

V.2.2 ANALYSE MULTICRITERE POUR UNE PRISE DE DECISION [15]

La méthodologie permettra la réalisation de la carte de sensibilité à l'érosion hydrique en utilisant deux modèles analytiques. Dans le premier modèle le croisement des couches sera réalisé sans pondération des couches thématiques (images rasters), tandis que dans le second l'utilisateur a le libre choix d'affecter à chaque couche (critère) une valeur de pondération en pourcentage.

L'objectif de l'AMC est de fournir des cartes d'aide à la décision pour chaque état de la variable. Pour cet usage de l'espace, la procédure générera une carte d'aptitude ou de probabilité que l'on peut qualifier de carte décisionnelle. L'AMC se déroule en plusieurs étapes dont les principales sont la catégorisation des couches "critères" en facteurs et contraintes, la standardisation des facteurs (transformation des unités d'origine en indice d'aptitude) par recours à des fonctions d'appartenance (linéaire) et la pondération des facteurs (par la matrice de Saaty) et leur agrégation pour obtenir la carte d'aptitude [17] (Fig.26).

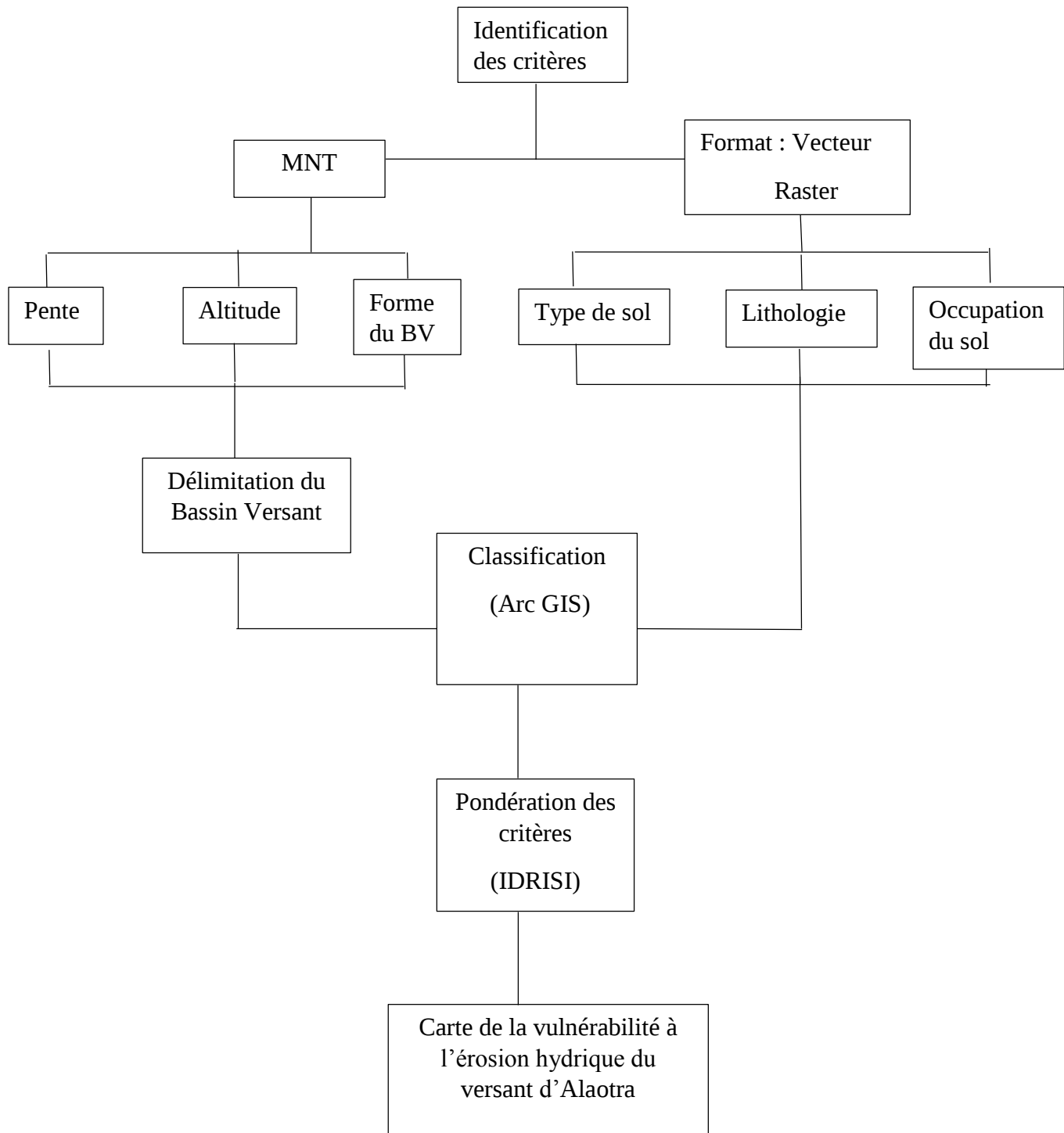


Figure.26 Méthodologie

❖ Identification des critères

La pluie (pouvoir érosif de la pluie) est un facteur principal à l'érosion hydrique, mais comme notre donnée précipitation provient d'une seule station (Ambohitsilaozana), ce critère ne peut contribuer à l'élaboration de la carte d'aptitude à l'érosion. Nous avons retenu ainsi six critères.

- 1- Type de sol (aptitude du sol au détachement des particules)
- 2- Lithologie (l'influence de la roche mère)
- 3- Pente (ruissellement en fonction de la pente)
- 4- Altitude (drainage de l'eau en fonction de l'altitude)
- 5- Sol Occupation de sol (couvert végétal : forêt, arborée,...)
- 6- Forme du bassin versant (influence sur la longueur du parcours du drainage)

❖ Classification de chaque critère

