

LISTE DES ABREVIATIONS

CTGREF : Centre Technique de Génie Rural, des Eaux et Forêts.

CNEAGR : Centre National d'Etude et d'Application du Génie Rural.

BV : Bassin Versant.

CSB : Centre de Santé de Base

CEG : Collège d'Enseignement Général.

B.C.E.O.M. : Bureau Central d'Etude pour les Equipements d'Outre-Mer.

ORSTOM : Organisme de Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer.

FTM: Foibe Taosaritanin'ny Madagasikara.

Ar: Ariary.

SRI : Système de Riziculture Irrigué.

PSDR : Projet de Soutient au Développement Rural.

INTRODUCTION GENERALE

Dans le cadre de développement rapide et durable et pour réussir le pari sur l'autosuffisance alimentaire d'ici quelques années, l'Etat Malagasy met en priori l'amélioration des productions en particulier la production agricole. Parallèlement à cette idée d'amélioration de production, la Commune Rurale d'Ambohibary, souffrante des problèmes d'inondation, veut réaliser un projet de révision du réseau de drainage de la vaste plaine. Le Maire de cette commune nous a donc envoyé le message suivant :

« Suite aux inondations périodiques subies par la zone rizicole d'Ambohibary notamment dans les Fokontany de Tsarazamandimby, d'Ankeniheny III et d'Ambatomainty Fihaonana dues aux fortes pluies et des cyclones, nous, Commune rurale d'Ambohibary sollicite l'étude approfondie de la solution pérenne à ces problèmes. »

Afin de traiter de manière beaucoup plus rationnelle l'étude de ce thème, nous allons le diviser en quatre grandes parties :

La première partie est entièrement consacrée à l'étude de l'environnement du projet.

La deuxième partie présente l'approche théorique du drainage.

La troisième partie montre une nouvelle proposition d'aménagement.

Et en fin, on parlera les impacts environnementaux du projet.

PARTIE I : ENVIRONNEMENT DU PROJET

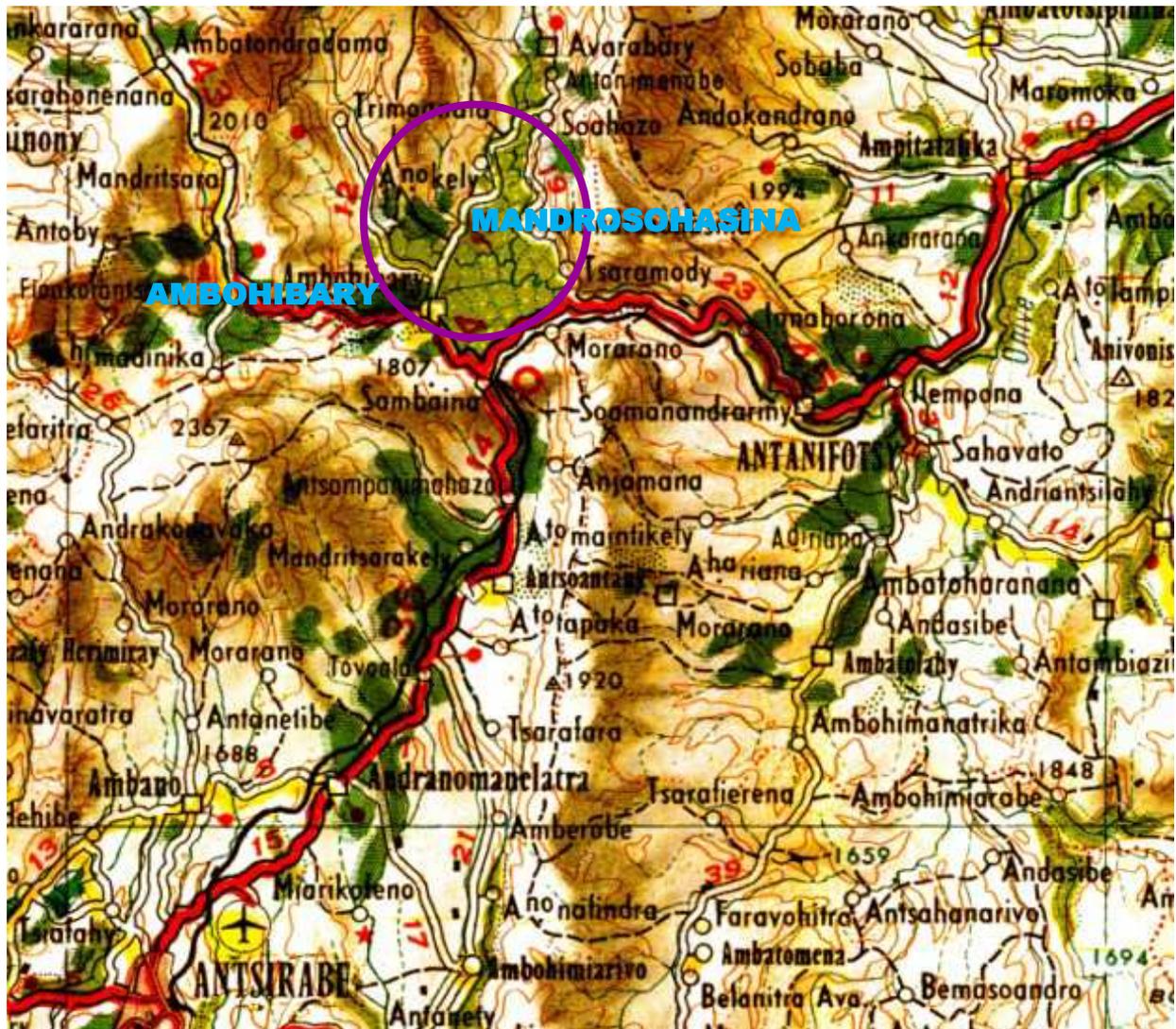
CHAPITRE I : PRESENTATION DU PROJET

I.1 : Localisation du projet

Rappelons que le projet consiste à réviser le système de drainage du périmètre d'Ambohibary-Mandrosohasina dont la superficie géographique brute est de 3420 ha, comprend 2620 ha de rizières, 560 ha de cultures sèches (bourrelet de berges, zones non dominées) et 240 ha d'exclusion diverses (zones habitées, parties fréquemment inondées). Ce périmètre est encadré sur le flanc Nord-est de l'ANKARATRA, la plaine d'Ambohibary s'étale entre 1660 et 1640 mètres d'altitude, à 30 km au nord d'ANTSIRABE. Elle est limitée par des chaînes montagneuses qui la dominent de 150 à 300 mètres. Elle est traversée du nord au sud par la rivière ILEMPONA et d'ouest en l'est par l'AMBOROMPOTSY qui assurent le drainage général.

Située en bordure de la route nationale ANTANANARIVO-ANTSIRABE (RN7), ce périmètre est de plus, favorisé pour l'acheminement de ses productions vers les grands centres urbains. L'enquête agro-socio-économique a montré que les exploitants agricoles cultivant sur le périmètre représentaient 79 000 personnes se répartissant dans 105 hameaux et deux communes rurales : la commune rurale d'AMBOHIBARY-SAMBAINA et la commune rurale de MANDROSOHASINA.

