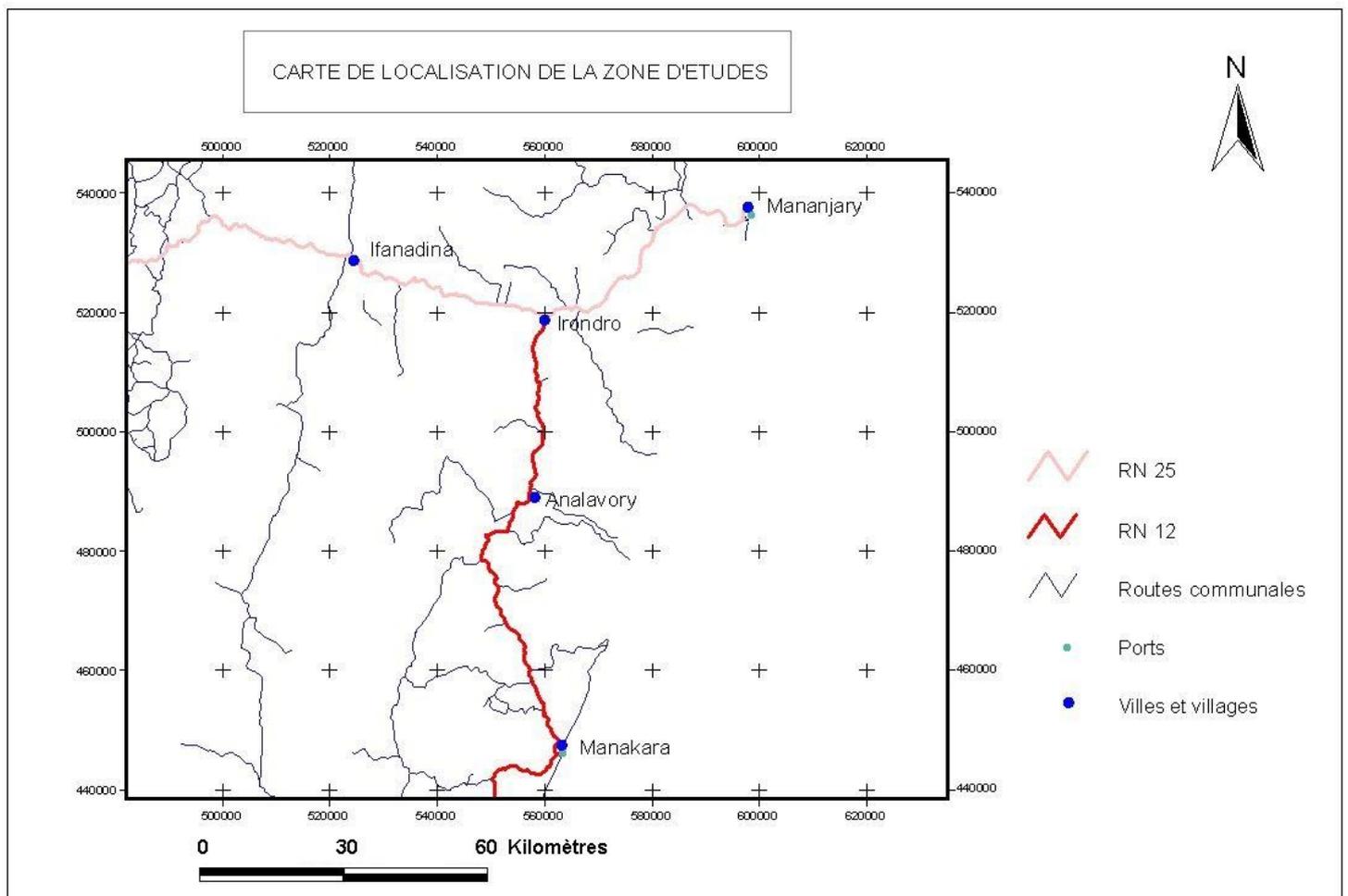
A l'horizon de 2015, la population du Fokotany d'Analavory devrait être entre 4500 – 5000. Ces besoins en eau s'élèveraient à 94 m³/j

III.1 Site, son environnement et choix du site

Le Fokontany d'Analavory a été choisi comme site d'étude car il présente une forte population et dispose des infrastructures de base telles que : le CSB II, l'EPP, le CEG, etc.

La commune rurale d'Analavory est dans le district de Manakara région de Vatovavy Fitovinany. Elle se trouve sur l'axe de RN 12 vers Irondro à 60 km de chef lieu de région à la limitrophe de district de Manakara et Manjary (Cf. carte de la localisation de la zone d'étude), carrefour à la rentrée dans les cinq communes dans le département d'Ampasimanjeva. Elle est bâtie près d'une piste qui est accessible durant toute l'année par tous les moyens de déplacement.

Le site comporte un relief de collines escarpées et de valleuses dont les sommets de reliefs environnants ont une altitude de 230 m ou des plaines alluviales. La plaine est parcourue par des rivières et des ruisseaux.



Carte n° 04 : Carte de localisation de la zone d'étude (Source : BD 500 FTM)

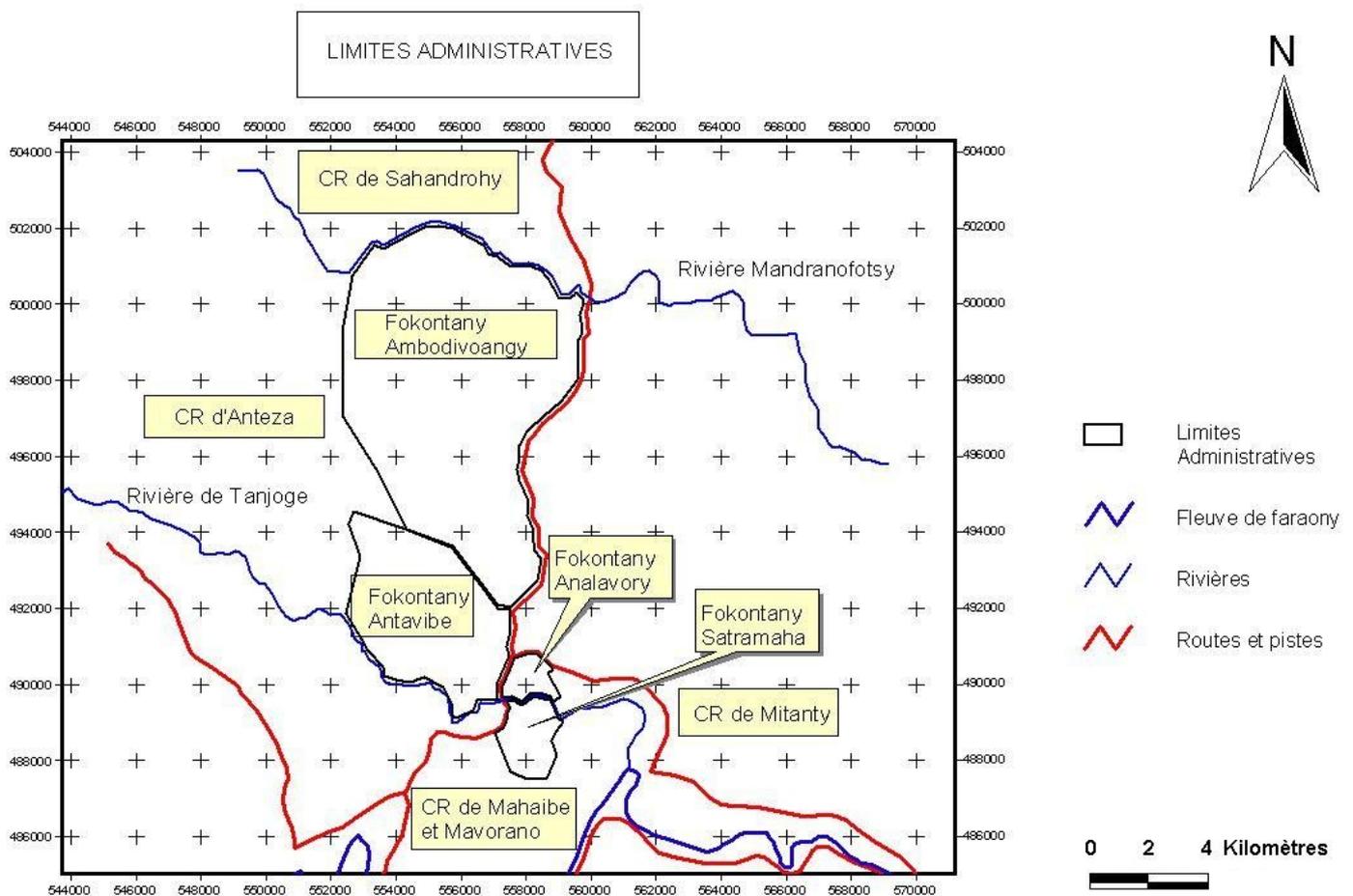
III.2 Limites administratives

Le chef lieu de la commune (Analavory) est séparé des trois autres Fokontany de distance respectives d'environ :

- 1.5 km pour le Fokontany de Satramaha,
- 3 km pour le Fokontany d'Ambodivoangy,
- 5 km pour le Fokontany d'Antavibe.

La commune est représentée par le plan de découpage administratif :

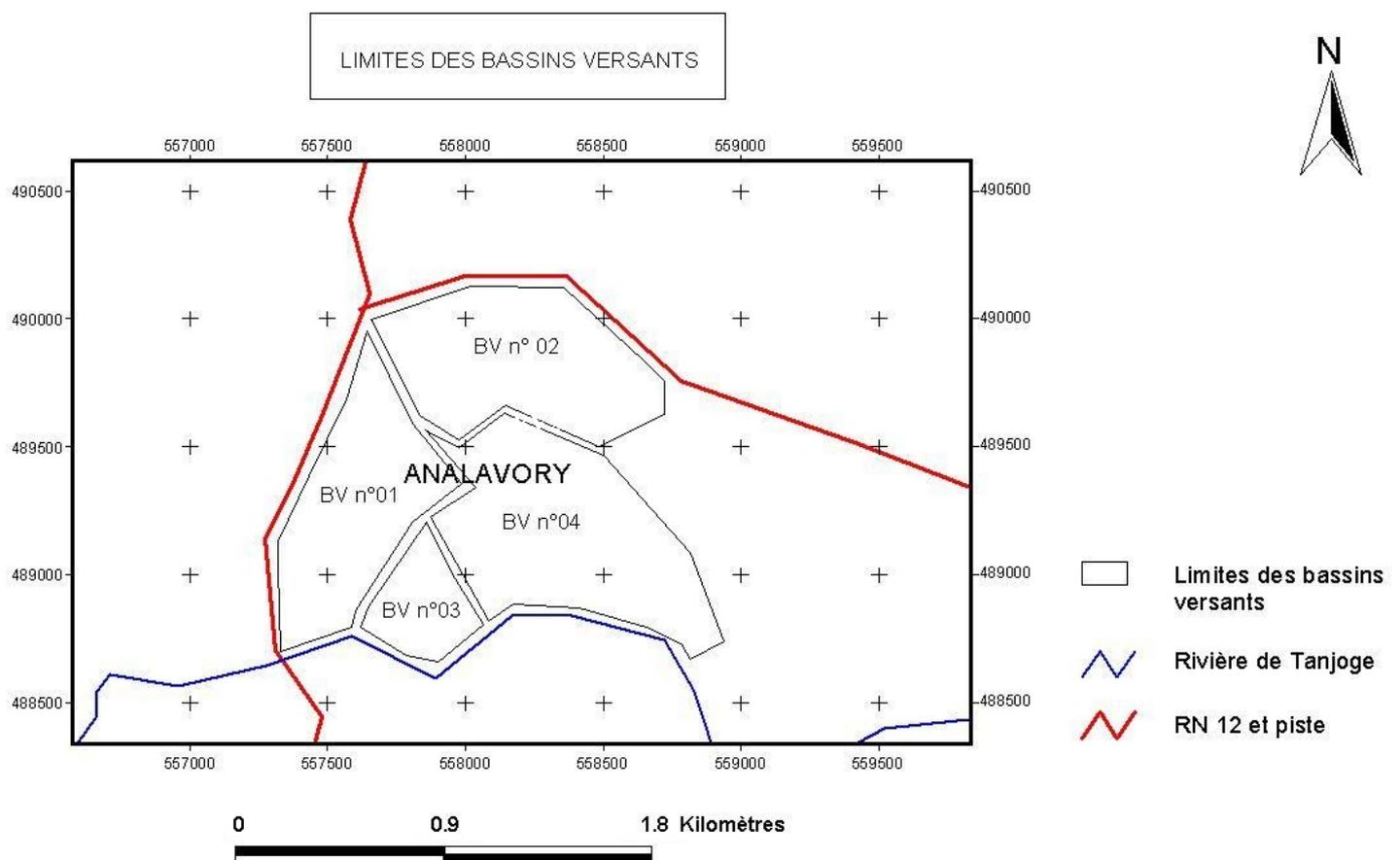
- Au sud : par les communes rurales de Mahamabe et de Mavorano,
- La limite à l'Est : par la commune rurale de Mitanty,
- La limite au nord : par la commune rurale de Sahandrohy,
- La commune rurale d'Anteza qui est la limite à l'Ouest.



Carte n° 05 : Carte des limites administratives

III.3 Périmètre de projet

La surface totale de la commune est de 42 km² dont 8.2 km² est actuellement bâtie (Cf. carte des limites des bassins versants).



Carte n° 06 : Carte des limites des bassins versants

III.4 Urbanisme et habitat

L'urbanisation de la ville se fit avec la mise en place des bureaux administratifs, de l'Ecole Primaire Public, de CSB II, un marché et un Collège d'Enseignement Général avec une bibliothèque.

La population se concentre le long des voies de communication.

III.5 Plan d'urbanisme

La commune rurale d'Analavory n'a aucun de plan de développement urbain. Ce qui rend difficile la gestion de la commune.

III.6 Infrastructures et services

III.6.1 Voies d'accès

Analavory est accessible par voie routière depuis Irondro et ceci toute l'année.

III.6.2 Drainage et assainissement

Le réseau d'assainissement n'existe pas. En absence des conduites d'eaux pluviales, les eaux sont collectées par les talwegs et rejoignent les grandes rivières.

III.6.3 Electricité

Actuellement, la commune n'a pas encore de l'électricité mais elle a une potentialité en ressources en eau hydraulique remplissant les critères pour faire un petit central hydroélectrique. Nous enregistrons des chutes d'eau qui ont une hauteur d'environ 15 m.

III.7 Calcul du bilan hydrique, Paramètres physiques et le débit d'eau pluviale du bassin versant d'Analavory.

III.7.1 Bilan hydrique

La surface du bassin versant du Fokontany d'Analavory est de 7.02 km². Sur une période d'une année, l'équation s'écrit :

$$I - O = D$$

I est la précipitation

O est le ruissellement et le débit d'eau souterraine

D est le déficit d'écoulement, essentiellement

Déficit (D) : c'est de l'évapotranspiration et l'infiltration

A Madagascar, nous utilisons fréquemment la formule de Thornthwait car elle est le mieux adaptée à notre cas et surtout en fonction des données disponibles.

$$D = 16 \times \left(10 \times \frac{t}{F}\right)^a$$

.t : Température

F : Indice thermique annuel

.a : Une fonction complexe de F

$$a = 6.75.10^{-7} \times F^3 - 7.71.10^{-5} \times F^2 - 1.79.10^{-2} \times F + 0.49$$

Volume entrant (I) : C'est de la précipitation

La hauteur de la précipitation est de : 200 mm (Source : Fleuves et rivières de Madagascar dans la station de Faraony).

Volume sortant (O) : Ce sont le ruissellement et débit d'eau souterraine

$$O = I - D$$

Le volume d'eau infiltré (S) se calcule à partir de :

$$S = D - E$$

Avec

E : Evapotranspiration potentielle moyenne.

