

### VII.3 La correction des lavaka

Pour la correction des lavaka du bassin versant de Sahamaloto, la méthode mécanisée (les fascines, les barrages en pieux et les gabions) et la méthode biologique (système vétiver) ont été adoptées. Elles servent à stabiliser les pentes et les sédiments issus de l'érosion. Sur les versants abrupts, un gradin de cultures est envisagé. Les terrasses peuvent être soutenues par des talus gazonnés (Fig.50) [29].

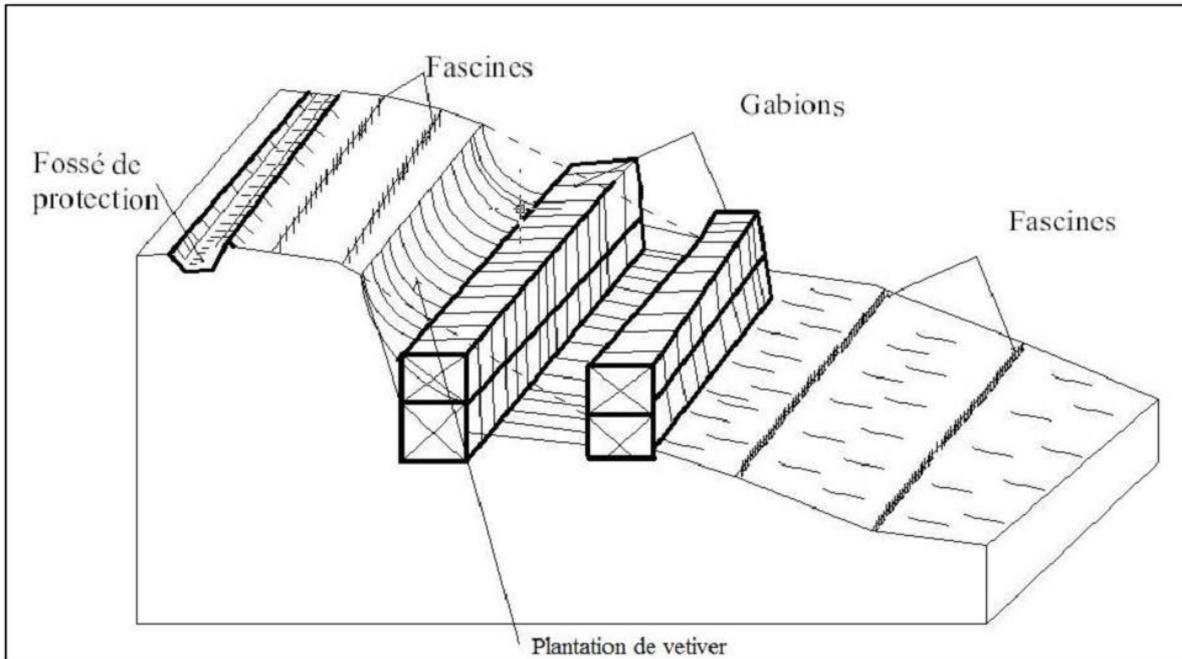


Fig.50 Stabilisation d'un lavaka dans le bassin versant de Sahamaloto [29]

## CONCLUSION

Pour conclure, l'érosion est un phénomène indissociable de la Région Alaotra. Le climat étant humide et les sols friables évolués contribuent à la dégradation du sol. Aussi, comme les baiboho sont déjà saturés, les agriculteurs cultivent sur les tanety alors que le labour de la terre crée un ensablement des bas-fonds quand vient le ruissellement.

Les sols de la Région subissent de grandes dégradations, et que l'eau perde de sa superficie quand plus les pertes en terre n'augmentent. Quels seront l'avenir de la riziculture d'Alaotra si les bas-fonds seront encombrés de sédiments? Nous avons pu proposer une méthode pour quantifier et évaluer les facteurs de l'érosion hydrique. Son principal objectif a été d'appuyer la décision pour une priorisation des zones les plus vulnérables.

Ce mémoire a valorisé plus la méthodologie que les autres parties car les résultats peuvent être repris et être améliorés selon l'envergure et l'échelle demandée. Aussi, les logiciels de traitement de données numériques ont été soulignés. Grâce à l'Arcswat, le bassin versant a été délimité. Puis, le calcul des poids de chaque critère ainsi que l'évaluation multicritère a été effectuée dans IDRISI. Cette méthode valorise donc les calculs matriciels qui sont exportés en carte de décision.

Les résultats de cette étude ont été la carte de vulnérabilité à l'érosion hydrique de la zone d'étude. Aussi, nous avons constaté une grande évolution de l'occupation de sol de la Région.