La présente carte montre la zone du projet:



(Carte de la FTM au 1 :50 000)

I.2 Historique

Avant l'année 1996, la commune MANDROSOHASINA était parmi les 13 Fokontany de la commune AMBOHIBARY SAMBAINA. Après cette année MANDROSOHASINA est devenue une commune rurale indépendante issue de 10 Fokontany contre 19 Fokontany pour l'autre commune. Quant au fleuve, passant par le Fokontany Tsaramody Ambalafeno (commune Mandrosohasina), Ankeniheny III (Ambohibary) et Tsarazazamandimby (Ambohibary), il existait depuis l'âge du Roi et fut redimensionné par l'entreprise SOGEA en 1988 mais ce redimensionnement n'a pas pu résoudre le problème d'inondation dans cette zone.

CHAPITRE II : ETUDE SOCIO-ECONOMIQUE

II.1 contexte social

II.1-1. Démographie

La démographie est l'étude des populations humaines principalement du point de vue quantitatif. Elle traite les caractéristiques sociales d'une population précise et son développement dans le temps. L'étude démographique est très importante afin de prévoir la croissance de la population dans la zone d'influence. L'estimation de la population de chaque commune est montrée dans les tableaux ci-après (chiffres en 2007) :

Tableau 1 : Répartition de la population par âge et par sexe dans la commune d'AMBOHIBARY SAMBAINA :

FOKONTANY	0-5		6-10		11-18		19-49		50-59		+de60		total	
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F
ANOSY ATSOFIMBATO	327	341	152	154	141	153	325	319	320	322	59	73	1324	1362
FARAVOHITRA SAMBAINA	217	209	159	156	152	158	209	207	204	202	44	51	985	983
MORARANO III	191	227	119	122	121	123	168	151	165	157	45	51	809	831
MORARANO TRAFONOMBY	249	291	379	332	381	387	232	237	193	184	21	36	1455	1467
AMBOHIMA – NDROSO II	228	253	192	193	183	197	214	212	164	168	61	68	1042	1091
ANDRANOKEY	227	264	143	152	147	151	217	201	203	204	67	63	1054	1035
INANOBE MANERINERINA	263	252	147	149	141	145	188	183	161	167	76	66	976	962
MADERA AMBOHIMADINIKA	327	387	233	256	219	253	237	232	199	198	59	72	1274	1398
KIANJASOA ATSIMONDAPA	669	579	339	305	332	309	431	417	401	397	75	82	2248	2089
MANDRITSARA	186	142	207	210	209	204	222	231	215	214	36	34	1075	1035
AMBOHIBARY ITM	2287	2392	1429	1284	1437	1287	589	584	561	560	176	204	6479	6311
TSARAZAZA- MANDIMBY	509	577	293	321	297	325	247	242	206	209	87	122	1639	1796
ANKENIHENY III	268	273	153	144	162	152	149	141	137	134	51	67	920	911
MAHTSINJO MIARADIA	279	382	157	203	122	206	262	259	241	243	181	183	1242	1476
SAHABE TETEZANA	69	88	51	27	63	28	68	63	62	68	13	17	333	285
SAMBAINA GARA	67	86	84	64	77	78	134	130	128	133	37	39	527	530
AMBATOMAITY FIHAONANA	595	623	258	341	269	311	288	286	277	279	108	119	1795	1959
FENOMANANA	317	402	237	253	232	251	179	177	171	173	69	71	1205	1327
AMBOHI- TRANDRIANA	189	182	149	147	143	142	148	143	145	141	58	53	832	808
TOTAL	7514	7950	4883	4828	4860	4860	4507	4139	1189	1177	1325	1471	27214	27656

POPULATION TOTALE : 54 870

Source : commune rurale AMBOHIBARY SAMBAINA

Tableau 2 : Répartition de la population par âge et par sexe dans la commune de MANDROSOHASINA :

FOKONTANY	0-5	5-15	Totale population
SOAFIANATRA MANDROSOHASINA	908	700	4370
TSARAMODY AMBALAFENO	380	852	3118
TONGASOA AMBANIMASO	196	531	2169
AMPARIHY	150	174	1204
TSARAHONENANA	402	176	1369
MANJAKAMIADANA AVARABARY	1051	444	2862
MIARINTSOA SOHAZO	137	308	1718
AVARABARY FANANTENANA	191	423	2055
TONGASOA KIANJANAKANGA	487	778	3097
BETAMPONA MAHAVOKATRA	362	418	2060
TOTAL	4264	4804	24022

Tableau 3 : récapitulation du nombre de population dans la commune MANDROSOHASINA

	0-5		6-17		18-60		plus de 60		totale	
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F
	1898	2366	4806	4823	4108	4244	849	928	13893	10129
TOTALE	4 264	9 629	8 352	1 777	24 022					

M : masculine **F** : féminine **6-10** : de 6 ans à 10 ans

Source : commune rurale MANDROSOHASINA

II-1.2 Infrastructures sanitaires et sociales

Les infrastructures sanitaires et sociales (écoles, hôpitaux...) d'une région constituent un baromètre indiquant son développement et sa potentialité. Les tableaux suivants montrent la proportion de Fokontany dans chaque commune intéressée disposant de certaines infrastructures :

Tableau 4 : nombre de Fokontany bénéficiaires de certaines infrastructures

Infrastructures	Communes	
	AMBOHIBARY	MANDROSOHASINA
Ecoles primaires publiques	19	7
Ecoles primaires privées	6	4
Centres de formation professionnelle	3	1
CEG	1	1
Lycées publics	0	0
Lycées privés	3	0
Hôpitaux	1	1
Cliniques privées	1	0

II.1-3 Alphabétisation

Les deux communes possèdent chacune un CEG et la majorité des Fokontany bénéficie d'une école primaire publique et/ou privée. En plus, dans la commune d'AMBOHIBARY, il y a trois lycées privés et une université privée. Les chiffres donnés par le ZAP (Zone d' Administration Pédagogique) indiquent que le taux d'alphabétisation des enfants de 6 à 15 ans est actuellement au dessus de 80% grâce aux divers encouragements de l'Etat (apport de fournitures scolaires).

II.1-4 Santé

Les deux communes bénéficient d'un CSB II chacun à part l'existence des cabinets médicaux privés. Ces CSB II sont en bon état et possèdent des docteurs ; des infirmeries et dentistes.

Les maladies fréquemment recensées et soignées dans ces CSB II sont essentiellement la diarrhée et des autres infections non graves. Comme les deux communes ne sont pas loin de la ville d'Antsirabe (environ 40Km), les gravement malades y sont évacués.

Parallèlement, les guérisseurs traditionnels et les matrones restent encore très actifs dans la région. Une partie de la population a la confiance et l'habitude de les consulter cela rend délicat les activités des CSB II ; les hôpitaux ne sont consultés qu'en dernier recours. Cet attachement aux pratiques traditionnelles constitue une contrainte tenace pour les services sociaux de base.

II.2 : Potentialité économique de la zone d'influence

II.2-1 : Production agricole

La région Vakinakaratra est une région à très haute potentialité agricole surtout dans la production des cultures vivrières (légumineuses, riz). En effet, le climat, la température, l'humidité et le sol à type volcanique et argileux sont favorables à la forte production agricole dans cette zone.

II.2-1-1 : La riziculture irriguée

a- Types de rizicultures

Seule est pratiquée la culture de « VARY VAKIAMBIATY » qui correspond à la saison des pluies avec les pépinières de Septembre permettant les récoltes de fin Mars à fin Mai.

La zone sud du périmètre dispose de ressources en eau d'irrigation plus importantes et à peu près permanentes permettant un cycle rizicole plus précoce = pépinières du 15 Septembre à fin Octobre et récolte du 15 Mars à fin Avril.

