

# SOMMAIRE

<b>REMERCIEMENTS</b> .....	III
<b>INTRODUCTION</b> .....	1
<b>Partie I : CONTEXTE HYDRAULIQUE DE LA ZONE D’ETUDE DE LA RESSOURCE EN EAU</b> ... 3	
<b>I-1 SYSTEME EXISTANT</b> .....	3
I.1.1 PRESENTATION DE LA ZONE D’ETUDE .....	3
I.1.2 CONCLUSION PARTIELLE .....	11
Partie II-METHODOLOGIE.....	12
<b>II.1.1 METHODE DE MOINDRES CARREES</b> .....	12
II.1.2 METHODE DE DEBIT CLASSEE.....	15
II.1.3 METHODE DE LOUIS DURET .....	17
II.1.4 METHODE DE MAILLET.....	19
II.1.5 METHODE DES HYDROGRAMMES .....	20
II.1.6 CALCUL ET RESULTATS.....	22
II.1.7 MESURES DE DEBIT (Q).....	28
<b>III.1 ANALYSE DE LA TEMPERATURE</b> .....	31
III-1-1 PRECIPITATION.....	31
III-1-2 TEMPERATURE ET PLUVIOMETRIE .....	31
III-1-3 Bilan Hydrique .....	33
<b>III.2 ANALYSE PLUVIOMETRIQUE</b> .....	33
III-2-1 PLUVIOMETRIE ANNUELLE ET MENSUELLE .....	33
<b>III.3 ETUDE COMPARATIVE ENTRE PLUVIOMETRIE ET TEMPERATURE</b> .....	35
<b>III.4 RESSOURCES EN EAU DISPONIBLE</b> .....	36
<b>PARTIE IV : GESTION INTEGREE DE LA RESSOURCE EN EAU (GIRE)</b> .....	37
<b>IV.1 l’ANDEA</b> .....	37
<b>IV.2 ETUDE DE LA RIVIERE SISAONY</b> .....	38
IV.2.1 CARACTERISTIQUES DE LA RIVIERE.....	38
IV.2.1 LES STATIONS .....	38
IV.2.2 CYCLE DE L’EAU .....	40
IV.2.3 LE BASSIN.....	41
<b>IV.3 PLANS DE GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU</b> .....	44
IV.3.1 L’APPROCHE DE GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU .....	45

IV.3.2	LA GESTION PAR BASSIN.....	48
IV.3.3	L'ORGANISME DE BASSIN.....	48
<b>IV.4</b>	<b>PROBLEMES ET DEFIS AUXQUELS SONT CONFRONTES LES GESTIONNAIRES DE L'EAU .....</b>	<b>49</b>
<b>IV.5</b>	<b>VOLONTE POLITIQUE ET SYSTEMES DE GESTION PAR BASSIN.....</b>	<b>50</b>
<b>IV.6</b>	<b>BASSIN VERSANT D'ANDRAMASINA : METTRE EN PLACE LE CADRE DE GESTION DE L'EAU .....</b>	<b>51</b>
IV.6.1	ROLES ET TYPES D'ORGANISMES DE BASSIN.....	52
IV.6.2	ROLES DES ORGANISMES DE BASSIN .....	52
<b>CONCLUSION .....</b>		<b>56</b>
<b>ANNEXES.....</b>		<b>57</b>



## LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1 Localisation géographique de la zone d'Etude extrait de la carte FTM séparée</i>	3
<i>Figure 2 Forme de relief à Andoharina. Source Cliché de l'auteur</i>	4
<i>Figure 3 Localisation de la zone d'étude aérienne (Google earth)</i>	5
<i>Figure 4 Environnement de Sisaony</i>	7
<i>Figure 5 Carte géologique de la zone d'étude Source BD 500 FTM</i>	8
<i>Figure 6 Courbe représentant la méthode de séparation</i>	21
<i>Figure 7 Coefficient de tarissement en fonction de l'année</i>	26
<i>Figure 8 Relation entre <math>Q_{min}</math> et <math>Q_{max}</math></i>	28
<i>Figure 9 Carte du bassin versant d'Andramasina</i>	30
<i>Figure 10 Graphique des températures mensuelles et des pluviométries moyennes mensuelles à la station Andramasina</i>	32
<i>Figure 11 Courbes pluviométriques</i>	33
<i>Figure 12 Localisation du bassin versant d'Andramasina</i>	39
<i>Figure 13 Cycle de l'eau</i>	40
<i>Figure 14 Profil du bassin versant d'Andramasina</i>	43
<i>Figure 15 Plans de gestion intégrée des ressources en eau</i>	44
<i>Figure 16 CanjanusIndicus(l'Ambrevade ou Amberovatry)</i>	54

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Évolution de la population	10
Tableau 2 Répartition spatiale de la population (source: RGPH 2013)	10
Tableau 3 Période de retour en fonction d'importance de captage	16
Tableau 4 les catégories suivant la dimension	18
Tableau 5 Corrélation entre $Q$ et $P$	22
Tableau 6 Valeurs de $Q_C$ de probabilité $P$	23
Tableau 7 Valeur de tarissement en fonction de $Q_0$ et $Q_1$	25
Tableau 8 les valeurs des paramètres hydrologiques annuels	27
Tableau 9 Débit max et min de 2001 à 2011	28
Tableau 10 Evolution de la température minimum et maximum à Andramasina	31
Tableau 11 Evolution de la pluviométrie à ANDRAMASINA	31
Tableau 12 Les quantités de pluie pendant la saison de pluie	34
Tableau 13 Evolution de la température mensuelle de la région	35
Tableau 14 présentation de la pluviométrie annuelle en 2001-2011	35

## REMERCIEMENTS

Eu égard les diverses circonstances et périples qui ont rendu ardue la réalisation de ce travail, il serait judicieux de présenter ici mes remerciements à tous ceux qui ont consacré leurs temps et prodigué leurs précieux aides et conseils jusqu'à son aboutissement.

Mes remerciements vont particulièrement à :

- Monsieur **RAHERIMANDIMBY Marson**, Doyen de la faculté des Science à l'Université de m'avoir permis de suivre une formation en géophysique appliquée au sein de la faculté des Science De l'Université d'Antananarivo et de m'avoir autorisé la soutenance de ce mémoire.
- Monsieur **RAKOTONDRAMANANA HeryTiana**, Maître de conférences et Chef de département de la physique à l'Université d'Antananarivo.
- Monsieur **RAMBOLAMANANA Gérard**, Professeur titulaire à la faculté des sciences et Directeur de l'Institut et Observatoire Géophysique d'Antananarivo (IOGA).
- Monsieur **RANAIVO NOMENJANAHARY Flavien**, Professeur à la faculté des sciences, Responsable Pédagogique de la formation en Maîtrise des Science et Technique en Géophysique Appliqué (MSTGA), qui m'a accepté de présider le présent mémoire.
- Monsieur **RAKOTOARIMANANA**, Ingénieur principal qui, par sa rigueur intellectuelle et morale, a assuré la réussite des travaux effectués ;
- Monsieur **RAZAFINDRAKOTO Boni**, Maître de Conférences, qui a bien voulu examiner ce travail ;
- L'ensemble du corps enseignant, personnels administratifs et techniques de la MSTGA et de l'IOGA, qui m'a dirigé et formé durant le cursus universitaire au sein de la MSTGA
- Ce travail n'aurait pas été mis en valeur sans la collaboration avec le personnel du Bureau d'études MANDROSO ;
- Tous les membres de ma famille pour leurs soutiens;
- Tous mes amis et collègues pour leurs supports ;
- Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

## INTRODUCTION

L'eau est l'origine de la vie et l'élément fondamental pour l'homme et ses activités économiques, comme l'agriculture, l'élevage, l'industrie et les mines mais surtout à l'alimentation en eau potable qui exige des normes quantitatives et qualitatives. C'est un élément naturel indispensable à tout être vivant et notamment à l'homme. A Madagascar le secteur de l'eau connaît un problème de gestion, de coordination et de maîtrise. En effet, le Gouvernement a pu déjà adopter le code de l'eau dont l'objectif fondamental est d'assurer une gestion intégrée et rationnelle de la ressource en eau. Mais la situation qui prévaut actuellement est que ce code n'est pas appliqué à juste titre et que le secteur continue toujours à présenter une situation critique, le problème sus-énoncé. Dans le cas pratique on constate une mauvaise évaluation et planification du secteur car toutes les actions de tous les intervenants ne sont pas coordonnées et sur terrain on assiste à un problème d'insuffisance de données, une dégradation de l'environnement de la ressource en eau, la saturation et vétusté de systèmes existants et une mauvaise utilisation de la potentialité existante. L'absence de schéma et plan directeur pour le développement du secteur. En particulier, le problème d'insuffisance des données aggrave davantage la situation car tous les intervenants sont obligés d'utiliser des données ne reflétant pas le contexte du terrain et afin de bien gérer le secteur de l'eau, il s'avère nécessairement de constituer des schémas et plans directeurs et pour ce l'évaluation de la ressource en eau est fondamentale et quand il n'y a pas de données suffisantes par des méthodes d'évaluation. Ainsi, l'objectif de ces mémoires est une contribution concernant l'évaluation de la ressource en eau en vue de la mise en œuvre du schéma et plan directeur et surtout en cas d'insuffisance de données. Ce manuel s'adresse aux gestionnaires de bassins, aux représentants des gouvernements et à tous leurs partenaires participant à la gestion des ressources en eau. Il contient des conseils pratiques afin d'améliorer la gestion des ressources en eaux douces, en particulier à travers l'application effective de l'approche de gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) dans les bassins des lacs, des fleuves et des aquifères. Le manuel complète les initiatives en cours ou prévues aux niveaux national et international sur le thème de la GIRE.

Le mémoire est structuré suivant le plan ci-dessous :

- en première partie, le contexte hydraulique de la zone d'étude de la ressource en eau
- en deuxième partie, la Méthodologie
- en troisième partie, l'évaluation de la ressource en eau
- Enfin, Gestion Intégrée de la Ressource en Eau (GIRE)

## Concepts clés

De nombreux travaux de recherche ont été menés par d'autres acteurs sur les différents concepts liés à la GIRE et à la gestion par bassin. Notre objectif, ici, est de proposer un guide pratique de gestion de l'eau par bassin et d'illustrer les lignes directrices à l'aide d'exemples concrets issus de bassins des quatre coins du monde. Il n'est pas possible de traiter de tous les aspects d'un sujet si complexe. Par ailleurs, ce manuel complète d'autres publications consacrées à la gestion par bassin et à la GIRE. Nous présentons néanmoins, afin d'orienter le lecteur et en guise d'introduction, quelques concepts clés en matière de gestion par bassin et de GIRE.

Rapport-Gratuit.com

# **Partie I : CONTEXTE HYDRAULIQUE DE LA ZONE D'ETUDE DE LA RESSOURCE EN EAU**

## **I-1 SYSTEME EXISTANT**

### **I.1.1 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**

#### ***1.1.1.1 Situation géographique***

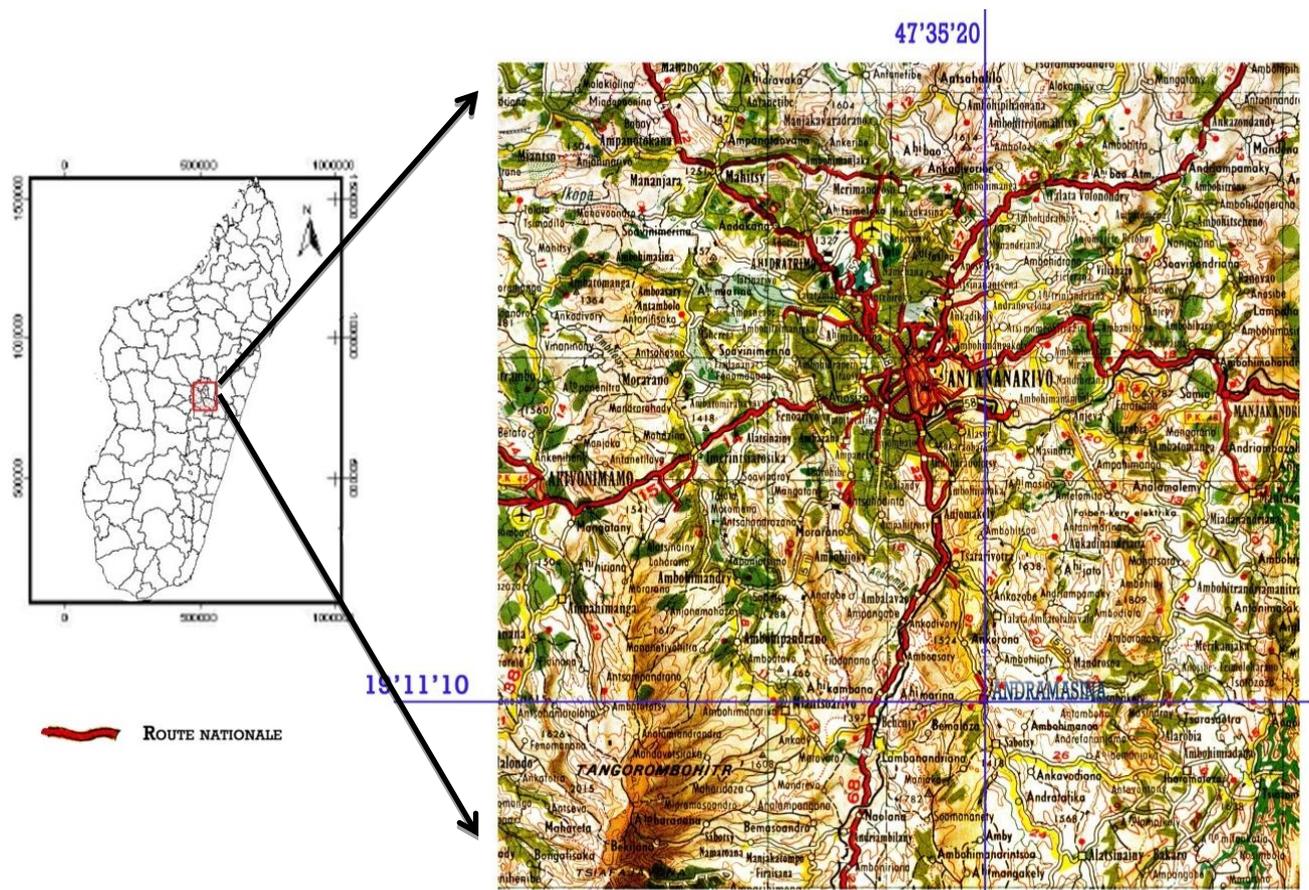


Figure 1 *Localisation géographique de la zone d'Etude extrait de la carte FTM séparée*

La plupart des sources de la rivière Sisaony se trouvent dans le District d'Andramasina dans la province d'Antananarivo, situé au 19°11'10 de la latitude Sud et au 47°35'20 de la longitude Est. L'accès à la ville d'Andramasina est relativement difficile bien qu'elle ne soit trop éloignée

d'Antananarivo (42km) du fait d'un mauvais état de la route. On y accède par la RN7 jusqu'au PK22, puis en suivant le RIP N20 à 18 km à partir d'Ambatofotsy.

### ***1.1.1.2 Relief***

Ces collines peuvent s'élever entre 1400 m à 1486m d'altitude. Les plaines sont assez larges en surface et se traversent dans la vallée de la Sisaony ainsi que des affluents.



***Figure 2 Forme de relief à Andoharina. Source Cliché de l'auteur***

### ***1.1.1.3 Topographie***

Cette partie est nécessaire pour l'étude du relief. Ainsi, il est vraiment recommandé d'utiliser des cartes, des photographies aériennes et des images satellitaires dans la réalisation de l'étude. La carte du bassin versant doit comporter des courbes de niveau en nombres suffisant. Il faut au moins une dizaine de courbes de niveau sur le bassin pour en définir le relief avec assez de précision. Pour cela, tout le calcul sera basé sur la carte topographique P48 de carte FTM à l'échelle de  $\frac{1}{100\ 000}$  qui nous permet de délimiter le bassin versant de la Sisaony jusqu'à l'exutoire d'Andramasina.



*Figure 3 Localisation de la zone d'étude aérienne (Google earth)*

#### **I.1.1.4 Topographie du bassin versant**

La topographie contribue à dimensionner la section et la pente de la vallée ainsi que sa forme afin d'étudier les conditions d'écoulement des ondes de crue et leur incidence sur la sécurité publique, ainsi que le régime d'écoulement de l'eau et des nappes d'eau souterraine par le gradient hydraulique associé à la porosité et perméabilité de la formation équivalente du bassin.

La pente est définie par  $I = \Delta H / L$

Où  $\Delta H$ : est la différence des altitudes maximale et minimale

L est la longueur du rectangle équivalente.

Les caractéristiques du bassin versant ont donc une influence essentielle sur son comportement hydrologique et hydrogéologique.

#### **❖ Pente du bassin versant**

La pente du bassin versant, que l'on note  $I$  elle est obtenue par le rapport entre la dénivellation topographique  $\Delta H$ , et la longueur du rectangle du bassin.

$I = \Delta H / L$  où  $H$  est la différence des altitudes maximale et minimale et  $L$  est la longueur du rectangle équivalente du bassin.

#### ❖ Calcul de $\Delta H$

L'altitude maximale : 1 586m ;

L'altitude minimale : 1 362m ;

D'où  $\Delta H = 224m$

#### ❖ Calcul de $L$

Un bassin versant est caractérisé par le coefficient  $K$  de GRAVELIUS est défini par la formule suivante :

$$K = \frac{P}{2\sqrt{\frac{S}{\pi}}} \quad (1)$$

Avec :  $P$  le périmètre du bassin

$S$  la surface du bassin

On a donc ;

$$P = k \frac{2\sqrt{S}}{0,28} \quad (2)$$

Avec :  $S = l L$

Après traçage de la limite du bassin versant sur une carte topographique, nous avons obtenu sa superficie  $S = 318 \text{ km}^2$  et son périmètre  $P = 76.425 \text{ km}$ .

Le coefficient de compacité de Gravelius vaut :  $K = 1,2$  c'est-à-dire les dimensions du rectangle équivalent sont :

$L = 19.106 \text{ km}$  et

Finalement on obtient *la pente du bassin versant*

$$I = 13,23 \text{ m / km}$$

#### ***1.1.1.5 Végétations et occupation du sol***

Dans la partie Sud du District d'ANDRAMASINA on trouve encore une zone de forêts

Mais pour le reste, la dégradation de l'environnement se voit presque partout ; on ne trouve que des savanes, quelques arbres et arbustes.

Dans les plaines surtout près de la rivière .La plupart des arbres sont d'eucalyptus et des pins, il ne reste plus que quelques arbres spécifiques de la région telle que le mimosa. Sur certaines collines dépourvues d'arbres, l'existence des steppes ralentit les érosions.



***Figure 4 Environnement de Sisaony***

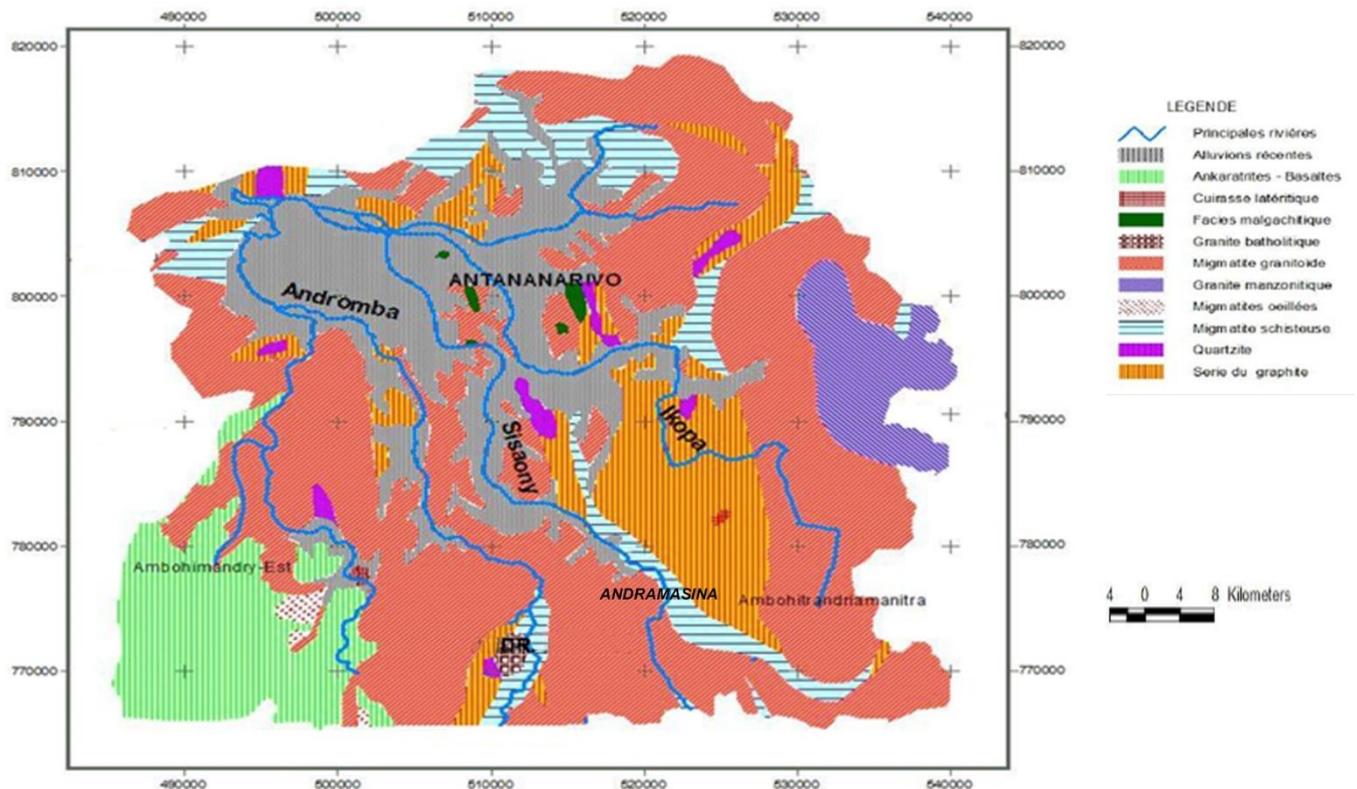
#### ***1.1.1.6 Géologie générale***

La zone appartient à la géologie des hauts plateaux de Madagascar. Plus précisément, elle se trouve dans le système du graphite, dans le groupe d'Ambatolampy et série d'Ambatolampy. Ainsi, elle est caractérisée par des actinites à graphite plus ou moins attaquées par la migmatisation, reposant en conformité sur des migmatites et migmatites granitoïdes associées à des granites.

