

# Analyse des composantes du cycle hydrologique pour une nouvelle gestion stratégique des ressources en eau du Bassin versant de Sahasomangana, district d'Ambositra

D. Rakotoarisoa<sup>1,2,\*</sup>, D. Razanajatovo<sup>1</sup>, J.M. Rasolomanana<sup>2</sup>, J. Ralaimaro<sup>2</sup>, N. Andrimanaosoa<sup>2,3</sup>, A.J. Mandimbiharison<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Institut Supérieur de Technologie, Ambositra, Région Amoron'i Mania, B.P. 306

<sup>2</sup>ED Ingénierie et Géosciences, ESPA, Université d'Antananarivo, B.P. 1500

<sup>3</sup>Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo, B.P. 3843

<sup>4</sup>Mention Génie Géologie, ESPA, Université d'Antananarivo, B.P. 1500

\*Auteur correspondant: D. Rakotoarisoa; Tel. +261340184363, E-mail: rakotoarisoa\_daniel@yahoo.fr

**Résumé-** A l'échelle du bassin versant, la mise en place de la gestion stratégique et technique des ressources en eau diminue progressivement, voire supprime les conflits liés au partage de cet or bleu. Etant donné que dans la Haute Terre Centrale de Madagascar, les ressources en eau sont tributaires des conditions pluviométriques annuelle et saisonnière. Ainsi, cet article a pour principal objectif d'analyser saisonnièrement les valeurs des paramètres du cycle hydrologique afin de confronter la variation de la disponibilité de ces ressources et les besoins par divers secteurs usagers. Pour atteindre cet objectif, une démarche méthodologique, basée sur le modèle classique de Thornthwaite, a été utilisée. Aussi, l'application de différentes formules mathématiques dans cette unité hydrologique aboutissent à l'établissement d'un équilibre de la balance besoins-ressources disponibles.

**Mot clés** - Gestion stratégique, bassin versant, ressource en eau, cycle hydrologique, pluviométrie

**Abstract-** At the watershed level, the implementation of strategic and technical management of water resources is gradually decreasing, or even eliminating the conflicts related to the sharing of this blue gold. Given that in the Central High Land of Madagascar, water resources are dependent on annual and seasonal rainfall conditions. Thus, the main objective of this article is to analyze seasonally the values of the parameters of the hydrological cycle in order to compare the variation in the availability of these resources and the needs by various user sectors. To achieve this objective, a methodological approach, based on the classic Thornthwaite model, was used. Also, the application of different mathematical formulas in this hydrological unit results in the establishment of a balance of the available needs-resources balance.

**Keywords** - Strategic management, watershed, water resources, hydrological cycle, rainfall

## **1. Introduction**

Par la croissance de la demande domestique et surtout agricole, la ressource en eau est devenue des réserves naturelles rares (Gangbazo, et al.2004). Ceci entraine des problèmes liés à cette ressource dont sa gestion exige en effet une nouvelle approche stratégique basée sur des fondements scientifiques. Dans cette optique, l'amélioration de la connaissance locale de la pluie fondée sur une approche scientifique fine du cycle hydrologique constitue des enjeux scientifiques majeurs (Chocat, 1997) en considérant les différents acteurs utilisateurs.

Dans divers bassins versants dans la Région Amoron'i Mania, la faible implication des acteurs et usagers de cet or bleu dans sa gestion entraine la présence d'une gérance non adaptée aux apports disponibles (Rakotoarisoa, 2018). Ce phénomène est dû à l'ignorance de la connaissance de la situation des ressources en eau. Pour le bassin versant de Sahasomangana, depuis la dernière décennie, la population d'Ambositra souffre de problèmes relatifs au tarissement face aux besoins en eau. Dans cette optique, il est donc urgent de mettre l'accent sur l'analyse des composantes de cycle de l'eau. Elle constitue l'un des points clés pour la mise en place de stratégie de sa gestion. Il ne s'agit pas ici de résoudre un problème particulier mais de saisir l'opportunité offerte par la connaissance de la relation entre les paramètres du bilan hydrologique et la disponibilité des apports. Il consiste à apporter une amélioration pour une utilisation efficace des ressources en eau et d'instaurer un équilibre des besoins à usage agricole et hydroélectrique, sans négliger les besoins humains fondamentaux.

### **Localisation de la zone d'étude**

Du point de vue administratif, la zone d'étude est située dans le District d'Ambositra. Elle est constituée en amont par une partie Nord de la commune rurale d'Ankazoambo et celle d'Ivato Centre et la partie aval par une partie de la Commune rurale de Tsarasaotra. La zone centrale de cette unité hydrologique est occupée par la commune Urbaine d'Ambositra I et la commune rurale d'Ambositra II (Figure 1). Elle couvre une superficie de 99,33km<sup>2</sup> avec un périmètre de l'ordre de 48,785 km. Son altitude varie entre de 1250 m à 1850 m. Le plus long talweg est de 21,39 km. Compte tenu de la nouvelle délimitation des Agences de Bassin par réseau hydrographique à Madagascar (*Rasolofoniaina, 2012*), le Bassin versant de Sahasomangana appartient à l'Agence du Bassin du Centre Ouest.

