



**UNIVERSITE D'ANTANANARIVO  
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE  
DEPARTEMENT HYDRAULIQUE**



**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme  
d'Ingénieur en Hydraulique**

**ANALYSE DE LA GESTION DES RESSOURCES EN EAU :  
ÉTUDE DE CAS DU RÉSEAU D'APPROVISIONNEMENT  
EN EAU POTABLE DE L'AGGLOMÉRATION  
D'AMBOHIBARY SAMBAINA**

Présenté par : **RATIARISON Vony Asaramanitra**

Sous la direction de : **- Monsieur RASOLOFONIAINA Jean Donné**

**- Monsieur RAZAFINJATO Gerald**

**Promotion : 2010**

**Date de soutenance : 24 Août 2011**



**UNIVERSITE D'ANTANANARIVO  
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE  
DEPARTEMENT HYDRAULIQUE**



**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme  
d'Ingénieur en Hydraulique**

**ANALYSE DE LA GESTION DES RESSOURCES EN EAU :  
ÉTUDE DE CAS DU RÉSEAU D'APPROVISIONNEMENT  
EN EAU POTABLE DE L'AGGLOMÉRATION  
D'AMBOHIBARY SAMBAINA**

**Présenté par : RATIARISON Vony Asaramanitra**

**Président du jury :**

Monsieur **RANDRIANARIVONY Charles**

Chef de département HYDRAULIQUE et Enseignant à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo

**Membres de jury :**

Monsieur **RANDRIANASOLO David**

Enseignant à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo

Monsieur **RANJATOSON Claude**

Enseignant à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo

**Encadreur :**

Monsieur **RASOLOFONIAINA Jean Donné**

Enseignant à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo

**Rapporteur :**

Monsieur **RAZAFINJATO Gerald**

Ingénieur Hydraulicien et Directeur Général de l'Entreprise SANDANDRANO

**Promotion : 2010**

## REMERCIEMENTS

En tout premier lieu, je rends grâce à Dieu tout puissant, qui m’a donné la foi, la santé, et la force afin que je puisse exercer ce travail à terme. Gloire à notre Seigneur et Eternel guide.

Le présent mémoire est le fruit et le couronnement de nombreuses et laborieuses années d’études, sa réussite tient à l’enseignement et à la contribution de plusieurs personnes auxquelles j’adresse mes vifs remerciements les plus sincères.

Je tiens à remercier l’Ecole Supérieure Polytechnique d’Antananarivo, en la personne de son Directeur, Monsieur Philippe ANDRIANARY, ainsi que tous les enseignants et personnels.

Ma plus profonde reconnaissance va à Monsieur Charles RANDRIANARIVONY, Chef de Département, pour son aimable attention, pour tous les efforts qu’il a déployés afin de mener à bien nos études au sein du Département.

J’aimerais adresser un remerciement particulier à Monsieur Jean Donné RASOLOFONIAINA, Enseignant Chercheur à l’Ecole Supérieure Polytechnique d’Antananarivo et Encadreur de ce mémoire, qui m’a suivi de pas à pas, m’a accordé sa confiance et malgré ses multiples obligations, n’a pas ménagé son temps pour tous les conseils et m’a encouragé durant la préparation de mon travail.

J’adresse mes vifs remerciements à Monsieur Gerald RAZAFINJATO, mon rapporteur, Ingénieur Hydraulicien et Directeur de SANDANDRANO, pour son aide, sa gentillesse, sa disponibilité et son encouragement durant la réalisation de ce mémoire.

J’ai pu travailler dans un cadre particulièrement agréable, grâce à l’ensemble des membres de l’équipe SANDANDRANO. Merci à tous pour votre collaboration.

Mes remerciements et ma respectueuse gratitude vont également aux membres du Jury, Monsieur David RANDRIANASOLO et Monsieur Claude RANJATOSON, Enseignants Chercheurs à l’Ecole Supérieure Polytechnique d’Antananarivo, d’avoir accepté d’évaluer ce mémoire de fin d’étude.

Une immense gratitude va à mes parents, mes frères et sœur de m’avoir encouragé et toujours soutenu, et qui m’auront permis de poursuivre mes études jusqu’à aujourd’hui.

Mes agréables pensées iront vers tous mes amis, en particulier Joëlson, Mahefa et toute la promotion, pour leurs aides et encouragements tout au long de ces années.

Et que tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire, trouvent ici ma gratitude et mes sincères reconnaissances.

*Asaramanitra R.*

## **DECLARATION SUR L'HONNEUR**

Je soussignée, RATIARISON Vony Asaramanitra, auteur de ce mémoire intitulé, « Analyse de la gestion des ressources en eau : étude de cas du réseau d'approvisionnement en eau potable de l'agglomération d'Ambohibary Sambaina », déclare sur l'honneur que :

- Ce document est le résultat de mes recherches personnelles, travaux qui n'ont pas encore été publiés.
- Dans cet écrit, je n'ai ni copié, ni reproduit les œuvres d'autrui.
- Conformément à l'usage en matière de travaux destinés au public, j'ai précisé à partir de la bibliographie les sources exactes des extraits et des documents exploités.

Antananarivo, Août 2011

L'intéressée

## SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

SOMMAIRE

|                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| LISTE DES ABREVIATIONS .....                                                                          | i   |
| LISTE DES TABLEAUX .....                                                                              | iii |
| LISTE DES FIGURES .....                                                                               | iv  |
| LISTE DES CARTES .....                                                                                | v   |
| LISTE DES ANNEXES .....                                                                               | vi  |
| INTRODUCTION .....                                                                                    | 1   |
| Partie I : GENERALITES SUR LES PROBLEMES LIES AUX RESSOURCES EN EAU.....                              | 3   |
| Chapitre 1. IMPACTS DE LA DEMOGRAPHIE ET DES ACTIVITES DE L'HOMME .....                               | 4   |
| 1.1. Accroissement démographique et évolution de mode de vie .....                                    | 4   |
| 1.2. Déforestation .....                                                                              | 5   |
| 1.2.1. Causes de la déforestation .....                                                               | 5   |
| 1.2.2. Conséquences de la déforestation.....                                                          | 7   |
| 1.2.2.1. Réduction de l'érosion du sol affectant la qualité de l'eau.....                             | 8   |
| 1.2.2.2. Influence sur la régularisation des débits .....                                             | 8   |
| 1.2.2.3. Influence sur la salinité de l'eau .....                                                     | 8   |
| Chapitre 2. : CHANGEMENT CLIMATIQUE .....                                                             | 9   |
| 2.1. Effet de serre .....                                                                             | 10  |
| 2.2. Principales causes du changement climatique.....                                                 | 12  |
| 2.3. Effets du changement climatique .....                                                            | 12  |
| 2.3.1. Répartition temporelle des pluies .....                                                        | 12  |
| 2.3.2. Modification du cycle hydrologique de la végétation : diminution de l'évapotranspiration ..... | 14  |
| 2.3.3. Changement climatique et cycle de l'eau .....                                                  | 15  |
| 2.3.3.1. Cycle de l'eau .....                                                                         | 15  |
| 2.3.3.2. Précipitations .....                                                                         | 18  |
| 2.3.3.3. Evaporation.....                                                                             | 19  |
| 2.3.3.4. Humidité du sol .....                                                                        | 19  |
| 2.3.3.5. Nappes d'eau souterraines .....                                                              | 20  |

## **Analyse de la gestion de l'eau**

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.4. Problèmes d'eau liés à la variabilité et au changement climatique à MADAGASCAR :..... | 20 |
| 2.3.4.1. Perturbations du régime hydrologique: .....                                         | 21 |
| 2.3.4.2. Les différents problèmes .....                                                      | 21 |
| 2.3.4.3. Impact sur les ressources en eau.....                                               | 21 |
| 2.3.4.4. Impact sur le secteur forestier.....                                                | 22 |
| 2.3.4.5. Projection climatique.....                                                          | 23 |
| i. Modélisation du climat .....                                                              | 23 |
| ii. Précipitation.....                                                                       | 23 |
| iii. Température.....                                                                        | 26 |
| Chapitre 3. PROBLEMES DES RESSOURCES EN EAU .....                                            | 28 |
| 3.1. Types de ressources.....                                                                | 28 |
| 3.1.1. Eaux souterraines : .....                                                             | 28 |
| 3.1.1.1. Les trois formes de l'eau souterraine .....                                         | 29 |
| i. L'eau de constitution .....                                                               | 29 |
| ii. L'eau de rétention.....                                                                  | 29 |
| iii. L'eau libre .....                                                                       | 29 |
| 3.1.2. Eaux de surface .....                                                                 | 29 |
| 3.1.3. Différences entre l'eau de surface et l'eau souterraine.....                          | 30 |
| 3.2. Répartition des ressources .....                                                        | 31 |
| 3.3. Surexploitation des nappes phréatiques .....                                            | 31 |
| 3.4. Pollution des ressources .....                                                          | 32 |
| 3.4.1. Causes de la pénurie en eau.....                                                      | 32 |
| 3.4.1.1. Pollution des eaux de surface .....                                                 | 32 |
| 3.4.1.2. Pollution de la nappe .....                                                         | 32 |
| 3.4.2. L'eau douce empoisonnée .....                                                         | 33 |
| Partie II : LES DIFFERENTES SOLUTIONS POUR L'AMELIORATION DES RESSOURCES.....                | 34 |
| Chapitre 4. REDUCTION DE L'ACCROISSEMENT DEMOGRAPHIQUE.....                                  | 36 |
| Chapitre 5. PROTECTION DES RESSOURCES .....                                                  | 37 |
| 5.1. Prévention de la dégradation chronique des ressources .....                             | 37 |
| 5.2. Prévention et lutte contre les pollutions accidentelles .....                           | 37 |
| 5.3. Mise en place et surveillance des périmètres de protection .....                        | 37 |
| 5.4. Optimisation de la gestion.....                                                         | 37 |

## **Analyse de la gestion de l'eau**

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.4.1. Surveillance des ressources .....                                                                   | 37 |
| 5.4.2. Gestion des prélèvements à long terme.....                                                          | 37 |
| 5.5. Protection du captage .....                                                                           | 38 |
| Chapitre 6. REFORESTATION.....                                                                             | 39 |
| 6.1. La forêt et l'eau .....                                                                               | 40 |
| 6.1.1. La forêt et la prévention de la qualité de l'eau .....                                              | 41 |
| 6.1.2. Influence de la couverture végétale et de ses changements sur le cycle hydrologique .....           | 42 |
| 6.1.3. Influence de la forêt sur l'infiltration.....                                                       | 42 |
| 6.1.3.1. Intervention des végétatifs dans le processus d'interception .....                                | 43 |
| i. La morphologie des végétaux et capacité de stockage .....                                               | 43 |
| ii. La densité des peuplements .....                                                                       | 43 |
| iii. La capacité de stockage de la végétation.....                                                         | 44 |
| iv. La taille du couvert végétal.....                                                                      | 44 |
| Chapitre 7. LES AUTRES ALTERNATIVES .....                                                                  | 45 |
| 7.1. Economie de l'eau .....                                                                               | 45 |
| 7.1.1. Principe.....                                                                                       | 45 |
| 7.1.2. Réduction des pertes en réseau.....                                                                 | 45 |
| 7.1.3. Gestion au niveau des points d'eau .....                                                            | 45 |
| 7.1.4. Maîtrise des consommations et gestion de la demande.....                                            | 46 |
| 7.1.5. Recyclage des eaux usées.....                                                                       | 46 |
| 7.1.5.1. Principe.....                                                                                     | 46 |
| 7.1.5.2. Réduction des pénuries d'eau .....                                                                | 46 |
| 7.1.6. Mise en bouteille .....                                                                             | 46 |
| 7.1.6.1. Principe.....                                                                                     | 47 |
| 7.1.6.2. Avantages .....                                                                                   | 47 |
| 7.1.6.3. Réalisation .....                                                                                 | 47 |
| 7.2. Développement des ressources alternatives .....                                                       | 47 |
| 7.3. Recharges des nappes souterraines .....                                                               | 48 |
| 7.3.1. Principe.....                                                                                       | 48 |
| 7.3.2. Pouvoir filtrant et capacité de stockage du sol.....                                                | 48 |
| 7.3.3. L'utilisation des capacités naturelles du sol .....                                                 | 49 |
| Chapitre 8. LES MESURES D'ATTENUATION ET LE PROGRAMME NATIONAL D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE ..... | 50 |

## **Analyse de la gestion de l'eau**

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| 8.1. Les mesures d'atténuation .....                                            | 50 |
| 8.1.1. Riziculture .....                                                        | 50 |
| 8.1.2. Mise en application du code de l'eau .....                               | 50 |
| 8.1.2.1. Lutte contre la pollution .....                                        | 50 |
| 8.1.2.2. Protection des ressources .....                                        | 51 |
| 8.2. Le Programme d'Action National d'Adaptation au changement climatique ..... | 52 |
| 8.2.1. Projet 2 : Gestion durable des ressources en eau .....                   | 54 |
| 8.2.1.1. Description .....                                                      | 54 |
| 8.2.1.2. Objectif .....                                                         | 54 |
| 8.2.1.3. Activités .....                                                        | 54 |
| 8.2.1.4. Résultats potentiels à long terme .....                                | 54 |
| 8.2.2. Projet 4 : Gestion Conservatoire de l'eau et des sols .....              | 54 |
| 8.2.2.1. Description .....                                                      | 54 |
| 8.2.2.2. Objectif .....                                                         | 55 |
| 8.2.2.3. Activités .....                                                        | 55 |
| 8.2.2.4. Résultats potentiels à long terme .....                                | 55 |
| 8.2.3. Projet 5 : Gestion durable des Ressources Naturelles .....               | 55 |
| 8.2.3.1. Description .....                                                      | 55 |
| 8.2.3.2. Objectif .....                                                         | 55 |
| 8.2.3.3. Activités .....                                                        | 56 |
| 8.2.3.4. Résultats potentiels à long terme .....                                | 56 |
| 8.2.4. Projet 6 : Intensification de reboisement .....                          | 56 |
| 8.2.4.1. Description .....                                                      | 56 |
| 8.2.4.2. Objectif .....                                                         | 56 |
| 8.2.4.3. Activités .....                                                        | 57 |
| 8.2.4.4. Résultats potentiels à long terme .....                                | 57 |
| 8.2.5. Projet 9 : Application des lois et réglementations forestières .....     | 57 |
| 8.2.5.1. Description .....                                                      | 57 |
| 8.2.5.2. Objectifs .....                                                        | 57 |
| 8.2.5.3. Activités .....                                                        | 57 |
| 8.2.5.4. Résultat potentiel à long terme .....                                  | 57 |
| 8.2.6. Projet 15 : Amélioration et protection des infrastructures .....         | 58 |
| 8.2.6.1. Description .....                                                      | 58 |



## Analyse de la gestion de l'eau

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 8.2.6.2. Les objectifs.....                                                                                             | 58 |
| 8.2.6.3. Activités.....                                                                                                 | 58 |
| 8.2.6.4. Résultats potentiels à long terme .....                                                                        | 58 |
| 8.2.7. Projet 17 : Normalisation, Construction et modernisation des infrastructures .....                               | 58 |
| 8.2.7.1. Description .....                                                                                              | 58 |
| 8.2.7.2. Objectif .....                                                                                                 | 59 |
| 8.2.7.3. Activités.....                                                                                                 | 59 |
| 8.2.7.4. Résultats potentiels à long terme .....                                                                        | 59 |
| Partie III : ETUDE DE CAS DU RESEAU D'APPROVISIONNEMENT EN EAU<br>POTABLE DE L'AGGLOMERATION D'AMBOHIBARY SAMBAINA..... | 60 |
| Chapitre 9. GENERALITES SUR LA ZONE D'ETUDE ET PRESENTAION DU<br>SYSTEME D'AEP D'AMBOHIBARY .....                       | 61 |
| 9.1. Situation géographique.....                                                                                        | 61 |
| 9.1.1. Localisation .....                                                                                               | 61 |
| 9.1.2. Climat .....                                                                                                     | 64 |
| 9.1.3. Température .....                                                                                                | 64 |
| 9.1.4. Pluviométrie .....                                                                                               | 64 |
| 9.1.5. Géologie .....                                                                                                   | 65 |
| 9.1.5.1. Contexte géologique régional.....                                                                              | 65 |
| 9.1.5.2. Géologie locale .....                                                                                          | 65 |
| 9.1.6. Pédologie .....                                                                                                  | 65 |
| 9.1.7. Contexte hydrographique et hydrogéologique .....                                                                 | 65 |
| 9.1.8. Agressivité du sol et de l'eau .....                                                                             | 66 |
| 9.2. Contexte socio-économique .....                                                                                    | 66 |
| 9.2.1. Infrastructures.....                                                                                             | 68 |
| 9.2.2. Végétation .....                                                                                                 | 68 |
| 9.2.3. Activités .....                                                                                                  | 69 |
| 9.2.3.1. L'agriculture et l'élevage .....                                                                               | 69 |
| 9.2.3.2. La scierie .....                                                                                               | 69 |
| 9.3. Système d'AEP d'Ambohibary .....                                                                                   | 70 |
| 9.3.1. Les besoins en eau et les besoins en équipement d'AEP .....                                                      | 70 |
| 9.3.2. Le réseau d'AEP d'Ambohibary .....                                                                               | 73 |
| 9.3.2.1. Ancien système d'alimentation en eau à Ambohibary .....                                                        | 73 |
| 9.3.2.2. MEDDEA à Madagascar .....                                                                                      | 73 |

## Analyse de la gestion de l'eau

|                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 9.3.2.3. La société SANDANDRANO .....                                                           | 74  |
| 9.3.2.4. Prix de l'eau.....                                                                     | 75  |
| 9.3.2.5. Présentation du projet existant.....                                                   | 75  |
| □ Lot 1 Captage .....                                                                           | 76  |
| □ Lot 2 Transfert .....                                                                         | 78  |
| □ Lot 3 Réservoirs .....                                                                        | 79  |
| □ Lot 4 Traitement : .....                                                                      | 80  |
| □ Lot 5 Réseau de distribution : .....                                                          | 80  |
| 9.3.3. La gestion du réseau d'AEP d'Ambohibary.....                                             | 83  |
| Chapitre 10. ANALYSE DES IMPACTS ET MESURES A PRENDRE SUR LE RESEAU<br>D'AEP D'AMBOHIBARY ..... | 88  |
| 10.1. Analyse des paramètres de base .....                                                      | 88  |
| 10.1.1. La géologie .....                                                                       | 88  |
| 10.1.2. L'hydrologie.....                                                                       | 88  |
| 10.1.2.1. Analyse des données.....                                                              | 88  |
| i. Pluviométrie .....                                                                           | 88  |
| ii. Température .....                                                                           | 91  |
| iii. Evapotranspiration potentielle (ETP ou ET0) .....                                          | 91  |
| 10.1.2.2. L'estimation de l'apport .....                                                        | 92  |
| 10.1.2.3. Variation du Coefficient de Ruissellement.....                                        | 95  |
| 10.1.2.4. Simulation du Cr.....                                                                 | 95  |
| 10.2. Politique et stratégie de conservation de la ressource en eau.....                        | 97  |
| 10.3. Plan d'action pour la subvention en eau potable de la commune .....                       | 98  |
| 10.3.1. Contrôle stricte du bassin versant.....                                                 | 98  |
| 10.3.2. Renouvellement de la couverture végétal .....                                           | 99  |
| 10.3.3. Acquisition totale du bassin versant.....                                               | 100 |
| 10.3.4. Recours à une deuxième source .....                                                     | 101 |
| 10.3.4.1. Description de l'ouvrage .....                                                        | 103 |
| 10.3.4.2. Coût estimatif .....                                                                  | 103 |
| 10.3.4.3. La conduite d'amenée.....                                                             | 104 |
| 10.3.4.4. Le traitement d'eau .....                                                             | 104 |
| 10.3.4.5. Le pompage .....                                                                      | 105 |
| 10.3.4.6. Le nouveau réseau de distribution.....                                                | 105 |
| 10.3.4.7. Récapitulatif des coûts.....                                                          | 106 |

## **Analyse de la gestion de l'eau**

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 10.4. Choix du plan à réaliser..... | 106 |
| CONCLUSION .....                    | 107 |
| BIBLIOGRAPHIE .....                 | 109 |
| ANNEXES .....                       | 111 |

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

|          |                                                                   |
|----------|-------------------------------------------------------------------|
| AEP :    | Alimentation en Eau Potable                                       |
| AEPG :   | Alimentation en Eau Potable Gravitaire                            |
| CEA :    | Commissariat à l'Energie Atomique                                 |
| CEG :    | Collège d'Enseignement Général                                    |
| CFR :    | Centre des Faibles Radioactivités                                 |
| CNRS :   | Centre National de la Recherche Scientifique                      |
| COVNM :  | Composés Volatiles Non-Méthaniques                                |
| Cr :     | Coefficient du Ruissellement                                      |
| CSB :    | Centre de Santé de Base                                           |
| EPP :    | Ecole Primaire Publique                                           |
| ETP :    | Evapotranspiration Potentielle                                    |
| FAO :    | Food and Agriculture Organisation                                 |
| FID :    | Fonds d'Intervention pour le Développement                        |
| GCES :   | Gestion Conservatoire de l'Eau et du Sol                          |
| GCF :    | Gestion Contractualisée des Forêts                                |
| GELOSE : | Gestion Locale Sécurisée                                          |
| GIEC :   | Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat              |
| GPS :    | Global Positioning System                                         |
| HMNT :   | Hauteur Manométrique Totale                                       |
| IPSL :   | Institut Pierre Simon Laplace                                     |
| JIRAMA : | Jiro sy Rano Malagasy                                             |
| LMCE :   | Laboratoire de Modélisation du Climat et de l'Environnement.      |
| LSCE :   | Laboratoire des Sciences du Climat et l'Environnement             |
| MCG :    | Modèles Climatiques Globaux                                       |
| Méddea : | Mécanismes Durables D'accès à l'Eau et à l'Assainissement         |
| OMD :    | Objectifs du Millénaire pou le Développement                      |
| ONF :    | Office National des Forêts                                        |
| ONG :    | Organisation Non Gouvernementale                                  |
| PANA :   | Programme d'Action National d'Adaptation au changement climatique |
| PCDEA :  | Plan Communal de Développement Eau et Assainissement              |
| PEHd :   | Polyéthylène Haute densité                                        |
| pH :     | Potentiel d'Hydrogène                                             |
| PM :     | Point Métrique                                                    |
| PMRC :   | Programme Mondiale de Recherche Climatique                        |
| PMS :    | Pression Maximale de Service                                      |

## **Analyse de la gestion de l'eau**

|         |                                                   |
|---------|---------------------------------------------------|
| PNUD :  | Programme des Nations Unies Pour le Développement |
| PPP :   | Partenariat Privé Public                          |
| PVC :   | Polychlorure de Vinyle                            |
| TAC :   | Titre Alcalimétrique Complet                      |
| TMS :   | Température Maximale de Service                   |
| UTM :   | Universal Transverse Mercator                     |
| UVSQ :  | Université de Versailles St Quentin               |
| WGS 84: | World Geodetic System 1984                        |

### LISTE DES TABLEAUX

|                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau 1 : Les principales différences entre l'eau de surface et l'eau provenant des sols .....           | 30  |
| Tableau 2: Répartition de la population par fokontany et par quartier dans la zone du projet en 2008 ..... | 67  |
| Tableau 3: Projection démographique du périmètre d'étude .....                                             | 67  |
| Tableau 4: Infrastructures à Ambohibary.....                                                               | 68  |
| Tableau 5: Estimation des besoins en eau et besoins en équipement.....                                     | 71  |
| Tableau 6: Evapotranspiration potentielle par CROPWAT 8.0 .....                                            | 92  |
| Tableau 7: valeurs de l'ETo .....                                                                          | 92  |
| Tableau 8: Données fournis par la Météorologie de Madagascar .....                                         | 92  |
| Tableau 9: Coefficient de répartition d'ALDEGHERI [R1].....                                                | 94  |
| Tableau 10: Apports moyens mensuels obtenus, méthode N.A PLOTNIKOV .....                                   | 94  |
| Tableau 11: Apports moyens mensuels de la source.....                                                      | 95  |
| Tableau 12: Résultats des simulations des coefficients de ruissellement .....                              | 96  |
| Tableau 13: Influence des couvertures végétales sur le débit d'étéage de la source. ....                   | 96  |
| Tableau 14: Coût estimatif de l'ouvrage de captage et de traitement (MEDDEA).....                          | 103 |
| Tableau 15 : Coût estimatif de la conduite d'amenée (MEDDEA) .....                                         | 104 |
| Tableau 16: Caractéristiques des pompes (MEDDEA).....                                                      | 105 |

### LISTE DES FIGURES

|                                                                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 1: Effet de serre ( <a href="http://effet.serre.free.fr/html/intro/index.htm">http://effet.serre.free.fr/html/intro/index.htm</a> ) .....  | 9   |
| Figure 2: Cycle de l'eau ( <a href="http://www.astrosurf.com/luxorion/eau-cycles.htm">http://www.astrosurf.com/luxorion/eau-cycles.htm</a> )..... | 17  |
| Figure 3: effets de la variabilité du climat et des changements climatiques .....                                                                 | 53  |
| Figure 4: Projets d'Adaptation aux changements climatiques .....                                                                                  | 53  |
| Figure 5 : Projection du taux de desserte .....                                                                                                   | 72  |
| Figure 6 : Projection du taux d'accès total aux branchements .....                                                                                | 72  |
| Figure 7 : Réseau de distribution à Ambohibary (SANDANDRANO) .....                                                                                | 82  |
| Figure 8 : Perte d'eau au sein de l'Entreprise SANDANDRANO et la JIRAMA.....                                                                      | 85  |
| Figure 9 : Projection des branchements particuliers .....                                                                                         | 86  |
| Figure 10 : Projection des branchements sociaux .....                                                                                             | 86  |
| Figure 11 : Les précipitations depuis 1990 pour chaque mois de la saison pluvieuse .....                                                          | 89  |
| Figure 12 : Précipitations annuelles à Antsirabe .....                                                                                            | 90  |
| Figure 13 : Précipitation moyenne mensuelle (1969-1989) et (1990-2010) .....                                                                      | 90  |
| Figure 14 : Température moyenne annuelle à Antsirabe depuis 2006 .....                                                                            | 91  |
| Figure 15 : Courbe des débits simulés en fonction du Coefficient du ruissellement .....                                                           | 97  |
| Figure 16 : RAVINTSARA.....                                                                                                                       | 100 |
| Figure 17 : Localisation des deux sources : celle d'Ankadibe et d'Antanetibe II.....                                                              | 102 |

### LISTE DES CARTES

|                                                                                                                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Carte 1 :</b> Changements (Médiane) des précipitations mensuelles (mm/mois) obtenus à partir de la mise à l'échelle de 6 modèles globaux (période centrée en 2055). (METEOROLOGIE DE MADAGASCAR).....                                           | 24 |
| <b>Carte 2 :</b> Valeurs minimales (gauche) et maximales (droite) des projections de la température moyenne annuelle (°C) obtenues à partir de 13 modèles climatiques globaux et pour la période centrée en 2055 (METEOROLOGIE DE MADAGASCAR)..... | 26 |
| <b>Carte 3 :</b> Localisation de la région du Vakinankaratra (système de projection: UTM (Universal Transverse mercator) zone 38S, WGS 84).....                                                                                                    | 62 |
| <b>Carte 4 :</b> Localisation de la commune rurale Ambohibary( Système de projection: UTM (Universal Transverse mercator) zone 38S, WGS 84).....                                                                                                   | 63 |



### **LISTE DES ANNEXES**

**Annexe 1** : simulation des coefficients de ruissellement et extrapolation du débit

**Annexe 1a** : simulation des valeurs de CR

**Annexe 1b** : simulation des coefficients de ruissellement et valeur du débit par extrapolation

**Annexe 2** : coefficient de ruissellement dans la méthode rationnelle

**Annexe 3** : le résultat des analyses physico-chimiques effectuées sur la source d'Ankadibe

**Annexe 4** : le résultat des analyses physico-chimiques effectuées sur la source d'Antanetibe II

**Annexe 5** : volumes mensuels produits à ambohibary

**Annexe 6** : volumes mensuels distribués à Ambohibary

**Annexe 7** : volumes mensuels vendus à Ambohibary

**Annexe 8** : rendement du réseau

**Annexe 9** : fiche technique sur le Ravintsara

**Annexe 10** : interface graphique de Google

**Annexe 11** : articles du code de l'eau

### INTRODUCTION

L'eau, un bien commun de l'humanité, devient rare et précieuse à cause des surexploitations des réserves d'eau qui font l'objet d'une demande toujours croissante et subissent des pollutions diverses et graves. L'eau douce qui devient une ressource de plus en plus utilisée se raréfie et sa possession devient encore plus vitale. Un monde qui manque d'eau demeure essentiellement un monde instable.

L'eau salée constitue les 97% des eaux du globe terrestre et il reste aux être-vivants 3% d'eau douce dont 2% sont des eaux superficielles et 1% disponibles sont des eaux souterraines. En fonction des régions du monde et des variations considérables, dans de nombreux endroits, en termes de précipitations saisonnières et annuelles, l'eau douce constitue une ressource renouvelable limitée avec d'énormes différences de disponibilité. Elle constitue la principale source d'eau pour toutes les utilisations par l'homme et pour les écosystèmes.

Certains phénomènes comme l'assèchement d'un lac, la baisse du niveau des nappes phréatiques, le tarissement de sources diminuent massivement les réserves d'eau dans le monde. Le réchauffement climatique qui entrave la satisfaction des besoins en eau est une problématique de développement durable prioritaire. L'eau n'est pas une ressource inépuisable, si bien que plusieurs pays vivent déjà sous un seuil de grave pénurie d'eau.

Le changement climatique se traduit par une réduction de la pluviométrie qui accélère non seulement la dégradation du couvert végétal mais favorise également l'érosion, provoquant la désertification. En effet, les modifications de la végétation et la dégradation des terres auraient des effets sur le climat dans la mesure où un sol mis à nu accroît l'évapotranspiration et réduit la pluviométrie.

Approvisionner de l'eau à chaque foyer, mettre en place un système de distribution capable de couvrir tous les besoins en eau liés aux activités humaines, notamment industrielles et agricoles, a toujours été un pari pour les Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD). Une telle ambition pourrait se heurter à une série de difficultés dont la plus importante est liée à la diminution considérable de la ressource.

Actuellement, les ressources en eau à Madagascar connaissent de sérieux problèmes se rapportant généralement à leur gestion et qui vont s'aggraver à cause de la diminution de l'eau douce disponible, pour des usages toujours croissants ; du changement climatique et des effets néfastes des activités de l'homme, entre autres la déforestation, il devient difficile pour les villes de répondre à la forte demande d'eau douce. Une raréfaction d'autant plus grave qu'elle affecte la qualité de vie et de l'environnement, et qu'elle entrave le développement socio-économique du pays.

## Analyse de la gestion des ressources en eau

L'avenir d'un pays se détermine par sa capacité de gérer son eau. La pauvreté demeure en étroite corrélation au manque d'accès à l'eau. L'eau reste vitale et son manque serait un handicap entravant tout développement social et économique. De plus, la répartition inéquitable de l'eau dans le monde requiert une recherche afin de valoriser les connaissances et les techniques traditionnelles en matière de gestion de l'eau à Madagascar et de promouvoir une gestion rationnelle et durable de la ressource. Le manque d'eau reste généralement source de maladies voire de la mort des millions de personnes par an. La gestion de l'eau devient primordiale pour les organisations mondiales, pour tout un chacun, qui ne cessent de préconiser des solutions. La qualité de l'eau et la préservation des ressources incombent à tous.

Les taxes des ressources en eau doivent être intégrées dans les projets de boisement ou de reboisement, non seulement pour la protection de l'environnement et ralentir le changement climatique mais également pour profiter du bien économique du marché carbone. Les acteurs de l'eau ne peuvent rien faire pour contrer les changements moyens dus à l'augmentation moyenne de température. Il faut pour cela agir «en amont» du changement climatique, c'est-à-dire limiter l'émission de gaz à effet de serre. Pour remédier à tous ces problèmes de ressources, des solutions doivent être établis avant même que les problèmes ne se produisent.

Pour ce faire, le présent mémoire qui consiste surtout à l'étude socio-économique et pratique, que technique, intitulé : « **Analyse de la gestion des ressources en eau : étude de cas du réseau d'approvisionnement en eau potable de l'agglomération d'Ambohibary Sambaina** » a été mené pour apporter une gestion de l'eau à long terme, adoptable à des bassins similaires, dans une agglomération, compte tenu des paramètres : environnemental, notamment sur les couvertures végétales ; du changement climatique, et social, à force de l'urbanisation et d'une demande accrue de l'eau et de son impact sur le coût de l'eau.

**Partie I : GENERALITES SUR LES PROBLEMES LIES AUX RESSOURCES EN EAU**

### Chapitre 1. IMPACTS DE LA DEMOGRAPHIE ET DES ACTIVITES DE L'HOMME

Les pratiques de ces feux de brousses proviennent le plus souvent de l'homme, soit volontairement à cause d'évolution de mode de vie et l'impact de l'accroissement démographique, soit involontairement (négligence). Malgré la mise en œuvre des moyens de surveillance et de lutte de plus en plus performants, leur nombre et leur gravité ne cesse de devenir de plus en plus alarmants.

#### 1.1. Accroissement démographique et évolution de mode de vie

L'eau douce ne représente que 3 % environ de l'eau constituant le globe si bien que plusieurs pays en sont victimes de pénurie partielle ou chronique, s'ils n'entreprennent pas de vastes programmes de protection des ressources directement utilisables et ne modifient pas leurs modes de consommation. Ce problème crucial constitue dans les pays émergents à forte démographie un obstacle à la situation et à l'élévation du niveau de vie.

En 2006, le taux d'accroissement démographique de la population mondiale serait de 1,14% annuellement d'après l'archive The World Factbook, CIA (2006). Ainsi, la population mondiale s'accroît quotidiennement de 203 800 personnes avec annuellement une population de plus de 74 millions de personnes.

À l'échelle mondiale, le taux de croissance démographique s'est néanmoins graduellement atténué depuis les années 1970, après un pic dans les années 1960, avec plus de 2,0% par année d'après l'archive World population growth rates 1950-2050. Le rythme hétérogène de croissance de la population change fortement d'un pays ou d'une région à l'autre.

Cette croissance spectaculaire de la population, à laquelle s'ajoutent les changements de modes de vie, a entraîné une augmentation tout aussi rapide des consommations d'eau : ramenée à l'habitant, la consommation moyenne, toutes activités confondues, est passée de 400 à 800 m<sup>3</sup> par an, 4 500 litres d'eau sont utilisés pour produire un kilo de riz, il en faut 1 500 pour un kilo de blé. Au niveau mondial, l'agriculture demeure essentiellement le consommateur primordial d'eau avec 68 %, viennent ensuite l'industrie (21 %) et la consommation domestique (11 %). Certes la quantité d'eau utilisée par l'agriculture a diminué de près de 30 % ces dernières décennies, en revanche l'industrie a quadruplé sa consommation pendant que les usages domestiques augmentaient de 4 à 11 % (**World population growth rates 1950-2050**)

La demande d'eau douce augmente au fur et à mesure que les populations deviennent plus nombreuses et consomment davantage d'eau par personne. Or, l'approvisionnement en eau, qui n'est pas infini, est menacé par la pollution. Pour éviter une crise, beaucoup de pays

doivent économiser de l'eau, réduire la pollution, gérer l'offre et la demande et ralentir la croissance démographique.

Des années de croissance démographique rapide et d'augmentation de la consommation d'eau par l'agriculture, l'industrie et les municipalités ont mis à rude épreuve les ressources mondiales en eau douce. Dans certaines régions, la demande d'eau dépasse déjà ce que peut offrir la nature, et on s'attend à ce qu'un nombre grandissant de pays vont manquer d'eau dans le proche avenir.

### 1.2. Déforestation

La déforestation caractérisée par la régression des surfaces couvertes de forêt provient de leur exploitation abusive puis de défrichement, auxquels s'ajoutent l'extension des terres agricoles, l'exploitation excessive ou anarchique de certaines essences forestières ainsi que le phénomène de l'urbanisation.

Les forêts influent essentiellement sur le cycle de l'eau, notamment avec l'évapotranspiration.

La disparition progressive des forêts (surtout sur les pentes) favorise les mécanismes d'érosion, les avalanches et les coulées de boues, en augmentant la turbidité et la pollution des cours d'eau.

Selon la « communiqué archivé à Rome le 14 novembre 2005 sur « Nouveaux chiffres de la FAO sur les forêts mondiales », la somme des stocks de carbone de la biomasse forestière, du bois-mort, de la litière, de l'humus et du sol est supérieure de 50 % au carbone présent dans toute l'atmosphère.