A propos des granites, ils sont, des roches leucocrates, grenues qui correspondent aux migmatites granitoïdes. Ils sont aussi quasiment dépourvus de ferromagnésiens. Les migmatites granitoïdes de la région sont des roches de textures variées, intermédiaires entre le granite et la migmatite, caractérisées par la présence de paillettes de biotite. En général, on entrouve dans les carrières d'Andramasina, et ils sont appelés par « anatexite ». Les migmatites trouvées se distinguent des migmatites granitoïdes par une texture toujours alignée.

L'amphibole et la biotite sont les ferromagnésiens les plus communs. Alatsinainy Bakaro est la région qui renferme en abondance ces roches. Les roches intrusives que l'on y voit sont les granites, du type Ambatomiranty qui résistent à la latérisation mais s'altèrent en grosses boules.

Il y a aussi la présence des basites et les ultrabasites qui résistent à la latérisation et se manifestent par des boules et des blocs au milieu des argiles. Ils correspondent à de vieux gabbros intrusifs repris par le métamorphisme. Presque toute la région est caractérisée par la latérite rouge ou jaune rouge.



**Figure 5** Carte géologique de la zone d'étude Source BD 500 FTM

### ***1.1.1.7 Hydrogéologie***

Les invasions marines et les dépôts de sédiments calcaires et sableux qui caractérisent le site ont une perméabilité très élevées  $K = 11.10^{-3} \text{m.s}^{-1}$ . Mais dans les versants, qui sont caractérisés par des sols ferrallitiques, les lithosols et les sols peu évolués d'érosion sont des sols à perméabilité médiocre à mauvaises.

Ensuite, les nappes phréatiques de la région sont hautement productives, elles assurent l'irrigation des rizières et des autres champs de culture même en période d'étiage. Le niveau statique est souvent proche de la surface l'eau peut déborder et submerger les champs de cultures ou les rizières environnantes pendant la saison chaude.

Le lac « dobon'Andriana » présente l'aspect très florissant dans cette région qui recharge la source exploitée pour l'alimentation en eau de la ville d'Andramasina et ses environs.

#### **I.1.1.8 Hydrologique**

La rivière Sisaony est une affluent de l'IKOPA dépend la confluence se trouve au niveau d'AMBOHIDRATRIMO. Elle a déjà fait l'objet d'étude de débits aux stations Andramasina, Ambatofotsy mais qui sont actuellement abandonnée depuis 1974.

De ce fait, on a un problème d'insuffisance de données de débits. Afin de concevoir des projets d'aménagement hydrauliques dans le bassin versant de celle-ci, on peut utiliser des méthodes d'estimation et évaluation de débits aussi bien de crue que d'étiage. Les méthodes proposées sont présentées dans la méthodologie ci-après.

#### **I.1.1.9 Problèmes socio-économiques**

Les 90% de la population sont des cultivateurs. Mais pour la plupart, la production n'est pas suffisante pour l'année les intrants agricoles qui sont devenus trop chers pour la plupart des paysans en sont une des raisons. Il manque 60kg de riz par habitant par an dont l'une des raisons est l'inexistence d'infrastructures hydroagricoles. Par exemple, dans le village d'Antsampandrano et celui d'Asahambohatsaina, il existe déjà un petit barrage qui n'arrive même pas à irriguer les rizières. Si on réhabilite cet ouvrage l'on améliore cet ouvrage toutes les plaines seront irriguées. Afin de subvenir à leur besoin, achat du riz pendant la période de pluie et d'autres besoins ménagers, les hommes doivent chercher du travail. Donc ils ne peuvent pas s'occuper à plein temps de l'agriculture et de l'élevage.

Presque dans toute la région, l'accès à l'eau potable est encore insuffisant. La communication est assez difficile car les routes sont en mauvais état. En outre, un faible pourcentage de la population exerce l'artisanat mais dont le débouché restent toujours un blocage au développement de ce secteur.

### **I.1.1.10 climat**

Le climat est formé par deux saisons bien distinctes; saison de pluie du mois Novembre au mois d'Avril, et saison fraîche, du mois de Mai au Octobre. Ces saisons sont séparées par une intersaison marquée par une humidité assez basse de l'air.

### **I.1.1.11 Population et démographie**

Par rapport à sa surface, 1416 km<sup>2</sup>, le nombre d'habitants n'est pas vraiment très élevé.

Au total, on comptait 150253 habitants en 2003 qui se répartissent dans onze communes.

L'évolution de la population se calcule à partir de la formule suivante:

$$N_n = N_0 (1 + a)^n$$

Où :  $N_n$  nombre de population de l'année considérée,

$N_0$  le nombre de population initiale,

$a = 2.8\%$  le taux d'accroissement,

$n =$  la durée (Source : INSTAT)

**Tableau 1 Évolution de la population**

2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
198 041	203 586	209 287	215 147	221 171	227 363	233 730	240 274	247 002	253 918	261 027

#### **❖ Effectifs et Evolution :**

Dans l'ensemble de la Région, tous les Districts ont plus de 100 000 habitants à l'exception du district d'Andramasina d'après le recensement général de la population 1993 (RGPH 93). Le

**Tableau 2 Répartition spatiale de la population (source: RGPH 2013)**

Code	District	Population résidente	Pourcentage	Superficie km <sup>2</sup>	Densité hab/km <sup>2</sup>
101	Antananarivo Renivohitra	710 236	30%	107	6 638
117	Antananarivo Atsimondrano	229 597	10%	379	606
102	Antananarivo Avaradrano	163 471	7%	545	300
115	Andramasina	109 444	5%	1 416	77
107	Anjozorobe	114 312	5%	4 292	27
106	Manjakandriana	159 406	7%	1 718	93
103	Ambohidratrimo	185 146	8%	1 418	131
104	Ankazobe	87 315	4%	7 574	12
<b>Total Analamanga</b>		<b>1758927</b>	<b>76%</b>	<b>17449</b>	<b>101</b>

nombre moyen de la population dans la région est de 109444 habitants.

## I.1.2 CONCLUSION PARTIELLE

Malgré la condition climatique favorable à différents types de culture, le nombre élevé des agriculteurs et les surfaces cultivées assez importantes, Andramasina souffre toujours d'une insuffisance de production et alimentaire, surtout de riz et des cultures vivrières.

En plus, pratiquement toutes les communes ont des problèmes d'eau potable. En ce qui concerne l'agriculture, les paysans demandent l'implantation d'ouvrages hydroagricoles car si l'eau existe, la production sera largement suffisante et la région peut même en exporter ce qui va améliorer les conditions de vie des paysans.

Pour l'adduction d'eau potable, la rivière Sisaony permet bien de satisfaire les demandes mais il faut, peut-être aussi penser à construire des barrages réservoirs qui seraient utilisés pour subvenir aux mêmes besoins.

## Partie II-METHODOLOGIE

Les méthodes que nous exposant sont les suivantes :

L'évaluation de débits que nous allons utiliser sont exposée ci-après. Elles concernent l'évaluation des débits de crue et des débits d'étiage.

- ✚ Méthode de corrélation débit précipitant  $Q=f(P)$
- ✚ Méthode des débits classés
- ✚ Méthode de Louis Duret
- ✚ Méthode de Maillet
- ✚ Méthode de GIRE

Pour les débits de crue :

### **II.1 METHODE DE CORRELATION**

#### **II.1.1 METHODE DE MOINDRES CARREES**

Cette théorie est basée sur corrélation simple, l'intérêt de l'étude de corrélation entre deux variables est de pouvoir déduire l'une des variables en connaissant l'autre.

- Position du problème

-Soit deux variables X et Y observées pendant une période passée. Successivement ces variables prennent les valeurs:

$$X(x_0, x_1, x_2, \dots, x_{n-1})$$

$$Y(y_0, y_1, y_2, \dots, y_{n-1})$$

Le problème consiste donc à établir s'il existe une relation fonctionnelle entre Y et X de la forme

$$y=y(x)$$

Dans notre étude, nous allons établir s'il existe donc une fonction linéaire entre Y et X de la forme  
Calcul l'intervalle de confiance des paramètres étudiés.

La deuxième position du problème consiste à quantifier la confiance des résultats. Pour cela, on calcule l'intervalle de confiance des paramètres étudiés.

Pour faciliter les calculs, nous allons utiliser des variables centrées:

$$x_i = x_i - \bar{x}$$

$$y_i = y_i - \bar{y}$$

Avec : -  $x_i$  : la valeur prise par la variable x                       $\bar{x}$  : valeur moyenne de x

-  $y_i$  = la valeur prise par la variable y                       $\bar{y}$  : valeur moyenne de y

La forme linéaire à chercher sera la forme  $Y = aX$

L'écart entre la valeur observé et la valeur calculé est :

$$\Delta Y_i = Y_i - f(x_i)$$

$$\Delta Y_i = Y_i - aX_i$$

- Calcul des coefficients de régression

Les coefficients de régression sont calculés en prenant le minimum des valeurs des écarts.

$$\sum (\Delta Y_i)^2 = \sum (Y_i - aX_i)^2 = \sum Y_i^2 - 2a \sum X_i Y_i + a^2 \sum X_i^2$$

Pour que cette valeur soit minimum, il faut que

$$\frac{\partial}{\partial a} \sum (\Delta Y_i) = 0$$

$$2a \sum X_i^2 - 2 \sum X_i Y_i = 0$$

On obtient :

$$a = \frac{\sum X_i Y_i}{\sum X_i^2}$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x}$$

On peut écrire encore:

$$\sum (\Delta Y_i)^2 = \sum Y_i^2 - \frac{(\sum X_i Y_i)^2}{\sum X_i^2} = \sum Y_i^2 \left[ 1 - \frac{(X_i Y_i)^2}{X_i^2 Y_i^2} \right]$$

Elle peut être obtenue par:

$$\sum (\Delta Y_i)^2 = \sum Y_i^2 [1 - r^2]$$

Avec  $r^2 = \frac{(\sum X_i Y_i)^2}{\sum Y_i^2 \sum X_i^2}$

La variance de Y est :

$$\sigma_{y^2} = \frac{\sum y^2}{n}$$

Pour une régression de X et Y, la variance résiduelle est :

$$\sigma_{y^2} = \sigma_{y^2} [1 - r^2]$$

Le problème consiste à déterminer une fonction de répartition et la chance pour que Y soit compris entre un intervalle donnée par  $Y \pm \Delta Y$

- Calcul de l'intervalle de confiance

Pour une répartition normale de Gauss, on détermine les résultats suivants à partir de la table de Gauss:

- 95% de chance :  $\Delta Y = \sigma_{XY}$
- 80% de chance:  $\Delta Y = \pm 1,28 \sigma_{XY}$
- 68% de chance:  $\Delta Y = \pm 1 \sigma_{XY}$
- 50% de chance:  $\Delta Y = \pm \frac{3}{2} \sigma_{XY}$

Ensuite, la méthode d'évaluation des débits d'étiage

#### II.1.1.1 Le débit de crues d'étiages des cours d'eau

Un étiage correspond au niveau le plus bas atteint par un cours d'eau, lorsque tout écoulement de surface a cessé et qu'il n'est plus alimenté que par le débit de base en provenance des eaux souterraines, les étiages sont dus à des sécheresses prolongées qui aggravent des températures élevée. Une baisse du niveau des nappes au cours des saisons précédentes contribue aussi à la faiblesse des débits, ainsi que des prélèvements en eau très importants, qui ont tendance à se multiplier en période de sécheresse.

La connaissance des basses eaux ou étiages prend actuellement une place importante sur la planification des besoins en eau (AEP, irrigation, production d'énergie.....) et l'exploitation de la ressource. Il est donc nécessaire d'équilibrer l'utilisation maximale et la quantité minimale de la ressource disponible.

#### II.1.1.2 Les débits caractéristiques étudiés dans les projets d'aménagements hydrauliques

En général, il y a plusieurs débits caractéristiques, c'est -à- dire des valeurs de débits d'une importance plus grande :

- Les débits de crue
- Les débits d'étiage ou bas débits.

### II.1.1.3 Importance de l'étude des crues

Une partie importante des études hydrologiques portent sur les crues et leur occurrence.

En plus de leurs effets spectaculaires et leurs conséquences économiques et humaines, l'étude des crues permet de déterminer rationnellement les ouvrages destinés à les éviter ou à les contenir ;

#### II.1.1.4 Importance de débits d'étiage

Depuis ces dernières années, et à cause de la politique gouvernementale sur l'autosuffisance alimentaire et la maîtrise de l'eau, l'étude des bas débits est fondamentale pour accroître les productions agricoles, les productions énergétiques, et les productions industrielles.

Les demandes de l'activité économique et de l'évolution sociale imposent donc un développement important et croissant de l'utilisation de l'eau. Les demandes devront être satisfaites à tout instant en volume et en débit.

Les quantités d'eau nécessaires pour satisfaire les besoins doivent être connues. Ces quantités sont en fait limitées, dans le cas d'utilisation des eaux de surface, par la valeur des débits d'étiage ou bas débits. Par conséquent, les besoins en eau d'alimentation doivent être inférieurs au débit d'étiage de la rivière prévue pour approvisionner en eau le village ou l'aménagement de ville.

#### II.1.2 METHODE DE DEBIT CLASSEE

- La méthode consiste à collecté des données hydrologique pendant une période assez long supérieur ou égale à 10ans en considérant les débits extrême à savoir le plus grand débits de crue et le plus bas débit d'etiage de chaque année .

Cependant pour le bas débit il serait mieux de prendre en considération le débit d'étiage dépasse de 10 jours (dix fois).Ce qui lui confère le caractère de variables aléatoires.

Pour l'analyse proprement dite il faut classer ces débits extrême : par ordre décroissant pour le débit de crue et par ordre croissant pour le débit d'étiage et leur associée une probabilité empirique d'expression :

$$P = \frac{i}{n+1} * 100$$

i : Rang du débit dans le classement

P: Probabilité en %

n :Nombre ou taille des données ou nombre s d'année d'observation

Et on porte sur graphique spécial le résultat, le débit en ordonnée et le pourcentage en abscisse. On peut aussi portée dans ces graphiques le temps de retour suivant le sens inverse de l'axe de probabilité. En matière d'hydrologie et plus particulièrement d'étude hydrologie en vue de la réalisation d'un projet d'aménagement hydraulique, les ouvrages sont conçue à partir de débits extrême et en considérant une probabilité et un temps de retour qui correspondent à sa pérennité en garantissant le bon fonctionnement des installation. Ainsi ;les ouvrages hydrauliques sont dimension ne pour résisté au effet de crue. Alors que la prise d'eau pour satisfaire la demande même en période d'étéage.

Il faut donc choisir un temps de retour qui dépend de l'importance de l'ouvrage par exemple

**Tableau 3 Période de retour en fonction d'importance de captage**

<b>ANNEES</b>	<b>OUVRAGE</b>
25 Ans	Captage d'eau pour AEP de moindre importance
50 Ans	Captage d'eau moyenne et pour une microcentrale
100 Ans	Pour une assez grand ville et moyenne centrale
200 Ans	Un assez grand aménagement

Donc, il faut déterminer les deux paramètres principaux du projet pour se faire dit débit de projet et débit d'étéage du projet. .

L'interprétation de la courbe ainsi permet de le déterminer. Ainsi, le débit d'exploitation ou prélèvement doit être inférieur au débit d'étéage du projet et l'aménagement conçue avec le débit de crue de projet.

En générale, ces débits doit faire l'objet d'un test de probabilité peut nous n'effectuons pas dans le cadre de ces mémoires.

L'inverse de cette probabilité de retour donne le temps de retour T.

$$T = \frac{1}{P}$$

Par définition, le temps de retour est la moyenne du temps où nombre d'années séparant un évènement de grandeur données d'un second évènement d'une grandeur supérieur ou égale.

Un graphe  $Q_c=f(P_i)$  trace sur un modèle de papier utilise par Gumbel nous permet de déterminer le débit en fonction de la probabilité de retour.

- **Débit classée**

Un edifice tel que celui du barrage de tsiazompaniry necessite d'etre dimensionne pour supporter la crue de projet.Nous avons donc essaye de la determiner a apartir de notre serie de debits.Avec l'etape de traitement des donnees,nous avons determine les debits moyens journaliers pour toutes les annees. Nous avons donc pu en extraire les débits moyens journaliers maximums et minimums observes pour chaque année. Ceci constituera notre variable de probabilité de débits moyens journaliers de 2001 à 2011.

### II.1.3 METHODE DE LOUIS DURET

Il s'agit de la méthode de Louis DURET pour le cas des bassins versant jusqu'à 50 000 km<sup>2</sup>. En effet, la méthode empirique, en employant la formule de Louis Duret qui est applicable pour toute rivière de Madagascar, ne nécessite que les caractéristiques hydrologiques du bassin versant et la précipitation de 24h de fréquence voulue. Mais pour avoir plus de précision, il est judicieux de se baser sur des données existantes.

La formule de Louis Duret se présente sous trois formes suivant la superficie du bassin. Pour un petit bassin versant : ( $S \leq 10\text{km}^2$ ), pour un bassin versant qui a une superficie comprise entre 10km<sup>2</sup> et 200km<sup>2</sup>, pour un grand bassin versant : ( $200 \text{ km}^2 < S < 50\ 000 \text{ km}^2$ ).

Pour un petit bassin versant: ( **$S < 10 \text{ km}^2$** )

On a la formule suivante :

$$Q = 0,278. C. i. S \quad (50)$$

Q: débit maximal de crue (en m /s), C: coefficient de ruissellement, i: intensité de l'averse provoquant le débit maximum (en mm/heure), S: surface du bassin versant (en km<sup>2</sup>)

=> **Pour un bassin versant qui a une superficie comprise entre 10km<sup>2</sup> et 200km<sup>2</sup>**

$$Q(P) = \text{Cte.} \cdot S^\alpha \cdot I^{0,32} \cdot H(24, P) \cdot \left(1 - \frac{36}{H(24, P)}\right)^2$$

Mais il faut déterminer les constantes ( $C^{te}$ ) et  $a$  en s'appuyant sur les bassins versant de  $10\text{km}^2$  et de  $200\text{km}^2$  par un système de deux équations à deux inconnues.

==> **Pour un grand bassin versant : ( $200 \text{ km}^2 < S < 50.000 \text{ km}^2$ )**

La formule de Louis Duret se traduit par :

$$Q(P) = 0,025 \cdot S^{0,8} \cdot I^{0,32} \cdot H(24, P) \cdot \left(1 - \frac{36}{H(24, P)}\right)^2$$

Dans laquelle :

$Q(P)$  = le débit de fréquence  $P$  recherché, en  $\text{m}^3/\text{s}$

$S$  = la surface du bassin versant en  $\text{km}^2$

$I$  = la pente moyenne du bassin versant en  $\text{m}/\text{km}$

$H(24, P)$  = la hauteur de la pluie journalière maximum précipitée sur un point quelconque du bassin, de même fréquence que le débit à estimer, en  $\text{mm}/24\text{h}$

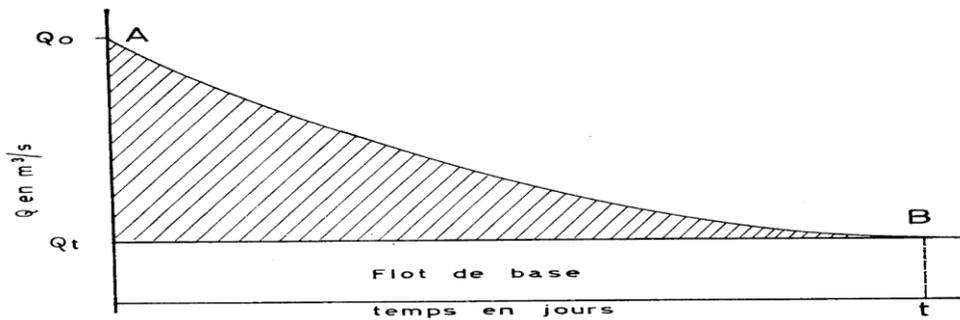
L'hydraulique est une science expérimentale, à Madagascar à travers les différentes stations **Louis Duret** a pu classer les résultats des débits de crue en trois catégories suivant la dimension du bassin versant. Andramasina est considéré comme étant un grand BV ( $A=318 \text{ km}^2$ ) avec surface de  $318 \text{ km}^2$

**Tableau 4 les catégories suivant la dimension**

Type de BV	Surface du BV ( $\text{km}^2$ )	Débit de crue probable
Petit bassin	$A \leq 10$	$Q_c = 0.278 C \times i \times A$
Bassin intermédiaire	$10 \leq A \leq 200$	$Q_c(p) = Cte A^\alpha I^{0,32} H(24, P) Cr$
Grand bassin	$200 \leq A \leq 50\ 000$	$Q_c(p) = Cte A^\alpha I^{0,32} H(24, P) Cr$

Les données de précipitation sont presque disponibles à Madagascar ce qui permet d'appliquer la méthode en disposant des données d'averse avec fréquence de retour sous forme de hauteur de précipitation de 24h c'est-à-dire  $H(24, P)$

## II.1.4 METHODE DE MAILLET



La courbe de tarissement est la fin de la courbe décroissante de l'hydrogramme qui correspond au débit  $Q_0$  de tarissement et la terminaison au débit de base ou dans certain cas au tarissement total.

La formule de MAILLET est l'expression d'une fonction exponentielle intégrale :

$$Q = Q_0 e^{-\alpha t} \quad (1)$$

Elle peut s'écrire, avec le logarithme décimal :

$$\text{Log} Q_1 = \text{Log} Q_0 - (0,4343 \alpha) t \quad (2)$$

La partie régime de tarissement de l'hydro gramme est analyse par la méthode de Maillet qui s'exprime après calcul connaissant  $Q_0$  et  $\alpha$

$$Q = Q_0 e^{-\alpha t} \quad (3)$$

A étudier à partir du premier MAI jusqu'à NOVEMBRE

Ou  $Q_0$  = débit initiale de tarissement à déterminer par interprétation sur papier semi – logarithmique en tant que le point d'intersection à la droite de l'axe de débits.