La zone nord a des ressources en eau plus limitée et dépend de la pluie ; la mise en place des rizières est plus tardive avec des pépinières du 1 Novembre et récolte en Avril- mai.

b- Caractéristiques techniques

- Variétés

De nombreuses variétés locales sont cultivées, la variété vulgarisée étant le « vary tangongo ». Son cycle est d'environ 180 jours à l'altitude d'AMBOHIBARY (1650 m).

- Utilisation des facteurs de production

Les intrants sont peu utilisés. Les enquêtes ont montré que sur l'ensemble des parcelles cultivées en première culture (saison des pluies) dont 80% sont en riz et 20 % en cultures sèches (points hauts), l'utilisation des intrants est la suivante :

- 27% des parcelles sont cultivées avec semences sélectionnées;
- 27% des parcelles sont fertilisées par des engrais chimiques;
- 46% par des engrais biologiques.

- Repiquage

Le repiquage est pratiqué sur la totalité des rizières.

Les enquêtes ont montré les caractéristiques suivantes:

- ✓ Repiquage en ligne : la totalité des parcelles est repiquée en ligne, le repiquage en foule n'y est plus pratiqué;
- ✓ Age moyen des plantes repiqués = 45 jours (optimum 35-50j)
- ✓ 84 % des parcelles sont repiquées avec des plants de 30-45 jours
- ✓ 13% des parcelles sont repiquées avec des plants de 45-60 jours
- ✓ 3% des parcelles sont repiquées avec des plants de plus de 60 jours
- ✓ Dates de pépinières:
 - Octobre =8%
 - 1 – 15 Novembre = 27%
 - 15 – 30 Novembre = 30%
 - 1 – 15 Décembre = 33%
 - 15 – 31 Décembre = 12%

c- Rendement

Plusieurs sources permettent une estimation des rendements.

- Les enquêtes GERSAR-MAMOKATRA donnent un rendement moyen de 2,4 T/ha.

- La cellule suivi-évaluation de l'ODR donne les résultats suivants :
 - ✓ Méthode traditionnelle : 2,9 T/ha
 - ✓ Méthode améliorée sans engrais : 3,8 T/ha
 - ✓ Méthode améliorée avec engrais : 5,9 T/ha

Parmi un très petit échantillon de 32 paysans « suiveurs », on a compté 38% de paysans du premier type, 53% du deuxième type et 9% du troisième type, ce qui aboutit à un rendement moyen de 2,8 T/ha pour l'échantillon.

Mais cet échantillon est très petit et il est plus réaliste de retenir le rendement moyen de 2,4 T/ha pour l'ensemble du périmètre.

d- Diagnostic de la riziculture

A la suite des visites sur le terrain, des enquêtes et des discussions avec les paysans et les responsables, le diagnostic sur la riziculture est la suivante :

- Les cultures de riziculture améliorée sont généralement bien connues

C'est ainsi que le repiquage est pratiqué dans la totalité des rizières et en ligne et que l'âge des plants en repiquage est correct dans plus de 84% des parcelles.

- Les intrants sont encore peu utilisés :

Une parcelle sur trois seulement a bénéficié de fumure minérale, le fumier étant le plus souvent utilisé sur les pépinières. Des semences améliorées ont été achetées pour 9% des parcelles.

- La maîtrise de l'eau est imparfaite :

La disponibilité en eau d'irrigation est :

- Satisfaisante pour 37% des parcelles cultivées ;
- Insuffisante pour les restes des parcelles.

L'inondation touche plus de 60% du périmètre pendant les périodes des cyclones.

II.2-1-2 : Les autres cultures :

a- Les cultures de saison des pluies :

En saison des pluies, les cultures autres que le riz sont pratiquées sur les zones hautes non irriguées. Il s'agit essentiellement de maïs le plus souvent associé au soja et/ou haricot, de manioc et patate douce. D'après les enquêtes les rendements actuels seraient les suivants :

Tableau 5 : rendements actuels de quelques cultures de saison des pluies:

Spécifications	Rendement (tonnes/hectare)
Maïs	1.6
Soja	0.6
Haricot	0.4
Manioc	1.4
Patate douce	4.2

Ces rendements sont faibles, en particulier celui du manioc. Ceci est sans doute dû en partie au fait que ces cultures sont souvent en association.

b- Les cultures de contre-saison :

Les cultures de contre-saison sont les suivantes, par ordre d'importance (cultures pures sans associations) :

Tableau 6 : cultures de contre-saison.

Cultures	Superficie (ha)	Rendement (T/ha)
Pomme de terre	740	4.7
Carotte	540	8.3
Choux	250	6.7
Autres fruits et légumes	70	
Blé	25	2.7

Source : ONN Antsirabe

Ces cultures de contre-saison occuperaient 32% de la surface totale cultivable du périmètre.

c- Comportement d'autoconsommation

- La consommation annuelle de riz est très variable suivant les exploitations. Elle augmente progressivement de 100kg par personne dans les exploitations les plus petites pour atteindre 185kg dans les exploitations les plus grandes. On notera que la moyenne de ces deux extrêmes correspond à la norme nationale de consommation habituellement retenue (146kg/personne/an).
- 60% de production de pomme de terre est autoconsommée pour les petites exploitations. Cette proportion est inférieure à 26% pour les plus grandes exploitations, et elle est inférieure à 50% pour les deux exploitations moyennes. L'autoconsommation apparente est de l'ordre de 140 à 160kg de pomme de terre par personne et par an. De toute évidence, la pomme de terre est largement consommée par la population.
- la proportion d'autoconsommation et auto-provisionnement du maïs passe progressivement de 94% à 49% de l'exploitation la plus petite à la plus grande.
- en proportion, la carotte et les choux sont les produits les plus vendus.

II.2-2 : Le calendrier cultural

D'une part, le calendrier cultural varie selon la disponibilité de l'eau (cas de la riziculture), rappelons que le système d'irrigation utilisé est la prise en rivière ou plus précisément la prise avec barrage ; la distribution de l'eau est très difficile en saison non pluvieuse qui est la principale contrainte des cultivateurs au moment de l'épisode de semis et des repiquages. D'autre part, ce calendrier dépend du type de semences. Les tableaux suivant récapitulent le calendrier cultural des deux communes :

Tableau 7 : calendrier cultural des cultures de saison des pluies :

Activités	Type de cultures			
	Riz	Carotte	Maïs	Haricot
Préparation du sol	Juillet-Aout	Décembre	Mai	Mai
Semis	Septembre -Novembre	Janvier	Juin	Juin
Repiquage	Novembre - Janvier			
Sarclage	Novembre - Février	Février	Septembre	septembre
Moisson	Mars - Mai	Avril	Février	Janvier

Source : consultation menée sur place.