L'ONF affirme que la déforestation affecte 4 millions d'hectares/an en Afrique, soit 0,7% des forêts existantes.

Le taux de déforestation à Madagascar s'élève à 1,25% par an de 2000 à 2005 contre 1,95% pendant les années 1990. En effet, la superficie des forêts incendiées a atteint 496 259 hectares en 2010 contre 348 259 en 2009, soit une augmentation de 42%. (Journal Les nouvelles, 7 Avril 2011). A ces problèmes s'ajoutent les feux de brousse et la prolifération de l'exploitation illicite des bois précieux constituant aussi des dangers permanents pour la préservation des forêts et des aires protégées en particulier.

#### 1.2.1. Causes de la déforestation

Le bois de feu est toujours et pour longtemps encore le principal combustible utilisé pour la cuisson et la transformation des aliments. Selon la FAO (1997), deux milliards de personnes dans le monde dépendent du bois pour la cuisson de leurs aliments. Cette importante ressource énergétique n'est pas toujours disponible et pourrait même être

compromise à long terme sans une politique résolument tournée vers la gestion durable et la sauvegarde des écosystèmes. En effet, la demande de bois de feu et de charbon de bois explique largement la disparition de millions d'hectares de forêts tous les ans.

Les principales causes de la déforestation sont constituées souvent par la pression démographique et la pressante nécessité de survie des populations. De nos jours, la déforestation demeure pratiquement toujours en corrélation avec la démographie dans des pays à un niveau de vie faible et qui doivent faire face à deux types de besoins nuisibles à la pérennité des forêts : un besoin croissant de terres consacrées à l'agriculture de subsistance, un besoin croissant de bois de chauffage et pour la construction.

L'exploitation forestière qui se traduit par le déboisement dans le monde occasionne des ravages énormes. Les arbres sont coupés ou brûlés infiniment avec un rythme ne permettant pas leur régénération ou leur replantation normale. Il s'agit d'une gestion non durable et donc absurde des ressources forestières.

Le développement des activités agro-pastorales et industrielles sont également responsables en grande partie de la déforestation : l'alimentation du bétail (boeuf en particulier).

Elle est également utilisée pour produire de l'éthanol pour les voitures.

Les pays développés tendent actuellement à la substitution du bois par d'autres sources d'énergies telles que l'électricité hydraulique et nucléaire, du pétrole. Le développement de la sylviculture, une législation de plus en plus efficace vis-à-vis des forêts ont permis un reboisement satisfaisant, dans la majeure partie des cas.

A Madagascar, les activités des petits agriculteurs pauvres et itinérants aggravent aussi le phénomène de la déforestation : ils défrichent et brûlent la forêt pour ensemercer de petites parcelles de terres. Avec le lessivage des sols mis à nus, les récoltes ne durent que 2 ou 3 ans et nécessitent en outre d'autres défrichements ailleurs.

Les forêts constituent des réserves de nourriture, de refuge, de combustibles, de vêtements et médicaments pour de nombreuses ethnies. La déforestation met donc en péril de nombreuses populations autochtones.



**Photo 1: Déforestation par brûlis**

### 1.2.2. Conséquences de la déforestation

Les conséquences de la destruction forestière sont nombreuses et dramatiques, parmi lesquelles les plus graves affectent de nombreux sols agricoles tropicaux et conduisent à les exposer sans protection à la totalité des précipitations. La dégradation rapide de la forêt entraîne une augmentation considérable du ruissellement, qui lui-même accroît les phénomènes d'érosion. D'énormes surfaces deviennent ainsi catastrophiquement dégradées.

La déforestation perturbe gravement le régime et la qualité des eaux et provoque la réduction du temps de concentration des bassins versants, la mise en suspension et le transport d'énormes quantités de particules des sols. La suppression du couvert forestier sur de vastes surfaces modifie aussi les flux d'évapotranspiration des sols. 40% du carbone terrestre sont stockés dans la végétation et les sols forestiers. Bien que les arbres absorbent jusqu'à 20% de CO<sub>2</sub> en plus du fait même de l'augmentation du taux de CO<sub>2</sub> atmosphérique, la déforestation rejette 1,1 Gt de carbone chaque année, l'effet sur le réchauffement climatique devient donc considérable. (FAO, 1997)

Le climat mondial est aussi affecté par la déforestation. La disparition d'une forêt libère en grande partie, le carbone dans l'atmosphère, et augmente ainsi l'effet de serre et le réchauffement de notre planète.

Les forêts jouent un rôle essentiel dans le cycle le stockage et la régularisation de l'eau. La destruction des forêts nous priverait bientôt de l'eau des rivières.



## **Analyse de la gestion des ressources en eau**

### **1.2.2.1. Réduction de l'érosion du sol affectant la qualité de l'eau**

Les principales fonctions de protection les plus efficaces des forêts consistent dans la réduction de l'érosion hydrique du sol qui dégrade la qualité de l'eau. L'érosion du sol sur les terrains en forte pente se caractérise généralement par l'érosion superficielle et le mouvement de terrain.

### **1.2.2.2. Influence sur la régularisation des débits**

L'influence des forêts et de leur altération sur les débits d'eau et leur rythme est complexe. La présence permanente des forêts représente le couvert végétal dont, l'effet de protection signifiait maintenir aussi longtemps que possible le régime « naturel » des débits d'eau. L'intervention et l'occupation de l'homme imposent par conséquent une meilleure compréhension de l'interaction forêt-eau.

### **1.2.2.3. Influence sur la salinité de l'eau**

La disparition de la forêt provoque la salinité secondaire de l'eau, contrairement à la salinité naturelle (ou primaire). La réduction de l'évapotranspiration d'arbres profondément enracinés provoque la remontée de la nappe phréatique. Dans les zones où les sels sont présents dans les couches inférieures du sol, ce rehaussement de la nappe peut amener les sels jusque dans la zone racinaire et nuire à la croissance de la plante, et peut devenir même très toxique. Ce phénomène se manifeste notamment lorsque l'on tente de défricher des forêts en vue des activités agricoles.

### Chapitre 2. : CHANGEMENT CLIMATIQUE

Un changement climatique correspond à une modification durable (de la décennie en millions d'années) des paramètres statistiques (paramètres moyens, variabilité) du climat global de la Terre ou de ses divers climats régionaux. Ces changements peuvent être dus à des processus intrinsèques à la Terre, à des influences extérieures ou, plus récemment, aux activités humaines.

Le changement climatique anthropique résulte des émissions de gaz à effet de serre et des substances appauvrissant la couche d'ozone engendrés par les activités humaines, modifiant la composition de l'atmosphère de la planète. Des variations naturelles du climat viennent aggraver cette situation.

L'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère caractérisent essentiellement les changements climatiques. L'atmosphère a déjà contenu ces gaz à effet de façon naturelle, et le plus courant d'entre eux est l'eau.

Les gaz à effet de serre constituent des paramètres responsables du réchauffement global de la planète qui provoque actuellement des modifications climatiques extrêmement remarquables.

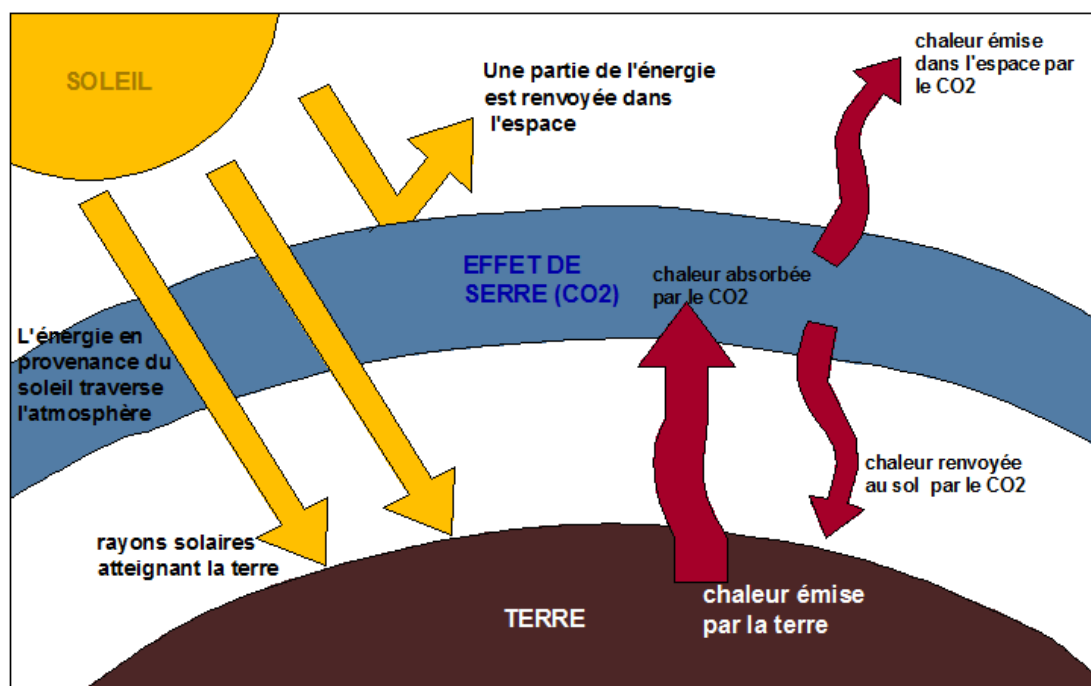


Figure 1: Effet de serre (<http://effet.serre.free.fr/html/intro/index.htm>)

### 2.1. Effet de serre

L'effet de serre a été découvert par Joseph Fourier en 1824 et étudié quantitativement ensuite par Svante Arrhenius en 1896. Il s'agit d'un phénomène naturel qui influe sur la vie sur Terre et permet à la surface terrestre d'avoir une température moyenne de 15°C. Faute de ce phénomène, la température à la surface de la Terre descendrait de -18°C.

Une couche de gaz : les gaz à effet de serre existe dans l'atmosphère. Cette couche de gaz agit comme les fenêtres d'une serre et capte la chaleur du soleil. Traversée par les rayons du soleil, cette couche va les laisser réchauffer la surface de la Terre. Des radiations vont être réémises vers l'atmosphère par la surface de la Terre, ainsi réchauffée.

Toutefois, la couche de gaz à effet de serre absorbe une grande quantité de ces radiations, les empêchant de retourner dans l'espace. Ce mécanisme va élever la température à la surface de la Terre en vue d'établir une température moyenne globale de 15°C.

Le phénomène en lui-même n'est pas dangereux ; il est d'ailleurs parfaitement naturel et nécessaire au développement de la vie sur Terre. L'expansion quantitative de l'effet de serre dans l'atmosphère répand des gaz à effet de serre par le biais des diverses activités humaines, et qui est porteur de risques pour l'environnement.

Les principaux gaz à effet de serre sont constitués par la vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O), le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>), le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) et l'ozone (O<sub>3</sub>).

Les gaz nommés ci-dessous sont désignés par le Protocole de Kyoto comme des gaz à effet de serre :

- Hexachlorure de soufre SF<sub>6</sub>
- Hydrofluocarbures HFC
- Perfluorocarbures ou Hydrocarbures perfluorés PFC
- Les composés volatiles non-méthaniques (COVNM), contribuant indirectement au phénomène de réchauffement.
- Les sulfures (SO<sub>2</sub>) provenant des industries extractives et de construction, lesquelles exercent un effet refroidissant (l'effet de serre négative).
- Dioxyde de carbone CO<sub>2</sub> émis principalement par les véhicules de transport, les industries énergétiques, manufacturières et de construction, de certaines activités industrielles (ciment, produits chimiques). La combustion de combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon) est responsable des ¾ des émissions anthropiques de CO<sub>2</sub> ; le reste est principalement dû à la déforestation. Le taux d'accroissement du CO<sub>2</sub> est de 0,4 % par an en moyenne et sa durée de vie dans l'atmosphère est de 150 à 200 ans. (Prof. GOULA BI Tié Albert, 21 Septembre 2010)

## Analyse de la gestion des ressources en eau

- Méthane CH<sub>4</sub> émis principalement par l'agriculture en zones inondées et les décharges. Des processus de décomposition ou de fermentation ; de la digestion des ruminants ; de l'émanation provenant des mines de charbon ; des dépotoirs ; du traitement des eaux usées.

Il est 21 fois plus dommageable que le dioxyde de carbone. Son taux d'accroissement est de 0,6 % par an en moyenne, sa durée de vie dans l'atmosphère est de 12 ans et sa part à l'effet de serre est de 15%. (Prof. GOULA BI Tié Albert, 21 Septembre 2010).

- Oxyde nitreux N<sub>2</sub>O provenant des fumures de bétail et des sols cultivés et de l'épandage d'engrais sur les sols dans le cadre des activités agricoles notamment. Son taux d'accroissement est de 0,25 % par an en moyenne et sa durée de vie dans l'atmosphère est de 120 ans. Sa part à l'effet de serre est de 5% (Prof. GOULA BI Tié Albert, 21 Septembre 2010)

Le dioxyde de carbone, le méthane et l'oxyde nitreux constituent les plus importants gaz à effet de serre.

Parmi les principaux GES émis à Madagascar figure le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) qui est quasi-totalement produit par le secteur énergétique dont la moitié par le transport routier. D'après la « COMMUNICATION NATIONALE INITIALE DE MADAGASCAR, RANDRIASANDRATANA Germain, Point Focal National de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques, Ministère de l'Environnement, des Eaux et Forêts », la part du secteur « énergie et transport » dans l'émission nationale s'élève à 64%. Celle de la foresterie et des changements d'affectation des terres représente les 21% tandis que celle de l'agriculture se limite à 14%. La quantité de CO<sub>2</sub> provenant des déchets et des procédés industriels paraît relativement insignifiante.

Un consensus scientifique sur cette question a été conçu par un Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, le Giec. Son dernier et quatrième rapport, auquel ont participé plus de 2500 scientifiques de 130 pays, affirme que le réchauffement climatique depuis 1950 provient probablement des activités humaines.

L'augmentation de l'effet de serre menace la transformation de notre planète en cocotte-minute, due à la teneur en gaz carbonique, selon les chercheurs, qui n'a pas cessé d'augmenter depuis le début de l'ère industrielle. Issu des industries et des transports, le gaz carbonique absorbe le rayonnement infrarouge émis par l'atmosphère et la surface de la Terre.

Les projections des modèles climatiques présentées dans le dernier rapport du Giec prévoient une hausse de la température de surface du globe de l'ordre de 1,1 à 6,4 °C supplémentaires au cours du XXI<sup>e</sup> siècle. Les différences entre les projections proviennent de l'utilisation de modèles ayant des sensibilités différentes pour les concentrations de gaz à effet

## **Analyse de la gestion des ressources en eau**

de serre et utilisant différentes estimations pour les émissions futures. La plupart des études afférentes à ce sujet s'inscrivent dans la période s'étendant jusqu'à l'an 2100, au-delà de laquelle le réchauffement devrait se poursuivre même si les émissions prendront fin grâce à la grande capacité calorifique des océans et à la durée de vie du dioxyde de carbone dans l'atmosphère.

Ce phénomène implique de fortes conséquences humaines et environnementales à moyen et long terme, et qui influent sur le réchauffement climatique alarmant.

### **2.2. Principales causes du changement climatique**

Le réchauffement climatique entretient une liaison étroite avec l'effet de serre additionnel résultant des activités humaines.

La combustion du charbon, du pétrole et du gaz naturel, la déforestation, la présence d'anciens dépotoirs et d'autres activités humaines en constituent les principales causes.

### **2.3. Effets du changement climatique**

#### **2.3.1. Répartition temporelle des pluies**

La régularité des pluies au cours d'une saison demeure une condition nécessaire pour des meilleurs rendements agricoles.

Des cataclysmes tels que Ouragans, cyclones, inondations, pluies torrentielles, vagues de sécheresse, élévation du niveau de la mer... menacent de nombreux pays et des milliards d'hommes et de femmes.

L'effet le plus important est lié à la vapeur d'eau. La concentration en CO<sub>2</sub> est proportionnelle à la température et à l'évaporation. Et par ce mécanisme, un nouvel équilibre est atteint, avec une nouvelle température moyenne nettement plus élevée que celle qui aurait été atteinte par le seul effet du CO<sub>2</sub>.

La hausse de température entraîne des modifications concernant : le régime des pluies, les ressources en eau, les écosystèmes.

Les émissions de divers polluants, notamment les sulfates contenus dans les aérosols, provoquent un refroidissement puisqu'ils réfléchissent la lumière solaire incidente.

Dans le monde, selon le Giec, la capacité de nombreux écosystèmes à s'adapter naturellement sera probablement dépassée par la combinaison sans précédent des :

- bouleversements climatiques : inondations, incendies de forêts, sécheresses, insectes, acidification des océans ;
- changements mondiaux : changements d'affectation des sols (déboisement, barrages, etc.), pollution, surexploitation des ressources.

## Analyse de la gestion des ressources en eau

Les experts du GIEC estiment globalement que le nombre d'êtres humains souffrant d'un manque d'eau pourraient tripler au cours de ce siècle, atteignant le chiffre de 3,2 milliards, si les températures devaient augmenter de plus de 4°C. Les populations les plus pauvres seront bien entendu les premières touchées par l'aggravation de la situation de l'eau au niveau mondial. Les phénomènes principaux affectant les réserves d'eau douce disponibles pour la consommation humaine se caractérisent par la baisse des précipitations dans certaines régions.

La baisse des précipitations demeure en étroite corrélation avec une baisse du débit des rivières ainsi qu'un taux d'humidité du sol, et qui constituent en effet les différents facteurs de la sécheresse.

Outre le problème de l'intensité accrue des pluies, qui peuvent empêcher une infiltration optimale des ruissellements, les capacités de stockage ou de retentions laissent actuellement à désirer.

La qualité de l'eau disponible pour la consommation humaine est affectée par le réchauffement des températures et les impacts qui lui sont associés. Par ailleurs, le réchauffement de la température des lacs et des rivières entraîne une dégradation de leur qualité aussi bien biologiquement que chimiquement. L'intensité accrue des précipitations pourrait aggraver la pollution de l'eau, dans la mesure où elles s'accompagnent davantage de polluants vers les aquifères souterrains, et ce d'autant plus que l'érosion associée à des précipitations intenses rend ces substances plus mobiles. L'érosion provoque incontestablement la turbidité de l'eau. Les fortes intensités des précipitations et de débit des rivières entraînent une inondation et risquent de saturer les systèmes de récupération et de traitement des eaux usées, avec des contaminations ou de décharges intempestives. Si à l'inverse elles sont trop faibles, la quantité d'eau disponible ne suffira pas à dissoudre de manière satisfaisante les polluants...

D'après les experts du GIEC (Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat – 3rd Assessment Report, IPCC), d'ici 2100 et selon différents scénarios liés au développement de la société, le réchauffement pourrait atteindre 1.4 à 5.8°C, La hausse des températures devrait provoquer des cycles hydrologiques plus vigoureux, c'est à dire des sécheresses et des inondations plus sévères à travers une variation des précipitations de 5 à 20% (aussi bien en terme d'augmentation que de diminution selon les régions du globe). Une évolution rapide et soutenue du climat pourrait également modifier l'équilibre entre les espèces, et provoquer un dépérissement des forêts, qui sont notamment des puits de dioxyde de carbone.

### 2.3.2. Modification du cycle hydrologique de la végétation : diminution de l'évapotranspiration

Une étude internationale parue dans la revue Nature du 21 octobre 2010, à laquelle ont participé des chercheurs du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE<sup>(1)</sup> (Laboratoire des Sciences du Climat et l'Environnement) /IPSL (Institut Pierre Simon Laplace), CEA (Commissariat à l'énergie atomique) / CNRS (Centre national de la recherche scientifique) / UVSQ (Université de Versailles St Quentin), a mis en exergue un net ralentissement de l'évapotranspiration depuis douze ans au niveau mondial. Un impact négatif sur les écosystèmes et les ressources en eau résulterait de cette tendance.

L'évapotranspiration qui n'est autre que l'évaporation de l'eau à la surface des terres et la transpiration des plantes, est un élément fondamental du cycle de l'eau et du système climatique auxquelles s'associent la régulation de la quantité d'eau dans l'atmosphère et la dynamique du climat. Elles demeurent également un facteur déterminant de la disponibilité en eau des sols pour la consommation humaine et pour la croissance des plantes.

(1) : LSCE: Le Laboratoire des Sciences du Climat et l'Environnement (LSCE) est une unité mixte de recherche CEA-CNRS-UVSQ, créée en janvier 1998 par la fusion du Centre des Faibles Radioactivités (CFR) et du Laboratoire de Modélisation du Climat et de l'Environnement (LMCE).

Conséquences négatives pour l'humanité

Le Giec prévoit des conséquences négatives majeures pour l'humanité au XXI<sup>e</sup> siècle :

- une diminution des ressources en eau dans la plupart des régions sèches tropicales et subtropicales ;
- une augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes comme les pluies torrentielles, les tempêtes et les sécheresses, ainsi qu'une augmentation de l'impact de ces phénomènes sur l'agriculture ;
- une augmentation des feux de forêt durant des étés plus chauds ;

### 2.3.3. Changement climatique et cycle de l'eau

#### 2.3.3.1. Cycle de l'eau

Les vents influent sur le mouvement de la vapeur d'eau provenant de l'évaporation des océans. Les nuages résultent de la condensation de cette vapeur qui retombe en précipitation dont 80% rejoignent de nouveau l'océan et 20% retombent sur les continents. La majorité de l'eau précipitée sur les continents sont rapidement récupérées dans l'atmosphère par évaporation et évapotranspiration (évaporation de la transpiration des végétaux). Le reste se déverse, plus ou moins directement, vers la mer, par ruissellement ou par infiltration dans les sols. Le renouvellement de l'eau dans l'atmosphère et les cours d'eau s'effectue pendant quelques jours. En revanche, l'eau stagne plusieurs années dans les grands lacs, et plusieurs milliers d'années dans les océans, les glaciers, et certaines nappes souterraines.

L'énergie solaire favorise essentiellement l'évaporation de l'eau des mers et des océans vers l'atmosphère sans le sel et les autres impuretés. Au niveau des océans, l'évaporation devient plus accélérée qu'à l'intérieur des terres: lacs, rivières et fleuves. Les rayons solaires qui réchauffent l'eau des rivières, des fleuves, des lacs, des mers et des océans et les transforment à l'état liquide sous forme de vapeur d'eau (gazeux) : c'est l'évaporation.

Donc par leur fonction, les plantes et les autres espèces végétales après avoir puisé l'eau dans le sol et la rejettent dans l'atmosphère sous la forme de vapeur d'eau. Environ 10% des précipitations rejoignant la Terre proviennent de la transpiration des végétaux, le reste résulte de l'évaporation.

L'humidité qui s'élève dans l'atmosphère sous la forme de nuages est libérée par la transpiration des plantes et l'évaporation du sol humide.

**L'Évapotranspiration** forme ainsi l'eau restituée à l'atmosphère par l'action simultanée de l'évaporation et de la transpiration des plantes.



## Analyse de la gestion des ressources en eau

Les nuages au-dessus des terres se déplacent sur l'action du vent. Au contact de l'atmosphère, la vapeur d'eau refroidie et se transforme en petites gouttelettes et va donner naissance à des nuages et vont se diriger vers l'intérieur des terres sous l'action des vents. Il s'agit de la **condensation**.

Les nuages transportés par la circulation atmosphérique se déplacent et par l'effet de la gravité, en effet, l'eau retombe sur le sol sous forme d'eau, de neige ou de grêle (état liquide ou solide). Il va s'agir de **précipitations**.

L'**interception** fait partie des précipitations retenue et captée par la végétation ou les bâtiments et qui ne se retourne jamais sur la surface du sol. L'évaporation de cette eau constitue une perte au niveau hydrologique.

L'eau non absorbée par le sol, ruisselle le long des pentes pour rejoindre les cours d'eau de drainage : les ruisseaux, les rivières, les fleuves et les lacs. Elle sera ensuite transportée jusqu'aux mers et océans. Au contact avec le sol imperméable, ou lorsque le sol est saturé, l'eau de pluie s'écoule et dévale de l'amont vers l'aval. Le ruissellement part de la source en passant par le ruisseau, le ruisseau, la rivière, le fleuve pour se jeter dans les périmètres marins. Il s'agit d'un **ruissellement**.

Le **stockage superficiel** est formé par de l'eau piégée dans les creux et les dépressions du sol pendant et après une averse. Cette eau va éventuellement s'évaporer, ruisseler, s'infiltrer dans le sol ou être accaparée par la végétation.

En s'infiltrant dans un sol perméable l'eau peut parfois occuper une poche souterraine (grotte) et former un véritable réservoir d'eau. Cette eau contenue dans ce réservoir (nappe d'eau ou nappe phréatique) trouve parfois un chemin naturel vers l'extérieur et l'endroit où jaillit l'eau hors du sol constitue la source. Certaines nappes d'eau souterraines, peuvent aussi être exploitées par l'homme aux fins de réserves d'eau potable. Un peu moins de la moitié des précipitations vont constituer les nappes phréatiques, le reste se transforme en évaporation. Il s'agit d'un phénomène de l'**infiltration** des eaux.

L'eau stockée dans le sol et alimentant les sources alimente de longues rivières souterraine qui se déversent vers l'océan directement ou en passant par des cours d'eau de surface, c'est l'**écoulement de base**.

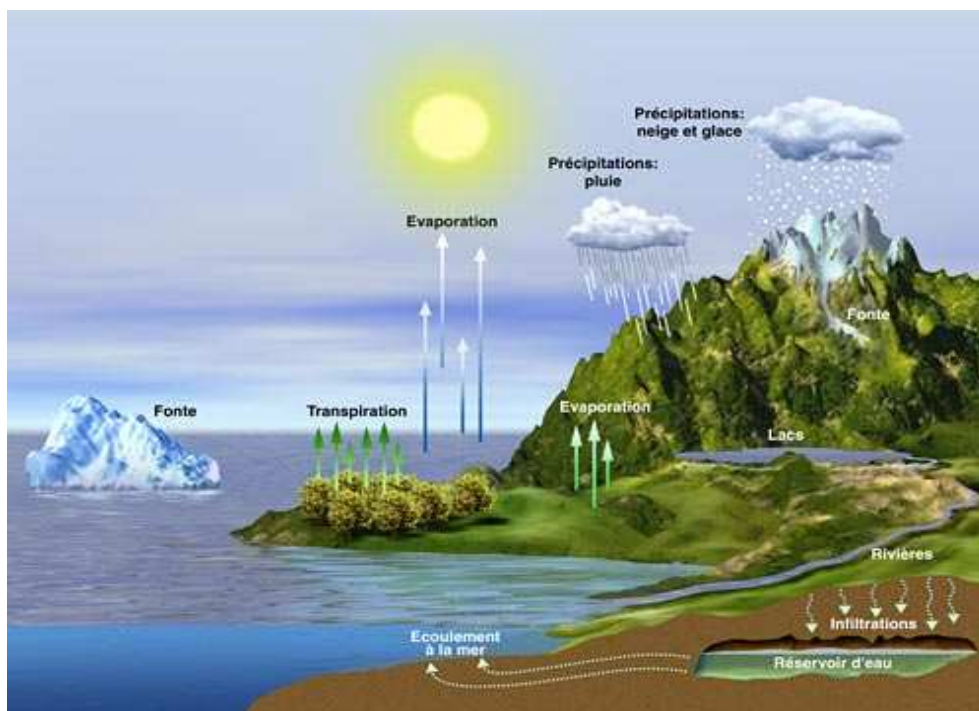


Figure 2: Cycle de l'eau (<http://www.astrosurf.com/luxorion/eau-cycles.htm>)

Le niveau prédit du réchauffement climatique, de deux à quatre degrés Celsius (°C) d'ici l'année 2100 paraît apparemment insignifiant. Mais son effet sera amplifié de plusieurs façons sur le cycle de l'eau. Le maintien de la température moyenne de la terre (15° C) permet à l'eau de se trouver simultanément, sous ses trois formes : solide, liquide et vaporeuse.

Or l'énergie supplémentaire qui provoque l'augmentation de la température va perturber cet équilibre délicat.

Les perturbations météorologiques, telles que les orages tropicaux, se multiplieront probablement avec des précipitations plus intenses, même si certaines zones seront en moyenne moins arrosées. Les inondations vont s'aggraver probablement et deviendront, plus destructrices et fréquentes qu'actuellement.

Un accroissement de l'évaporation résultera de la hausse des températures. Si le taux de cette évaporation dépasse celui des précipitations, la terre tendra à s'assécher. Dans les zones arides, la fraction des précipitations absorbée par la terre asséchée paraît plus importante, et va diminuer celle alimentant les torrents et rivières. L'assèchement des sols se caractérise par l'augmentation de leur capacité d'absorption qui réduira aussi le rechargement des nappes phréatiques, les réserves d'eau souterraines de la nature et, par conséquent, les sources qu'elles alimentent.

L'alimentation en eau de pluie des cours d'eau et des rivières pourrait diminuer à cause du changement du couvert végétal résultant du réchauffement. L'accroissement de l'évapotranspiration (le total de l'eau perdue par le sol, par évaporation directe et par perte d'humidité des plantes au travers de leurs feuilles) des zones à végétation luxuriante puisera davantage d'eau du sol pour la rejeter dans l'atmosphère.

## Analyse de la gestion des ressources en eau

Les populations du monde entier pourront souffrir de ces effets du changement climatique, voici quelques effets en relation direct avec l'eau :

- Certes, la hausse du taux de dioxyde de carbone dans l'atmosphère va profiter à la végétation, toutefois la production alimentaire diminuera dans bien des endroits à cause d'une réduction des précipitations qui deviendront plus sporadiques. Le niveau des rivières est proportionnel à l'eau disponible pour l'irrigation. Dans la plus grande partie du Mexique, par exemple, on s'attend à ce que le niveau des rivières baisse ; d'ici 2080, les principales zones d'irrigation pourraient connaître une baisse de 25 à 50 %. Dans de nombreux pays, la faim et la pauvreté sont tributaires de près des sécheresses.
- Les inondations mettant en danger la vie des centaines de millions de personnes vivant près des rivières sujettes à des débordements s'aggraveront, dans les plaines alluviales ou dans les deltas des fleuves : « ... deux milliards d'êtres humains vivent dans des zones où les risques d'inondations pourraient s'accroître d'ici les années 2080 », avertit Rajendra Pachauri, président du GIEC.
- L'accroissement des effets de la pollution paraît moins évident. Selon les spécialistes des questions sanitaires, « la solution du problème de la pollution passe par la dilution » puisqu'une grande partie des déchets des villes et des usines est entraînée par les rivières et ne présente pas à leurs écosystèmes des effets dangereux tant que leur flux est suffisant. Mais la baisse du régime des cours d'eau ne permettra plus d'assurer cette fonction et les populations vont supporter les conséquences d'une aggravation de la pollution, ou payer davantage pour le traitement des déchets.
- La qualité de l'eau dans les rivières subit les conséquences variables du changement climatique sont assez variables, elle pourrait s'améliorer ou se détériorer en fonction l'augmentation ou la diminution du débit de la rivière. La qualité de l'eau reste toutefois tributaire du réchauffement climatique. En effet, une augmentation de la température de l'eau entraîne une diminution de la quantité d'oxygène dissous qu'elle peut contenir et pourrait engendrer le même effet qu'une augmentation de la pollution organique. (Chapitre 4 du deuxième groupe de travail du troisième rapport de l'IPCC ou GIEC).

### 2.3.3.2. Précipitations

Le principal facteur de variabilité dans le cycle hydrologique se traduit par les précipitations. Des variations quotidiennes, saisonnières, annuelles et décennales des précipitations se constatent à un endroit donné.

Il existe différentes tendances de variations des précipitations aux échelles saisonnières et annuelles qui méritent à être considérées entre autres une augmentation des précipitations

annuelles dans les moyennes et hautes latitudes et une diminution dans les régions subtropicales. (Chapitre 4 du deuxième groupe de travail du troisième rapport de l'IPCC ou GIEC)

Il serait nécessaire de noter que les variations dues au réchauffement global seraient faibles face à des changements résultant de la variabilité multi-décennale.

### 2.3.3.3. Evaporation

On distingue l'évaporation du sol ou des surfaces d'étendue d'eau, et l'évapotranspiration. Une évapotranspiration résulte de l'énergie reçue par le sol, du taux d'humidité de l'air et de la turbulence de l'air au-dessus du sol.

Etant donné que l'air contient plus de vapeur d'eau lors d'une augmentation de sa température, une augmentation de l'évaporation du sol résulterait d'un réchauffement de l'atmosphère. Ce phénomène se vérifie dans les régions humides où l'humidité de l'air constitue un facteur limitant à l'évaporation. L'évaporation demeure essentiellement tributaire de la quantité d'énergie reçue par le sol et son taux d'humidité dans les régions sèches et où le réchauffement n'influera pas manifestement sur la situation actuelle.

Une augmentation de l'évapotranspiration avec la diminution de l'humidité de l'air pourrait aussi avoir lieu à laquelle plusieurs systèmes biologiques de régulation réagiraient à court ou long terme. A court terme, il s'agit de la capacité des plantes à diminuer leurs pertes en eau. A long terme, l'augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère jouerait un rôle déterminant en engendrant de la part des plantes une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau. Cette augmentation va constater cependant un facteur de croissance des plantes qui annulerait l'intensité de cette efficacité. L'impact global du CO<sub>2</sub> sur les plantes demeure encore moins maîtrisé et rendant difficile de mieux déterminer des tendances d'évolution de l'évapotranspiration.

### 2.3.3.4. Humidité du sol

La quantité d'eau contenue par le sol, c'est-à-dire son humidité peut limiter l'évaporation. En effet, il a été prouvé que dans l'Hémisphère Nord, suite à l'augmentation de température, l'évaporation serait plus forte qu'avant en hiver et au printemps et donc que l'humidité du sol serait de plus en plus faible pendant l'été (Gregory et al, 1997).

Il faut toutefois noter que ces tendances doivent être modulées suivant la composition du sol. En général, la faible teneur du sol en eau l'exposera aux variations résultant du changement climatique.

La fréquence et l'intensité du gel aurait des impacts sur la capacité de rétention d'eau du sol. La baisse de la fréquence et de l'intensité du gel, à cause du changement climatique, réduit la

quantité d'eau que peuvent contenir les sols et donc son humidité et pourrait augmenter la quantité d'eau qui circule en surface. (Chapitre 4 du deuxième groupe de travail du troisième rapport de l'IPCC ou GIEC).

Un besoin accru en irrigation proviendrait de la tendance régressive de l'humidité du sol.

### 2.3.3.5. Nappes d'eau souterraines

Ces nappes qui constituent la principale source d'eau utilisée par l'Homme dans le monde, ne font pas toutefois l'objet de travaux de recherche sur les effets potentiels du changement climatique. L'on pourrait toutefois admettre quelques hypothèses. Par exemple, dans régions où on trouve l'augmentation des précipitations pendant l'hiver, les nappes pourraient de plus en plus se remplir. Pendant la saison d'hiver et le printemps l'évaporation des sols s'accroît en fonction de la nappe.

On distingue deux types de nappes phréatiques : les nappes non confinées et les nappes confinées.

Les nappes non confinées sont rechargées directement par les précipitations locales et les sources d'eau permanentes telles que les rivières et lacs. La plupart des nappes de ce type qui sont les plus sujettes au changement climatique évoluent en effet en étroite relation avec la quantité d'eau provenant des pluies ou des rivières, selon les besoins du sol en évaporation, surtout quand ces sources sont peu profondes.

Une nappe confinée qui se situe en dessous d'une couche de roches imperméables s'évalue indépendamment des précipitations locales. Ces nappes sont rechargées par des précipitations et des sources d'eaux permanentes qui peuvent se trouver à quelques kilomètres comme à quelques milliers de kilomètres de la nappe. Ces nappes qui ne sont donc pas affectées en général par la variabilité saisonnière ou annuelle des précipitations ou de la température deviennent très vulnérables à une exploitation trop intense par l'Homme.

### 2.3.4. Problèmes d'eau liés à la variabilité et au changement climatique à MADAGASCAR :

Une énorme variation de quantité de pluies a été constatée depuis le siècle dernier. Une tendance régressive est enregistrée pendant les trimestres de Juin à Août et de Septembre à Novembre sur les Hautes Terres Centrales et sur la Côte Est durant la période 1961-2005. Corollairement, ce phénomène s'accompagne d'une tendance à l'allongement des périodes sèches

Une remarque importante est également observée sur la tendance à l'augmentation de la durée des périodes sèches consécutives annuelles à Madagascar.