Pour la majorité, les mesures proposées (méthodes mécaniques) des luttes antiérosives sont correctives à moyen et long terme, donc efficaces.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] HASSAN II-RABAT. (2016). – Cours d'hydrologie, Université de Maroc.
- [2] ROCHE M. (1963). – Hydrologie de surface. Ed. Gauthier-Villars, Paris. in – BONNARD V. (2015). – Méthodologie pour la cartographie et le paramétrage du modèle hydrologique GR4J sur 28 bassins versants en France pour la période 1961-2014. Université de Bourgogne Mémoire Master TMEC, p 50.
- [3] GEORGES Y. (2008). – Evaluation de l'Erosion dans le bassin versant de la rivière Grise (Haïti). Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux, Belgique, Master en gestion des Risques Naturels.
- [4] POULENARD J. (2010). – Erosion des sols : mécanismes, modélisation et méthodes de conservation des sols. Masters EGPM et Gaia, 108 p.
- [5] CREAM (2013). – Monographie Région Alaotra-Mangoro. Centre de recherches, d'études et d'appui à l'analyse économique à Madagascar. Lot II A 78 U A Soavimbahoaka 101 Antananarivo Madagascar, [www.cream.mg](http://www.cream.mg), 235 p.
- [6] RAVELONANDRO G. (2015). – Cours ressource en eau. Licence en Géologie Minière, Mention Génie Géologique, ESPA.
- [7] FAO (1999). – Base de référence mondiale pour les ressources en sols. Rapport sur les ressources en sol du monde, p. 91-93.
- [8] RIQUIER J. (1968). – Carte pédologique de Madagascar à l'échelle de 1/1000000. Service cartographie de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer.
- [9] RAUNET M. (1997). – Les ensembles morphopédologiques de Madagascar. Bilan et évaluation des travaux et réalisations en matière de conservation des sols à Madagascar. CIRAD-CA, 156p.
- [10] MPAE Ministère Auprès de la Présidence en Charge de l'Agriculture et de l'Elevage (2018). – Rapport d'activité 2017, p. 52-53.
- [11] RIQUIER J. (1958). – Les lavaka de Madagascar. Office de la recherche scientifique et technique OUTRE-MER Paris, cote de classement N° 4236 pédologie, p. 7-11.
- [12] RIQUIER J. (1954). – Etude sur les lavaka. Mémoires de l'institut scientifique de Madagascar, série D - Tome-VI, p. 170-189.

- [13] ANDRIANIFANANTENANA T. (2017). – Réaménagement du bassin versant de Marovoay face à l'ensablement et à la salinisation des sols. Mémoire de fin d'étude ESPA, p. 34-36.
- [14] DENIS A. (2016). – Travaux Pratiques de Télédétection Spatiale. Université de Liège (ULg) Arlon Campus Environnement Département des Sciences et Gestion de l'environnement Unité Eau Environnement Développement (EED), 84p.
- [15] MIDEKOR A. Wellens J. (2013). – Initiation à ENVI, Ouagadougou Burkina Faso, GEeau.org, 84p.
- [16] LIDOUH K. ; VANHUYSSE S. (2016). – Introduction à l'analyse multicritère, Université de Bruxelles.
- [17] EASTMAN J. (2006). – IDRISI Andes. Guide to GIS and Image Processing. Worcester, Clark University. in KOUASSI J. (2013). – Suivi de la dynamique de l'occupation du sol à l'aide de l'imagerie satellitaire et des systèmes d'informations géographiques : cas de la direction régionale des eaux et forêts de Yamoussoukro (cote d'ivoire). Mémoire de Diplôme d'Agronomie Approfondie. 51p.
- [18] SAATY T. (1990). – How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. European Journal of Operational Research, vol. 48. in – RAMOS A. et al (2014) – Application de la Méthode de l'Analyse Multicritère Hiérarchique à l'étude des glissements de terrain dans la région littorale du centre du Portugal: Figueira da Foz Nazaré. Geo-Eco-Trop, p. 33-44.
- [19] BENSALD A. (juin 2005). – SIG et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride : le cas de la wilaya de Naâma (Algérie). Université Joseph Fourier-Grenoble 1, 289p.
- [20] FOWE T. (2015). – Simulation et optimisation du fonctionnement du barrage de Boura en zone soudanienne du Burkina Faso. Thèse de Docteur en sciences et technologies, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, p.45.
- [21] ROEDERER P. (1971). – Les sols de Madagascar. Office de la recherche scientifique et technique OUTRE-MER centre Antananarivo, 56p.
- [22] RABARIMANANA M. ; RAHARIJAONA L. ; JEAN CHOROWICZ J. (2003). – Cartographie des lavaka par télédétection : analyse des facteurs et gestion des espaces ruraux à Madagascar. Editions scientifiques GB. Télédétection 2003 vol. 3, n° 2-3-4, p. 225-250.
- [23] ROOSE E. (1994). – Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols. Bulletin pédologique de la FAO n°70; Réimpression de l'IRD 1999, 420p.
- [24] FAO (2014). – Base de référence mondiale pour les ressources en sols. Système international de classification des sols pour nommer les sols et élaborer des légendes de cartes pédologiques, Rapport sur les ressources en sols du monde N° 106. FAO, Rome, p. 166-167.

[25] ROOSE E. (1975). – Quelques techniques antiérosives appropriées aux régions tropicales. Office de la recherche scientifique et technique OUTRE-MER Laboratoire de Pédologie, 7p.

[26] ROOSE E. (1971). – Projet de lutte contre l'érosion hydrique sur le plateau Mossi (Haute-Volta), Office de la recherche scientifique et technique OUTRE-MER, 22p.

[27] GASSMANN S. – Erosion réduire les risques : Cahier de fiches techniques. Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC Office fédéral de l'environnement OFEV, p. 23.

[28] RAHARINAIVO S. (2008). – Les techniques de correction des ravines et de stabilisation des lavaka tirées des acquis du PLAE à Marovoay. Programme de Développement de Madagascar, p. 18-19.