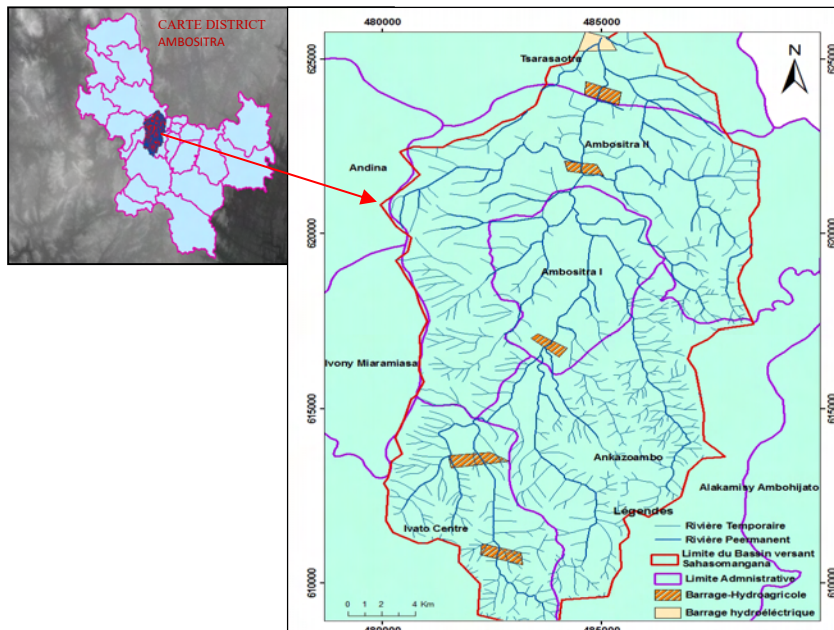


Figure1- Carte de localisation de la zone d'étude

## 2. Matériel et Méthode

Cette étude a été réalisée sur la base des données issues des recherches bibliographiques, des observations sur terrain et des entretiens semi-structurés réalisés auprès des acteurs institutionnels et des établissements publics dans le bassin d'étude.

### 2.1. Evaluation des composantes de cycle hydrologique

Dans un bassin versant, le bilan hydrologique peut-être exprimé par la formule de Thornthwaite suivante:

$$P = ET + I + R + \Delta S$$

Avec  $P$ : hauteur de précipitation;  $ET$ : hauteur ou quantité d'évapotranspiration, ( $ETR/ETP$ )  $I$ : hauteur ou quantité d'eau d'infiltration;  $R$ : hauteur ou quantité d'eau de ruissellement;  $\Delta S$ : variation de stock

L'ETP est évaluée par la formule basée essentiellement sur les températures

$$ETP = 16 \left( \frac{10t}{I} \right)^\alpha$$

La pluie efficace ( $P_{eff}$ ) et l'évapotranspiration réelle ( $ETR$ ) ont été calculées par bilan hydrologique au moyen du modèle de Thornthwaite (figure 2). Le principe de ce modèle repose sur la comparaison de l'ETP et l'ETR. Ainsi, à chaque pas de temps de calcul (mensuel dans le cas présent), il est nécessaire de vérifier si l'ETP peut être satisfaite ou non, en « puisant » sur les Précipitations ( $P$ ) ou, si celle-ci est insuffisante, sur la Réserve Utile ( $RU$ ) du sol. Si  $P > ETP$ , alors  $ETR = ETP$ . Sinon ( $P < ETP$ ), l'ETR dépend de la quantité d'eau disponible au sein de la  $RU$ ; si elle est suffisante.

$ETR = ETP$  sinon  $ETR < ETP = RU + P$ . À chaque pas de temps  $n$ , la pluie efficace est alors au maximum égale à  $P-ETR$ .

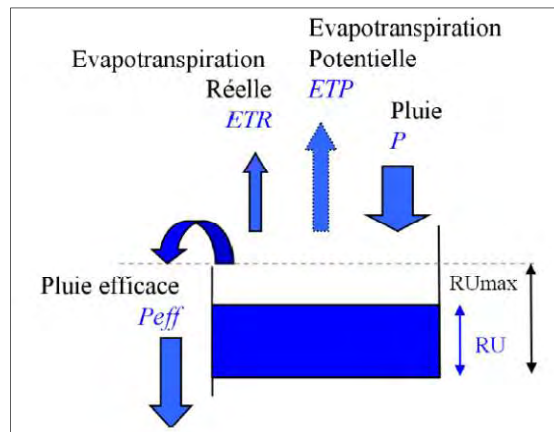


Figure-2 modèle de Thornthwaite

L'algorithme qui en découle pour calculer l'ETR et la pluie efficace à chaque pas de temps est le suivant:

$$ETR^n = \min(ETP^n; P^n + RU^n)$$

$$P_{eff}^n = P^n - ETR^n + RU^n - RU_{max}$$

$$Si P_{eff}^n \leq 0 \text{ alors } P_{eff}^n = 0$$

$$RU^{n+1} = \min(RU_{max}; P^n + RU^n - ETR^n)$$

## 2.2. Estimation de besoin par secteurs

A part la population, l'activité agricole et les microcentrales hydroélectriques sont parmi les secteurs consommateurs d'eau dans le bassin versant de Sahasomangana.