$\alpha$  Est obtenue par la formule ci-dessous en considérant un point intermédiaire P1 de coordonnées  $t_1$  et  $Q_1$

t temps compte en jours à partir du 1<sup>er</sup> Mai

$$\alpha = - \frac{\text{Log} Q_1 - \text{Log} Q_0}{0,4343 \alpha t_1} \quad (4)$$

Le volume de réserve au commençant du régime de terrassement s'exprime par :

$$V = \frac{86400 Q_0}{\alpha} \quad (5)$$

Sur l'hydrogramme, ce volume correspond à la surface délimitée par la courbe ainsi que les axes. Mais comme autre condition, nous avons considéré que ce volume est égale au volume délimité par la séparation. De l'hydrogramme. Ce qui permet d'obtenir de volume d'infiltration

$$V_I = 2V$$

D'où, le volume d'infiltration est égal à 2V.

$$\text{Donc } V_I = 2V = 2 \left( \frac{86400 Q_0}{\alpha} \right) \quad (6)$$

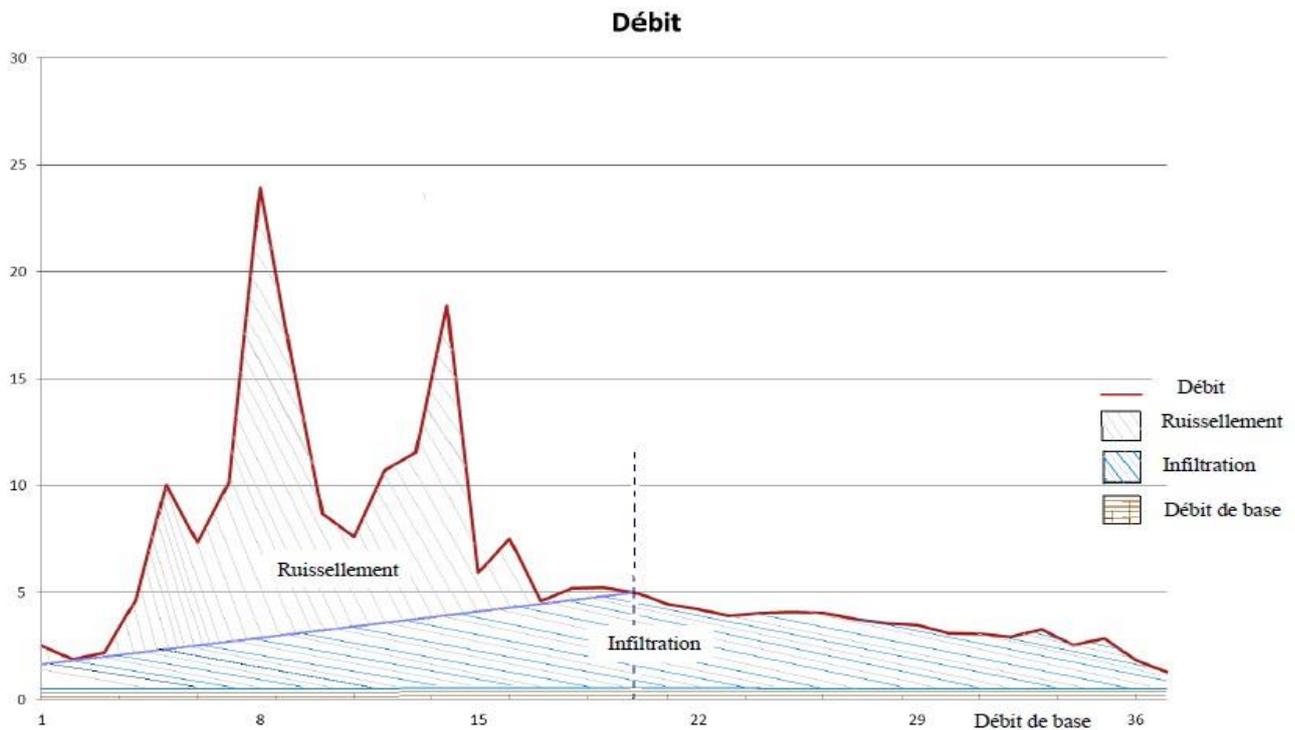
#### II.1.5 METHODE DES HYDROGRAMMES

Le débit de la rivière est composé principalement de trois types d'écoulement:

- ✚ L'écoulement direct de surface qui représente le ruissellement. C'est un écoulement rapide.
- ✚ L'écoulement retardé souterrain, appelé débit de base. Alimenté par les nappes d'eaux souterraines, c'est un écoulement lent à cause du transit de l'eau dans le sol et le sous-sol.
- ✚ L'écoulement dit hypodermique qui sous-entend un écoulement au niveau de la couche superficielle du sol.

Cette méthode nous permet de déterminer le coefficient d'infiltration et celui de ruissellement en calculant directement sur l'hydrogramme le volume d'infiltration et de ruissellement

L'hydrogramme de crue au cours de l'année hydrologique est de la forme :



**Figure 6** Courbe représentant la méthode de séparation

On trace ce hydrogramme de crue pendant une année hydrologique sur papier millimètre et on définit une échelle :

**Echelle :**

$$1\text{mm} \rightarrow 0,25 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$1\text{mm} \rightarrow 1\text{jours}$$

$$1\text{carreaux} = 1\text{mm} \times 1\text{mm} = 0,25 \text{ m}^3/\text{s} \times 1\text{jours} = 0,25 \times 1 \times 24 \times 3600 = 21\,600 \text{ m}^3$$

$$1\text{carreaux} = 21\,600 \text{ m}^3$$

Le volume d'eau infiltrée  $V_I$  est donc égal à la surface non hachurée exprimée en unité de volume  $\text{m}^3$ .

$$\text{Le coefficient d'infiltration } C_I = V_I / V_P$$

$$\text{Le coefficient de ruissellement } C_R = V_R / V_P$$

$$\text{Le volume de précipitation } V_P = 1\,000 \times P \times A$$

Donc  $P$  est la précipitation, annuelle en  $\text{mm}$  et  $A$  la surface du bassin versant en  $\text{Km}^2$

Au commencement du régime de tarissement, on peut appliquer la formule de Maillet.

## II.1.6 CALCUL ET RESULTATS

➤ **Premièrement, on fait l'analyse de corrélation entre Q et P**

On obtient le résultat suivant :

**Tableau 5 Corrélation entre Q et P**

ANNEE	Qe	P	Qe*P	Qe <sup>2</sup>	P <sup>2</sup>
2001-2002	1,456	627,5	913,64	2,120	393756,25
2002-2003	1,556	1497,5	2330,11	2,421	2242506,25
2003-2004	2,002	1589	3181,18	4,008	2524921
2004-2005	2,217	1833,50	4064,87	4,915	3361722,25
2005-2006	3,085	1547	4772,50	9,517	2393209
2006-2007	3,920	699,56	2742,28	15,366	489384,194
2007-2008	4,126	1178	4860,43	17,024	1387684
2008-2009	5,167	129,32	668,20	26,698	16723,6624
2009-2010	6,689	840,32	5620,90	44,743	706137,702
2010-2011	9,226	513,8	4739,86	85,119	263939,063
			33893,95	211,931	13779983,4

Commencer par le calcul de r :

$$\text{On a : } r = \frac{\sum QeP}{\sqrt{\sum P^2 Q^2}}$$

$$\text{D'où } r = \frac{33893,95}{\sqrt{211,931 * 13779983,4}} = 0,824$$

$$r = 0,824$$

$$\text{Et } a = \frac{\sum QeP}{P^2}$$

$$\text{On a : } a = \frac{33893,95}{211,931} = 0,001$$

$$a = 0,001$$

$$\text{On sait que } Y = aX + b \quad Q = aP + b$$

D'après le calcul, on obtient :

$$Q = 0,00012P + 0,842$$

Donc connaissant P, on peut déterminer Q

➤ **Deuxièmes, on va voir la méthode de Louis Duret**

Le bassin versant de Sisaony à l'exutoire d'Andramasina appartient au grand bassin avec une superficie estimée à 318 Km<sup>3</sup>. La formule à appliquer pour évaluer les débits de crue Q<sub>c</sub> est donc :

$$Q(P) = 0,025 \cdot S^{0,8} \cdot I^{0,32} \cdot H(24, P) \cdot \left(1 - \frac{36}{H(24, P)}\right)^2$$

D'après le calcul, on obtient :

**Tableau 6 Valeurs de Q<sub>c</sub> de probabilité P**

Probabilité	H(24) mm	Q <sub>c</sub> m <sup>3</sup>
1/25 ans	150	334,334
1/50 ans	170	378,912
1/100 ans	190	423,49

La durée de vie de notre ouvrage est estimée à plus de 100 ans, nous considérerons donc le débit de crue du projet sur un temps de retour de 100 ans pour tous nos calculs.

**Ensuite, nous allons voir le résultat obtenu à partir de la méthode de MAILLET**

D'après le modèle mathématique.

*On prend l'année hydrologique en 2002-2003*

$$Q_0 = 4,20$$

$$\text{Log } Q_0 = 0,623$$

$$Q_I = 255$$

$$\text{Log } Q_I = 0,406$$

$$t = 354 - 192$$

$$D'oi \alpha = - \frac{\text{Log } 0,406 - \text{Log } 0,623}{0,4343(162)} = 0,004$$

$$\text{On obtient } \alpha = 0,004$$

*Calculons V*

$$V = \frac{86400 (4,20)}{0,004} = 907\,2000 \text{ m}^3$$

*Nous obtenons ensuite*

$$V_I = 2V = 2(907\ 200\ 000) = 181\ 440\ 000$$

D'où

$$V_I = 181\ 440\ 000\ m^3$$

On en fait de même pour les autres années hydrologiques

➤ **Principe fondamental de l'équation de tarissement**

Par définition le volume de réserves d'eau souterraine au temps d'occurrence du débit d'étiage  $Q_0$  est de la forme :

$$V_0 = \int_0^{\infty} Q dt = Q_0 T_0 = \frac{Q_0}{\alpha}$$

$T_0$  = temps de base

$\alpha$  = coefficient de tarissement

On pose pour une année = coefficient de tarissement

On pose pour une année  $i$

$$V_i = V_0 = \int_0^{\infty} Q dt = Q_i T_0 = \frac{Q_i}{\alpha}$$

Ou  $T_0 = \frac{1}{\alpha}$  = temps de base

Equation du bilan : l'équation est de la forme :

$$W_{1-2} = P_{1-2} - E_{1-2} + \Delta R_{1-2}$$

ou  $W_{1-2}$ : volume écoulé à l'exutoire entre les instants  $s_1$  et  $s_2$ .

$P_{1-2}$ : volume de pluie tombée dans le bassin entre ces deux instants.

$E_{1-2}$ : Evapotranspiration réelle dans le bassin

$\Delta R_{1-2}$ : Variation de réserve entre les deux instants  $s_1$  et  $s_2$

➤ **Calcul de la variation de réserve  $\Delta R_{1-2}$**

La relation précédente pour le calcul de la réserve peut s'écrire :

$$\Delta R_{1-2}: V_1 - V_2 = \frac{1}{\alpha}(Q_1 - Q_2)$$

$Q_1, Q_2 =$  débit d'étiage aux dates (1) et (2) respectivement .

L'équation du bilan devient alors :

$$W_{1-2} = P_{1-2} - E_{1-2} + \frac{Q_1}{\alpha} - \frac{Q_2}{\alpha}. \text{ Définition de chaque terme de l'équation du bilan}$$

### **Volume écoule à l'exutoire $W_{1-2}$**

Ce volume est représenté par l'excédent de la méthode de Thornthwaite. Pour une année hydrologie, le volume est égal à :

$$W_{1-2} = \sum_{NOV}^{OCT} Ext \text{ i exprimée en volume}$$

### **Volume de pluie tombée dans le bassin**

Le volume de pluie tombée dans le bassin est représenté par le total de pluie entre les dates 1 et 2 ;

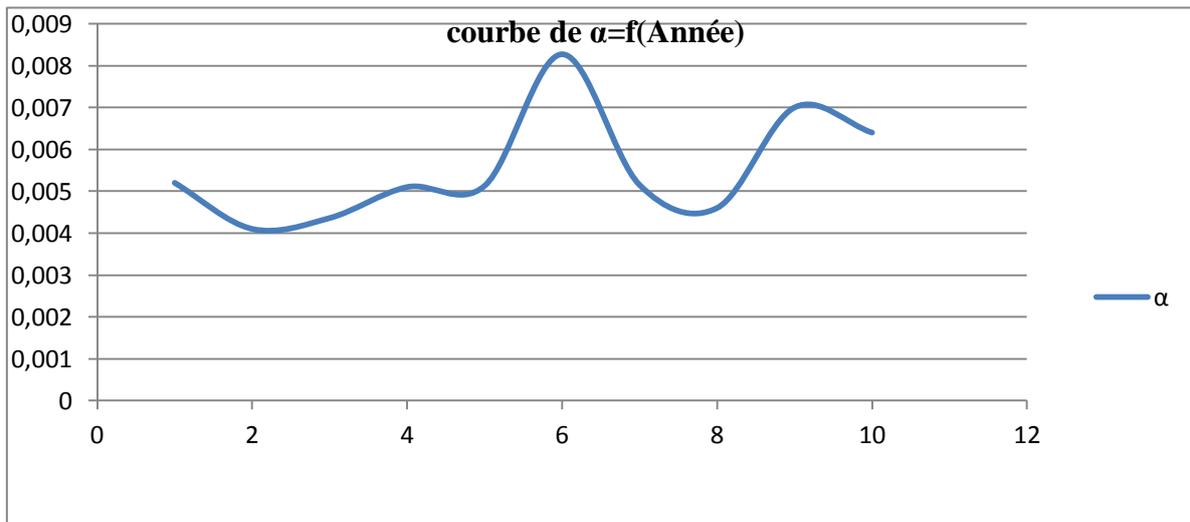
Evapotranspiration réelle est calculée dans les tableaux de calcul de Thornthwaite pour une année hydrologique.

$Q_1, Q_2 =$  débit à l'exutoire mesure ou calcule selon le cas

Et on obtient le résultat comme suit :

**Tableau 7 Valeur de tarissement en fonction de  $Q_0$  et  $Q_1$**

ANNEE	2001/2002	2002/2003	2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011
$Q_0$	9,226	6,978	5,409	6,97	3,1389	7,23	6,27	4,72	5,98	6,88
$Q_1$	2,03	6,038	3,17	0,843	1,5	3,17	6,27	6,24	2,633	3,061
$\log Q_0$	0,912	0,827	0,724	0,813	0,496	0,811	0,799	0,344	0,77	0,833
$\log Q_1$	0,305	0,78	0,51	0,7605	0,176	0,501	0,79	0,87	0,42	0,48
t1	141	160	128	158	169	186	123	127	134	158
$\alpha$	0,0052	0,0041	0,00436	0,00118	0,00513	0,00827	0,00515	0,0046	0,007	0,0064



**Figure 7 Coefficient de tarissement en fonction de l'année**

➤ **Interprétation**

On peut remarquer que le coefficient de tarissement n'est pas constant mais elle varie selon l'année, le débit d'étiage est représentée par le schéma ci-dessus. Nous allons voir les résultats suivant divers méthode.

**II.1.7.1 Méthode de séparation de l'hydrogramme**

D'après le calcul on obtient le résultat suivant :

*Calcul du volume unitaire :*

**Echelle**

1mm → 0,25 m<sup>3</sup>/s

1mm → 1jours

1carreaux = 1mm\*1mm = 0,25 m<sup>3</sup>/s\*1jours = 0,25\*1\*24\*3600= 21 600 m<sup>3</sup>

***1carreaux = 21 600 m<sup>3</sup>***

**Calcul de volume de base VB:** volume des écoulements lent ou volume permanent

***VB =2\*365= 730 carreaux=730\*21 600 m<sup>3</sup> = 13 046 560 m<sup>3</sup>***

***VB= 13 046 560 m<sup>3</sup>***

**Calcul de volume d'infiltration VI:**

***VI=16\*214=3424 carreaux= 3424 \*21 600 m<sup>3</sup> = 73 958 400 m<sup>3</sup>***

**VI= 73 958 400 m<sup>3</sup>**

**Calcul de volume d'infiltration VR:**

**VR=2 325,32 carreaux= 2 325,32 \* 21 600 m<sup>3</sup> = 50 226 912 m<sup>3</sup>**

**VR = 50 226 912 m<sup>3</sup>**

**Calcul de volume de Précipitation VP:**

**On a  $P = \sum P_i = 1710 \text{ mm}$**

**Et  $VP = 1000 * A * P = 1000 * 318 103 * 1710 \cdot 10^{-3} = 543 780 000 \text{ m}^3$**

**VP= 543 780 000 m<sup>3</sup>**

***Ainsi nous avons répété les mêmes calculs de pour les autres années que nous résumons dans le tableau ci-après***

**Tableau 8 les valeurs des paramètres hydrologiques annuels**

Année	P (mm)	Vp[m <sup>3</sup> ]	V <sub>R</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>I</sub> [mm]	CI[%]	C <sub>R</sub> [%]	V <sub>base</sub> [m <sup>3</sup> ]
2001-2002	1415	449 970 000	90011260.1	78168847.	0,22	0,222	7884000
2002-2003	1710	543780000	108856000	94467902.	0,183	0,183	7884000
2003-2004	1535.5	488290000	97657800	84399608.	0,204	0,204	7884000
2004-2005	1409.5	488290000	89544200	77900797.	0,204	0,2079	7884000
2005-2006	1060.5	370970000	67437800	58512115.	0,269	0,2	7884000
2006-2007	1443	458874000	91784800	79782270.	0,217	0,21	7884000
2007-2008	528	167904000	33580800	29151703.	0,259	0,26	7884000
2008-2009	1233.32	392195760	78493428	68183596.	0,254	0,25	7884000
2009-2010	833.87	265170660	53004132	46096642.	0,377	0,31	7884000
2010-2011	758.18	241401240	48520248	41923.379	0,242	0,24	7884000

**P** : représente la valeur de la précipitation annuelle en mm

**VP** : le volume de la précipitation annuelle en m<sup>3</sup>

**VR** : le volume de ruissellement annuel en m<sup>3</sup>

**VI** : le volume d'eau infiltré dans le sol et sous-sol annuelle en m<sup>3</sup>

**Ci** : le coefficient d'infiltration

**Cr** : le coefficient de ruissellement

**VI** : représente le volume d'eau circulant moyennement au niveau du BV

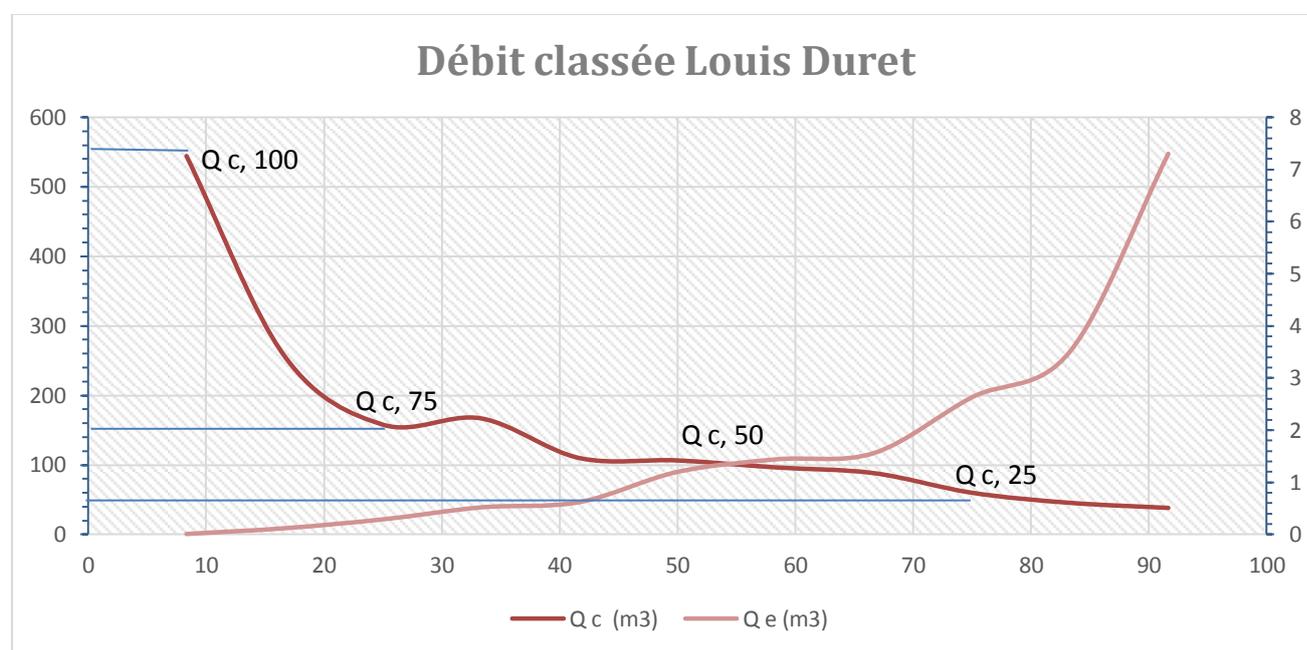
## II.1.7.2 Méthode de débit classée

On peut obtenir des valeurs comme suit :

**Tableau 9 Débit max et min de 2001 à 2011**

Année	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
<b>Rang</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>P[%]</b>	8,3	16,7	25,0	33,3	41,7	50,0	58,3	66,7	75,0	83,3	91,7
<b>Q<sub>C</sub>MAX</b>	544,24	11,9	40,9	48,4	41	45,9	64,6	127,4	32,9	28,5	35,6
<b>Q<sub>e</sub> MIN</b>	7,3	1,56	0,62	0,01	0,52	0,12	0,65	3,51	0,29	2,63	1,44

Afin d'évaluer le régime de la rivière au cours d'une année, nous nous sommes intéressés à la probabilité d'observer dans le cours d'eau un débit inférieur à la valeur donnée. Nous avons pu déterminer le débit moyen pour chaque année, et le superposer à notre répartition obtenue. Ce qui nous donne la représentation graphique suivante:



**Figure 8 Relation entre  $Q_{min}$  et  $Q_{max}$**

## II.1.7 MESURES DE DEBIT (Q)

### II.1.8.1 Relation entre eau de surface et eau souterraine

Une relation étroite existe entre les eaux de surface et les eaux souterraines. Les eaux de surface rechargent les réserves souterraines en période de crue, alors qu'en période sèche, l'eau souterraine contribue au maintien du niveau des lacs et aux débits de base des cours d'eau.