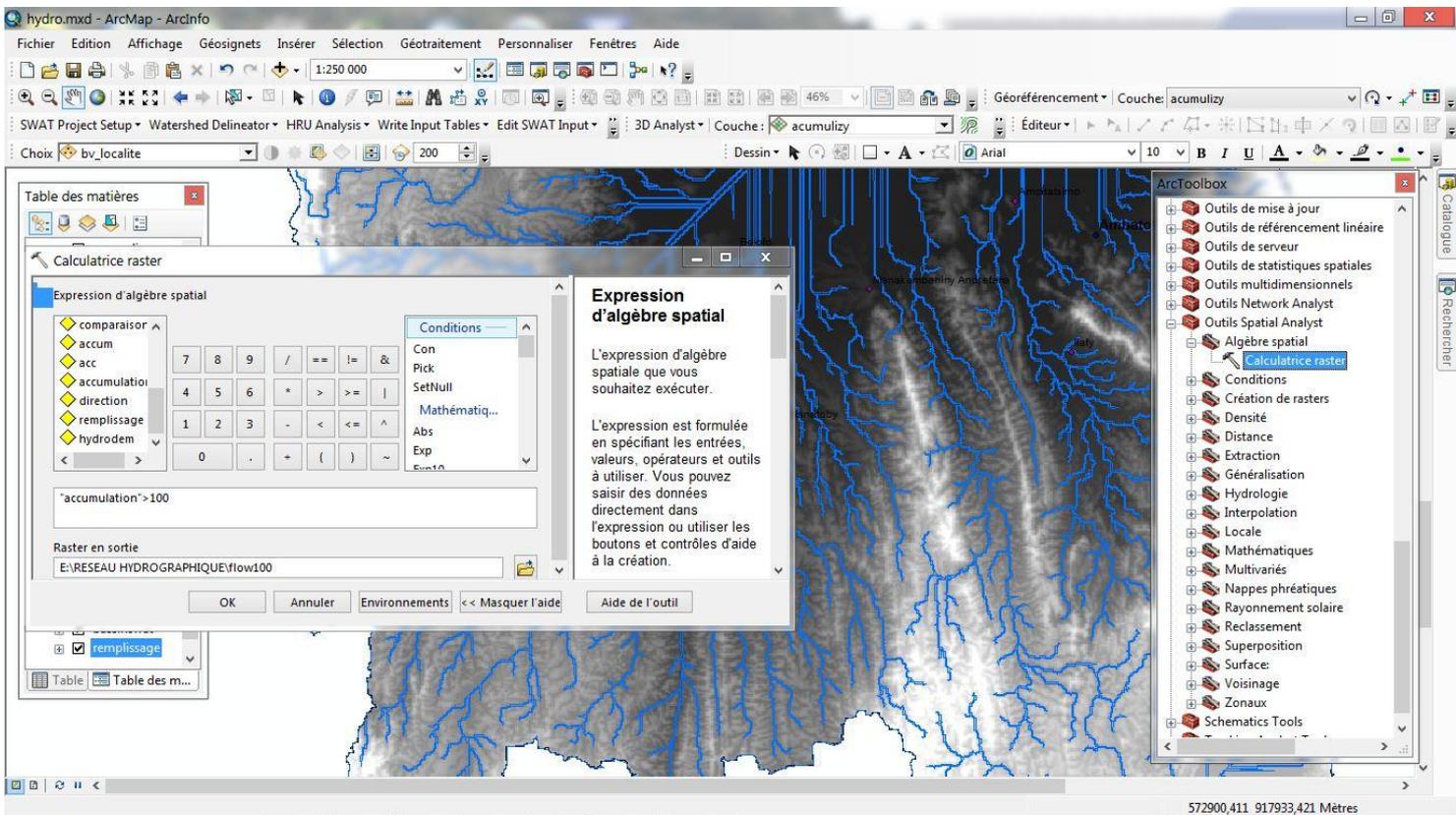
[29] RINAEINTSOA M., (2014). – Correction et valorisation des lavaka du bassin versant de Sahamaloto. Mémoire de fin d'étude ESPA, p. 79.

## ANNEXES

### Annexe 1: Elaboration des différentes cartes

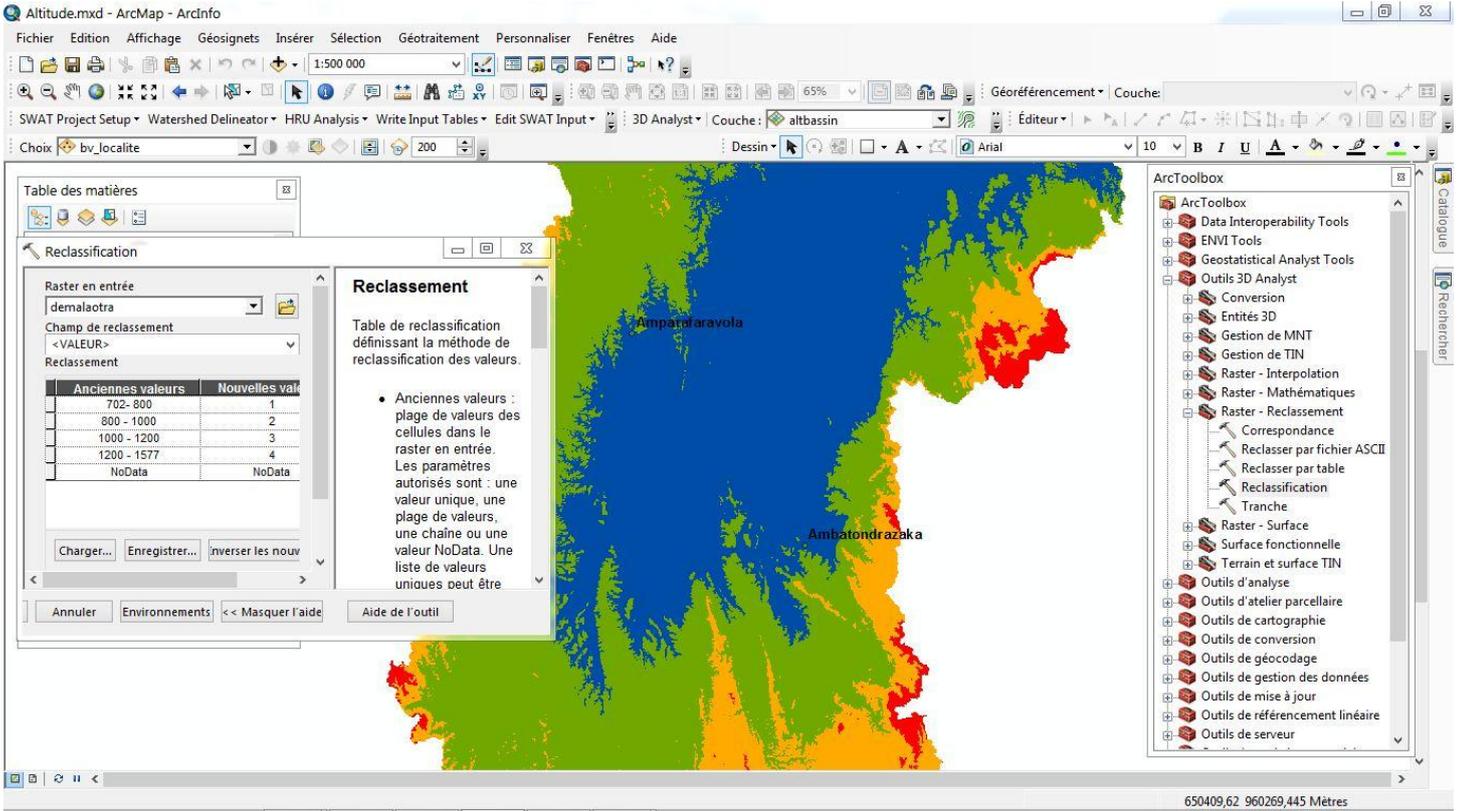
#### 1.1 Carte des réseaux hydrographiques du bassin versant d'Alaotra