### 2.2.1. Besoin en eau d'irrigation

Le logiciel CROPWAT a été utilisé dans le cadre de cette étude. C'est un programme informatique mis au point au sein de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) afin d'évaluer les besoins en eau propres à l'irrigation sur la base des données climatiques. Dans ce modèle, les besoins en eau de la culture sont obtenus à partir de la connaissance de pluie efficace ainsi que l'évapotranspiration de référence en tenant compte de la répartition de la date de repiquage.

Dans le bassin versant de Sahasomangana, la date de repiquage commence à la première décade du mois d'octobre et se termine à la dernière décade du mois de décembre. C'est la seule saison où la population locale pratique la riziculture.

Le besoin en eau de la centrale hydroélectrique est estimé en fonction de la capacité de la turbine installée.

### 2.2.2. Besoins en eau potable

L'estimation des besoins en eau potable est basée sur le nombre d'habitants (hab.), en fonction des besoins ou débit unitaire (q). Pour Madagascar, d'après le Code de l'eau (1999), q est de l'ordre de 30 l/j/hab.

Les besoins en eau des infrastructures éducatives et sanitaires sont estimés respectivement en fonction du nombre des élèves ainsi que du nombre de patients par jours (Rakotondrabe, 2007). Selon l'enquête auprès de la direction régionale de la santé publique Amoron'i Mania, son service enregistre 25 patients par jours dans le bassin d'étude. La ville d'Ambositra est une ville touristique, le calcul de besoins en eau de ce secteur est basé sur la capacité d'accueil d'une chambre qui est estimée à 2 personnes. Selon l'enquête effectuée auprès des responsables des infrastructures d'accueil, la consommation individuelle étant 150l par jour.

### 2.3. Estimation des apports disponibles

Arrivé à la surface du sol, une partie de la précipitation s'écoule à la surface du sol et l'autre va s'infiltrer dans l'aquifère.

#### 2.3.1. Eau de surface

Deux méthodes ont été utilisées pour estimer l'apport en eau de surface disponible : la méthode de Centre Technique de Génie Rural et des Eaux et Forêts et celle des Stations de Référence.

La méthode de CTGREF est basée sur l'utilisation de pluie fréquentielle dans la zone d'étude en utilisant la valeur de B à la station de Fasimena.

$$Q_F = \frac{S}{31,5} \times \left[ \frac{PF}{B} \right]^{\frac{5}{3}} \times \left( \frac{Z_{moy}}{100} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Avec: Q<sub>F</sub>: Apport annuel moyen ou fréquentiel de fréquence F (l/s); PF: Pluie moyenne annuelle ou fréquentielle de fréquence F (mm); S: superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>); Z<sub>moy</sub>: altitude moyenne du bassin versant (m); B: paramètre régionalisé (45 pour Fasimena).

A l'aide de l'équation ci-dessous, la valeur Q<sub>F</sub> de la relation précédente a été utilisée pour évaluer l'apport moyen mensuel.

$$Q_m = \frac{12 \times Q_F \times R1}{100}$$

Avec: Q<sub>m</sub>: Apport mensuel de fréquence F pour le mois (l/s); Q<sub>F</sub>: Apport annuel moyen ou fréquentiel de fréquence F (l/s); R1: coefficient de répartition d'ALDEGHERI,

La méthode des Stations de référence est basée sur l'exploitation de valeurs de débit spécifique de différentes fréquences enregistrées à la station hydrométrique de la Mania à Fasimena (Chaperon P. et al. 1993) qui est la plus proche de la zone d'étude.

$$Q_F = q_F \times S$$

Avec: Q<sub>F</sub>: apport annuel de fréquence F (l/s); q<sub>F</sub>: débit spécifique de fréquence F de la mania à Fasimena (l/s/km<sup>2</sup>); S: superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>).

#### 2.3.2. Eau souterraine

Les réserves en eau souterraine disponibles correspondent au volume d'eau dans la nappe réellement exploitable. Elle dépend de la quantité d'eau infiltrée. Le débit de renouvellement

de la nappe a été déterminé en fonction de la proportion de la pluie qui s'est infiltrée selon la formule de Plotnikov (1962) suivante:

$$Q = 1000 \times I \times S$$

Avec: Q: quantité d'eau infiltrée dans la nappe (m<sup>3</sup>/an); I: précipitation infiltrée pour un an (mm); S : surface du bassin versant (m<sup>2</sup>).

La valeur totale d'une réserve en eau souterraine dépend à la fois des caractéristiques du sol considéré, de son épaisseur et de son volume (*Marsily, 1981; Castany, 1998; Cosandey et al., 2000*). Les volumes d'eau totale qui peuvent être emmagasinés dans le réservoir aquifère sont évalués à partir de l'expression ci-après :

$$V_{em} = A * e * P_{tot}$$

Avec  $V_{em}$ : volume emmagasinés (m<sup>3</sup>); e: épaisseur de la nappe (m); A: surface du bassin versant (m<sup>2</sup>);  $P_{tot}$ : porosité totale.