Les critères énumérés ci-dessus seront classés dans l'outil Spatial Analyst d'Arctoolbox. Le principe est de redéfinir les fourchettes de valeurs d'une image raster selon un but précis. Prenons exemple le cas du critère altitude. Par défaut les valeurs indiquées ont été entre 702 et 1577 m représentant l'échelle d'altitude du bas vers haut. C'est par la suite que nous attribuons les quatre classes de valeurs (Tableau 13) pour pouvoir attribuer la qualification de « faible » à « très fort ». La pratique de cette reclassification des critères est illustrée dans l'annexe 1.

❖ Pondération des critères

Après avoir déterminé l'ensemble des critères pris en compte dans l'érosion hydrique et les avoir classer ensuite, nous avons procédé à une analyse multicritère basée sur la méthode pondérée. Nous réalisons une pondération des facteurs basée sur la technique de comparaison par paires (pairwise comparison) dans le contexte de processus décisionnel appelé Analytical Hierarchy Process (AHP). Cette méthode est réalisée par le module d'analyse multicritère d'IDRISI qui représente la procédure de combinaison de critères prenant la forme :

$$C = \sum w_i X_i * \prod C_j$$

Où : C'est l'indice composite, X_i est la valeur du facteur i , W_i est le poids de chaque facteur et C_j est la valeur de la contrainte j .

Ainsi, les facteurs sont comparés, deux à deux, dans une matrice de comparaison dite de Saaty, et ce, en fonction de leur importance relative par rapport à l'objectif fixé (Fig.27). Il faut signifier que la note est subjective et dépend entièrement de l'analyste.

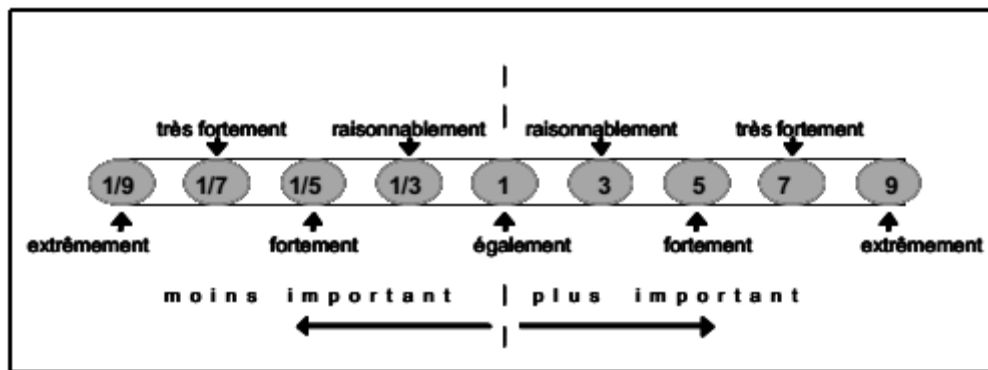


Figure.27 Représentation de l'échelle de SAATY (Méthode AHP) : Source [19]

Le remplissage de la matrice de Saaty par comparaison des paires produit un poids pour chaque facteur. Il produit ainsi un indice de cohérence qui montre la probabilité que les notes de la matrice soient générées au hasard et les incohérences éventuelles au sein de celle-ci. La pondération est acceptée si l'indice de cohérence est inférieur à 0,1. Dans le cas contraire, la matrice est réévaluée [18].