La carte a été numérisée à partir de l'outil Spatial Analyst > Hydrologie Le principe est de tracer une cuvette, l'endroit le plus bas où il y a de l'eau. La cuvette étant rempli provenait des écoulements de plusieurs directions de flux. Et l'accumulation des flux nous donne le réseau hydrographique.

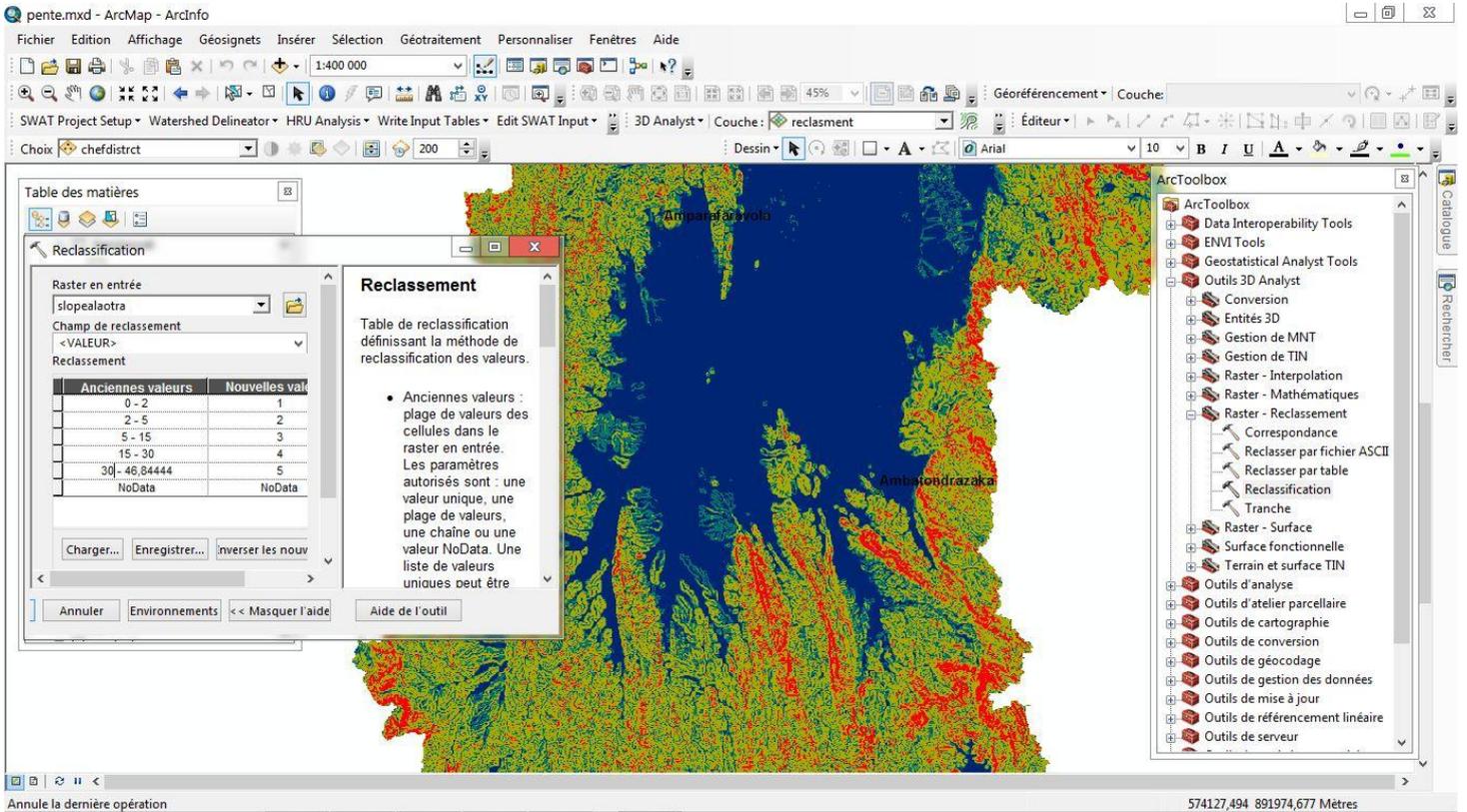


#### 1.2 Reclassification de la carte du critère altitude

Arctoolbox > Outils 3D Analyst > Raster-reclassement > Reclassification (même démarche que le critère pente).