## Analyse de la gestion des ressources en eau

Cette perturbation climatique résulte certainement de la diminution des précipitations de Juin à Novembre et se caractérise par des débuts tardifs de la saison pluvieuse et la diminution du nombre de jours de pluie durant la période allant de Juin à Novembre.

### 2.3.4.1. Perturbations du régime hydrologique:

- Des phénomènes hydrologiques extrêmes tels que les crues des rivières plus brutales et plus dévastatrices s'accroissent
- La fréquence annuelle des perturbations tropicales (dépressions et cyclones tropicaux) qui s'affaiblissent deviennent cependant plus dangereuses surtout dans les zones humides de Madagascar.
- Les périodes de sécheresse qui s'aggravent engendrent incontestablement et les manques d'eau dans les zones semi-arides de la partie sud de la Grande Île.

### 2.3.4.2. Les différents problèmes

- Les problèmes d'approvisionnement en eau potable : plus difficile à résoudre, le problème de qualité d'eau et d'assainissement dans les régions humides (partie Est de la Grande Ile) se manifestent.
  - Problèmes d'approvisionnement en eau en quantité et en qualité dans les zones semi-arides du Sud où l'on rencontre une pollution des eaux.
  - Les nappes alluviales, très exploitées pendant les saisons sèches provoquent une baisse du niveau de la nappe phréatique et la sécheresse des rivières même en saison des pluies.
  - Sur le plan socio-économique, des dégâts importants : mort des bétails, destructions des cultures et d'infrastructures résultent de ces phénomènes extrêmes.
  - Ces phénomènes annuellement périodiques aggravent des dégâts antérieurs non encore rétablis. Alors, les coûts des réhabilitations deviennent de plus en plus chers et nécessitent des aides extérieures.
- Malheureusement elles sont parfois tardives, souvent insuffisantes et affectent le développement socio économique.

### 2.3.4.3. Impact sur les ressources en eau

Il s'observe encore une répartition inégale de ressources en eau dans notre pays où l'on rencontre d'une part une zone à forte pluviosité où la pluviométrie annuelle qui varie entre 2 000 mm et 3 000 mm, voire même 4 000 mm (région Est) et d'autre part une zone aride avec une précipitation inférieure à 350 mm, au bilan hydrique déficitaire (extrême Sud). En outre, il

existe aussi une zone de pluviosité moyenne comprise entre 1 000 mm et 1 500 mm (Hauts plateaux) au régime pluviométrique très irrégulier. (PROGRAMME D'ACTION NATIONAL D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE « PANA », 2009).

Une modification du régime hydrologique des différents bassins risquent d'engendrer la perturbation de la pluviométrie, la violence des conditions climatiques extrêmes et l'augmentation potentielle de l'évapotranspiration.

L'impact des changements climatiques sur ce secteur se présente principalement sous deux formes : le régime hydro pluviométrique rendant la maîtrise de l'eau plus difficile et le changement de la qualité biophysique des eaux.

Différentes régions de Madagascar restent victimes des perturbations climatiques. Ces aléas climatiques concernent :

- des changements du taux de pluviosité
- des difficultés de gérer l'eau (crues importantes, sécheresses ou aridité sévère)
- une mutation des écosystèmes naturels.

### 2.3.4.4. Impact sur le secteur forestier

Les forêts qui sont essentiellement concernés dans le cycle régional de l'eau, subissent des effets potentiels des changements d'affectation des terres sur les climats locaux et régionaux (« Changement climatique et ressources en eau par système et par domaine », Harding, 1992; Lean *et al.*, 1996).

Le changement climatique qui influe sur la probabilité d'une augmentation de l'ampleur et de la fréquence des feux incontrôlés, constituant des facteurs de stress pour les arbres, ce phénomène aggrave indirectement les effets de ces perturbations.

Les écosystèmes forestiers réagissent différemment aux perturbations climatiques.

Les deux formes de dégradation considérées comme les plus importantes comprennent: l'érosion pluviale et l'érosion éolienne des sols des grands bassins versants.

Le contexte actuel devient tellement alarmant car l'érosion pluviale s'attaque constamment aux 1,2 millions d'hectares de savane boisée de Tampoketsa zone du haut plateau de Madagascar, et sur les 125.000 hectares des zones humides intensivement défrichées de l'Est. Cette situation entraîne une perte de terre de l'écosystème de l'ordre de 7 à 57 T/ha par an dans les parties boisées et de 14 à 114 T/ha/an dans les parties brûlées de forêt naturelle contre 1,5 à 3 T/ha/an uniquement dans les forêts naturelles. (PROGRAMME D'ACTION NATIONAL D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE « PANA », 2009)

Les impacts néfastes des changements climatiques empirent la situation car une hausse de température atmosphérique mondiale de l'ordre de 2,5°C (hypothèse optimiste) suffirait pour ensabler totalement la vallée de Tampoketsa.

La vulnérabilité de ce secteur se manifeste par la réduction des surfaces forestières qui concernent notamment les mangroves et occasionnant la diminution de la fonction chlorophyllienne, et par conséquent augmentant le dégagement de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, la disparition des forêts de basse altitude, des forêts littorales et des forêts marécageuses.

### 2.3.4.5. Projection climatique

#### *i. Modélisation du climat*

Les différents paramètres engendrant les perturbations climatiques sur des périodes précédentes et dans l'avenir nécessitent la mise en œuvre des Modèles Climatiques Globaux (MCG). Ce sont des modèles numériques complexes, qui représentent des interactions entre les différents composants du système climatique tels que la surface de la terre, l'atmosphère et les océans.

Afin d'évaluer en perspective la manifestation du réchauffement de la planète terre, on peut recourir à l'extrapolation de ces MCG. Les éventuelles caractéristiques des climats dans l'avenir peuvent être supputées grâce aux données fournies par la modélisation des résultats probants. La résolution spatiale des MCG est de l'ordre de 200-300 km (METEOROLOGIE DE MADAGASCAR, 2008). A cette échelle, les MCG représentent assez bien, par exemple, les changements de la circulation atmosphérique ou la projection du réchauffement global (températures).

Cependant les résultats de cette extrapolation des données fournies par les MCG ne permettent pas dans tous les cas d'avoir des résultats fiables surtout lorsqu'il s'agit d'un microclimat. D'où la nécessité de la technique de mise à l'échelle (downscaling) pour une échelle géographique plus fine.

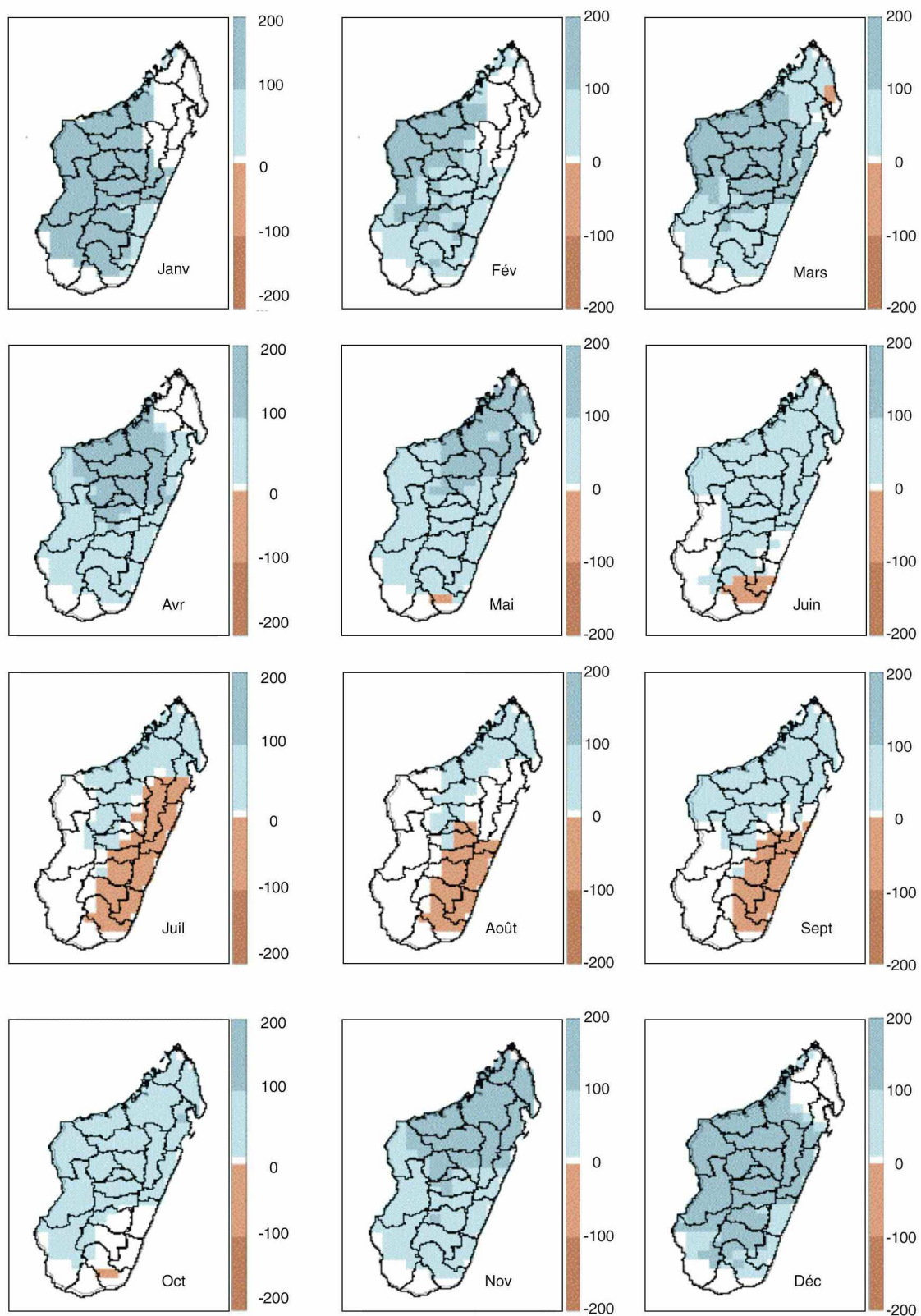
#### *ii. Précipitation*

Les projections de changement des précipitations, supputées par la METEOROLOGIE de Madagascar, résultant de la mise à l'échelle en utilisant six MCG. La combinaison d'un modèle climatique régional et de 13 MCG du Programme Mondiale de Recherche Climatique (PMRC) a permis d'aboutir aux projections de changements de température

Les présentes projections climatiques résultent du scénario d'émission A2 du GIEC (une utilisation modérée des combustibles fossiles témoigne au moins d'une intégration économique face à une population galopante). Concernant les températures et les pluies et le scénario A1b (un monde futur dans lequel la croissance économique sera très rapide et de nouvelles technologies plus efficaces seront de températures et précipitations ont été calculées pour la période centrée en 2055 (2046-2065) avec celles qui se rapportent aux cyclones tropicaux prévus pour l'année 2100.



## Analyse de la gestion des ressources en eau



**Carte 1 : Changements (Médiane) des précipitations mensuelles (mm/mois) obtenus à partir de la mise à l'échelle de 6 modèles globaux (période centrée en 2055). (METEOROLOGIE DE MADAGASCAR)**

## Analyse de la gestion des ressources en eau

Les régions où 3 modèles ont donné des augmentations des précipitations et les 3 autres des diminutions sont laissées en blanc. Il en est de même pour les régions où les augmentations sont inférieures à 10 mm/mois.

L'augmentation des quantités de précipitations selon la projection de la Météo se présente de Janvier à Avril. Les quelques contradictions des projections ne fournissent pas pour certaines régions de Madagascar (Nord, Nord-Ouest, Nord-Est) des résultats probants. Une diminution des précipitations en Mars (4 sur 6 modèles) d'après une station. Pour les mois de Mai et Juin, les projections vers 2055 prévoient des augmentations de précipitations pour la majeure partie de Madagascar. Mais dans la région Sud-Sud-Est une diminution s'annonce.

Vers 2055, les projections vont accuser une diminution des précipitations pour la partie Est (Juillet) et la moitié Sud de la partie Est (Août-Septembre) ; le reste du pays sera plus humide.

En octobre, une seule station (extrême Sud-Est) prévoit une diminution des précipitations, et le reste du pays va connaître progressivement une période plus humide en Novembre (particulièrement au Nord) et en Décembre. Cependant dans les régions Nord et Nord-Est de Madagascar pendant ces mois, on note des projections contradictoires.

Les résultats des projections des précipitations à Madagascar pour 2055 peuvent être réunis comme suit :

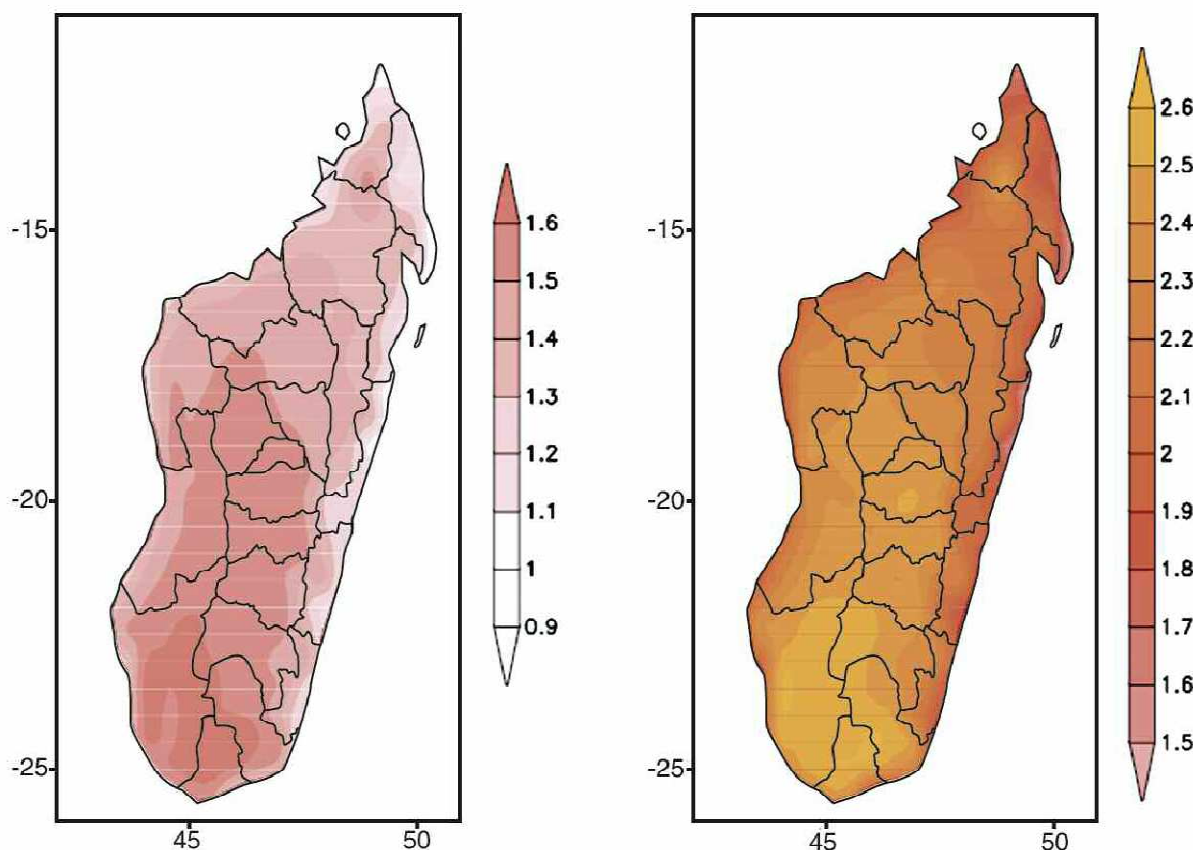
- Janvier à Avril : augmentation généralisée
- Mai à Juin : diminution dans la région Sud-Sud-Est et une augmentation sur le reste de l'île
- Juillet à Septembre : augmentation dans les parties Nord, Nord Ouest et Hautes Terres et une diminution dans les parties Est et Sud-Est
- Octobre : diminution sur l'extrême Sud-Est et une augmentation sur le reste de l'île
- Novembre à Décembre : augmentation généralisée

L'évolution annuelle des précipitations ne présente pas un aspect particulier. Une réduction de quantité de pluie pendant la saison sèche sur la Côte Est s'observe. Les séquences sèches s'allongent et s'accompagnent en accusant un retard du début de la saison des pluies. Les précipitations vont se concentrer en effet sur une période relativement courte, mais avec une intensité très forte durant la saison pluvieuse, notamment sur la partie Ouest et les hautes terres. Une forte humidité va frapper en effet une grande partie de Madagascar sauf dans la partie Est où les précipitations vont diminuer du mois de Juillet à Septembre.

La formation des précipitations sur la partie Nord, Nord Ouest et les hautes terres de Madagascar sera stimulée par le réchauffement climatique auquel s'ajoute l'augmentation de l'humidité, surtout durant la seconde moitié de la saison pluvieuse (été).

### iii. Température

Selon les projections, jusqu'en 2055 Il y aura une augmentation de la température annuelle à Madagascar de 1,1°C à 2,6°C par rapport à la moyenne de la période 1961-1990. Toutefois, cette augmentation ne présenterait pas une uniformité pour l'ensemble de Madagascar. (METEOROLOGIE, 2008)



**Carte 2 : Valeurs minimales (gauche) et maximales (droite) des projections de la température moyenne annuelle (°C) obtenues à partir de 13 modèles climatiques globaux et pour la période centrée en 2055 (METEOROLOGIE DE MADAGASCAR)**

La Carte 2a montre la plus faible augmentation de la température dans le Nord du pays et le long des régions côtières (plus de 1,1°C). L'accroissement de l'humidité, de la nébulosité et des précipitations dans le Nord, propices à la modération de l'augmentation de la température déterminerait essentiellement cette augmentation de température.

L'augmentation des valeurs minimales des accroissements de températures s'observe au fur et à mesure qu'on s'éloigne des côtes et particulièrement vers le Sud (plus de 1,5°C). Le long des côtes, les valeurs maximales des augmentations de la température vont dépasser à 1,8°C pour atteindre plus de 2,6°C dans le Sud du pays (Carte 2b). Une variation spatiale plus importante des

## **Analyse de la gestion des ressources en eau**

valeurs maximales des augmentations de la température par rapport à celle des valeurs minimales s'observe pertinemment. Les valeurs d'augmentation de la température qui s'étalent sur un intervalle très large pour le Sud Malgache. Les présentes plages de valeurs de l'augmentation des températures moyennes à Madagascar traduisent une orientation sur l'évolution de la température annuelle pour la période située en 2055. Ces valeurs ne reflètent que les changements annuels de températures.

Une augmentation de la température vers 2055 frappera l'ensemble de Madagascar, par rapport à la période 1961-1990. Cette hausse varie d'une région à l'autre :

- hausse importante dans le Sud (de 1,6°C à 2,6°C)
- augmentation moins perceptible le long des régions côtières (de 1,1°C à 1,8°C)
- augmentations comprises entre de 1,3 et 2,5°C sur le reste de l'île

### Chapitre 3. PROBLEMES DES RESSOURCES EN EAU

#### 3.1. Types de ressources

##### 3.1.1. Eaux souterraines :

Toutes les eaux se trouvant sous la surface du sol, dans la zone de saturation et en contact direct avec le sol ou le sous-sol constituent les eaux souterraines qui proviennent de l'infiltration des eaux de pluie dans le sol. Les eaux de pluie qui s'insinuent par gravité dans les pores, les microfissures et les fissures des roches, humidifient des couches de plus en plus profondes, jusqu'à rencontrer une couche imperméable. En remplissant le moindre vide, saturant d'humidité le sous-sol, elles forment ainsi en s'accumulant un réservoir d'eau souterraine appelé aquifère. En suivant les pentes, parfois pendant des dizaines voire des centaines de kilomètres, avant de ressortir à l'air libre la nappe serpente en sous-sol sur la couche imperméable pour alimenter une source ou un cours d'eau. Ainsi presque le tiers du débit total de tous les cours d'eau de la planète, soit environ 12 000 kilomètres cubes d'eau par an proviennent des nappes souterraines.

Il existe 2 types de nappes d'eaux souterraines en fonction de leur mode de circulation sous une couche perméable ou non.

Les nappes captées sous un sol perméable sont appelées libres. Des pores du terrain perméable, étant encore partiellement saturé laissent les eaux de pluie l'imprégner davantage. Le niveau de la nappe peut en effet monter ou baisser librement avec des quantités d'eau variables. Il s'agit notamment des cas des nappes d'accompagnement des rivières. Cette variation de niveau ne serait bloquée par une couche imperméable. Un puits creusé dans une telle nappe garde le même niveau d'eau.

En revanche, les nappes emmagasinées entre deux couches imperméables sont dites captives car le niveau de l'eau qui reste stagnant ne le permet pas de s'insinuer dans un sol imperméable. Ces nappes qui se situent dans des zones perméables se renouvellent avec une vitesse inférieure à celle des nappes libres. Celles-ci atteignent en général une profondeur de quelques centaines de mètres et plus, et avec une pente assez forte, l'eau y est sous pression. En creusant un puits, l'eau s'élève jusqu'à un niveau d'équilibre supérieur et la pression suffit pour permettre à l'eau de jaillir en surface. Une telle nappe est alors dite artésienne. C'est le phénomène d'artésianisme.

Les vitesses des eaux souterraines qui dépendent de la nature des sols varient de manières différentes: cette vitesse est proportionnelle à la taille des porosités du sol. Pendant toute la période de l'année, elles peuvent ravitailler constamment les cours d'eau. Les eaux souterraines qui jouent donc un rôle de régulation extrêmement important alimentent en effet le " débit de base " des cours d'eau ou débit d'étiage. Ce sont les nappes libres qui assurent les bonnes régulations du débit d'eau par rapport aux nappes captives.

## Analyse de la gestion des ressources en eau

Sous nos latitudes, les nappes aquifères demeurent alimentées principalement en hiver, période pendant laquelle on constate la faiblesse du phénomène d'évaporation et l'humidité des sols favorise l'infiltration. En outre, les plantes vivant au ralenti vont consommer moins d'eau. Les eaux souterraines reconstituent donc leurs réserves au cours de cette saison d'hiver. En été en revanche, leur niveau baisse car elles n'accumulent plus d'eaux nouvelles et elles continuent à alimenter les cours d'eau pendant l'hiver trop sec, elles peuvent cependant se tarir. Dans les pays tropicaux secs, les nappes qui reconstituent leur réserve durant la saison des pluies s'épuisent au cours d'une longue saison sèche jusqu'au point de se tarir.

### 3.1.1.1. Les trois formes de l'eau souterraine

#### *i. L'eau de constitution*

C'est l'eau qui rentre dans la structure cristalline des minéraux (exemple: gypse  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )

#### *ii. L'eau de rétention*

- L'eau d'adsorption (liée). Les molécules d'eau dipolaires sont attirées par des effets de surface sur des ensembles ionisés (comme les argiles) en couche fine. L'eau d'adsorption n'est pas chassée par centrifugation.
- L'eau d'adhésion (pelliculaire). L'eau est retenue à la surface des grains par une attraction électrique moins forte que dans l'adsorption, elle peut se déplacer.
- L'eau capillaire (Frange capillaire): elle se trouve dans les pores, c'est l'eau d'absorption (l'eau recherchée par les racines).

#### *iii. L'eau libre*

C'est l'eau de gravité, l'eau disponible pour les nappes phréatiques et les aquifères, et qui est donc disponible et exploitable, par un forage ou un puits.

### 3.1.2. Eaux de surface

Par opposition aux eaux souterraines, l'eau de surface désigne l'eau qui s'écoule ou qui stagne à la surface de l'écorce terrestre et qualifie toutes les eaux naturellement ouvertes sur

## Analyse de la gestion des ressources en eau

l'atmosphère. Ces eaux de surface concernent essentiellement des cours d'eau, des lacs et des eaux de ruissellement qui s'y trouvent.

La température d'une eau de surface varie en fonction du climat et des saisons. Les matières en suspension sont en fonction de la pluviométrie et la nature et relief des terres aux alentours de cette eau de surface. Sa teneur en sels minéraux se détermine selon la structure du terrain, de la pluviométrie et des rejets .

En tout cas, après avoir intervenu dans la vie physiologique de la flore et de la faune, l'eau de surface s'évapore ou rejoint le cours lent des eaux souterraines.

### 3.1.3. Différences entre l'eau de surface et l'eau souterraine

**Tableau 1 : Les principales différences entre l'eau de surface et l'eau provenant des sols**

| Caractéristiques                                                                                                                                                                      | eau de surface                                                                                            | eau des sols                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| <b>Température</b>                                                                                                                                                                    | Varie en fonction des saisons                                                                             | Relativement constante                                                      |
| Turbidité                                                                                                                                                                             | Niveau variable parfois élevé                                                                             | Faible ou nulle                                                             |
| <b>Couleur</b>                                                                                                                                                                        | Principalement dû aux sols en suspension (argile, algue,...) excepté pour les eaux acides et très douces. | Principalement dû aux solides dissous                                       |
| <b>Contenu minéral</b>                                                                                                                                                                | Varie avec le sol, les effluents, les pluies,...                                                          | Généralement plus important que pour l'eau de surface pour un même endroit. |
| <b>Fe et Mn en solution</b><br>Le fer et le manganèse sont des éléments peu esthétiques, présents généralement dans les eaux souterraines, générant des précipités colorés indésirés. | Généralement pas sauf pour au fond des lacs et des dans le processus d'eutrophisation                     | Présent                                                                     |
| <b>CO<sub>2</sub> agressif</b>                                                                                                                                                        | Pas présent                                                                                               | Souvent présent en grande quantité                                          |
| <b>O<sub>2</sub> dissout</b>                                                                                                                                                          | Souvent proche du niveau de saturation. Absent dans les eaux très polluées.                               | Généralement peu présent                                                    |
| <b>H<sub>2</sub>S (Sulfure d'Hydrogène)</b>                                                                                                                                           | Pas présent                                                                                               | Souvent présent                                                             |



## Analyse de la gestion des ressources en eau

|                                                                                                                   |                                                                                                                   |                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Il est émis lors de la fermentation anaérobie (en absence d'oxygène) de matière organique. Odeur « d'œuf pourri » |                                                                                                                   |                                                                                |
| NH <sub>4</sub> (ammonium)<br>NH <sub>3</sub> <sup>-</sup> + H <sup>+</sup>                                       | Seulement dans des eaux polluées.                                                                                 | Souvent présent sans forcément une pollution bactériologique.                  |
| Nitrates                                                                                                          | Niveau généralement faible                                                                                        | Niveau parfois important                                                       |
| Silice                                                                                                            | Généralement en proportion modérée                                                                                | Niveau souvent important                                                       |
| Micropolluants d'origine organique et minérale                                                                    | Présent dans l'eau des pays développés mais est susceptible de disparaître rapidement une fois la source éliminée | Normalement pas mais une pollution accidentelle a des effets à très long terme |
| Organismes vivants                                                                                                | Bactéries, virus, plancton (animal et végétal)                                                                    | Des bactéries du fer sont fréquemment trouvées                                 |
| Solvants chlorés                                                                                                  | Rarement présent                                                                                                  | Souvent présent                                                                |

Source : Water Treatment Solutions LENNTECH

### 3.2. Répartition des ressources

La répartition des ressources en eau est très inégale aussi bien dans l'espace que dans le temps.

**Dans l'espace**, cette inégalité de la répartition des ressources se ressent entre les différentes régions du monde, entre les villes à forte densité humaine et les campagnes, entre les zones de consommation et les sources d'approvisionnement ;

**Dans le temps**, les périodes de demande maximale d'eau pour l'irrigation coïncident souvent avec celles où le niveau des ressources superficielles ou souterraines à la période d'étiage.

**Il en résulte de fréquents déséquilibres entre l'offre et la demande en eau.**

### 3.3. Surexploitation des nappes phréatiques

Depuis cinquante ans, certaines villes ont déjà consommé une part considérable de leurs ressources souterraines, qui vont mettre cependant plusieurs siècles pour se restituer.



### 3.4. Pollution des ressources

#### 3.4.1. Causes de la pénurie en eau.

La pollution des ressources, chronique ou accidentelle, constitue également l'une des principales causes de la pénurie en eau.

La disponibilité en eau dépend de plusieurs facteurs qui ne concernent pas seulement la quantité des ressources naturelles mais aussi leur qualité, notamment pour la production d'eau potable.

Or cette eau se détériore, aussi bien les eaux superficielles que les réserves d'eaux souterraines peuvent être affectées par les pesticides et les nitrates. En 2002, le "Sommet de la Terre" de Johannesburg a rappelé que près de 60 % de la population des pays en développement, soit 2,5 milliards d'individus, ne disposent pas de système d'assainissement de base.

Dans ces pays, environ 90 % des eaux usées sont rejetées directement, sans traitement, dans les rivières, les lacs ou les océans.

« En 2006, quelques 700 millions de personnes réparties dans 43 pays vivaient en dessous du seuil de stress hydrique. D'ici à 2025, plus de 3 milliards de personnes pourraient vivre dans des pays soumis au stress hydrique et 14 pays passeront d'un état de stress hydrique à un état de pénurie d'eau. » (Rapport mondial PNUD 2006 sur le développement humain).

##### 3.4.1.1. Pollution des eaux de surface

La pollution des eaux de surface la plus constatée est celle due aux détergents suite aux lessives dans les cours d'eau effectuées par les femmes. D'autre manifestation est celle causée par les baignades et les déchets à la surface des cours d'eau.

##### 3.4.1.2. Pollution de la nappe

L'élimination des polluants tels que micro-organismes, engrais, hydrocarbures, détergents, pesticides, composés phénoliques, métaux toxiques, substances organiques et inorganiques solubles dans les bassins devrait être maîtrisée. Les ressources en eau potable devraient se trouver à une distance de centaine de mètres et à une hauteur sur élevée par rapport à des sources de contamination souterraines possibles, telles qu'égouts, latrine, eaux résiduelles, sites de décharge de déchets solides.

Il est également primordial de bien gérer les bornes fontaines ou pompes communes. Les étendus d'eau qui se stagnent aux alentours de la borne fontaine vont s'infiltrer en emmenant tous les déchets et vont polluer la nappe.

### 3.4.2. L'eau douce empoisonnée

Les nitrates, contenus dans les engrais azotés utilisés en agriculture s'infiltrant dans les nappes phréatiques et ruissellent jusque dans les rivières, menaçant la qualité des eaux qui alimentent nos robinets.

La pollution atmosphérique industrielle et urbaine est à l'origine des pluies acides qui font dépérir les forêts, déjà menacées par une exploitation incontrôlée. Les cours d'eau et les nappes phréatiques sont empoisonnés par l'emploi excessif d'engrais azotés, l'utilisation des décharges illégales et les rejets industriels.

L'état des ressources en eau ne dépend pas uniquement des facteurs météorologiques mais aussi de la manière de gérer cette ressource.

Les phénomènes naturels tels que la dégradation de l'environnement ou le changement climatique global constituent une menace pour les ressources en eaux. Ajouté à cela il y a aussi les menaces causées par l'activité humaine, la démographie, la déforestation, la pollution et toutes les pratiques qui, à long et moyen termes vont nuire à la qualité et à la quantité des ressources en eaux.

Il est donc primordial de parer aux problèmes que pourraient engendrer ces pratiques qui sont bel et bien présents, ne serait-ce que pour diminuer les effets nocifs vis-à-vis des ressources dans un premier temps et ensuite prévoir une amélioration. Ce qui sera explicité dans le chapitre qui suit.

**Partie II : LES DIFFERENTES SOLUTIONS POUR L'AMELIORATION DES  
RESSOURCES**

## Analyse de la gestion des ressources en eau

La mise en place d'une démarche de développement durable requiert plusieurs étapes :

- diagnostic : établir un état des problématiques
- définition de la politique transversale : analyse des problématiques et des axes majeurs de la stratégie de développement durable.
- plan d'actions : établissement et mise en œuvre du plan d'actions
- évaluation : analyse régulière de la mise en œuvre des actions et de leurs résultats, et réalisation des ajustements nécessaires
- formation de la population: former la population aux enjeux du développement durable, à la compréhension et à l'adhésion de la démarche de développement durable à appliquer
- communication : réalisation de supports de communication, internes et externes, lorsque la démarche est mise en œuvre
- accompagnement ou formation personnalisée, sur tous les thèmes attenants au développement durable, en fonction des besoins et des problématiques.

Le Protocole de Kyoto a comme objectif de constituer une réduction totale d'émissions de gaz à effet de serre d'au moins 5% par rapport aux niveaux de 1990 durant la période d'engagement 2008-2012.

Une sensibilisation effective de la population et la prise de responsabilité de l'ETAT pour un projet de société viable et serein contribueraient à la gestion durable et efficace de nos ressources en eaux.

Durant le dernier siècle, la population mondiale à presque quasiment doublé en une période très courte. Cet accroissement continue jusqu'à nos jours du notamment aux progrès de la médecine qui a réduit le taux de mortalité au profit d'une forte natalité notamment dans les pays en développement. Des mesures se doivent d'être prises pour sinon les ressources en eaux seraient insuffisantes pour satisfaire à toute cette demande.

### **Chapitre 4. REDUCTION DE L'ACCROISSEMENT DEMOGRAPHIQUE**

Pour aider immédiatement à économiser l'eau il faut tenir compte du plan de la demande, une série de mesures économiques, administratives et à base communautaire. A long terme, la politique de la limitation de naissance freinera l'accroissement de la demande d'eau et aidera à gagner du temps pour mettre au point de meilleures stratégies de sa conservation et de sa gestion. Une telle mesure paraît inopportune pour certains pays où le manque d'eau va de pair avec une rapide croissance démographique, pour éviter une crise. Beaucoup d'autres pays peuvent échapper à la menace d'une crise en mettant rapidement en œuvre des politiques et des stratégies appropriées. Que l'eau serve à l'agriculture, à l'industrie ou aux municipalités, de nombreuses mesures de conservation et pour de meilleures techniques de gestion s'imposent. Des stratégies pour la gestion d'eau efficaces doivent améliorer non seulement cette gestion, mais aussi la demande.

Il est important par ailleurs d'agir dès maintenant pour ralentir la croissance de la demande d'eau douce pour éviter à long terme une catastrophe en freinant la croissance démographique. A l'heure actuelle, dans beaucoup de pays en développement, des millions de gens veulent planifier leur famille et recourir à la contraception. De tel programme s'avère important dans la santé reproductive des êtres humains et dans la réduction des niveaux nationaux de fécondité. Avec l'élargissement de ces programmes, une baisse de taux de croissance démographique vers des niveaux susceptibles d'être maintenus en fonction de la provision d'eau douce.

En ce qui concerne les mesures prises pour parer aux menaces contre la qualité des ressources, il serait judicieux de protéger toutes les sources et les sites de captages. Des protections aussi bien directes que lointaines peuvent être mises en place comme le décrit le chapitre qui suit

### **Chapitre 5. PROTECTION DES RESSOURCES**

#### **5.1. Prévention de la dégradation chronique des ressources**

Les nitrates, les produits phytosanitaires, les germes pathogènes et autres polluants chroniques constituent des facteurs nocifs qui dégradent les qualités des ressources d'eau potable. Ces pollutions, souvent diffuses et difficilement perceptibles altèrent la qualité des rivières, des nappes alluviales ou phréatiques. L'Identification de ces pollutions et leur contrôle nécessitent des mesures et action afin de les réduire. Ces interventions sont indissociables du traitement de l'eau.

#### **5.2. Prévention et lutte contre les pollutions accidentelles**

Les activités humaines, qu'elles soient naturelles ou à cause de l'imperfection de ses techniques sont responsables de dangers et de nuisances : incendies, explosions, accidents de transports, ruptures de canalisations, négligences. Autant d'événements qui peuvent provoquer de graves pollutions accidentelles des ressources en eau.

#### **5.3. Mise en place et surveillance des périmètres de protection**

Ces périmètres instituent autour des points de captage pour la production d'eau potable des zones de protection clairement délimitées et officiellement reconnues.

La délimitation claire des zones sensibles s'obtient par la mise en place de périmètres de protection.

Une fois les périmètres de protection établis, il est important de contrôler les activités, visant à veiller au respect des prescriptions administratives.

#### **5.4. Optimisation de la gestion**

##### **5.4.1. Surveillance des ressources**

Une surveillance régulière de la qualité et du niveau de ses ressources permet à la collectivité de piloter plus finement leur utilisation et d'évaluer l'efficacité des programmes de protection mis en place.

##### **5.4.2. Gestion des prélèvements à long terme**

Il s'avère nécessaire de puiser dans les ressources sans compromettre le capital-eau pour protéger le patrimoine commun et satisfaire les besoins en eau potable dans un objectif à long terme.