Le tableau suivant nous donne les résultats suivants :

Déficit en mm	Précipitation en mm	Ruissellement et débit d'eau souterraine en mm	Evapotranspiration potentielle moyenne en mm	Infiltration en mm
109.48	200	90.48	97.3	12.15

Tableau n° 07 : Bilan hydrique

III.7.2 Paramètres du bassin versant

Le bassin naturel ne présentait pas de limites très ondulées, aussi la stylisation du périmètre n'introduit-elle que peu de variation. Pour les quatre bassins versants dans le Fokontany d'Analavory, le tableau suivant nous donne des récapitulations des résultats des paramètres physiques :

Numérotation du bassin versant	BV 1	BV 2	BV 3	BV 4
Périmètre (P) en km	10.68	7.16	5.6	7.51
Surface du bassin versant (A) en km ²	7.02	3.11	1.88	3.30
Indice de compacité (C)	1.13	1.14	1.14	1.16
Longueur du rectangle équivalent (L) en km	2.72	1.7	1.42	2.02

Tableau n° 08 : Paramètres physiques des bassins versants du Fokontany d'Analavory

III.7.3 Débits d'eau pluviale dans les bassins versants

Le débit d'eau pluviale est estimé à partir de la relation suivante :

$$Q = 0.167 \times K_r \times i \times A$$

A = Surface du bassin versant en km²

K_r = Coefficient de ruissellement qui est égal à 0.75 (Source : Fleuves et rivières)

i = intensité de pluie en mm/mn qui est donnée par la relation suivante :

$$i = \frac{P_{mensuelle}}{43200^b} \times t_c^{b-1}$$

Avec :

P mensuelle = Pluviométrie mensuelle en mm qui est de 495 mm (Source : Fleuves et Rivières de Madagascar, station de Faraony)

b = Coefficient régional (Source : Estimation des débits de crue à Madagascar)

t_c = Temps de concentration en mn qui est donné par la relation suivante :

$$t_c = 0.0195 \times L^{0.77} \times J^{-0.385}$$

Avec :

L = Longueur de cheminement en m.

J = Pente en m/m.

Les débits d'eau pluviale sont récapitulés dans le tableau suivant :

Bassins versants	BV 1	BV 2	BV 3	BV 4
Débits en m ³ /s	67.7	42.1	24.5	40.5
Intensité de pluies en mm/mn	0.77	1.08	1.04	0.98
Temps de concentration en mn	117	73	77	83

Tableau n° 09 : Débits d'eau pluviale dans les bassins versants du Fokontany d'Analavory

III.8 Photo-interprétation

Au départ, il était question de réaliser deux modes d'occupations des sols complets : un en 1957 et l'autre sur la photo plus récente, avec l'identification des différentes zones telles que les collines, forêts, bananiers, ravinale, plantations de café, rizières, cours d'eau et les bas-fonds. Cependant, cet objectif a été revu à la baisse à cause de l'absence d'une mise à jour de la photo et l'image à émulsion infrarouge.

III.8.1 Présentation

Nous avons interprété une photographie aérienne à émulsion panchromatique. La photo a l'identification de 115. Le Foibe Taontsarintany Madagasikara (FTM) est le premier fournisseur de la photo aérienne à Madagascar. La date de prise de vue était de 1957. La photo est mise à la disposition sur un support de papier photo de dimension 185 x 210 mm.

Le choix se porte entre quatre photos aériennes de la mission 1957 qui permet de donner une nette vision et une grande partie de la zone d'étude.

III.8.2 Méthodologie de photo-Interprétation

- Lecture préliminaire

La lecture de la photo sur un support en papier photo se fait à l'oeil nu. Cette étape définit la limite et la vision générale de la zone d'étude telles que son contenu et ses informations.

- Lecture stéréoscopique

Cette opération nous livre l'image en relief en ce qui concerne les informations essentielles dans la photo. Elle nous permet de identifier les différents éléments de la zone à étudier comme les rivières, les bas-fonds, les forêts et etc.

- Utilisation du logiciel ARCVIEW 3.2 a

L'échelle de la prise de vue était trop grande. La photo a été ensuite scannée avec une définition de 800 dpi, suffisante pour une bonne photo-interprétation (Figure n°09). Le logiciel ARCVIEW 3.2 a permis de réaliser le calage de la photo.

L'utilisation des papiers calque sur le support photo pour l'interprétation en traçant les différentes résolutions est figée. L'identification et le traçage des différentes éléments se faisaient avec le logiciel ARCVIEW 3.2 a en zoomant certain point un peu difficile à différencier.

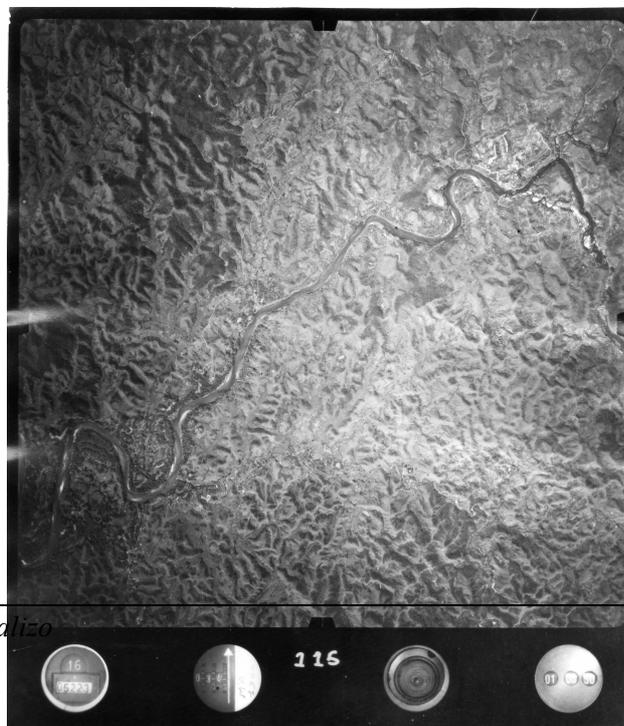


Figure n°09 : Photo aérienne utilisée (Source : FTM)

La zone de prise (Figure n°10) est obtenue en faisant un « zoom » et traçant la limite. Cette zone est recouverte des bas-fonds, les plantations de café et les rizières dont les tons sont différentes. La photo-interprétation se fait avec de la photo aérienne dans le domaine du visible.

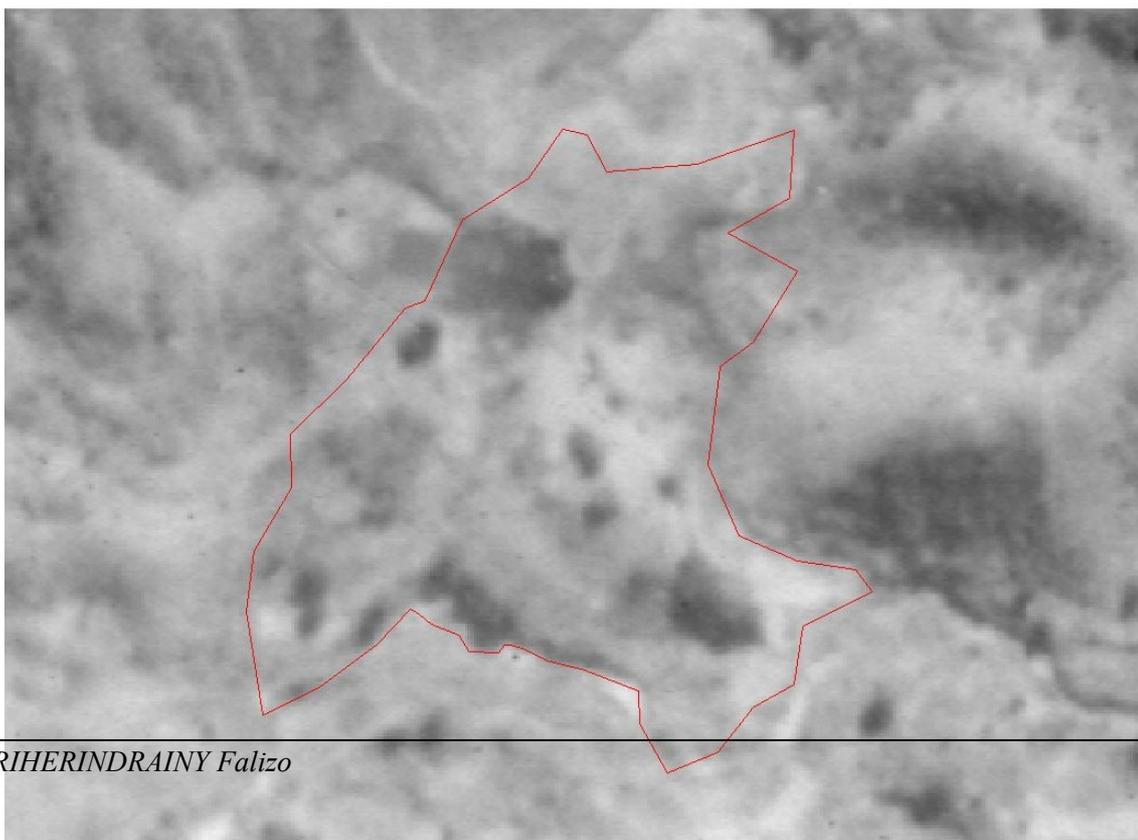


Figure n°10 : Zone de prise (Source : Photo aérienne FTM)

En fonction d'un certain nombre de critères photographiques (Ton dominant, texture, forme, structure) et de critères de localisation, il est possible de procéder à la délimitation de zones d'égale apparence. Un certain nombre de ces unités ont pu être identifiées directement et attribuées à des formations déjà connues, d'autres ont dû être identifiées sur terrain.

Nous avons identifié les différentes unités suivantes (Figure n°11) :

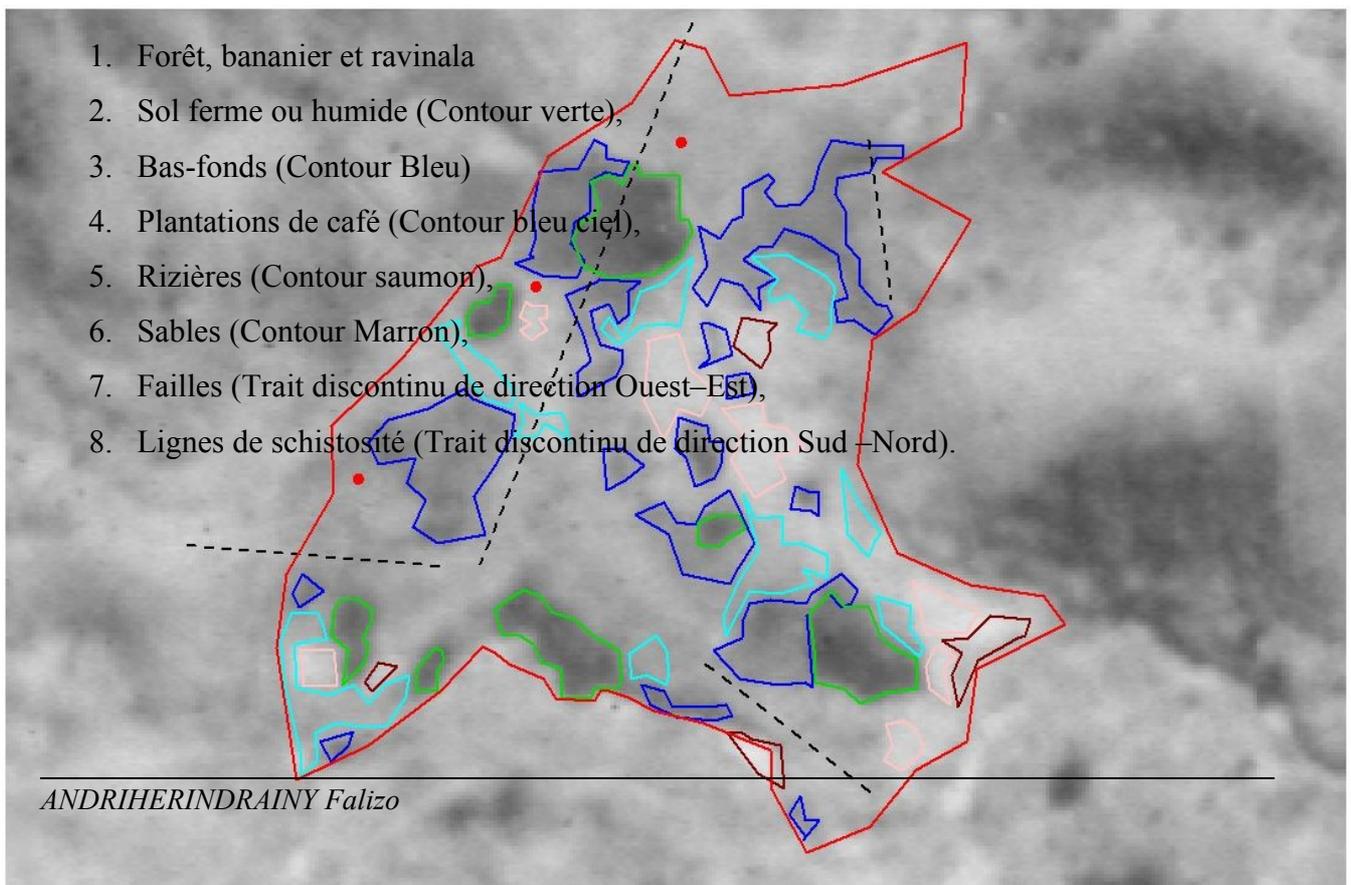
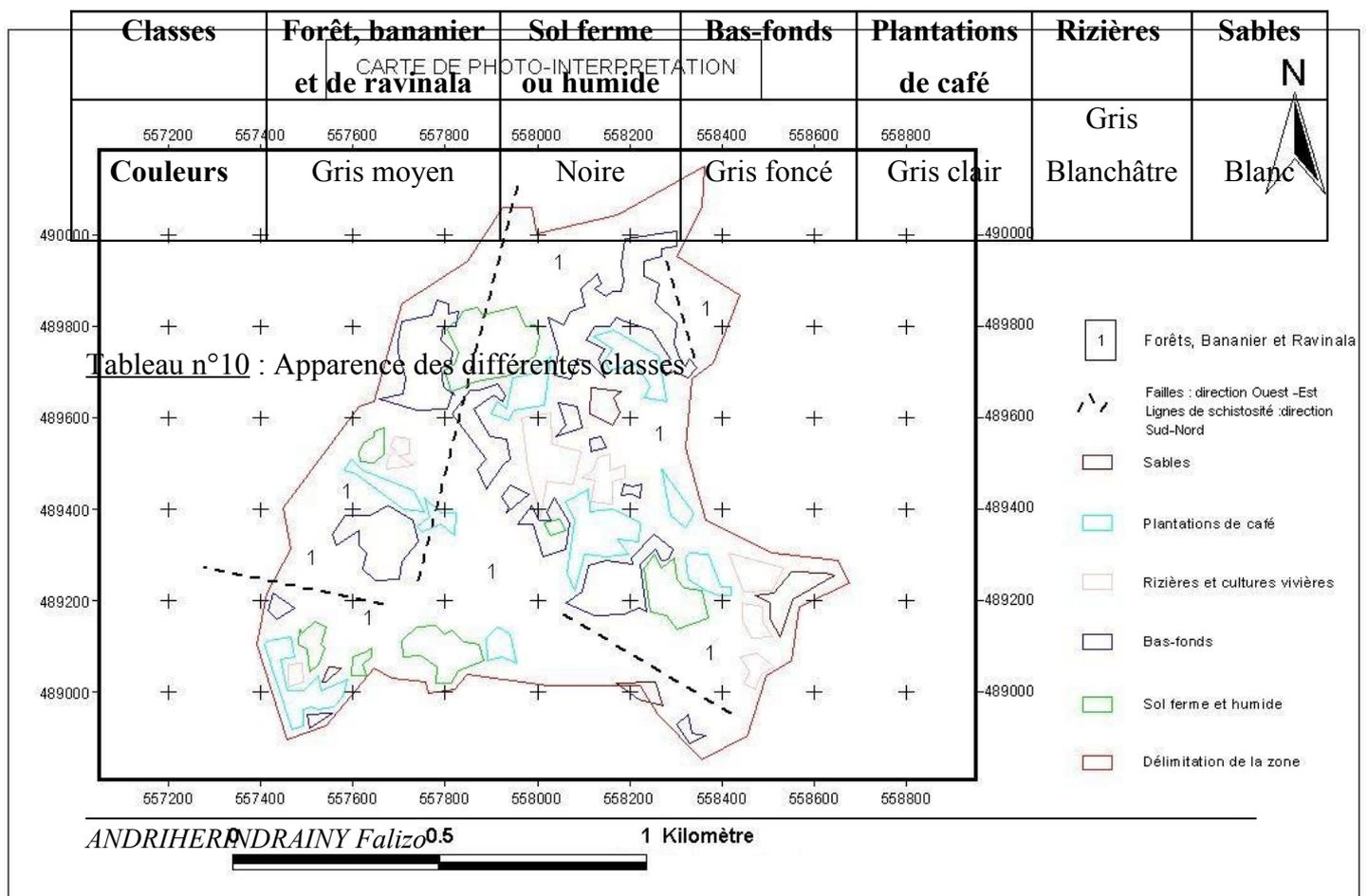


Figure n°11 : Différentes unités de la photo aérienne (Source : Photo aérienne FTM)

L'apparence des différentes classes est donnée par le tableau suivant :



Carte n°07 : Carte de photo-interprétation

III.8.3 Localisation de puits suivants des critères de priorisation

Il consiste à prioriser suivant les critères de faisabilité. Pour cela, nous avons mis deux types de critères : premièrement, l'estimation du potentiel en ressource d'eau souterraine et deuxièmement, les contraintes de réalisation du projet.