### 1.3 Reclassement de la carte du critère pente



**Annexe 2: Données climatiques de la zone d'étude (Station d'Ambohitsilaozana)**

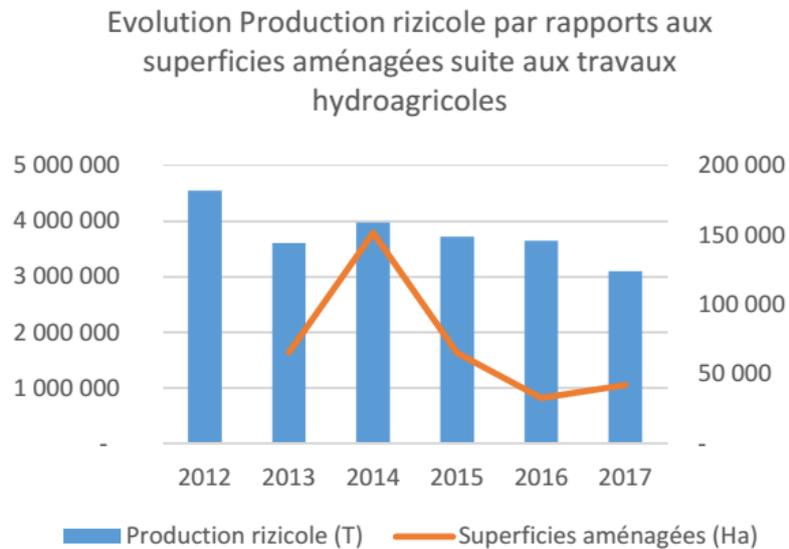
## 2.1 Pluviométrie annuelle entre 2000-2017

Année	Pluie	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
2000	Pluie	110	185,2	188,3	13,3	2,8	10,7	16,1	7,3	3,7	1,1	19,0	196,7
	Nb.j	13	19	13	2	5	13	15	8	7	5	5	17
2001	Pluie	706,4	106	24,3	28,9	2,9	6,9	1,5	10,6	1,3	15,9	0,1	208,6
	Nb.j	24	5	13	4	5	9	5	9	1	4	1	13
2002	Pluie	93,6	481,7	58,7	14,1	119,6	6,3	6,1	1,7	8,6	1	46,7	389,6
	Nb.j	9	19	13	4	13	9	5	8	3	3	6	23
2003	Pluie	485,9	310,2	135,6	3,1	8,2	4,3	2,4	1,4	8	31,4	54,2	161,6
	Nb.j	30	19	12	4	5	5	6	5	8	1	7	19
2004	Pluie	220,2	129,8	128,2	16,6	5,2	8,2	3	2,8	4,9	0	7,1	370,7
	Nb.j	18	16	16	10	7	7	8	6	4	0	3	22
2005	Pluie	142,8	484,5	342,1	46,6	7,1	5,2	33,5	8,5	6,7	0,1	57,4	221,4
	Nb.j	19	24	20	5	9	6	8	15	5	1	7	10
2006	Pluie	138,4	86,3	107,3	13,0	4,7	15,5	6,8	15,2	1,4	0,8	84,9	64,1
	Nb.j	18	16	13	5	5	12	10	12	4	2	10	9
2007	Pluie	513,9	446,0	156,1	51,1	8,0	3,3	14,0	2,4	11,3	12,0	12,3	140,6
	Nb.j	26	21	10	9	6	7	9	6	9	8	4	12
2008	Pluie	212,0	409,9	41,3	2,3	15,0	14,3	6,8	0,0	17,6	80,7	233,4	106,7
	Nb.j	19	18	10	5	3	11	15	0	2	9	16	14
2009	Pluie	238,6	192,0	219,8	144,2	7,9	1,5	1,2	3,2	3,2	6,6		
	Nb.j	16	14	17	14	6	3	4	11	6	6		
2010	Pluie	431,4		404,9	2,6	10,3	5,8	15,3	4,9	0,0	1,5	17,2	
	Nb.j	23		23	5	7	10	15	13	0	2	2	
2011	Pluie												
	Nb.j												
2012	Pluie	235,5	238,5	77,8									
	Nb.j	24	23	17									
2013	Pluie			14,3	7,1	3,9	0,9	0,9	6,9	0,0	1,7	76,7	89,2
	Nb.j			7	3	5	5	2	5	0	4	10	11
2014	Pluie	218,6	289,0	36,7	0,0	3,2	17,9	31,4	1,3	14,0	27,1	68,2	275,5
	Nb.j	20	16	8	0	4	6	8	4	2	4	6	15
2015	Pluie	380,9	345,6	256,0	62,8	2,6	5,6	0,0	1,6	1,5	0,0	5,6	103,3
	Nb.j	20	21	10	3	4	3	0	1	1	0	2	11
2016	Pluie	231,8	142,1	133,3	7,4	0,0	2,2	4,1	0,0	0,0	0,4	19,4	36,0
	Nb.j	11	15	7	4	0	2	3	0	0	1	5	4
2017	Pluie	53,3	219,6	201,4	32,2	0,9	3,7	15,6	0,2	2,9	14,4	254,6	169,0
	Nb.j	10	9	8	3	2	2	3	1	2	13	13	12