Tableau 8 : calendrier cultural des cultures de contre-saison :

Activités	Type de cultures			
	Pomme de terre	Carotte	Choux	Blé
Préparation du sol	Juin	Mars	Mai	Mai
Semis	Juillet	Avril	Juin	Juin
Repiquage				
Sarclage	Aout	Mai - Juin	Aout	Aout
Moisson	Octobre	Septembre	Novembre	Octobre

Source : consultation menée sur place

II.2-3: Les techniques de production

II.2-3-1 : Les techniques culturales

On peut dire que les techniques culturales sont déjà différentes des techniques traditionnelles même si la majorité des travaux agricoles se font manuellement. En effet, les cultures du riz sont tous en lignes, plusieurs cultivateurs utilisent le système SRI (ou Ketsa valo andro) pour cette production, utilisent des engins mécaniques pour labourer et ils utilisent aussi les moissonneuses batteuses. Les fumiers et les engrais biologiques sont habituellement utilisés pour la fertilisation du sol. En plus la présence des ONG (à citer l'ONG Tafa : « TAny sy Fampandrosoana » et la branche de la FIFAMANOR) qui forment les paysans, favorise le dynamisme de pratique des cultures suivant les techniques modernes. Schématiquement la mission assignée à FIFAMANOR (Flompiana-FAmbolena-MAlagasy-NORveziana) consiste à développer les cultures de blé et de la pomme de terre et à promouvoir l'élevage laitier dans la région du VAKINAKARATRA, en moyens d'actions basés sur la recherche et la vulgarisation.

II.2-3-2 : Les matériels agricoles

La plus pratique reste encore les mains d'œuvres ceci grâce à la surface des parcelles insuffisamment étendue pour l'utilisation des engins lourds ; on y rencontre souvent la bêche, la charrue, la herse, mais pour les parcelles à grande surface on utilise des tracteurs pour labourer et des « kibôta » pour herser ; presque les cultivateurs utilisent les moissonneuses batteuses.

II.3 : L'élevage

Même si la région est caractérisée par une saison très froide (Juin à Septembre) dont la température avoisine le 0°C, la population ne cesse pas sa production en matière d'élevage. Actuellement les vaches laitières et les porcins prédominent. Viennent ensuite les volailles et les zébus. L'élevage est indispensable à la population ; en effet, les bétails fournissent presque la totalité des engrais biologiques qui sont nécessaires pour fertiliser le sol et pour améliorer le rendement agricole. En 2007, après recensement, on a compté 4 500 têtes de vaches laitières, 14 000 zébus et plus de 35 000 porcins dans les deux communes.

II.4 : Autre activité : le commerce

Les échanges commerciaux interrégionaux apparaissent dynamiques au niveau de deux communes. La commune AMBOHIBARY est bénéficiaire d'un grand marché dont le marché hebdomadaire est chaque Jeudi. La majorité des produits légumineux sont évacués dans les villes avoisinantes et même dans des chefs lieu de province à citer Antsirabe, Fianaratsoa, Tuléar, Ambatolampy, Antananarivo, Toamasina et Mahajanga. La proximité de la route nationale RN7 facilite l'évacuation des produits agricoles. En général, ce sont les agriculteurs eux-mêmes qui assurent la vente de leurs produits. Le cours des produits proposés au marché local apparait relativement normal par rapport à celui des autres villes. Le tableau suivant donne le cours de quelques produits locaux.

Tableau 9 : Cours de quelques produits locaux (chiffres en septembre 2008)

Désignation	Unité	Prix (en Ariary)
Riz blanc	Kg	1 200
Pomme de terre	Kg	300
Carotte	Kg	200
Maïs égrené	Kapoaka	250
Haricot sec	Kg	1 600
Manioc	Kg	400

Source : consultation sur place

Les communes sont aussi avantagées par la présence d'un marché de bovidés ; le commerce des zébus et porcins est alors actif.

Les activités sociales et économiques peuvent donner un aperçu de la participation dynamique des populations au développement de cette région. Ce dynamisme facilitera la réalisation du projet.

II-5 Les problèmes et contraintes

II.5-1 Les problèmes de scolarisation

Le manque de personnels enseignants de bon niveau et des matériels pédagogiques (salles de classe, tables-bancs et des diverses fournitures) des Fokontany est le principal souci dans les deux communes. Ainsi, les parents d'élèves ont recouru à des enseignants suppléants (enseignants payés par le FRAM (Association des parents d'élèves)).

D'une part, les élèves souhaitant continuer leurs études au Lycée public doivent se rendre à Antsirabe car les Lycées Privés locaux sont trop onéreux. D'autre part, la majorité des parents n'arrivent pas à assurer les charges scolaires. Ces situations expliquent l'abandon précoce de la scolarisation.

II.5-2 Accès à l'eau potable

Les problèmes d'accès en eau potable sont marqués par l'accroissement des diarrhées traitées aux CSB II surtout pendant la saison des pluies. Les sources ou rivières où on va chercher de l'eau sont facilement polluées. Ce problème est reconnu surtout au niveau des Fokontany.

II.5-3 Sécurité publique

Seul le chef lieu de commune Ambohibary est équipé d'un poste avancé de la gendarmerie. Même la présence des quartiers mobiles (KM) au niveau de chaque Fokontany n'empêche pas les vols des récoltes sur pied et même dans les zones d'habitation.

II.5-4 Contraintes naturelles

Le plus remarquable est l'inondation due aux précipitations apportées par les cyclones ou par les averses prolongées. Elle touche le plus souvent les activités agricoles et les zones habités comme l'indiquent les photos suivantes:



II.6 : Le climat

L'année comporte deux saisons bien individualisées :

- Une saison pluvieuse et moyennement chaude : de Novembre à Mars ;
- Une saison fraîche et relativement sèche : d'Avril à Octobre.

La région fait partie du régime climatique tropical d'altitude, supérieur à 900m. Elle est caractérisée par une température moyenne annuelle inférieure à 13°C. Les températures ne présentent pas trop de risques pour les diverses spéculations agricoles, sauf quelques dégâts de gel qui sont enregistrés une année sur cinq.

La pluviométrie, au point de vue quantité de précipitation annuelle, ne présente pas de grande différence sur les statistiques de 20 ou 30 ans. C'est la répartition dans l'année, qui comporte parfois des mois secs trop longs au début de la saison, ne permettant pas ainsi un bon démarrage de la campagne agricole, surtout pour les rizicultures irriguées.

La dégradation de l'environnement (déforestation, feux de brousses successives augmentant les coefficients de ruissèlement des bassins versants et réduisant le taux d'infiltration) a des conséquences négatives sur l'agriculture :

- D'une part, en augmentant les risques d'inondation pour une même quantité de pluie ;
- D'autre part, en réduisant les périodes d'écoulement des rivières qui normalement jouent le rôle d'appoint pour le démarrage d'une campagne agricole en cas de retard des premières pluies utiles.

II.6-1 : Bilan thermique des cinq dernières années (station ANTSIRABE)

Tableau 10 : bilan thermique:

Année 2003												
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T°max	25.2	26	25.8	25.7	24.8	23.1	21.2	25	24.8	29.3	27.2	26.5
T°min	15.6	14.6	14.9	10.7	11.1	5.4	5.2	5.5	8.7	8.9	13.3	14.4
Année 2004												
T°max	26.3			25.3	22.6	21.2	22.1	23.9	25	26.1	25.7	25.8
T°min	15.5			11.9	8.5	6.3	6.6	6.3	10	12.6	12.3	15.1
Année 2005												
T°max	26.2	26.7	25.8	25.2	23.4	22	21.3	22.3	24.8		27.9	26.1
T°min	15.1	15	14.3	11.2	9.9	7.4	4.4	7.1	8		11.7	15.2
Année 2006												
T°max	26.4	26.4	27.2	25.9	24	23.4	21.6	23	25.7	27.8	28.1	25.9
T°min	14.5	14.5	13.9	12.3	8.7	8.6	7.8	7.2	7.4	9.9	12.4	14.7
Année 2007												
T°max	24	25.4	26.3	26.1	24.3	21.4	22.6	24.4	26.4	28	27.5	27.5
T°min	15.9	16.5	13.4	12.3	18	5.2	6.7	5.6	8.2	9.6	13.3	14.1
T°M/N	19.2	19.6	18.8	17.7	15	12.9	12.7	13.3	15.3	17.5	18.5	19.2

T°max= Température moyenne maximale.