Le volume d'eau souterraine disponible et réellement exploitable est obtenu par la relation suivante :

$$V_e = A * e * P_e$$

Avec :  $V_e$ : volume de la nappe exploitable (m<sup>3</sup>); e: épaisseur de la nappe (m); A: surface de du bassin versant (m<sup>2</sup>);  $P_e$ : porosité efficace. Pour les nappes d'altération, la porosité efficace est 10% (*Rakotondrainibe, 2005*).

### 3. Résultats

#### 3.1. Valeurs de chaque composante du cycle de l'eau

Du point de vue climatique, le bassin d'étude enregistre une tendance à deux grandes saisons : la saison des pluies commence au mois de novembre et se termine au mois de mars tandis que la saison sèche débute en avril jusqu'au mois d'octobre. Les mois les plus chauds sont ceux de novembre jusqu'au mars et le mois de juillet étant le mois le plus froid. Le tableau 1 ci-dessous présente les valeurs de chaque composante de cycle hydrologique avec la variation de la température moyenne mensuelle dans la zone d'étude.

Tableau 1 - valeur de chaque composante de cycle hydrologique

Mois	P (mm)	T (°C)	ETP (mm)	RU (mm)	ETR (mm)	R (mm)	I (mm)	Pluie efficace (mm)
Janv.	363	22,5	113,69	100	113,69	108,9	140,41	249,31
Fév.	239	22,5	99,73	100	99,73	71,7	67,57	139,27
Mars	219	22,2	102,20	100	102,20	65,7	51,10	116,80
Avril	85,7	21,2	86,86	100	86,86	25,71	-26,87	0,00
Mai	58,9	19,6	74,59	85,48	73,42	17,67	-32,19	0,00
Juin	24,5	17,5	57,59	61,40	48,58	7,35	-31,43	0,00

Juillet	36,6	16,5	54,05	51,57	46,43	10,98	-20,81	0,00
Aout	21,8	17,9	65,27	33,39	39,98	6,54	-24,72	0,00
Sept.	14,9	19,5	76,98	17,95	30,34	4,47	-19,91	0,00
Oct.	81,2	21,5	99,20	14,99	84,16	24,36	-27,32	0,00
Nov.	157	22,4	107,83	64,16	107,83	47,1	2,07	49,17
Déc.	247,4	22,8	117,47	100,00	117,47	74,22	55,71	129,93
Total	1549	246,1	1055,48	828,92	825,71	464,7	133,59	598,29

Ce tableau illustre bien que la baisse des RU due à l'ETR à pas de temps mensuel provoque des recharges déficitaires de la nappe à la période d'étiage au cours de laquelle les valeurs de l'infiltration sont toutes négatives (partie de RU épuisée= infiltration négative). La recharge de la nappe souterraine commence à partir du mois de novembre jusqu'au mois de mars. Ce phénomène engendre une augmentation du niveau piézométrique de la nappe souterraine, ce qui entraîne des éventuelles émergences de sources dans divers talwegs dans plusieurs localités de la zone d'étude. La lame d'eau qui va s'écouler varie suivant la saison et en même rythme avec l'intensité de l'averse tombée, mais sa valeur dépend principalement de la densité de la couverture végétale.

### 3.2. Apport disponible

Dans la zone d'étude, le volume d'eau de surface disponible annuellement est de l'ordre de 2863,8 (l/s) pour la méthode de CTGREF alors qu'il présente une valeur de 2145,5 (l/s) pour la station de référence. A partir de ces deux valeurs, après l'utilisation de coefficient de répartition d'ALDEGHERI, classe des Hautes Terres Centrales de Madagascar, les valeurs des apports mensuels en eau de surfaces dans le bassin versant de Sahasomangana sont consignées dans le tableau 2 ci après. Sur ce tableau, le maximum des apports en eau de surface se trouve au mois de janvier tandis que le mois d'octobre enregistre la plus basse valeur de ressource disponible.

Tableau 2- valeurs des apports moyens mensuels

Mois	Méthode de CTGREF	Méthode de Station de référence	Moyenne pour les deux méthodes (l/s)
	Apport (l/s)	Apport (l/s)	
Janvier	5 807,8	4 351,1	10 158,90
Février	5 739,1	4 299,6	10 038,70
Mars	876,6	4 402,6	5 279,20
April	3 333,5	2 497,4	5 830,90
Mais	1 958,9	1 467,5	3 426,40
Juin	1 409,0	1 055,6	2 464,60
Juillet	1 271,5	952,6	2 224,10

Aout	1 168,4	875,4	2 043,80
Septembre	893,5	669,4	1 562,90
Octobre	824,8	617,9	1 442,70
Novembre	1 649,6	1 235,8	2 885,40
Décembre	4 433,2	3 321,3	7 754,50

Dans le cycle hydrologique, une partie de précipitation va s'infiltrer dans le sous sol pour former la nappe souterraine. La mise en relief de la formule de Plotnikov permet d'estimer le volume d'eau souterraine exploitable dans le bassin versant étudié. Le tableau 3 montre parfaitement que seulement 17% de la quantité d'eau de précipitation qui s'infiltré dans le sous sol est exploitable.