2.2 Température annuelle entre 2000-2008/ 2014-2017

Année	Température	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
2000	T°max	28,9	27,5	26,6	27,3	26,1	23,1	21,6	22,8	24,0	27,5	28,0	29,0
	T°min	18,9	18,6	17,9	16,3	14,8	13,6	13,0	11,9	12,6	14,7	16,8	19,2
2001	T°max	28,2	28,8	28,8	27,8	26,1	22,6	22,7	23,7	26,3	26,6	28,5	30,9
	T°min	20,0	19,2	19,1	17,1	15,4	13,5	11,9	13,6	13,2	15,1	15,3	18,3
2002	T°max	29,8	25,6	28,1	26,9	22,1	22,2	23,8	22,8	24,2	26,8	28,9	29,0
	T°min	18,8	17,5	19	16,5	15,9	12,9	12,6	12,6	13,3	14,7	16,6	18,9
2003	T°max	27,5	28,2	28,4	28,0	27,4	23,5	22,7	23,6	24,4	28,2	28,5	28,9
	T°min	20,2	17,1	18,8	17,6	17,0	12,4	12,1	11,6	13,3	14,7	16,3	18,6
2004	T°max	28,5	26,7	27,2	26,9	25,3	22,3	23,8	24,3	25,1	27,7	27,8	28,4
	T°min	19,8	17,8	18,8	16	13,8	11,5	15,6	12,3	13,2	15,8	16,4	18,3
2005	T°max	29,2	26,8	28,8	27,5	24,9	23	22,6	22,8	23,4	26,4	28,2	30,3
	T°min	19,5	18,1	19,7	16,8	16,3	13,4	12,3	12,6	13,1	14	16,2	18,4
2006	T°max	28,4	25,6	28,3	27,2	26,7	23,8	22,6	24	24,2	27	28,3	28,6
	T°min	18,5	17,2	18,6	16,6	15,6	13,3	13,2	12,8	12,8	14,6	16,9	19,2
2007	T°max	28,5	25,2	28	25,6	26	22,5	23,1	23,7	23,4	26,3	28,5	30,2
	T°min	20,2	18	18,3	16,3	16,3	12,1	13,6	12,8	13,4	15,2	15,9	18,2
2008	T°max	28,5	24,8	27,3	27,1	25,2	23,3	22,4	23,9	26,6	27,1	28,0	29,0
	T°min	19,2	17,3	18,1	16,8	14,6	13,3	12,1	12,7	14,3	15,4	18,6	17,8
2014	T°max			28,9	28,6	27	24,8	22,7	24,9	25,7	30,9	30,9	30,9
	T°min	19,5	19,5	18,3	16,6	15	14,2	13,2	13,3	13,4	16,8	17,8	19,4
2015	T°max	27,3	27,9	28,2	29,2								
	T°min	19	20	16,6	16,9	13,8	14,8	12,1	12,8	12,6	14,2	16,2	19,9
2016	T°max												
	T°min	19,7	19,9	19,1	16,9	15,9	13,7	12,2	11,8	13,1	14,1	16,9	18
2017	T°max								13				
	T°min	18,2	19,1	19,4	18	16,1	14	13,8	12,7	14,7	16,5	17,5	18,9