### 5.5. Protection du captage

Des périmètres de protection devront être installés au niveau des points de captage des eaux de surface et souterraines, afin de préserver les ressources contre les éventuelles pollutions (accidentelles ou chroniques). Il faut envisager la protection des ressources, par le biais de la mise en place de périmètres de protection, pour les objectifs suivants :

- contribution à la préservation de la qualité des ressources;
- assurance de la continuité du service d'alimentation en eau potable.

L'instauration de périmètres de protection s'impose autour des points de captage d'eau afin de réduire les risques de pollution chronique ou accidentelle.

Au sein des endroits des captages, la gestion des forêts devrait se conformer aux exigences prioritaires de la protection des eaux souterraines. Cependant les mesures prévues ne se limitent pas uniquement aux zones de protection des eaux souterraines proprement dites, mais concernent l'ensemble des bassins versants de captages.

Les environs immédiats du captage devraient être protégés en limitant l'accès à la zone d'extraction aux seules personnes autorisées. Les têtes de puits et flux de sources devraient être protégés par une structure adéquate pour interdire l'accès aux individus non autorisés, aux ravageurs et empêcher le contact avec d'autres sources de contamination telles que matières étrangères, drainage, eaux de crue et eaux d'infiltration.

Ce procédé contribue à sécuriser l'alimentation en eau potable.

Une des solutions les plus préconisées est la reforestation c'est-à-dire la mise en place d'une végétation qui pourrait résoudre les problèmes liés à l'eau. Ce chapitre explique les bienfaits de cette mesure.

### Chapitre 6. REFORESTATION

Le couvert végétal retient, selon sa densité, sa nature et l'importance de la précipitation, une proportion variable de l'eau atmosphérique. Cette eau d'interception est en partie soustraite à l'écoulement.

Grâce à sa frondaison, la forêt qui intercepte une partie de l'averse exerce une action limitatrice importante sur le ruissellement superficiel en régularisant le débit des cours d'eau et amortissant les crues de faibles et moyennes amplitudes. En revanche, son action sur les débits extrêmes causés par des crues catastrophiques est réduite.

A l'inverse, le sol nu, de faible capacité de rétention favorise un ruissellement très rapide. L'érosion de la terre va généralement de paire avec l'absence de couverture végétale. Etant donné l'importance du rôle joué par la forêt, on traduit parfois sa présence par un indice de couverture forestière K :

$$K = \frac{\text{Surface des forêts}}{\text{Surface totale du bassin}} \cdot 100$$

Toutes luttés contre la déforestation a été reconnues comme les moyens les plus efficaces et le plus économiques de préserver efficacement le réchauffement climatique ou l'effet de serre. Les projets forestiers, et notamment les projets de reforestation ou de reboisement vont constituer des moyens pour lutter contre les changements climatiques car les forêts vont absorber des quantités de gaz carbonique pour les stocker dans leur biomasse au travers du processus de photosynthèse.

Une gestion adéquate des forêts influe directement sur la qualité des eaux d'infiltration dans le sol forestier et par conséquent sur l'approvisionnement en eau potable dans les bassins versants avec couvertures forestières.

La reforestation ou le reboisement qui vise à restaurer des terres dégradées aura probablement des impacts positifs environnementaux, tels que la diminution de l'érosion, le contrôle de la salinisation, et la protection des bassins hydrographiques. Les forêts jouent un rôle non négligeable dans le cycle de l'eau, par leur action sur l'importance et la répartition des précipitations arrivant au sol, la dynamique de l'eau dans le sol et les quantités d'eau rejetées sous forme de vapeur dans l'atmosphère.

Parmi les principales mesures à prendre pour compenser la déforestation et des solutions pour lutter contre le changement climatique et pour réduire rapidement le problème de l'effet de serre figure le reboisement.

Cette solution présente trois grandes tendances :

- préservation : cesser toutes les activités tendant à détruire les forêts, il s'agit de limiter les émissions dues à la déforestation, protéger les forêts contre les incendies (car, lorsque la forêt brûle, elle rejette du dioxyde de carbone, CO<sub>2</sub> vers l'atmosphère).



## Analyse de la gestion des ressources en eau

- exploitation durable : Il s'agit de pratiques d'exploitation durables à impact limité, en améliorant la valorisation des déchets forestiers. Mentionnons entre autres les utilisations des matières combustibles ou biocarburants) ; la valorisation des bois coupés et ne pas les brûler sur place.
- plantation : le boisement et le reboisement consiste à et remettre en état des terres dégradées, c'est capter du carbone, c'est donc réduire ses émissions.

La gestion durable des forêts revêt énormément des importances particulières (même si elle n'est pas suffisante) pour lutter contre le changement climatique.

Les Forêts constituent des réserves naturelles pour assurer le bien être économique et social des populations en fournissant entre autres des produits forestiers ligneux (bois d'œuvres, bois de service, bois d'énergie, produits industriels,...) et des produits forestiers non ligneux (fibres, gommés, plantes médicinales, les résines, miels...).

Elles assurent aussi un rôle écologique inestimable grâce à leur capacité de:

- absorber le CO<sub>2</sub> atmosphérique par la photosynthèse et de stocker le carbone dans la biomasse et dans les sols;
- conserver les ressources en eaux, de freiner l'érosion et d'éviter l'inondation ;
- offrir une condition écologique convenable pour des milliers d'espèces animales et végétales.

### 6.1. La forêt et l'eau

La texture des sols pour le cheminement des eaux peut être modifiée par la couverture forestière : la partie supérieure des sols forestiers est essentiellement constituée de résidus organiques peu décomposés et peu structurés. Cette couche d'humus très filtrante possède une capacité de rétention importante d'eau.

En outre, les racines vivantes jouent le rôle d'un réseau hydraulique privilégié, notamment pour la fraction des eaux écoulées le long du tronc des arbres. Les cavités qui se forment après le pourrissement des racines donnent naissance à un ensemble de galeries facilitant ainsi la circulation de l'eau dans le sol. La forêt peut ralentir et retenir en effet l'écoulement des eaux.

L'impact primordial des forêts vise à améliorer la disponibilité de l'eau. Une zone de captage forestière assure l'alimentation de la majorité des ressources en eau douce au niveau mondial. Les racines des arbres confèrent aux sols une plus grande capacité de rétention de l'eau provenant des précipitations, ce qui entraîne une meilleure recharge des aquifères ainsi qu'une régulation du débit des cours d'eau tout au long de l'année tout en préservant la sécheresse. Les forêts favorisent les précipitations grâce au phénomène de l'évapotranspiration.

Les forêts assurent une bonne qualité de l'eau, grâce aux effets de filtration rendus possible par la rétention de l'eau. Les zones boisées procurent plus d'eau propre que celle qui provient des zones de culture ou d'élevage, qui devient polluée car l'eau pénètre plus rapidement dans le sol (et

entraîne avec elles les polluants agricoles). La déforestation constitue souvent un facteur essentiel de la dépréciation de la qualité des eaux.

La couverture forestière constitue également un atout pour les captages d'eau, en servant de rempart contre les glissements de terrains situés en amont des captages.

Par ailleurs, concernant certains sites, les nouvelles plantations peuvent nuire à la biodiversité si elles remplacent des prairies indigènes riches en espèces endémiques, des zones humides, des landes ou des terrains arbustifs indigènes riches en espèces.

Cependant le boisement, comme la plantation des eucalyptus, ayant comme pouvoir de puiser l'eau, pourrait avoir des effets néfastes, notamment sur la diminution sensible des débits des cours d'eau. La plantation des pins qui acidifient l'eau ne sont pas conseillée.

Quelques types de plants pour le reboisement à conseiller comprennent les : Accacia, Vetiver, Murier, Hazo beravina, petites mandarines, paulownia, grevillea, ravintsara, raphia, lingoza, jatrophia.

### 6.1.1. La forêt et la prévention de la qualité de l'eau

La capacité épuratoire de la forêt lui confère le rôle d'une zone tampon entre espace pastoral et ressource en eau. Il s'agit d'une capacité d'un écosystème susceptible de transformer ou d'éliminer les substances polluantes, grâce à un ensemble de processus biologiques, chimiques, physiques.

Les secteurs forestiers procurent en outre plus de la moitié des captages d'eau utilisés pour l'alimentation en eau potable se situent. La gestion forestière et préservation sanitaire de la ressource devraient rester constamment indissociables. Le boisement des zones de captage des sources constitue une solution pour préserver une qualité potable de l'eau (protection contre la pollution).

L'utilisation des zones tampons et le maintien de la couverture forestière qui s'imposeraient pour limiter la pollution diffuse par les produits issus de l'agriculture demeurant indispensables, en complément de bonnes pratiques de traitement en amont.

Les avantages de l'infiltration fournis par les couvertures végétales sont fonction de la nature de ces couvertures du sol. En effet, l'eau interceptée par la végétation peut se répartir en trois catégories. Une partie va directement s'évaporer à partir de la plante ou être absorbée par celle-ci : il s'agit donc bien de *pertes* au niveau du bilan hydrologique. Une autre partie de l'eau atteint le sol en passant par l'écran végétal par égouttage de la végétation. Une troisième partie circule afin le long des branches et ruisselle sur les troncs avant d'atteindre le sol : ces deux dernières catégories constituent une précipitation différée, mais ne constitue pas une perte du point

de vue hydrologique. Il y a souvent tendance à confondre l'interception (soit la quantité totale d'eau retenue, même temporairement par la végétation) et les pertes dues à l'interception (soit l'eau qui n'atteint jamais le sol). Il serait nécessaire de choisir une meilleure couverture végétale réduisant autant que possible l'évaporation directe de l'eau sans qu'elle atteigne la surface du sol, mais favorisant davantage l'écoulement de l'eau le long des branches pour atteindre ensuite le sol.

### 6.1.2. Influence de la couverture végétale et de ses changements sur le cycle hydrologique

La couverture du sol - La végétation influence positivement l'infiltration en ralentissant l'écoulement de l'eau à la surface, le ruissellement est alors retardé et la pointe de crue est atténuée, lui donnant ainsi plus de temps pour pénétrer dans le sol. D'autre part, le système racinaire améliore la perméabilité du sol.

La végétation est certes déterminée par les variables climatiques entre autres la température et la précipitation. Son rôle et ses modifications sur le climat restent moins influents. Le couvert végétal échange de l'eau de la chaleur, de la quantité de mouvement et du CO<sub>2</sub> avec l'atmosphère. Ces échanges sont tributaires de paramètres caractérisant le couvert.

### 6.1.3. Influence de la forêt sur l'infiltration

La forêt qui constitue un moteur principal du cycle de l'eau, le régularise. Chaque arbre intercepte, évapore, transpire ; le sol emmagasine; les versants ruissellent. Après des précipitations, lorsque la vitesse d'arrivée de l'eau sur le sol devient supérieure à la vitesse d'infiltration, l'eau commence à ruisseler.

La forêt qui diminue énormément les débits de pointe et le volume des crues contribue à éviter le ruissellement direct et en favorisant l'infiltration de l'eau vers les nappes. Les pointes d'écoulement pluvial atteignant les cours d'eau après des précipitations sont généralement atténués et retardés par la présence d'une forêt naturelle.

La végétation joue un rôle important pour lutter contre l'érosion par ruissellement grâce à son action de régulation hydrologique sur des bassins versants. Cette régulation se caractérise par l'interception des gouttes de pluie, l'augmentation de l'infiltration de l'eau dans le sol, le pompage d'une partie de l'eau contenue dans les sols et la restitution dans l'atmosphère sous forme d'évapotranspiration. Cette couverture contribue à diminuer la quantité, l'intensité et la vitesse du ruissellement. Une pluviosité importante dépassant la capacité de rétention du sol augmente un ruissellement de surface et provoquant en effet des inondations. Or sous la forêt, cette capacité de

rétenion est maximale car la végétation peut absorber l'eau et l'infiltrer vers les nappes, grâce aux systèmes racinaires développés des arbres.

Une forêt bien dense qui occupe un sol l'assure sur le plan hydrologique, mais sous réserve d'une exploitation adéquate.

Le couvert végétal va réguler l'écoulement en surface en retenant une partie de l'eau précipitée pour l'empêcher de s'écouler. La densité et la nature de la végétation qui intercepte une partie de la pluie y jouent un rôle important.

La forêt réduit le ruissellement en interceptant une grande quantité d'eau dans le feuillage car elle peut amortir petites crues.

Faute de couverture forestière, le ruissellement devient important et l'eau arrive plus vite dans le cours d'eau (temps de concentration réduit). L'érosion devient aussi très forte et dévastatrices.

### 6.1.3.1. Intervention des végétatifs dans le processus d'interception

Il existe plusieurs facteurs essentiels qui conditionnent les quantités d'eau pouvant être infiltrés grâce aux couvertures du sol: Ils concernent principalement :

#### *i. La morphologie des végétaux et capacité de stockage*

On caractérise en général le fait qu'un végétal puisse intercepter de l'eau par sa capacité de stockage  $S$  ainsi que par sa vitesse de drainage  $k$ . Le type de végétal et sa morphologie par le biais de l'agencement des feuilles le long des branches déterminent la capacité de stockage. Ainsi, un peuplement de feuillus intercepte en règle générale moins d'eau qu'un peuplement de résineux.

Une végétation basse telle que des fougères qui disposent des capacités très importantes de stockages de même ordre que des feuilles.

#### *ii. La densité des peuplements*

Plusieurs indicateurs de densité des peuplements se définissent généralement sur l'estimation de la surface foliaire totale du couvert végétal (proportion en plan de la surface du sol cachée par de la végétation) ou sur le calcul du rapport entre la surface totale des feuilles du couvert végétal et la surface couverte par la végétation.

### *iii. La capacité de stockage de la végétation*

La capacité de stockage du couvert végétal, se traduit par la quantité d'eau qui peut être collectée et retenue par les végétaux à partir de la pluie incidente. Cette possibilité joue un rôle essentiel dans les processus d'infiltration.

### *iv. La taille du couvert végétal*

Les quantités d'eau qui atteignent le sol sont aussi fonction de la hauteur de l'arbre. Les grandes forêts, constituées de longs troncs permettent certainement une meilleure infiltration. Les quantités d'eau écoulée le long du tronc des grands arbres vont prendre plus de temps pour atteindre le sol, favorisant ainsi l'infiltration que le ruissellement, par rapport à des arbres de petite taille qui facilitent beaucoup plus le ruissèlement que l'infiltration et accentuent la vitesse des eaux qui vont atteindre le sol par égouttage de la végétation.

La quantité d'eau transmise dans le sol, par le phénomène de l'infiltration permettra d'alimenter ainsi la nappe et d'augmenter le volume d'eau disponible en étiage. Ce phénomène engendrera le changement de la loi de tarissement.

A part les solutions citées plus haut, plusieurs autres mesures moins obligatoires certes mais pour la plupart assez efficaces peuvent être adoptées. Ces mesures consistent en général à économiser l'eau (mise en bouteille, recyclage) voire à recharger la nappe aquifère comment l'explique le chapitre qui suit.

### Chapitre 7. LES AUTRES ALTERNATIVES

#### 7.1. Economie de l'eau

Une part non négligeable de l'eau produite est souvent gaspillée :

- lors de son acheminement vers les consommateurs (fuites sur les réseaux de distribution) ;
- par les consommateurs eux-mêmes.

##### 7.1.1. Principe

Le principe étant de réduire le gaspillage, diminuer les prélèvements dans les ressources et de sensibiliser les consommateurs aux économies

Économiser l'eau permet de diminuer directement les prélèvements dans les ressources. Différents moyens doivent être mise en œuvre pour économiser de l'eau :

##### 7.1.2. Réduction des pertes en réseau

20 à 50 % de l'eau distribuée se perd dans les réseaux fuyards de nombreuses villes. Afin de remédier à ces pertes, il faut détecter et réparer les fuites. Différentes techniques permettent de détecter les fuites. Une fois celles-ci localisées, un plan d'action pour réduire les pertes peut être mis en œuvre entre autres le remplacement des canalisations, la réhabilitation par chemisage ou le gainage, la mise en place des dispositifs de sécurité pour la protection des canalisations situées dans des sites vulnérables (traversées d'autoroutes, par exemple)

##### 7.1.3. Gestion au niveau des points d'eau

Il est aussi important de faire une énorme gestion au niveau des kiosques à eau. L'objectif étant d'assurer la pérennité du point d'eau, une participation a également été demandée aux villages afin qu'ils s'impliquent ensuite davantage dans l'entretien des pompes et ses environs.

### 7.1.4. Maîtrise des consommations et gestion de la demande

Le complément indispensable de ces actions consiste à développer la responsabilité du consommateur, en généralisant le comptage individuel et en mettant à sa disposition les informations nécessaires pour l'aider à maîtriser sa consommation en eau.

Ces actions qui consistent à développer la responsabilité du consommateur nécessitent des compléments indispensables :

- la sensibilisation aux économies d'eau ;
- la mise à sa disposition des informations nécessaires pour l'aider à maîtriser ses consommations ;
- l'extension du comptage individuel.

### 7.1.5. Recyclage des eaux usées

Il faut satisfaire les besoins en eau dans les zones arides et lutter contre la surexploitation des ressources en eau douce

#### 7.1.5.1. Principe

Le traitement et le recyclage des eaux usées s'imposent afin de satisfaire des besoins industriels (refroidissement des installations, alimentation de chaudières, process), domestiques (alimentation en eau potable) ou agricoles (irrigation des cultures, des espaces verts, etc...).

#### 7.1.5.2. Réduction des pénuries d'eau

L'utilisation d'eaux usées retraitées permet :

- d'augmenter la ressource en eau disponible ;
- de fournir une solution en cas de sécheresse ;
- de faire face à certaines situations de pénurie.

Techniquement, l'eau recyclée pourrait être utilisée comme eau potable, mais le frein psychologique existe.

Ce recyclage d'eaux usées réduit également la dépendance en eau envers d'autres régions, en évitant les importations d'eau et les transferts sur de longues distances.

Des ressources préservées entraînent un environnement mieux protégé

### 7.1.6. Mise en bouteille

La diminution considérable de la consommation de l'eau pendant la nuit entraîne un rehaussement du niveau de l'eau dans les réservoirs.

## Analyse de la gestion des ressources en eau

### 7.1.6.1. Principe

Aussitôt le remplissage de la chambre de mise en charge, l'eau déborde immédiatement par le biais du trop plein pour être évacuée. La technique de la mise en bouteille consiste à récupérer ces eaux et ensuite les mettre dans des bouteilles pour leur conditionnement et en vue de les économiser.

### 7.1.6.2. Avantages

- Economie : baisser les dépenses
- Eviter les gaspillages

### 7.1.6.3. Réalisation

Selon la courbe de consommation journalière, l'usage d'eau dans la commune commence à diminuer à partir de 21h. Après minuit, on constate l'arrêt total de la consommation.

Après minuit, quand l'eau dans le réservoir de tête atteint le niveau maximum d'eau, pour satisfaire aux besoins nocturnes de la population du village, en cas de besoin. On ferme la vanne au niveau du réservoir, manuellement ou automatiquement à l'aide d'un capteur, pour bloquer l'eau et une fois la chambre de mise en charge remplie, l'eau passe par le trop plein. Après 3h du matin, on remet la vanne en marche pour subvenir à la consommation de la population.

Il existe deux moyens pour la récupération:

- Un réservoir de récupération doit être installé juste à côté du trop plein pour recevoir les eaux évacuées. La mise en bouteille va s'effectuer pendant la nuit ou le lendemain.
- Un tuyau va se raccorder au trop plein, pour conduire l'eau jusqu'à une usine en vue de la mise en bouteille.

## 7.2. Développement des ressources alternatives

Dans certains pays, la rareté de l'eau douce implique la priorité à ses usages domestiques. Ainsi, il est souvent nécessaire de recourir à des ressources alternatives pour limiter les prélèvements sur les réserves d'eau douce.

Une pratique très répandue dans les régions du monde victimes des pénuries d'eau repose essentiellement sur le recyclage des eaux usées.

Ce procédé permet de valoriser les eaux de fin de cycle, en leur redonnant d'autres fins dans des domaines tels que: agricoles ou industriels.



## Analyse de la gestion des ressources en eau

Pour éviter les risques sanitaires, des systèmes de contrôle sont rigoureusement à mettre en œuvre.

Une recharge artificielle des nappes qui constitue une troisième solution est utilisée pour restaurer ou protéger des nappes, et lutter contre leur abaissement ou les rendre plus productives qu'elles ne le sont naturellement.

Dans des zones où l'eau est en quantité insuffisante, il est souvent nécessaire de recourir à des ressources alternatives pour préserver les réserves d'eau douce disponibles. La recharge de nappe constitue une technique efficace visant à réduire l'écart entre la demande en eau et les ressources existantes et grâce à laquelle, il est possible de disposer de plus grandes réserves souterraines afin de faire face aux déficits chroniques ou saisonniers. Cette recharge évite ou réduit les importations d'eau venant d'autres bassins d'approvisionnement.

### 7.3. Recharges des nappes souterraines

#### 7.3.1. Principe

Le principe est de compléter la recharge naturelle des nappes souterraines par une recharge artificielle, de stocker l'eau dans des réserves souterraines, et de lutter contre l'abaissement du niveau des nappes souterraines.

#### 7.3.2. Pouvoir filtrant et capacité de stockage du sol

Les nappes sont naturellement rechargées par les eaux de pluies et les cours d'eau hormis les nappes fossiles. Il est possible de compléter la recharge naturelle en la doublant par une recharge artificielle.

Afin de réaliser un projet de recharge artificielle de nappes, il faut d'abord connaître le comportement des ressources souterraines, puis évaluer les meilleures conditions de mise en œuvre. Ensuite, bien connaître la nature et la qualité des eaux à ré-infiltrer qui peuvent être des eaux de surface ou même des eaux usées retraitées.

Une recharge en 3 étapes :

#### • Le traitement des eaux avant recharge

Une injection artificielle d'eaux de surface de bonne qualité ne nécessite pas cette étape de traitement qui est en revanche indispensable quand on ré-infiltre des eaux usées ou des eaux de surface de qualité insuffisante. L'objectif qui vise à recharger la nappe ne présente pas trop de risque environnemental ni sanitaire.

### • La réalimentation de l'aquifère

La réalimentation peut avoir lieu soit par des puits d'injection, soit par gravité naturelle à partir d'un bassin d'infiltration.

### • La filtration complémentaire des eaux par le sol

Une fois pénétrée dans le sous-sol, l'eau continue à être filtrée jusqu'aux points de prélèvements pour l'alimentation et ce parcours dans le sous-sol assure la purification de l'eau. Parvenues dans la nappe souterraine, la nappe joue le rôle de réacteur naturel de traitement des eaux qui continuent d'être naturellement améliorées.

Les techniques de recharge qui permettent d'une part de réalimenter les nappes et d'autre part de les préserver. Ces nappes conservent ou retrouvent peu à peu leurs qualités et leurs capacités.

Ces procédés permettent également de limiter et même stopper les phénomènes de subsidence.

Dans le cas des nappes côtières, la recharge évite la pénétration d'eau de mer et leur salinisation.

### 7.3.3. L'utilisation des capacités naturelles du sol

Par sa capacité de filtration, le sol améliore la qualité de l'eau. La nappe qui est une réserve d'eau joue le même rôle qu'un barrage seulement elle s'opère dans un endroit souterrain.

Ce rôle de rétention d'eau à la nappe phréatique est essentiel dans les régions arides où l'évaporation paraît très forte sur les plans d'eau de surface. La recharge de nappe permet ainsi de disposer de l'eau à tout moment, en particulier pendant la période de sécheresse, pour satisfaire tous les multiples usages : alimentation en eau potable au sein des ménages, irrigation, besoins industriels.

La productivité d'une nappe dépend étroitement de sa recharge artificielle qui va augmenter son potentiel. La mise en œuvre de ce procédé coûte souvent moins cher que l'importation d'eau depuis des régions éloignées. Ainsi, permet-il d'éviter la dépendance envers des bassins d'approvisionnement lointains.

L'évaporation n'affecte pas les réserves d'eau dans les nappes souterraines à la différence des plans d'eau de surface. Le stockage facilite les contrôles de qualité des ressources.

Si toutes les nuisances ne peuvent être complètement effacées, elles doivent au moins être atténuées au maximum. Ces mesures sont explicitées dans ce chapitre, ainsi que le programme d'action national face au changement climatique.

### Chapitre 8. LES MESURES D'ATTENUATION ET LE PROGRAMME NATIONAL D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

#### 8.1. Les mesures d'atténuation

##### 8.1.1. Riziculture

Une des principales mesures d'atténuation consiste à réduire les émissions de méthane et d'oxyde nitreux sur les pratiques de riziculture, d'élevage et d'utilisation des engrais. En effet, diminuer les émissions de méthane de la riziculture est une meilleure gestion de l'eau.

625 millions de tonnes CO<sub>2</sub>eq proviendraient de la riziculture irriguée chaque année qui représente 55% de la surface mondiale de culture du riz et 75% de la production globale. Ce procédé cultural (25% de la surface récoltée et 17% de la production mondiale) génère également des émissions de méthane alors que le riz pluvial (13% de la surface récoltée au monde et 4% de la production mondiale) en dégage moins. Les cultures de riz émettent également de l'oxyde nitreux. (« *Study Can agriculture access carbon markets* », Cecilia Bellora, Laure Pollez, FARM, DÉCEMBRE 2010)

Les pays en développement deviennent des foyers importants des émissions de méthane d'origine rizicole, notamment en Asie de l'Est et du Sud (82% du total de ces émissions), car ces pays sont les principaux producteurs de riz.

Ces émissions de méthane résultent du développement des bactéries anaérobies sous la couverture d'eau. Ainsi, pour réduire les émissions d'origine rizicole, la modification de la gestion de l'eau devient incontournable. Les drainages de mi-saison et l'irrigation intermittente s'imposeraient afin de réduire les émissions jusqu'à 40%.

La couverture d'eau n'agit pas uniquement sur la production de méthane, mais favoriserait aussi la constitution de matière organique dans le sol. Ainsi, le bilan global en termes d'effet de serre d'une modification des pratiques qui réduirait la couverture d'eau, est incertaine : les émissions de méthane seraient réduites mais le carbone présent dans les sols de rizières anciennement inondées pourrait également retourner dans l'atmosphère, par minéralisation.

##### 8.1.2. Mise en application du code de l'eau

La mise en application du code de l'eau doit impérativement se faire, pour une meilleure gestion et meilleur résultat pour tout un chacun.

###### 8.1.2.1. Lutte contre la pollution

Toute personne physique ou morale, publique ou privée exerçant une activité source de pollution ou pouvant présenter des dangers pour la ressource en eau et l'hygiène du milieu doit envisager toute mesure propre à enrayer ou prévenir le danger constaté ou présumé.

## Analyse de la gestion des ressources en eau

En cas de non-respect des prescriptions du paragraphe précédent, l'auteur de la pollution est astreint au paiement, conformément au principe du pollueur payeur, d'une somme dont le montant est déterminé par voie réglementaire, en rapport avec le degré de pollution causée.

Toute personne physique ou morale qui produit ou détient des déchets de nature à produire des effets nocifs sur le sol, la flore et la faune, à polluer l'air ou les eaux et, d'une façon générale, à porter atteinte à la santé de l'homme et à dégrader l'environnement est tenue d'en assurer l'élimination ou le traitement.

L'auto surveillance porte, avant tout, sur les émissions de polluants, elle peut également comporter des mesures dans le milieu rural, à proximité de l'installation. Pour atteindre les objectifs qui lui ont été assignés, l'auto surveillance implique des mesures régulières et aussi fréquentes que possible dont les modalités seront fixées par voie réglementaire, notamment quant aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux rejets de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement.

Tout pollueur doit supporter les coûts de ses activités polluantes.

Sans préjudice de l'application du Code de la Santé Publique relatif aux mesures destinées à prévenir la pollution des eaux potables et à la surveillance des eaux de consommation toute infraction aux articles 12, 15, 17, 21 et 24 du présent Code est punie d'un emprisonnement de un an à 3 ans et d'une amende de 2.500.000 FMG à 250.000.000 FMG ou de l'une de ces deux peines seulement.

Toute infraction aux articles 10, 11, 32 et 33 du présent Code et des textes pris pour son application, notamment l'exécution de travaux sans autorisation ou contraire aux prescriptions de l'autorisation, est punie d'un mois à six mois d'emprisonnement et d'une amende de 250.000 FMG à 2.500.000 FMG, ou de l'une de ces deux peines seulement.

Quiconque exploite une installation d'eau ou d'hydroélectricité sans l'autorisation requise sera puni d'une peine d'emprisonnement de deux mois à un an et d'une amende de 2.500.000 FMG à 25.000.000 FMG ou de l'une de ces deux peines seulement, sans préjudice des éventuelles sanctions administratives relatives à la fermeture de l'installation.

### 8.1.2.2. Protection des ressources

Le maître d'ouvrage est l'autorité publique responsable vis-à-vis des usagers du service public de l'eau et de l'assainissement, sur une aire géographique donnée.

## **Analyse de la gestion des ressources en eau**

Les communes rurales et urbaines sont les maîtres d'ouvrages des systèmes d'approvisionnement en eau potable et d'assainissement collectif des eaux usées domestiques, situés sur leur territoire respectif. Elles exercent ces attributions par l'intermédiaire du conseil municipal.

Toutefois, aussi longtemps que les communes ne satisferont pas aux critères de capacité définis par décret pour l'exercice de tout ou partie des responsabilités incombant aux maîtres d'ouvrage, celles-ci seront exercées par le Ministre chargé de l'Eau Potable jusqu'à leur habilitation. Durant cette période, le Ministre chargé de l'Eau Potable agira comme maître d'ouvrage délégué des communes. A l'issue de cette période, les contrats conclus entre le Ministre chargé de l'Eau Potable et les tiers seront transférés de plein droit aux maîtres d'ouvrage.

Par dérogation au paragraphe 2 du présent article, les communautés, et/ou les "Fokontany", peuvent, à leur demande, exercer la maîtrise d'ouvrage déléguée des petits systèmes ruraux d'approvisionnement en eau potable situés sur leur territoire avec l'accord de l'Organisme Régulateur visé à la section IV du présent chapitre et de la commune de rattachement

La police des eaux s'entend de toute autorité et/ou autre entité investies du pouvoir de préserver la ressource en eau, quant à ses aspects qualitatifs, quantitatifs et économiques, au mieux de l'intérêt général.

La compétence de la police des eaux, définie au paragraphe précédent, couvre ainsi la gestion équilibrée de la ressource dans toutes ses composantes et la préservation du fonctionnement des écosystèmes aquatiques et des zones humides.

### **8.2. Le Programme d'Action National d'Adaptation au changement climatique**

La gestion saine et durable de l'eau dans tous les secteurs de la vie socioéconomique du pays constitue l'objectif principal de PANA (Programme d'Action National d'Adaptation au changement climatique) afin de renforcer sa capacité. Le PANA n'est pas un nouveau cadrage de politique de développement de Madagascar, Il doit être en complémentarité avec les principaux documents référentiels de développement de Madagascar.

Toutefois, Madagascar qui n'adopte pas encore un véritable PANA, devrait s'informer sur les expériences, les problèmes et les contraintes subis par les pays qui l'ont déjà mis en œuvre.

**Figure 3: effets de la variabilité du climat et des changements climatiques**

| Secteurs clefs    | Effets de la variabilité du climat                                        | Effets des changements climatiques                                                   |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Ressources en eau | Irrégularité du régime hydrologique<br>Dégradation des ressources en eau  | Augmentation de l'ampleur des inondations<br>Disparition de certains points d'eau    |
| Zones côtières    | Recul des lignes de côte<br>Intrusion saline<br>Blanchissement des coraux | Disparition de certaines lignes de côte                                              |
| Foresterie        | Diminution de la biodiversité<br>Dégradation des sols                     | Disparition de certaines espèces endémiques<br>Modification de la topographie du sol |

Source : PANA, 2009

Au niveau des douze régions échantillons de Madagascar, des mesures d'adaptation potentielles ont été détectées lors de la consultation des experts au niveau national et du public. Après avoir regroupé les mesures en projets poursuivant les mêmes objectifs, il faut ensuite procéder à leur priorisation à l'aide de la méthode multicritère et des analyses de sensibilité et de tendance des premiers résultats obtenus. Parmi les 17 projets finalement retenus et classifiés par ordre de priorité, nous n'avons retenu que quelques uns se rapportant directement à l'eau.

**Figure 4: Projets d'Adaptation aux changements climatiques**

| Rang du projet | PROJET D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES                  |
|----------------|------------------------------------------------------------------|
| 2              | Gestion durable des ressources en eau                            |
| 4              | Gestion Conservatoire de l'eau et des sols                       |
| 5              | Gestion durable des Ressources Naturelles                        |
| 6              | Intensification de reboisement                                   |
| 9              | Application des lois et réglementations forestières              |
| 15             | Amélioration et protection des infrastructures                   |
| 17             | Normalisation, Construction et modernisation des infrastructures |

## **Analyse de la gestion des ressources en eau**

### **8.2.1. Projet 2 : Gestion durable des ressources en eau**

#### **8.2.1.1. Description**

La vie de la population et ses activités de production demeurent étroitement tributaire de l'eau qui lui pose actuellement divers problèmes y afférents. Par conséquent, la gestion durable des ressources en eau occupe la deuxième place dans les projets d'adaptation aux changements climatiques.

#### **8.2.1.2. Objectif**

« L'objectif de ce projet est la mise en place des infrastructures qui permettent à la population déficitaire d'accéder à l'eau potable et à l'eau de l'irrigation pour la production. Ainsi, la responsabilisation des bénéficiaires à la gestion durable des ressources en eau tient une place importante dans ce projet »

#### **8.2.1.3. Activités**

1. Adduction et amélioration de l'accès à l'eau potable en milieu rural intéressant notamment les régions sud de Madagascar
2. Gestion durable des ressources en eau (irrigation, pluie artificielle, Traitement des eaux, IEC Information Education Communication sur la préservation des sources)
3. Mise en place et promotion des associations de gestion de l'eau

#### **8.2.1.4. Résultats potentiels à long terme**

- Disponibilité en eau potable dans toutes les régions
- Les associations des bénéficiaires en eau potable maîtrise la gestion durable des ressources en eau
- Réduction du taux des maladies due à l'utilisation de l'eau non potable

### **8.2.2. Projet 4 : Gestion Conservatoire de l'eau et des sols**

#### **8.2.2.1. Description**

Les problèmes de gestion de l'eau (crues importantes, sécheresses ou aridité sévère) proviennent essentiellement du changement climatique. Le changement du régime hydro pluviométrique influant sur la maîtrise de l'eau plus difficile et le changement de la qualité

## **Analyse de la gestion des ressources en eau**

biophysique des eaux caractérisent cette perturbation climatique. Ces types de problème frappent la plupart des régions de l'Ile au point de réduire les surfaces cultivables et le rendement agricole.

### **8.2.2.2. Objectif**

- Participation de toutes les parties concernées sur l'effectivité des techniques en matière de Gestion Conservatoire de l'Eau et du Sol (GCES)
- Exploitation normalisée des bassins versants

### **8.2.2.3. Activités**

1. Les mesures d'accompagnement des cadres légaux soutenant les projets participatifs de Gestion vont être nécessairement renforcés  
Conservatoire de l'Eau et des Sols (GCES).
2. Les principales activités consistent dans la protection des bassins versants

### **8.2.2.4. Résultats potentiels à long terme**

Résultats potentiels à long terme de la production Agricole traduite par l'autosuffisance alimentaire de la population.

## **8.2.3. Projet 5 : Gestion durable des Ressources Naturelles**

### **8.2.3.1. Description**

La politique générale de l'Etat Malagasy met en exergue la gestion durable des ressources naturelles à travers leur transfert de gestion aux communautés de base suivie de sécurisation foncière et dont fait partie le projet PANA. La dégradation de l'état actuel de l'environnement devient de plus en plus alarmante à cause de la pratique inconsciente des feux de brousse et des cultures sur brûlis ou TAVY. Toutes les formes de destruction des ressources naturelles impliquent des conséquences importantes sur l'économie nationale. A cette situation catastrophique viennent s'ajouter les effets néfastes du changement climatique caractérisés par l'augmentation de l'érosion. L'une des mesures importantes à mettre en œuvre pour pallier à ces problèmes consiste en effet en la gestion durable des ressources naturelles.

### **8.2.3.2. Objectif**

- Mise en place des comités locaux de proximité pour s'occuper de la gestion et conservation des forêts;



## **Analyse de la gestion des ressources en eau**

- Réduction des surfaces ravagées par les feux de brousse et l'application du « tavy » ou culture sur brûlis figure parmi les objectifs primordiaux

### **8.2.3.3. Activités**

1. Promotion des transferts de gestion des forêts aux communautés locales de base (GELOSE, GCF)
2. Information, Education, Communication et développement des solutions alternatives à la pratique du « tavy »
3. Augmentation de la superficie des sites de conservation ;
4. Renforcement de Comités locaux en charge de la lutte contre les feux de brousse et l'application des DINA.