Les potentialités seules ne sont, en effet, pas suffisantes, car le coût de mise en valeur est non négligeable dans cette zone, notamment en altitude. Cela permettra alors de localiser la future implantation des puits.

III.9 Télédétection

La télédétection a été aussi utilisée pour confirmer le choix du site.

La méthodologie nécessite une série de prétraitement :

III.9.1 Opérations de prétraitement

- Rectification géométrique

Il consiste à transformer géométriquement l'image pour le rendre conforme à la projection cartographique désirée, et du ré échantillonner selon un pixel carré de grandeur standard.

Dans la zone d'étude, l'image satellite Landsat porte le référence TM 158075 de la date 15 Septembre 1993 dont le pourcentage du nuage était de 0 %. Nous avons utilisé d'une base donnée qui est une carte scannée et calée à l'aide du logiciel Arcview. Le logiciel IDRISI ne connaît une carte scannée sous format TIFF. Nous devons la transformer en format raster. La carte est recalée avec le logiciel IDRISI.

La correction géométrique se fait en donnant à l'image satellite les coordonnées respectives points par points à partir de la carte scannée et calée.

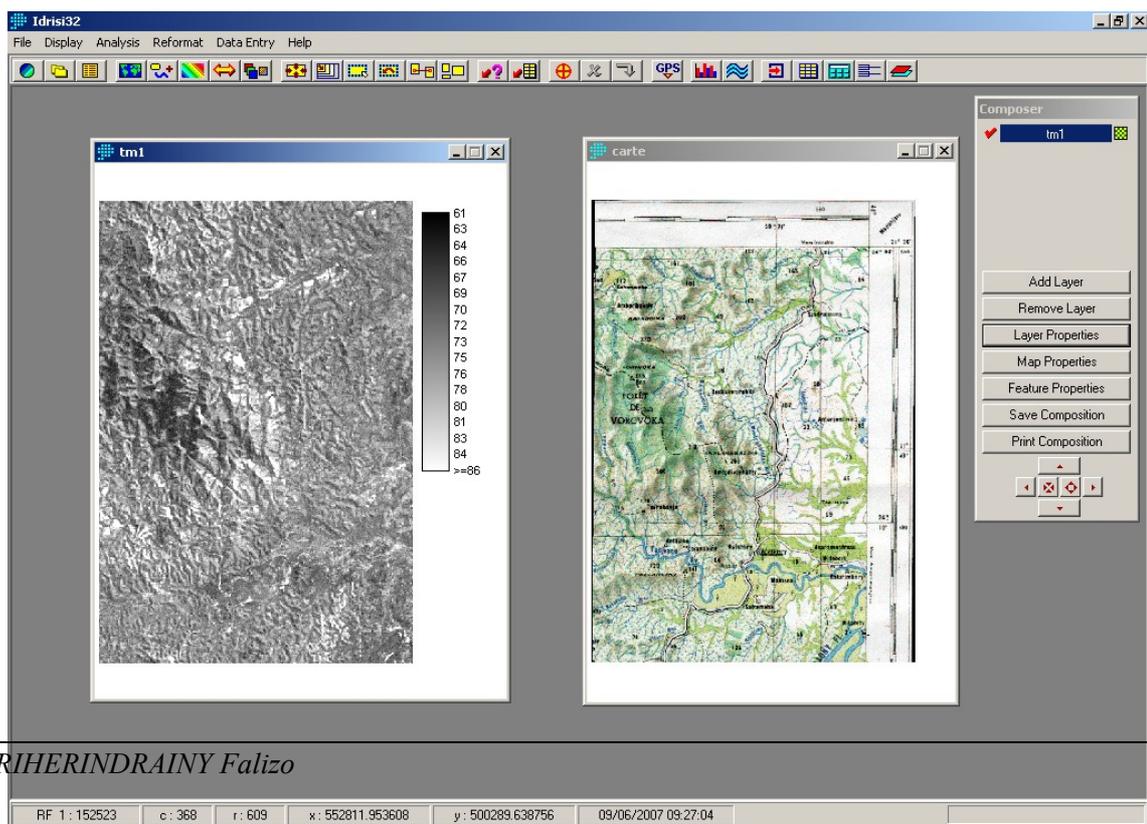


Figure n°12 : Image satellite canal TM1 (Source : Image Landsat FTM) de la zone d'étude et carte scanné et calée (Source : Carte FTM)

III.9.2 Analyse des caractéristiques radiométriques

Après la sélection de la parcelle sur l'image, nous avons analysé les signatures spectrales des principales classes étudiées en fonction des différentes bandes spectrales. Les classes possèdent chacune des caractéristiques différentes donc des radiomètres différents. Les valeurs représentent les maxima, la valeur 256, les minima, la valeur zéro.

- Histogrammes

Nous avons visualisé les histogrammes des différents canaux.

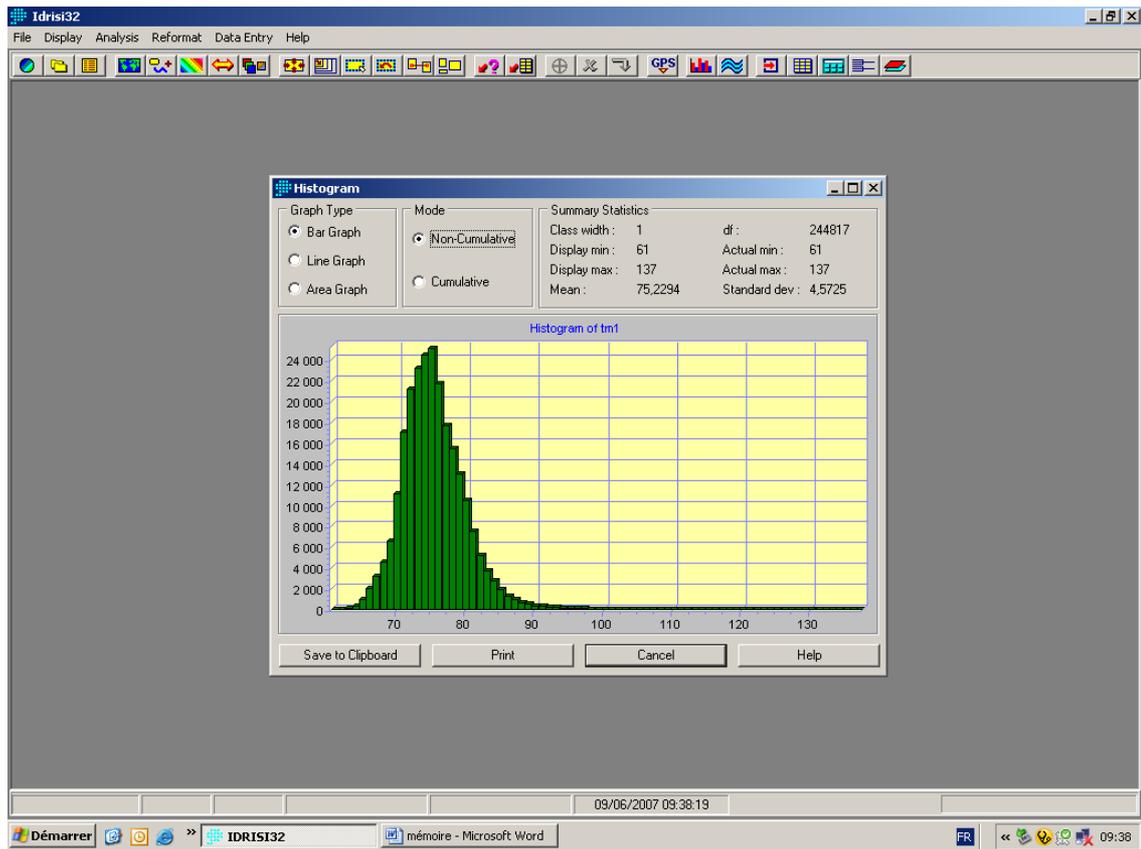


Figure n° 13 : Histogramme du canal TM1 (Source : Image Landsat FTM)

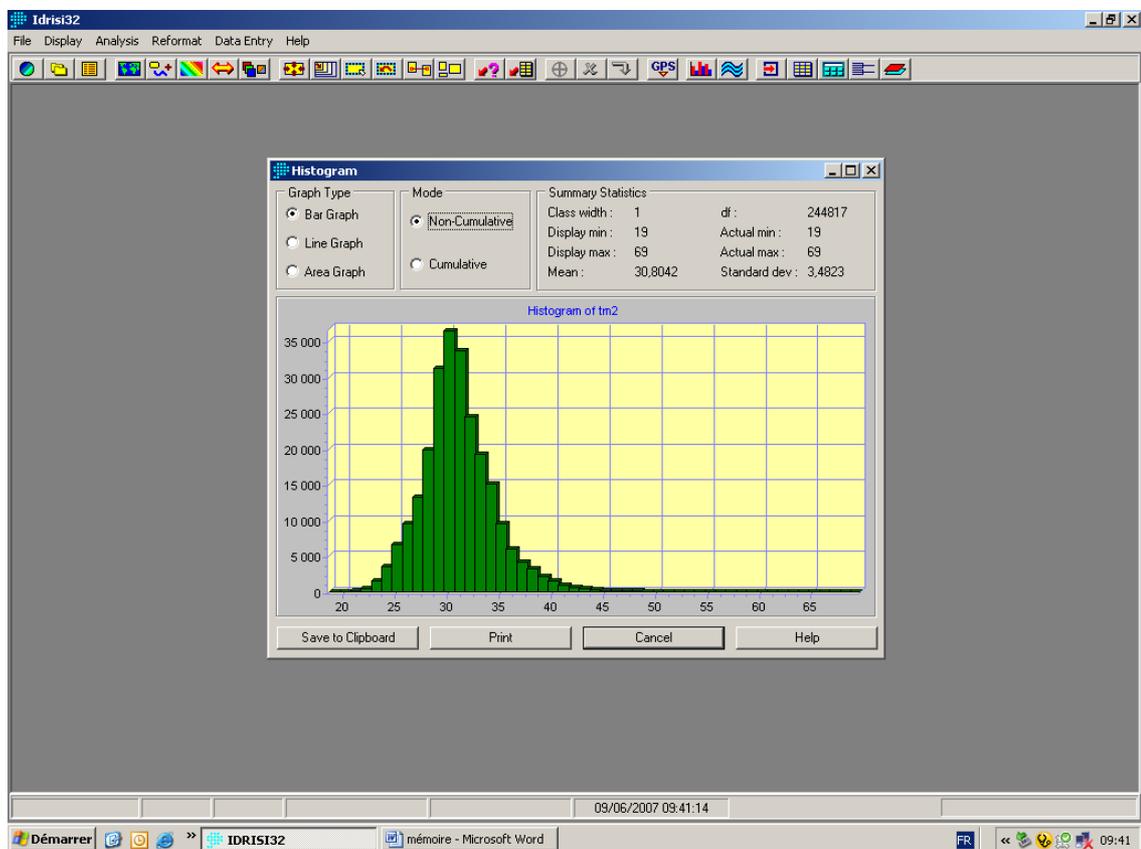


Figure n° 14 : Histogramme du canal TM2 (Source : Image Landsat FTM)

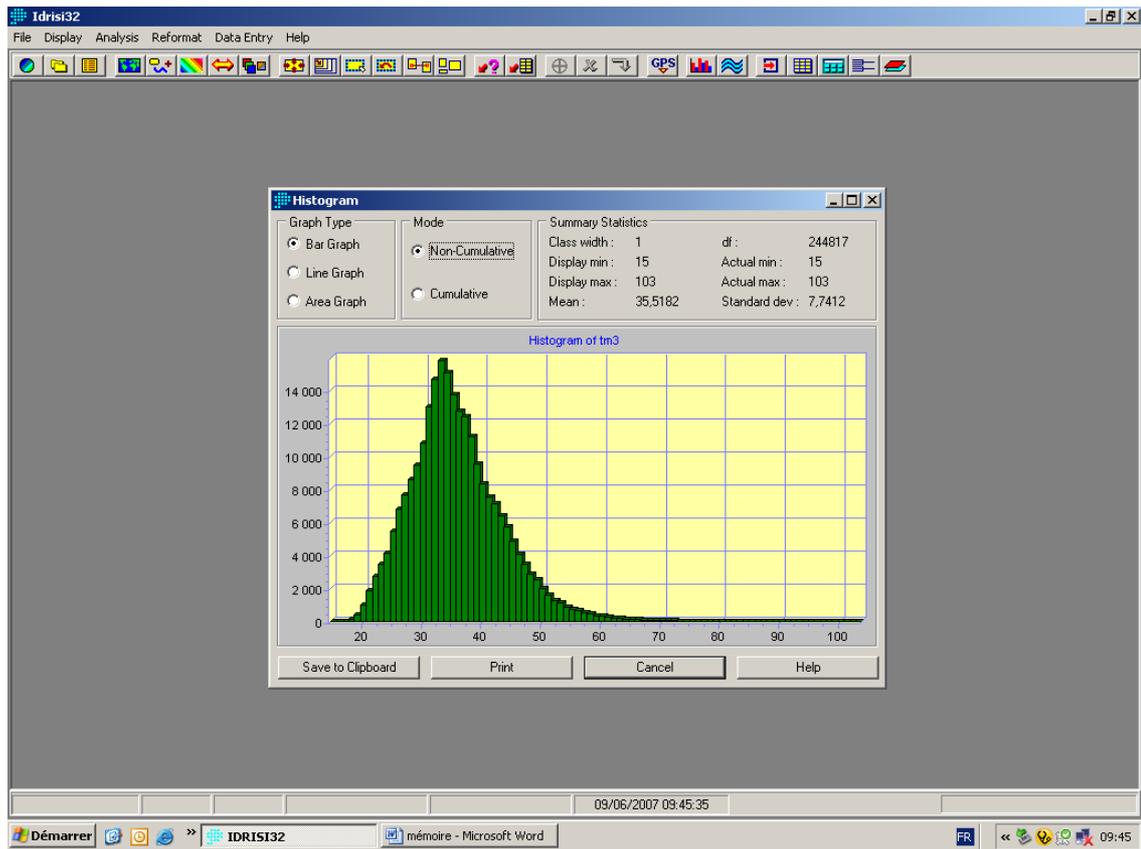


Figure n° 15 : Histogramme du canal TM3 (Source : Image Landsat FTM)