Tableau 3- apports en eau souterraine

Taux de renouvellement (km <sup>3</sup> /an)	Volume emmagasiné (m <sup>3</sup> )	Volume exploitable (m <sup>3</sup> )
13 269 565,22	7 946 400	1 986 600

### 3.3. Besoin en eau de la population

Par l'inexistence des infrastructures pour l'approvisionnement en eau potable dans certains quartiers du Bassin (Andriamanalina, Antanetibe Nord ...), la population puise de l'eau dans certains affleurements de source. Lors de la descente sur terrain, durant la période sèche, on observe un tarissement des sources. Ce phénomène oblige la population concernée à se déplacer dans des endroits très éloignés pour rechercher de l'eau. Par contre, pour la zone urbaine et suburbaine, l'alimentation est assurée par le JIRAMA. Quelques villages disposent des installations de puits traditionnels. Le tableau 4 ci-après montre le volume d'eau exigé par la population dans la zone d'étude pour satisfaire leur besoin.

Tableau 4- besoin en eau de la population

Nombre de population	Besoin unitaire (l/j)	Besoin total (l/j)
75 000,00	30	2 250 000,

Quant aux secteurs éducatif et sanitaire, ils sont parmi les grands consommateurs d'eau potable dans la zone d'étude dont leur besoin respectif est présenté dans le tableau 5 ci-dessous.

Tableau 5- besoin en eau du secteur éducatif et sanitaire

Secteur éducatif			Secteur sanitaire			Besoin total (l/j)
Nombres des élèves	Besoin unitaire (l/j)	Besoin total (l/j)	Nombre de patient par jours	Besoin unitaire (l/j)	Besoin total (l/j)	212 250,00
70 500	3	211500	25	30	750	



Ambositra est connue par l'existence de l'Art Malagasy qui attire beaucoup de touristes. En effet, le besoin en eau de ce secteur doit être pris en considération. Le volume d'eau consommé dans différentes infrastructures d'accueil dans le bassin de Sahasomangana est présenté dans le tableau 6 ci-après.

Tableau 6 besoin en du secteur touristique

Nombre de chambre	Nombre de lit	Besoin unitaire (l/par lit/j)	Besoin total moyenne (l/j)
150	300	150	45 000,00

Statistiquement, par rapport à la quantité totale demandée, le besoin en eau potable dans les secteurs éducatif et sanitaire est de l'ordre de 8,46% alors que la population en consomme 89,74%. Celui du secteur touristique ne présente que 1,79%.

### 3.4. Besoin en eau pour l'énergie

Une microcentrale hydroélectrique avec une puissance de l'ordre de 42 KW se situe à l'exutoire (Antetazambato) de ce bassin d'étude. Selon l'enquête menée auprès de son responsable technique, son fonctionnement a besoin de débit continu de 544 l/s.

### 3.5. Besoin en eau du secteur agricole

A l'échelle mensuelle, dans le bassin d'étude, l'activité agricole n'exige pas d'irrigation à partir du mois d'avril jusqu'au mois d'août où la Réserve en eau Utilisable (RU) dans la couche pédologique est encore suffisante pour le besoin de la plante. Le tableau 7 ci après montre la variation saisonnière de besoin en eau du secteur agricole.

Tableau 7- valeur de besoin en eau d'irrigation par mois

Mois	Janv.	Fév.	Mar.	Avril	Mais	Juin	Juillet	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
Besoins (m <sup>3</sup> /ha)	196	44	245	-	-	-	-	-	4 642	6 396	5 314	1 723

Selon l'enquête auprès de la direction régionale de l'agriculture, dans le bassin versant de Sahasomangana, la surface de la rizière est de l'ordre de 350 ha.

### 3.6. Confrontation des ressources disponibles aux besoins par secteurs et adéquation

Puisque le barrage hydroélectrique se situe à l'exutoire de la zone d'étude, deux types de confrontations de l'amont en aval ont été effectués en tenant compte seulement de l'exploitation des ressources en eau de surface dans le bassin versant de Sahasomangana (situation actuelle):

**1<sup>ère</sup> cas** - Confrontation de la disponibilité des eaux de surface aux besoins en eau potable et irrigation: la figure 3 ci-dessous indique que les besoins en eau de ces deux secteurs usagers sont satisfaits à 100% à partir du mois de décembre jusqu'au mois de juillet. Par contre, de septembre jusqu' à novembre, l'eau de surface ne recouvre pas le besoin exigé.