Les poids sont déterminés à partir d'une série de comparaisons par paires de facteur quant à leur importance dans la détermination de l'aptitude pour produire des coefficients de pondération standardisés dont la somme est égale à 1. Ces poids sont ensuite utilisés pour pondérer les facteurs dans le cadre d'une combinaison par pondération linéaire faisant appel au logiciel IDRISI.

❖ Carte de vulnérabilité

Carte issue de l'analyse multicritère basée sur la méthode linéaire pondérée: Application des modules analyse multicritère et WEIGHT d'IDRISI sur les facteurs et les contraintes.

VI.2.2 Evolution de l'occupation du sol

Le but est un aperçu général de l'évolution de l'occupation de sol. En prenant référence à un élément, nous constatons le changement. Dans notre cas, nous avons choisi de constater l'évolution du lac entre les années 2008 et 2017 selon la disponibilité des données.

V.2.2.1 Acquisition de données satellitaires

Selon la disponibilité des données et l'observation du bassin versant d'Alaotra, nous avons pris des images Landsat venant du capteur Thematic Mapper (TM) et l'Operational Land Imager (OLI) recouvrant une scène de 185 km x 185 km et avec 30m de résolution. Ainsi, pour l'évolution de l'occupation de sol autour du lac Alaotra, voici les détails des images (Tableau 9):

Tableau 9: Caractéristiques des images Landsat

Date	Landsat	Scènes	Bandes	Spectre électromagnétique	Capteur
01/04/08	Landsat 5 (1984)	185 km x 185 km	1	0.45–0.52 µm (blue-green)	TM (thematic mapper)
			2	0.52–0.60 µm (green)	
			3	0.63–0.69 µm (red)	
			4	0.76–0.90 µm (near infrared)	
			5	1.55–1.75 µm (mid infrared)	
			6	10.4–12.5 µm (far infrared)	
			7	2.08–2.35 µm (mid infrared)	
17/09/17	Landsat 08 OLI&TIRS (2013)	185 km x 185 km	1	Coastal aerosol 0.43–0.45 µm (30m)	OLI (l’Operational Land Imager)
			2	Blue 0.45–0.51 µm	
			3	Green 0.53–0.59S µm	
			4	Red 0.64–0.67 µm	
			5	NIR 0.85–0.88 µm	
			6	SWIR1 1.57–1.65 µm	
			7	SWIR2 2.11–2.29 µm	
			8	Panchromatic 0.50–0.68 µm (15)	
			9	Cirrus 1.36–1.38 µm (30)	
			10	10,60-11,19(100)	
			11	11,5-12,51	

Nous pouvons voir une illustration de l’extraction de l’image Landsat sur la zone d’étude en annexe 5. Pour le Landsat 05, l’application principale de chaque bande est présentée dans le tableau suivant (Tableau 10)

Tableau 10: Caractéristiques des 7 bandes du landsat 05 TM

B1 : 0.45-0.52 Bleu 30x30 185 Pénétration des plans d'eau, cartographie des eaux territoriales
B2 : 0.52-0.60 Vert 30x30 185 Distinction de la végétation, évaluation de la vigueur et identification des différents types de cultures
B3 : 0.63-0.69 Rouge 30x30 185 Absorption de la chlorophylle, et différenciation des espèces végétales
B4 : 0.76-0.90 Proche IR 30x30 185 Détermination des types de végétation et surveillance de la vigueur et de la biomasse, définition des limites des plans d'eau
B5 : 1.55-1.75 Moyen IR 30x30 185 Indicateurs de végétation et d'humidité du sol utilisés pour la différenciation de la neige et des usages
B6 : 10.4-12.5 IR therm. TM 120x120 ETM+ 60x60 185 Analyse des contraintes de végétation, distinction de l'humidité du sol et cartographie thermique
B7 : 2.08-2.35 Moyen IR 30x30 185 Identification des types de roches et de minéraux, cartographie hydrothermale et mesure de l'humidité du sol et de la végétation