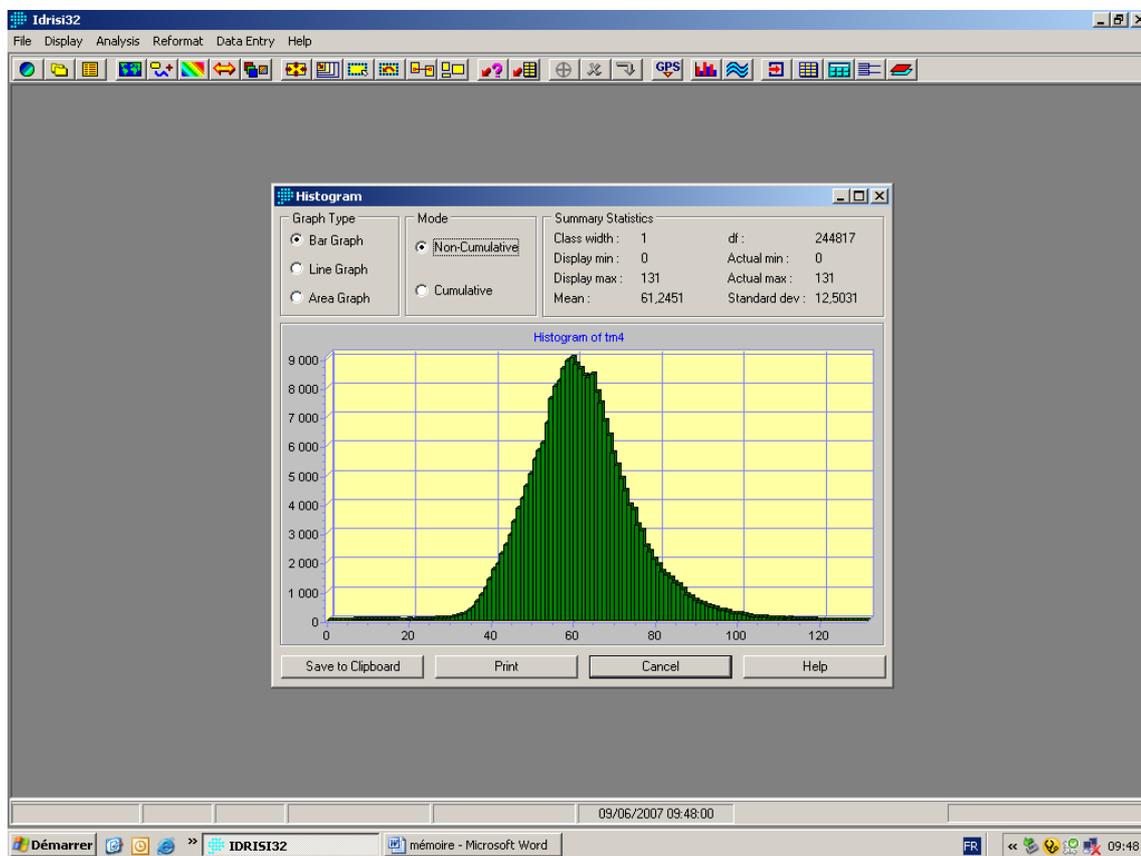


Figure n° 16 : Histogramme du canal TM4 (Source : Image Landsat FTM)

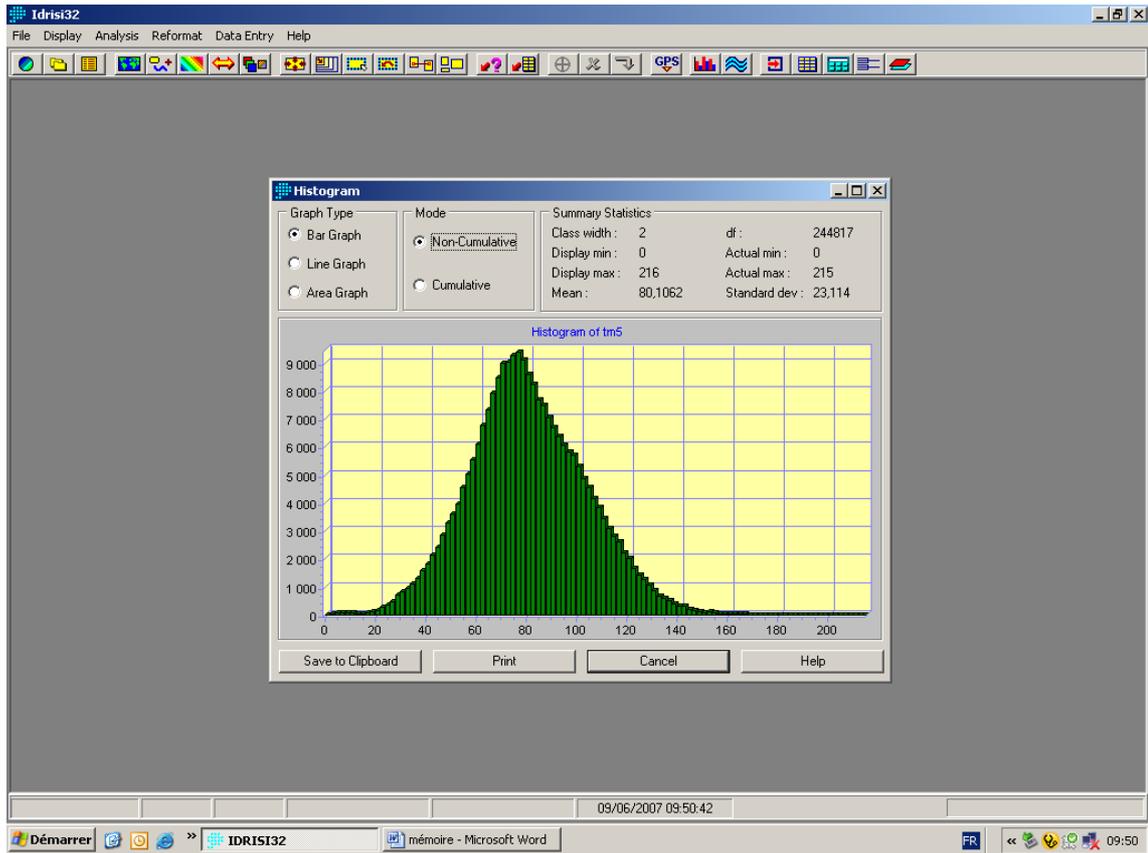


Figure n° 17 : Histogramme du canal TM5 (Source : Image Landsat FTM)

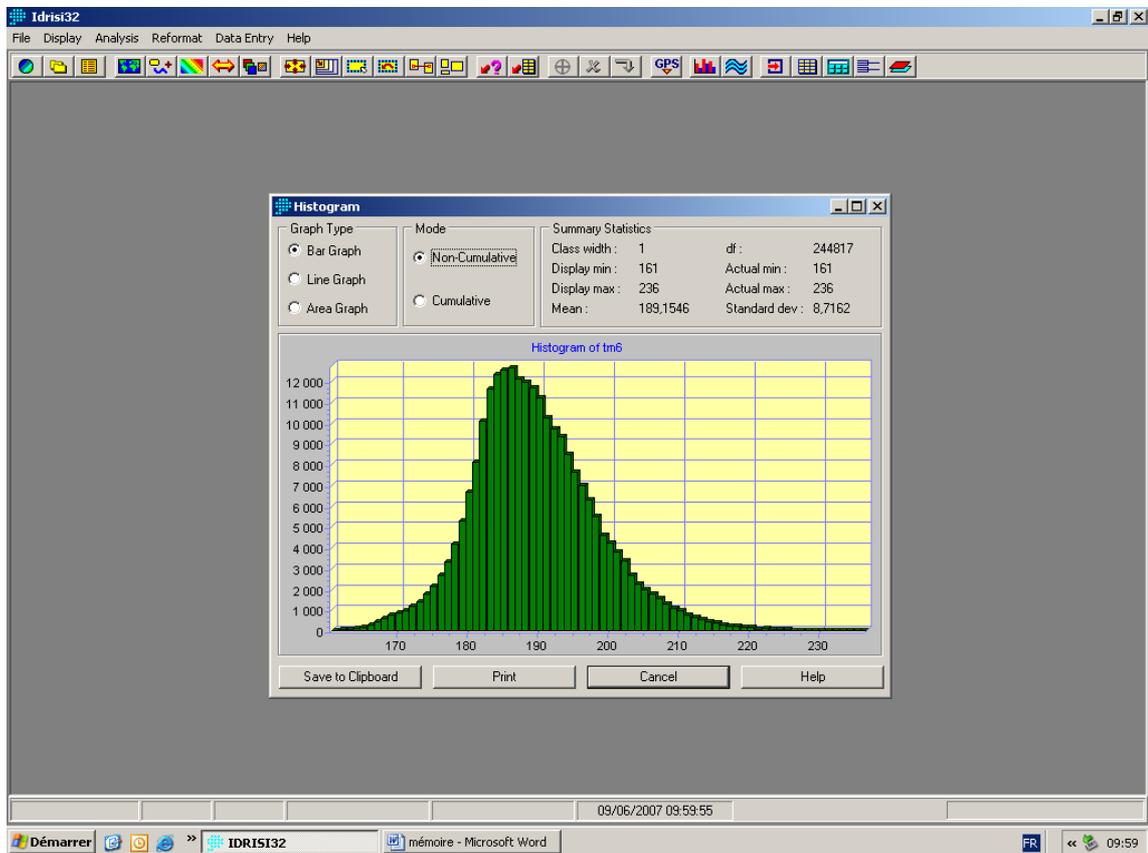


Figure n° 18 : Histogramme du canal TM6 (Source : Image Landsat FTM)

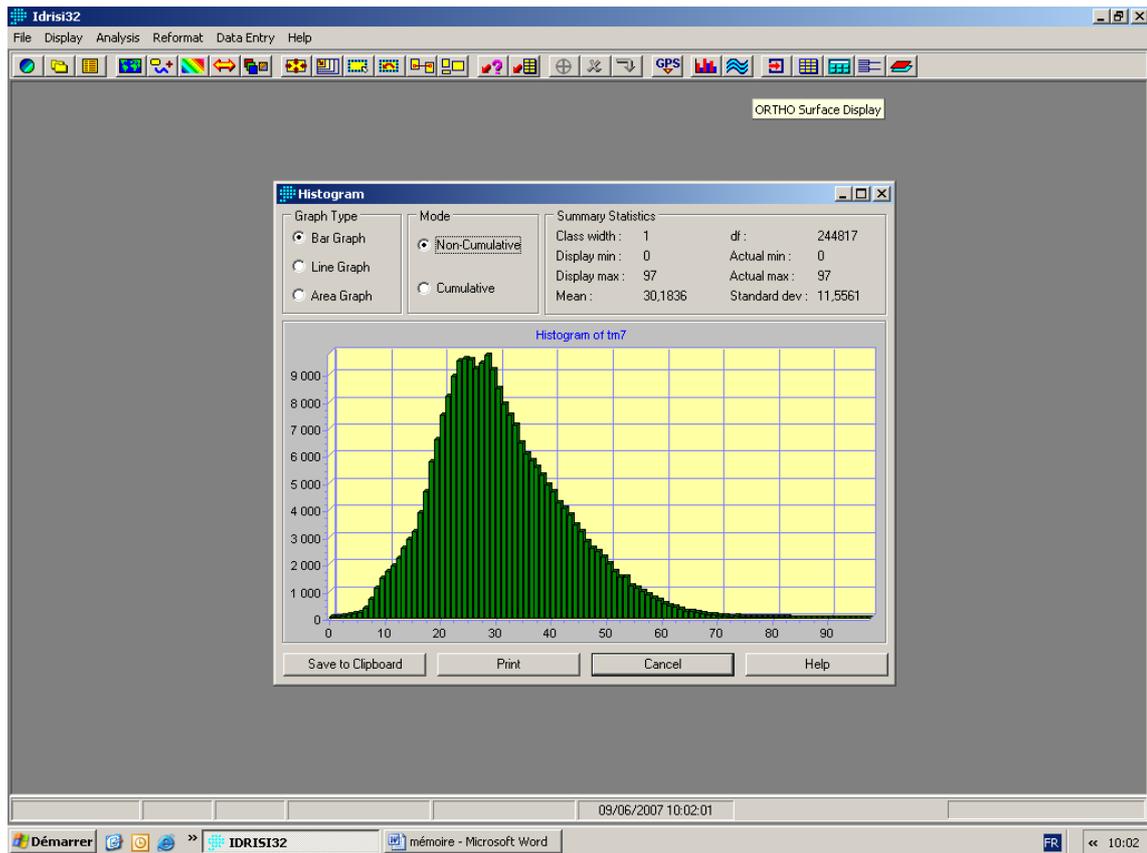


Figure n° 19 : Histogramme du canal TM7 (Source : Image Landsat FTM)

- Compositions des canaux

L'étape suivante est d'améliorer les images afin d'extraire les informations. Nous faisons des compositions colorées en combinant respectivement les canaux suivants TM 4, TM5 et TM3 aux couleurs rouge, vert et bleu. La composition naturelle combine les canaux TM7, TM4 et TM2 respectifs aux couleurs rouge, verte et bleu.

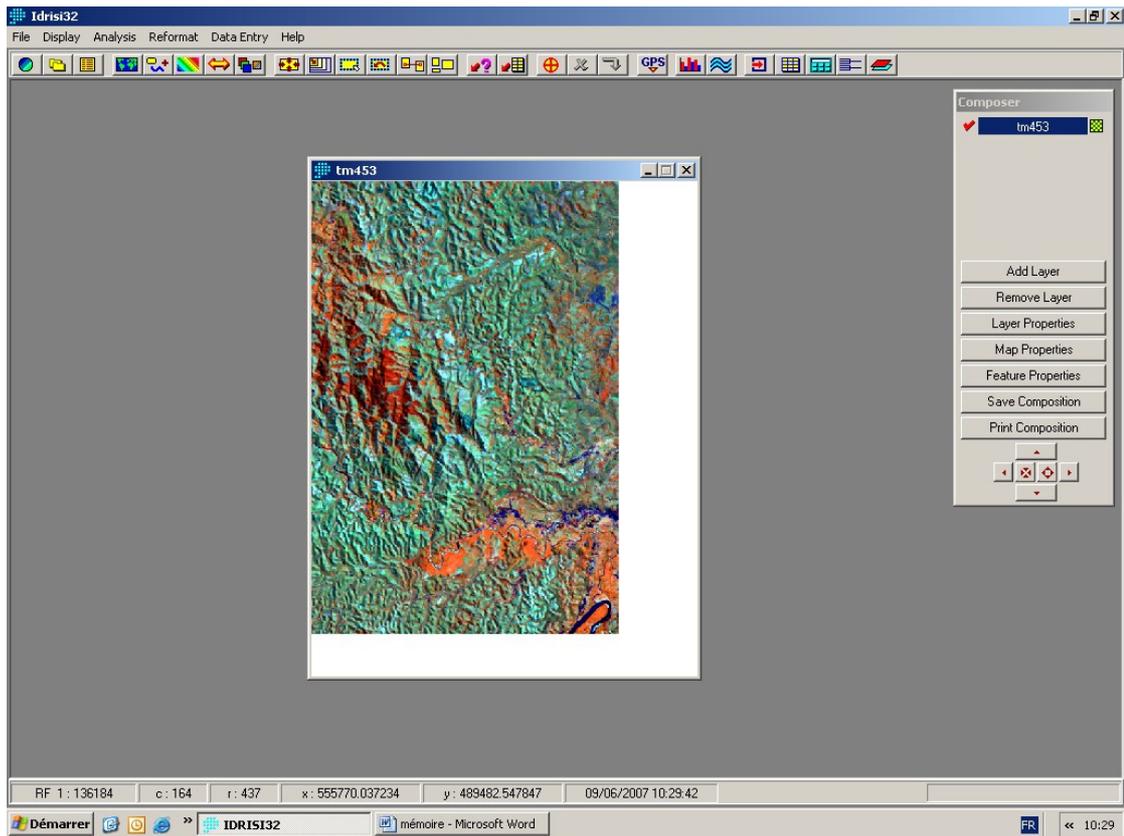


Figure n° 20 : Composition colorée.