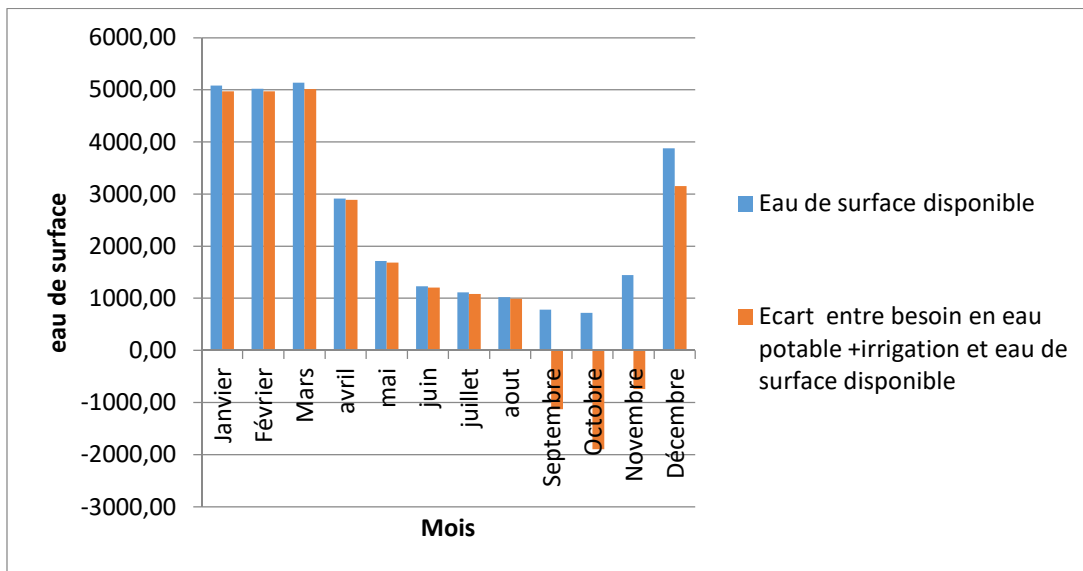


Figure 3-Confrontation des besoins en eau mensuels (eau potable et irrigation) aux disponibilités des eaux de surface

**2<sup>ème</sup> cas:** lorsque le besoin de l'hydroélectricité à l'exutoire d'Antetezambato est pris en compte, il est évident que l'écart de recouvrement de besoin en eau augmente de septembre jusqu'au mois de novembre avec une forte demande durant le mois d'octobre (-18 998 l/s) (figure 4)

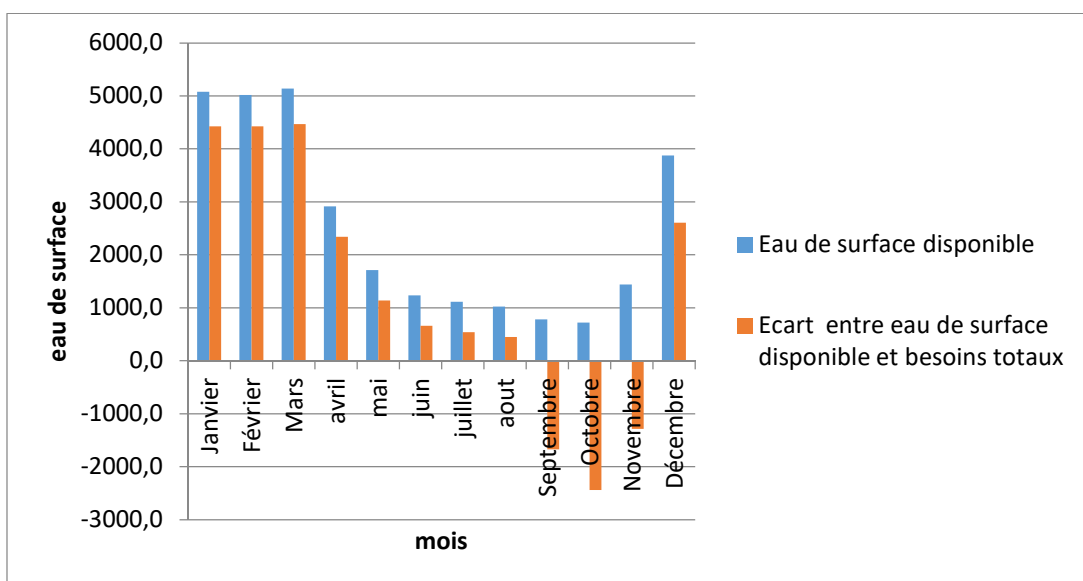


Figure 4- Confrontation des besoins totaux aux disponibilités des eaux de surface

Globalement, dans l'unité hydrologique de Sahasomangana, les besoins en eau de divers secteurs usagers sont largement supérieurs à la disponibilité en eau de surface durant le mois de septembre au novembre, par conséquent, les volumes d'eau de surface drainés par le cours d'eau ne suffisent pas pour satisfaire la demande.

Au regard de toutes ces analyses; trois mesures adéquates peuvent être envisagées:

1- Positionner un barrage multifonction (AEP, irrigation), avec au moins une capacité de stockage de l'ordre de  $172\,800\text{ m}^3/\text{j}$ , destiné prioritairement à l'alimentation en eau potable (code de l'eau de Madagascar, 1999) en amont du bassin versant (Ankazoambo-Figure 5) pour renforcer l'alimentation déjà opérationnelle. C'est un choix stratégique pour la satisfaction exclusive des besoins à partir des eaux de surface.