V.2.2.2 DETECTION DU CHANGEMENT DE L'OCCUPATION DU SOL

- Acquisition de donnée sur Envi
- Extraction de la zone d'étude
- Traitement d'image satellitaire

❖ Composition colorée et interprétation visuelle d'image

La composition colorée a consisté à combiner des informations que contiennent trois bandes en les affichant simultanément dans les trois couleurs primaires (rouge, vert et bleu). L'objectif de cette opération est d'avoir une synthèse d'informations en vue de faire une bonne discrimination des types de formations végétales. Au terme de plusieurs combinaisons, la

composition colorée 451 a été choisie pour l'image landsat05, car elle présente les meilleures discriminations des types d'occupation du sol pour permettre la classification.

❖ Classification

Classification supervisée sera utilisée car nous avons utilisé des images Google earth pour les endroits dont nous sommes sûres. (Validation du ROI). (Annexe 6)

L'algorithme de classification selon le maximum de vraisemblance (« Maximum Likelihood ») est appliqué à tous les pixels de l'image sur base des paramètres statistiques décrivant chaque signature spectrale obtenue. La comparaison entre les valeurs de chaque pixel et les signatures spectrales des différentes classes déterminera la probabilité d'appartenance du pixel à chacune des classes. La classe présentant la probabilité maximum sera attribuée au pixel considéré.

*PARTIE III:
RESULTATS ET
DISCUSSIONS*

Chapitre VII : RESULTATS

VI.1 Résultats d'enquêtes

Dans l'ensemble et en moyenne, le résultat de l'enquête a permis les constats suivants en terme de causes, de manifestations et de conséquences sur les cultures:

- ✓ La majorité des cultures sont situés sur les « Baiboho », les rizières et rarement dans les « lavaka ».
- ✓ Un changement climatique a été constaté. Il serait à l'origine de l'érosion hydrique sur leur lieu de culture. Ce changement climatique se manifeste par des pluies en saison froide et sec d'une part ; et de l'insuffisance ou de retard d'eau en saison chaude et humide d'autre part. Il a été relevé que ce dernier a été le plus constaté ces sept dernières années.
- ✓ D'après les paysans interrogés, la cause de ce changement climatique pourrait être l'absence de la couverture végétale qui bouleverse l'équilibre environnemental.
- ✓ Le bas fond est inondé par des « atsanga » à cause de l'érosion hydrique. Aussi, du sable provenant des masses de terres érodées en amont s'y dépose. Suite aux aléas climatiques (cyclone, grêle, périodes de crues et sécheresse), de nombreuses superficies rizicoles ont été inexploitable et un retard pour le repiquage du riz de grande saison a été constaté, ce qui entraîne par la suite un retard sur le calendrier cultural.
- ✓ Pour la plupart, les paysans n'ont pas encore trouvé les techniques adaptées pour conserver leur terrain face à l'érosion.

Les résultats d'enquête sur le terrain appuient notre problématique car effectivement la riziculture et les autres cultures de l'Alaotra sont perturbées par les effets cités ci-dessus de l'érosion hydrique sur le bassin versant.

VI.2 Résultats des échantillons analysés

Voici le tableau illustrant les éléments majeurs qui ont pu être déterminés (Tableau 11):

Tableau 11: Pourcentage en éléments majeurs des échantillons

	% Fe_2O_3	% Al_2O_3	% SiO_2
E ₁ (L)	5,18	9,29	41,5%
E ₂ (M)	4,79	7,26	43,71%
E ₃ (T)	7,58	5,60	42,23%

Les échantillons des sols ferralitiques jaunes sur rouges analysés confirment la nomenclature « latérites » pour ces types de sols. Ces derniers ont subi une latéritisation car le pourcentage des oxydes de fer et d'aluminium correspondent bien à un profil de sol latéritique. Quant à la silice dans les échantillons, elle provient de la roche mère qui est ici du gneiss.

Notre échantillon de sable correspond à pH=6, d'après le papier pH (Fig.23). Etant entre 6 et 6,6 ; l'échantillon est légèrement acide. Effectivement, les sols sableux sont plutôt acides.