T°min= Température moyenne minimale.

T°M/N= Température moyenne normale (moyenne mensuelle des 30 dernières années).

II.6-2 : Pluviométrie

La saison des pluies s'étale d'Octobre à Avril. La saison sèche bénéficie de légères précipitations variant de 13 à 27mm entre Mai et Septembre. A noter également la présence de nombreux brouillards matinaux en saison sèche qui permettent aux plantes de se réhydrater. Le tableau suivant donne les valeurs des pluies maximales mensuelles des cinq dernières années:

Tableau 11 : données pluviométriques des cinq dernières années :

Année 2003												
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	395.8	142.8	312.5	41	22.9	10.3	1.6	0	10.8	19	113.3	217.4
N	28	15	17	9	9	5	3	0	5	13	17	22
Année 2004												
P	211			26.5	21.9	1.5	6.1	16.3	32.2	228.4	148.8	401.4
N	21			9	6	6	3	3	8	18	11	23
Année 2005												
P	112.4	289.9	209	71	69	0.9	8.5	0	1.7		78.2	309.2
N	21	20	14	6	10	1	5	0	3		11	30
Année 2006												
P	113.8	106.8	139.6	70.5	38.8	8.3	42.3	5	1.5	11	97.7	273.4
N	16	13	10	13	4	5	6	1	2	4	13	19
Année 2007												
P	638.7	117.9	53.5	46	52.1	0.2	2.1	0	1.6	55.7	122.7	235.4
N	30	24	11	11	8	1	4	0	2	8	19	13

Source : Service de la Météorologie Malagasy AMPANDRIANOMBY

P= intensité de pluie tombée

N= nombre de jours d'observation.

Remarque : la hauteur de pluie en 12 Janvier 2007 est de 112.3 mm

II.7 : Conclusion

En conclusion ; les différents points suivants sont à souligner :

- La mise en valeur actuelle de la plaine est déjà importante avec un taux d'occupation du sol de l'ordre de 125% ;

Le riz occupe évidemment la première place avec plus de 70% de la surface cultivée.

Viennent ensuite la pomme de terre et la carotte avec respectivement 23% et 9% de la superficie cultivée. L'ensemble des cultures de contre-saison représente plus de 25% de la superficie totale cultivée.

- Le rendement moyen en riziculture est de 2.4T/ha ; il est relativement

Faible, en comparaison du rendement potentiel qui serait de 5 à 6T/ha. Les causes de ces rendements peu élevés seraient les suivantes :

- Utilisation très insuffisante des intrants, engrais en particulier ;
 - Maîtrise de l'eau imparfaite (irrigation et drainage) : un défaut de maîtrise de l'eau risquant de rendre vains les efforts consentis. L'amélioration des conditions de drainage étant la première condition de réussite des cultures.
 - Equipement encore insuffisant en matériel agricole par suite de la faible diffusion du crédit agricole.
 - Attaques phytosanitaires (bactérioses) dont l'importance croît avec l'altitude ; rendant indispensable la poursuite des efforts de la recherche appliquée pour déterminer les meilleures variétés adaptées à l'altitude et résistantes aux bactérioses.
- Les autres conditions précitées sont tout aussi impératives:
 - Développement de la culture attelée et amélioration de la distribution des intrants, ces deux aspects étant liés à l'extension du crédit agricole;
 - Poursuite des activités de la recherche appliquée;
 - Organisation des groupements de producteurs permettant une gestion autonome du périmètre;
 - Mise en place et renforcement des sécurités publiques.

PARTIE II : APPROCHE THEORIQUE DU DRAINAGE

CHAPITRE I : DEFINITIONS ET OBJET DU DRAINAGE

I-1 : Le drainage

Le drainage est un type d'assainissement agricole comportant la mise en œuvre de tous les procédés d'évacuation des eaux à la surface et/ou à l'intérieur du sol. On distingue donc :

- Le drainage superficiel
- Et le drainage profond

I-1-1 : Drainage superficiel

Il consiste à évacuer l'eau superficielle afin qu'elle ne constitue un excès d'eau à la surface du sol, néfaste aux cultures et aux zones d'habitations.

I-1-2 : Assainissement profond

Suite à un excès d'eau superficiel qui provoque une infiltration excessive, néfaste aux activités agricoles. En effet, les sols humides sont imperméables à l'air, les phénomènes biologiques indispensables à la vie des plantes sont impossibles. L'assainissement profond consiste à éliminer ces eaux excédentaires qui se trouvent à l'intérieur du sol. Mais dans notre cas on ne s'intéresse qu'au drainage superficiel.

I-2 : Objet du drainage

Le but de la révision du drainage dans cette zone est de supprimer ou de réduire la surélévation d'eau, première contrainte de la culture, sur les surfaces cultivables pour que ce sol soit rentable pour les agriculteurs.

I-3 : Différents systèmes de drainage

Il est essentiellement divisé en deux catégories :

- Le système gravitaire
- Le système par pompage

La topographie de la surface à drainer par rapport à celle de l'émissaire (rejet) conditionne le choix de système de drainage à adopter. Dans le cas de la plaine d'Ambohibary, le système gravitaire est applicable et est plus économique

après déroctage du seuil aval situé sur la rivière Ilempona à la sortie de la plaine car après ce travail de déroctage, on peut avoir la pente nécessaire et conditionne le choix du système gravitaire soit 0.04%.

CHAPITRE II : FACTEURS D'INONDATION

II-1 : Facteurs artificiels

II-1-1 : Insuffisance d'entretien du cours d'eau

Suite à un épisode pluvieux, un cours d'eau peut être soumis à des ensablements qui vont modifier son profil dont ce changement de profil va diminuer le débit de ce cours d'eau. Il est alors nécessaire de faire un entretien périodique du drain, si possible avant chaque saison des pluies.

II-1-2 : Dégradation du drain

Elle est essentiellement due aux activités des populations riveraines. En effet, les agriculteurs ne cessent pas de rétrécir le cours d'eau car ils continuent d'étendre leurs zones d'activités vers l'axe du fleuve. Il est donc préférable de matérialiser une limite qui détermine la fin des activités riveraines.

II-1-3 : Dégradation des bassins versants

La dégradation des bassins versants est classée parmi les plus dangereux pour les facteurs d'inondation. La dénudation du sol due aux déforestations accentue les risques sur l'écoulement superficiel. La masse et la vitesse de l'eau écoulée sur une surface peut effectuer des travaux plus ou moins dangereux:

- érosion
- transport et accumulation

Les matériaux de grande dimension seront déposés au pied du versant. Les cours d'eau jouent le rôle d'un moyen de transport des débris meubles fournis par l'érosion à faible dimension et ceux fournis par le façonnement du lit du cours d'eau au niveau d'un lit à faible pente ce qui varie le profil du cours d'eau.

L'effet néfaste de la dégradation du sol entre encore en jeu, autre que l'érosion, sur la rugosité ; c'est-à-dire sur la vitesse de ruissellement.