2- Augmenter la capacité de stockage du barrage hydroélectrique sis à Antetetzambato (figure 5) pour prévoir son fonctionnement permanent à partir du mois de septembre jusqu'au mois de novembre. Parallèlement, solliciter l'exploitation des ressources en eau souterraine dans les communes Ambositra I et Ambositra II pour satisfaire les besoins en eau potable.

3- La satisfaction des besoins totaux de la population dans le bassin d'étude peut être faite à partir de l'exploitation des eaux de surface des Bassins Versants riverains en les conduisant vers les localités les plus peuplées dans la zone d'étude.

Compte tenu des divers résultats obtenus, un modèle conceptuel montrant une vue synthétique des composantes de cycle hydrologique du bassin de Sahasomangana est présenté sur la figure 5 ci-après.

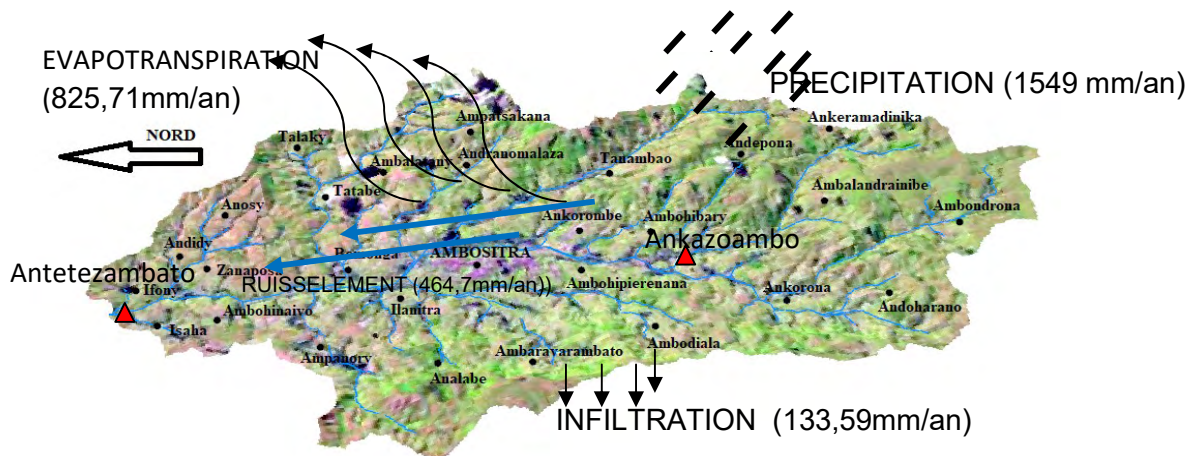


Figure 5- Modèle conceptuel du cycle hydrologique du Bassin versant de Sahasomangana

#### **4. Discussion**

Pour la plupart du bassin en zone perhumide, les pertes par évapotranspiration représentent quantitativement 50 à 90% de l'apport pluviométrique moyenne annuel pour les surfaces continentales (Oudin, 2004; Koita, 2010). Sur les Hautes Terres centrales de Madagascar, l'ETR est voisine de 800 mm (Chaperon et al., 1993). Pour l'unité hydrologique étudiée, sa valeur annuelle est de l'ordre de 825mm. Cette valeur confirme la fiabilité de résultat de ce travail de recherche.

La quantité d'eau souterraine exploitable n'est pas conditionnée par le taux de renouvellement, mais elle est en fonction de la structure géologique du sous-sol ainsi que de la connaissance de la porosité efficace ou du coefficient d'emmagasinement (Portet F., 2003). C'est pour cette raison que le résultat de cette étude illustre que 17% de fraction de pluie qui participe à l'infiltration dans le bassin d'étude est exploitable.

La comparaison des résultats des apports en eau de surface (tableau 2) avec les résultats de chaque composante du cycle hydrologique (tableau 1) indique parfaitement que si la valeur mensuelle de pluie efficace augmente, l'apport disponible augmente aussi. Ainsi, l'eau disponible à la surface du bassin versant de Sahasomangana est donc conditionnée par la pluie efficace.

La confrontation du résultat issu de l'estimation des besoins en eau par secteurs usagers aux ressources en eau de surface disponibles met en évidence la cause du problème lié à l'insuffisance d'eau, rencontré par la population d'Ambositra chaque année, de septembre au novembre. Ce résultat est parmi le point fort de cette recherche car il fournit des renseignements scientifiques de référence aux décideurs locaux pour surmonter ce problème répétitif associé à l'insuffisance de cet or bleu dans le bassin de Sahasomangana.

#### **Conclusion**

Dans le bassin versant de Sahasomangana, les ressources en eau de surface sont soumises à de fortes variations saisonnières. Elles vont dans le sens inverse des besoins surtout agricoles qui sont extrêmement élevés dès le mois de septembre jusqu'au mois de décembre. Dans cet étude, l'évaluation des composantes de cycle de l'eau, notamment de la pluie efficace est de tout premier intérêt, car elle conditionne la disponibilité de ces ressources, que ce soit vis-à-vis de son transfert rapide en surface ou de son écoulement différé au travers des aquifères. Face à l'insuffisance de l'offre par rapport aux besoins actuelles, la mise en œuvre d'une nouvelle gestion stratégique des ces ressources est devenue impérative dans la zone d'étude.