La conductivité de la solution de sol saturée est de 0,02 mmhos/cm. Cela correspond à une salinité de 1,28 g/l. La salinité de la solution est modérée car elle ne dépasse pas de 6 g/l. Comme la salinité est le principal critère d'évaluation de la qualité d'une eau d'irrigation, elle est encore jusqu'ici, légère.

VI.3 Délimitation du bassin versant d'Alaotra

Exposée dans la méthodologie sur les étapes de la délimitation du bassin versant, voici la représentation de la limite du bassin versant superposée au numérique d'élévation qui a pu fournir les données d'altitudes (Fig.28). Le bassin versant d'Alaotra est limité entre 702 et 1577 m d'altitude.

Avant la classification des critères, il faut délimiter le bassin versant car cette limite sera l'extraction appliquée à toutes les cartes des autres critères. Les cartes des critères « type de sols » et « lithologie », ont été exposées dans les caractéristiques physiques de la zone d'étude en chapitre II. Quant aux autres critères, leur carte va être présentée successivement.

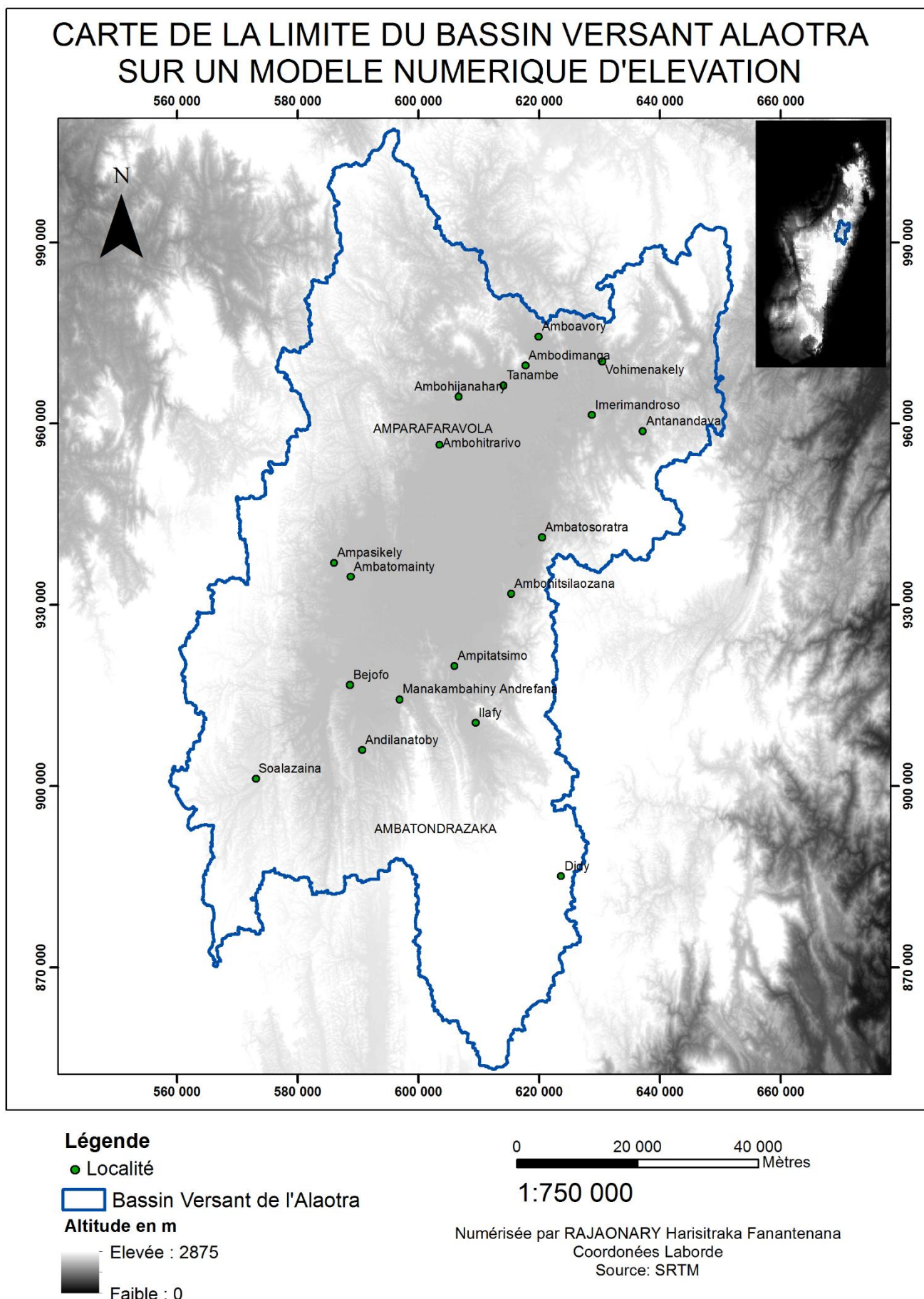