Près de la moitié des résidents du bassin versant de la rivière Sisaony s'approvisionnement à partir des réserves souterraines.

L'eau souterraine du bassin versant demeure toutefois une ressource méconnue. Naturellement filtrée par le sol, l'eau souterraine est le plus souvent de bonne qualité. Celle-ci demeure cependant une ressource fragile et plusieurs sources de contamination peuvent engendrer sa détérioration.

L'ensemble des eaux de surfaces et des nappes souterraines alimentent les cours d'eaux, qui vont ensuite affluer vers l'exutoire et contribue à l'augmentation ou la diminution du débit au niveau de l'ouvrage.

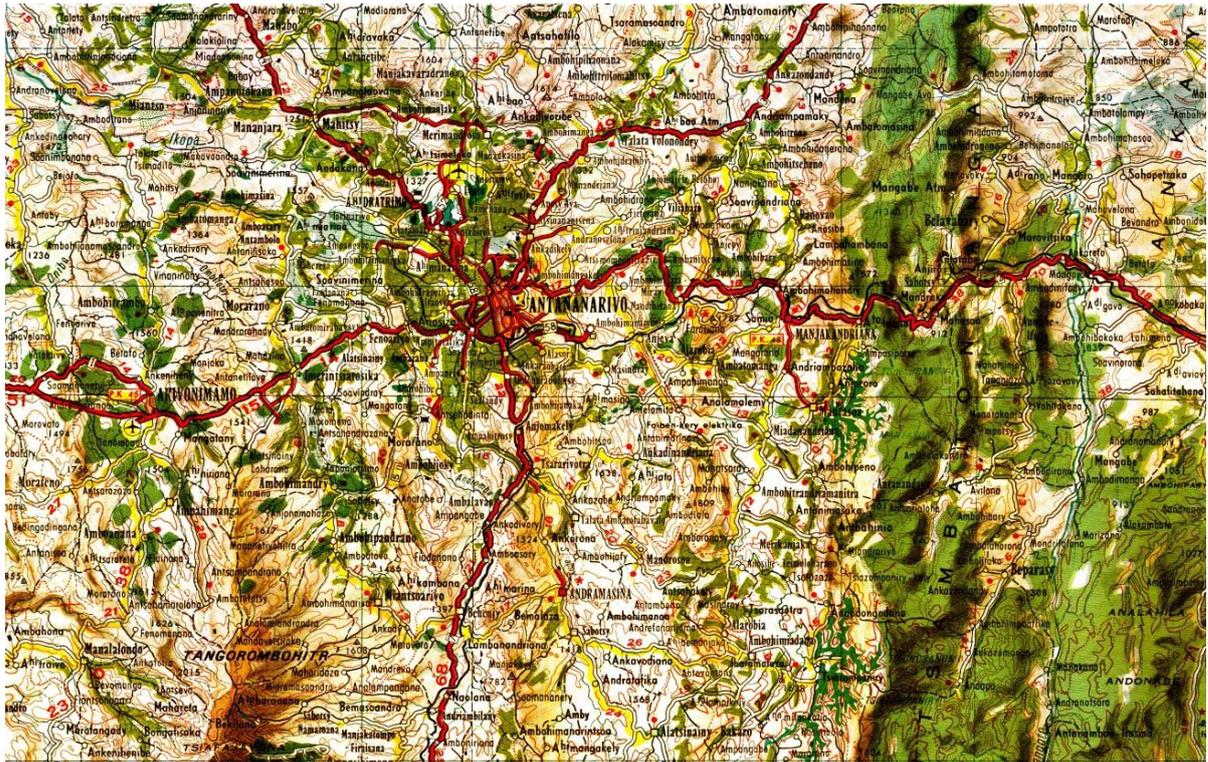
### II.1.8.2 Méthode d'évaluation de débit de crues

L'évaluation du principe de fonctionnement de la rivière de Sisaony et de sa plaine alluviale nous a permis de déterminer à partir de l'analyse de la carte de FTM (feuille P-47 et P-48). Les caractéristiques du bassin versant de la Sisaony à Andramasina.

Le problème qui se pose souvent est l'insuffisance de données tant de débit, que de températures et de précipitation. Pour bien concevoir un projet, il faut au moins effectuer une campagne de mesure de débit de température et précipitation, et interpréter le résultat s et surtout les hydrogrammes obtenus qui doit faire l'objet d'un procédé de séparation entre ruissellement, infiltration et fléau de base.

L'eau d'une rivière est alimentée par le ruissellement de surface R et l'infiltration I suivant le bilan hydrique  $P = E+R+I \pm \Delta RO$  (unité en mm) ; alors que l'évaporation E affecte aussi le débit qui diminue dans le temps et surtout en période d'étiage.

Le contexte géologique et environnemental influent sur le régime de la rivière. Les rivières sont donc les sièges des phénomènes hydrodynamiques qui changent leur environnement immédiat à savoir : les lits et les espaces traversés par sédimentation et dépôts d'alluvion.



**Figure 9** Carte du bassin versant d'Andramasina

L'eau de surface et l'eau souterraine sont toujours en relation hydrodynamique qui mérite d'être maîtrisée puisque les ondes de crue sont transmises à la nappe d'eau souterraine ce qui engendre la formation d'une potentielle de pression hydrostatique naturellement en équilibre mais qui peut se rompre en cas de mauvaise gestion des espaces environnants et pouvant engendrer un débordement de l'eau de la rivière de Sisaony par exemple.

### II.1.8.3 Méthode de coefficient d'infiltration et de ruissellement

La définition du coefficient de ruissellement utilisée dans chacune des méthodes fait appel à des notions différentes.

Il nous semble préférable de conserver le coefficient de ruissellement moyen tel qu'il a été défini dans l'analyse statistique relative aux grands bassins versant.

A l'exception des bassins versant représentatifs et de celui de Sisaony supérieure, il n'existe pas de bassins disposant d'un réseau pluviométrique suffisamment dense pour l'évaluation correcte des lames d'eau précipitées.

Pour les quelques bassins versant représentatifs et les ruissellements les plus élevés sont compris entre 18%.et 24%.

## PARTIE III : EVALUATION DE POTENTIALITE DES RESSOURCES EN EAUX

### III.1 ANALYSE DE LA TEMPERATURE

#### III-1-1 PRECIPITATION

D'après le classement du régime pluviométrique (*Champoux, Toutant, 1989*), notre zone d'étude appartient à la zone subtropicale humide où la précipitation moyenne est comprise entre 1000 et 1500 mm. Les valeurs moyennes des précipitations mensuelles enregistrées dans les stations pluviométriques aux environs d'Antananarivo sont représentées sur le tableau suivant. La précipitation moyenne est calculée à partir de la moyenne arithmétique.

#### III-1-2 TEMPERATURE ET PLUVIOMETRIE

Les tableaux qui suivent nous montre les températures minimum et maximum et les pluviométries

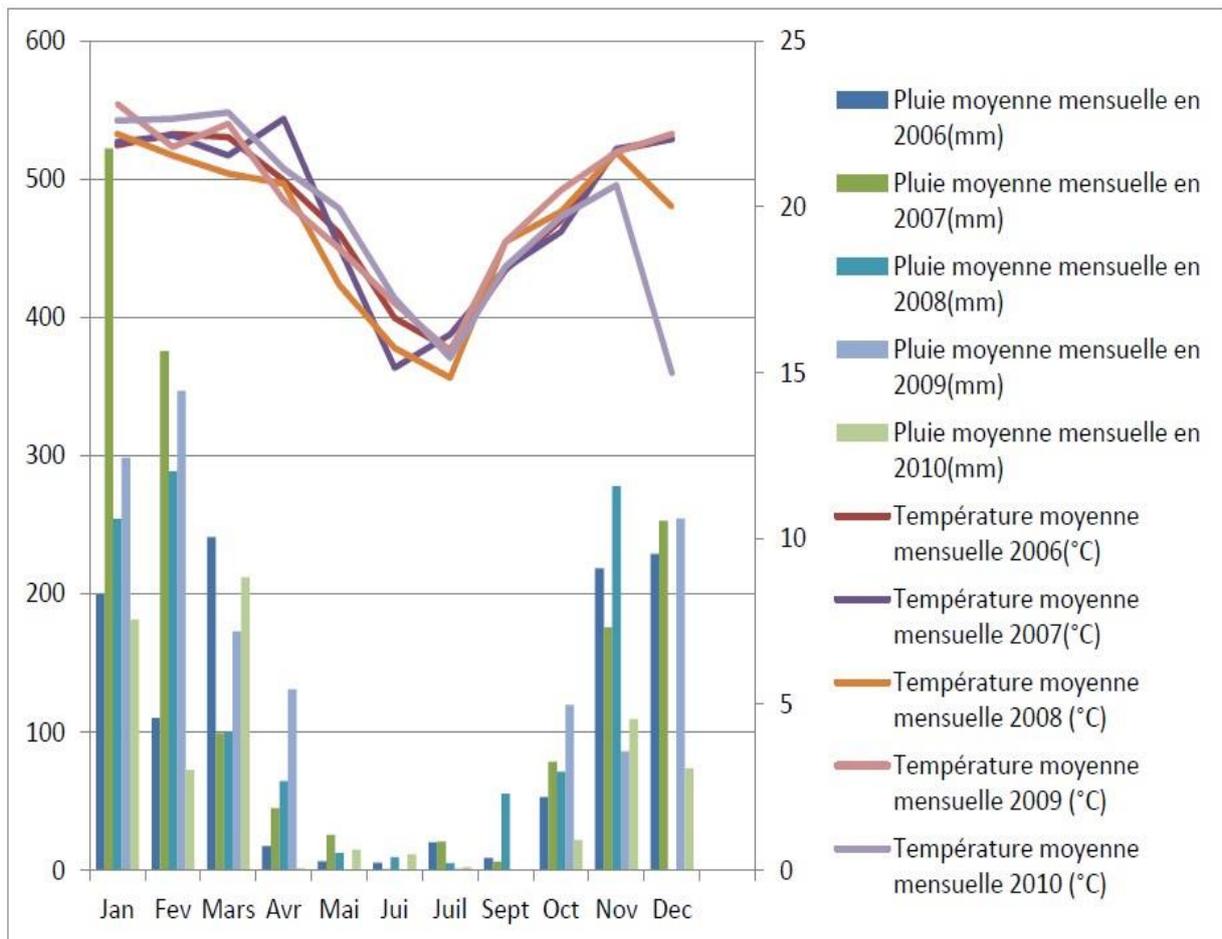
**Tableau 11 Evolution de la pluviométrie à ANDRAMASINA**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Pluie(mm) 2006	199,5	110,5	240,9	17,7	6,8	5,6	20,2	2,1	9,1	53,1	218,6	228,9
Pluie(mm) 2007	522,2	375,7	99,4	45	25,5	1	21,1	0,6	6,4	78,8	175,7	253
Pluie(mm) 2008	254,2	288,8	99,7	64,6	12,7	9,5	5,4	0	55,4	71,4	278	N
Pluie(mm) 2009	298,4	347,1	172,9	131	0,2	0,1	1,4	6,3	0,7	119,7	86,1	254,6
Pluie(mm) 2010	181,4	72,7	212,1	1,7	15	11,9	2,3	2,5	N	22	109,4	73,9

moyennes mensuelles à Andramasina durant 2006 jusqu'à 2010

**Tableau 10 Evolution de la température minimum et maximum à Andramasina**

2006	Temp max	26,9	27,1	27,3	26,1	25	22,4	20,7	22,1	24,2	26	27,8	26,9
	Temp min	16,8	17,3	16,9	15,5	13,4	10,9	10,7	10,6	12	13,2	15,6	17,2
2007	Temp max	26,2	26,5	26,6	25,5	23,4	21,1	21	22,2	23,6	25,8	28	27,8
	Temp min	17,7	17,8	16,5	19,8	14,2	9,2	11,3	10,3	12,7	12,7	15,5	16,3
2008	Temp max	27,2	25,7	26	26,1	22,9	21,2	19,9	N	25,5	26,4	27,1	N
	Temp min	17,2	17,4	16	15,3	12,4	10,3	9,8	N	12,4	13,3	16,18	N
2009	Temp max	28,3	26,8	27,6	24,5	24,8	23,1	20,8	N	25	26,5	27,7	27,5
	Temp min	17,9	16,8	17,4	15,9	12,7	11,1	10,5	11,7	12,9	14,5	15,6	16,9
2010	Temp max	27,2	27,6	27,7	26,6	25,6	22,1	20,7	21,4	25,7	28,6	27	N
	Temp min	18	17,7	18	15,7	14,3	12,4	10,2	10,2	10,7	10,8	14,3	15



*Source : Direction des exploitations météorologiques, 2012*

**Figure 10** Graphique des températures mensuelles et des pluviométries moyennes mensuelles à la station Andramasina

Nous pouvons constater une tendance croissante de la température au fil de ces 5 dernières années, selon l’avis des techniciens au service de météorologie d’Ampandrianomby, cette tendance peut être expliquée par le réchauffement climatique qui est donc d’envergure mondiale. En 5 ans nous avons une augmentation aux alentours de 1°C.

Ce graphique nous montre aussi que la quantité de pluie varie d’année en année de 2006 à 2009, et présente une très forte décroissance en 2010. Ceci pouvant être provoquée par le non-respect de l’environnement surtout de la destruction massive de la faune, suivi de l’augmentation de la température.

**Remarque** : certaines valeurs dans le tableau sont vacantes celles-ci depuis la source, représentées par N.

L'application de la méthode du bilan hydrique est limitée par la difficulté de quantifier les variables. Effectivement, les processus hydrologiques sont difficiles à observer directement sur le terrain et donc à mesurer. Notons que les erreurs de mesure éventuelles des termes qu'on retrouve dans l'équation hydrologique simplifiée se répercutent directement sur les valeurs calculées de l'évaporation. Devant ces imprécisions, on suggère l'emploi de cette méthode dans le cas d'un avant-projet par exemple, pour vérifier l'état du système et surtout la validité (la fiabilité) des mesures qui le décrit.

### III.2 ANALYSE PLUVIOMETRIQUE

#### III-2-1 PLUVIOMETRIE ANNUELLE ET MENSUELLE

##### ➤ Courbe isohyète

Les pluviométries moyennes annuelles pour la station d'Antananarivo, d'Ambatofotsy et d'Andramasina permettent de percevoir l'évolution spatiale de la pluviométrie et de tracer les courbes isohyètes suivantes :

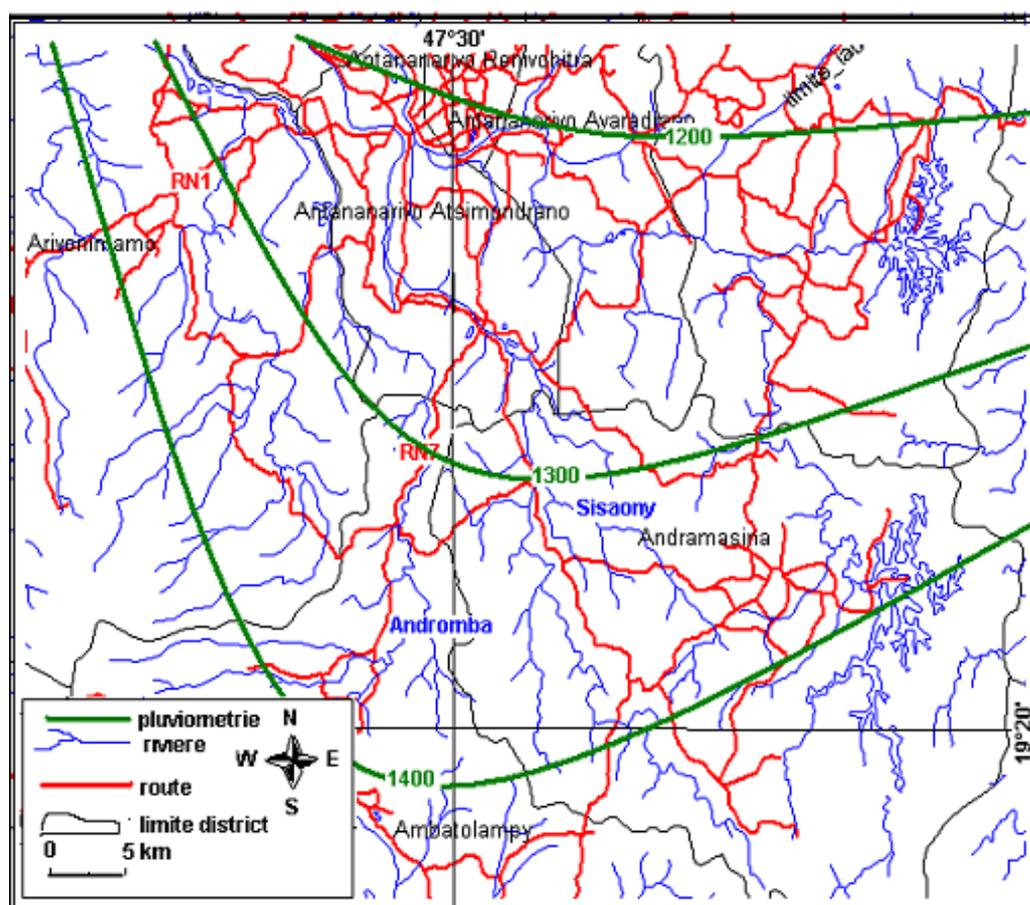


Figure 11 Courbes pluviométriques

### ➤ **Interprétation**

Généralement, ces courbes montrent qu'il y a une diminution de la quantité de pluie quand on va vers le Nord, c'est-à-dire vers l'Aval du bassin. Cela conduit à admettre que c'est du bassin Amont que proviennent les apports les plus importants.

Le climat dans les Hautes Terres Centrales se divise en deux principales saisons :

- la saison fraîche en hiver austral (le mois d'avril au mois d'octobre) ;
- la saison chaude le reste de l'année.

La différence essentielle entre ces deux saisons résulte de l'intervention de la zone de basses pressions intertropicales en saison chaude. La région concernée suit ce régime de climat frais entre avril et septembre, la chaleur et la pluie caractérisent la saison d'octobre au mois de mars. Toutefois, il faut remarquer qu'en hiver, la partie orientale est fraîche et humide. La partie occidentale présente un climat frais et sec à la même saison. Les températures moyennes restent toujours inférieures à 20°C et les températures maximales moyennes atteignent à peine 25°C. C'est donc une zone où les températures sont modérées pendant la saison chaude, fraîche à froide suivant l'altitude durant les hivers australs.

### ➤ **La pluviométrie**

Les moyennes mensuelles de quantité de pluie permettent de distribuer la pluviométrie pendant la saison de pluie :

**Tableau 12 Les quantités de pluie pendant la saison de pluie**

	Octobre à avril	Décembre à mars	Octobre, novembre et Avril
Ambatofotsy(%)	95,79	81,81	13,96
Andramasina(%)	92,05	76,97	15,08

### ➤ **Interprétation**

Sur les 4 mois, décembre à mars, sont concentrés environ 80% de la pluviométrie. C'est pendant cette période que l'on devrait voir la formation de fortes crues. Les mois d'octobre et de novembre servent à saturer les nappes souterraines qui alimentent les sources de la rivière. Les pluies qui tombent à partir du mois de mars trouvent un sol à très faible absorption donc à coefficients de ruissellement élevés.