### Annexe 3: Evolution de la production rizicole de 2012-2017



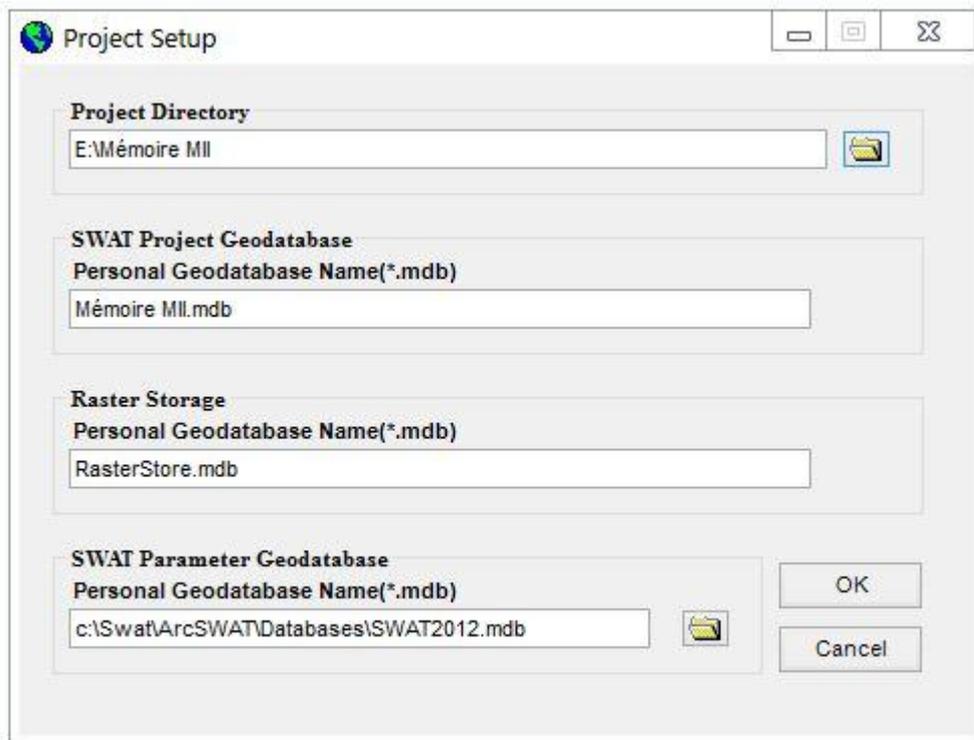
Source MPAE, rapport d'activité 2017

### Annexe 4: Etapes de la délimitation du bassin versant sur Arcswat

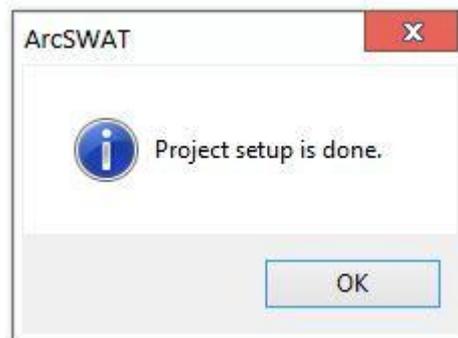
#### 4.1 Création d'un projet Arcswat

Voici l'interface de l'outil Arcswat, une extension d'Arcgis.

- La première étape est de créer le projet : Créez un dossier dans lequel le projet sera enregistré. Dans la barre d'outils ARCSWAT, choisissez le menu « SWAT Project Setup » et cliquez sur « New SWAT Project ».
- Dans le champ « Project Directory », choisissez le répertoire dans lequel vous désirez enregistrer votre projet (Mémoire MII). Laissez les autres champs par défaut. Cliquez sur OK.



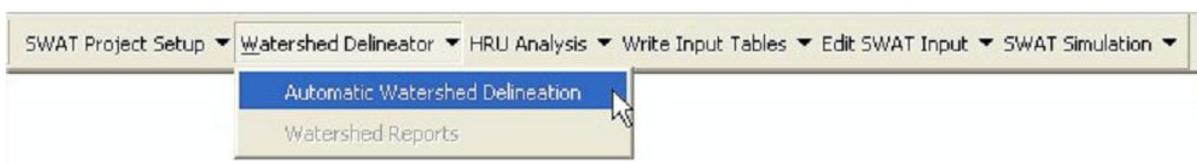
- Votre projet sera créé



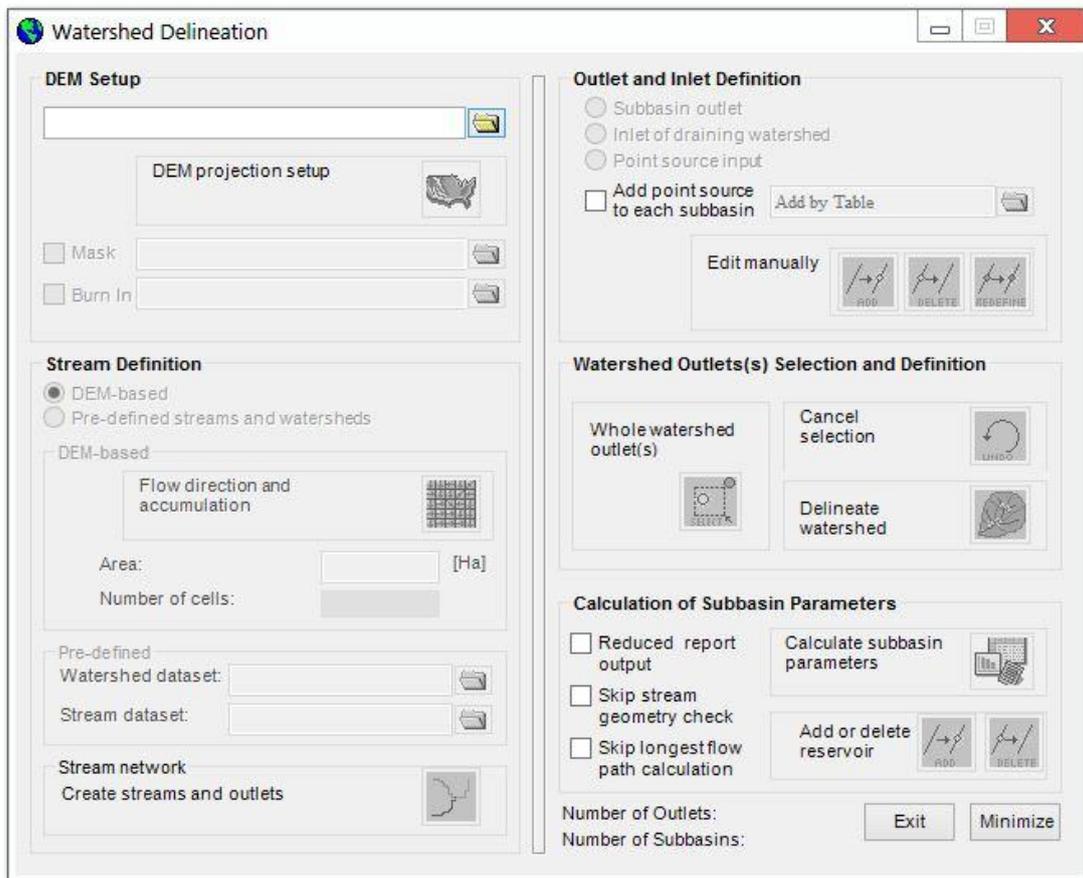
-

#### 4.2 Délimitation du bassin versant

- Dans la barre d'outils ARCSWAT, sélectionnez le menu « Watershed Delineator » et cliquez sur « Automatic Watershed delineation »



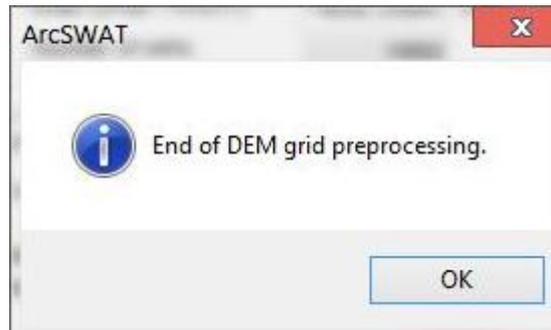
- Vous êtes maintenant dans la fenêtre « Watershed Delineation ».