Figure.28 Carte de la limite du bassin versant d'Alaotra sur un modèle d'élévation

Une fois la limite du bassin versant délimité, nous obtenons également la carte des sous-bassins versants (Fig.29). Celle-ci étant classifiée pour jouer le critère « Forme du bassin versant » pour éviter la répétition. Nous pouvons à présent calculer l'indice de Gravelius pour déterminer la forme de notre bassin versant.

VI.3.1 Calcul de l'indice de Gravelius du bassin versant

Swat est muni d'un outil de calcul qui permet d'évaluer les paramètres morphologiques d'un bassin versant.

D'après la table attributaire qu'a donné la délimitation du bassin versant en format shapefile. Le bassin versant d'Alaotra a une superficie de $A=7418172973,52659 \text{ m}^2$ soit 741817ha, et un périmètre de $P=875824,9564\text{m}$ (876km)

Calculons l'indice de Gravelius :

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = \frac{875824,9564}{2\sqrt{\pi * 7418172973,52659}} = 1,6184$$

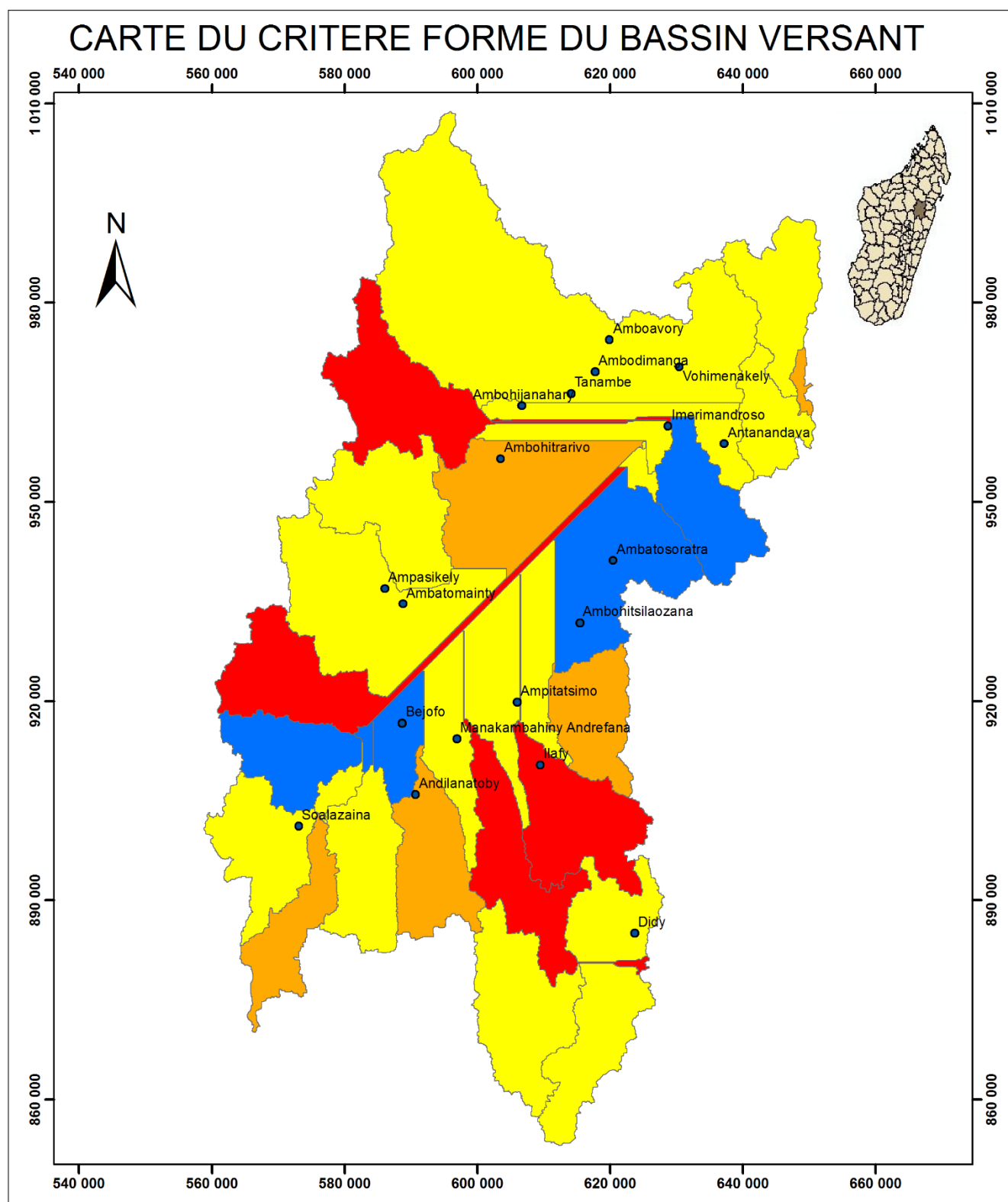
Comme $K_G > 1$: Le bassin a une forme allongée.