### III.3 ETUDE COMPARATIVE ENTRE PLUVIOMETRIE ET TEMPERATURE

**Tableau 13 Evolution de la température mensuelle de la région**

Températures	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	
Année 2000	T°max	26,6	25,3	24,8	26,5	24,9	20,7	19,8	21,4	23,9	26,6	25,5	26,3
	T°min	17,1	16,6	16,1	15,7	13,9	11,8	11,2	10,7	11,0	13,6	15,4	17,1
	T°Moy	21,9	21,0	20,5	21,1	19,4	16,3	15,5	16,1	17,5	20,1	20,5	21,7
Année 2001	T°max	26,3	27,0	26,5	26,5	24,5	21,3	20,9	21,9	25,2	24,9	27,2	28,4
	T°min	17,9	17,3	17,1	15,7	13,9	11,1	10,8	12,5	12,5	14,0	15,1	17,4
	T°Moy	22,1	22,2	21,8	21,1	19,2	16,2	15,9	17,2	18,9	19,5	21,2	22,9
Année 2002	T°max	27,9	26,0	26,1	23,5	22,6	20,4	22,0	20,2	24,3	25,4	27,8	26,9
	T°min	16,9	17,7	17,6	15,8	14,4	11,8	10,7	10,7	12,2	13,8	16,3	17,1
	T°Moy	22,4	21,9	21,9	19,7	18,5	16,1	16,4	15,5	18,3	19,6	22,1	22,0
Année 2003	T°max	25,7	26,3	26,2	26,2	25,2	21,7	20,1	22,0	23,0	27,6	27,5	27,4
	T°min	17,8	17,2	17,2	15,9	15,7	11,2	10,7	10,5	12,5	14,1	16,2	17,2
	T°Moy	21,7	21,7	21,7	21,0	20,4	16,4	15,4	16,2	17,7	20,8	21,8	22,3
Année 2004	T°max	26,8	26,0	24,5	25,8	23,0	20,1	21,6	22,5	24,6	26,4	26,3	26,0
	T°min	17,8	17,5	17,0	15,5	13,2	11,1	11,2	11,2	13,7	15,6	15,4	17,2
	T°Moy	22,3	21,7	20,7	20,6	18,1	15,6	16,4	16,8	19,1	21,0	20,8	21,6
Année 2005	T°max	26,7	27,7	27,0	26,3	22,8	21,9	20,5	21,0	21,1	24,8	24,1	27,4
	T°min	17,6	17,9	17,6	16,1	14,2	12,5	10,4	10,7	11,6	13,5	15,3	17,4
	T°Moy	22,1	20,3	22,3	21,2	18,5	17,2	14,4	15,8	16,3	19,1	19,7	22,4

Source : Direction de la Météorologie et de l'Hydrologie d'Antananarivo – Ampandrianomby

La température moyenne de la région se situe entre 14,4 et 22,9°C de 2000 à 2005. La température moyenne maxima est de 22,9°C tandis que le minima est de 14,4°C

**Tableau 14 présentation de la pluviométrie annuelle en 2001-2011**

Pluviométrie annuelle											
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Novembre	51,5	105,5	183,5	133,5	241	117,5	9	162,5	80,5	62,5	
décembre	271	299,5	100,5	448,5	478,5	241	84,5	13,5	157,5	181,92	
Janvier	43,5	241	598,5	349,5	326,5	43,5	459,5	157,5	205,1	224,61	129,75
Février	31	383,5	237	331	305	73	396,5	214,5	533,32	49,4	104,23
Mars	140	127,5	299	323,5	22,5	81	169	2,5	102,8	283,66	101,29
Avril	23	138	33	90	140	48	24	4	114,6	0	159,7
Mai	4,5	111,5	35	14,5	23	9	32	0,5	2,1	0	18,79
Juin	2,5	8	10	1	7	14	0	3,5	0	0	
Juillet	11	6,5	18	7	1	57	0,5	2,5	3,7	0	
Août	34	14	4,5	72	0	2	0,5	0	8,3	0	
Septembre	2,5	37,5	35,5	27	0	2	0,5	22	2	0	
Octobre	13	25	34,5	36	2,5	11,5	2	27,5	85,4	38,2	
Précipitation annuelle	1415,08	1710,12	1535,5	1409,52	1060,49	1443,12	1060,01	528,05	1233,322	833,872	758,18
Moyenne Précipitation	52,292	124,792	132,417	152,792	128,917	58,292	98,167	50,875	107,943	70,024	102,752

Source : Direction de la Météorologie et de l'Hydrologie d'Antananarivo Ampandrianomby

### III.4 RESOURCES EN EAU DISPONIBLE

Les ressources en eaux de surface comprennent d'une part les eaux des cinq grands cours d'eau (Ikopa, Sisaony, Andromba, Katsaoka et Mamba) qui convergent à moins de 20km au Nord-Ouest d'Antananarivo et sur certains points de leur parcours ; toutes ces rivières passent beaucoup plus près des agglomérations et d'autre part, les eaux des grands lacs Mantsoa, Tsiacompaniry, Mandrozeza .

Si l'on envisage de s'utiliser les eaux de rivières que Sisaony pour subvenir aux besoins, le point de prélèvement doit être proche du secteur à desservir et la demande doit rester très modique vis-à-vis du débit d'étiage de la rivière concernée.

La Sisaony et la Mamba, avec respectivement des débits d'étiage moyens de 0,1 et 0,0 m<sup>3</sup>/n'offrent pas de sécurité pour une alimentation régulière. Seule l'Andromba, avec un débit d'étiage moyen de 0,4 m<sup>3</sup>/s offre quelque garantie pour une exploitation qui n'excéderait pas une centaine de litre par seconde.

## **PARTIE IV : GESTION INTEGREE DE LA RESSOURCE EN EAU (GIRE)**

Notre pays dispose de ressources en eau très importantes mais inégalement réparties. Prenons le cas de sud(Tuléar), pendant la période de crue l'eau n'est pas assez abondante et la région risque d'être inondée alors qu'en période sèche, la même région souffre terriblement d'un manque d'eau. Ce problème se présente malheureusement dans d'autres régions de la Grande Ile. C'est donc une des raisons du besoin de gérer l'eau : protection, assainissement, conservation de la ressource en eau et sa mise en valeur.

En cas de limitation des ressources en eau disponibles, priorité est donnée à l'approvisionnement en eau potable tenant compte des normes de consommation retenues dans le code de l'eau. Ensuite, l'eau d'irrigation nécessaire à l'agriculture peut provenir des eaux de surface ou des eaux souterraines les installations respectant les normes de débit spécifique utiles aux cultures, fixées par décret. Les quantités d'eau prélevées ne doivent pas léser les autres utilisateurs. Tout projet d'irrigation initié par une personne morale ou physique de droit privé requiert l'avis de l'Autorité Nationale de l'Eau et de l'Assainissement (ANDEA) en ce qui concerne l'utilisation des ressources en eau aussi bien de surface que souterraines. Enfin, pour l'utilisation de l'hydroélectricité, des dispositions réglementaires définiront les conditions techniques d'aménagement des centrales, lesquelles feront préalablement l'objet d'étude d'impact conformément à la loi N° 90.003 du 21 décembre 1990 portant Charte de l'Environnement.

### **IV.1 l'ANDEA**

Tout d'abord l'ANDEA (Autorité Nationale De l'Eau et de l'Assainissement) est un organisme public opérant dans le secteur de l'eau et de l'assainissement. Elle a pour rôle de :

- assurer la mise en œuvre de la GIRE ;
- assurer le développement rationnel du secteur de l'eau et de l'assainissement

Ensuite, elle exerce sa mission en étroite collaboration avec les différents départements concernés. Elle est placée sous la tutelle technique et administrative du Ministère chargé de l'eau et sous la tutelle financière du Ministère chargé de l'économie et des finances. Les décrets, pris en conseil de Gouvernement, déterminent les attributions et le fonctionnement de l'ANDEA. Enfin, elle est l'unique interlocuteur de tous les intervenants en matière de ressources en eau. Les relations de ladite Autorité avec les différentes structures gouvernementales, les régions autonomes et autres collectivités ainsi que les intervenants extra-étatiques seront précisées dans le cadre de décret.

## **IV.2 ETUDE DE LA RIVIERE SISAONY**

### **IV.2.1 CARACTERISTIQUES DE LA RIVIERE**

La rivière Sisaony se trouve dans la province d'Antananarivo et fait partie des rivières qui se jettent dans la rivière Ikopa, en tant que confluent. Elle draine les régions d'Antananarivo Atsimondrano et d'Andramasina ayant respectivement une surface de 379 km<sup>2</sup> et de 1416 km<sup>2</sup>.

Plus précisément, Sisaony couvre plus des deux tiers de ces surfaces. C'est-à-dire, elle traverse des bassins ayant chacun des surfaces de 318 km<sup>2</sup> à Andramasina, 630 km<sup>2</sup> à Ambatofotsy et 726 km<sup>2</sup> à Ampitatafika. La Sisaony est une rivière permanente et sa longueur maximale est de 100,475 Km.

En général, la période des crues se situe du mois de janvier au mois de mars, et celle de l'étiage du mois d'août et mois de septembre. A l'entrée de la ville d'Andramasina, tout près de la station pluviométrique, la rivière Sisaony se caractérise par la présence d'une cascade d'eau de 30 à 40 m de hauteur. Cf. figures 12.

### **IV.2.1 LES STATIONS**

La rivière Sisaony possède deux stations pluviométriques, l'une à Andramasina et l'autre à Ambatofotsy et aussi trois stations hydrauliques à Andramasina, à Ambatofotsy et à Ampitatafika, sous la responsabilité de l'Autorité pour la Protection contre les Inondations de la Plaine d'Antananarivo (APIPA) et de la Direction de la Météorologie et de l'Hydrologie.

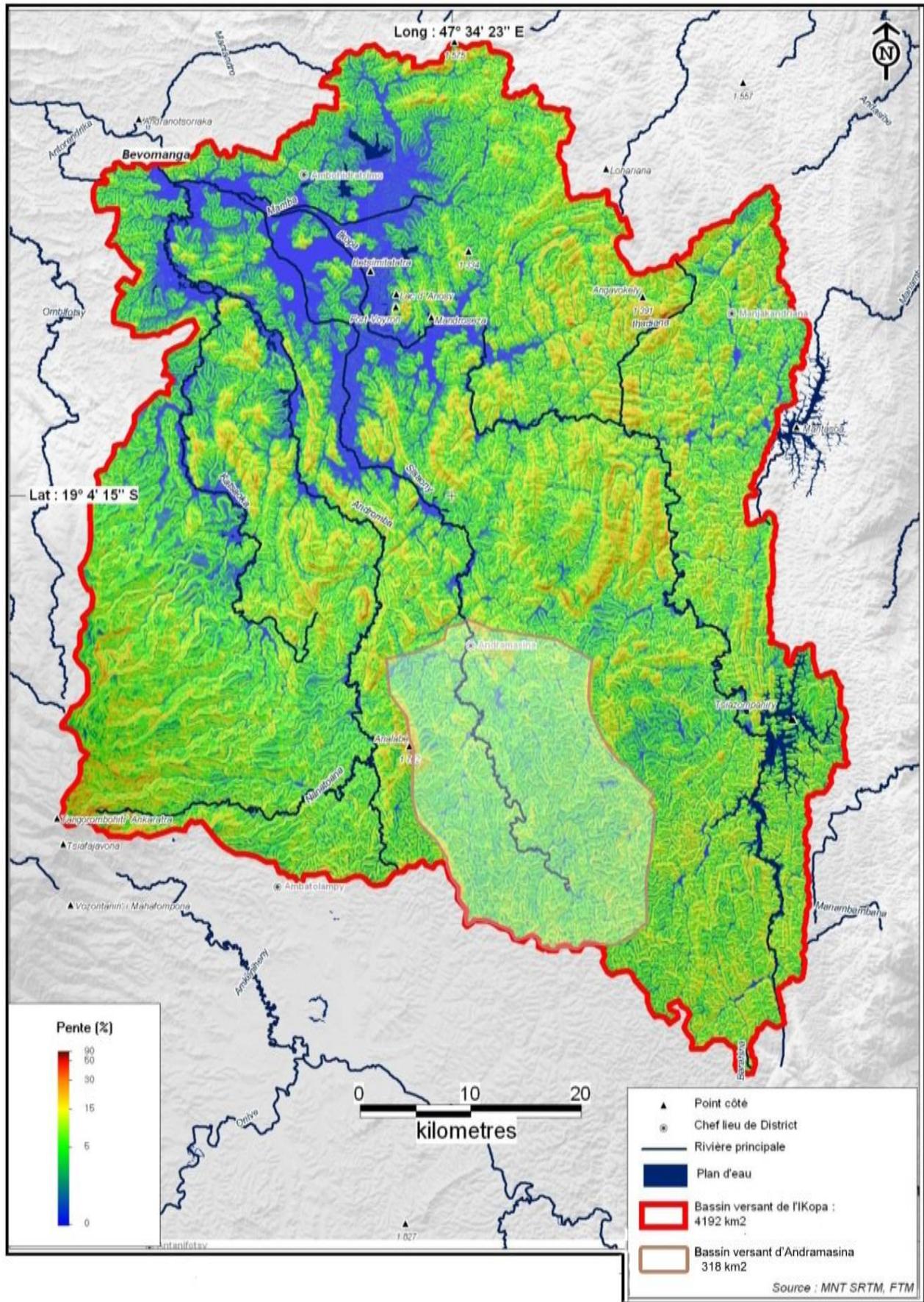


Figure 12 Localisation du bassin versant d'Andramasina

## IV.2.2 CYCLE DE L'EAU

Les eaux de puits font parties des eaux souterraines donc de l'infiltration des eaux de précipitations. Ce dynamisme de l'eau est représenté par le cycle de l'eau.



Figure 13 Cycle de l'eau

### IV.2.3.1 Définition

L'eau, c'est l'élément sous trois formes (liquide, gazeuse en vapeur, solide en glace), parcourt un cycle éternel. L'évaporation lente et incessante des fleuves, des lacs et des mers provoque la formation dans l'atmosphère des nuages qui, par condensation, se transforment en pluie. Une fraction des eaux de pluie ruisselle à la surface de la terre et va grossir les cours d'eau et les lacs, d'où elle est sujette d'une part à l'évaporation, d'autre part à l'infiltration à travers le sol. Les eaux infiltrées sont reprises en partie par la végétation, qu'elles alimentent avant d'être rejetées dans l'atmosphère, et en partie s'accumulent dans le sous-sol pour former des nappes d'eau souterraine, processus appelé alimentation ou recharge. Cette séquence peut s'étendre sur des dizaines de kilomètres. Et c'est tout au long de ce parcours à travers les différentes formations géologiques, appelées aquifères, qu'elle peut être exploitée par des ouvrages de captage pour

satisfaire les besoins en eau des utilisateurs. S'écoulant, ces eaux donnent naissance aux sources qui émergent à la surface du sol.

#### **IV.2.3.2 L'aquifère**

Un aquifère est défini comme une formation géologique souterraine, formée de roches poreuses ou fissurées, dans laquelle l'eau peut s'infiltrer, s'accumuler et circuler; le mot aquifère désigne à la fois le contenant (les roches) et son contenu (l'eau).

Les roches poreuses sont des aquifères composés d'agrégats de particules distinctes comme le sable et le gravier. L'eau souterraine occupe les vides interstitiels des grains à travers lesquels elle circule. Les milieux poreux où les grains ne sont pas reliés l'un à l'autre sont considérés comme meubles (le sable et le gravier). Si les grains sont cimentés les uns aux autres, ces aquifères sont dits consolidés. Les grès sont des exemples de milieux poreux consolidés.

Les roches fissurées sont des roches dans lesquelles l'eau souterraine circule à travers les fissures dans une roche solide. Exemples : le granite et le basalte. Les calcaires sont souvent des aquifères fissurés dans lesquels les fissures et les fractures peuvent être agrandies par dissolution, formant diverses cavités telles que les failles et galeries. Un terrain calcaire est aussi appelé terrain karstique. Les milieux poreux, comme le grès, peuvent présenter un degré si élevé de cimentation ou de recristallisation dont tous les espaces originaux sont remplis. Dans ce cas, la roche n'est plus un milieu poreux. Toutefois, si elle contient des fissures, elle peut encore assurer la fonction d'un aquifère fissurée. Certains matériaux très poreux ne sont pas perméables. L'argile, par exemple, comporte de nombreux interstices entre ses grains, mais ces vides interstitiels ne sont pas assez grands pour permettre le libre passage de l'eau.

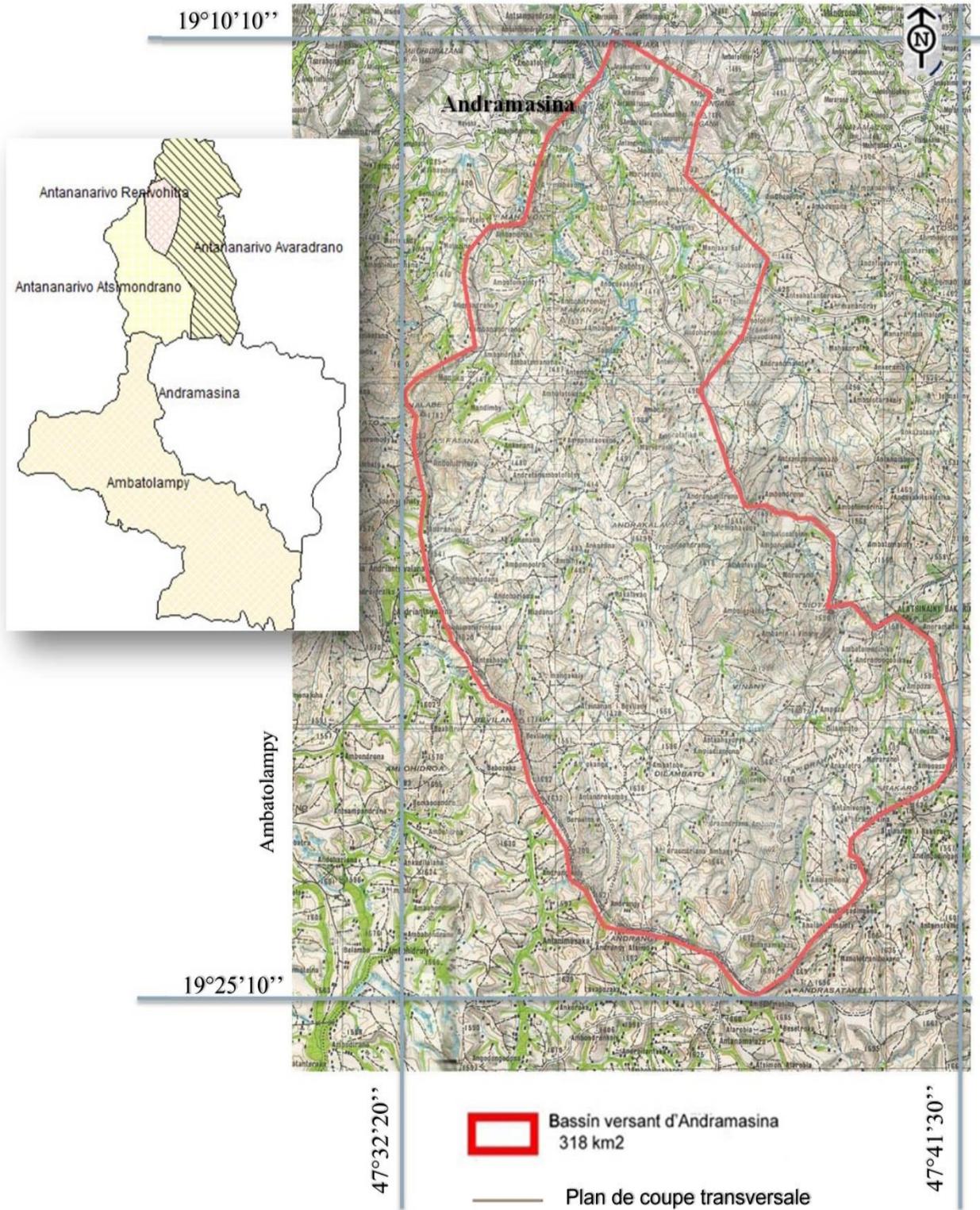
### **IV.2.3 LE BASSIN**

#### **IV.2.3.1 Définition d'un bassin versant**

En hydrologie, le terme bassin versant (ou bassin hydrographique) désigne le territoire sur lequel toutes les eaux de surface s'écoulent vers un même point appelé exutoire du bassin versant (comme SISAONY, IKOPA .....).

Ce territoire est délimité physiquement par la ligne suivant les crêtes des montagnes, des collines et des hauteurs du territoire, appelée ligne des crêtes ou ligne de partage des eaux. L'homologue souterrain du bassin versant est appelé bassin aquifère.

Vers Antananarivo



ECHELLE 1/100 000<sup>E</sup>

Figure 14 Profil du bassin versant d'Andramasina

Les ressources exploitables et renouvelables en eau douce se situent dans les lacs, les marais, les fleuves et les aquifères. Un bassin fluvial ou lacustre correspond à la zone réceptrice des précipitations qui alimentent un système de cours d'eau et de fleuves s'écoulant vers la même embouchure. Dans le cas des bassins fluviaux, il s'agit généralement de la mer, mais il peut s'agir d'un plan d'eau, tel qu'un lac ou un marais.

Pour un aquifère, le bassin correspond à la zone de réalimentation de la nappe. Le bassin est considéré comme une unité hydrologique pratique pour la gestion des ressources en eau. Les termes employés par différentes disciplines et différents pays varient : bassin, bassin hydrologique, bassin hydrographique. Cependant, nous retiendrons le terme 'bassin' pour ce manuel.

### IV.3 PLANS DE GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU

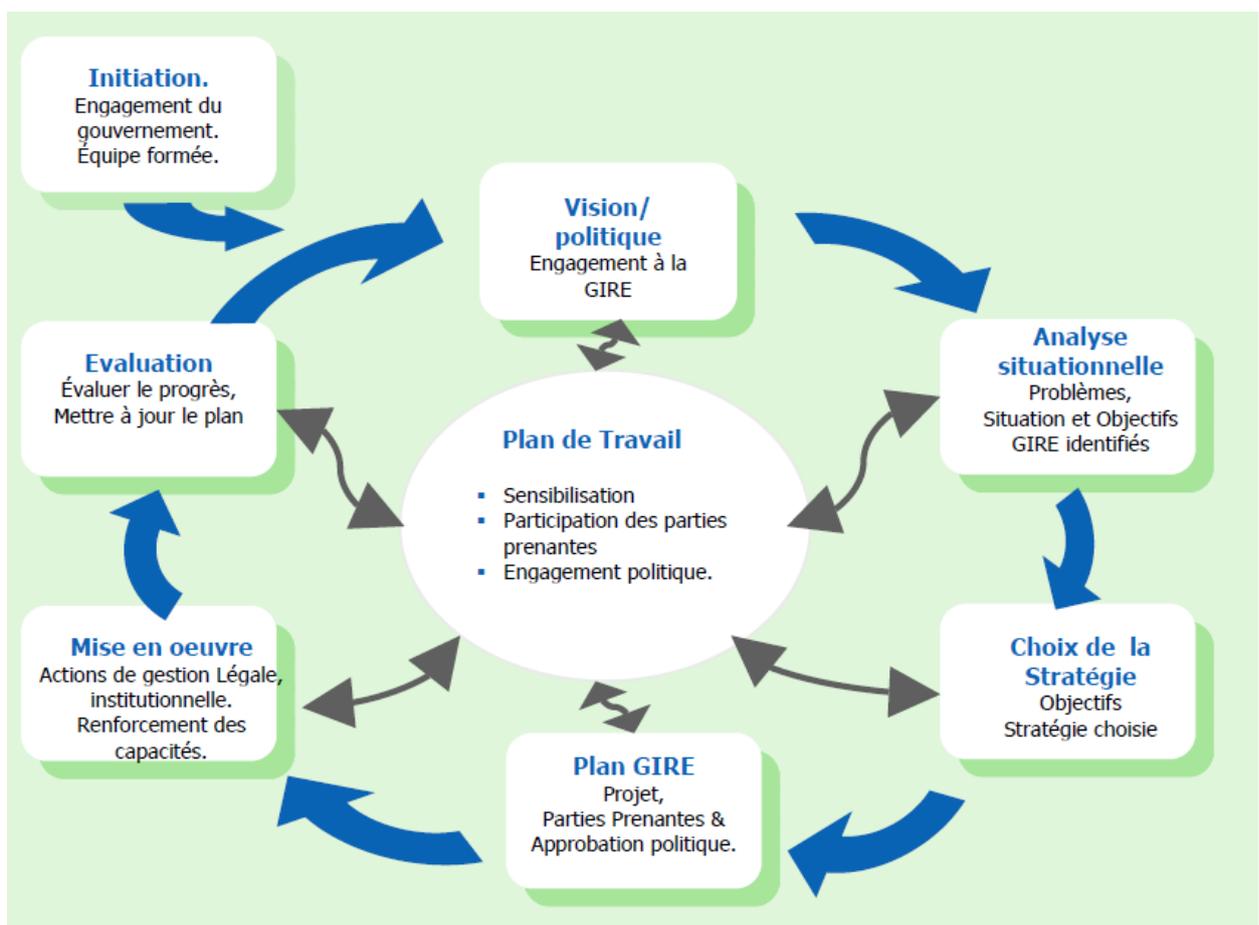


Figure 15 Plans de gestion intégrée des ressources en eau

#### IV.3.1 L'APPROCHE DE GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU

L'approche de gestion intégrée des ressources en eau contribue à la gestion et à l'aménagement durable et adaptés des ressources en eau, en prenant en compte les divers intérêts sociaux, économiques et environnementaux. Elle reconnaît les nombreux groupes d'intérêts divergents, les secteurs économiques qui utilisent et polluent l'eau, ainsi que les besoins de l'environnement.