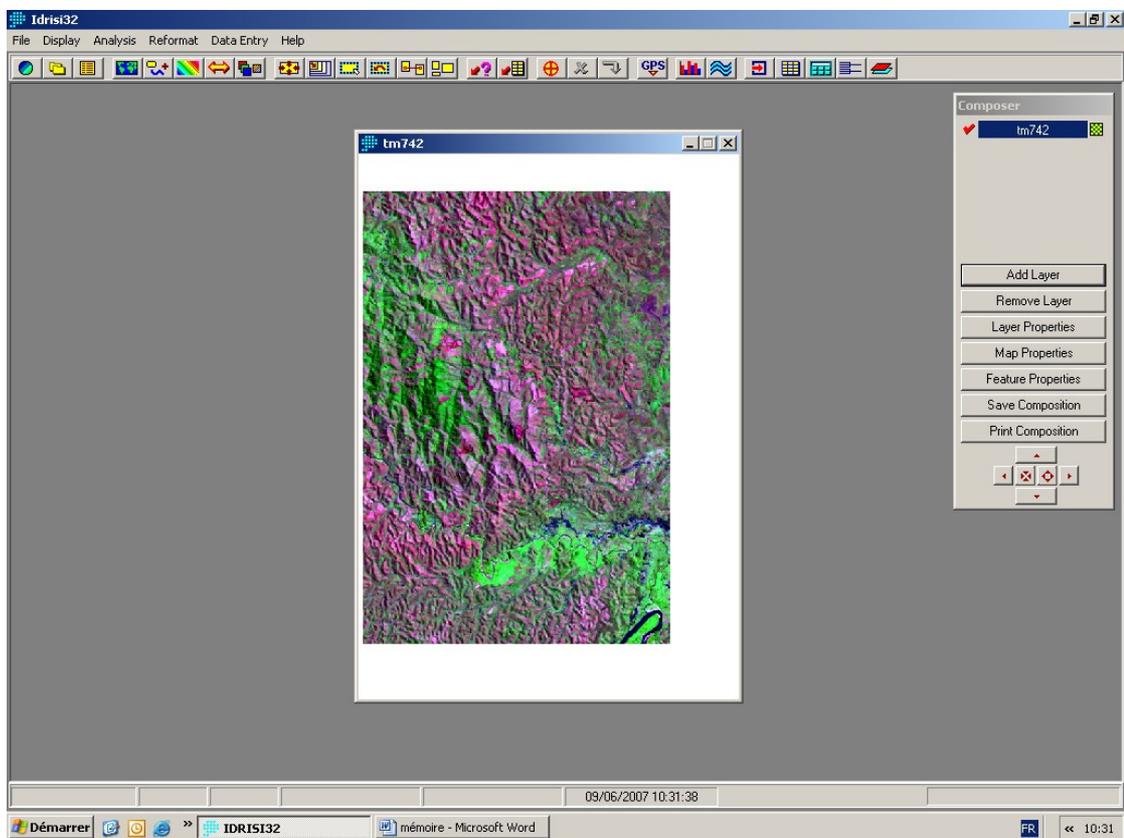


Figure n° 21 : Composition naturelle.

- Filtrage

Le filtrage des images est nécessaire dans le traitement. Nous adoptons le filtre passe bas pour la composition naturelle qui est la plus significative.

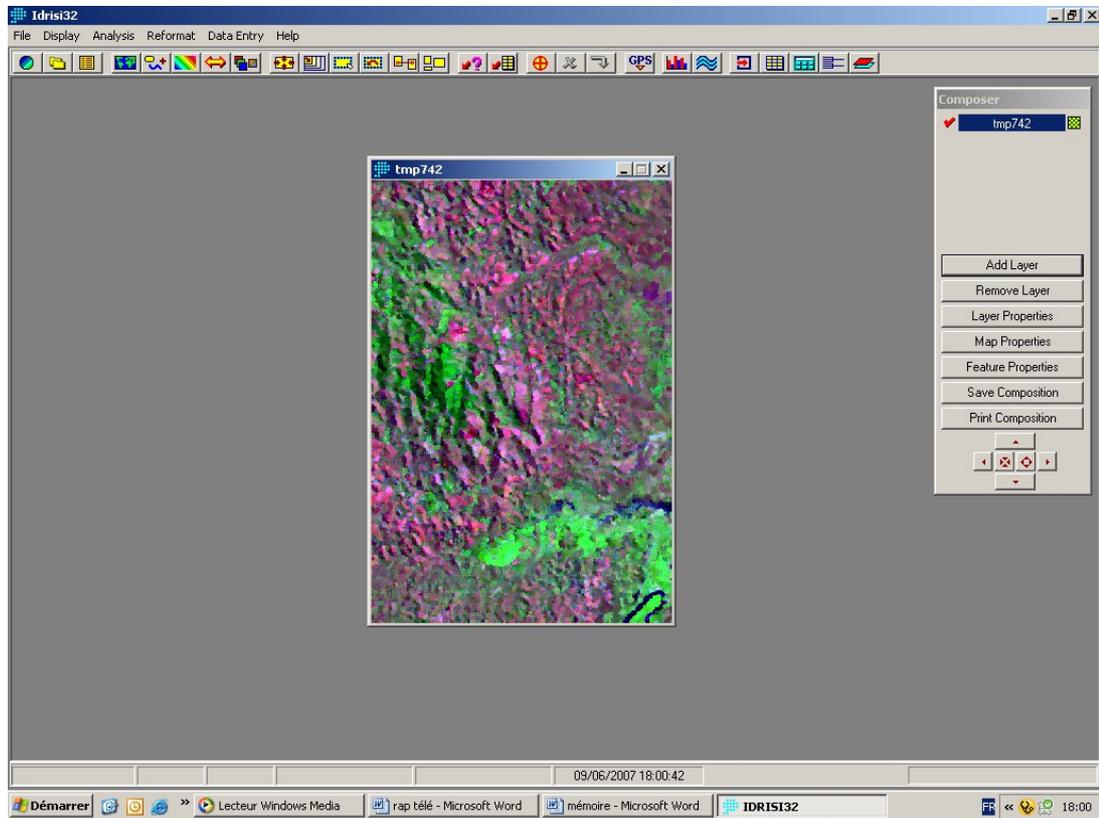


Figure n° 22 : Image filtrée de la composition naturelle.

- Classification non supervisée

La classification nous a permis de regrouper les différentes classes de l'image, au mieux de leur ressemblance. Nous choisissons la méthode de classification non supervisée.

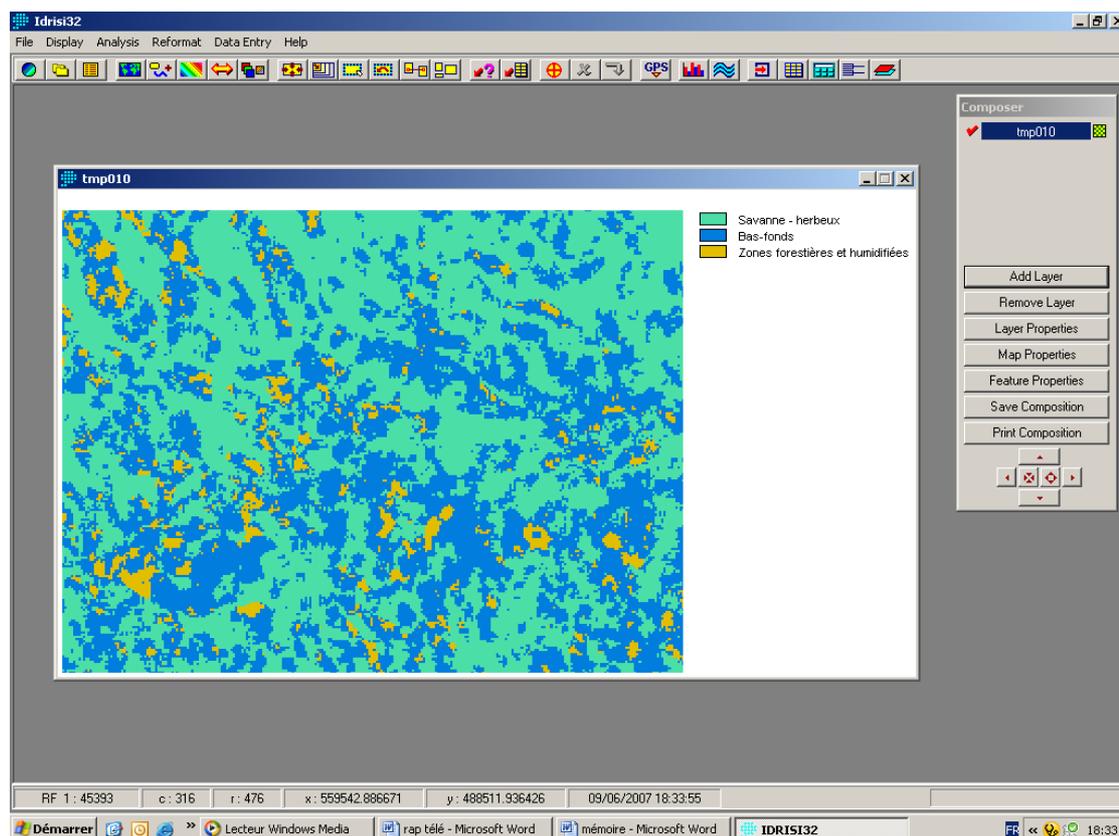


Figure n° 23 : Classification non supervisée de l'image.

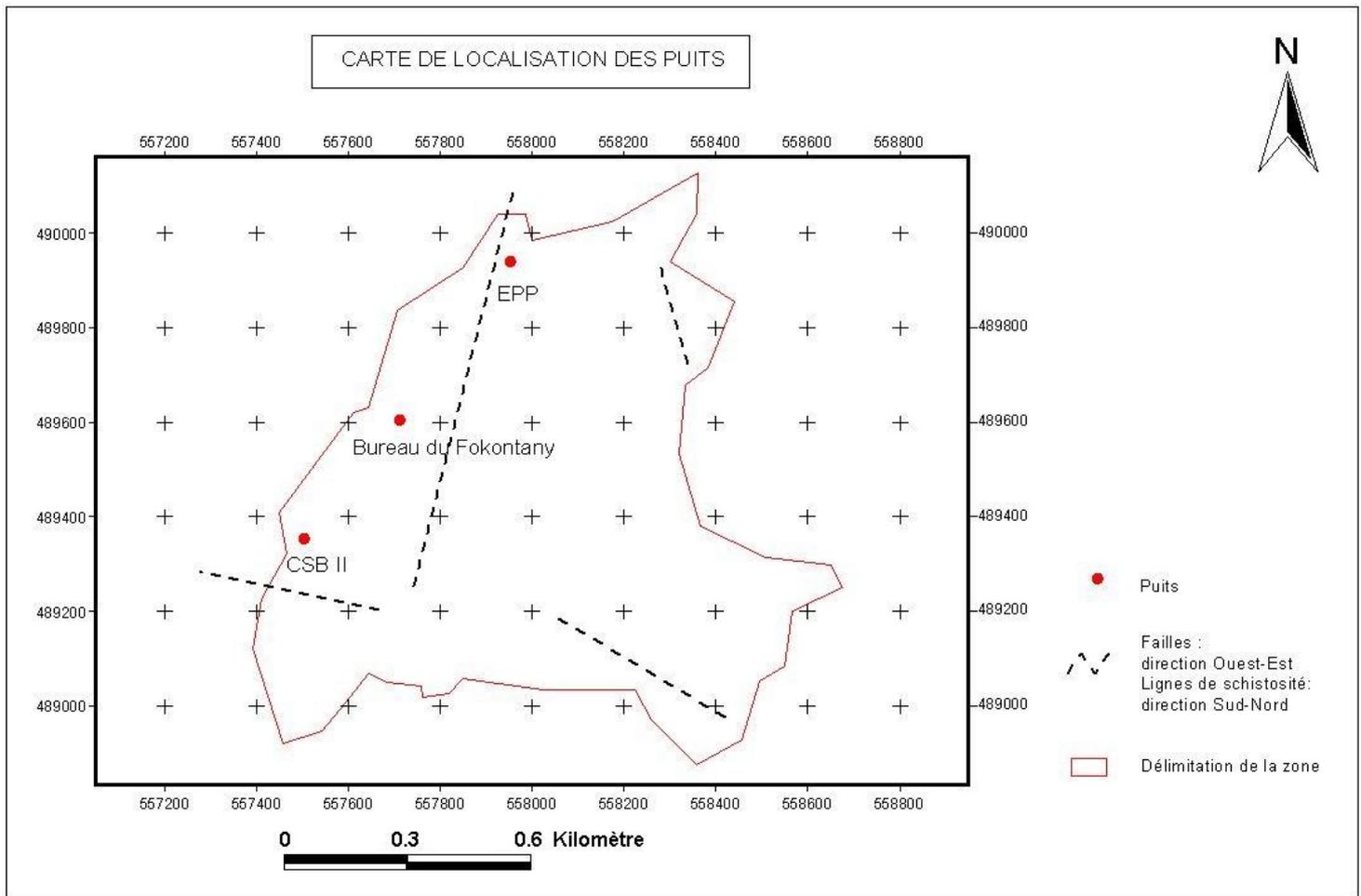
En fonction de cette classification que nous avons identifiée les points d'implantation des puits où les zones sont humidifiées qui sont recouvertes de forêts de couleur tango ou proches des bas-fonds de couleur bleu. La majeure partie de zone d'étude est couverte de savanne – herbeux de couleur verte.

III.10 Implantations des ouvrages

En tenant compte de la photo-interprétation et la télédétection, les critères d'éligibilité des sites d'implantation sont les suivants :

- Un terrain plus ou moins plat ;
- Loin de source de pollutions ;
- Accès facile.

Nous avons implanté les puits : en face du CSB II d'Analavory, près du bureau de Fokontany et à coté de l'Ecole Primaire Publique (Cf. Carte n°08 et Photo n°01, n°02 et n°03).



Carte n° 08 : Carte de localisation du point d'implantation du puits



Photo n° 01 : Emplacement du puits sis en face du CSB 2



Photo n° 02 : Emplacement du puits sis près du bureau du Fokontany



Photo n° 03 : Emplacement du puits sis a coté l'EPP

Dans le photo n°03 où le puits se trouve se situe près des arbres, nous avons prend des précautions en coupant des arbres. Ses racines pourraient détruire les ouvrages en place.

III.11 Analyses des eaux

Les prélèvements des eaux ont été faites au moment de la réalisation des puits. Les analyses ont été confiées au laboratoire de la JIRAMA à Mandrozeza.

III.11.1 Normes de potabilités des eaux

Dans tous le pays, l'application des normes de potabilités des eaux a été guidé par une préoccupation de garantir une meilleure qualité de la vie à la population.

L'Organisation Mondiale de la Santé a mis en place à Genève en 1993 des lignes directrices en ce qui concerne la qualité de l'eau potable. Les résultats d'analyses des eaux de puits étaient comparés par rapport aux normes de l'OMS.

III.11.2 Comparaison des résultats d'analyses par rapport aux normes de l'OMS et celles de la CEE

Pour les autres éléments, Nous vérifions par rapport aux normes européennes CEE (Normes de potabilités des eaux, Journal Officiel des CEE du 18 Septembre 1975).

Le tableau suivant présente les comparaisons des résultats d'analyses des eaux de puits du FKT d'Analavory par les normes OMS et CEE.

Eléments	Symbole	Résultats d'analyse	Balance ionique	Lignes directives	Niveau guide de la CEE
Calcium	Ca ⁺⁺	0.28 méq/l	4%	Non mentionnée	5,54 méq/l
Magnésium	Mg ⁺⁺	0.11 méq/l		Non mentionnée	2,47 méq/l
Sodium	Na ⁺	0.32 méq/l		8,7 méq/l	0,87 méq/l
Potassium	K ⁺	0.07 méq/l		Non mentionnée	0,26 méq/l
Fer	Fe ⁺⁺	0.84 méq/l		Non mentionnée	0,01 méq/l
Chlores	Cl ⁻	0.25 méq/l		7,05 méq/l	0,14 méq/l
Sulfates	SO ₄ ⁻	0.06 méq/l		10,40 méq/l	5,20 méq/l
Carbonates	CO ₃ ⁻	0,41 méq/l		Non mentionnée	Non mentionnée
Gaz carbonique libre	CO ₂ Libre	0.92 méq/l		Non mentionnée	Non mentionnée
Titre Alcalimétrique Complète	TAC	3° Français		Non mentionnée	Non mentionnée
Titre Aclalimétrique	TA	0° Français		Non mentionnée	Non mentionnée
PH		5.9		6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
Durété Totale	DHT	2.55° Français		Non mentionnée	35° Français
Matière Organique	M.O	1.3 mg/l		Non mentionnée	Non mentionnée
Minéralisation		65 mg/l		Non mentionnée	Non mentionnée
Turbidité		28,1 NTU		Inférieur à 5 NTU	Inférieur à 5 NTU
Conductivité		30,3 µs/cm	Non mentionnée	Non mentionnée	

Tableau n° 11 : Comparaison des résultats d'analyses par rapport aux normes OMS et CEE

En résumé, l'eau de la nappe d'alluvions est acceptable à condition d'être traitée.