### **8.2.3.4. Résultats potentiels à long terme**

- Bonne maîtrise de la gestion rationnelle des ressources naturelles en particulier forestières
- Augmentation des sites de conservation des ressources naturelles

## **8.2.4. Projet 6 : Intensification de reboisement**

### **8.2.4.1. Description**

Il faut mettre en œuvre des mesures radicales afin de remédier aux problèmes de dégradation des ressources forestières Malgache par les feux de brousse et de la pratique de techniques traditionnelles de cultures sur brûlis, situation favorisée entre autres par la libre accès aux ressources. Les projets de reboisement constituent en effet une solution très importante pour la restauration des bassins versants et de la dégradation incessante des écosystèmes forestiers. Parmi les stratégies préconisées figure nécessairement la responsabilisation de la population locale à la gestion rationnelle des forêts existantes, à l'intensification et à la promotion du reboisement professionnel sur la base des schémas des aménagements des espaces. A ces mesures palliatives doit s'ajouter la restauration de couverture végétale afin de se protéger contre l'érosion hydrique et éolienne.

### **8.2.4.2. Objectif**

L'objectif principal de ce projet vise à rendre plus opérationnelles la Gestion et la conservation des forêts par des comités locales de proximité.

### 8.2.4.3. Activités

- Elaboration des plans de reforestation pour les zones rurales, et reboisement professionnel avec des espèces adaptées
- Adoption de la lutte antiérosive par les techniques de défense et de restauration du sol
- Fixation des dunes contre l'érosion éolienne.

### 8.2.4.4. Résultats potentiels à long terme

- Bonne maîtrise de la gestion rationnelle des ressources forestières ;
- Augmentation des professionnels dans la filière reboisement ;
- Augmentation des superficies reboisées ;
- Dunes stabilisées

## 8.2.5. Projet 9 : Application des lois et réglementations forestières

### 8.2.5.1. Description

L'exploitation illicite et irrationnelle des ressources forestières provient indiscutablement de la mauvaise gouvernance en matière de gestion forestière. Le présent projet qui consiste à veiller à l'application rigoureuse des lois, le suivi et contrôle d'effectivité des cahiers de charges accompagnant la délivrance des permis d'exploitation va contribuer à la préservation de ces ressources forestières.

### 8.2.5.2. Objectifs

La gestion et la conservation des forêts sont les principaux objectifs fixés.

### 8.2.5.3. Activités

Application effective des législations et réglementations forestières par le développement de stratégies visant la collaboration des diverses puissances publiques pour le contrôle et le suivi des cahiers de charges accompagnant la délivrance des permis d'exploitation.

### 8.2.5.4. Résultat potentiel à long terme

L'inexistence des délits forestiers demeure le résultat potentiel à long terme.

### 8.2.6. Projet 15 : Amélioration et protection des infrastructures

#### 8.2.6.1. Description

La vétusté et l'insuffisance des infrastructures deviennent incontestablement des entraves pour les secteurs de production dans le monde rural Malagasy actuellement. Ces facteurs de blocage, surtout aggravés par les facteurs climatiques, pour le développement de l'économie nationale requièrent des remédiassions consistant dans l'amélioration et la protection des infrastructures

#### 8.2.6.2. Les objectifs

- Préconiser des infrastructures de production suffisantes et opérationnelles à chaque étape culturale ;
- Concevoir une bonne corrélation des activités menées dans tous les secteurs de productions et les milieux environnants

#### 8.2.6.3. Activités

1. Construction et amélioration des infrastructures de production (réseaux hydrauliques, protection des bassins versants, périmètres irrigués)
2. Coordination des activités menées dans tous les secteurs ; protection du bassin versant ; prise de responsabilité des citoyens et civisme ; protection des sources ; réservoir/ barrage de rétention.

#### 8.2.6.4. Résultats potentiels à long terme

- Infrastructure de production construite et entretenue suivant les normes requises renforcées en prévision des risques climatiques ;
- Les bénéficiaires de la mise en place de cette infrastructure sont capables de coordonner leurs activités pour préserver l'environnement avoisinant.

### 8.2.7. Projet 17 : Normalisation, Construction et modernisation des infrastructures

#### 8.2.7.1. Description

Les problèmes qui sévissent dans les pays en voie de développement comme Madagascar reposent sur la reconstruction et la réhabilitation des infrastructures endommagées par le passage

## Analyse de la gestion des ressources en eau

des cyclones, la construction et la modernisation des infrastructures s'imposent nécessairement pour pallier ces problèmes.

### 8.2.7.2. Objectif

- Construction de toutes les infrastructures suivant des normes renforcées en tenant compte des risques climatiques ;
- Disposition permanente des silos et des greniers communautaires villageois

### 8.2.7.3. Activités

1. Elaboration, communication et application des normes en matière de conception et de construction couvrant l'ensemble des infrastructures pour s'assurer qu'elles peuvent résister à d'importants bouleversements météorologiques
2. Aménagement des bassins de rétention d'eau
3. Promotion de construction des silos communaux et régionaux.

### 8.2.7.4. Résultats potentiels à long terme

Toutes les infrastructures résistent aux risques climatiques.

En bref, face à la dégradation du milieu naturel ainsi qu'à l'action néfaste de l'activité de l'homme, des mesures doivent être prises afin de protéger les ressources en eaux. Ces mesures consistent en général à économiser l'eau et à veiller à ce que sa qualité ne soit pas altérée.

La maîtrise de la gestion de l'eau est un facteur de développement de la vie rurale à Madagascar. La commune d'Ambohibary est l'image concret de cette gestion de l'eau et elle est aussi le grenier de la Capitale et de la Côte Est (forte potentialité de la production de riz et de légumes).

Reste alors à faire une application. Ce qui a été fait dans une localité rurale malgache qui fera l'objet d'une étude de cas dans la dernière partie ?

**Partie III : ETUDE DE CAS DU RESEAU D'APPROVISIONNEMENT EN EAU  
POTABLE DE L'AGGLOMERATION D'AMBOHIBARY SAMBAINA**

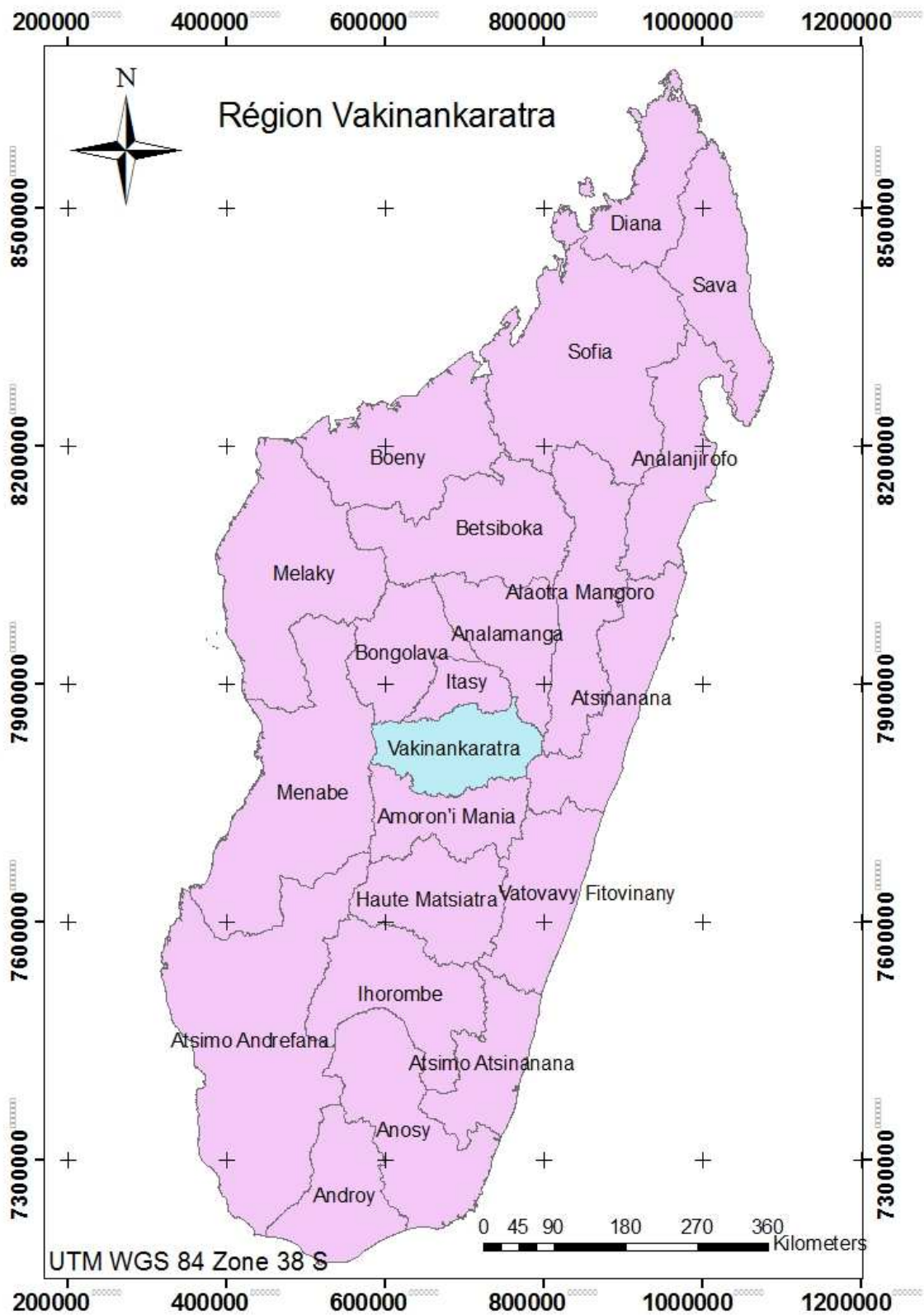
### Chapitre 9. GENERALITES SUR LA ZONE D'ETUDE ET PRESENTAION DU SYSTEME D'AEP D'AMBOHIBARY

#### 9.1. Situation géographique

##### 9.1.1. Localisation

La zone d'étude s'étend entre 47°07' de longitude Est et à 19°47' de latitude Sud. Elle se situe sur la RN 7, à 130 km environ au Sud de la Capitale Antananarivo et à 50 km de la ville d'Antsirabe. Il s'agit de la commune rurale d'**Ambohibary**, située dans la partie centrale de la région de Vakinankaratra, dans le district d'Antsirabe II. Le périmètre du projet concerne les fokontany de : Ambohibary Iray Tsy Mivaky, Tsarazamandimby, Mahatsinjo et quelques hameaux tels que Antsampandrano, Ankidona Anosy, Tetezamby, desserviables par la conduite de transfert venant du captage d'Ankadibe.

La zone du projet compte actuellement environ 6 000 habitants



Carte 3 : Localisation de la région du Vakinankaratra (système de projection: UTM (Universal Transverse mercator) zone 38S, WGS 84)





### 9.1.2. Climat

La Commune d'Ambohibary connaît un climat de montagne plutôt tempéré que tropical. Il gèle quelque fois au cours de la saison sèche en raison de son altitude, aux environs de 1 700 m à 2 200 m.

L'année se découpe en 3 saisons :

- Une saison humide et chaude, de novembre à mars-avril,
- Une saison sèche et froide d'avril à juillet, appelée aussi saison fraîche
- Une petite saison sèche et chaude de mi-août à octobre

Dans la plus grande partie de la région du Vakinankaratra, alternent une saison sèche, de mai à novembre, et une saison humide de décembre à Avril. Les mois d'avril et de novembre représentent donc les changements de saison pendant lesquels le temps est très variable.

Pendant la saison des pluies, le climat se modifie en début d'après-midi. Il fait très souvent beau et ensoleillé le matin, et pluvieux voir orageux l'après-midi et en début de nuit. Durant la saison sèche, l'hiver, il ne pleut pratiquement pas pendant au moins 3 mois.

### 9.1.3. Température

La température y est fraîche pendant toute l'année avec une température mensuelle minimale de l'ordre de 6°C du mois de juin au mois d'août et une température mensuelle maximale de 25 °C du mois d'octobre en avril.

La température moyenne du mois le plus frais est entre 10 °C et 15 °C avec 3 à 4 mois de mois secs.

### 9.1.4. Pluviométrie

La pluviométrie moyenne annuelle atteint plus de 1 500 mm. Elle est bien répartie dans toute cette région puisque la saison sèche ne dure guère que quatre mois (plus de 150 jours de pluies par an). Le gradient pluviométrique dans cette zone connaît une forte amplitude, et grâce à son altitude, on y constate l'importance des précipitations. D'après la carte des ressources en eau du massif de l'Ankaratra, la hauteur de pluies annuelles dépasse généralement 2 m dès que l'altitude se trouve au-delà de 1 750 m. (Cas du bassin versant d'Ankadibe à plus de 2 100 m d'altitude).

### 9.1.5. Géologie

Le District d'Antsirabe II se trouve sur les roches cristallines de hautes terres ayant subies des mouvements tectoniques, sismiques d'où la richesse du sous-sol (des roches cristallines aux roches volcaniques, sédimentaires et métamorphiques) et l'existence de plaines de haute altitude et pénéplaine (Ambohibary, Manandona...)

#### 9.1.5.1. Contexte géologique régional

Le contexte du site d'Ambohibary, situé dans la région de Vakinankaratra, se caractérise par un socle sédimentaire de néogène lacustre. Il se situe à peu près sur la grande ligne de contact nord – sud, entre les terrains métamorphiques antécambriens et la couverture latéritique de l'est, et à l'ouest, par ces mêmes roches enfouies sous un recouvrement volcanique plus ou moins récent et lui-même enrobé dans ses propres altérites

#### 9.1.5.2. Géologie locale

Dans la commune d'Ambohibary, les Tanety de roches faisant partie du vieux socle des Hautes Terres malgaches largement latérisées en surface constituent essentiellement les zones d'habitation implantées sur les parties collinaires. Ces collines (Tanety) suffisamment pentues facilitent l'assainissement par des réseaux collectifs ou par des méthodes individuelles (bonne perméabilité des sols sauf affleurement rocheux).

Quelques habitations sont installées sur alluvions de vallée argileuses et imperméable, formés par des plaines cumulant les charriages et les effluents des Tanety.

### 9.1.6. Pédologie

La zone d'étude qui se trouve dans la région de Vakinankaratra, est caractérisée par deux types de sol :

- Le sol ferralitique qui couvre une grande partie de la région qui sert à la plantation de maïs et de manioc.
- Le sol alluvionnaire qui sert à la riziculture.

#### 9.1.7. Contexte hydrographique et hydrogéologique

La présence des massifs montagneux plus ou moins proches, assez élevés et étendus pour permettre la mise en place de système d'AEPP (Alimentation en Eau Potable Gravitaire) présente des avantages pour la commune d'Ambohibary.

## **Analyse de la gestion des ressources en eau**

Des conditions climatiques influent beaucoup sur le débit naturel des rivières compte-tenu du caractère généralement imperméable des terrains (affleurement rocheux suivant le lit des rivières). Il existe plusieurs nappes phréatiques de moyenne ou de grande importance aux alentours de la commune et constituent des sources des émergences directes.

La rivière d'Amborompotsy est la rivière qui passe dans la commune jouant comme exutoire des sources d'Ambohibary.

Le District d'Antsirabe II dispose d'un réseau hydrologique assez dense en particulier grâce aux sources et affluents de l'ONIVE, le Fleuve de Manandona et le Lac d'Andranobe.

### **9.1.8. Agressivité du sol et de l'eau**

La région de Vakinankaratra connaît une carence en calcium si bien que, les eaux sont très peu minéralisées (TAC = 1,4° français) et les sols et les eaux agissent agressivement sur les métaux ferreux. Il faut par conséquent protéger tous les équipements métalliques non inoxydables dans la masse et susceptibles d'être mis en contact avec l'eau véhiculée, ou l'eau d'imbibition des terrains, un contrôle stricte s'impose sur la qualité des revêtements, et leur état.

La corrosion extérieure des conduites varie sur les collines latéritiques et au-dessus du niveau des nappes et nécessitant ainsi des mesures adéquates (résistivité) et des dispositions supplémentaires. Parmi ces mesures figure l'application générale, juste avant pose, d'un enduit épais à base de bitume sur toutes les pièces ou conduites métalliques.

## **9.2. Contexte socio-économique**

Les données socio-économiques d'Ambohibary sont puisées au PCDEA 2008 sur la Commune Rurale d'Ambohibary pour les prévisions de la population par fokontany et par quartier de cette Commune.

## Analyse de la gestion des ressources en eau

**Tableau 2:** Répartition de la population par fokontany et par quartier dans la zone du projet en 2008

| Fokontany                                                        | Quartiers                     | Toits (U)    | Population (hab) |
|------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------|------------------|
| <b>Ambohibary Iray Tsy Mivaky</b>                                | Antanetibe 1                  | 66           | 297              |
|                                                                  | Antanetibe 2                  | 481          | 2 467            |
|                                                                  | Atsimontsena                  | 327          | 1 469            |
|                                                                  | Amparantanety                 | 108          | 478              |
| <i>Sous Total 1.1</i>                                            |                               | <b>982</b>   | <b>4 711</b>     |
| <b>Tsarazazamandimby</b>                                         | Avaratsena                    | 10           | 54               |
| <i>Sous Total 1.2</i>                                            |                               | <i>10</i>    | <i>54</i>        |
| <b>Mahatsinjo Miaradia</b>                                       | Mahatsinjo                    | 130          | 616              |
| <i>Sous Total 1.3</i>                                            |                               | <i>130</i>   | <i>616</i>       |
| <b>SOUS TOTAL 1 (population initiale incluse dans le projet)</b> |                               | <b>1 122</b> | <b>5 381</b>     |
| <b>Kianjasoa Atsimondapa</b>                                     | Antsampandrano                | 112          | 435              |
| <i>Sous Total 2.1</i>                                            |                               | <i>112</i>   | <i>435</i>       |
| <b>Antsofombato Telomiray</b>                                    | Ankidona Anosy ,<br>Tetezamby | 20           | 240              |
| <i>Sous Total 2.2</i>                                            |                               | <i>20</i>    | <i>240*</i>      |
| <b>SOUS TOTAL 2 (population desserviable en cours de route)</b>  |                               | <b>132</b>   | <b>675</b>       |
| <b>Total général</b>                                             |                               | <b>1 254</b> | <b>6 056</b>     |

**Source :** Statistiques fournies par Méddea. : Estimation de la population desserviable en cours de route

L'hypothèse de base d'un taux de croissance de 3 % supérieur au taux d'accroissement national qui a été prise supposerait un phénomène de migration considérable favorisé par l'amélioration des conditions économiques de la commune et compte tenu de la réalisation du projet d'alimentation en eau.

**Tableau 3:** Projection démographique du périmètre d'étude

| Horizon           | *2008 | 2009  | 2012  | 2015  | 2024  | 2029   |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| <b>Population</b> | 6 060 | 6 200 | 7 000 | 7 500 | 9 700 | 11 000 |

\* : année de base

Sur ces bases, la population totale du projet devrait être d'environ 9 700 habitants en 2024

### 9.2.1. Infrastructures

Nombreux sont les infrastructures déjà présent à Ambohibary. Le tableau suivant nous montre les infrastructures existantes:

**Tableau 4: Infrastructures à Ambohibary**

| Infrastructures                      | Quartier                | Nombre |
|--------------------------------------|-------------------------|--------|
| Ecole publique :                     |                         |        |
| EPP                                  | A 2 km d'Ambohibary     | 1      |
| CEG                                  |                         | 1      |
| Ecoles privés                        | Avaratsena (catholique) | 1      |
|                                      | Amparatanety            | 1      |
|                                      | Antanetibe              | 2      |
| JIRAMA (électricité)                 | Amparatanety            | 1      |
| Réseau d'AEP du FID<br>(non potable) |                         | 5      |
| CSB II                               | Antanetibe              | 1      |
| Médecin privé                        |                         | 2      |

Sur le plan scolaire, Ambohibary dispose des écoles publiques et privés.

L'évolution socio-économique d'Ambohibary vis-à-vis des autres communes rurales se traduit par la présence d'électricité. Il y aussi un réseau de distribution d'eau à Ambohibary mais l'eau ainsi disposée n'est plus potable.

Concernant les infrastructures sanitaires, il existe un CSB II et aussi deux autres médecins privés.

### 9.2.2. Végétation

Il ne reste qu'une faible couverture végétale dans la commune d'Ambohibary. Quelques vestiges de forêt à faible densité se trouvent dans le village. Des arbres fruitiers ainsi que des plantations de maïs couvrent en général cette zone.

En revanche, au niveau du captage, *la forêt de Mimosa* constitue une formation végétale assez vaste, frappante et la plus attirante.

Le climat tropical d'altitude semi-tempérée, assez forte amplitude drue et saisonnière favorise la pratique des cultures tempérées (blé, culture maraîchères, etc....).

### 9.2.3. Activités

#### 9.2.3.1. L'agriculture et l'élevage

Dans cette commune rurale d'Ambohibary, les principales activités économiques de la population reposent sur l'agriculture et l'élevage. Les autres activités secondaires concernent le secteur tertiaire tel que le transport ou le commerce qui ne sont pas négligeables parce qu'elles sont incontournables dans la vie de la population quasiment agricole.

L'exploitation des salles de projection de film figure parmi les activités secondaires. La prolifération de ces salles reflète l'évolution de la commune et donne une image d'urbanisation favorisée par la mise en place de l'adduction d'eau potable.

Les cultures vivrières telles que le maïs, les pêches, les pommes, le manioc, et la riziculture qui assure généralement la consommation dominant dans les activités agricoles de la population de cette commune rurale.

Ces cultures sont acheminées vers les villes comme Antsirabe ou Antananarivo.

Les élevages concernent principalement les bovins, les porcins, et les volailles. La population pratique également l'élevage extensif. Les bœufs sont principalement utilisés comme moyens de production dans l'agriculture.

Beaucoup de produits proviennent de ces élevages : le lait, les œufs, et les viandes.

#### 9.2.3.2. La scierie

Les espèces de production de bois regroupent différentes utilisations, notamment l'exploitation forestière (d'œuvre, bois de service, bois de construction, bois de feu, charbon) et la scierie (pour la construction des voliges). Le secteur de la transformation de bois pour répondre aux besoins de la population de la commune rurale d'Ambohibary Sambaina concerne actuellement environ 14 scieries dont 11 se répartissent au cœur de la ville d'Ambohibary et les 3 autres à Sambaina.

Les bois de construction et de service sont les plus répandus dans cette zone, à tel point qu'une usine de scierie arrive à produire jusqu'à 160 voliges par jour (enquête socio-économique). Ce qui nous donne un résultat d'exploitation forestière alarmant de 1000 arbres à abattre par jour au minimum pour faire fonctionner les 14 scieries et répondre aux demandes de leurs clientèles.

Toujours dans le même volet, la forêt est perçue par les populations d'Ambohibary Sambaina comme espace multiple, varié et indispensable à la vie rurale.

- Réserve de terres cultivables et fertilités,
- Espace pastoral, indispensable à la vie des troupeaux,

## Analyse de la gestion des ressources en eau

- Espace de chasse et de cueillette de produit, du bois de feu ou de service, aux fruits, et aux produits indispensables à l'artisanat.

En revanche, il a été remarqué que certaines scieries prennent déjà des initiatives, parmi tant d'autres le reboisement privé afin d'augmenter et de garantir la couverture forestière face à une exploitation flagrante qui se manifeste dans cette zone.

### 9.3. Système d'AEP d'Ambohibary

#### 9.3.1. Les besoins en eau et les besoins en équipement d'AEP

Cette étude concerne le bourg d'Ambohibary constitué par les quartiers suivants :

- Antanetibe I, dans le fokontany d'Ambohibary Iray Tsy Mivaky ;
- Antanetibe II, dans le fokontany d'Ambohibary Iray Tsy Mivaky ;
- Atsimotsena, dans le fokontany d'Ambohibary Iray Tsy Mivaky ;
- Amparatanety, dans le fokontany d'Ambohibary Iray Tsy Mivaky ;
- Avaratsena, dans le fokontany de Tsarazazamandimby ;
- Mahatsinjo, dans le fokontany de Mahatsinjo.

Les quatre premiers constituent le fokontany d'Ambohibary Iray Tsy Mivaky, tandis que chacun des deux derniers font respectivement partie des fokontany de Tsarazazamandimby et de Mahatsinjo.

D'après les études socio-économiques, l'ensemble de ces quartiers compte 986 familles. La taille moyenne des ménages est composée environ de 5 personnes par famille.

En plus des besoins de la population, il faut considérer la demande en eau des institutions publiques et celle des petites entreprises locales. En effet dans le chef lieu d'Ambohibary, il existe 4 écoles, un CSB2, 6 lieux de culte, 4 entreprises de collecte de l'eau, 3 entreprises de transformation de lait, et 28 gargotes. (MEDDEA, SANDANDRANO, Avril 2009)

En ce qui concerne la consommation en eau journalier, elle est actuellement de 25 litre par jour par personne d'après le résultat des enquêtes socio-économiques.

D'après des études réalisées par l'entreprise SANDADRANO, l'estimation des besoins en eau et des besoins équipements de la population est présentée dans le tableau ci dessous:

## Analyse de la gestion des ressources en eau

**Tableau 5: Estimation des besoins en eau et besoins en équipement**

| Année                                                     | 2009       | 2012       | 2015       | 2024         | 2029         |
|-----------------------------------------------------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|
| <b>Population (hab)</b>                                   | 6 200      | 7 000      | 7 500      | 9 700        | 11 000       |
| <b>Branchements particuliers-BP</b>                       |            |            |            |              |              |
| <i>Domestiques</i>                                        |            |            |            |              |              |
| Taux de desserte                                          | 25%        | 35%        | 50%        | 75%          | 80%          |
| Taille de ménage                                          | 5          | 5          | 5          | 5            | 5            |
| Consommation unitaire jour (l/j/hab)                      | 45         | 45         | 45         | 45           | 45           |
| Nombre d'abonnés particuliers (U)                         | 312        | 477        | 745        | 1 458        | 1 750        |
| Consommation jour (m <sup>3</sup> /j)                     | 55         | 107        | 168        | 328          | 394          |
| <b>Nombre total de BP (U)</b>                             | <b>312</b> | <b>477</b> | <b>745</b> | <b>1 458</b> | <b>1 750</b> |
| <b>Augmentation du nombre de branchements (U)</b>         | <b>0</b>   | <b>165</b> | <b>268</b> | <b>713</b>   | <b>292</b>   |
| <b>Branchement Social-BS</b>                              |            |            |            |              |              |
| Taux de desserte                                          | 15%        | 30%        | 25%        | 15%          | 10%          |
| Consommation unitaire jour (l/j/hab)                      | 20         | 20         | 20         | 20           | 20           |
| Consommation par BS (m <sup>3</sup> /j)                   | 19         | 41         | 37         | 29           | 22           |
| <b>Nombre de BS (U)</b>                                   | <b>9</b>   | <b>20</b>  | <b>19</b>  | <b>15</b>    | <b>11</b>    |
| <b>Augmentation du nombre de branchements (U)</b>         | <b>0</b>   | <b>11</b>  | <b>0</b>   | <b>0</b>     | <b>0</b>     |
| <b>Lavoir Public-LP</b>                                   |            |            |            |              |              |
| Nombre d'habitant par lavoir (U)                          | 2 000      | 2 000      | 2 000      | 2 000        | 2 000        |
| Consommation jour (m <sup>3</sup> /j)                     | 5          | 5          | 5          | 5            | 5            |
| <b>Nombre de LP (U)</b>                                   | <b>3</b>   | <b>3</b>   | <b>4</b>   | <b>5</b>     | <b>5</b>     |
| <b>Augmentation du nombre de LP</b>                       | <b>0</b>   | <b>1</b>   | <b>0</b>   | <b>1</b>     | <b>1</b>     |
| <b>Monobloc eau et assainissement-M</b>                   |            |            |            |              |              |
| Nombre d'habitant par Monobloc (U)                        | 10 000     | 10 000     | 10 000     | 10 000       | 10 000       |
| Consommation jour (m <sup>3</sup> /j)                     | 10         | 10         | 10         | 10           | 10           |
| <b>Nombre de M (U)</b>                                    | <b>1</b>   | <b>1</b>   | <b>1</b>   | <b>1</b>     | <b>1</b>     |
| <b>Augmentation du nombre de M (U)</b>                    | <b>0</b>   | <b>0</b>   | <b>0</b>   | <b>0</b>     | <b>0</b>     |
| <b>Consommation moyenne totale jour (m<sup>3</sup>/j)</b> | <b>90</b>  | <b>160</b> | <b>220</b> | <b>370</b>   | <b>430</b>   |
| <b>Nombre total de branchements (tous types) (U)</b>      | <b>325</b> | <b>501</b> | <b>769</b> | <b>1 479</b> | <b>1 767</b> |
| <b>Augmentation du nombre total de branchements</b>       | <b>0</b>   | <b>176</b> | <b>268</b> | <b>710</b>   | <b>288</b>   |

Source : SANDANDRANO



## Analyse de la gestion des ressources en eau

Quant à la variation de la consommation pendant une journée, la courbe de consommation sera appliquée à la demande des branchements privés pour le dimensionnement du réseau.

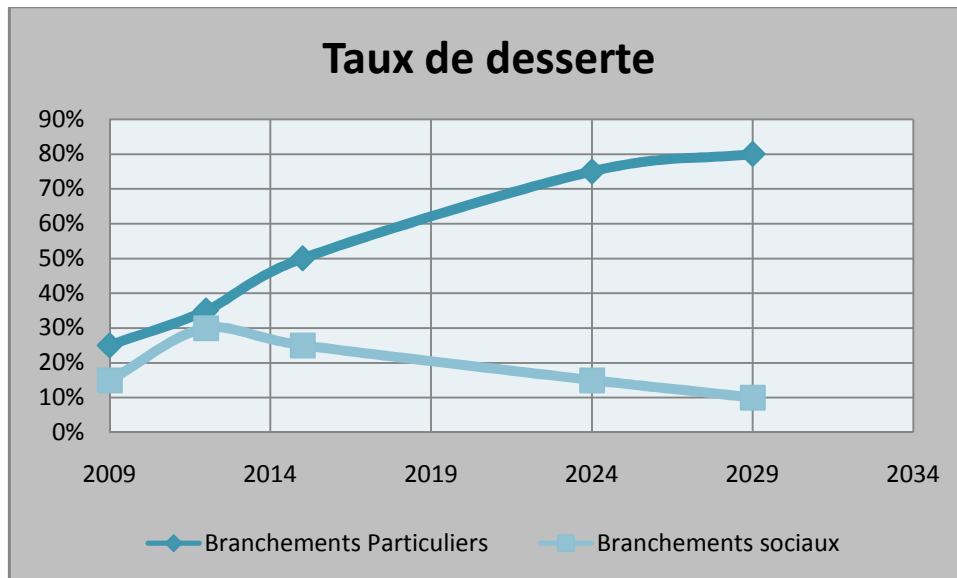


Figure 5 : Projection du taux de desserte

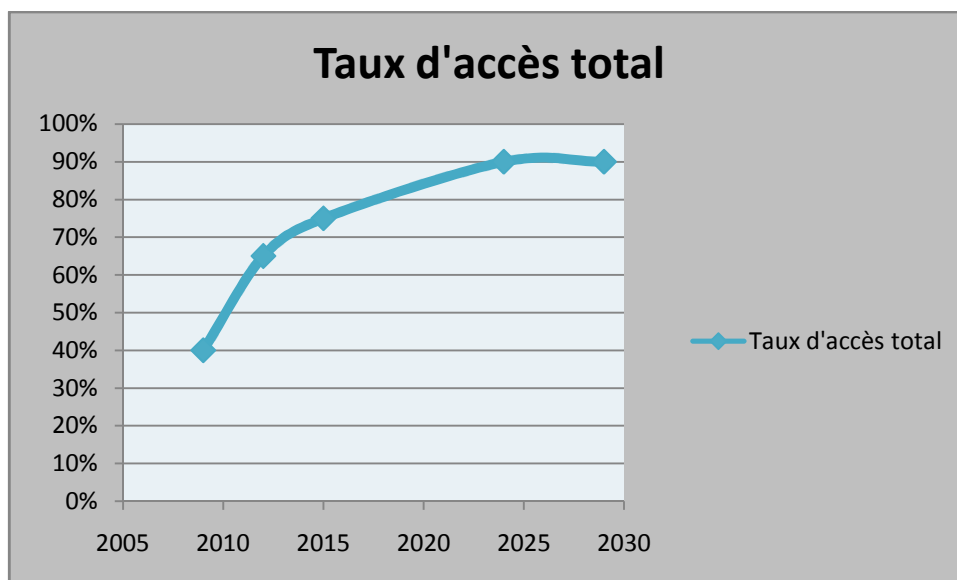


Figure 6 : Projection du taux d'accès total aux branchements

### 9.3.2. Le réseau d'AEP d'Ambohibary

#### 9.3.2.1. Ancien système d'alimentation en eau à Ambohibary

Au début, le système de ravitaillement en eau dans la commune d'Ambohibary s'effectuait par le biais des diverses sources ou points d'eau naturels dans le village, ou bien par des puits, confectionnés de manière très traditionnelles. Le monde évolue, et leur qualité demeure douteuse au fil des temps, un système d'adduction d'eau moderne a été installé plus tard.

Le Fonds d'Intervention pour le Développement (FID) a conçu en 1956 un système d'alimentation en vue de desservir uniquement des points d'eau collectifs (bornes fontaines et lavoirs). Or faute d'entretien et de maintenance, les infrastructures demeurent en grande partie non fonctionnelles. Par conséquent, l'ancien système d'adduction d'eau gravitaire « économique » construit dans les années 60 à partir d'une source située à 500 m au nord du centre ville devient à nouveau source utilitaire. Ce système desservait quelques « points d'eau collectifs de fortune » (6) avec une vingtaine de branchements particuliers à partir d'un réservoir sans couvercle installé au milieu des rizières. A cet effet, les eaux puisées dans les canaux d'irrigation ou dans les ruisseaux traversant la Commune sont insalubres. Ainsi, la prolifération des maladies d'origine hydrique fait son ravage dans cette zone.

Les « Responsables réseau » travaillant bénévolement pour le compte des usagers de l'eau ont pris en charge la gestion et l'exploitation du système.

L'exploitation d'un système de production et de distribution d'eau potable n'est pas une opération facile notamment pour des associations des usagers.

Cette gestion requiert des moyens humains, de moyens techniques et financiers pour mieux garantir un service de qualité de distribution d'eau potable au public.

Une telle opération exige une solution innovante: avec le concept PPP (Partenariat Public Privé), par voie d'appel d'offres, la Mairie d'Ambohibary appuyée par le programme Méddea a confié la réalisation du nouveau réseau de distribution d'eau à un investisseur – gestionnaire, qui est l'Entreprise Sandandrano.

#### 9.3.2.2. MEDDEA à Madagascar

L'objectif de Meddea consiste à tester et valider des mécanismes d'appui à la professionnalisation des acteurs des secteurs de l'approvisionnement en eau potable et de l'assainissement dans les zones rurales à Madagascar. Des critères d'efficacité technico-économique et sociale et dans le respect de la réglementation en vigueur s'imposent.

Dans cette critique, Meddea contribue au renforcement des capacités de maîtrise d'ouvrage des communes, de maîtrise d'œuvre des bureaux d'études privés, et d'opération des systèmes de gestion par des investisseurs locaux potentiels.

## Analyse de la gestion des ressources en eau

La région de Vakinankaratra a été le premier bénéficiaire des investissements en 2009 avec la sélection d'un opérateur local comme délégataire du service public de l'eau potable du chef-lieu de la commune d'Ambohibary. Par ailleurs, on a mis en place deux autres plans communaux de développement de l'accès à l'eau potable et l'assainissement et les études de faisabilité pour deux adductions d'eau potable ont été lancées.

Grâce à un partenariat entre la commune, l'agence française de développement, l'union européenne, Meddea, et d'autre ONG, un réseau de distribution d'eau a été installé à Ambohibary.

Ce réseau a été en partie financé par l'Entreprise Sandandrano. Cette entreprise assurera la gestion du réseau (distribution et entretien) pendant une durée de vingt ans.

La mission du Meddea dans le projet consiste dans la concrétisation de la politique sectoriel du ministère de l'eau concernant la mise en pratique de la politique du 3P (partenariat privé-public) qui s'imposent comme un garant des projets d'infrastructure dans les pays en développement. On admet que la participation du secteur privé à l'élaboration, au financement et à l'exécution de ces projets va réduire l'écart important entre les besoins d'infrastructure et les ressources d'investissement limitées dont disposent le gouvernement.