Les résultats de ce travail ont permis de disposer de nouvelles perspectives encourageantes pour la suite des travaux. Ainsi, dans le but d'une extension de la puissance de la

microcentrale hydroélectrique d'Antetetzambato, la modélisation mathématique de la relation pluie-débit, fondée sur une approche scientifique fine du cycle de l'eau est nécessaire sur le bassin de Sahasomangana. Une telle vision pourrait bien être mise en œuvre dans d'autres bassins de la Région Amoron'i Mania où les ressources en eau disponibles sont mal connues face aux besoins qui ne cessent d'augmenter.

### **Remerciement**

Je tiens particulièrement à remercier Monsieur RASOLOMANANA Eddy, Professeur titulaire de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo de m'avoir encouragé pour relater dans cet article une partie de mon travail de recherche sur le bassin versant de Sahasomangana, district d'Ambositra.

### **Références bibliographiques**

- 1-CHOCAT B., 1997 : Urbanisation et inondation : phénomènes de ruissellement, causes naturelles et facteurs d'aggravation. *Aménagement et nature*, 95, 13-15.
- Code de l'Eau de Madagascar : 1999; J. O. no. 2557 E.S. du 27.01.99, p. 735, accessible à l'adresse suivante : <http://www.droit-afrique.com/upload/doc/madagascar/Madagascar-Code-1999-Eau.pdf>, (la date de la dernière consultation : 20 mai 2021).
- 2-Gangbazo, G., Auger P., Cluis D., Matte- Savard F., 2004. Gestion intégrée de l'eau par bassin versant. Concept et application Pag.6-33.
- 3-Chaperon P., Danloux J., Luc F.; 1993. Fleuves et Rivières de Madagascar, Pag 548-557. *Accessible à l'adresse suivante* : [https://www.pseau.org/outils/ouvrages/ird\\_fleuves\\_et\\_rivieres\\_de\\_madagascar\\_1993.pdf](https://www.pseau.org/outils/ouvrages/ird_fleuves_et_rivieres_de_madagascar_1993.pdf) (la date du dernier consultation : 04 mai 2021).
- 4-Castany G.; 1998. Hydrogéologie. Principes et méthodes. Dunod, 2e cycle, Paris, Pag.100-145.
- 5-Cosandey C., Robinson M.; 2000. Hydrologie continentale. A. Colin, Collection U, Paris, Pag. 102-160. *Accessible à l'adresse suivante* : [https://www.journals.openedition.org/hydrologie\\_continentale\\_pdf](https://www.journals.openedition.org/hydrologie_continentale_pdf) (la date du dernier consultation : 04 mars 2021)
- 6-Marsily G.; 1981. Hydrogéologie quantitative. Collection Sciences de la Terre, Masson, Paris, Pag.45-90.
- 7-Oudin, L.; 2004. Recherche d'un modèle d'évapotranspiration potentielle pertinent comme entrée d'un modèle pluie-débit. Thèse Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts, Paris.Pag36-48. *Accessible à l'adresse suivante* <https://www.tandfonline.com> › doi › pdf › (date de la dernière consultation : mai 2021).
- 8-Portet F.;2003. Hydrogéologie et d'hydraulique souterraine Pag. 20-35.

9-Koita M., 2010. Caractérisation et modélisation du fonctionnement hydrodynamique d'un aquifère fracturé en zone de socle. Région de Dimbokro-Bongouanou (Centre Est de la Côte d'Ivoire) thèse de doctorat à l'université Montpellier II, Pag.73-94. [Accessible à l'adresse suivante http://www.theses.org/cas de la région de Dimbokro-Bongouanou](http://www.theses.org/cas de la région de Dimbokro-Bongouanou) (date de la dernière consultation : 15 juillet 2021).

10-Rasolofoniaina J.D., 2012. Schéma Directeur de l'eau et de l'Assainissement de l'Agence de centre ouest, Pag. 22-134.

11-Rakotondraibe J. H., 2005. Les huit (8) zones Hydrogéologiques et principales nappes de Madagascar, 1974, mise à jour 2005. 7p.

12-Plotnikov N.A.;1962. Ressources en eaux souterraines. Classification et méthodes d'évaluation Pag.50-145.

13-Rakotondrabe F.; 2007. Etude de la vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques, modélisation par le logiciel WEAP 21. Cas du bassin versant de Morondava (Sud-ouest de Madagascar), mémoire de fin d'étude, Pag.37-40. : <https://www.weap21.org/downloads/Madagascar.pdf> (la date de la dernière consultation: 02 juin octobre 2021).

14-RAKOTOARISOA D.; 2018. Gestion intégrée des ressources en eau du bassin versant de Soavina, Région Amoron'i Mania, thèse de Doctorat, Pag 53-56.