VI.3.2 Calcul de l'indice de Gravelius des sous-bassins versants

La détermination de l'indice de Gravelius qui traduit la forme du bassin est utile car nous avons opté ce paramètre morphologique comme critère de vulnérabilité à l'érosion hydrique. Ce coefficient est égal à l'unité lorsque la forme du bassin est un cercle parfait, vaut 1,13 pour un carré et peut excéder 3 pour des bassins très allongés [20] Ainsi, nous avons pu classifier les sous-bassins versants selon leur forme (Tableau 12).

Tableau 12: Caractéristiques morphométriques des sous-bassins versants

N°	Périmètre (m)	Surface (m ²)	Altitude (m)	Indice de Gravelius
1	114 517,59	209 413 351,36	1136,00	2,232
2	37 014,03	16 495 481,62	758,00	2,571
3	293 853,17	1 243 940 519,23	913,00	2,350
4	90 189,12	137 218 251,42	855,00	2,172
5	123 032,55	154 461 126,71	754,00	2,793
6	97 140,11	211 262 958,97	1106,00	1,885
7	64 818,00	8 583 690,00	760,00	6,241
8	209 051,08	324 911 922,94	852,00	3,272
9	82 195,48	89 468 172,67	755,00	2,451
10	35 797,61	23 350 354,94	761,00	2,090
11	127 550,70	372 677 100,98	754,00	1,864
12	148 751,22	295 725 866,07	863,00	2,440
13	193 411,34	387 768 388,83	757,00	2,771
14	90 362,89	142 080 076,21	758,00	2,139
15	104 959,98	196 934 161,82	809,00	2,110
16	161 784,33	482 604 199,48	914,00	2,077
17	103 569,78	162 380 466,15	776,00	2,293
18	131 895,07	201 003 297,53	952,00	2,624
19	260 314,64	308152210,655	924,00	4,183
20	63 427,80	101524595,481	787,00	1,776
21	22 243,17	12011126,45	766,00	1,811
22	96 097,46	193997436,41	887,00	1,946
23	181 768,43	290448822,00	893,00	3,009
24	47 614,29	32855074,13	819,00	2,343
25	126 855,60	233382759,01	873,00	2,342
26	120 078,38	225999426,15	914,00	2,253
27	139 367,38	233095879,98	856,00	2,575
28	129 288,45	167204545,85	960,00	2,821
29	93 664,61	158130143,50	1028,00	2,101
30	29 715,49	7187047,37	1028,00	3,127
31	197 929,49	263202965,96	966,00	3,442
32	119 383,28	222270013,08	1054,00	2,259
33	147 534,80	308431539,48	1061,00	2,370



Légende

• Localités

Indice de Gravelius

- > 3: très fortement allongé
- 2,5- 3: fortement allongée
- 2- 2,5: Moyennement allongée
- 2 <: allongée

1:750 000

0 20 000 40 000 Mètres

Numérisée par RAJAONARY Harisitraka Fanantenana
Coordonnées Laborde Madagascar
Source: DEM Madagascar

Figure.29 Carte du critère forme de bassin versant