- Dans le champ « DEM Setup », vous entrez le modèle numérique de terrain de la zone autour du lac Alaotra.
- Dans le champ « Stream Definition » : En cochant sur « DEM Based », ARCSWAT tracera le réseau hydrographique à partir du modèle numérique de terrain)



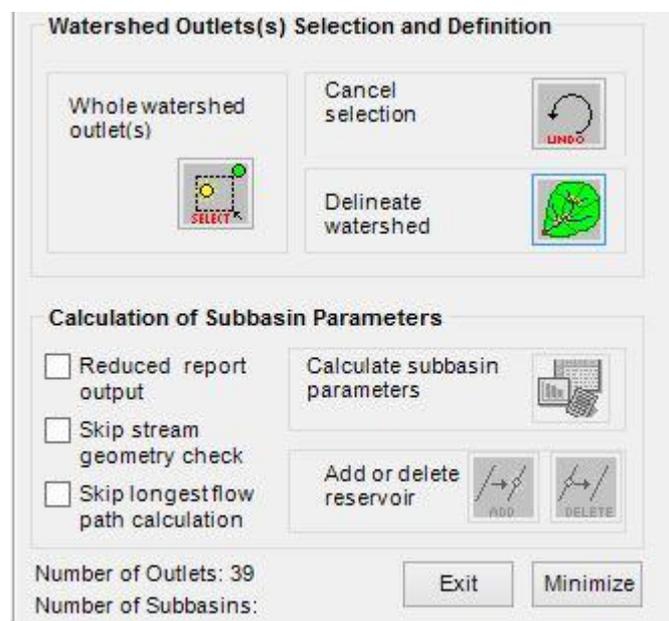
A la fin du traitement, la fenêtre suivante apparaît



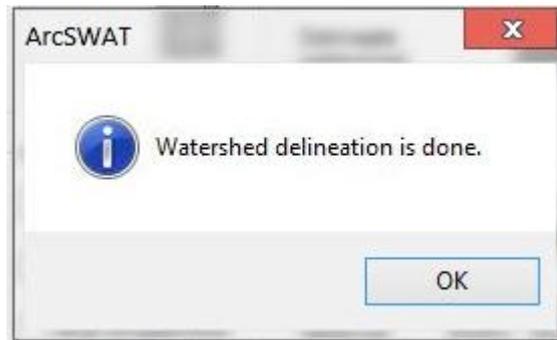
- Dans le menu « Stream Network », Arcswat va reconnaître le réseau hydrographique



- Dans le menu « Watershed Outlets Selection and definition », nous allons maintenant choisir l'exutoire du bassin versant. Le nôtre a été l'exutoire de Maningory. Puis cliquez sur « Delineate watershed »

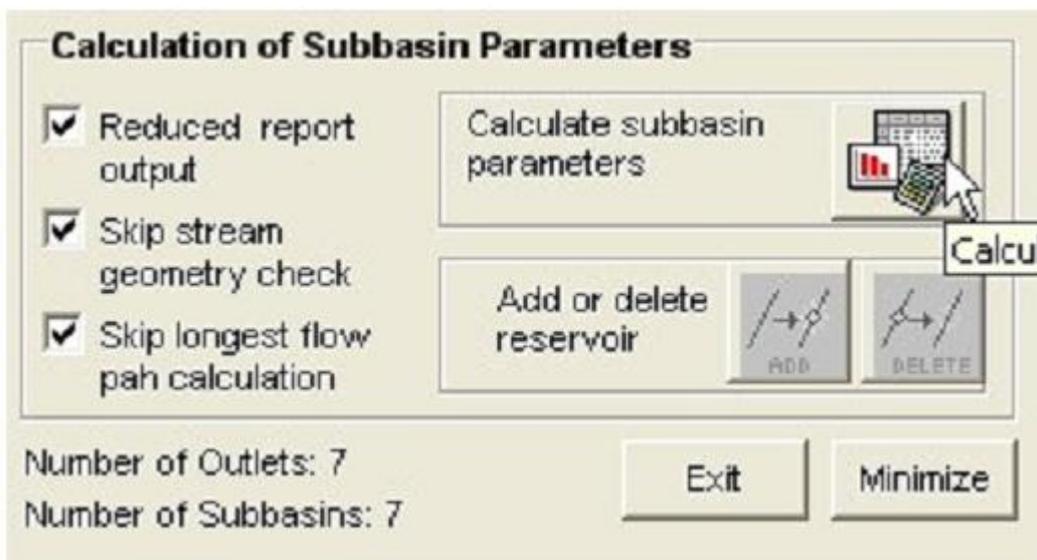


- Lorsqu'ARCSWAT a terminé la délimitation du bassin versant, cette fenêtre apparaît :



### 3.3 Calcul des paramètres du bassin versant tracé par Arcswat

- Cette étape consiste à calculer la longueur et la superficie des sous-bassins versant.



- Une fois le calcul des paramètres effectués, cette fenêtre apparaît :