Rappelons que la vitesse de ruissellement dépend de la nature de couverture (types de végétation sur le bassin), de la pente de ligne d'eau et du rayon hydraulique :

Pour MANNING STRICKLER:

$$V = \frac{1}{n} R_H^{2/3} J^{1/2} \quad (II-1)$$

n= Coefficient de rugosité de la couverture du bassin versant

R_H =Rayon hydraulique

J= Pente de la ligne d'eau

-Plus le sol est dénudé, plus « n » est petit, plus la vitesse est grande (pour un sol n varie de 0.016 à 0.020).

-Plus le sol est boisé, plus « n » est grand, plus la vitesse est faible (zone boisée n varie de 0.025 à 0.1).

Ce qui traduit donc que le sol dénudé laisse l'eau ruisseler librement sur la surface tandis que la végétation ralentit le ruissellement.

II-1-4 : Insuffisance d'entretien de l'émissaire

Le premier ennemi d'un cours d'eau est le phénomène d'ensablement après passage d'une averse. Cet ensablement va modifier le profil du drain et ralentir l'évacuation de l'eau. Il est donc souhaité de pratiquer des travaux périodiques de désensablement et d'installer un système de réservoir (qui peut être des fossés à curer au moins une fois par an) des sables ou des terres érodées à chaque exutoire des versants pour que l'eau ruisselée ne les transporte pas au fond du drain.

II-2 : Facteurs naturels

Parmi les facteurs responsables de l'inondation ; c'est le ruissellement pendant ou après les précipitations qui joue le facteur principal.

Rappelle sur l'origine des précipitations

Le soleil réchauffe une flaque d'eau, une rivière ou les océans. Ensuite, l'eau s'évapore en captant la chaleur. L'eau se transforme en vapeur invisible qui vient s'ajouter à l'humidité de l'air ; cette vapeur d'eau s'élève jusqu'à ce qu'elle refroidisse et se condense en nuage porteur de pluie. La chaleur emmagasinée et libérée au cours de ce processus de condensation provoque parfois l'orage.

Mais comme nous savons que le ruissellement est une fraction de la précipitation, il y a donc une relation entre précipitation et ruissellement. Cette relation est très complexe, mais pour résoudre le problème on essaye de trouver un système intermédiaire qui permettra d'analyser ce système (pluie-ruissellement).

Ce système intermédiaire est le système de bassin versant qui présentent:

- Les caractéristiques physiques et géomorphologiques
- Les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques
- Les caractéristiques hydrologiques
- Les caractéristiques hydrographiques

II-2-1 : Les caractéristiques physiques et géomorphologiques d'un bassin versant

Pour analyser correctement les observations issues de tel ou de tel bassin, il est nécessaire de comparer les résultats d'analyse entre bassins, définies dans les méthodes d'appareillage mathématique et statistique, afin de rechercher les causes des variations des caractéristiques hydrologiques.

II-2-2 : Paramètres géométriques

▪ Superficie A en km²:

La surface d'un bassin versant peut être déterminée par diverses méthodes mais la plus pratique, facile et rapide est celle par planimétrie directe sur carte. Les principaux bassins versants influençant la zone à étudier sont les suivants :

+Tableau 12 : les principaux bassins versants :

Bassins versants	Superficie en km ²
AMBOROMPOTSY	136.5
TRIMOANALA	67.5
ANDALATSOAVALY	16.5

ANKIANJANAKANGA	43.8
AMBOHITROMBALAHY	42.6
	Total :
	306.9

- Indice de compacité de GRVELIUS C_g :

Un bassin versant est aussi caractérisé par son indice de forme ou indice de compacité C_g qui est un coefficient obtenu par le rapport du périmètre du bassin Ω et du périmètre du cercle de surface équivalent (en km).

$$C_g = 0.28\Omega A^{-1/2} \quad (II-2)$$

Ω [km] s'obtient par mesure à l'aide d'un « curvimètre »

- Rectangle équivalent

Le rectangle équivalent est introduit par M. ROCHE pour comparer des bassins versants, comportant un même indice de forme, entre eux du point de vue caractéristiques sur l'écoulement. Il est caractérisé par sa longueur L (km) et sa largeur l (km).

$${}^1L = A^{1/2} \frac{C_g}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{C_g} \right)^2} \right] \quad (II-3)$$

$$l = A^{1/2} \frac{C_g}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{C_g} \right)^2} \right] \quad (II-4)$$

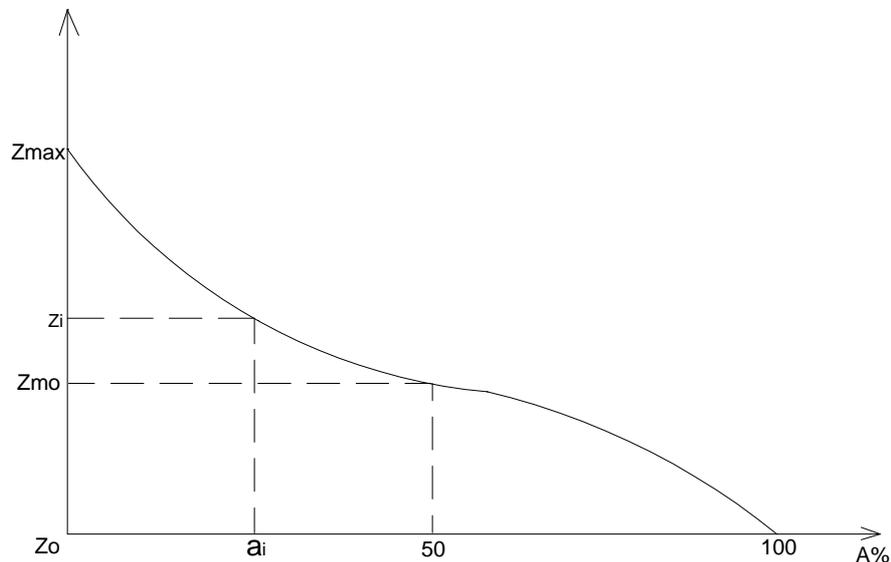
Si $C_g=1.12$, le rectangle équivalent est réduit à un carré

Si $C_g=1$, le bassin versant est de la forme circulaire

II-2-2-1 : Répartition hypsométrique d'un bassin versant

Le relief d'un bassin versant est caractérisé par sa courbe hypsométrique. C'est une courbe représentative de la portion de surface du bassin versant en fonction de l'altitude.

¹ROCHE : Hydrologie de surface ; 1963.

Figure 2 : courbe hypsométrique:

Où Z_0 l'altitude de l'exutoire

Z_{max} l'altitude du point culminant

$a_i\%$ correspond à la surface A_i dont l'altitude des points de cette surface est supérieure ou égale à Z_i et l'altitude moyenne Z_{mo} correspond à la moitié de la surface totale du bassin versant.

II-2-2-2: Paramètre de relief

Les indices de pente se déterminent à partir de la connaissance de la répartition hypsométrique. Pour une détermination précise, il faut que le dénivelé considéré soit supérieure ou égale à trois fois l'équidistance des courbes de niveau.

- Indice de pente de ROCHE

$$I_P = L^{1/2} \sum_i^n \sqrt{a_i d_i} \quad (\text{II-5})$$

Avec a_i le pourcentage de la surface A comprise entre deux courbes de niveau voisines distantes de d_i

- Indice de pente globale (ou pente moyenne)

$$I_g = \frac{D}{L} \quad (\text{II-6})$$

où $D=Z_5-Z_{95}$ avec Z_5 et Z_{95} sont respectivement les altitudes aux surfaces égales à 5% et 95%.