III.12 Interprétation des données

III.12.1 Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper permet une représentation des anions et cations sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent relatifs en chacun des ions

majeurs par rapport au total de ces ions (Cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle droite).

La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces deux triangles permet de préciser en premier lieu la dominance anionique et cationique.

A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point intersection représente l'analyse globale de l'échantillon, sa position relative permet de préciser le faciès de l'eau.

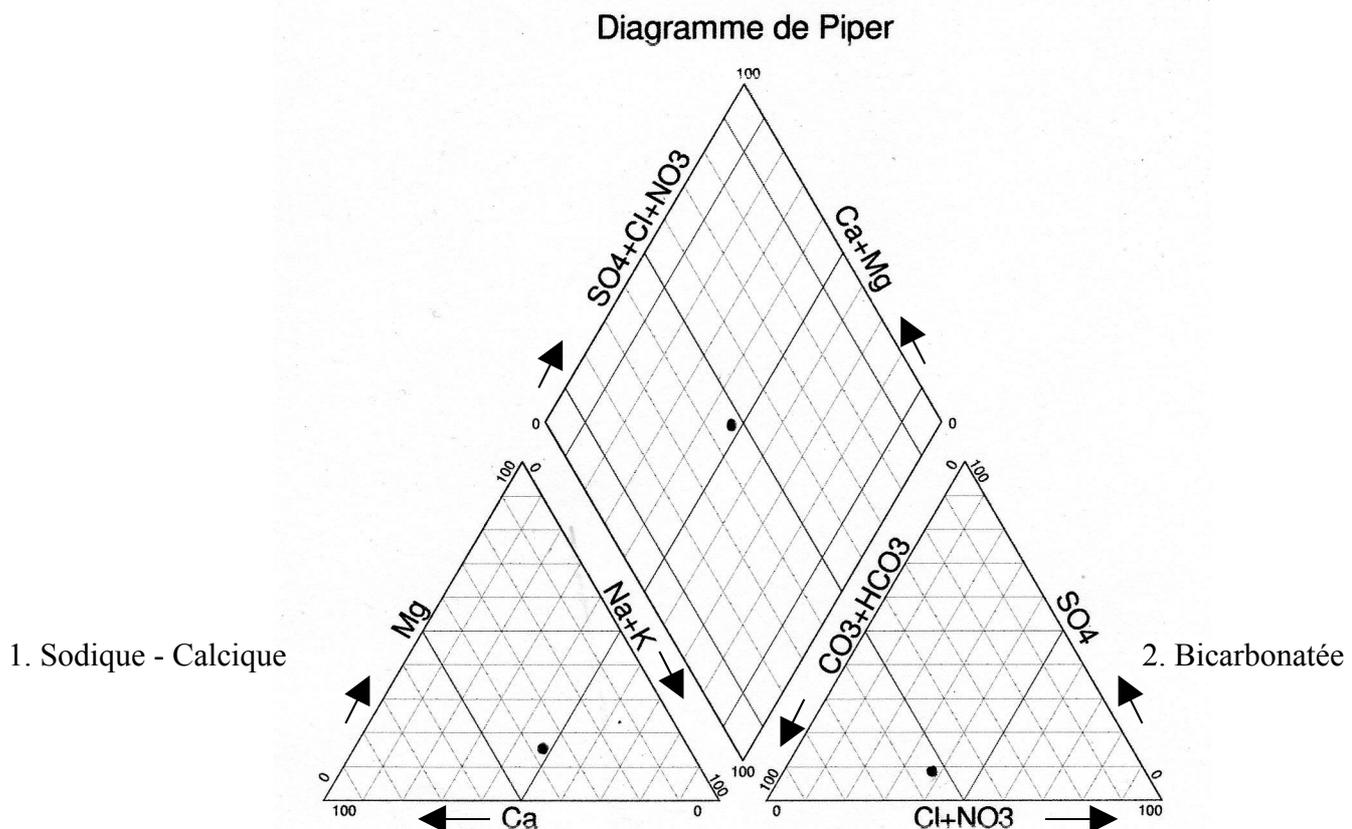


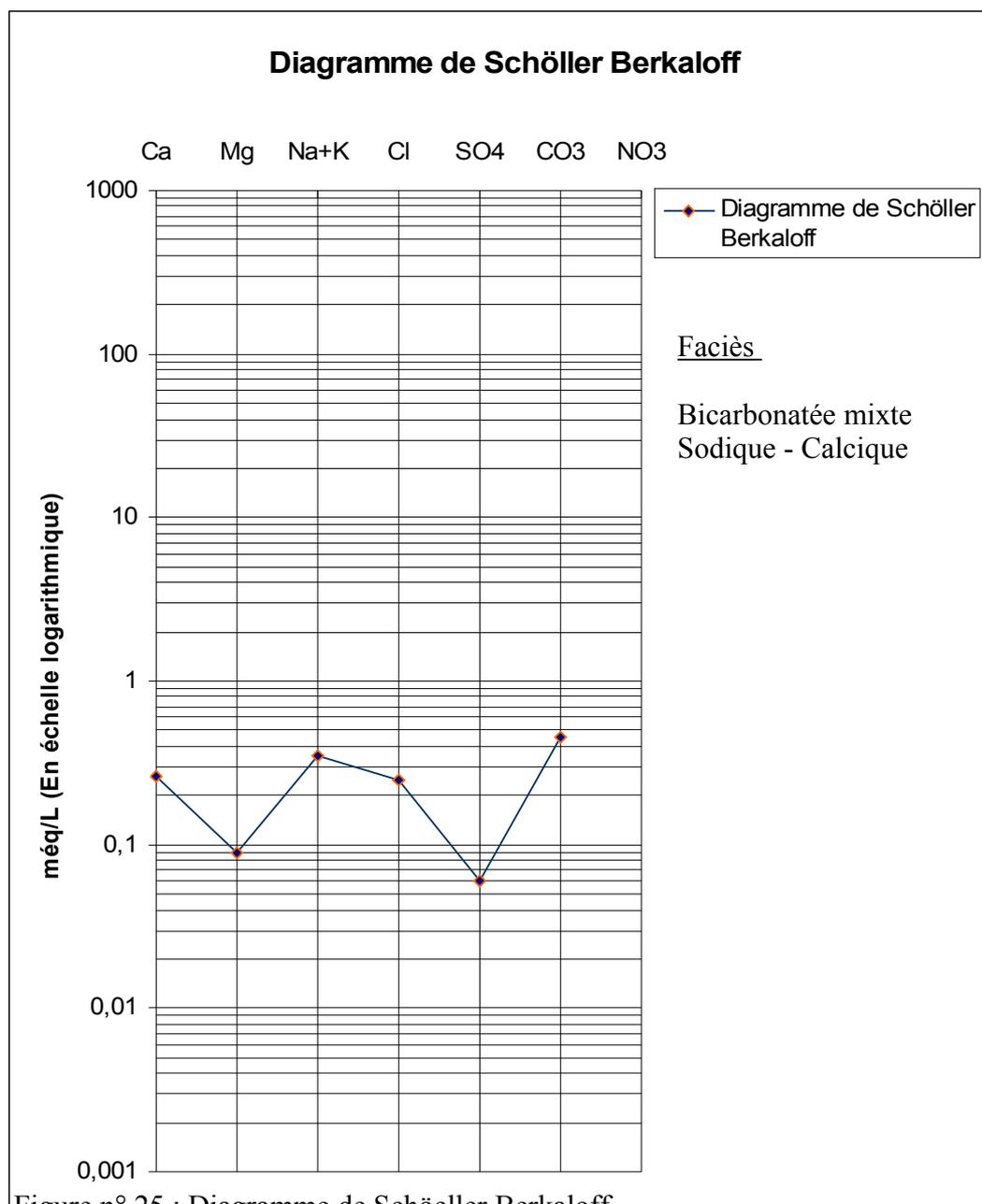
Figure n°24 : Résultat analytique sur le diagramme de Piper

Le faciès de l'eau est de bicarbonatée mixte Sodique - Calcique (Cf : résultat).

III. 12.2 Diagramme de Schöeller Berkloff.

Le diagramme de Schöeller Berkloff (Cf. figure n° 12) permet de représenter le faciès chimique. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points figurant les

différents éléments chimiques. Toutefois, la visualisation du faciès est moins aisée qu'avec le diagramme de Piper.



En résumé, le résultat de l'analyse de l'eau et les diagrammes montrent que l'eau de la nappe est peu minéralisée, ferrugineuse et Bicarbonatée mixte sodique et calcique. Notons que la teneur en fer est assez élevée par rapport aux normes de l'OMS et celles de la CEE. Les teneurs en Chlore sont faibles. Les teneurs en Matière Organique ne sont pas élevés.

La teneur en Fer est trop élevée. Par conséquent, la population est atteinte d'un problème de santé cutanée de genre démangeaison (la galle) ce qui nous amène à étudier la possibilité d'épuration d'eau.

III.13 Traitement

III.13.1 Flocculation

Après un essai de flocculation par une solution de sulfate d'alumine et une solution de chaux, nous avons les dosages optimaux en réactifs suivants :

La sulfate d'alumine est de 4.1 mg/l et la chaux : est de 0.2 mg/l.

Le sulfate d'alumine est utilisé pour l'obtention de floccs facilement décantables et la chaux utilisée pour favoriser l'action du sulfate d'alumine et pour déferriser simultanément l'eau.

- Dimensionnement

Le flocculateur (Cf : Planche n° 01) à coagulation lente est dimensionné avec un temps de séjour de 20 mn sur le débit de projet.

$$V = Q_{eau} \times 20 \text{ mn}$$

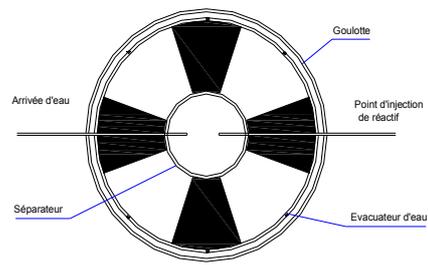
Le tableau suivant nous donne des caractéristiques d'un flocculateur à coagulation lente :

Type de flocculateur	Q _{eau} en m ³ /h	Temps de séjour en mn	Volume en m ³	Diamètre en m	Hauteur en m	Surface en m ²
Circulaire	3.9	20	1.3	1.2	1	1.3

Tableau n° 12 : Dimensionnement d'un flocculateur

Planche n° 02 : Flocurateur

Planche n° 01 : Flocurateur



Echelle 1/20

Echelle : 1/25

III.13.2. Décanteur

Après la floculation à l'aide d'un réactif, l'eau passe dans le décanteur.

- Dimensionnement

La surface du décanteur est donnée par la relation suivante :

$$S = \frac{Q_{eau}}{V_s}$$

- Q_{eau} = Débit de projet en m³/h ;
- V_s = La vitesse de hazen comprise entre $0.1 < V_s < 1$ m/h.

Le décanteur (Cf : Planche n°02) est dimensionné avec un temps de séjour de une heure sur le débit de projet.

$$V = Q_{eau} \times 1 h$$

Après le calcul, le décanteur a les caractéristiques suivantes :

Type de décanteur	Q _{eau} en m ³ /h	Temps de séjour en h	Volume en m ³	Longueur en m	Largeur en m	Hauteur moyenne en m
Rectangulaire	3.9	1	3.9	4.875	2	0.4

Tableau n° 13 : Dimensionnement d'un décanteur

Planche n° 03 : Décanteur

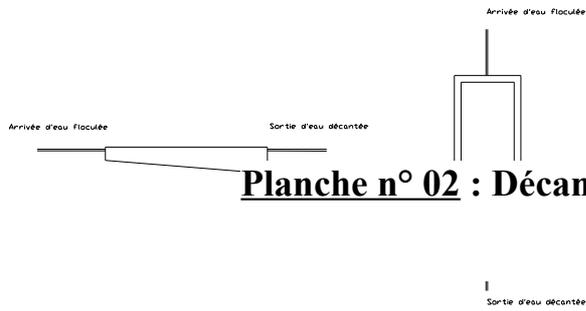


Planche n° 02 : Décanteur

Echelle : 1/95

III.13.3 Filtration de l'eau décantée

La filtration se fait avec du sable de granulométrie 1 à 1,3 mm. La vitesse de filtration enregistrée est de 5 m/ heure. A la sortie d'un filtre, nous avons obtenu de l'eau limpide à faible turbidité et à faible teneur en fer.

- Dimensionnement

Nous adoptons un filtre monocouche (Cf : Planche n° 03) dont la vitesse de l'eau admissible à travers du filtre est de 5 m/h. Avec cette vitesse, la surface minimum d'un filtre est donnée par la relation suivante :

$$S_{\min} = \frac{Q_{\text{eau}}}{V_{\text{adm}}}$$

- Q_{eau} = Débit de projet en m³/h ;
- V_{adm} = Vitesse de l'eau admissible à travers du filtre.

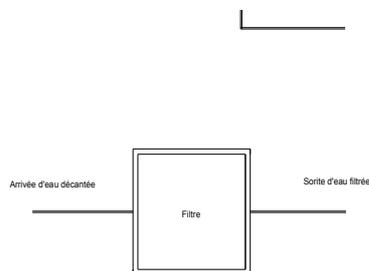
Les résultats de dimensionnement sont récapitulés dans le tableau suivant :

Type de Filtre	Q _{eau} en m ³ /h	Vitesse de l'eau en m/h	Surface du filtre en m ²	Côté du filtre en m
Carré, monocouche	3.9	5	0.81	0.9

Tableau n° 14 : Dimensionnement d'un bac de filtration

Arrivée d'eau décantée

Planche n° 03 : Filtre monocouche



Echelle: 1/20

Echelle : 1/20

III.13.4 Bac de stérilisation

La stérilisation se fait avec une solution d'hypochlorite de calcium pour assurer la potabilité bactériologique de l'eau traitée pour une dose optimale injectée de 0.95 mg/l. Après 30 minutes de contact, le taux de chlore résiduel obtenu est de 0,3 mg/l.

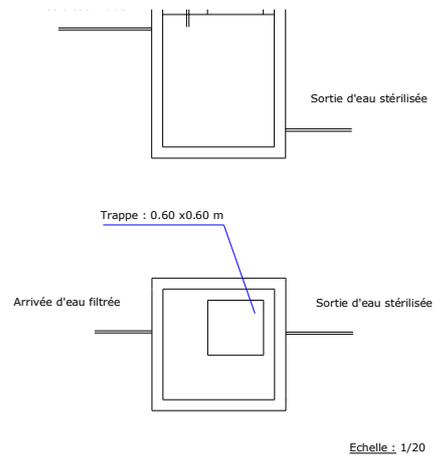
- Dimensionnement

Le bac de stérilisation (Cf : Planche n° 04) est dimensionné avec un temps de contact de 30 mn sur le débit de projet.

$$V = Q_{eau} \times 30 \text{ mn}$$

Planche n° 04 : Bac de stérilisation

Planche n° 05 : Stérilisateur



Echelle : 1/25

III.13.5 Réservoir

Le réservoir (Cf : Planche n° 05) est dimensionné par la relation suivante :

$$X = \frac{C}{24}$$

C = consommation journalière qui de 94 m³/j

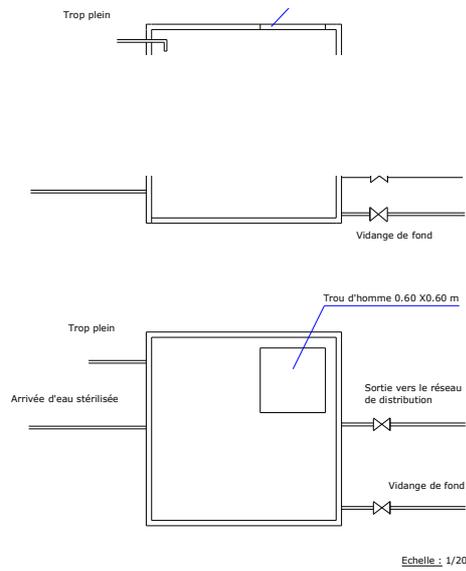
X = Débit horaire

Le tableau suivant nous donne ses caractéristiques :

Type de réservoir	Débit horaire	Volume du réservoir en m ³	Côté du réservoir en m	Hauteur du réservoir en m
Carrée	3.91	5	1.7	1.75

Tableau n° 15 : Dimensionnement du réservoir

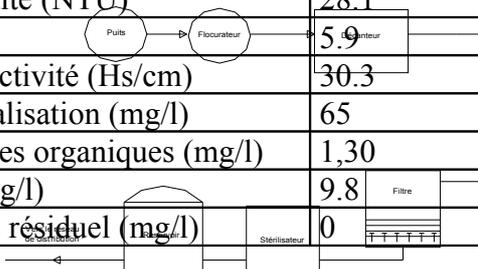
Planche n° 05 : Réservoir



Echelle : 1/30

III.13.6 Comparaison entre eau brute et eau traitée

La qualité de l'eau brute et de l'eau traitée physico chimiquement est présentée dans le tableau ci-après avec les paramètres permettant de juger l'efficacité de traitement.