L'approche intégrée permet de coordonner la gestion des ressources en eau pour l'ensemble des secteurs et groupes d'intérêt et à différents niveaux, du niveau local au niveau international. Elle met l'accent sur la participation des acteurs à tous les niveaux dans l'élaboration des textes juridiques, et privilégie la bonne gouvernance et les dispositions institutionnelles et réglementaires efficaces de façon à promouvoir des décisions plus équitables et viables. Un ensemble d'outils, tels que les évaluations sociales et environnementales, les instruments économiques et les systèmes d'information et de suivi soutiennent ce processus.

Le cadre institutionnel est complété par une série de parties prenantes du secteur y compris :

1. Les Agences d'exécution : des unités de projet comme FID, ACORDS, HIP, WSUP mais aussi des ONG (MEDAIR, GRET, PROTOS, VOAHAARY SALAMA.
2. Les Petits Opérateurs Privés (POP)
3. Les ONG qui interviennent, notamment en milieu rural, dans le cadre de prestations de services (études, IEC) ou dans l'exécution de travaux

Le cadre institutionnel définie alors le rôle de chaque organisme comme suit :

## DIRECTION GÉNÉRALE DE L'EAU

- Conception et mise en oeuvre de la politique sectorielle.
- Planification et coordination au niveau national.

## ANDEA

- Gestion intégrée des ressources en eau.
- Gestion des conflits d'utilisation des ressources en eau, approbation des demandes d'exploitation, fixation des redevances,
- Gestion du Fonds National des Ressources en Eau, plan hydraulique national

## SOREA

- Régulation du secteur:  
Qualité du service des opérateurs privés, principes de tarification, approbation du tarif avec le maître d'ouvrage.

## SOCIÉTÉ DE PATRIMOINE.

- Développement et mise en valeur des systèmes d'eau et d'assainissement. Planification des investissements, financement des programmes de réhabilitation, renouvellement et développement des systèmes, comptabilité patrimoniale, contrôle du respect des contrats de délégation, formation des communes

Au niveau des différents régions de Madagascar, une branche de direction a été mise en place. Elle est toujours rattaché au ministère de l'eau.



### IV.3.2 LA GESTION PAR BASSIN

La politique relative à l'exploitation et la protection des ressources en eau d'un pays sont définie par le gouvernement national. Bien que la mise en œuvre de cette politique s'effectue à plusieurs niveaux, il est possible, lorsqu'elle est appliquée à l'échelle du bassin, d'apporter des solutions adaptées à l'ensemble du bassin et de résoudre les conflits amont / aval (dans le cas d'un fleuve) ou entre régions (dans le cas d'un lac ou des nappes souterraines).

Une approche par bassin permet d'appréhender le système hydrographique dans son ensemble. En d'autres termes, la politique nationale ainsi que les accords internationaux et les conventions régionales sur les eaux transfrontalières peuvent être appliqués dans les bassins. La relation entre l'administration des ressources en eau d'un pays et la gestion de l'eau des bassins deviennent ainsi dynamiques et plus adaptables à l'évolution des circonstances environnementales, sociales et économiques.

### IV.3.3 L'ORGANISME DE BASSIN

Le terme 'organisme de bassin' est employé comme terme générique et se réfère à tous les types d'institutions de bassin. Il peut s'agir d'organisations formelles plus ou moins importantes ou simplement de groupements informels. La fonction et la mission des organismes de bassin varient en fonction des mandats et dispositions légales retenus lors de leur création.

Les Rôles et types d'organismes de bassin décrivent les principaux types d'organismes de bassin. Cependant, il faut garder à l'esprit que certains organismes de bassin n'entrent pas totalement dans ces catégories. Ils évoluent également en fonction des circonstances, et avec le temps. Le manuel traite principalement du renforcement des organismes de bassin formels dont l'établissement a été décidé par les lois nationales ou des traités internationaux.

#### **IV.4 PROBLEMES ET DEFIS AUXQUELS SONT CONFRONTES LES GESTIONNAIRES DE L'EAU**

Les défis de l'eau que nous devons relever ont fait l'objet de nombreuses publications. Nous nous concentrons ici sur les principaux problèmes concernant la gestion par bassin.

Il est important de voir l'eau sous ses aspects à la fois positifs et négatifs. L'eau est, d'une part, essentielle à la vie humaine, animale et végétale. Elle soutient les activités productives, l'agriculture, l'hydro-électricité, l'industrie, la pêche, le tourisme, le transport par exemple.

L'eau peut, d'autre part, provoquer des ravages extrêmes, elle peut être porteuse de maladies et inonder de vastes zones. Un manque d'eau ou une sécheresse prolongée peut faire de nombreuses victimes et entraîner une récession. L'eau peut également causer ou aggraver des conflits entre les communautés riveraines d'un bassin local, national ou transfrontalier.

Nous devons également comprendre la façon dont la société utilise et pollue l'eau, ou altère l'hydromorphologie des cours d'eau. Ceci modifie la quantité et la qualité de l'eau dans les écosystèmes qui, outre leur valeur intrinsèque, apportent des 'services naturels' essentiels et précieux au bien-être de l'homme.

De nombreux pays en voie de développement sont confrontés à une dégradation des ressources en eau douce, en termes de quantité et de qualité, et des écosystèmes aquatiques. Cette situation a pour conséquence une réduction des bienfaits et services apportés par les ressources en eau, ainsi qu'une augmentation des risques et dangers liés à l'eau. Des facteurs tels que la croissance et les changements démographiques, le développement économique et le changement climatique ont à l'évidence un impact très important sur les ressources en eau. De même, les ressources en eau ont un impact significatif sur la production et la croissance économique, santé et les moyens d'existence et sur la sécurité nationale. Compte tenu de l'intensification des pressions exercées sur les ressources en eau, il est essentiel de gérer convenablement l'eau douce renouvelable. Cette gestion devient, cependant, de plus en plus complexe et conflictuelle.

La gestion de l'eau a, dans de nombreuses régions du monde, toujours constitué un problème important en raison de la variabilité et de l'incertitude naturelles du climat. Une aggravation des problèmes est probable en raison du changement climatique. Le changement climatique entraînera, dans certains bassins, une diminution des précipitations et des débits des fleuves, alors qu'il provoquera une augmentation de la fréquence et de la force des inondations dans d'autres.

Ces changements seront exacerbés par d'autres variations, telles que la croissance démographique et économique, l'urbanisation et l'augmentation de la demande de produits alimentaires qui accroissent les besoins en eau et dégradent les cours d'eau et aquifères des bassins déjà confrontés à une pénurie d'eau. Les changements observés dans le bassin des fleuves d'Antananarivo illustrent parfaitement cette situation.

#### **IV.5 VOLONTE POLITIQUE ET SYSTEMES DE GESTION PAR BASSIN**

La volonté politique rend possible l'élaboration des politiques, des lois et des modalités de financement, ainsi que la mise en place d'institutions publiques stables dans le domaine de la gestion de l'eau. Elle contribue également à un meilleur fonctionnement des règles et des institutions qui régissent l'eau, même en temps de troubles sociaux et de changement de Gouvernement.

Compte tenu de l'importance de la volonté politique, il est impératif d'impliquer les décideurs, de leur expliquer ce que signifie la gestion intégrée des ressources en eau et pourquoi elle est importante, en vue d'obtenir leur soutien et leur engagement.

Malgré l'importance d'associer les dirigeants politiques, une approche intégrée ne peut réussir si la gestion de l'eau repose uniquement sur une approche hiérarchisée et si elle exclut la participation des acteurs de l'eau. En effet, la GIRE implique la participation à la gestion du bassin des personnes intéressées ou qui seront affectées par les décisions relatives aux ressources en eau, ainsi que le libre accès aux informations. La liberté d'information est essentielle à l'identification de solutions adaptées. Il est par conséquent difficile d'appliquer l'approche GIRE lorsqu'il n'y a pas de transparence ou d'obligation de rendre des comptes, lorsque les personnes affectées sont exclues ou lorsque la corruption est endémique.

Cela ne signifie pas pour autant qu'il est préférable d'abandonner l'approche GIRE dans les sociétés hiérarchisées. Il convient, dans ces situations, de procéder par étapes. Les premières étapes peuvent, par exemple, consister à réunir les acteurs de l'eau et à identifier les préoccupations communes pour lesquelles des actions doivent être menées. Une fois les problèmes identifiés, les étapes suivantes peuvent inclure la collecte et l'échange d'informations, puis la présentation de propositions au Gouvernement pour son approbation.

#### **IV.6 BASSIN VERSANT D'ANDRAMASINA : METTRE EN PLACE LE CADRE DE GESTION DE L'EAU**

Le Bassin Versant d'ANDRAMASINA devrait faire l'objet de statut, l'organigramme des ressources humaines et financières, mécanismes financiers, systèmes de coordination entre pays et les processus de planification nécessaires à l'établissement de l'Autorité de bassin.

Ces éléments ont tenu compte des stratégies nationales de gestion des ressources en eau des six Etats membres et des programmes des agences de développement, telles que la Banque africaine de développement, la Banque mondiale, le Fonds français pour l'environnement mondial et d'autres bailleurs de façon à assurer une synergie entre les différents intervenants et à élaborer un plan d'actions adaptés.

Il est possible de prendre les mesures suivantes si le cadre de gestion de l'eau n'est pas satisfaisant ou si certains éléments ne sont pas réunis :

- réaliser un inventaire de l'état des ressources en eau et des écosystèmes ;et en constituer une base de données.
- évaluer les besoins et les priorités d'intervention ;
- identifier les acteurs concernés pour l'ensemble des secteurs de l'eau et du développement, qu'il est nécessaire d'associer à la gestion ;
- définir des systèmes d'échange des connaissances, des données et de l'information
- établir des mécanismes visant à coordonner la prise de décisions entre les différents niveaux et acteurs ;
- encourager le dialogue entre les acteurs de l'eau ;
- préciser les processus d'allocation de l'eau ;
- réduire la pollution de l'eau et restaurer les écosystèmes ;
- lutter contre les inondations et les sécheresses (variabilité climatique);
- et assurer le financement de la gestion de l'eau.

#### IV.6.1 ROLES ET TYPES D'ORGANISMES DE BASSIN

Le terme 'organisme de bassin', se réfère à toute entité formelle ou informelle gérant les ressources en eaux à l'échelle du bassin. Les types d'organismes de bassin varient en fonction de leur mission, des systèmes juridiques et administratifs, et des ressources humaines et financières. Il s'agit souvent, mais pas uniquement, d'entités juridiques formelles. Par ailleurs, des dispositions moins formelles peuvent convenir également dans certains cas. Cependant, quelle que soit l'option retenue, les organismes de bassin sont chargés de missions de service public.

Même si les organismes de bassin formels font partie du secteur public, il est nécessaire qu'ils impliquent une grande diversité d'acteurs de l'eau, de groupes communautaires, de secteurs économiques, d'organisations non gouvernementales et d'entreprises privées de façon à gérer l'eau de manière efficace .

#### IV.6.2 ROLES DES ORGANISMES DE BASSIN

Les organismes de bassin doivent jouer un rôle primordial de coordination de la gestion du bassin. En tant qu'acteur principal en ce qui concerne les questions d'eau à l'échelle du bassin, ils doivent viser à avoir une vue d'ensemble. Ceci implique d'informer et d'associer l'ensemble des membres de la communauté du bassin et les décideurs publics et privés, quels que soient leurs secteurs et à tous les niveaux.

Les organismes de bassin peuvent prendre de nombreuses formes, comme celles d'organismes officiels décisionnels et/ou organismes consultatifs, organismes de gestion, entités de développement ou organismes de régulation. Ils interviennent fréquemment conjointement avec les autres agences gouvernementales et organismes administratifs. Dans ce cas, les responsabilités en termes de gestion, de réglementation et de fourniture de services doivent être assignées clairement entre ces différentes agences de façon à rationaliser leur action et en assurer facilement le suivi.

##### **IV.6.2.1 Régulation (ministère ou autre autorité gouvernementale)**

- Ils élaborent des dispositions législatives financières ;
- établissent des normes de qualité et des instructions ;
- élaborent et met en œuvre les réglementations ;
- autorisent et contrôlent les prélèvements et rejets, ainsi que les ouvrages modifiant les écosystèmes et le débit des fleuves ;
- vérifient les activités des acteurs du secteur de l'eau afin de veiller au respect des règles.

#### **IV.6.2.2 Gestion (gestionnaire de ressources naturelles ou agence de bassin)**

- Ils réalisent des évaluations stratégiques des ressources en eau ;
- élabore des politiques et stratégies en vue de répondre aux objectifs et normes au niveau régional ou national ;
- mène et supervise des recherches stratégiques sur l'eau ;
- planifie l'aménagement des ressources en eau ;
- répartit l'eau ;
- perçoit des redevances ou des droits pour l'usage des ressources en eau ;
- financent les plans d'action du bassin ;
- gèrent la quantité et la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines ;
- coordonnent les actions menées par plusieurs agences avec les actions communautaires ;
- élabore des programmes de renforcement des compétences des acteurs du secteur.

#### **IV.6.2.3 Protection de la ressource en eau sur le bassin versant de Sisaony**

Dans le but de préserver et protéger cette ressource destinée à l'alimentation en eau potable de la population des régions voisines, il s'est avéré nécessaire de mettre en place des périmètres de protection.

Il s'agit des :

- ✚ Périètre de protection immédiat
- ✚ Périètre de protection rapproché
- ✚ Périètre de protection éloigné

L'objectif sera de protéger la ressource en eau en protégeant l'environnement aux voisinages du barrage et du lac créé et dans tout le bassin versant de la Sisaony engendrant en Amont de l'exutoire mais aussi en Aval.

Le périmètre de protections à établir pour un barrage peut être classé en quatre zones suivant sa distance par rapport au barrage :

## La zone I

Il faut créer et mettre en place une bande dite zone de non édification tout autour du lac.

## La zone II

C'est un périmètre de protection intermédiaire, son rôle sera répartie en deux, la première zone, annexe a la zone I, constituera toujours une espaces vertes, et la deuxième fera l'objet de périmètre de protection anthropogénique, ou marge sécuritaire pour la protection de l'eau contre les activités humaine.

Dans notre cas, la végétation conseillée pour préserver l'eau aux alentours du barrage est l'Ambrevade ou Amberovatry en Malagasy.



**Figure 16 Canjanus Indicus (l'Ambrevade ou Amberovatry)**

De son nom scientifique, Canjanus Indicus. C'est une espèce de plante vivace de la famille des Fabaceae. Aussi connue sous le nom de pois cajan ou le pois d'Angole, l'Ambrevade est une légumineuse à graine cultivée en agriculture pluviale dans les régions tropicales semi-arides.

En plus d'être une plante contribuant à la protection du sol contre l'érosion elle est aussi une culture vivrière (pois secs, farine, pois frais ou légumes verts) et une culture fourragère de couverture.

Les pois contiennent des niveaux élevés de protéines et d'importants acides aminés (méthionine, lysine et tryptophane). En combinaison avec des céréales, l'Ambrevade constitue une alimentation humaine équilibrée.

Ainsi, la zone II servira à la fois de périmètre de protection mais aussi de zone de culture pour la population locales.

### **La zone III :**

Cette zone III est celle qui on doit arrêter toutes les activités socio-économique comme les champs et les rizières en exploitation forestière dont l'effet est dégrader la ressource en eau débit et en qualité.

### **La zone IV :**

La zone la plus éloigné du barrage est principalement établie pour une protection contre les facteurs de pollution majeure. Elle est établie pour la protection de l'eau contre la pollution chimique due aux rejets des usines et autres. Elle couvre tout le bassin versant et ce en créant des courbes de niveau et en plantant des végétations fourragères comme le vétiver.

## CONCLUSION

Au terme de notre analyse, on peut conclure que le projet que vise la présente étude est de mettre en place un aménagement hydraulique sur la rivière Sisaony au niveau d'Andramasina de type barrage réservoir, afin que la ville d'Antananarivo et ces périphéries, la plaine agricole et tout autre utilisateur puissent observer d'une ressources en eau suffisante dans l'avenir suit (AEP et Assainissement, irrigation, besoins industriel, production d'énergie .....)

La gestion intégrée c'est la lutte contre la pauvreté passe nécessairement par la maîtrise de l'eau, c'est même une de ses composantes principale. L'étude s'est basée surtout sur la GIRE et de son impact environnemental. Et tandis qu'à partir d'étude de l'hydrologie on peut évaluer les débits et l'étude volume d'eau nécessaire dans la rivière Sisaony.

Les études réaliser se base surtout sur les formules établies par Louis Duret depuis 1976. Et qui sont toujours de rigueur pour la réalisation de travaux hydraulique pour Madagascar .Cette méthode s'avère nécessairement de faire connaître toutes l'hydrologie et son ressources en eau dans le site d'Andramasina. D'après l'étude, on constate que notre ressource est suffisamment très large par pressions. Il nous faut encore acquérir davantage d'informations fiables sur la qualité et la quantité d'eau disponible ainsi que sur la manière dont cette disponibilité varie dans le temps et d'un endroit à l'autre. Les activités humaines influent de bien des façons sur le cycle de l'eau, et leur impact doit être compris et quantifié afin de gérer les ressources en eau de manière responsable et durable.

Les débits que nous avons pu déterminer suivent en termes de débit (Q)

Le débit de crue confère naturel est :  $Q_c,100=460,139 \text{ m}^3$  et tandis que le débit d'étiage excédentaire  $Q_e,100=0,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Ces débits vont servir à la suite de l'étude.

# ANNEXES

## **Direction Générale du Ministère de l'Eau :**

### **Les outils de la GIRE et usages, son importance et impact du changement climatique**

La gestion de l'eau doit prendre en compte des diverses actions liées à l'eau et à des objectifs spécifiques et s'inscrit dans quatre dimensions : territoriale (frontière), stratégique (objectif), institutionnelle (autorité), et opérationnelle (instruments réglementaires, financiers, culturels, etc. ).

La nécessité d'une gestion de l'eau peut avoir diverses raisons : déficit ou excès d'eau, détérioration de la qualité, conflits entre différentes utilisations parfois rivales (eau potable, agriculture, industrie). L'eau est un facteur de développement socio-économique mais la quantité de l'eau peut poser divers problèmes. En effet, les problématiques de gestion de l'eau ont une forte connotation régionale, voire locale, en fonction des zones climatiques, de la variabilité spatiale des contaminations, des risques (sécheresse, tarissement, inondations, pollutions, érosion, incendie, ...), des pressions dues aux activités humaines (agriculture, élevage, pêche, exploitation minière, transport, source d'énergie, travaux de génie civil, ...).

Les outils de gestion de l'eau vont ainsi diverger selon les objectifs à atteindre : par exemple, optimisation de la demande et de l'approvisionnement dans le cas de stress hydrique, établissement de cartes de vulnérabilité et mise en place de zones de protection des captages pour ce qui concerne les problèmes de qualité, arbitrages politiques par des instances nationales pour le cas de conflits. Ainsi, une gestion intégrée de la ressource en eau doit être privilégiée, tenant compte à la fois des eaux de surface et souterraines, des objectifs d'approvisionnement et de qualité.

Divers instruments sont mis en place pour cette gestion intégrée de la ressource en eau :

- cadrage politique et stratégique avec une certaine logique,
- convention et engagements internationaux,
- priorisation au niveau des bailleurs,
- des outils juridiques : code de l'eau (décrets), textes sectoriels (gestion, étude d'impact, code minier, forestier)
- coordination à travers le Ministère de l'Eau,
- gestion et supervision : ANDEA et les agences de bassin
- des outils techniques et technologiques : BDD, schémas directeurs, manuel de procédures, plan de communication et de sensibilisation, partage et échanges d'expériences, ...

Le concept GIRE consiste à considérer :

- la vulnérabilité de l'eau,
- l'écosystème et l'habitat,
- les aspects de partage et droit d'usage : comprendre les enjeux à travers les priorisations et les arbitrages pour éviter les problèmes transfrontaliers (délimitation administrative),
- la gestion des conflits,
- la conjoncture actuelle liée aux impacts du changement climatique : après constat -> modification des régimes et bilan des ressources en eau, connaissance des manifestations des changements climatiques (prise de mesure et adaptation lors de catastrophe naturelle).

Pour avoir une bonne GIRE, il est indispensable de :

- connaître les ressources en eau à travers des inventaires : élaboration de base de données,
- mettre en place un système de suivi à travers les schémas directeurs : priorisation entre les différents secteurs (démarche pour le schéma directeur dans un bassin versant, référence bibliographique, ...),
- assurer la qualité et la quantité suffisante de l'eau,
- mettre en place les bassins versants et les captages d'eau à l'échelle nationale et internationale à travers les coopérations.