- Pente moyenne pondérée (m/km)

$$P_p = \frac{1}{A} \sum_i^n \frac{A_i}{d_i} (Z_{(i+1)} - Z_i) \quad (\text{II-7})$$

A_i : est la surface entre deux courbes de niveau de côte $Z_{(i+1)}$ et Z_i .

II-2-3 : Caractéristiques géologiques et hydrogéologiques

II-2-3-1 : Caractéristiques géologiques

La nature géologique du sol influe beaucoup sur le phénomène d'inondation. La géologie du terrain peut conditionner aussi la forme géométrique du versant et du cours d'eau. On rencontre souvent dans la région Vakinakaratra les roches métamorphiques et magmatiques, fortement oxydées sous l'influence de la variation des températures (de l'ordre de 0 à 30°C dans la zone d'étude) et érodées par le vent et de l'eau. Suite à l'érosion, des débris et fragments de sol sont transportés puis déposés par le ruissellement dans les zones à pente faible et forme les roches sédimentaires. Cette formation de roches sédimentaires est rencontrée souvent dans les zones montagneuses à Madagascar. Et ces horizons d'altération sont sensibles à l'érosion et aux éboulements en absence de couvertures végétales.

II-2-3-2 : Caractéristiques hydrogéologiques et pédologiques

Le ruissellement dépend étroitement de la perméabilité du sous-sol et on peut citer deux types d'écoulement :

- Ecoulement superficiel : il y a lieu écoulement superficiel quant le sous-sol est imperméable.
- Ecoulement souterrain : le sol est parfaitement perméable. L'eau rejoint les nappes souterraines, l'écoulement superficiel ne présente qu'une faible part de l'impluvium.

La potentialité au ruissellement dépend de la porosité du sol et de son coefficient de perméabilité capillaire.

Dans le cas des hauts plateaux malgaches, y compris notre zone d'étude, la pluie étant saisonnière, les gros orages et cyclones succèdent généralement d'autres épisodes pluvieux ; de ce fait on peut adopter que les sols sont déjà saturés lorsque ces cataclysmes se produisent, et l'écoulement superficiel est plus remarquable pour cette zone.

II-2-4 : Caractéristiques hydrographiques

Pour chaque versant considéré, le cours d'eau ou rivière joue un rôle très important pendant la période de crue. Les réseaux hydrographiques assurant l'évacuation des eaux sont parfois appelés en hydrologie : réseaux de drainage. C'est ainsi qu'ils doivent recevoir les quantités excédentaires d'eau ruisselée.

La capacité d'un réseau de drainage pour qu'il puisse recevoir ces quantités excédentaires dépend de ses caractéristiques géométriques: ses profils (en long et en travers), la géologie du terrain...

II-2-4-1 : Profil d'un cours d'eau

Grâce à la géologie du terrain dans la région Vakinakaratra, le profil d'un cours d'eau varie en fonction du temps sous l'effet de corrosion de l'écoulement (soit latérale soit au fond du lit).

II-2-4-2 : Profil en long

Le profil en long d'un drain est une représentation à l'échelle de ce cours d'eau en portant en abscisse la longueur et en ordonné les côtes du fond. Sur ce profil, on peut représenter aussi la côte d'eau qui varie en fonction du temps.

D'après le levé sur terrain du drain en question, on observe, sur le profil en long, une certaine irrégularité de pente ; cette irrégularité peut être due à l'érosion ou dépôt d'alluvions sur le lit du fleuve.

La pente moyenne étant donnée par la formule :

$$I = \frac{\sum D_i}{\sum L_i} \quad (\text{m/m}) \quad (\text{II-8})$$

D_i : Dénivellation pour une longueur L_i

Une pente localement plus faible que la pente moyenne signifie la présence d'un substratum plus résistant. On constate de plus, pour un fond alluvial meuble, que des ondulations (dunes, rides et antidunes) se produisent ; elles se déforment, évoluent et contribuent à accroître la turbulence. Il y a donc une perte de charge.

II-2-4-3 : Profil en travers

Suivant la phase d'évolution d'un cours d'eau, son profil change. Le profil en travers varie d'un point à un autre et c'est à partir de ce profil en travers qu'on peut déterminer les paramètres caractéristiques du lit tels que :

- Le périmètre mouillé B ;
- La section mouillée S ;
- Le rayon hydraulique $R_h = \frac{S}{B}$.

Rappel sur quelques définitions

a- Section mouillée :

C'est une partie du cours d'eau, perpendiculaire à l'axe de ce canal, limitée par les parois et la surface libre.

b- Périmètre mouillé :

Périmètre droit du canal en contact avec l'eau à l'exception de la surface libre.

c- Rayon hydraulique :

C'est le rapport entre la section mouillée et le périmètre mouillé.

II-2-4-4 : Tracé en plan

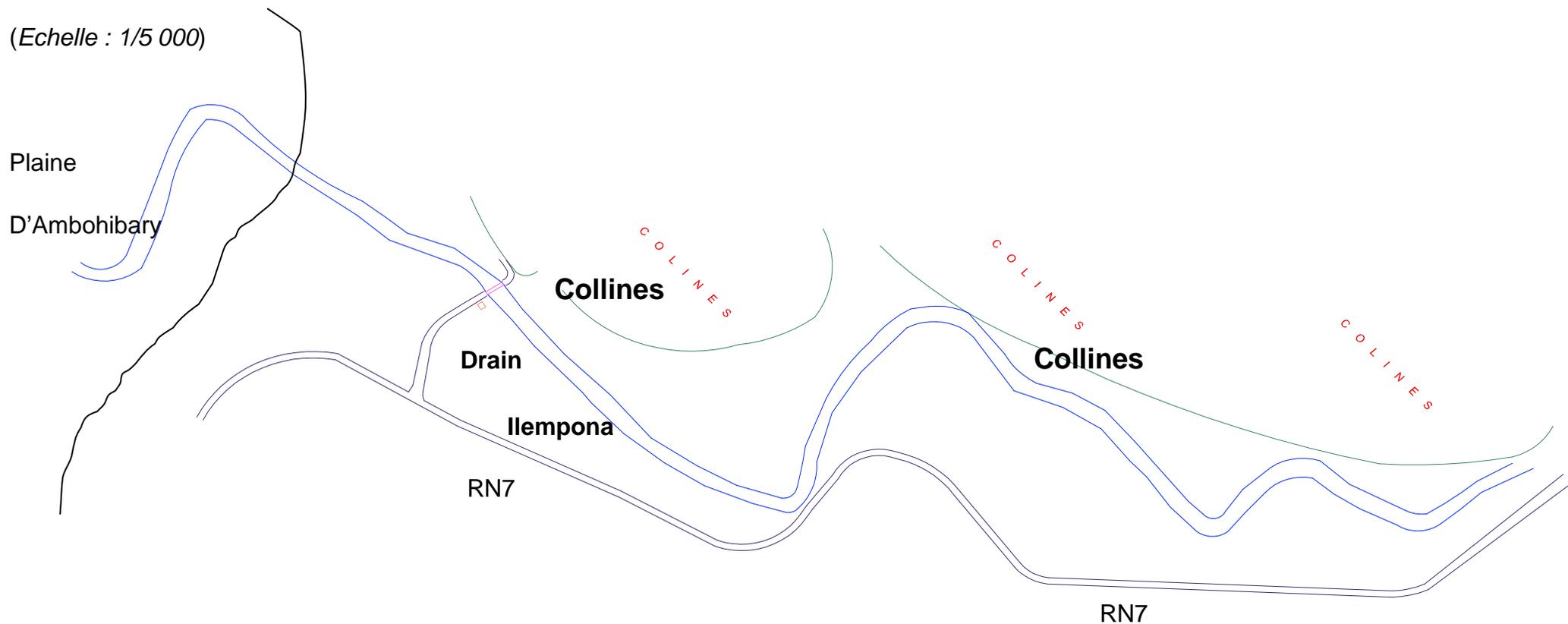
Quant au drain unique en question ; on constate que le tracé en plan se présente sous deux types :

- Lit rectiligne
- Lit à méandre : qui est caractérisé par une succession de boucles. En général, cette ondulation du lit est naturelle ; prend la forme du talweg où doit passer le cours d'eau.