PARAMETRES	EAU BRUTE	EAU TRAITEE
Aspect	Trouble et rougeâtre	limpide
Turbidité (NTU)	28.1	0,96
pH	5,9	6,80
Conductivité (Hs/cm)	30.3	41,60
Minéralisation (mg/l)	65	38,00
Matières organiques (mg/l)	1,30	0,30
Fer (mg/l)	9.8	Absence de trace
Chlore résiduel (mg/l)	0	0,30

Tableau n° 16 : Qualités de l'eau de puits brute et traitée

III.14 Réalisation de l'ouvrage

La figure n° 15 montre le principe de fonctionnement de l'adduction d'eau potable d'Analavory. Nous devons intercaler les unités de traitement par des vannes pour rendre facile l'exploitation, l'entretien et la réparation de chaque unité s'il y a des problèmes.

Figure n°26 : Schéma de principe de fonctionnement

III.14.1 Captage

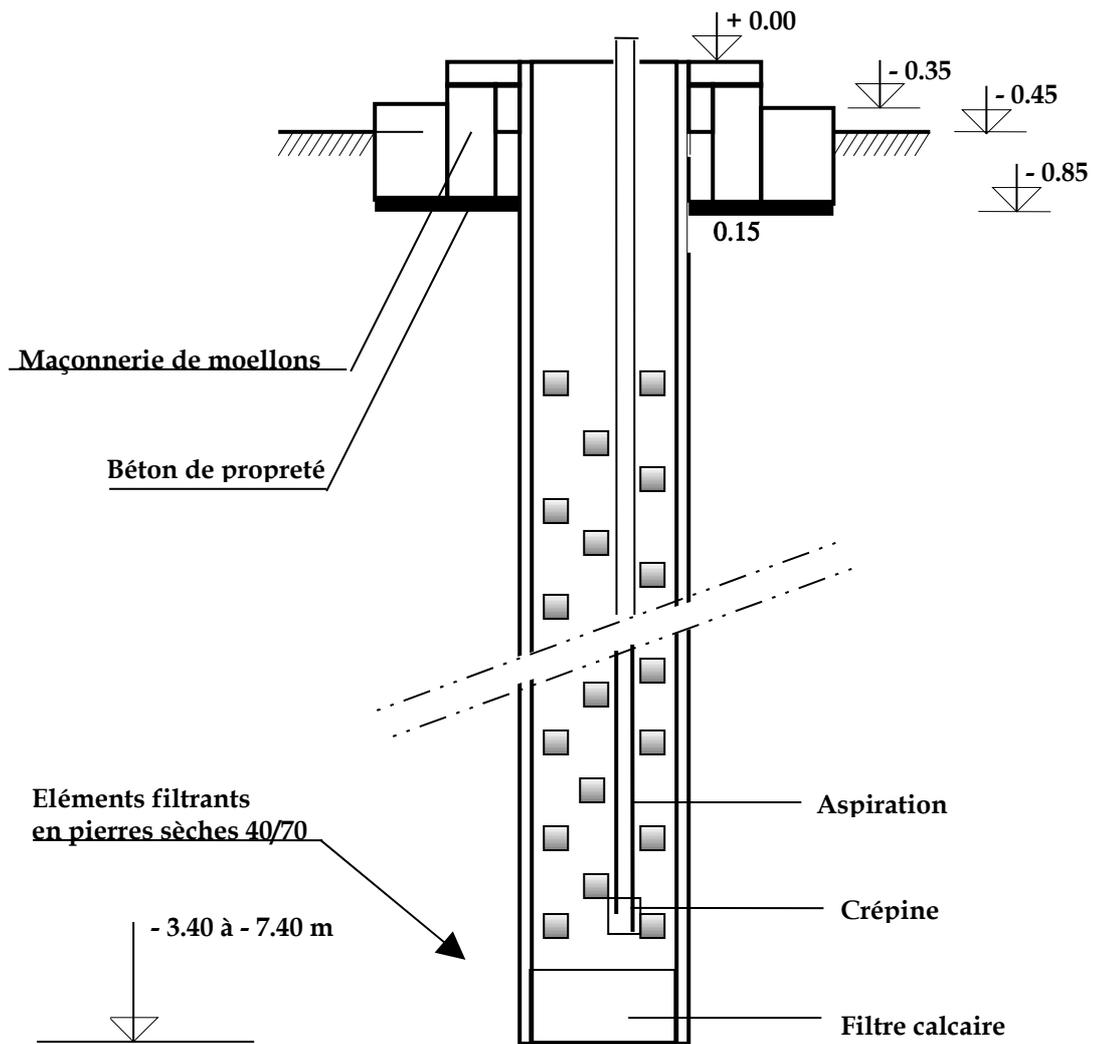
Il s'agit des puits avec buses perforées d'un (01) mètre de diamètre. L'élévation de l'eau sera assurée par de POMPE ROPE qui utilise de la manivelle à poulie métallique, de corde nylon avec tuyau en PVC pour puiser de l'eau. Un béton de couverture dosé à 350 kg/m³ de CPA empêche l'eau de l'extérieure d'y pénétrer. De la maçonnerie de moellon sera à mettre en place pour rehausser le bord du puits. Au fond du puits, nous mettons un filtre calcaire. (Cf : Planche n° 06 : Coupe du puits)

Au point de vue lithologie, les creusements des puits donnent les formations suivantes :

1. Alluvions et des tourbes;
2. Latérites argileuses sableuses ;
3. Argile.

Le mur proprement dit de la nappe est constitué par des dépôts d'alluvions. Le couche imperméable se situe entre les côtes – 7.4 m à - 3.4 m, donc la puissance utilisable du réservoir varie entre 3.4 m à 7.4 m.

Planche n° 06 : Coupe du puits



III.14.2 Flocculateur

Il s'agit d'un flocculateur à floculation lente qui n'utilise pas de flash – mixeur. Le contact avec le réactif sera assuré par la vitesse d'écoulement. Le bassin se fait en béton dosé à 350 kg/m³ de CPA. Nous utilisons un produit chimique pour béton (Sikalite) pour rendre imperméable le bassin. (Cf : Planche n° 01 : Flocculateur).

III.14.3 Décanteur

Le décanteur aura de forme rectangulaire. Il se construira avec de béton dosé à 350 kg/m³ de CPA avec de sikalite. (Cf : Planche n°02 : Décanteur).

III.14.4 Filtre monocouche

Ce sera un filtre monocouche composé de charbon actif et de sable de filtration. Le filtre est muni des trous avec de clapets anti-retour pour le lavage. L'ouvrage sera constitué de béton dosé à 350 kg/m³ de CPA avec de sikalite. (Cf : Planche n° 03 : Filtre monocouche).

III.14.5 Stérilisateur

Le stérilisateur est un bac fermé muni d'un trappe de dimension de 0.60 x 0.60 m pour l'intervention. Il s'agit d'un bac en béton dosé à 350 kg/m³ de CPA avec de sikalite. L'injection de réactif hypochlorite de calcium se fait avec d'une pompe doseuse. Il est en élévation. (Cf : Planche n° 04 : bac de stérilisation).

III.13.6 Réservoir

Le réservoir est une enceinte fermée munie d'un trou d'homme 0.60 X 0.60 m pour l'intervention. Il sera équipé d'une vanne d'arrêt, trop plein et vidange de fond. Il sera construit avec de béton dosé à 350 Kg/m³ de CPA et de sikalite. Il sera en élévation. (Cf : Planche n° 05 : Réservoir).

III.15 Conclusion

La présente partie montre les faisabilités techniques.

Chez nous, l'alimentation en eau potable figure parmi les priorités de l'administration. Comme d'autres communes, Analavory est déjà servie par des infrastructures routières. L'accès y est relativement facile en toute saison.

Le moment est donc venu pour elle de bénéficier à ce que les habitants puisent de l'eau dans le puits qui est l'un de leurs besoins vitaux.

CONCLUSION GENERALE

L'insuffisance ou manque d'infrastructures d'adduction d'eau potable est un facteur de pauvreté. Elle contribue dans une large mesure à l'insuffisance, voire à la diminution de la production à Madagascar. Ainsi pour soutenir le développement, il est nécessaire que Madagascar fasse un grand effort pour améliorer son réseau d'adduction d'eau faisant appel à des études efficaces et utilisant des techniques appropriées à chaque région de l'île.

Nous avons vu que l'objectif principal de ce mémoire va dans le sens en mettant en exergue les notions, le concept de base de la recherche en ressources en eau et spécifiquement l'étude des possibilités d'adduction d'eau dans la région du Sud-Est malgache.

Trois fokontany de la commune rurale d'Analavory ont été choisis comme sites de référence dans cette étude. Plusieurs méthodes et techniques ont été appliquées : l'étude morphologique des bassins versants, l'exploitation de la télédétection et de la photo-interprétation en tenant compte des critères d'exploitation, analyse géologique et tectonique et analyse chimique des eaux pour en déterminer sa qualité.

Les résultats obtenus ont été très satisfaisants et ont permis l'installation de trois puits ayant une profondeur moyenne de cinq mètres pour un diamètre de l'ordre de un mètre. Les résultats de l'analyse chimique montrent une teneur en fer relativement élevée, ce qui nous a amené à proposer un système d'épuration efficace utilisant une technique simple et facilement réalisable.

Pour terminer, nous estimons que les travaux et les résultats acquis ici présentés pourraient être appliqués dans d'autres localités de la région du Sud-Est malgache et contribueraient aux efforts des autorités pour atteindre l'Objectif Du Millénaire.

BIBLIOGRAPHIE

- AMINATA, N.B ; MAMADOU, K, et MODOU, S (2000)**, Région de Diourbel : Gestion des eaux, Edition Drylands Research, 27 pages.
- BUREAU D'ETUDES THE BEST, (2006)**, Monographie de la commune rurale d'Analavory et résultats d'enquête socio-économique dans la commune rurale d'Analavory, 27 pages.
- CASTANY, G, (1962)**, Traité pratique des eaux souterraines, Edition Dunod, Paris.
- CASTANY, G, (1982)**, Principes et méthodes de l'hydrogéologie, Edition Dunod, Paris, 238 pages.
- CHAPERON ANDRE, M**, Cours d'hydrologie générale, <http://www.google.fr>.
- CHAPERON, P ; DANLOUX, J et FERRY, L, (2005)**, Fleuves et rivières de Madagascar-Ony sy renirano eto Madagascar (version CD), Edition IRD, 800 pages.
- CEE, (1975)**, Normes de potabilités des eaux, Edition Lenntech, <http://www.google.fr>.
- DETAY, M, (1993)**, Le forage d'eau, Edition Masson, Paris, 375 pages.
- DONQUE, G (1975)**, Contribution géographique à l'étude du climat de Madagascar, édition : Nouvelle Imprimerie des Arts Graphiques, 478 pages.
- DURET, L (1976)**, Estimation des débits de crue à Madagascar, Edition FAC, Paris, 167 pages
- LI HAN TING Solo, (2005)**, Initiation à la télédétection, DEA Génie Minéral, Année scolaire 2004-2005 du département mines, 51 pages.
- LI HAN TING Solo, (2005)**, Initiation au système d'information géographique. Logiciel Arcview 3.2, DEA Génie Minéral, Année scolaire 2004-2005 du département mines, 62 pages.
- MAIRIE D'ANALAVORY, (2003)**, Plan communal de développement, Edition Mairie, 48 pages.
- MINISTERE DE L'ENERGIE ET DES MINES, (2002)**, Données hydrogéologiques de Madagascar, Service de l'hydrogéologie, 15 pages.
- MINISTERE FRANCAISE DE L'ECONOMIE, DES FINANCES ET DE L'INDUSTRIE (1996)**, Représentations graphiques des résultats d'analyses eau minérale, Note technique n° 08, Edition Division Nationale des eaux minérales et thermales, 15 pages.
- MINISTERE FRANCAISE DES RELATIONS EXTERIEURES, COOPERATION ET DEVELOPPEMENT, DECADE, (1983)**, Cartographie et développement, Edition La documentation Française, 181 pages.
- MOQUET, A, (2003)**, Apports de la télédétection pour la cartographie d'habitats en zone humide méditerranéenne, Edition CEMAGREF-ENGREF, 61 pages.

RENARD, F, (2002), Hydrogéologie générale, <http://www-igiteo.obs.ujf-grenoble.fr/users/frenard/enseignement.html>, 55 pages.

ROBERT, J. L, (1998), Hydraulique urbaine, Edition GCI 20552, 55 pages.

ROBISON, L, (2005), Cours d'hydrologie, DEA Génie Minéral, Année scolaire 2004-2005 du département mines.

OMS, (1993), Normes de l'OMS sur l'eau potable, Edition Lenntech, <http://www.google.fr>.

ANNEXES

Annexe n°01 :
Calcul de bilan hydrique.

Calcul du bilan hydrique du bassin versant d'Analavory

Le déficit est donné par la relation suivante :

$$D = 16 \times \left(10 \times \left(\frac{t}{F}\right)\right)^a$$

Calculons l'indice thermique mensuel i qui s'écrit :

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$$

Nous résumons dans le tableau suivant :

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
t	26.7	30	21.5	25.2	1.4	24	19.9	20.9	22.7	22.3	24.8	27.1
i	12.63	15.07	9.1	11.57	9.04	10.75	8.1	8.72	9.88	9.62	11.30	12.92

L'indice thermique annuel est la somme des douze indice thermique mensuel qui est de :

$$F = \sum_{j=1}^{12} i_j = 12.63 + 15.07 + 9.10 + 11.57 + 9.04 + 10.75 + 8.10 + 8.72 + 9.88 + 9.62 + 11.30 + 12.92$$

F= 128.7

Une fonction complexe de F (a) est donnée par la relation :

$$a = 6.75.10^{-7} \times F^3 - 7.71.10^{-5} \times F^2 - 1.79.10^{-2} \times F + 0.49$$
$$= 6.75.10^{-7} * (128.7)^3 - 7.71.10^{-5} * (128.7)^2 - 1.79.10^{-2} * 128.7 + 0.49$$

$$a = 2.95$$

D'où, le déficit est de :

$$D = 109.48 \text{ mm}$$

D'après l'équation de bilan hydrique :

$$I - O = D$$

Le volume sortant est de :

Avec le volume entrant est de 200 mm dans la région de Manakara,

D'où,

$$O = I - D$$

$$O = 200.00 \text{ mm} - 109.48 \text{ mm}$$

$$O = 90.52 \text{ mm}$$

Le volume d'eau infiltrée (S) est donné par la relation :

$$S = D - E$$

$$= 109.48 \text{ mm} - 97.33 \text{ mm}$$

$$S = 12.15 \text{ mm}$$

Annexe n°02 :
Calcul des paramètres physiques des bassins versants.

Calcul des paramètres physiques des bassins versants d'Analavory.