*Dr Alain J. RANDRIAMAHERISOA*  
*Directeur Général du Ministère de l'Eau*

## **ANDEA : Autorité Nationale de l'Eau et de l'Assainissement Le cadre institutionnel à Madagascar**

Régi par le décret n°2003-192 modifié par le décret 2004-532, l'ANDEA est un établissement public à caractère administratif doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière :

- Sous tutelle technique et administrative du Ministre chargé de l'Eau Potable, elle travaille en étroite collaboration avec les départements ministériels (Direction de l'Assainissement de la Gestion des Ressources en Eau DAGRE /SLC Min EAU...),
- Sous tutelle financière du Ministre chargé de l'économie et des Finances qui est son premier interlocuteur en matière de financement et qui octroie le visa en vue de l'approbation du budget-programme de l'ANDEA. L'ANDEA est en charge de la gestion Intégrée des ressources en eau et développement rationnel du secteur de l'eau et de l'assainissement : (i) évaluation des ressources en eau, (ii) élaboration de documents de politique et de stratégie de la GIRE, (iii) élaboration du Plan Directeur National, (iv) actions pour la mise en oeuvre du Plan Directeur National.

### **Les Agences de Bassin**

Elles sont créées dans chaque Chef-lieu de Faritany et sont des établissements publics à caractère administratif dotés de la personnalité morale et juridique et de l'autonomie administrative et financière, sous tutelle administrative et technique du Ministère chargé de l'Eau Potable et sous tutelle financière du Ministère chargé des Finances et du Budget. La délimitation des agences de bassin se fait par décret.

### **Missions des Agences de Bassin dans chaque chef-lieu de Faritany :**

Gestion des ressources en eau d'intérêt commun au Faritany : (i) élaboration du schéma directeur d'aménagement intégré des ressources en eau (SDAGIRE) avec la participation de l'ANDEA, (ii) animation et coordination de la politique de l'état en matière de police et de gestion des ressources en eau, (iii) appui aux comités de bassins dans l'élaboration des SDAGIREs : veille sur leur mise en oeuvre, (iv) facilitation des actions concernant la gestion des ressources en eau d'intérêt commun au Faritany.

### **Relation entre l'ANDEA et les Agences de Bassin**

*En termes de collaboration :*

- L'ANDEA coordonne les activités des Agences de Bassin: suivi et contrôle,
- Les Agences de Bassin transmettent à l'ANDEA et au Ministère chargé de l'eau des rapports annuels sur l'état de situation du domaine public de l'eau dans sa zone d'action.

*Indépendance et autonomie :*

Les deux structures sont indépendantes et autonomes:

- L'ANDEA est en charge de la GIRE au niveau national,
- tandis que les Agences de Bassin s'occupent de la GIRE au niveau des Faritany ;

Les Agences de Bassin ne sont pas des structures déconcentrées de l'ANDEA et il n'y a aucune hiérarchie entre elles.

### **A noter :**

- *Les Agences de bassin ne sont pas encore fonctionnelles, ainsi les personnes physiques ou morales, publiques ou privées utilisant les ressources en eau doivent régulariser leur situation auprès de l'ANDEA*
- *L'ANDEA est en phase de restructuration*
- *L'ANDEA : est l'unique interlocuteur en matière de ressources en eau*

**Mme Fernande RAZAFINDRAINONY**  
*Juriste au sein de l'ANDEA*

## **Le cadre législatif à Madagascar**

### **Les attributions de l'ANDEA selon le code de l'eau :**

- Domanialité de l'eau,
- Gestion et conservation des valeurs,
- Organisation du service public de l'eau potable et de l'assainissement collectif des eaux usées domestiques,
- Police des eaux : surveillance de la qualité de l'eau,
- Financement du secteur de l'eau et de l'assainissement (Redevances / FNRE),
- Organisation du secteur de l'eau et de l'Assainissement

### **Les autorisations d'utilisation de l'eau :**

- Aucune utilisation ne se fait sans l'autorisation de l'ANDEA,
- L'aménagement d'ouvrages de captage doit être précédé d'une enquête publique et d'une étude d'impact environnemental ou de l'approbation du PEE.

### **Les autorisations de déversement d'eau :**

- Tout déversement est soumis à une autorisation après une enquête publique,
- Toute personne qui détient ou produit des déchets de nature à produire des effets nocifs sur le sol, la biodiversité, l'air ou les eaux, est tenue d'assurer l'élimination ou le traitement,
- Tout pollueur doit envisager toute mesure propre à enrayer ou prévenir le danger (normes de rejet).

### **Les redevances et le taux de redevances**

L'assiette de la redevance de prélèvement est établie comme suit :

- Le prélèvement est constitué soit par le débit fictif autorisé soit par le volume mesuré par l'utilisateur,
- La redevance de prélèvement d'eau est constituée de trois parts : (i) redevance domaniale (utilisation du domaine public de l'eau), (ii) redevance proportionnelle (débit prélevé) et (iii) redevance de participation (participation aux coûts de mobilisation),
- Les redevances de déversements sont établies et perçues en fonction de la quantité de pollution produite un jour normal du mois de rejet. La redevance de prélèvement d'eau est due pour un débit supérieur à 1 mètre cube par heure (1 m<sup>3</sup>/h) et le taux est calculé comme suit :

Et la celle du rejet d'eaux usées : Ar 31/m<sup>3</sup> affecté d'un coefficient selon le degré de pollution ;

Une concertation avec le Ministère de l'Eau et les utilisateurs est en cours.

### **Le FNRE ou Fonds National pour les Ressources en Eau**

L'ANDEA peut recourir, au profit du secteur de l'eau et de l'assainissement, à des collectes, de dons et legs de toute nature, par des procédures réglementaires. Le FNRE a pour objectif de répondre aux besoins spécifiques de financement de la conservation, de la mobilisation et de la protection de la qualité des ressources en eau. L'ANDEA a la charge de mobiliser et de gérer ce fonds.

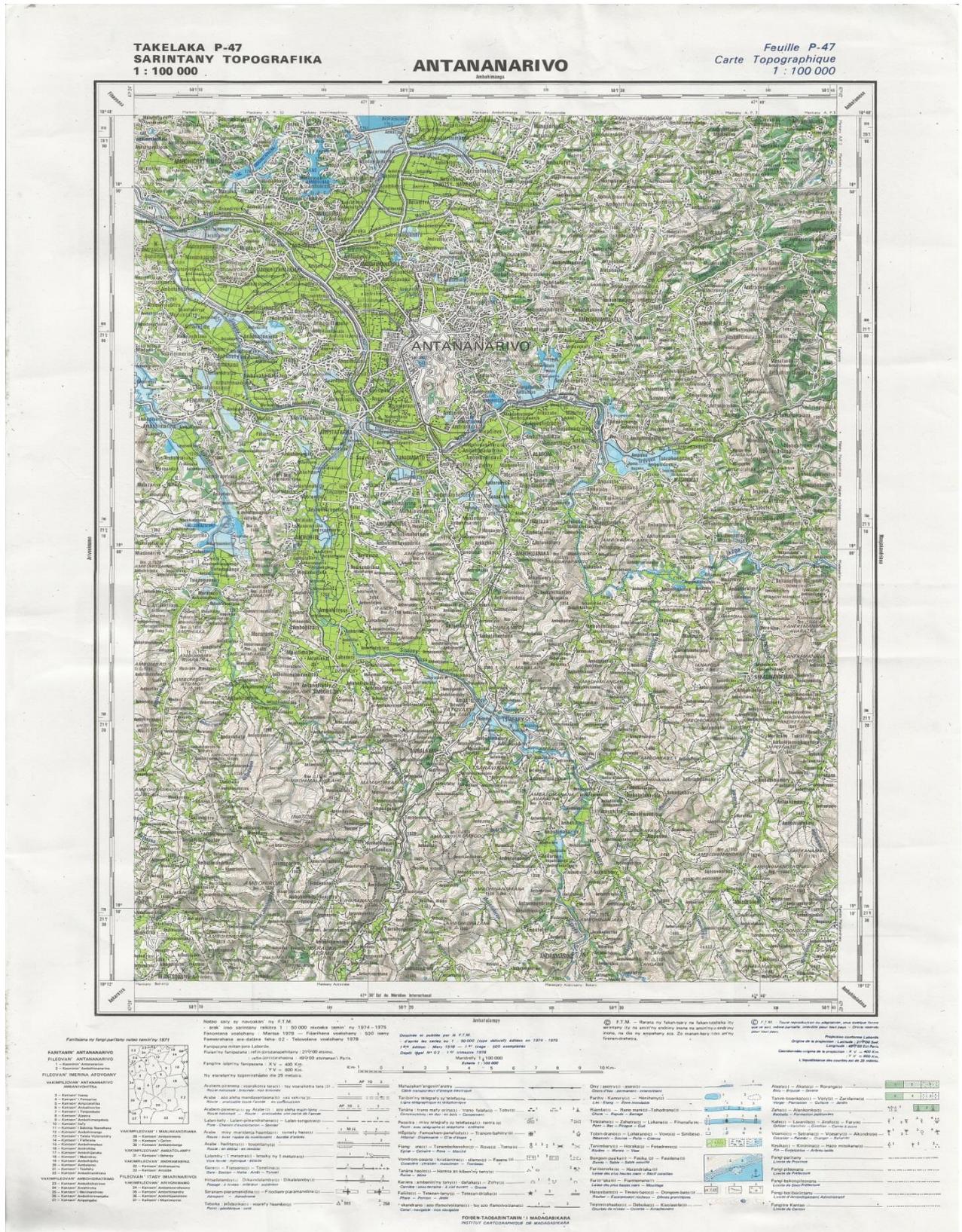
**La surveillance de l'eau** consiste à : (i) la répartition des ressources (définie par l'ANDEA et dans laquelle l'approvisionnement en eau potable est prioritaire), (ii) la surveillance systématique de la qualité de l'eau par l'administration et (iii) l'auto-surveillance par l'exploitant (validée et complétée sous contrôle de l'ANDEA, avec compte-rendu en cas de variations des seuils limites imposés).

*Mme Fernande RAZAFINDRAINONY  
Juriste au sein de l'ANDEA*

# Carte Topographique d'Ambatolampy



# Carte topographique d'Antananarivo



Pluviométrie annuelle 2004-2005 Andramasina

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Novembre	51,5	105,5	183,5	133,5	241	117,5	9	162,5	80,5	62,5	
décembre	271	299,5	100,5	448,5	478,5	241	84,5	13,5	157,5	181,92	
Janvier	43,5	241	598,5	349,5	326,5	43,5	459,5	157,5	205,1	224,61	129,75
Février	31	383,5	237	331	305	73	396,5	214,5	533,32	49,4	104,23
Mars	140	127,5	299	323,5	22,5	81	169	2,5	102,8	283,66	101,29
Avril	23	138	33	90	140	48	24	4	114,6	0	159,7
Mai	4,5	111,5	35	14,5	23	9	32	0,5	2,1	0	18,79
Juin	2,5	8	10	1	7	14	0	3,5	0	0	
Juillet	11	6,5	18	7	1	57	0,5	2,5	3,7	0	
Août	34	14	4,5	72	0	2	0,5	0	8,3	0	
Septembre	2,5	37,5	35,5	27	0	2	0,5	22	2	0	
Octobre	13	25	34,5	36	2,5	11,5	2	27,5	85,4	38,2	
Précipitation annuelle	627,5	1497,5	1589	1833,5	1547	699,5	1178	610,5	1295,32	840,29	513,76
Moyenne Précipitation	52,292	124,792	132,417	152,792	128,917	58,292	98,167	50,875	107,943	70,024	102,752

Débit mensuelle

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Novembre	23,428	2,167	3,982	0,090	4,480	4,359	3,812		4,459	6,706	
décembre	83,620	7,253	6,512	9,397	11,256	5,518	25,982		7,572	6,913	
Janvier	265,707	3,133	17,220	10,167	8,343	5,298	16,410	9,732	9,883	7,700	6,859
Février	166,803	13,820	8,299	9,882	11,231	4,929	18,158	18,249	8,503	4,373	6,419
Mars	165,801	4,469	12,289	12,108	14,449	6,344	11,001	7,400	6,113	10,443	6,664
Avril	95,284	3,344	5,782	5,626	7,030	3,181	6,858	7,223	7,078	3,590	8,588
Mai	71,834	2,525	4,877	4,083	5,549	2,984	6,053		4,087	3,882	4,334
Juin	61,312	1,798	4,072	3,244	4,636	3,188	4,964		3,612	3,398	3,305
Juillet	59,356	1,673	3,965	0,890	4,321	3,063	4,422		3,638	3,202	
Août	62,272	1,691	3,366	0,112	3,604	2,635	3,281		3,564	3,100	
Septembre	44,823	1,927	3,108	0,121	3,165	2,022	3,170		2,872	2,892	
Octobre	28,724	1,839	2,304	0,052	2,267	2,174	2,862		3,421	4,063	
Moyenne débit annuelle	94,080	3,803	6,315	4,648	6,694	3,808	8,914	10,651	5,400	5,022	6,028
Débit annuelle	1128,965	45,639	75,778	55,771	80,332	45,696	106,974	42,605	64,801	60,262	36,169

Hauteur d'eau annuelle 2004-2005 Andramasina

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007,00	2008	2009	2010	2011
Novembre	0,37	0,52	0,54	0,23	0,57	0,59	0,61	0,86	0,64	0,77	
décembre	0,52	0,93	0,74	0,81	0,99	0,67	1,47	0,68	0,80	0,76	
Janvier	1,42	0,63	1,20	0,92	0,87	0,70	1,16	0,90	1,77	0,83	0,71
Février	0,84	1,11	0,86	0,93	1,02	0,69	1,21	1,14	0,85	0,64	0,75
Mars	0,83	0,84	1,00	0,99	1,06	0,78	0,98	0,86	0,77	0,95	0,79
Avril	0,69	0,76	0,74	0,74	0,83	0,62	0,82	0,84	0,79	0,59	0,87
Mai	0,62	0,71	0,69	0,63	0,74	0,53	0,78	0,78	0,63	0,61	0,64
Juin	0,58	0,65	0,63	0,56	0,67	0,55	0,70	0,72	0,59	0,57	0,56
Juillet	0,57	0,62	0,62	0,32	0,65	0,54	0,66	0,65	0,59	0,55	
Août	0,58	0,62	0,57	0,23	0,59	0,50	0,56	0,59	0,58	0,54	
Septembre	0,51	0,61	0,54	0,23	0,55	0,44	0,55	0,63	0,52	0,52	
Octobre	0,43	0,52	0,46	0,23	0,46	0,44	0,60	0,79	0,57	0,62	
Moyenne Hauteur	0,66	0,71	0,72	0,57	0,75	0,59	0,84	0,79	0,76	0,66	0,72

Volume précipite par année hydrologique

	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011
Novembre	51,5	105,5	183,5	133,5	241	117,5	9	162,5	80,5	62,5
décembre	271	299,5	100,5	448,5	478,5	241	84,5	13,5	157,5	181,92
Janvier	241	598,5	349,5	326,5	43,5	459,5	157,5	205,1	224,61	129,75
Février	383,5	237	331	305	73	396,5	214,5	533,32	49,4	104,23
Mars	127,5	299	323,5	22,5	81	169	2,5	102,8	283,66	101,29
Avril	138	33	90	140	48	24	4	114,6	0	159,7
Mai	111,5	35	14,5	23	9	32	0,5	2,1	0	18,79
Juin	8	10	1	7	14	0	3,5	0	0	
Juillet	6,5	18	7	1	57	0,5	2,5	3,7	0	
Août	14	4,5	72	0	2	0,5	0	8,3	0	
Septembre	37,5	35,5	27	0	2	0,5	22	2	0	
Octobre	25	34,5	36	2,5	11,5	2	27,5	85,4	38,2	
VP (mm)	1415,00	1710,00	1535,50	1409,50	1060,50	1443,00	528,00	1233,32	833,87	758,18
Precipitation maximale	383,50	598,50	349,50	448,50	478,50	459,50	214,50	533,32	283,66	181,92
Precipitation minimale	6,50	4,50	1,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,79

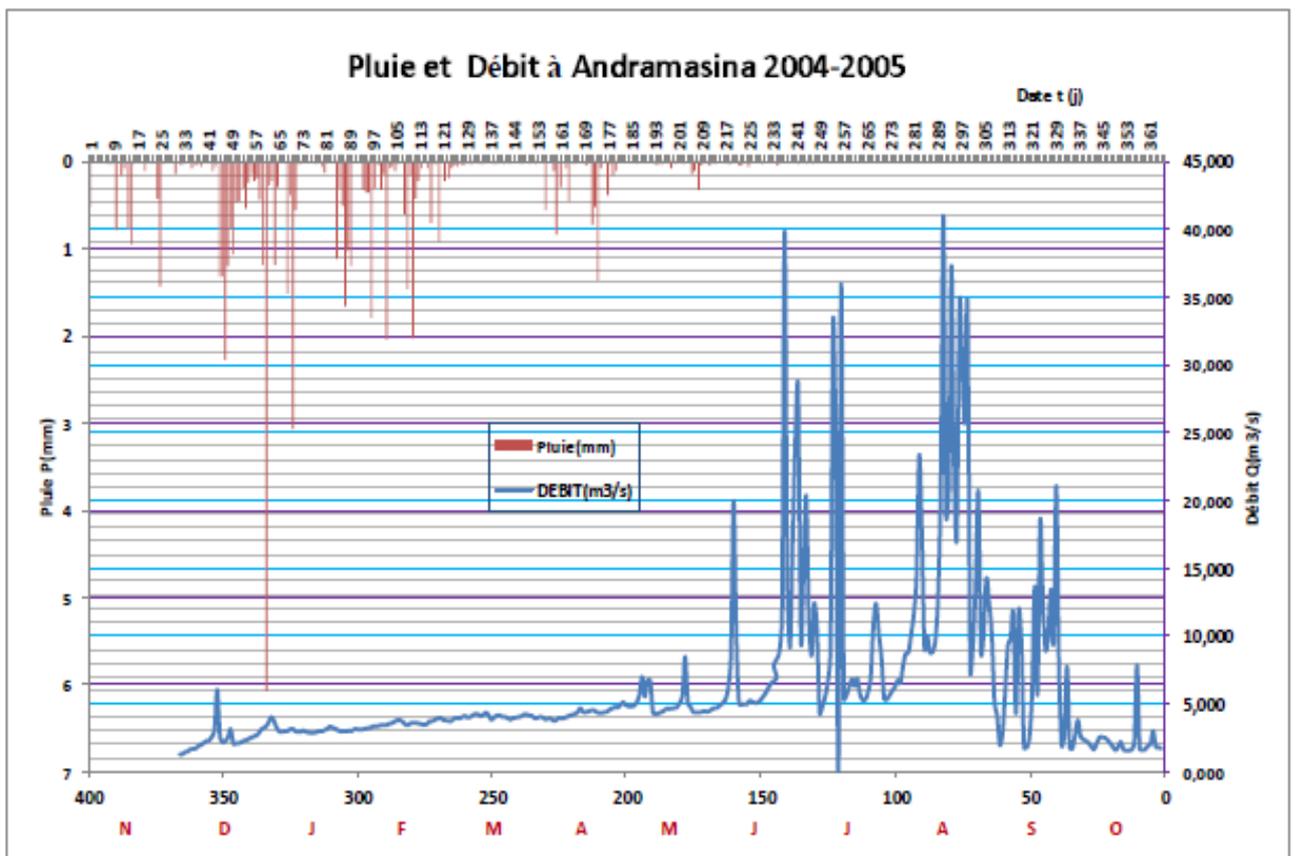
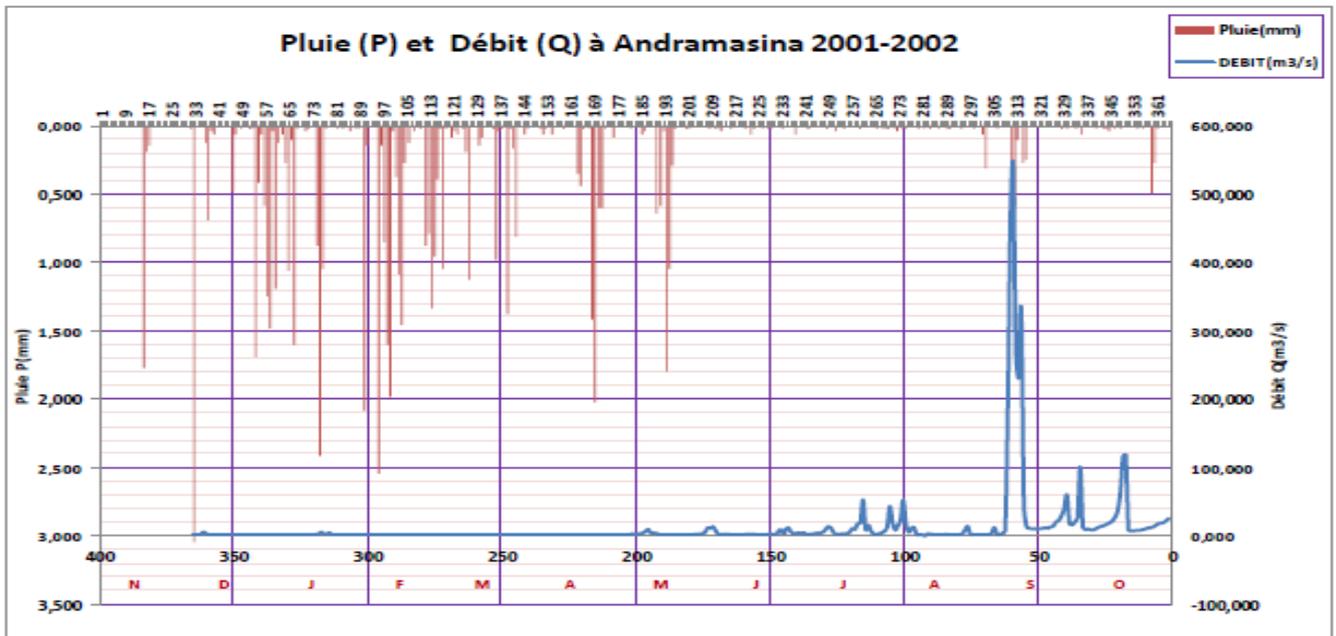