### 9.3.2.3. La société SANDANDRANO

SANDANDRANO fait partie des opérateurs privés œuvrant dans le domaine de l'Alimentation en Eau Potable (AEP) à Madagascar. Comme tout opérateur, il joue le rôle de Bureau d'Etudes, d'Entité chargée de Contrôle, ou d'une entreprise titulaire responsable de l'exécution.

Avec ses 12 ans d'expérience dans le domaine de l'eau, la société Sandandrano a concrétisé la politique partenariat privé public (ppp) à Madagascar. Pour en servir d'exemple, afin d'améliorer le niveau de vie de la population. « Le développement est avant tout l'affaire des gens qui voient leur niveau de vie progresser dans des domaines comme l'éducation, la santé ou les revenus », fait observer Ruth Kagia, Directrice de la Banque mondiale pour Madagascar. « L'exemple de Sandandrano montre qu'il est possible d'investir avec optimisme rentables dans les zones rurales tout en assurant un service essentiel à la population.

D'après Razafinjato Gérald, Directeur Général de Sandandrano, le but de sa société est de fournir de l'eau de qualité et en quantité suffisante pour satisfaire les besoins de la population. L'eau qu'il distribue est tenue aux normes internationales en termes de santé et de potabilité par un laboratoire indépendant et les autorités du village.

Outre la distribution d'eau potable dans les foyers, la société intervient en vue de promouvoir les activités économiques en milieu rural.

## Analyse de la gestion des ressources en eau

La société Sandandrano qui se démarque par sa technique du branchement social qui n'est autre qu'un branchement commun pour quelques familles contribue à faciliter l'accès aux branchements privés.

Selon l'objectif de l'OMD, la société vise à fournir de l'eau potable pour la population malgache. Et atteindre un taux d'accès en eau potable de 50% en 2015.

Pour le cas du projet d'adduction d'eau potable d'Ambohibary, la société adopte le système d'affermage concessif. D'après l'Article 2 du décret de délégation du service public de l'eau, en résumé l'affermage se définit par un contrat par lequel le maître d'ouvrage confie à un tiers la gestion d'un service public. Ce dernier exploite et entretient l'ouvrage à ses risques et périls, elle agit pour son propre compte. Et la concession qui s'explique par un contrat, convention ou traité par lequel le maître d'ouvrage confie à un tiers la réalisation de travaux ou l'achat des moyens liés à l'établissement du service public et l'exploitation de ce même service. Ce dernier finance, réalise et exploite le service public à ses risques et périls, elle agit pour son propre compte, sous le contrôle de la collectivité. Vu qu'il y a un apport de fond public (60%) et privé (40%) dans le projet. Le cas de l'adduction en eau potable d'Ambohibary se situe alors entre l'affermage (contrat de 15 ans) et la concession (contrat de 30 ans). Ainsi donc, ce projet a un contrat de 20 ans.

### 9.3.2.4. Prix de l'eau

Afin d'assurer le service universel deux tarifs distincts au moins doivent être proposés : un tarif pour les kiosques à eau préférentiel et un tarif plus cher pour les branchements privés. Le service de meilleure qualité visant les ménages plus aisés permet d'assurer un service de base aux ménages modestes.

Les tarifs proposés sont:

- Le tarif aux branchements particuliers: 1 Ar le litre.
- Le tarif aux branchements sociaux : 0,5 Ar le litre

### 9.3.2.5. Présentation du projet existant

Le projet de Sandandrano à Ambohibary consiste à la mise en place d'un nouveau système d'alimentation en eau potable au sein de la commune d'Ambohibary et de quelques hameaux se trouvant sur le tracé d'une longue adduction venant d'Ankadibe.

Les travaux comprennent notamment les 5 lots de travaux cités ci-dessus :

## Analyse de la gestion des ressources en eau

Lot 1 Captage,

Lot 2 Transfert,

Lot 3. Reservoirs,

Lot 4. Traitement,

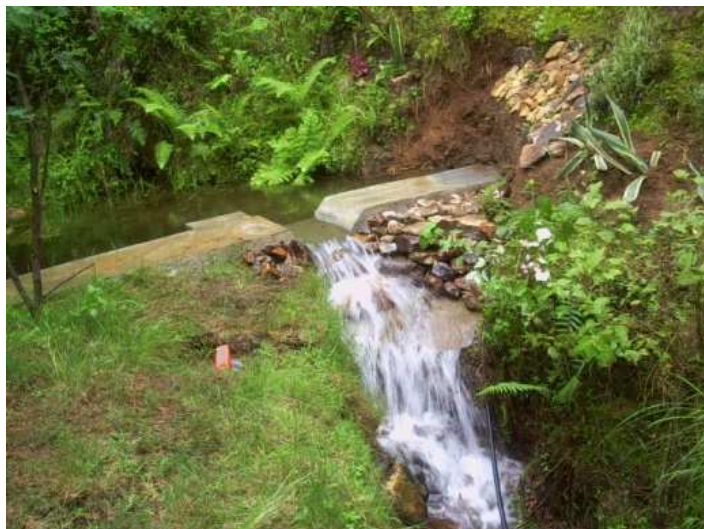
Lot 5. Réseau de distribution.

- **Lot 1 Captage:**

Vu que la ressource d'Ankadibe joue un rôle important dans le fonctionnement du système d'AEP de la petite ville d'Ambohibary, des dispositions particulières ont été prises en vue de sa protection.

Ce micro barrage captage est immédiatement mis en place en aval du point d'émergence à la cote 2 012, afin d'élever le plan d'eau d'environ à une hauteur de 0,60 m par rapport au niveau du seuil de fondation de l'ouvrage. La longueur de l'ouvrage mesure 7m. Le débit de cette source reste largement suffisant par rapport à la demande de 2024 et présente de « très bonne qualité ». Il suffit d'un traitement spécifique ou une microfiltration au niveau de la chambre de mise en charge pour arrêter les microsuspensions (Wash-load) ainsi qu'une chloration à la demande au cours de l'exploitation au niveau des stockages ;

Il faut installer ce micro barrage sur une semelle semi rocheuse et il sera équipé d'une chambrette de prise, d'un dispositif de vidange, d'un déversoir et d'une chambre de mise en charge.



**Photo 2 : Source d'Ankadibe**

- *Chambrette de prise*

La chambrette de prise, en amont du barrage et encastrée dans son corps, sera équipée d'une toile filtrante de type cyntropur encadrée permettant de filtrer et d'arrêter les micro-suspensions en tête du départ de l'adduction.

Ce dispositif sera relié à la chambre de mise en charge par l'intermédiaire d'une conduite en PVC ou en Galva DN100.

Pour faciliter l'entretien de la retenue du barrage ou permettre le changement éventuel de la toile filtrante, la tête de cette conduite filetée sera équipée d'une vis démontable afin de mettre l'adduction hors service

La conduite galva sera protégée si nécessaire soit avec un enduit bitumineux soit avec de la peinture anticorrosive afin de la préserver contre les intempéries éventuelles.

- *Dispositif de vidange*

Il faudra envisager un dispositif de vidange et pour un curage éventuel de la retenue et avec une vanne ou une plaque pleine verrouillée placée dans un regard protégé pour éviter tout acte de vandalisme.

- *Déversoir*

Le déversoir construit en crête du barrage sert de trop plein et d'évacuateur de crue. Il sera aménagé conformément au plan joint et comportera un seuil de mesure des débits d'étiage.

## Analyse de la gestion des ressources en eau

On installera sur environ 2ml en aval du barrage un bassin de dissipation tapissé d'enrochements afin de pallier le problème d'affouillement à la chute au pied aval du barrage.

- *Chambre de mise en charge*

La chambre, d'une capacité de 2 m<sup>3</sup> va servir de chambre de mise en charge de la conduite d'adduction et de stockage d'Antsampandrano en cas d'entretien du barrage.

Cette chambre sera équipée de la prise au départ de l'adduction et de tous les équipements annexes (vidange, déversoir trop plein, vannes,...) pour faciliter l'exploitation.



**Photo 3 : Chambre de mise en charge**

- **Lot 2 Transfert**

Une longue adduction de 11 km environ en PVC et PEHd PN10 de diamètres variables : PVC DN 100 (DE 110/DI 99,4), PVC DN 80 (DE 90/DI 81,4) et PEHd DN 60 (DE 75/DI 64) sera nécessaire pour transférer gravitairement cette « eau de source » jusqu'en ville;

L'eau de source de montagne de très bonne qualité sera conduite par gravitation à partir de la source d'Ankadibe jusqu'en ville sur environ 11 km. Cette adduction (Voir Profils en long du transfert) travaillera sous une pression ne dépassant pas 10 bar (pression statique maximale 9 bar).

Entre le captage et le réservoir de tête, longue de 5,9 km, afin de franchir le point haut situé sur la RN au PM 2 320, il sera prévu de poser une conduite PVC DN 100 (DE 110/DI 99,4) PN10 sur environ 1 km, prolongée sur 4,2 km environ par une conduite PVC DN 80 (DE 90/DI 81,4) PN10 puis en PEHd DN 60 (DE 75/DI 64) PN10 sur environ 0,72 km.

Ce transfert aboutira dans le réservoir de tête qui fait office de stockage et de brise charge.

- **Lot 3 Réservoirs**

Le stockage de l'eau se fera dans deux réservoirs ayant respectivement des capacités de 50 m<sup>3</sup> et 40 m<sup>3</sup> implantés dans deux sites différents. Le réservoir de 50 m<sup>3</sup>, à implanter le long du transfert au PM 5 900 (Point Métrique) du captage c'est-à-dire à 5,4 km de la ville et à la cote 1 840 m, fera office de brise charge et de réservoir de tête. Le deuxième réservoir de 40 m<sup>3</sup>, à implanter à Mahatsinjo à la cote 1 740 m, sera un réservoir d'équilibre ;

Quelques constructions de réservoirs s'imposent au vue de rationaliser et rentabiliser les infrastructures. Il va s'agir de la construction d'un réservoir de tête de 50 m<sup>3</sup> représentant 55 % environ des besoins en jour moyen en 2009 atteignant 90 m<sup>3</sup>/j, de l'ordre de 25% de la demande en eau en jour moyen de l'horizon 2015 qui deviendra 220 m<sup>3</sup>/j et 15 % de la demande en eau en jour moyen de l'horizon 2024 qui sera de 370 m<sup>3</sup>/j, en 2024 , la construction d'un réservoir d'équilibre de 40 m<sup>3</sup>, la construction en deuxième phase de travaux, vers 2020 en cas de besoins éventuels d'un deuxième réservoir de 40 m<sup>3</sup>, on va implanter cet ouvrage à proximité du réservoir de tête pour le seconder éventuellement, sur le flanc de la colline entre Mahatsinjo et Ambohibary Gare.

Il sera envisager la récupération du réservoir de 40 m<sup>3</sup> du FID qui se trouve sur le tracé de la conduite maîtresse de distribution (cote 1 707, distance 1 820m de la ville).

La capacité totale des nouveaux stockages qui atteindra 90 m<sup>3</sup> représentera environ 40 % de la demande en eau de l'horizon de 2015 et environ 25 % de la demande en eau de l'horizon de 2024. Avec la récupération du réservoir de 40 m<sup>3</sup> de FID, la capacité totale du stockage pourra satisfaire 35 % de la demande en eau de l'horizon de 2024.

L'objectif dans l'ensemble use à conserver le maximum de volume de stockage afin de sécuriser les réserves en eau dans cette zone.





**Photo 4 : Réservoir à Mahatsinjo**

- **Lot 4 Traitement :**

Elimination des microparticules par l'installation de toile filtrante de type cyntropur en tête de l'adduction. Avec la chute d'eau dans le réservoir de tête, une partie du CO<sub>2</sub> agressif sera éliminée, CO<sub>2</sub> qui aurait été fort utile pour diminuer la valeur du pH de saturation lequel devrait se situer ente 8,5 et 9 ceci compte tenu de la minéralisation de l'eau (pH de saturation de l'eau d'Ankadibe : 10,17). Désinfection à l'hypochlorite de sodium.

La microfiltration sera effectuée au départ de l'adduction. Le site du réservoir de tête sera choisi pour l'installation du système de chloration.

- **Lot 5 Réseau de distribution :**

La distribution de l'eau se réalisera à partir d'un nouveau système de distribution, compte tenu du développement des éventuels branchements particuliers et des branchements sociaux ;

La première phase de travaux sur le réseau de distribution sera essentiellement réalisée dans le « centre ville étendu ». Il s'agit de la mise en place des ossatures principales du réseau de distribution, longeant les principaux axes routiers, et les branchements correspondants.

La pression maximale de service (PMS) pour le réseau de distribution est obtenue à partir de la différence de cote entre le trop-plein des réservoirs et les points les plus bas du réseau, de l'ordre de 72m.

La pression maximale de service (PMS) retenue pour le réseau de distribution est fixé à 10 bars.

## Analyse de la gestion des ressources en eau

La température maximale d'eau distribuée varie entre 18 et 28°C. La température maximale de service (TMS) ne devrait pas dépasser 30°C.

La pente minimale des conduites du réseau de distribution sera de 4 mm/m. Exceptionnellement, une pente de 2 mm/m sera tolérée pour les tronçons de conduite accrochée au tablier des ponts.

- *Réseau secondaire ( $DN \leq 60$ )*

Les ossatures principales des nouvelles conduites du réseau de distribution sont généralement en PEHd DN 60 ou DN 50

- *Conduite tertiaire :*

Le dimensionnement précis des conduites tertiaires sera en fonction de la localisation des nouveaux abonnés. Le restant des extensions tertiaires et nouveaux branchements seront pris charge par l'Exploitant sur autofinancement sous la forme de tranches annuelles de travaux.

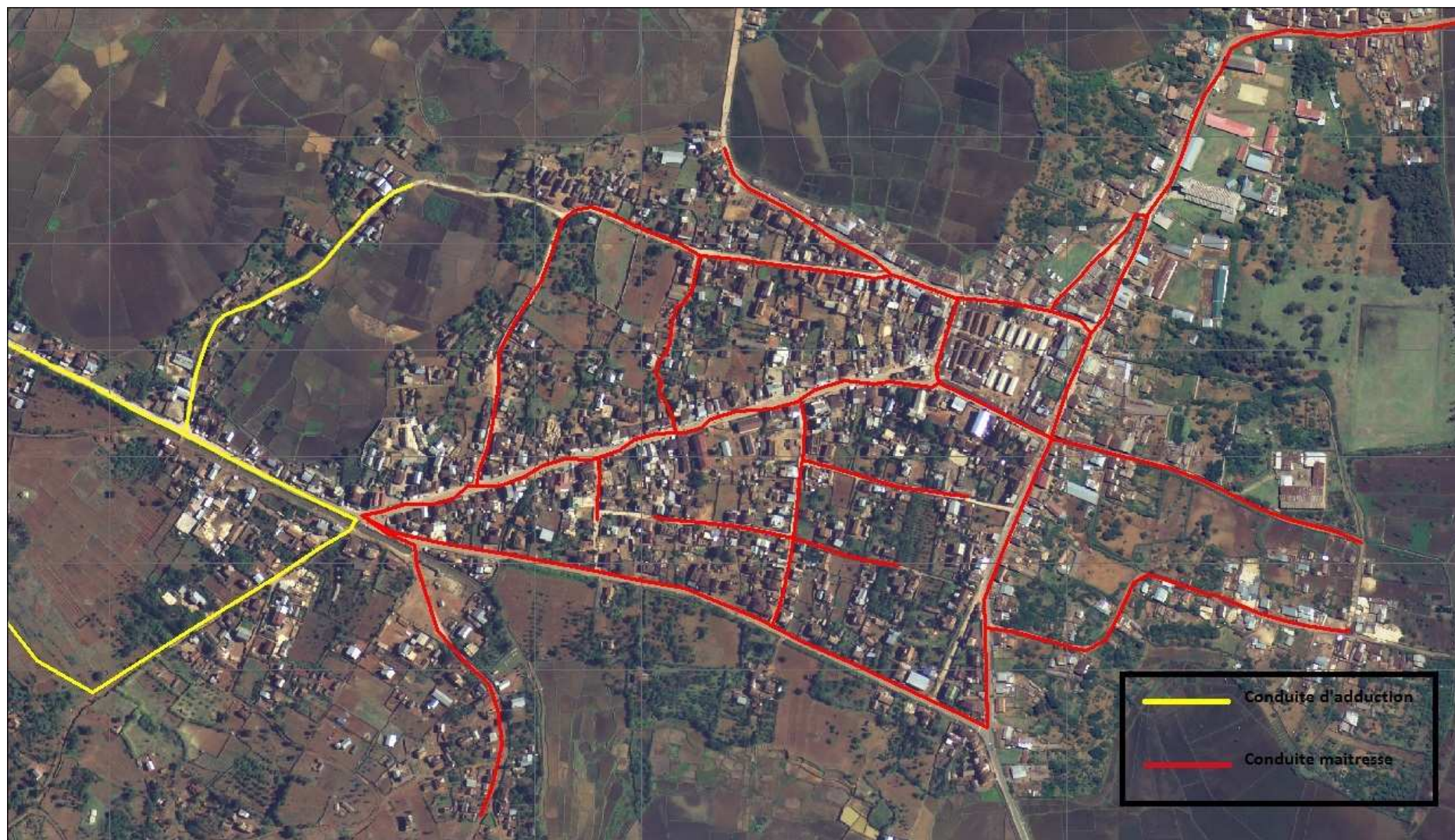
- *Branchements particuliers, Branchements sociaux, lavoirs /douches, monobloc eau et assainissement et bouches d'incendie*

Une enquête sur terrain à effectuer en cours de travaux avec la Mairie et l'Association des usagers devra précéder nécessairement l'emplacement exact des branchements sociaux.

Il faut tenir compte des différents paramètres de réalisation de ces branchements (demande exprimée des usagers, disponibilité du terrain d'implantation de l'ouvrage, engagement du propriétaire dudit terrain sur la disponibilité du terrain pendant une durée indéterminée, accord des usagers sur le principe de gestion et du fonctionnement du système....



Figure 7 : Réseau de distribution à Ambohibary (SANDANDRANO)



### 9.3.3. La gestion du réseau d'AEP d'Ambohibary

L'entreprise Sandandrano a adopté sa propre gestion du réseau pour réduire les effets néfastes du changement climatique sur les ressources en eau. Elle a comme premier objectif de satisfaire les bénéficiaires et les éduquer à sauvegarder les acquis et les sensibiliser sur l'importance de la préservation des branchements et afin qu'ils participent d'une manière directe ou indirecte sur la protection des ressources en eau.

Elle incite la population à effectuer des branchements particuliers, l'utilisateur peut alors s'occuper de son point d'eau et faire attention à l'hygiène. L'entreprise a supprimé les bornes fontaines pour éviter les détériorations du matériel, et les longues queues, elle procède à des branchements sociaux plus économiques que les branchements particuliers étant donné le niveau de vie actuel des gens qui ne permet actuellement la demande du branchement particulier. Les usagers peuvent se regrouper par groupe de plusieurs familles ou plusieurs toits, très pratiques pour ceux qui n'ont pas les moyens pour le branchement particulier. Par contre, à long terme, l'entreprise souhaite un branchement particulier pour chaque toit. Le prix des compteurs est de 80.000 Ariary, alors que celui de la JIRAMA est nettement plus cher. Le compteur est même gratuit pour les 250 premiers abonnés.

Le système monobloc, propriété industrielle de SANDANDRANO, réalisé dans une superficie de l'ordre de 25 m<sup>2</sup> est composé de deux volets eau et assainissement ce qui résout le problème d'occupation de sol dans la gestion d'une ville.

Le volet eau comporte un point de distribution d'eau et un lavoir public SANDANDRANO à 4 places muni de système volumétrique permettant le paiement de consommation effective des lessiveuses d'où l'amélioration de la qualité de service auprès des points d'eau collectifs exigée par l'Etat.

Le volet assainissement est équipé d'une douche avec système de contrôle volumétrique supprimant automatiquement le gaspillage dans l'utilisation des douches publiques, de 2 WC et de 2 urinoirs - pour homme et pour femme (généralement oublié dans un projet d'urinoir public) - tous deux alimentés en eau recyclée du lavoir. Les WC sont munis de laves mains répondant à la « politique de lavage des mains avec du savon » vulgarisée par l'Etat actuellement.

Ce système monobloc équipé d'un système de stockage et de récupération d'eau usée du lavoir permet d'économiser l'eau tout en recyclant l'eau de lavage pour être utilisée dans les urinoirs et les WC. Ces équipements sanitaires peuvent être aussi alimentés par l'eau potable en cas de manque d'eau venant du lavoir. L'absence de réseau d'assainissement pour l'évacuation des eaux usées ne pose plus problème avec cet ouvrage équipé de fosse septique « toutes eaux ».





**Photo 5 : Un minimonobloc d'Ambohibary**

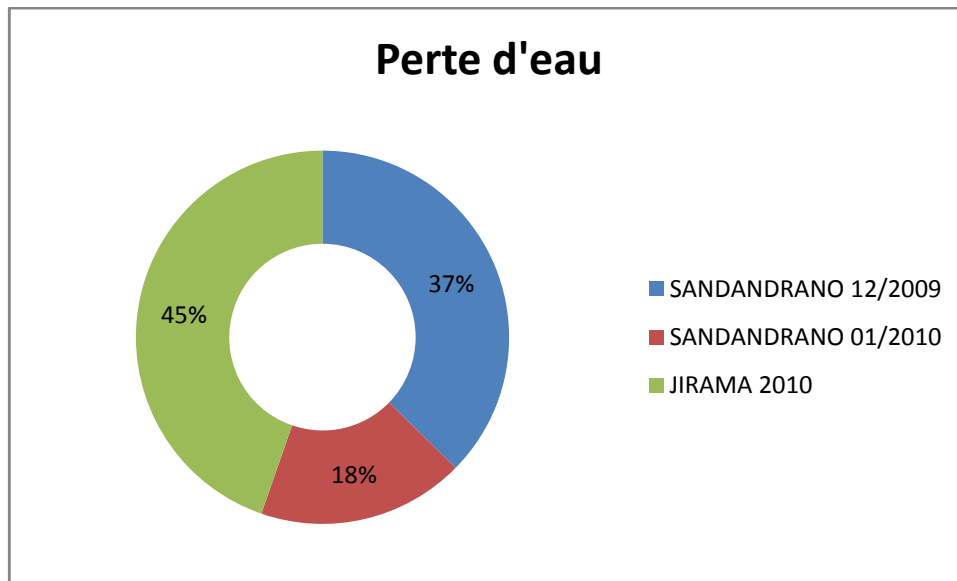
La sensibilisation des gens est primordiale, surtout concernant les gaspillages ou les utilisations abusives des eaux et réduire les pertes d'eau.

Pour Sandandrano , le rendement mensuel du réseau défini par la formule suivante :

$$\text{Rendement du Réseau} = \frac{\text{Volume mensuels distribués}}{\text{Volume mensuels produits}}$$

En décembre 2009, il est évalué à 74.09 %, et à 87.55 % en Janvier 2010, d'où la perte d'eau en décembre 2009 est à 25.91 %, et 12.45 % en Janvier 2010. (**Compte rendu technique, Sandandrano 2009/ Janv 2010**). Celle de la JIRAMA est évaluée à 31% en 2010.

On remarque ainsi que la gestion effectuée par Sandandrano est très efficace pour la suppression du gaspillage en vue de la conservation des ressources en eau.



**Figure 8 : Perte d'eau au sein de l'Entreprise SANDANDRANO et la JIRAMA**

Sandandrano a ouvert un bureau local accessible à tout public, comportant une salle d'accueil, un guichet, un magasin de stockage, une salle technique et un gîte d'étape.



**Photo 6 : Agence SANDANDRANO à Ambohibary**

Les réparations des tuyaux cassés ou présentant des fuites doivent être faites dans les plus brefs délais. Ces actions seront effectuées par l'entreprise Sandandrano pour éviter les gaspillages et pour la conservation des ressources en eau.

Concernant la protection du Bassin Versant, un responsable prévoit une descente d'au moins 3 fois par mois sur le lieu pour la vérification de l'état des environs du captage et la qualité

## Analyse de la gestion des ressources en eau

de la source. Un petit jardin a été installé aux alentours du captage pour une meilleure vue, la propreté et la préservation de la nature.

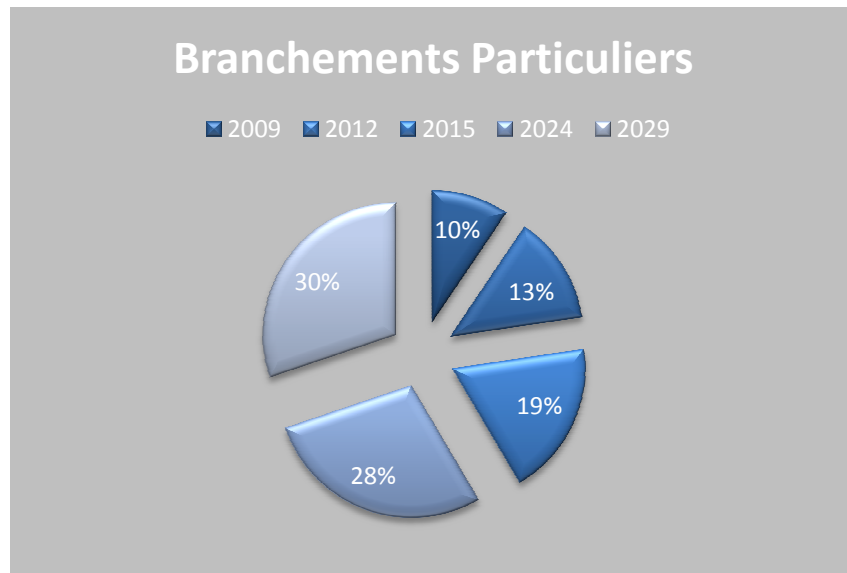


Figure 9 : Projection des branchements particuliers

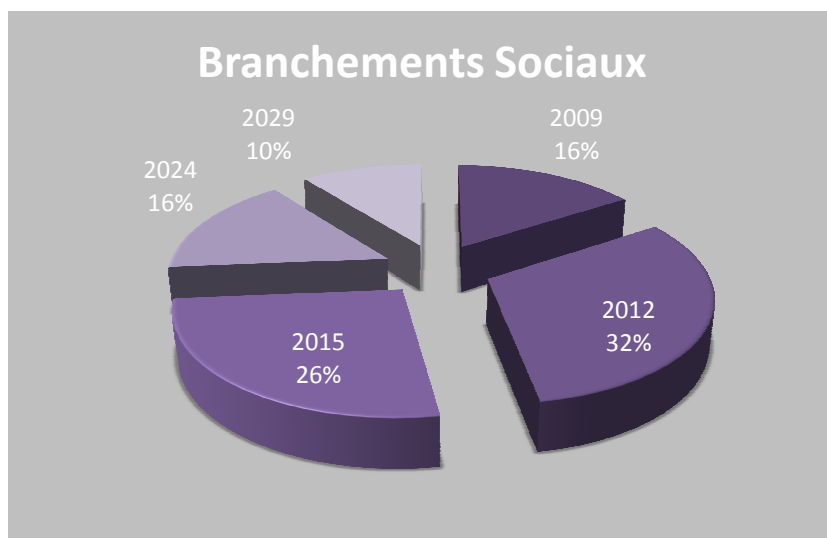


Figure 10 : Projection des branchements sociaux



**Photo 7 : Branchements sociaux**

Pour supprimer tout gaspillage d'eau, surtout pendant la nuit où la consommation est très faible, l'entreprise prévoit la technique de mise en bouteille, qui consiste à récupérer les eaux perdues à travers le trop plein dans le réservoir une fois rempli.



### Chapitre 10. ANALYSE DES IMPACTS ET MESURES A PRENDRE SUR LE RESEAU D'AEP D'AMBOHIBARY

#### 10.1. Analyse des paramètres de base

##### 10.1.1. La géologie

Ambohibary se situe dans une zone volcanique, caractérisée par un milieu fissuré dans lequel les eaux de ruissellement pénètrent très facilement. La présence de fractures, fissures, dans la roche permet une meilleure infiltration de l'eau et la vitesse des eaux souterraines est très élevée, de ce fait on obtient une forte pression au niveau de la source. L'eau s'infiltre très directement dans le sous-sol par des fissures contrairement aux eaux souterraines des aquifères poreux. Le sol est alors très perméable, avec circulation souterraine des eaux. Ainsi, le débit de la source d'un milieu fissuré est énorme même si on est en présence d'un petit bassin versant.

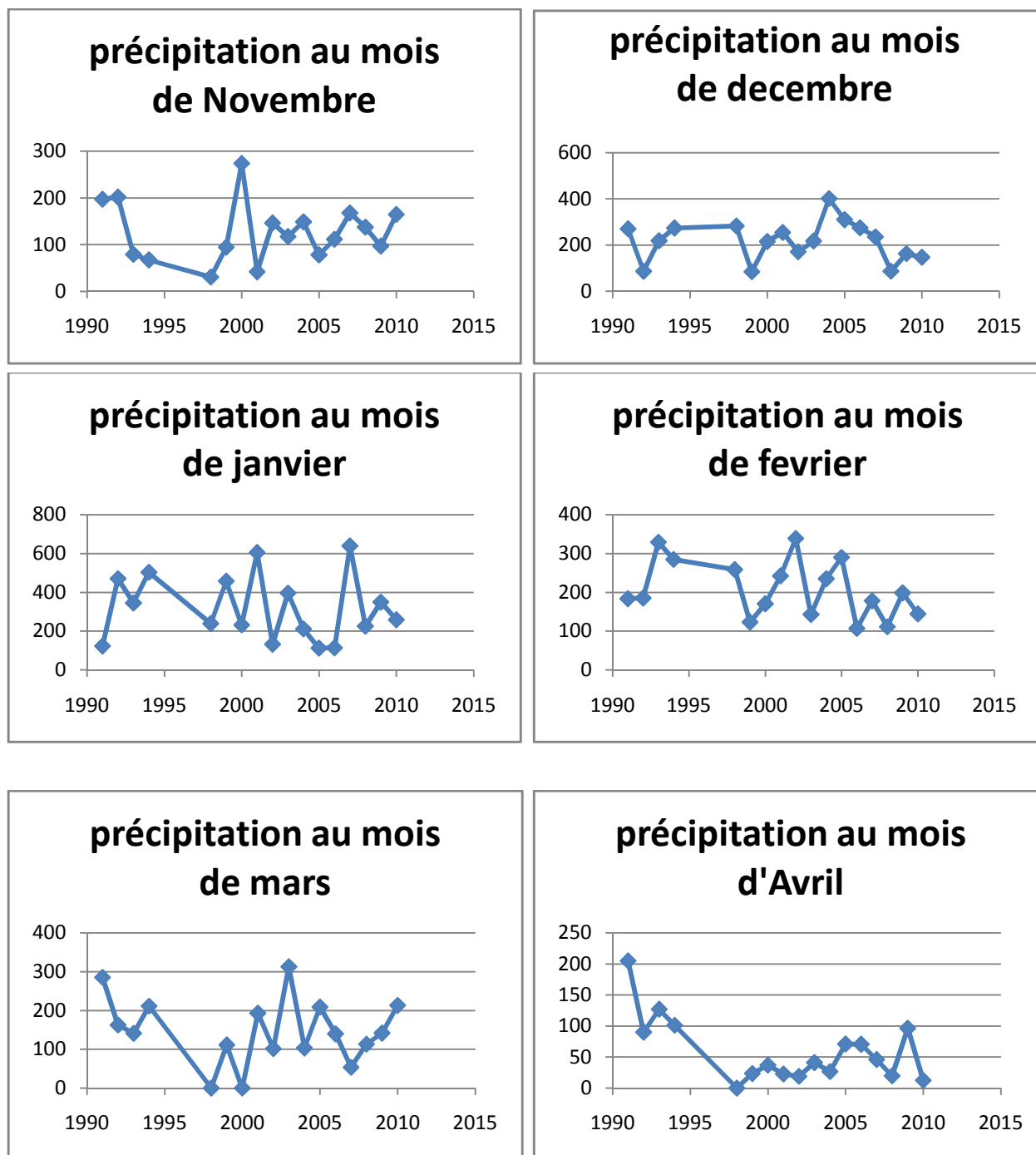
##### 10.1.2. L'hydrologie

En vue de satisfaire les besoins en eau, il serait important de calculer les débits d'eau sur le bassin versant avec l'appui sur des études hydrologiques. Ainsi cette étude comporte 03 (trois) principales parties dont : le traitement des données pluviométriques; l'estimation de l'apport; et l'estimation du débit après variation du coefficient de ruissellement.

###### 10.1.2.1. Analyse des données

###### *i. Pluviométrie*

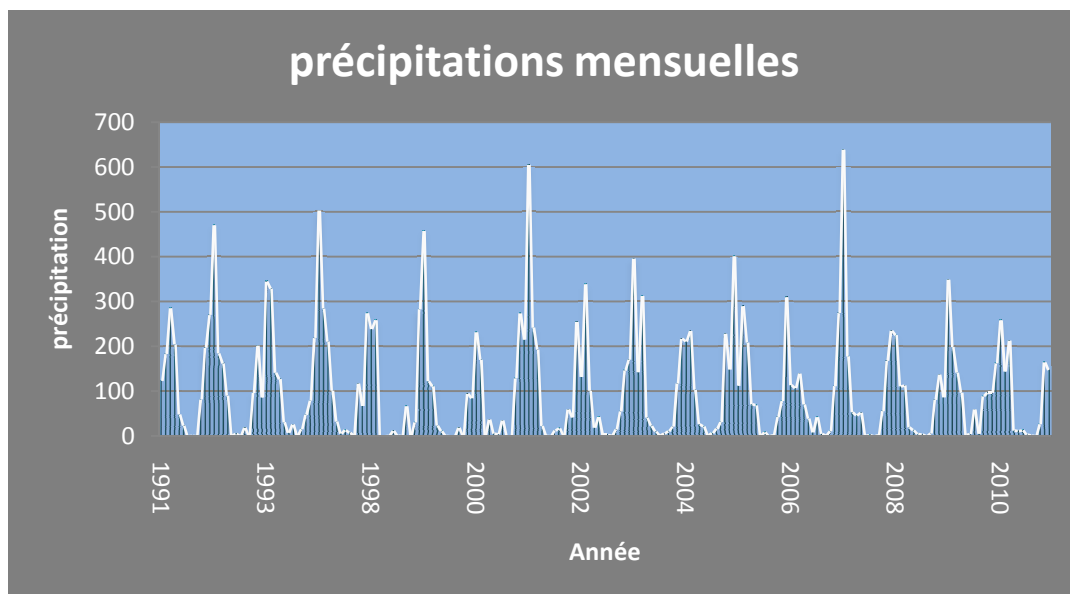
Il faut noter que la zone d'Ambohibary ne dispose pas de station météorologique pour mesurer les quantités mensuelles des précipitations si bien que nous sommes contraints de nous recourir aux années fournis par la station d'Aero Antsirabe, qui s'étend entre 19°52 S et 47°04 E



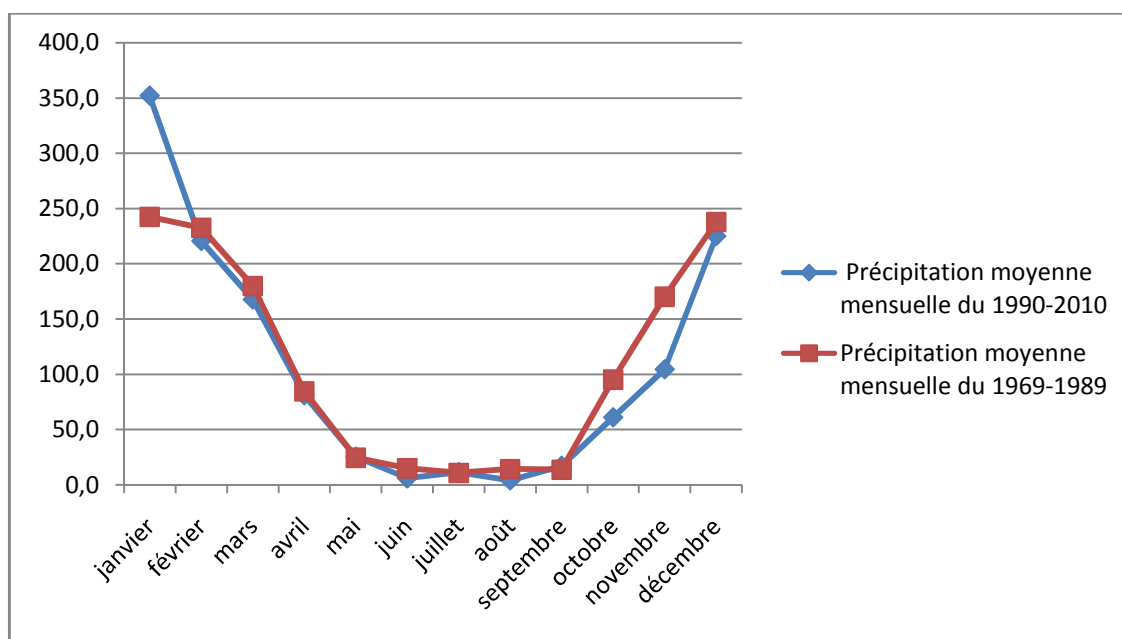
**Figure 11 : Les précipitations depuis 1990 pour chaque mois de la saison pluvieuse**

D'après ces figures, la saison de pluie devient très courte (on a presque plus de pluie à partir du mois de mars), on remarque que la précipitation diminue au fil de l'année et que la période de pluie est plus restreinte.