L'indice de compacité est donné par la relation suivante :

$$C = 0.28 \times P \times \frac{1}{\sqrt{A}}$$

A = surface du bassin versant en km²

P = périmètre en km

- Pour le bassin versant n°01

$$= 0.28 \times 10.68 \times \frac{1}{\sqrt{7.02}}$$

$$C = 1.13$$

- Pour le bassin versant n° 02

$$= 0.28 \times 7.16 \times \frac{1}{\sqrt{3.11}}$$

$$C = 1.14$$

- Pour le bassin versant n°03

$$= 0.28 \times 5.6 \times \frac{1}{\sqrt{1.88}}$$

$$C = 1.14$$

- Pour le bassin versant n°04

$$= 0.28 \times 7.51 \times \frac{1}{\sqrt{3.30}}$$

$$C = 1.16$$

La longueur du rectangle équivalent est donnée par la formule suivante :

$$L = A^{1/2} \times \frac{C}{1.12} \times [1 + \sqrt{1 - (\frac{1.12}{C})^2}]$$

- Pour le bassin versant n°01

$$L = 7.02^{1/2} \times \frac{1.13}{1.12} \times [1 + \sqrt{1 - (\frac{1.12}{1.13})^2}]$$

$$L = 2.72 \text{ km}$$

- Pour le bassin versant n°02

$$L = 3.11^{1/2} \times \frac{1.14}{1.12} \times [1 + \sqrt{1 - (\frac{1.12}{1.14})^2}]$$

$$L = 1.87 \text{ km}$$

- Pour le bassin versant n°03

$$L = 1.88^{1/2} \times \frac{1.14}{1.12} \times [1 + \sqrt{1 - (\frac{1.12}{1.14})^2}]$$

$$L = 1.42 \text{ km}$$

- Pour le bassin versant n°04

$$L = 3.30^{1/2} \times \frac{1.16}{1.12} \times [1 + \sqrt{1 - (\frac{1.12}{1.16})^2}]$$

$$L = 2.02 \text{ km}$$

Le tableau suivant récapitule ses résultats :

Numérotation du bassin versant	BV 1	BV 2	BV 3	BV 4
--------------------------------	------	------	------	------

Périmètre (P) en km	10.68	7.16	5.6	7.51
Surface du bassin versant (A) en km ²	7.02	3.11	1.88	3.30
Indice de compacité (C)	1.13	1.14	1.14	1.16
Longueur du rectangle équivalent (L) en km	2.72	1.7	1.42	2.02

Annexe n°03 : **Calcul des débits d'eau pluviale.**

Calcul des débits d'eau pluviale dans les bassins versant d'Analavory :

Le débit d'eau pluviale estimé dans le bassin versant est donné par la relation suivante :

$$Q = 0.167 \times K_r \times i \times A$$

Avec

K_r = Coefficient de ruissellement qui est égal à 0.75

i = Intensité de pluie en mm/mn

A = Surface du bassin versant en ha

Calculons l'intensité de pluie

$$i = \frac{P_{\text{mensuelle}}}{43200^b} \times t_c^{b-1}$$

Avec

P mensuelle = Pluviométrie mensuelle en mm qui est égale à 495 mm

b = Coefficient régional qui est égal à 0.288

t_c = Temps de concentration en mn qui est donné par la relation suivante :

$$t_c = 0.0195 \times L^{0.77} \times J^{-0.385}$$

Avec

L = Longueur de cheminement en m

J = Pente en m/m

- Pour le bassin versant n° 01

$$t_c = 0.0195 \times 8883^{0.77} \times 0.012^{-0.385}$$

$$t_c = 117 \text{ mn}$$

Donc

$$i = \frac{495}{43200^{0.288}} \times 117^{0.288-1}$$

$$i = 0.77 \text{ mm/mn}$$

D'où

$$Q = 0.167 \times 0.75 \times 0.77 \times 702$$

$$Q = 67.7 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Pour le bassin versant n° 02

$$t_c = 0.0195 \times 4560^{0.77} \times 0.011^{-0.385}$$

$$t_c = 73 \text{ m}$$

Donc

$$i = \frac{495}{43200^{0.288}} \times 73^{0.288-1}$$

$$i = 1.08 \text{ mm/mn}$$

D'où

$$Q = 0.167 \times 0.75 \times 1.08 \times 311$$

$$Q = 42.1 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Pour le bassin versant n° 03

$$t_c = 0.0195 \times 4450^{0.77} \times 0.009^{-0.385}$$

$$t_c = 77 \text{ m}$$

Donc

$$i = \frac{495}{43200^{0.288}} \times 77^{0.288-1}$$

$$i = 1.04 \text{ mm/mn}$$

D'où

$$Q = 0.167 \times 0.75 \times 1.04 \times 1.88$$

$$Q = 24.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Pour le bassin versant n° 04

$$t_c = 0.0195 \times 5198^{0.77} \times 0.01^{-0.385}$$

$$t_c = 83 \text{ m}$$

Donc

$$i = \frac{495}{43200^{0.288}} \times 83^{0.288-1}$$

$$i = 0.98 \text{ mm/mn}$$

D'où

$$Q = 0.167 \times 0.75 \times 0.98 \times 330$$

$$Q = 40.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

Annexe n°04 : **Dimensionnement des ouvrages.**

Dimensionnement d'un flocculateur

Le flocculateur à coagulation lente est dimensionné avec un temps de séjour de 20 mn sur le débit de projet.

$$V = Q_{eau} \times 20 \text{ mn}$$

Q = débit de projet vision 2015 qui est égal à 0.065 m³/mn

T de séjour = 20 minutes

$$= 0.065 \times 20 \text{ mn}$$

$$V = 1.3 \text{ m}^3$$

Récapitulation :

Type de flocculateur	Q _{eau} en m ³ /h	Temps de séjour en mn	Volume en m ³	Diamètre en m	Hauteur en m	Surface en m ²
Circulaire	3.9	20	1.3	1.2	1	1.3

Dimensionnement d'un décanteur

La surface du décanteur est donnée par la relation suivante :

$$S = \frac{Q_{eau}}{V_s}$$

- Q_{eau} = Débit de projet en m³/h dont sa valeur est de 3.9 m³/h ;
- V_s = La vitesse de hazen comprise entre $0.1 < V_s < 1$ m/h. Prenons V_s qui est égale à, 0.4 m/h.

$$= \frac{3.9}{0.4}$$

$$S = 9.75 \text{ m}^2$$

Le décanteur est dimensionné avec un temps de séjour de une heure sur le débit de projet.

$$V = Q_{\text{eau}} \times 1 \text{ h}$$

- Q_{eau} = Débit de projet en m³/h dont sa valeur est de 3.9 m³/h ;
- *Temps de séjour* = une heure

$$= 3.9 \times 1$$

$$V = 3.9 \text{ m}^3$$

La hauteur du décanteur est de :

$$h = \frac{V}{S}$$

$$= \frac{3.9}{9.75}$$

$$h = 0.4 \text{ m}$$

Récapitulation :

Type de décanteur	Q_{eau} en m ³ /h	Temps de séjour en h	Volume en m ³	Longueur en m	Largeur en m	Hauteur moyenne en m
Rectangulaire	3.9	1	3.9	4.875	2	0.4

Dimensionnement d'un filtre

C'est un filtre monocouche dont la vitesse de l'eau admissible à travers du filtre est de 5 m/h. Avec cette vitesse, la surface minimum d'un filtre est donnée par la relation suivante :

$$S_{\min} = \frac{Q_{\text{eau}}}{V_{\text{adm}}}$$

- Q_{eau} = Débit de projet en m³/h qui est égal à 3.9 m³/h ;
- V_{adm} = Vitesse de l'eau admissible à travers du filtre qui est égale à 5m/h.

$$= \frac{3.9}{5}$$

$$S_{\min} = 0.78 \text{ m}^2$$

Nous adoptons un filtre carré avec un côté de 0.90 m dont la surface est égale :

$$= 0.90 \times 0.90$$

$$S = 0.81 \text{ m}^2$$

Récapitulation :

Type de Filtre	Q _{eau} en m ³ /h	Temps de séjour en mn	Vitesse de l'eau en m/h	Surface du filtre en m ²	Côté du filtre en m
Carré, monocouche	3.9	30	5	0.81	0.9

Dimensionnement d'un bac stérilisation :

Le bac de stérilisation est dimensionné avec un temps de contact de 30 mn sur le débit de projet.

$$V = Q_{\text{eau}} \times 30 \text{ mn}$$

Q_{eau} = débit de projet vision 2015 qui est égal à 0.065 m³/mn

Temps de contact = 30 minutes

$$= 3.9 \times 30$$

$$V = 1.95 \text{ m}^3$$

Dimensionnement d'un réservoir :

Le réservoir est dimensionné par la relation suivante :

$$X = \frac{C}{24}$$

C = consommation journalière qui de 94 m³/j

X = Débit horaire en m³/h

$$= \frac{94}{24}$$

$$X = 3.91 \text{ m}^3/\text{h}$$

La capacité du réservoir sera de 3.9 m³.

Par mesure de sécurité, nous adoptons un réservoir de capacité de 5 m³.

Récapitulation :

Type de réservoir	Débit horaire	Volume du réservoir en m ³	Côté du réservoir en m	Hauteur du réservoir en m
Carrée	3.91	5	1.7	1.75

Annexe n° 05 :
**Valeurs du coefficient b (Paramètre régional –
Formule BCEOM)**

VILLE/STATION	VALEURS de b
TANANARIVE-METEO	0.14
IVATO-AEROPORT	0.26
ARIVONIMAMO	0.28
FIANARANTSOA	0.26
TULEAR	0.24
MAJUNGA	0.35
TAMATAVE	0.40
DIEGO-SUAREZ	0.39
ANDAPA	0.27
MORONDAVA	0.29
AUTRES (selon BCEOM)	0.288

Source : Estimation des débits de crue à Madagascar (Louis DURET, 1976)

Annexe n°06:
**Normes de potabilités des eaux de l'OMS et celles
de CEE**

LENNTECH

Normes de l'OMS sur l'eau potable

Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable, mises en place à Genève en 1993 sont la référence en ce qui concerne la sécurité en matière d'eau potable.

Elément/ substance	Symbole/ formule	Concentration normalement trouvée dans l'eau de surface	Lignes directrices fixées par l'OMS
Aluminium	Al		0,2 mg/l
Ammonium	NH ₄	< 0,2 mg/l (peut aller jusqu'à 0,3mg/l dans une eau anaérobique)	Pas de contraintes
Antimoine	Sb	< 4 µg/l	0.005 mg/l
Arsenic	As		0,01 mg/l
Amiante			Pas de contraintes
Baryum	Ba		0,3 mg/l
Béryllium	Be	< 1 µg/l	Pas de contraintes
Bore	B	< 1 mg/l	1 mg/l
Cadmium	Cd	< 1 µg/l	0,003 mg/l
Chlore	Cl		250 mg/l
Chrome	Cr ⁺³ , Cr ⁺⁶	< 2 µg/l	0,05 mg/l
Couleur			Pas de contraintes
Cuivre	Cu		2 mg/l
Cyanure	CN ⁻		0,07 mg/l
oxygène dissous	O ₂		Pas de contraintes
Fluor	F	< 1,5 mg/l (up to 10)	1,5 mg/l
Dureté	mg/l CaCO ₃		Pas de contraintes
Sulfure d'hydrogène	H ₂ S		Pas de contraintes
Fer	Fe	0,5 - 50 mg/l	Pas de contraintes
Plomb	Pb		0,01 mg/l
Manganèse	Mn		0,5 mg/l
Mercure	Hg	< 0,5 µg/l	0,001 mg/l
Molybdène	Mb	< 0,01 mg/l	0,07 mg/l
Nickel	Ni	< 0,02 mg/l	0,02 mg/l
Nitrate et nitrite	NO ₃ , NO ₂		50 mg/l azote total
Turbidité			Non mentionnée
pH			Pas de contraintes
Sélénium	Se	<< 0,01 mg/l	0,01 mg/l
Argent	Ag	5 – 50 µg/l	Pas de contraintes
Sodium	Na	< 20 mg/l	200 mg/l
Sulfate	SO ₄		500 mg/l
Etain inorganique	Sn		Pas de contraintes
TDS			Pas de contraintes
Uranium	U		1,4 mg/l
Zinc	Zn		3 mg/l



Normes de l'UE sur l'eau potable

Normes européennes de potabilité des eaux CEE (1975)

Variable	Niveau guide	Concentration maximale admissible	Concentration minimale requise
pH	6.5-8.5	9.5	6.0
Conductivité µS/cm	400	1250	
Minéralisation totale résidu sec mg/l		1500	
Dureté totale degrés français	35		10
Calcium mg/l	100		10
Magnésium mg/l	30	50	5
Sodium mg/l	<20	100	
Potassium mg/l	<10	12	
Aluminium mg/l		0.05	
Alcalinité mg/l CO ₃ H	30		
Sulfates mg/l SO ₄	5	250	
Chlorures mg/l Cl	5	200	
Nitrates mg/l NO ₃		50	
Nitrites mg/l NO ₂		0.1	
Ammoniaque mg/l NH ₄	0.05	0.5	
Substances extractibles au chloroforme mg/l	0.1		
Oxygène dissous	5		
Oxydabilité mg/l KMnO ₄	1	5	
DBO₅ mg/l		50 % teneur initiale O ₂	
Argent µg/l		10	
Arsenic µg/l		50	
Baryum µg/l		100	
Cadmium µg/l		5	
Cyanures µg/l CN		50	
Chrome total µg/l		50	
Cuivre µg/l		50	
Fluor µg/l		700-1500	
Fer µg/l	100	300	

Mercuré µg/l		1	
Manganèse µg/l	20	50	
Nickel µg/l	5	50	
Phosphore µg/l	300	2000	
Plomb µg/l		50	
Sulfure d'hydrogène µg/l S		Absence	
Antimoine µg/l		10	
Sélénium µg/l		10	
Zinc µg/l		100	
Huiles minérales µg/l		10	
Hydrocarbures aromatiques µg/l		0.2	
Indice phénol µg/l C6H5OH		0.5	
Détergents anioniques µg/l Lauryl sulfates		100	
Pesticides totaux µg/l		0.5	

TABLE DES MATIERES

I.1.1 L'eau, généralités.....	4
I.1.3 L'évaporation/l'évapotranspiration.....	5
I.1.5 Le bilan hydrique.....	6
II.5 Ressources en eau.....	35
Tableau n° 04 : Répartition de la population par Fokontany.....	26
III.5 Plan d'urbanisme.....	

Nom : ANDRIHERINDRAINNY

Prénom : Falizo

Etude scientifique des possibilités d'adduction d'eau potable dans la région de Manakara, cas du fokontany d'Analavory

Résumé

Le présent mémoire contient des théories et des applications dans la recherche en ressources en eaux et spécifiquement l'étude des possibilités d'adduction d'eau potable dans région du Sud-Est malgache.

Plusieurs méthodes et techniques ont été appliquées : l'étude morphologique des bassins versants, l'exploitation de la télédétection et de la photo-interprétation en tenant compte des critères d'exploitation, l'analyse géologique et tectonique et l'analyse chimique des eaux pour en déterminer leur qualité.

A la fin du mémoire, nous tenons à mettre en exergue le dimensionnement et la description des ouvrages de traitement des eaux.

Cet ouvrage se propose donc comme un outil de développement du secteur d'adduction d'eau potable.

Nombre de pages : 85

Nombre de tableaux : 16

Nombre de photos : 03

Nombres de figures : 26

Nombre de cartes : 08

Nombre de planches : 06

Mot-clés : Hydrologie, bassin versant, géologie, morphologie, photo-interprétation, télédétection, dimensionnement des ouvrages, traitement des eaux

Rapporteur : Docteur ROBSON Laurent Roger

Name : ANDRIHERINDRAINNY

Surname: Falizo

Scientifics' study for possibilities in adduction potable water from the region of Manakara, case of the fokontany in Analavory

Abstract

First this memory contains theories and applications in the research of water resource and specifically the study for possibilities in adduction potable water from the region at the South-East Malagasy.

Many methods and technical are applied : the morphology study of basin liable, The teledetection exploited, and interpretation photographic in taking care of critical exploited, analysis geologic and tectonical and chemical analysis of the water to determinate its quality. Finally in this memory, we hold to put in application the dimensional and the description of works for the treatment of water.

The memory proposed them as tool's development in the sector of adduction potable water.

Pages' number: 85

Lists' number: 16

Pictures' number: 03

Figures' number: 26

Maps' number: 08

Planes' number: 06

Keywords: Hydrology, basin liable, geology, morphology, interpretation photographic, teledetection, dimensional of works, treatment of waters

Tale-bearer: ROBISON Laurent roger