Débit par année Hydrologique										
	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011
Novembre	23,428	2,167	3,982	0,090	4,480	4,359	3,812		4,459	6,706
décembre	83,620	7,253	6,512	9,397	11,256	5,518	25,982		7,572	6,913
Janvier	3,133	17,220	10,167	8,343	5,298	16,410	9,732	9,883	7,700	6,859
Février	13,820	8,299	9,882	11,231	4,929	18,158	18,249	8,503	4,373	6,419
Mars	4,469	12,289	12,108	14,449	6,344	11,001	7,400	6,113	10,443	6,664
Avril	3,344	5,782	5,626	7,030	3,181	6,858	7,223	7,078	3,590	8,588
Mai	2,525	4,877	4,083	5,549	2,984	6,053		4,087	3,882	4,334
Juin	1,798	4,072	3,244	4,636	3,188	4,964		3,612	3,398	3,305
Juillet	1,673	3,965	0,890	4,321	3,063	4,422		3,638	3,202	
Août	1,691	3,366	0,112	3,604	2,635	3,281		3,564	3,100	
Septembre	1,927	3,108	0,121	3,165	2,022	3,170		2,872	2,892	
Octobre	1,839	2,304	0,052	2,267	2,174	2,862		3,421	4,063	
Q moyenne (m <sup>3</sup> )	11,939	6,225	4,732	6,174	4,296	7,255	12,066	5,277	4,889	6,224
Q (m <sup>3</sup> )	143,27	74,70	56,78	74,08	51,55	87,06	72,40	52,77	58,67	49,79
maximale Qmax	83,620	17,220	12,108	14,449	11,256	18,158	25,982	9,883	10,443	8,588
minimale Qmin	1,673	2,304	0,052	2,267	2,022	2,862	7,223	2,872	2,892	3,305

### Débit journalière année 2001-2002

Jour	2001		2002									
	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct
1	25,133	10,136	7,278	1,698	3,351	1,831227	1,728627	1,719822	1,745472	1,613754	1,68909178	1,598583
2	22,083	9,026	3,142	1,564	2,700	1,848219	1,703273	1,723344	1,732656	1,626534	1,67127793	1,591614
3	19,005	13,269	1,950	1,650	2,764	1,931631	1,678489	1,73864	1,729835	1,669509	1,60076306	1,591678
4	18,581	100,650	1,893	11,457	2,507	2,096388	1,681587	1,781052	1,721178	1,709782	1,57817313	1,595956
5	17,600	26,363	3,557	10,559	2,366	2,18747	1,66512	1,797048	1,719417	1,771859	1,56660979	1,619934
6	14,813	26,363	12,013	5,771	4,699	2,151135	1,687995	1,76949	1,729282	1,66571	1,58863812	1,651481
7	12,567	16,195	3,742	17,529	12,000	2,145705	1,76287	1,73864	1,716254	1,643001	1,58958738	1,6764
8	11,941	18,465	1,919	2,456	13,388	2,069513	1,784574	1,745537	1,699345	1,655051	1,57959287	1,699393
9	10,976	59,886	1,581	23,024	8,987	2,003351	1,789857	1,781411	1,714982	1,638013	1,73916373	1,700813
10	9,707	39,410	1,573	14,710	5,177	1,93424	1,872061	1,860287	1,707209	1,661505	4,12193608	1,695687
11	8,719	29,243	1,619	8,343	3,787	1,930801	3,514277	1,831521	1,639885	1,65472	2,72495249	1,585272
12	8,016	22,311	1,676	19,555	3,998	1,910969	4,170461	1,804876	1,633984	1,673012	2,1742107	1,57561
13	7,745	20,208	1,676	43,082	3,340	1,910545	3,244142	1,818051	1,630314	1,734749	5,50493103	1,610466
14	7,560	14,143	1,847	12,602	2,582	2,120802	9,226932	1,849786	1,674644	1,72469	2,85829713	1,623474
15	7,304	13,050	2,058	6,544	2,197	2,217969	6,777592	1,870641	1,6384	1,751169	1,96367822	1,596444
16	9,038	11,077	13,936	4,274	2,037	2,163351	4,237773	1,858019	1,641498	1,86947	1,64816448	1,63875
17	118,263	11,686	8,046	2,947	4,344	2,020638	3,084651	1,849279	1,699916	1,765663	1,61666845	1,685343
18	116,654	10,799	2,747	2,248	3,639	2,154674	2,652615	1,844273	1,691535	1,715046	1,61469539	1,774843
19	64,842	10,581	1,682	2,200	2,943	7,655257	2,292041	1,848855	1,66429	1,682434	1,61673306	1,78421
20	37,072	10,728	1,563	6,672	6,318	13,42152	2,003351	1,860204	1,648671	1,752442	1,59378363	1,774136
21	27,316	10,064	1,647	15,248	11,563	11,00254	1,928874	1,739553	1,627935	1,701271	1,56153882	1,624007
22	21,866	10,282	1,797	8,927	4,264	11,39615	1,898624	1,733422	1,636169	1,639156	1,55714873	1,681084
23	19,062	10,776	1,946	52,663	4,159	4,68229	1,8657	1,76393	1,747435	1,735302	1,55624422	1,759392
24	17,193	13,578	2,034	18,442	8,759	3,018435	1,853078	1,761533	1,68958	1,707467	1,55780147	1,849344
25	15,152	44,418	2,158	17,857	3,363	2,614566	1,824671	1,811708	1,643471	1,654885	1,55832663	1,839083
26	13,908	330,736	1,706	9,339	2,507	1,914279	1,800635	1,792189	1,616687	1,723141	1,57499246	3,092891
27	12,808	230,885	1,823	10,750	2,300	2,07191	1,763147	1,811431	1,612353	1,700248	1,58619302	5,3043
28	10,633	269,790	1,839	5,090	2,223	1,914279	1,703697	1,862814	1,660998	1,63214	1,59731074	2,020122
29	8,721	544,247	1,883		2,292	1,835597	1,690881	1,808675	1,621758	1,611339	1,61076102	1,609043
30	8,568	472,343	2,099		2,075	1,767093	1,687783	1,762464	1,617682	1,60459	1,62167663	1,564862
31		187,495	2,595		1,906		1,697077		1,624837	1,737322		1,606272
Moyenne	23,428	83,813	3,130	12,043	4,469	3,331	2,525	1,798	1,673	1,691	1,927	1,839
Q max	118,263	544,247	13,936	52,663	13,388	13,422	9,227	1,871	1,747	1,869	5,505	5,304
Q min	7,304	9,026	1,563	1,564	1,906	1,767	1,665	1,720	1,612	1,605	1,556	1,565

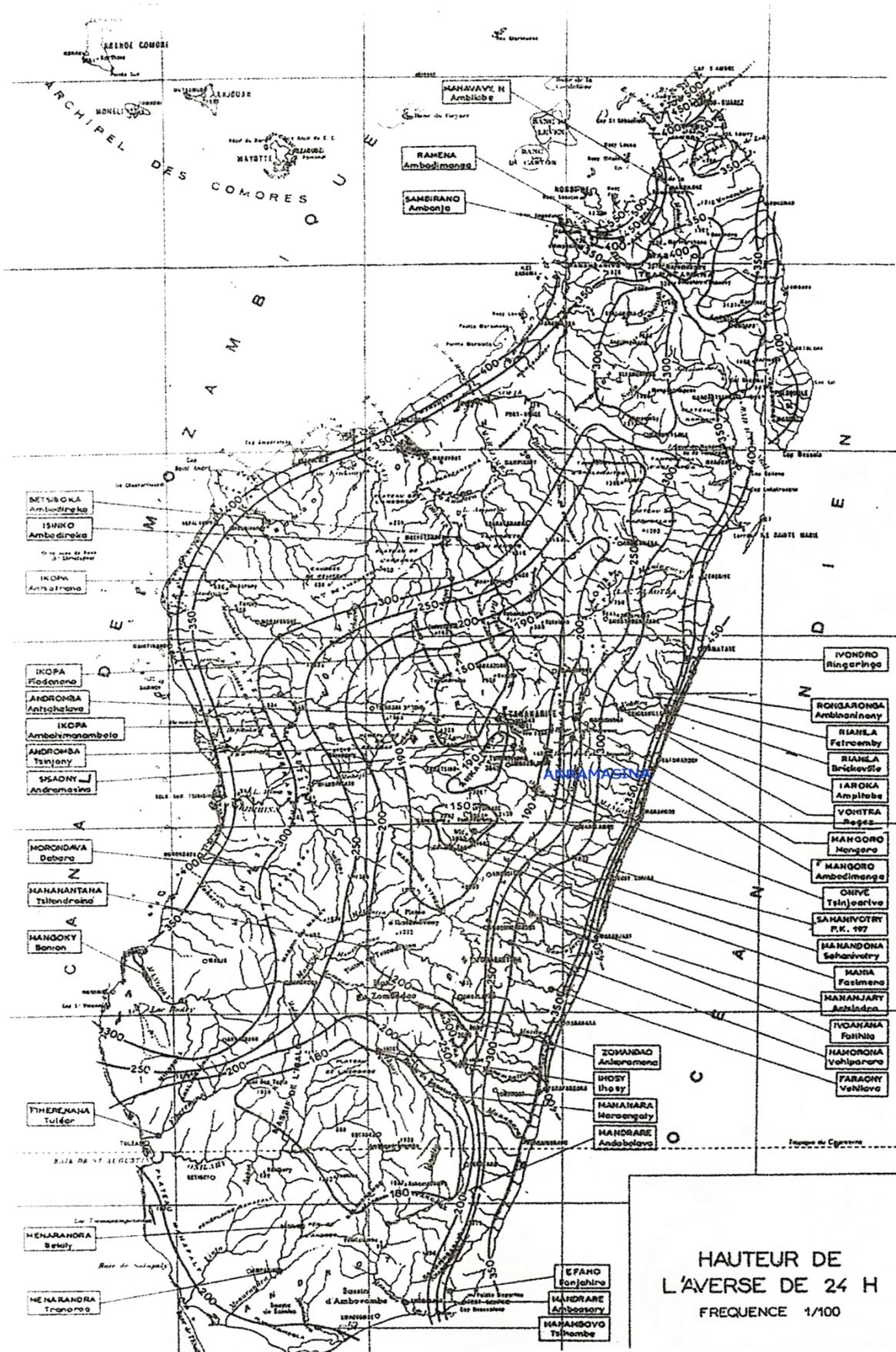
## DEBIT ET GRAPHE



Calcul de Qe et Qc

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Novembre	207,8846011	18,5844974	50,20936408	2,52946777	37,0985627	30,9050512	27,2321688		9,82513334	17,83639172	
Décembre	544,2469117	45,0937816	55,99071498	96,6619099	55,990715	53,0431107	66,3877313		52,3241	42,36564268	
Janvier	133,604	30,5828824	74,35226628	61,4307006	23,8968311	21,2391853	81,9856359	77,1524996	29,4868629	31,8784157	38,225
Février	166,8032015	108,28916	103,4876242	56,7457066	63,8746708	13,0108679	108,223135	136,816266	42,3656427	12,03361641	29,4868629
Mars	165,8010097	52,0051536	83,97795306	119,434095	93,3716085	96,6619099	48,1572315	12,0336164	12,0336164	36,54444063	17,8363917
Avril	138,553352	39,3086734	38,2251919	17,2083911	18,8105407	6,74505288	16,2977375	17,8363917	37,6587997	3,73901892	51,6121654
Qc max	544,2469117	108,28916	103,4876242	119,434095	93,3716085	96,6619099	108,223135	136,816266	52,3241	42,36564268	51,6121654
Qc moyenne	226,148846	48,97735807	67,70718575	59,0017118	48,8404881	36,9341963	58,0472733	60,9596933	30,6156925	24,06625434	34,290153
Qc min	133,604	18,5844974	38,2251919	2,52946777	18,8105407	6,74505288	16,2977375	12,0336164	9,82513334	3,73901892	17,8363917

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Mai	98,790853	39,3086734	8,837084619	5,68548125	10,8889755	3,62251024	16,0023854		4,7273744	6,277645548	9,02887115
Juin	81,76494838	15,795	4,727374402	3,17037535	5,40198352	5,26324062	5,68548125		3,62251024	3,62251024	3,39374291
Juillet	75,46629014	2,11374	4,344414195	3,17037535	7,74442595	4,47034392	4,59798398		3,85699767	3,62251024	
Aôut	117,6979531	2,11374	3,856997668	0,25	4,3444142	3,17037535	4,3444142		3,62251024	3,170375345	
Septembre	66,553136	7,6169936	4,344414195	0,25	3,85699767	4,99156652	3,73901892		3,17037535	3,060616363	
Octobre	58,2688979	8,9224926	9,62162029	0,15971673	4,7273744	20,1710975	16,2977375		6,12635826	7,233619295	
Qe max	117,6979531	39,3086734	9,62162029	5,68548125	10,8889755	20,1710975	16,2977375	0	6,12635826	7,233619295	9,02887115
Qe moyenne	83,09034642	12,6450966	5,955317561	2,11432478	6,1606952	6,94818903	8,44450353	0	4,18768769	4,497879505	6,21130703
Qe min	58,2688979	2,11374	3,856997668	0,15971673	3,85699767	3,17037535	3,73901892	0	3,17037535	3,060616363	3,39374291



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**-CHAPERON, P. J. DANLOUS et L. FERRY,** Fleuve et rivières de Madagascar, Paris, orstom, 1993 ,874p

**-RAKOTOARIMANANA,** evaluation des bas débits dans le cas des données insuffisantes dans quelques bassins des hauts plateaux ,Antananarivo ,mémoire de fin d'étude,1986 .

**-LOUIS.DURET. ,** Estimation des débits des crues à Madagascar : bassins de 10km<sup>2</sup> a 50000km<sup>2</sup> Madagascar, 1976 .

**-A .GRANIER .V .,BANDEAU .Nathalie BRENDA,**Modélisation du bilan hydrique des peuplement forestières.

**-ALDGHERI M., 1979 :** Manuel d'hydrométrie- tome IV, mesure des débits à partir des vitesses, Ed. ORSTOM Paris, 273p

**-Razafindrakoto B.G., 2004.** Imagerie et modélisation géophysique et hydro chimique du sous-sol de la région du Menabe - Application a la recherche hydrogéologique ; these de doctorat

**- RASOLOMANANA E. et al. (2005).** Problèmes de pollution des ressources en eaux posées par les dechets industriels et ménagers dans la ville d'Antananarivo et de ses environs. Antananarivo: ESPA, IOGA, CNRE.

**-ROBISON L. R. : hydrologie,** *Formation doctorale Génie minéral, Ecole supérieure polytechnique d'Antananarivo.*

**-RAKOTOMAMONJY Mendrika .F.,** Evaluation et simulation des regions hydrologique de bassin versant supérieur de l'Ikopa en vue de protéger la plaine d'Antananarivo contre l'inondation, Avril 2011

## WEBOGRAPHIE

[http://www.gov-antananarivo.mg/mono\\_agri.html](http://www.gov-antananarivo.mg/mono_agri.html)Aout 2013

[http://www.silogic.fr/svhauvergne/meth\\_piezo.html](http://www.silogic.fr/svhauvergne/meth_piezo.html)Aout 201 3

<http://www.refer.mg/cop/nature.fr/reem/reem0101.htm> Sept 2013

<http://www.inbo.news.org/www.gwp.forum.org>Manuel de gestion intégrée des ressources en eau par bassin.

## TABLES DES MATIERES

<b>REMERCIEMENTS</b> .....	III
<b>INTRODUCTION</b> .....	1
<b>Partie I : CONTEXTE HYDRAULIQUE DE LA ZONE D'ETUDE DE LA RESSOURCE EN EAU</b>	<b>3</b>
<b>III.1 SYSTEME EXISTANT</b> .....	<b>3</b>
I.1.1 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE .....	3
I.1.2 CONCLUSION PARTIELLE .....	11
Partie II-METHODOLOGIE .....	12
II.1.1 METHODE DE MOINDRES CARREES .....	12
II.1.2 METHODE DE DEBIT CLASSEE.....	15
II.1.3 METHODE DE LOUIS DURET.....	17
II.1.4 METHODE DE MAILLET.....	19
II.1.5 METHODE DES HYDROGRAMMES.....	20
II.1.6 CALCUL ET RESULTATS.....	22
II.1.7 MESURES DE DEBIT (Q).....	28
PARTIE III : EVALUATION DE POTENTIALITE DES RESSOURCES EN EAUX .....	31
<b>III.1 ANALYSE PLUVIOMETRIQUE</b> .....	<b>33</b>
III.1.1 PLUVIOMETRIE ANNUELLE ET MENSUELLE .....	33
III.1.2 HYDROGEOLOGIE .....	31
III.2 ANALYSE DE LA TEMPERATURE .....	31
II.2.1 PRECIPITATION.....	31
II.2.2 TEMPERATURE ET PLUVIOMETRIE.....	31
<b>III.3 ETUDE COMPARATIVE ENTRE PLUVIOMETRIE ET TEMPERATURE</b> .....	<b>35</b>
<b>III.4 RESSOURCES EN EAU DISPONIBLE</b> .....	<b>36</b>
PARTIE IV : GESTION INTEGREE DE LA RESSOURCE EN EAU (GIRE).....	37
<b>IV.1 l'ANDEA</b> .....	<b>37</b>
<b>IV.2 ETUDE DE LA RIVIERE SISAONY</b> .....	<b>38</b>
IV.2.1 CARACTERISTIQUES DE LA RIVIERE.....	38
IV.2.1 LES STATIONS.....	38
IV.2.2 CYCLE DE L'EAU .....	40
IV.2.3 LE BASSIN .....	41
<b>IV.3 PLANS DE GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU</b> .....	<b>44</b>

IV.3.1	L'APPROCHE DE GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU .....	45
IV.3.2	LA GESTION PAR BASSIN.....	48
IV.3.3	L'ORGANISME DE BASSIN .....	48
<b>IV.4</b>	<b>PROBLEMES ET DEFIS AUXQUELS SONT CONFRONTES LES GESTIONNAIRES DE L'EAU .....</b>	<b>49</b>
<b>IV.5</b>	<b>VOLONTE POLITIQUE ET SYSTEMES DE GESTION PAR BASSIN.....</b>	<b>50</b>
<b>IV.6</b>	<b>BASSIN VERSANT D'ANDRAMASINA : METTRE EN PLACE LE CADRE DE GESTION DE L'EAU ...</b>	<b>51</b>
IV.6.1	ROLES ET TYPES D'ORGANISMES DE BASSIN .....	52
IV.6.2	ROLES DES ORGANISMES DE BASSIN.....	52
<b>CONCLUSION</b>	.....	<b>56</b>
<b>ANNEXES</b>	.....	<b>57</b>

Titre de l'ouvrage : « **EVALUATION ET GESTION INTEGREE DE LA RESSOURCE EN EAU DU  
HAUT BASSIN VERSANT DE LA SISAONY** »

**RESUME**

Sisaony se trouve dans la région d'Analamanga et fait partie des rivières qui se jettent dans la rivière Ikopa, du côté Est de la rivière Andromba. Elle draine les régions d'Antananarivo Atsimondrano et d'Andramasina ayant une surface de 318 km<sup>2</sup>. Le district d'Andramasina rencontre un certain nombre de problèmes sur la maîtrise de l'eau : irrigation des champs de culture quasi-inexistante et insuffisance en eau potable. D'après les estimations effectuées, elle présenterait un volume d'eau de l'ordre de 100.000.000 m<sup>3</sup> par an pouvant être valorisée pour diminuer, voire même éradiquer, ces problèmes. Une telle valorisation cadrerait bien avec la politique de gestion intégrée des ressources en eau que préconise actuellement par le ministère de l'eau. L'étude statistique des données hauteurs d'eaux/débits sur la station d'Andramasina, menés sur cette étude, permet de caractériser le comportement hydrologique, les débits caractéristiques et le comportement hydrodynamique de ce bassin. Ainsi ce bassin a un temps de tarissement très important, presque la moitié du temps de base de l'hydrogramme de débit. Ce tarissement est traduit par un énorme volume de réserve dynamique. Ces études mènent à une conclusion : importance de la présence de l'eau sur la sécurité urbaine de la capitale. Cette condition conduit à une proposition pour résoudre le problème d'inondation sur la plaine : déviation des apports de Sisaony pendant la période de crue sur un lit suivant les dépressions, proposition dont la faisabilité exige des études géophysique, géotechnique, hydrogéologique qui est un bon thème de recherche pour chacun.

**Mots clé** : *Sisaony, Andramasina, hydrologie, débit, tarissement, ressources en eau*

**ABSTRACT**

**Thesis title: "EVALUATION AND INTEGRATED MANAGEMENT OF WATER RESOURCES OF  
HIGH DRY OF SISAONY RIVER"**

**SUMMARY**

Sisaony is in the region of Analamanga and is one of the rivers that flow into the Ikopa River, on the east side of the river Andromba. It drains parts of Antananarivo Atsimondrano and Andramasina with a 318 are km<sup>2</sup>. The district of Andramasina faces a number of problems about the water control: almost non-existent irrigation of crop fields and lack of drinking water. According to estimates made, it would have a water's volume of about 100.000.000 m<sup>3</sup> per year and can be enhanced to reduce or even eradicate these problems. Such development would be consistent with the policy of integrated management of water resources that currently advocates by the ministry of water. Statistical analysis of the data water heights/flow on the Andramasina station conducted by this study allows us to characterize the hydrological behavior, characteristics and flow behavior hydrodynamics of the basin. This basin has a very important time of drying, almost the half of time of the hydrogram base flow. This depletion is translated into a huge amount of headroom. These studies lead to one conclusion: the importance of the presence of water on urban security in the capital. This condition leads to a proposal to solve the flooding problem which is the deviation of Sisaony contributions during the flood on a channel according to depressions state. This proposal requires hydrogeological, geophysical and geotechnical studies. A good research topic for everyone.

**Keywords:** *Sisaony, Andramasina, hydrology, flow, drying, water resources*

**Encadreur:** *L'impétrant :*

Professeur RAKOTOARIMANANA,  
Ingénieur principal hydraulicien

ANDRIANAIVOARIVELO Jaolalaina Arisoa  
SICU BLOC 48 porte 7 Ankatso IIB  
Antananarivo (101)  
Tel : +261(0)331262401  
E .mail : [Jaolalaina@gmail.com](mailto:Jaolalaina@gmail.com)