Pendant le mois de Février, le mois le plus pluvieux, la précipitation est plus faible sur les 5 dernières années par rapport aux années 1990 à 1995.



**Figure 12 : Précipitations annuelles à Antsirabe**



**Figure 13 : Précipitation moyenne mensuelle (1969-1989) et (1990-2010)**

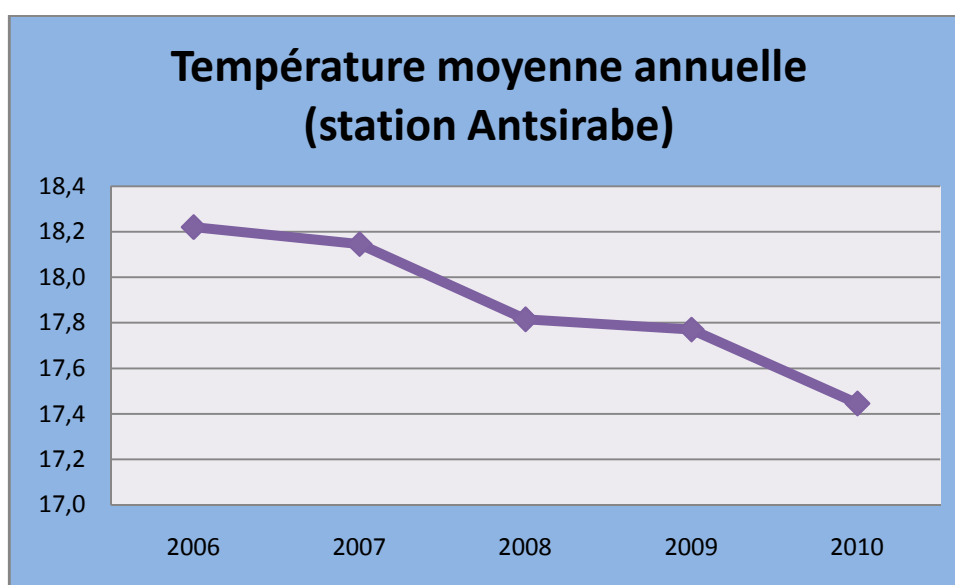
D'après la figure ci-dessus, on remarque que l'allure de la précipitation n'a pas beaucoup changée mais l'intensité de la précipitation a considérablement diminué pendant la saison de pluie, sauf au mois de janvier où on remarque une augmentation brusque de la précipitation. On constate, un pic (si on prend l'expression) de précipitation élevée. Pour la période 1990-2010. C'est-à-dire que la précipitation moyenne mensuelle max prend une très grande valeur par rapport à celle de la période 1969-1989. Ajouté à cela les périodes pluvieuses semblent raccourcir en effet, pour le graphe rouge, la remontée commence dès Septembre alors que pour la courbe bleu la montée commence en Octobre-Novembre.

## Analyse de la gestion des ressources en eau

On conclut donc que le phénomène de changement climatique a entraîné une concentration de la période pluvieuse, c'est-à-dire une augmentation de l'intensité de pluie. Donc, une précipitation plus élevée pour une période plus courte.

La partie centrale de Madagascar, dont fait partie Ambohibary ne sera pas tellement vulnérable par le changement climatique. Mais à condition de l'existence de couvertures forestières très denses pour assurer une quantité de pluie abondante.

### *ii. Température*



**Figure 14 : Température moyenne annuelle à Antsirabe depuis 2006**

La figure ci-après nous justifie la tendance à la diminution de la température à Antsirabe. On remarque ici une décroissance totale de la température depuis 2006. La partie d'Antsirabe devient alors de plus en plus froide, malgré l'augmentation de la température dans la haute terre malgache et dans toute l'île.

### *iii. Evapotranspiration potentielle (ETP ou ET0)*

Les paramètres géo-climatiques de la région étudiée et de la formule de Penman Montheith ont été utilisés pour calculer ce paramètre par CROPWAT 8.0. Les paramètres qui entrent en jeu dans le calcul sont : la température, l'insolation, l'humidité relative, la vitesse du vent et la radiation solaire. Ce dernier paramètre est obtenu en fonction de la position géographique de la

## Analyse de la gestion des ressources en eau

station considérée (latitude et longitude), tandis que les quatre premières variables citées ci avant sont enregistrées directement à la station.

Le tableau ci-après fait état des résultats obtenus :

**Tableau 6: Evapotranspiration potentielle par CROPWAT 8.0**

| <b>Pays</b> : MADAGASCAR |          |          | <b>Station climatique</b> : Antsirabe |         |            |            |         |
|--------------------------|----------|----------|---------------------------------------|---------|------------|------------|---------|
|                          |          |          | : 19,52                               |         |            |            |         |
| <b>Altitude</b> : 1540 m |          |          | <b>Coordonnées</b>                    |         | LS         | 47,04 LE   |         |
| Mois                     | Temp Min | Temp Max | Humidité                              | Vent    | Insolation | Ray.       | ETo     |
|                          | °C       | °C       | %                                     | km/jour | heures     | MJ/m²/jour | mm/jour |
| Janvier                  | 15.0     | 25.0     | 85                                    | 121     | 6.5        | 20.8       | 3.97    |
| Février                  | 15.0     | 26.0     | 85                                    | 104     | 7.2        | 21.4       | 4.08    |
| Mars                     | 14.0     | 26.0     | 87                                    | 121     | 6.3        | 18.6       | 3.56    |
| Avril                    | 12.0     | 25.0     | 83                                    | 121     | 7.9        | 18.6       | 3.35    |
| Mai                      | 10.0     | 24.0     | 82                                    | 121     | 7.3        | 15.5       | 2.71    |
| Juin                     | 7.0      | 22.0     | 84                                    | 121     | 7.1        | 14.1       | 2.26    |
| Juillet                  | 7.0      | 21.0     | 82                                    | 121     | 6.9        | 14.4       | 2.26    |
| Août                     | 7.0      | 22.0     | 81                                    | 121     | 7.5        | 17.0       | 2.73    |
| Septembre                | 8.0      | 26.0     | 78                                    | 121     | 8.2        | 20.4       | 3.70    |
| Octobre                  | 10.0     | 27.0     | 77                                    | 121     | 8.7        | 23.1       | 4.37    |
| Novembre                 | 13.0     | 26.0     | 75                                    | 104     | 7.5        | 22.2       | 4.29    |
| Décembre                 | 15.0     | 26.0     | 84                                    | 121     | 6.7        | 21.2       | 4.12    |
| Moyenne                  | 11.1     | 24.7     | 82                                    | 118     | 7.3        | 18.9       | 3.45    |

D'où les valeurs de l'ETo

**Tableau 7: valeurs de l'ETo**

| ALTITUDE : 1540 mètres |      |      | Coordonnées : 19,52 LS |      |      |      |      |      | 47,04 LE |      |      |      |
|------------------------|------|------|------------------------|------|------|------|------|------|----------|------|------|------|
| Mois                   | Jan  | Fév  | Mars                   | Avr  | Mai  | Juin | Juil | Août | Sept     | Oct  | Nov  | Déc  |
| ET mm/jour             | 3.97 | 4.08 | 3.56                   | 3.35 | 2.71 | 2.26 | 2.26 | 2.73 | 3.70     | 4.37 | 4.29 | 4.12 |

**Tableau 8: Données fournis par la Météorologie de Madagascar**

|       |              |                               |
|-------|--------------|-------------------------------|
| METEO | INSOLATION   | moyenne sur 30 ans (61-90)    |
|       | Humidité     | moyenne sur 30 ans (61-90)    |
|       | Températures | moyenne sur 5 ans (2006-2010) |

### 10.1.2.2. L'estimation de l'apport

## Analyse de la gestion des ressources en eau

Pour résoudre les problèmes d'utilisation des eaux souterraines, il faut connaître le débit qu'on peut avoir durant leur exploitation en tenant compte de la composition de ces dernières. En même temps il faut avoir en vue la possibilité d'une modification du débit et de la composition des eaux souterraines à différentes époques.

L'estimation de l'apport souterrain peut se faire par la méthode de N.A PLOTNIKOV, dont l'expression du débit est la suivante :

$$Q_1 = 1000 \times I \times S$$

Avec :

Q = quantité d'eau infiltrées dans la nappe par mois, [m<sup>3</sup>/mois]

I = précipitation infiltrée pour un mois [mm]

D'après le bilan hydrologique d'un bassin versant, on a :

$$I = P - ETP - R$$

Et en introduisant le coefficient de ruissellement on a :

$$R = Cr.P$$

Soit I s'exprime alors par

$$I = P (1-Cr) - ETP$$

Cr = coefficient de ruissellement

S = surface de la région d'alimentation ou du bassin versant [Km<sup>2</sup>]

P = précipitation par mois [mm]

ETP = évapotranspiration [mm]

R = ruissellement [mm]

La méthode de N.A PLOTNIKOV s'applique sur des terrains sédimentaires de milieu poreux. Puisque la zone d'Ambohibary se situe dans une zone volcanique, le sol est donc de type fissuré, l'application de cette méthode ne serait donc plus valable. Pour ce faire, il faut l'extrapoler afin de déterminer le débit dans cette zone.

D'où, on a l'expression finale du débit moyenne annuelle:

$$Q_1 = 1000 \times [P (1-Cr) - ETP] \times S$$

Soit pour les données pluviométriques de 1990 à 2010, on a :

## Analyse de la gestion des ressources en eau

$$Q_1 = 14655 \text{ [m}^3\text{/mois]}$$

$$Q_1 = 0.46 \text{ [l/s]}$$

Et pour les données pluviométriques de 1969 à 1989, on obtient :

$$Q_1 = 11095 \text{ [m}^3\text{/mois]}$$

$$Q_1 = 0.35 \text{ [l/s]}$$

D'après ces deux résultats, on remarque qu'il n'y a pas une grande différence de valeur, ainsi, on voit que le changement climatique n'a pas d'énorme influence sur le débit de la source. Pour la suite de l'étude, on va se baser sur les récentes données pluviométriques de 1990 à 2010

Les apports mensuels quinquennaux de la rivière s'obtiennent par l'application des coefficients de répartition d'ALDEGHERI sur les apports quinquennaux annuels, avec la formule :

$$Q = \frac{Q_1 \times 12 \times R_m}{100}$$

Avec :

$R_m$  : coefficient de répartition d'ALDEGHERI correspondant à la bordure orientale des Hautes Terres Centrales du mois considéré (%), [R1]

**Tableau 9: Coefficient de répartition d'ALDEGHERI [R1]**

| coeff     | Janv | Fev  | Mars | Avr | Mai | Juin | Juil | Aôut | Sept | Oct | Nov | Dec  | Année |
|-----------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|------|-------|
| <b>R1</b> | 16.9 | 16.7 | 17.1 | 9.7 | 5.7 | 4.1  | 3.7  | 3.4  | 2.6  | 2.4 | 4.8 | 12.9 | 100   |

Les apports moyens mensuels obtenus sont présentés comme suit :

**Tableau 10: Apports moyens mensuels obtenus, méthode N.A PLOTNIKOV**

|                | Janv | Fév  | Mar  | Avr  | Mai  | Jui  | Juil | Aoû  | Sept | Oct  | Nov  | Déc  | Année |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| <b>R1</b>      | 16.9 | 16.7 | 17.1 | 9.7  | 5.7  | 4.1  | 3.7  | 3.4  | 2.6  | 2.4  | 4.8  | 12.9 | 100   |
| <b>Q (l/s)</b> | 0.94 | 0.93 | 0.95 | 0.54 | 0.32 | 0.23 | 0.21 | 0.19 | 0.14 | 0.13 | 0.27 | 0.72 | 0.46  |

Après extrapolation, avec un rapport de base de 1.22 %, par rapport au débit établis par la formule de N.A PLOTNIKOV, on obtient les débits moyens mensuels définis comme suit :

**Tableau 11: Apports moyens mensuels de la source**

| Q [l/s]        | Janv         | Fév          | Mar          | Avr          | Mai          | Jui          | Juil         | Aoû          | Sept         | Oct       | Nov       | Déc          | Année        |
|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------|-----------|--------------|--------------|
| <b>Q plot</b>  | 0.94         | 0.93         | 0.95         | 0.54         | 0.32         | 0.23         | 0.21         | 0.19         | 0.14         | 0.13      | 0.27      | 0.72         | 0.46         |
| <b>Qsource</b> | <b>77.46</b> | <b>76.54</b> | <b>78.38</b> | <b>44.46</b> | <b>26.13</b> | <b>18.79</b> | <b>16.96</b> | <b>15.58</b> | <b>11.92</b> | <b>11</b> | <b>22</b> | <b>59.13</b> | <b>38.19</b> |

### 10.1.2.3. Variation du Coefficient de Ruissellement

La végétation influence positivement l'infiltration en ralentissant l'écoulement de l'eau à la surface, lui donnant ainsi plus de temps pour pénétrer dans le sol. D'autre part, le système racinaire améliore la perméabilité du sol. Enfin, le feuillage protège le sol de l'impact de la pluie et diminue par voie de conséquence le phénomène de battance.

L'influence de la couverture végétale sur l'apport peut se vérifier par une étude qui consiste à varier et à changer le coefficient de ruissellement. Il faut donc diminuer la forêt et analyser le résultat en vue des mesures adéquates et d'améliorer la gestion de l'eau.

Une hypothèse sur la viabilité et la durabilité de la ressource par rapport aux besoins de la population pourrait s'obtenir à l'issue de ce résultat.

### 10.1.2.4. Simulation du Cr

En tenant compte de plusieurs variations de coefficient de ruissellement, et en fonction de la nature de la couverture végétale occupant le sol, il serait possible de calculer les différentes valeurs de coefficient en se référant sur le tableau des coefficients de ruissellement dans la méthode rationnelle définis dans l'annexe. Le procédé de calcul des simulations des valeurs des coefficients ainsi que l'extrapolation dans le calcul du débit sont établies dans l'annexe.



## Analyse de la gestion des ressources en eau

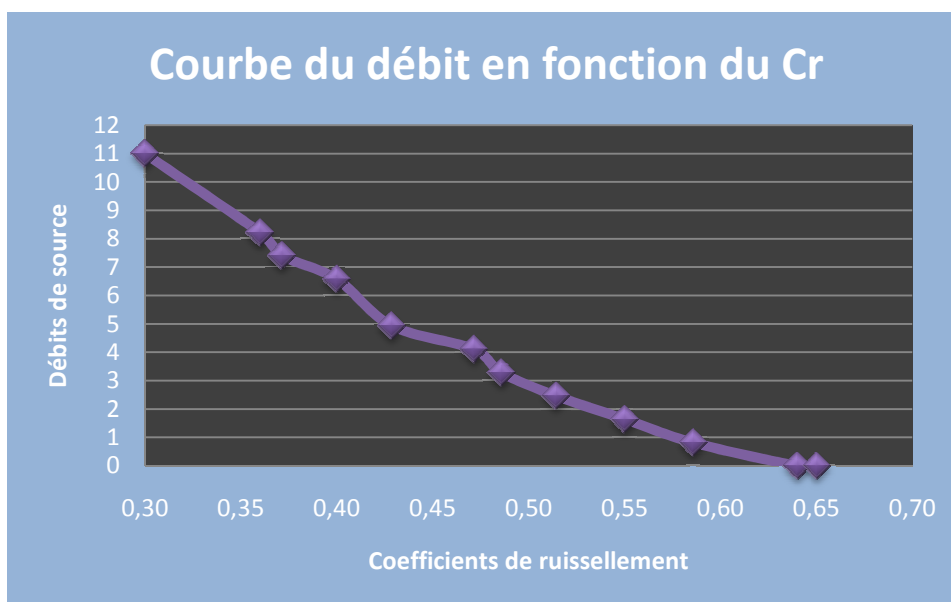
**Tableau 12: Résultats des simulations des coefficients de ruissellement**

| Cr   | Cr   | Cr   | Cr   |
|------|------|------|------|
| 0.30 | 0.51 | 0.66 | 0.72 |
| 0.36 | 0.47 | 0.64 | 0.71 |
| 0.36 | 0.53 | 0.64 | 0.72 |
| 0.37 | 0.54 | 0.64 | 0.74 |
| 0.41 | 0.55 | 0.65 | 0.75 |
| 0.42 | 0.59 | 0.66 | 0.76 |
| 0.43 | 0.56 | 0.68 | 0.77 |
| 0.44 | 0.57 | 0.69 | 0.79 |
| 0.47 | 0.59 | 0.71 | 0.80 |
| 0.48 | 0.59 | 0.70 | 0.75 |
| 0.49 | 0.61 | 0.71 | 0.70 |
| 0.40 | 0.62 | 0.73 |      |

Ce qui donne alors les valeurs suivantes ainsi que son impact sur le débit définie comme suit :

**Tableau 13: Influence des couvertures végétales sur le débit d'étiage de la source.**

| Cr   | DEBIT D'ETIAGE<br>(l/s) |         |
|------|-------------------------|---------|
|      | Qplotnikov              | Qsource |
| 0.3  | 0.13                    | 11      |
| 0.36 | 0.10                    | 8.22    |
| 0.37 | 0.09                    | 7.40    |
| 0.40 | 0.08                    | 6.58    |
| 0.43 | 0.06                    | 4.93    |
| 0.47 | 0.05                    | 4.11    |
| 0.49 | 0.04                    | 3.29    |
| 0.51 | 0.03                    | 2.47    |
| 0.55 | 0.02                    | 1.64    |
| 0.59 | 0.01                    | 0.82    |
| 0.64 | 0.00                    | 0.00    |
| 0.65 | 0.00                    | 0.00    |



**Figure 15 : Courbe des débits simulés en fonction du Coefficient du ruissellement**

Le graphe suivant témoigne de l'influence du coefficient de ruissellement sur le débit. A une certaine valeur limite attribuée au coefficient de ruissellement, à partir de  $CR=0.43$ , on a comme débit  $Q=4.93$  l/s. alors le débit d'étiage résultant ne pourra plus satisfaire aux besoins de la population d'ici 2029 ( $Q= 4.98$  l/s = 5 l/s). On se retrouve alors à la valeur seuil.

### 10.2. Politique et stratégie de conservation de la ressource en eau

Le but commun de la politique et stratégie de conservation est de préserver le plus longtemps possible une qualité de l'eau pour satisfaire les besoins de la population pour les générations futures afin de sécuriser les usages d'eau potable, de protéger la santé publique et d'assurer une bonne qualité de vie aux citoyens tels que les résidents, commerçants, agriculteurs, touristes.

Notre vision est alors d'avoir une eau saine pour préserver la bonne qualité de vie dans le bassin versant.

Toute action dans cette politique de conservation est en relation étroite entre l'Entreprise, la commune et le ministère des eaux et forêt afin d'assurer la réalisation de ce plan d'action.

### 10.3. Plan d'action pour la subvention en eau potable de la commune

Afin d'éviter l'atteinte de la valeur seuil du débit produit par notre source, il s'avère nécessaire de prendre une mesure draconienne de surveillance de cette source d'eau. De ce fait, nous allons ainsi mettre en place, un contrôle strict visant à limiter les interventions humaines dans le bassin versant.

#### 10.3.1. Contrôle stricte du bassin versant

Concrètement, ce procédé signifie que toute action réalisée à proximité de nos sources d'eau potable est désormais soumis à des règles plus strictes qu'ailleurs sur le territoire. L'objectif du contrôle strict vise à éradiquer toutes les activités susceptibles de provoquer la dégradation physique du versant. Parmi ces activités figurent essentiellement les déforestations abusives, pour des besoins de ménages ou pour la fabrication des charbons. A cet égard, nous solliciterons une collaboration étroite avec le Ministère des eaux et forêts en ce qui concerne la délivrance des permis de coupe.

En outre, les pratiques des activités agricoles sur les bassins les exposent à incontestablement à un état délabrement dans la mesure où les travaux agricoles sur le versant exigent des techniques adéquates que les paysans n'arrivent pas encore à maîtriser. Ces techniques correspondent entre autres la mise en courbe de niveau et la confection des ouvrages permettant de préserver toute destruction. L'intervention effective des techniciens du ministère de l'agriculture s'impose afin d'interdire toutes pratiques agricoles pouvant porter atteinte à l'état physique du versant.

La divagation des bétails sur le bassin versant serait à proscrire formellement dans la mesure où les couches arables du versant seront dégradées par les piétinements des bétails. En somme, l'accès au périmètre au sein du bassin versant ne sera plus admissible si l'on veut vraiment tenir compte d'une conservation effective de l'état du bassin versant.

Par ailleurs en vertu des articles établis dans le CODE DE L'EAU, notamment selon l'ARTICLE : « Le maître d'ouvrage est l'autorité publique responsable vis-à-vis des usagers du service public de l'eau et de l'assainissement, sur une aire géographique donnée.

Les communes rurales et urbaines sont les maîtres d'ouvrages des systèmes d'approvisionnement en eau potable et d'assainissement collectif des eaux usées domestiques, situés sur leur territoire respectif. Elles exercent ces attributions par l'intermédiaire du conseil municipal.

Toutefois, aussi longtemps que les communes ne satisferont pas aux critères de capacité définis par décret pour l'exercice de tout ou partie des responsabilités incombant aux maîtres d'ouvrage, celles-ci seront exercées par le Ministre chargé de l'Eau Potable jusqu'à leur

habilitation. Durant cette période, le Ministre chargé de l'Eau Potable agira comme maître d'ouvrage délégué des communes. A l'issue de cette période, les contrats conclus entre le Ministre chargé de l'Eau Potable et les tiers seront transférés de plein droit aux maîtres d'ouvrage.

Par dérogation au paragraphe 2 du présent article, les communautés, et/ou les “Fokontany”, peuvent, à leur demande, exercer la maîtrise d'ouvrage déléguée des petits systèmes ruraux d'approvisionnement en eau potable situés sur leur territoire avec l'accord de l'Organisme Régulateur visé à la section IV du présent chapitre et de la commune de rattachement », et : « La police des eaux s'entend de toute autorité et/ou autre entité investies du pouvoir de préserver la ressource en eau, quant à ses aspects qualitatifs, quantitatifs et économiques, au mieux de l'intérêt général.

La compétence de la police des eaux, définie au paragraphe précédent, couvre ainsi la gestion équilibrée de la ressource dans toutes ses composantes et la préservation du fonctionnement des écosystèmes aquatiques et des zones humides. », l'entreprise titulaire apporte sur concours de sensibilisation quant à l'application de toutes mesures prévues par le texte en vigueur au niveau de la commune.

Toutes personnes contrevenant à ces lois seront pénalisées selon les ARTICLES 66 et 67 du code de l'eau, détaillés dans l'annexe.

### 10.3.2. Renouvellement de la couverture végétal

Afin de mieux rationaliser ces stratégies de conservation, de renouvellement de la couverture végétale ne sera pas à écarter.

Ce renouvellement de la couverture végétale constitue un élément incontournable si on veut vraiment préserver la qualité et la disponibilité de notre ressource en eau potable et ayant des qualités requises suivant les normes.

Pour ce faire, la collaboration directe avec les communautés locales s'avère primordiale pour garantir la création du meilleur environnement possible et assurer aux couvertures végétales les conditions idéales pour leur croissance.

Nous ne pouvons pas écarter certains phénomènes naturels tels que la sécheresse ou les cyclones qui pourront éventuellement constituer des facteurs non négligeables engendrant la destruction des couvertures végétales. En effet leur renouvellement devrait être systématique.

Si l'on s'engage dans une opération de plantation ou de renouvellement, il va s'agir d'un engagement à un travail à long terme. Au début nous pourrions encourager cet engagement, en attribuant à différentes entités la responsabilité de planter des arbres et de s'occuper de certaines parcelles d'arbres déjà existantes dans cette zone.

La plantation à grande échelle de ces arbres augmentera non seulement la productivité de la terre mais aussi et surtout assurera la disponibilité permanente de notre ressource pour les générations futures.

## Analyse de la gestion des ressources en eau

En plantant des arbres, l'individu ne fait pas seulement un investissement pour son propre avenir, mais également pour celui des générations à venir.

Il est alors primordial de bien choisir une bonne couverture pour avoir, non seulement des qualités nécessaires pour le ressource en eau mais aussi pour que le projet soit également rentable plus tard. Comme exemple, prenons le cas des Ravintsara qui représente un très bon choix d'après la fiche technique sur le Ravintsara établie en annexe.



**Figure 16 : RAVINTSARA**

### 10.3.3. Acquisition totale du bassin versant

Dans le cadre de la politique générale pour le développement socio-économique de Madagascar, la concrétisation du P.P.P (Partenariat Public Privé) constitueraient également parmi l'une des mesures adéquates pour la protection ou la conservation des bassins versants.

L'acquisition totale du bassin versant s'avère solution capitale bien que complexe pour l'avenir de notre ressource en eau. Néanmoins, nous allons négocier auprès de la commune pour que nous puissions éventuellement acquérir le bassin.

Cette solution facilite la gestion et le contrôle du bassin versant, car cette zone sera vraiment en la possession de l'entreprise. De ce fait, on pourra y mettre en œuvre des actions d'amélioration ou des solutions préventives en permanence par rapport à la situation qui se présente.

### 10.3.4. Recours à une deuxième source

Le recours à une deuxième source, comme cadre de plan d'action pour assurer la productivité et la disponibilité de l'eau potable dans la commune, est considéré comme un principe de développement soutenable dans cette zone.

Il s'agit de garantir un approvisionnement en eau nécessaire au développement de la commune d'Ambohibary.

Pour ce troisième cas, le plan d'action consiste à ne pas investir dans un premier temps, pour la conservation mais faire recours à une deuxième source quand l'apport ne peut plus satisfaire aux besoins de la population.

Si l'on veut recourir la source d'Ankadibe, la plus importante est celle d'Antanetibe II dont le débit mesuré en septembre 2008 est de 9 litres par seconde. Le principe serait alors de pomper au niveau de cette source même si le débit d'eau semble insuffisant pour les besoins de la population, tout en gardant l'ancien réseau de distribution alimenté par la source d'Ankadibe.



Figure 17 : Localisation des deux sources : celle d'Ankadibe et d'Antanetibe II



Photo 8: Source d'ANTANETIBE II



## Analyse de la gestion des ressources en eau

Le réseau de distribution sera calculé en utilisant le logiciel Epanet. Pour faciliter les branchements, le réseau maillé a encore été choisi. Ce choix est bien adapté au plan de la commune d'Ambohibary.

### 10.3.4.1. Description de l'ouvrage

La situation actuelle de la source d'Antanetibe II oblige à installer un nouveau captage qui captage va alimenter directement une bache en béton armé implantée directement à son aval.

Cette bache est nécessaire en même temps pour traiter l'eau et comme bache de reprise pour un pompage vers le réservoir. Elle est dimensionnée de façon à avoir un temps de séjour de 30 mn pour permettre un temps de contact suffisant avec le désinfectant. Ce qui a permis de déterminer un volume de 12,6 m<sup>3</sup>.

Le captage est un ouvrage en béton armé muni d'un couvercle et précédé d'une couche de matériaux filtrant en amont. L'entrée d'eau dans l'ouvrage de captage se fait à l'aide des barbacanes.

Sa dimension est de 1,50 x 1,70 x 0,80 m.

La bache contient une chicane de manière à éviter les écoulements préférentiels. La chloration se fait à l'entrée. Un local technique sera construit au-dessus de la bache.

L'eau de cette source sera pompée à l'aide d'une pompe de surface vers le réseau de distribution, il s'agit d'un refoulement-distribution.

### 10.3.4.2. Coût estimatif

Étant donné que l'ouvrage de captage sert à la fois pour le traitement pour cette solution, son coût estimatif est donné dans le tableau suivant :

**Tableau 14: Coût estimatif de l'ouvrage de captage et de traitement (MEDDEA)**

| Désignation des ouvrages |                                     | Montant<br>(Ariary) |
|--------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| 1.                       | Terrassement                        | 697 260             |
| 2.                       | Béton                               | 11 267 700          |
| 3.                       | Maçonnerie et ravalement            | 2 963 328           |
| 4.                       | Charpente - Plafonnage - Couverture | 3 259 294           |
| 5.                       | Menuiserie - Bois - Quincaillerie   | 965 188             |
| 6.                       | Peinture                            | 245 760             |
| 7.                       | Accessoires                         | 15 473 641          |
| <b>TOTAL</b>             |                                     | <b>34 872 171</b>   |
| <b>Arrondi à</b>         |                                     | <b>35 000 000</b>   |



## Analyse de la gestion des ressources en eau

### 10.3.4.3. La conduite d'amenée

C'est la conduite qui achemine l'eau venant des ouvrages de captage vers le réservoir.

Puisque le réseau passe à côté de la source à capter et que le pompage se fera directement vers ce réseau, la conduite d'amenée sera très courte et sera considérée comme faisant partie du réseau.

Le devis estimatif de la conduite d'amenée est donné ci-après

**Tableau 15 : Coût estimatif de la conduite d'amenée (MEDDEA)**

| Désignation            | Unité | Quantité | Prix unitaire | Montant (Ariary)  |
|------------------------|-------|----------|---------------|-------------------|
| PEHD 75 PN 10          | ml    | 1000     | 19 665        | 19 665 000        |
| <b>TOTAL Arrondi à</b> |       |          |               | <b>20 000 000</b> |

### 10.3.4.4. Le traitement d'eau

Comme la source d'Antanetibe II, se trouve dans le chef lieu même, elle est donc très vulnérable aux pollutions. D'après une analyse effectuée sur un échantillon d'eau de cette source, l'eau n'est pas conforme à la norme.

Le résultat de l'analyse est établi dans l'annexe.

Le traitement de l'eau, s'effectue à la fois par la sédimentation et la chloration.

La sédimentation a un volume de 12,6 m<sup>3</sup>. Ce volume a été calculé pour permettre le mélange de l'eau et du réactif pendant 30 mn. La chloration se fera dans cette bache, les dispositifs seront installés dans un local technique à construire au dessus de cette bache.

Le système de chloration comprend d'un système de dosage à débit constant composé d'un fût de 200 l surélevé contenant la solution chlorée, il est relié par un tuyau de petit diamètre à un récipient de 20 l, la solution chlorée alimente ce récipient par un robinet à flotteur qui permet d'y maintenir un niveau constant. A la sortie du récipient une vannette permet de régler le débit de solution chlorée coulant dans le réservoir ou la bache à débit constant.

Le coût de système est déjà inclus dans le coût du captage.

### 10.3.4.5. Le pompage

Cette source se trouve à niveau du chef-lieu mais à une altitude inférieure à celle des villages à desservir (1 641 m). Il s'avère donc nécessaire d'effectuer un pompage pour la distribution.

Le pompage se fera directement vers le réseau de distribution.

D'après des études réalisées par le bureau d'étude MEDDEA, la caractéristique de la pompe est définie comme se résume dans le tableau suivant:

**Tableau 16: Caractéristiques des pompes (MEDDEA)**

| Type de pompe    | Débit nominal<br>(m <sup>3</sup> /h) | HMT<br>(m) |
|------------------|--------------------------------------|------------|
| Pompe de surface | 17                                   | 55         |

La durée de vie des pompes est inférieure à 15 ans, habituellement entre 7 et 10 ans, c'est pourquoi, bien que le fonctionnent soit prévu à 20 heures, ces pompes sont sous dimensionnées par rapport au besoin en eau à terme.

Le coût du pompage est déjà inclus dans le coût des ouvrages de captage.

### 10.3.4.6. Le nouveau réseau de distribution

Le réseau étant presque le même que celui alimenté par la source d'Ankadibe.

Au départ du réservoir, le réseau est équipé d'un compteur de diamètre approprié permettant de faire le calcul du rendement de l'ensemble.

La distribution des branchements dans la commune d'Ambohibary, et donc leur attribution aux divers nœuds du modèle, a été faite sur la base du recensement réalisé lors de l'enquête socio-économique. Les coordonnées des nœuds ont été obtenus par levé GPS, leur altitude par triangulation à partir de la carte établie par le projet Petits périmètres irrigués.

Les conduites utilisées sont des PVC DN 90 ainsi que des PEHD DN 75, DN 63, DN 50, DN 40 et DN 25. Les pressions nominales sont de 16 bars pour les DN 25, de 12,5 bars pour les DN 32 et de 10 bars pour les diamètres supérieurs. (MEDDEA, Avril 2009)

Le dimensionnement s'est fait en cherchant à avoir une pression en chaque nœud supérieure à 5 m en heure de pointe tout en conservant un diamètre supérieur au DN 32 dans tout

le réseau. Sur les axes considérés comme stratégiques des diamètres supérieurs aux nécessaires ont été conservés en prévoyance d'éventuelles extensions (c'est en particulier le cas sur la RN 43). (MEDDEA, Avril 2009).

Par ailleurs, les conduites suivant des routes goudronnées ont été doublées, une de chaque côté de la route, pour éviter la coupure de la route lors des diverses campagnes de branchements.

### 10.3.4.7. Récapitulatif des coûts

Le coût supplémentaire pour le fonctionnement de cette deuxième source est estimé à :  
Coût estimatif de l'ouvrage de captage et de traitement : 35.000.000 d'Ariary  
Coût estimatif de la conduite d'amenée : 20.000.000 d'Ariary

Le coût du projet serait alors de 55 000.000 d'Ariary

Certes, le recours à une deuxième source serait une solution idéale pour pouvoir assurer la productivité en eau. Par contre, l'investissement est énorme tant bien que mal pour la mise en place de toutes les infrastructures adéquates afin de satisfaire les besoins en eau potable de la population d'une part, et d'assurer la pérennité de la conservation des ressources naturelles d'autre part. Or, le nombre des abonnés aux prochains branchements n'est pas encore assuré pour satisfaire aux dépenses pour la réalisation de la deuxième source.

## 10.4. Choix du plan à réaliser

Les besoins en eaux de la population s'accroît au fil des années, parallèlement, des investissements augmentent. Bien que la gestion de ces solutions proposées, occasionne des dépenses, il est alors fort probable que le coût de l'eau va s'élever. La meilleure solution serait alors de prendre la mesure la moins coûteuse et procéder à la moindre dépense pour amoindrir le coût et garder un meilleur prix de l'eau.

De ce fait, la solution la plus appropriée serait alors d'adopter la politique et stratégie de conservation. Ce plan d'action est facile à réaliser, ne demande pas un énorme investissement, et surtout n'aura pas beaucoup d'influence sur le coût de l'eau.

### CONCLUSION

Les ressources en eau et en particulier les ressources souterraines connaissent en général une lente évolution. L'importance de leur taille leur implique souvent d'une grande inertie d'où un renouvellement très lente de l'eau. Ainsi leur pollution reste durable longtemps. La gestion de ces ressources s'envisage de façon complexe et durable et requiert une politique à long terme.

Les eaux souterraines représentent un minéral utile de grande importance pour la vie et les activités humaines ; ceci est connu depuis longtemps. Ces eaux sont largement utilisées pour l'alimentation en eau, pour l'irrigation, pour des buts médicaux, et comme matières premières pour extraire différentes composantes (sel de cuisine, iode, brome. etc.).

Quel que soit l'usage de l'eau douce : pour l'agriculture, l'industrie ou les services municipaux, il existe des possibilités considérables d'économies et d'amélioration de sa gestion. Presque partout, on gaspille de l'eau. Tant qu'ils ne se trouvent pas en présence de pénuries, la plupart des pays et des gens pensent qu'avoir accès à de l'eau est chose toute naturelle.

Une meilleure gestion de l'information ou des données disponibles nécessite un développement d'une base de connaissances du milieu et des enjeux cruciaux concernant la dégradation des ressources naturelles. Les dangers ne se présentent pas seulement sous des aspects climatiques et écologiques mais provoquent des conflits d'usage, la pauvreté et la croissance des flux de migration avec des conséquences perceptibles à l'échelle mondiale.

Les activités agricoles constituent avant tout des sources d'émission de l'oxyde nitreux et notamment du dioxyde de carbone. Les impacts hétérogènes du changement au niveau mondial varieront d'une région à l'autre. Toutefois cette diversité des situations provoque des impacts globalement négatifs à moyen terme, c'est-à-dire à partir de 2050.

Les eaux absorbées par les plantes et par les sols, s'évaporent dans l'atmosphère par évapotranspiration et s'acheminent vers la mer grâce aux rivières, ainsi que dans les lacs et les zones humides. Dès sa source, son cycle de renouvellement est fermé (évaporations, précipitations, ruissellements, nappes fossiles), limité à la quantité d'eau présente dans la biosphère, la lithosphère et l'hydrosphère. Par ailleurs, l'eau et son accès demeurent aussi sources de conflits entre des particuliers et des industries importantes. À cela s'ajoutent les variations spatiales et temporelles de l'eau disponible. Ainsi, l'insuffisance, voire le manque d'eau nécessaire à toutes nos utilisations engendre une crise sociale.

L'impact du changement climatique sur les ressources en eau est donc menaçant. Pendant la période d'été, le manque de pluie et l'élévation de la température engendrerait le tarissement des sources et la diminution des débits des cours d'eau. Pendant la saison de pluie, la forte intensité de pluie entraînerait des crues énormes engendrant une détérioration de la qualité de l'eau étant donné l'augmentation des charges polluantes dans les eaux de ruissellement.

## **Analyse de la gestion des ressources en eau**

Les gestionnaires et les experts de l'eau se sont mis en concert pour prévoir d'ores et déjà les effets éventuels de ce changement climatique au cours du siècle à venir en tenant compte sûrement du cycle de l'eau qui doit donc être rigoureusement gérée ainsi que des systèmes hydrauliques plus résistants. Le cas de la gestion du réseau AEP d'Ambohibary par Sandandrano est déjà un exemple promettant.

Une gestion efficace et équitable en matière de gouvernance constitue un des défis les plus importants auxquels l'humanité doit faire face. Dans les pays les moins développés le manque d'eau engendrerait des maladies, au point de freiner le développement, accentuerait les inégalités et compromettrait la survie de sociétés toutes entières.

Il faudrait mieux définir les décisions à prendre sur l'adaptation qui devra donc être une opportunité de renforcer les instruments mis en œuvre et favoriser les procédures de collecte et de traitement de données efficaces.

Le maintien de zones vertes et de zones tampon naturelles constituerait une gestion de risques de problème qui aiderait également à réduire les incidences négatives d'un ruissellement plus intense pendant les saisons de pluie

**BIBLIOGRAPHIE**

WORLD POPULATION GROWTH RATES, 1950-2050

PNUD, 2006, Rapport mondial PNUD sur le développement humain

Equipe PANA, 2009, Plan d'Action National pour l'Adaptation au Changement climatique

CECILIA BELLORA, LAURE, DECEMBRE 2010, *Study Can agriculture access carbon markets* », Pollez, FARM,

l'IPCC ou GIEC, Chapitre 4 du deuxième groupe de travail du troisième rapport de l'IPCC ou GIEC.

CIA, (2006), l'archive The World Factbook

SANDANDRANO, 2009/2010, Compte rendu technique

MADAGASCAR. REPUBLIQUE DE MADAGASCAR, FEVRIER 2004, Communication nationale initiale de Madagascar. Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatique

GIEC, 2002, Document technique V - Les changements climatiques et la biodiversité.

GIEC, 2007, Le Changement Climatique - rapport d'évaluation 2007.

GIEC, 2008, Document technique VI - Le changement climatique et l'eau.

GREGORY, D., KERSHAW, R., AND INNESS, P. M. (1997). Parameterization of momentum transport by convection. II: Tests in single-column and general circulation models. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 123, 1153-1183.

HARDING, 1992; Lean *et al.*, 1996, « Changement climatique et ressources en eau par système et par domaine »

HONORE RANDRIANATOANDRO ; MATHIEU LE CORRE, AVRIL 2009, Etude de faisabilité technique, alimentation en eau du bourg d'Ambohibary

MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT, DES EAUX ET FÖRETS DIRECTION GENERALE DE L'ENVIRONNEMENT, Juin 2006, Plan d'action national d'adaptation aux changements climatiques- MADAGASCAR,

MINISTERE DE L'EAU, MADAGASCAR, Loi n° 98-029 du 20 janvier 1999, Code de l'eau

MINISTERE DE L'EAU, MADAGASCAR, décret de délégation du service public de l'eau

## **Analyse de la gestion des ressources en eau**

METEOROLOGIE DE MADAGASCAR, MARS 2008, Le changement climatique à Madagascar

PROF. GOULA BI TIE ALBERT, 21 Septembre 2010, conférence sur le changement climatique

RANDRIASANDRATANA GERMAIN, COMMUNICATION NATIONALE INITIALE DE MADAGASCAR, Point Focal National de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques, Ministère de l'Environnement, des Eaux et Forêts

ROME, 14 NOVEMBRE 2005 ; basé sur les conclusions de l'*Evaluation des ressources forestières mondiales 2005*, étude la plus complète à cette date, portant sur l'usage et la valeur des forêts dans 229 pays et territoires, de 1990 à 2005, Communiqué [archive] intitulé « *La déforestation se poursuit à un rythme alarmant - Nouveaux chiffres de la FAO sur les forêts mondiales* »

RASOLOFONIAINA JEAN DONNE, Cours d'Hydraulique Agricole, ESPA

RASOLOFONIAINA JEAN DONNE, Cours d'Hydraulique Routière, ESPA

RANDRIAMAHERISOA ALAIN, Cours d'Hydrologie Appliquée, ESPA

RAMANARIVO SOLOFOMAMPIONONA, Cours d'Hydrogéologie, ESPA

### **SIT WEB :**

<http://www.astrosurf.com/luxorion/eau-cycles.htm>

<http://www.effet.serre.free.fr/html/intro/index.htm>

<http://www.wikipedia.org>

## **ANNEXES**



## Analyse de la gestion des ressources en eau

### ANNEXE 1 :

#### SIMULATION DES COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENT ET EXTRAPOLATION DU DEBIT

| Cr =0.3                     | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai  | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre | Année |
|-----------------------------|---------|---------|------|-------|------|------|---------|------|-----------|---------|----------|----------|-------|
| R1                          | 16,9    | 16,7    | 17,1 | 9,7   | 5,7  | 4,1  | 3,7     | 3,4  | 2,6       | 2,4     | 4,8      | 12,9     | 100   |
| Q (l/s)                     | 0,71    | 0,71    | 0,72 | 0,41  | 0,24 | 0,17 | 0,16    | 0,14 | 0,11      | *0,10   | 0,20     | 0,54     | 0,35  |
| Débit moyen annuel<br>(l/s) | 0,35    |         |      |       |      |      |         |      |           |         |          |          |       |

\*= Débit d'été

R1 : Hautes Terres centrale

## ANNEXE 1a :

### SIMULATION DES VALEURS DE CR APRES PONDERATION

$$Cr = \sum \frac{Si Ci}{S}$$

Avec :

Si : Surface élémentaire occupée par chaque type de culture

Ci : coefficient élémentaire de chaque type de culture

Soit :

$$Cr = \frac{S1 C1 + S2 C2 + S3 C3 + S4 C4}{S1 + S2 + S3 + S4}$$

C1 = 0.3 = Coefficient de ruissellement correspondant aux forêts

C2 = 0.7 = Coefficient de ruissellement correspondant aux prairies

C3 = 0.75 = Coefficient de ruissellement correspondant aux cultures

C4 = 0.8 = Coefficient de ruissellement correspondant aux terrains dénudés

|       | Forêt | Prairie | culture | T.Dénudé |      |
|-------|-------|---------|---------|----------|------|
|       | 0,3   | 0,7     | 0,75    | 0,8      | Cr   |
| S(ha) | 7     | 0       | 0       | 0        | 0,30 |
|       | 6     | 1       | 0       | 0        | 0,36 |
|       | 6     | 0       | 1       | 0        | 0,36 |
|       | 6     | 0       | 0       | 1        | 0,37 |
|       | 5     | 2       | 0       | 0        | 0,41 |
|       | 5     | 1       | 1       | 0        | 0,42 |
|       | 5     | 0       | 2       | 0        | 0,43 |
|       | 5     | 0       | 0       | 2        | 0,44 |
|       | 4     | 2       | 1       | 0        | 0,48 |
|       | 4     | 1       | 2       | 0        | 0,49 |
|       | 4     | 0       | 0       | 2        | 0,40 |
|       | 4     | 0       | 0       | 3        | 0,51 |
|       | 4     | 3       | 0       | 0        | 0,47 |
|       | 3     | 4       | 0       | 0        | 0,53 |
|       | 3     | 3       | 1       | 0        | 0,54 |
|       | 3     | 2       | 1       | 1        | 0,55 |
|       | 3     | 0       | 0       | 4        | 0,59 |
|       | 3     | 1       | 1       | 2        | 0,56 |
|       | 3     | 1       | 0       | 3        | 0,57 |
|       | 2     | 5       | 0       | 0        | 0,59 |
|       | 2     | 4       | 1       | 0        | 0,59 |
|       | 2     | 3       | 1       | 1        | 0,61 |
|       | 2     | 2       | 1       | 2        | 0,62 |

|       | Forêt | Prairie | culture | T.Dénudé |      |
|-------|-------|---------|---------|----------|------|
|       | 0,3   | 0,7     | 0,75    | 0,8      | Cr   |
| S(ha) | 2     | 0       | 0       | 5        | 0,66 |
|       | 2     | 1       | 0       | 4        | 0,64 |
|       | 2     | 1       | 1       | 3        | 0,64 |
|       | 1     | 6       | 0       | 0        | 0,64 |
|       | 1     | 5       | 1       | 0        | 0,65 |
|       | 1     | 4       | 1       | 1        | 0,66 |
|       | 1     | 3       | 1       | 2        | 0,68 |
|       | 1     | 2       | 1       | 3        | 0,69 |
|       | 1     | 1       | 1       | 4        | 0,71 |
|       | 1     | 2       | 0       | 4        | 0,70 |
|       | 1     | 1       | 0       | 5        | 0,71 |
|       | 1     | 0       | 0       | 6        | 0,73 |
|       | 1     | 0       | 1       | 5        | 0,72 |
|       | 0     | 6       | 1       | 0        | 0,71 |
|       | 0     | 5       | 1       | 1        | 0,72 |
|       | 0     | 4       | 1       | 2        | 0,74 |
|       | 0     | 3       | 1       | 3        | 0,75 |
|       | 0     | 2       | 1       | 4        | 0,76 |
|       | 0     | 2       | 0       | 5        | 0,77 |
|       | 0     | 1       | 0       | 6        | 0,79 |
|       | 0     | 0       | 0       | 7        | 0,80 |
|       | 0     | 0       | 7       | 0        | 0,75 |
|       | 0     | 7       | 0       | 0        | 0,70 |

**ANNEXE 1b**

**SIMULATION DES COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENT ET VALEUR DU DEBIT  
PAR EXTRAPOLATION**

| Cr   | DEBIT D'ETIAGE |         | Rapport |
|------|----------------|---------|---------|
|      | Qplotnikov     | Qsource |         |
| 0,3  | 0,10           | 11      | 0,92%   |
| 0,36 | 0,07           | 7,60    |         |
| 0,37 | 0,06           | 6,51    |         |
| 0,40 | 0,05           | 5,43    |         |
| 0,43 | 0,03           | 3,26    |         |
| 0,47 | 0,01           | 1,09    |         |
| 0,49 | 0,01           | 1,09    |         |
| 0,51 | 0,00           | 0,00    |         |
| 0,55 | 0,00           | 0,00    |         |
| 0,59 | 0,00           | 0,00    |         |
| 0,64 | 0,00           | 0,00    |         |
| 0,65 | 0,00           | 0,00    |         |

$$\text{Rapport} = \frac{\text{Q Plotnikov}}{\text{Q source}}$$

**ANNEXE 2**

**COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT DANS LA METHODE RATIONELLE**

*Tableau 30. Coefficient de ruissellement dans la méthode rationnelle.*

| Nature de la<br>couverture végétale                     | Valeur de C                                            |                |                 |                 |                                                          |                |                 |                 |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------------------------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|
|                                                         | Petits bassins de 0 à 10 ha<br>présentant une pente de |                |                 |                 | Bassins moyens de 10 à 400 ha<br>présentant une pente de |                |                 |                 |
|                                                         | moins<br>de 5 %                                        | de 5 à<br>10 % | de 10 à<br>30 % | plus de<br>30 % | moins<br>de 5 %                                          | de 5 à<br>10 % | de 10 à<br>30 % | plus de<br>30 % |
| Plates-formes et chaussées de<br>routes ; cours.....    | 0,95                                                   | »              | »               | »               | »                                                        | »              | »               | »               |
| Terrains dénudés, ou à<br>végétation non couvrante..... | 0,80                                                   | 0,85           | 0,90            | 0,95            | 0,70                                                     | 0,75           | 0,80            | 0,85            |
| Terrains déjà attaqués par<br>l'érosion .....           |                                                        |                |                 |                 |                                                          |                |                 |                 |
| Labours frais .....                                     |                                                        |                |                 |                 |                                                          |                |                 |                 |
| Cultures couvrantes, céréales<br>hautes .....           | 0,75                                                   | 0,80           | 0,85            | 0,90            | 0,52                                                     | 0,60           | 0,72            | 0,80            |
| Terrains de parcours,<br>chiendent ras .....            |                                                        |                |                 |                 |                                                          |                |                 |                 |
| Petite brousse clairsemée .....                         |                                                        |                |                 |                 |                                                          |                |                 |                 |
| Prairies .....                                          | 0,70                                                   | 0,75           | 0,80            | 0,85            | 0,30                                                     | 0,36           | 0,42            | 0,50            |
| Brousse dense. Savane<br>à sous-bois .....              |                                                        |                |                 |                 |                                                          |                |                 |                 |
| Forêt ordinaire en futaie.<br>Sous-bois touffus .....   |                                                        |                |                 |                 |                                                          |                |                 |                 |
| Grande forêt primaire .....                             | 0,20                                                   | 0,25           | 0,30            | 0,40            | 0,15                                                     | 0,18           | 0,22            | 0,25            |

**ANNEXE 3****LE RESULTAT DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES EFFECTUEES SUR LA SOURCE D'ANKADIBE**

JIRO SY RANO MALAGASY

B.P. 200 - ANTANANARIVO

PROFORMA : 015

DIRECTION DE L'EXPLOITATION EAU

DEPARTEMENT QUALITE EAU

Tél. (261 20) 22 221 92

**BULLETIN D'ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE N° 160 /09****PRELEVEMENT**

Région : AMBOHIBARY ANTIRABE

Centre : ANKADIBE

Nature : Eau brute

Type d'échantillon : Source

Date de prélèvement : 6-mars-09

Date de réception : 9-mars-09

Préleveur : PROGRAMME MEDDEA

Date d'analyse : 10-mars-09

Usage : AEP

| Paramètres                   | Examen au Laboratoire | V M A<br>N . M . |
|------------------------------|-----------------------|------------------|
| Aspect                       | limpide               | limpide          |
| Odeur                        | absence               | absence          |
| Couleur                      |                       | incolore         |
| Température, en °C           | 25,1                  | 25               |
| Turbidité, en NTU            | 1,91                  | 5                |
| pH                           | 6,6                   | 6,5 - 9,0        |
| Conductivité à 20%, en µs/cm | 23,7                  | 3000             |
| Minéralisation, en mg/l      | 22                    |                  |
| MeS en mg/l                  | 8                     |                  |

| Paramètres                          | Valeur | V M A<br>N . M . |
|-------------------------------------|--------|------------------|
| Dureté TH en °F                     | 0,80   | 50               |
| TH Ca, en °F                        | 0,50   |                  |
| Alcalinité TA, en °F                | 0,00   |                  |
| TAC, en °F                          | 0,72   |                  |
| Chlore résiduel en mg/l             |        |                  |
| M.O, mg O <sub>2</sub> /l (alcalin) | 0,72   | 2                |
| (Acide)                             |        | 5                |

| Cations                                        | mg/l | V M A<br>N . M . |
|------------------------------------------------|------|------------------|
| Calcium Ca <sup>++</sup>                       | 2,00 |                  |
| Magnésium Mg <sup>++</sup>                     | 0,73 |                  |
| Sodium Na <sup>+</sup>                         | 1,90 |                  |
| Potassium K <sup>+</sup>                       |      | 12               |
| Ammonium NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>          | 0,02 | 0,5              |
| Fer Fe <sup>++</sup>                           |      | 0,5              |
| Fer total Fe <sup>++</sup> , Fe <sup>+++</sup> | 0,04 | 0,5              |
| Manganèse Mn <sup>++</sup>                     |      | 0,05             |
| Aluminium Al <sup>+++</sup>                    |      | 0,2              |

| Anions                                     | mg/l | V M A<br>N . M . |
|--------------------------------------------|------|------------------|
| Carbonates CO <sub>3</sub> <sup>--</sup>   | 0,00 |                  |
| Bicarbonates HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 8,78 |                  |
| Chlorures Cl <sup>-</sup>                  | 1,42 | 250              |
| Sulfates SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>     | 0,57 | 250              |
| Nitrites NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>      | 0,00 | 0,1              |
| Nitrates NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>      | 0,00 | 50               |
| Phosphate PO <sub>4</sub> <sup>---</sup>   |      | 5                |
| Fluorures F <sup>-</sup>                   |      | 1,5              |
| Hydroxyde OH <sup>-</sup>                  | 0,00 |                  |

| Substances toxiques | mg/l | V M A |
|---------------------|------|-------|
| Arsénics totaux As  |      | 0,05  |
| Cyanures totaux Cn  |      | 0,005 |
| Chromes totaux Cr   |      | 0,05  |

VMA : Valeur maximale admissible pour eau potable (N.M.)

M.O. : matières organiques (Oxydabilité au KMnO<sub>4</sub>)

l. : légèrement

°F : degré Français

N.M. : Norme Malgache

**OBSERVATIONS :**

Eau conforme à la norme.

Antananarivo, le 12 mars 2009

Le Chef de Laboratoire, P.I.

RAMIANDRISOA Rabarimanandimbo



**ANNEXE 4****LE RESULTAT DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES EFFECTUEES SUR LA SOURCE D'ANTANETIBE II**

JIRO SY RANO MALAGASY  
B.P. 200 - ANTANANARIVO

PROFORMA : 015

DIRECTION DE L'EXPLOITATION EAU  
DEPARTEMENT QUALITE EAU  
Tél. (261 20) 22 221 92

**BULLETIN D'ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE N° 161 /09****PRELEVEMENT**

Région : AMBOHIBARY ANTISRABE  
Centre : ANTANETIBE II  
Nature : Eau brute  
Type d'échantillon : Source

Date de prélèvement : 6-mars-09  
Date de réception : 9-mars-09  
Préleveur : PROGRAMME MEDDEA  
Date d'analyse : 10-mars-09  
Usage : AFP

**ANALYSES**

| Paramètres                   | Examen au Laboratoire | V M A<br>N . M . |
|------------------------------|-----------------------|------------------|
| Aspect                       | trouble               | limpide          |
| Odeur                        | absence               | absence          |
| Couleur                      |                       | incolor          |
| Température, en °C           | 25,1                  | 25               |
| Turbidité, en NTU            | 5,84                  | 5                |
| pH                           | 5,8                   | 6,5 - 9,0        |
| Conductivité à 20%, en µs/cm | 60,5                  | 3000             |
| Minéralisation, en mg/l      | 56                    |                  |
| MeS en mg/l                  | 16,5                  |                  |

| Paramètres                          | Valeur | V M A<br>N . M . |
|-------------------------------------|--------|------------------|
| Dureté TH en °F                     | 2,70   | 50               |
| TH Ca, en °F                        | 1,50   |                  |
| Alcalinité TA, en °F                | 0,00   |                  |
| TAC, en °F                          | 0,60   |                  |
| Chlore résiduel en mg/l             |        |                  |
| M.O, mg O <sub>2</sub> /l (alcalin) | 0,60   | 2                |
| (Acide)                             |        | 5                |

| Cations                                        | mg/l | V M A<br>N . M . |
|------------------------------------------------|------|------------------|
| Calcium Ca <sup>++</sup>                       | 6,00 |                  |
| Magnésium Mg <sup>++</sup>                     | 2,92 |                  |
| Sodium Na <sup>+</sup>                         | 5,52 |                  |
| Potassium K <sup>+</sup>                       |      | 12               |
| Ammonium NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>          | 0,03 | 0,5              |
| Fer Fe <sup>++</sup>                           |      | 0,5              |
| Fer total Fe <sup>++</sup> , Fe <sup>+++</sup> | 0,04 | 0,5              |
| Manganèse Mn <sup>++</sup>                     |      | 0,05             |
| Aluminium Al <sup>+++</sup>                    |      | 0,2              |

| Anions                                     | mg/l | V M A<br>N . M . |
|--------------------------------------------|------|------------------|
| Carbonates CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>    | 0,00 |                  |
| Bicarbonates HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 7,32 |                  |
| Chlorures Cl <sup>-</sup>                  | 8,52 | 250              |
| Sulfates SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>      | 0,84 | 250              |
| Nitrites NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>      | 0,01 | 0,1              |
| Nitrates NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>      | 2,00 | 50               |
| Phosphate PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>     |      | 5                |
| Fluorures F <sup>-</sup>                   |      | 1,5              |
| Hydroxyde OH <sup>-</sup>                  | 0,00 |                  |

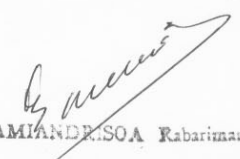
| Substances toxiques | mg/l | V M A |
|---------------------|------|-------|
| Arsenics totaux As  |      | 0,05  |
| Cyanures totaux Cn  |      | 0,005 |
| Chromes totax Cr    |      | 0,05  |

VMA : Valeur maximale admissible pour eau potable (N.M.)  
M.O. : matières organiques (Oxydabilité au KMnO<sub>4</sub>)  
l. : légèrement  
°F : degré Français  
N.M. : Norme Malgache

**OBSERVATIONS :**

Eau non conforme à la norme.  
(cf. : Aspect, Turbidité, pH)

Antananarivo, le 12 mars 2009  
Le Chef de Laboratoire, P.T.

  
RAMILANDRISOA Rabarimanantsoa

## Analyse de la gestion des ressources en eau

### ANNEXE 5

Volumes recueillis au niveau du réservoir principal à Mahatsinjo avant la distribution, à partir d'un compteur général

#### VOLUMES MENSUELS PRODUITS à AMBOHIBARY (SANDANDRANO)

| Année                                 | 2009    |         |      |       |     |      |         |      |           |         |          |          | 2010    |
|---------------------------------------|---------|---------|------|-------|-----|------|---------|------|-----------|---------|----------|----------|---------|
| Mois                                  | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Aout | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre | Janvier |
| Consommation totale (m <sup>3</sup> ) | 0       | 0       | 0    | 0     | 0   | ND   | ND      | ND   | ND        | ND      | ND       | 1750,17  | 1802,94 |

ND = Non déterminé

### ANNEXE 6

Volumes totaux mensuels d'eau consommés obtenus à partir des compteurs des abonnés ainsi que le monobloc

#### VOLUMES MENSUELS DISTRIBUES à AMBOHIBARY(SANDANDRANO)

| Année                                 | 2009    |         |      |       |     |       |         |         |           |         |          |          | 2010    |
|---------------------------------------|---------|---------|------|-------|-----|-------|---------|---------|-----------|---------|----------|----------|---------|
| Mois                                  | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin  | Juillet | Aout    | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre | Janvier |
| Consommation totale (m <sup>3</sup> ) | 0       | 0       | 0    | 0     | 0   | 50,81 | 845,93  | 1033,38 | 1222,61   | 1387,44 | 1338,898 | 1296,63  | 1578,5  |

## Analyse de la gestion des ressources en eau

### ANNEXE 7

Volumes mensuels d'eau recueillis après paiement des factures des abonnés

#### VOLUMES MENSUELS VENDUS à AMBOHIBARY(SANDANDRANO)

| Année                                          | 2009    |         |      |       |     |      |         |        |           |         |          |          | 2010    |
|------------------------------------------------|---------|---------|------|-------|-----|------|---------|--------|-----------|---------|----------|----------|---------|
| Mois                                           | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Aout   | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre | Janvier |
| Consommation mensuels vendus (m <sup>3</sup> ) | 0       | 0       | 0    | 0     | 0   | 0    | 0       | 942,67 | 1182,71   | 1343,41 | 1194,13  | 1117,33  | 0       |

### ANNEXE 8

#### RENDEMENT DU RESEAU à AMBOHIBARY(SANDANDRANO)

| Année                                        | 2009    |         |      |       |     |       |         |         |           |         |          |          | 2010    |
|----------------------------------------------|---------|---------|------|-------|-----|-------|---------|---------|-----------|---------|----------|----------|---------|
| Mois                                         | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin  | Juillet | Aout    | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre | Janvier |
| Volume mensuels distribués (m <sup>3</sup> ) | 0       | 0       | 0    | 0     | 0   | 50,81 | 845,93  | 1033,38 | 1222,61   | 1387,44 | 1338,898 | 1296,63  | 1578,50 |
| Volume mensuels produits (m <sup>3</sup> )   | 0       | 0       | 0    | 0     | 0   | ND    | ND      | ND      | ND        | ND      | ND       | 1750,17  | 1802,94 |
| Rendement du Réseau (%)                      | 0       | 0       | 0    | 0     | 0   | ND    | ND      | ND      | ND        | ND      | ND       | 74,09    | 87,55   |

$$\text{Rendement du Réseau} = \frac{\text{Volume mensuels distribués}}{\text{Volume mensuels produits}}$$



**ANNEXE 9 :**

**FICHE TECHNIQUE SUR LE RAVINTSARA**

**Nom scientifique :** cinnamomum camphora

**Appellation malagasy :** Ravensara , Havoza

Le Ravintsara est un arbre à croissance rapide peut atteindre de 20 à 40m. Ayant un feuillage persistant, coriace, dense, tronc épais. Cette plante tolère bien le sol acide ayant un pH compris entre 4,3 et 8. Aimant la pleine lumière pour bien se développer il faut le planter sur un terrain dégagé et bien ensoleillé et éviter de planter le Ravintsara sur : un terrain sableux, ou terrain rocailleux, ou terrain argileux.

**Préparation terrain**

Réaliser la trouaison à partir du mois de juillet jusqu'au mois d'octobre au plus tard.

Préparer des trous de dimensions de 50cm x 50cm x 50cm, avec une densité de la plantation: 5m x 5m

1 mois avant la plantation, mélanger les terres avec de la fumure : 1 volume de fumure pour 3 volumes de terre

**Entretien de la plantation :**

Les jeunes plantes de Ravintsara ont encore besoin de soins même au niveau de la plantation.

Arrosage

Remplacer les plantes mortes

Si, quelques années après la plantation, la végétation concurrente est trop forte et limite la croissance des arbres, on procède alors au désherbage ou au dégagement mécanique.

Enlever les mauvaises herbes régulièrement.

Apporter de l'engrais : fumier ou de compost après 6 mois, après un an et une fois par an pour les autres années

Réaliser aussi des pare feux

**Maturité de l'arbre :**

Début en 4ème année de la plantation

**Choix du site**

Près d'une source d'eau, d'énergie et de plantes

### **UTILISATION :**

#### **Propriétés de l'huile essentielle de " Ravintsara " :**

Stimulant cardiaque et respiratoire très actif,

Anti infectieux, anti-bactérien, anti-viral, neurotonique,

Calmant et antalgique des douleurs rhumatismales, tonique

Décontractant musculaire.

#### **Modes d'emploi :**

L'huile essentielle de Ravintsara doit être utilisée avec précaution car elle est toxique à dose élevée.

Elle peut être administrée :

- par voie orale,
- par inhalation
- Comme produit de massage

#### **Technique de collecte :**

Le Ravintsara peut être exploité à partir de sa 4<sup>e</sup> année en moyenne. L'arbre devrait avoir une hauteur de 3m au minimum et disposer d'une biomasse foliaire importante.

Eviter de dénuder complètement l'arbre de ses feuilles et n'enlever au maximum que le 2/3 de l'ensemble.

Suivre la technique de taille ou d'élagage :

Utiliser un coupe-coupe bien aiguisé.

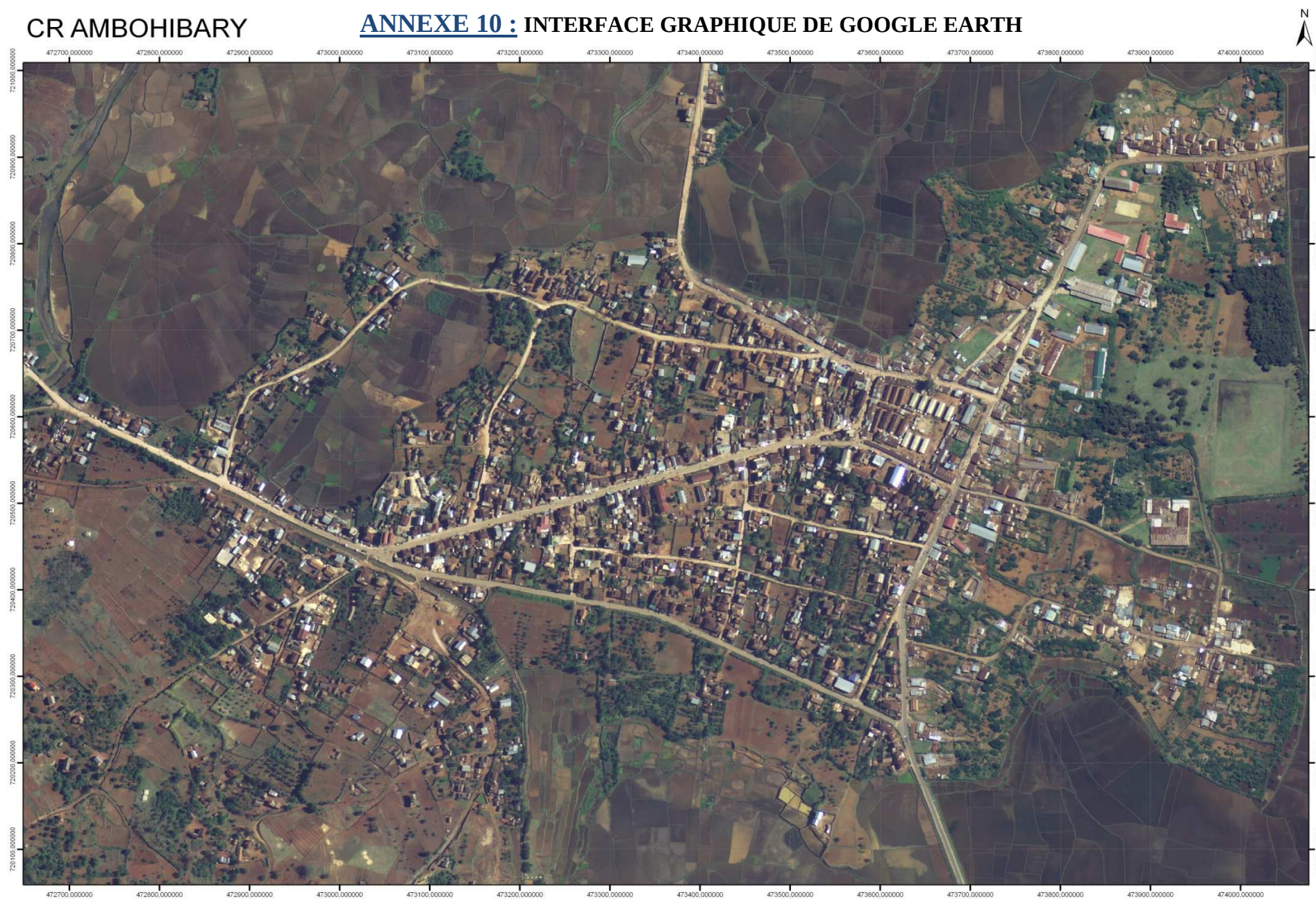
Couper à partir des branches portant les feuilles âgées

Ne pas toucher les branches portant les jeunes feuilles c'est-à-dire en commençant la taille à partir des branches inférieures.

Réaliser la taille de manière la plus symétrique possible

CR AMBOHIBARY

**ANNEXE 10 : INTERFACE GRAPHIQUE DE GOOGLE EARTH**





**ANNEXE 11 :**  
**ARTICLES DU CODE DE L'EAU**

**Article 66 :** « Tout pollueur doit supporter les coûts de ses activités polluantes. »

**Article 67 :** « Sans préjudice de l'application du Code de la Santé Publique relatif aux mesures destinées à prévenir la pollution des eaux potables et à la surveillance des eaux de consommation toute infraction aux articles 12, 15, 17, 21 et 24 du présent Code est punie d'un emprisonnement de un an à 3 ans et d'une amende de 2.500.000 FMG à 250.000.000 FMG ou de l'une de ces deux peines seulement.

Toute infraction aux articles 10, 11, 32 et 33 du présent Code et des textes pris pour son application, notamment l'exécution de travaux sans autorisation ou contraire aux prescriptions de l'autorisation, est punie d'un mois à six mois d'emprisonnement et d'une amende de 250.000 FMG à 2.500.000 FMG, ou de l'une de ces deux peines seulement.

Quiconque exploite une installation d'eau ou d'hydroélectricité sans l'autorisation requise sera puni d'une peine d'emprisonnement de deux mois à un an et d'une amende de 2.500.000 FMG à 25.000.000 FMG ou de l'une de ces deux peines seulement, sans préjudice des éventuelles sanctions administratives relatives à la fermeture de l'installation. »

Nom : **RATIARISON**  
Prénoms : **Vony Asaramanitra**  
Adresse : **Lot MD 1304 Mandrosoa Ivato ANTANANARIVO 105**  
Téléphone : **033 02 995 02**

**TITRE :**

**ANALYSE DE LA GESTION DES RESSOURCES EN EAU : ETUDE DE CAS DU  
RESEAU D'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE DE  
L'AGGLOMERATION D'AMBOHIBARY SAMBAINA**

Nombre de pages : **108**  
Nombre de tableaux : **16**  
Nombre d'illustrations (figures et cartes) : **21**  
Nombre de pages annexes : **11**

**RESUME :**

Le manque d'eau apparaît comme l'un des problèmes les plus cruciaux de nos jours. Elle est en voie de devenir une denrée rare et s'impose de plus en plus comme un enjeu vital pour l'avenir, notamment du point de vue de l'accès à l'eau potable, dû aux changements climatiques et aux activités de l'homme. La plupart des effets du changement climatique vont se faire sentir à travers l'eau : précipitations, inondations, sécheresses et pénuries. Le changement climatique impose donc de repenser toute la gouvernance de l'eau et les modes de développement en vigueur, ceux-ci étant très souvent largement dépendants de celle-là.

Tout le monde se rue vers ces ressources sans se soucier de la bonne maîtrise et du maintien de l'état initial de l'aspect environnemental. Un tel acte inconscient peut provoquer le tarissement des sources et la dégradation de la qualité de l'eau.

Avant que le problème ne se présente, il est important de mettre en œuvre des programmes efficaces d'utilisation de l'eau. A partir du projet d'approvisionnement en eau potable d'Ambohibary Sambaina, on s'est penché sur ces problèmes à l'heure actuelle en adoptant plusieurs projets d'intervention et de prévention tels les mesures d'intervention sur le périmètre de protection de la source d'alimentation en eau, la gestion de la distribution en eau pour éviter toute sorte de gaspillage et pour inciter les bénéficiaires à participer à la protection des ressources en eau. Ainsi ce mémoire relate les mesures d'adaptation et d'atténuation qui interviennent simultanément dans le secteur forestier; leur efficacité dépendra de la configuration réelle du changement climatique dans les prochaines décennies. Les interactions entre ces facteurs (changement climatique, adaptation et atténuation) impliqueront fréquemment les ressources en eau.

L'approvisionnement adéquat en eau potable et l'existence d'un environnement stable assurent la santé humaine, qui englobe le bien-être physique, social et psychologique. Une bonne gestion de l'eau est plus que jamais une des conditions du développement humain durable. La trilogie vitale : « terre-forêt-eau » devrait donc constituer un foyer principal des travaux de recherches si l'on voulait préserver l'équilibre pérenne de notre système écologique.

**Mots clés :** Changement climatique, Ressources en eau, Ambohibary Sambaina, Adaptation, Atténuation, Gestion de l'eau, Couverture Végétale.

**Directeur de mémoire :** Monsieur RAZAFINJATO Gerald

**Promotion : 2010**