Le tracé en plan de la rivière Ilempona à la sortie de la plaine est représenté par le plan ci-après (page suivante). C'est un plan levé sur place avec une Station Totale (T1610). A défaut de points de calage (points géodésiques ou repère de nivellement), nous avons recours à un levé local c'est-à-dire qu'on a donné aux points de référence des coordonnées fictives.

Figure 3 : tracé en plan du drain à la sortie de la plaine:

(Echelle : 1/5 000)



II-2-5 : Caractéristiques hydrologiques

L'écoulement surfacique de l'eau est causé en général par les précipitations atmosphériques, les pluies saisonnières, mais il est aussi dû aux diverses cataclysmes naturels (averse prolongé, cyclones). Ces derniers peuvent entraîner jusqu'à l'inondation de la plaine.

ClicCours.com

CHAPITRE III : ESTIMATION DE DEBIT DE CRUE

Il est préférable d'installer un certain nombre de stations de jaugeage permettant de relever le débit d'un cours d'eau pendant une série d'années d'observation aussi long que possible. Les données indispensables sont :

- la crue maximale probable : c'est la crue maximale qui pourrait se produire dans les plus mauvaises et plus critiques conditions météorologiques et hydrologiques. On l'appelle aussi crue exceptionnelle

- la crue historique : crue maximale observée à un endroit donné, estimée à partir des enquêtes menées sur place. C'est un débit maximal instantané.

Pour le cas du drain de la plaine d'Ambohibary, il est dépourvu de station de jaugeage. Il faut donc déterminer ce débit de crue par d'autres méthodes.

III – 1 : Débit maximal en fonction de la hauteur de pluie maximale précipitée dans 24 heures

A défaut d'insuffisance de données de mesure de débit et par la présence des stations pluviométriques dont on a effectué une série d'observation, on peut utiliser cette méthode qui va prendre en compte les données pluviométriques journalières (24 heures).

Pour caractériser la fréquence de retour, on fait une étude statistique sur ces données en utilisant la loi de GUMBEL ou Fréchet (loi de probabilité extrême) ; on aura alors une hauteur de pluie $H(24,p)$: pluie maximal probable de 24 heures et de fréquence p .

Une averse est caractérisée par son intensité i qui est fonction de sa durée, de sa fréquence et de la surface A du bassin versant.

Compte tenu de ces paramètres, la hauteur de pluie moyenne $H(t, p)$ de l'averse précipitée sur le bassin peut s'exprimer par la relation :

$$H(t, p) = k_1 H(24, p) t^b A^{-c} \quad (II-9)$$

Où k_1 = facteur sans dimension dépendant de l'unité de H , t et A

t = durée de l'averse (heures) comprise entre 3 et 72 heures ;

A = surface du bassin versant (km^2) ;

A^{-c} = coefficient d'abattement ;

$$A^{-c} = \frac{\bar{i}}{i_{\max}} \quad (\text{II-10})$$

\bar{i} = intensité moyenne de l'averse tombée sur le bassin de surface A .

i_{\max} = intensité maximale de la même averse tombée sur le bassin.

Le coefficient d'abattement traduit la distribution spatiale non homogène de la pluie sur un bassin versant. Plus ce bassin est petit, plus ce coefficient est proche de l'unité.

b = paramètre variable suivant les régions dont le tableau suivant donne sa valeur :

Tableau 13 : valeur de b suivant les régions :

Régions	Valeur de b
ANTANANARIVO	0.14
IVATO	0.26
ARIVONIMAMO	0.28
FIANARANTSOA	0.26
TULEAR	0.24
MAHAJANGA	0.35
TOAMASINA	0.40
DIEGO	0.39
ANDAPA	0.27
MORONDAVA	0.29
AUTRES REGIONS	0.288

Le débit maximum observable à l'exutoire est alors donné par la relation :

$$Q(p) = A \frac{H_n(t, p)}{t_c} \quad (\text{II-11})$$

Où $H_n(t, p)$: est la hauteur de la lame d'eau écoulee de fréquence p ;

t_c : le temps de concentration du bassin [heures].

$$\text{Avec } H_n(t, p) = c_r H(t, p) \quad (\text{II-12})$$

$H(t, p)$ est donné par la formule (II-9)

C_r = coefficient de ruissèlement qui est fonction de la topographie du bassin versant (pente), sol (perméabilité) et la couverture végétales du bassin versant. Ce coefficient est d'autant plus élevé que le sol est imperméable, la couverture végétale est faible et la pente est forte.

$$c_r = k_2 \left(1 - \frac{\eta}{H(24, p)}\right)^\delta t^{-b} \quad (\text{II-13})$$

Où k_2 = constante dépendant de la forme du bassin

b et δ sont des exposants variables suivant les bassins

η = constante de même dimension que $H(24, p)$

Le temps de concentration t_c peut être déterminé par les différentes formules suivantes:

- **Californienne** :

$$t_c = 0.0663 \left(\frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0.77}$$

- **Passini**

$$t_c = 0.108 \left(\frac{AL}{I} \right)^{3/2}$$

- **Ventura**

$$t_c = 0.1272 \left(\frac{A}{I} \right)^{1/2}$$

Où t_c le temps de concentration [heures]

I : pente moyenne du bassin versant [m/m]

Après transformation, on a :

$$Q(p) = kA^\alpha I_g^\beta C_g^\varphi H(24, p) \left(1 - \frac{\eta}{H(24, p)} \right)^\delta \quad (II-15)$$

$Q(p)$: débit de fréquence p en [m³/s] ;

A : surface en [km²] du bassin versant ;

$H(24, p)$: hauteur de pluie journalière maximale en [mm] ;

C_g : coefficient de compacité de GRAVELIUS ;

I_g : pente moyenne du bassin versant (m/km).

α , β , φ , δ , k : sont déterminés à partir des débits observés sur un certain nombre de bassins versants. Louis DURET a trouvé, après analyses des bassins à Madagascar, les valeurs suivantes :

$$\alpha = 0.80$$

$$\beta = 0.32 \quad (\text{Facteur de pente})$$

$$\varphi = 0 \quad (\text{Facteur de forme qui n'intervient pas à la formule})$$

$$\eta = 36$$

$$\delta = 2 \quad (\text{Facteur de coefficient de ruissellement})$$

$$k = 0.025$$

Ces valeurs sont valables pour les bassins versants dont la surface A est supérieure à 5km² et de plus ;

- Pour un bassin versant dont la surface est supérieure à 150km² :

$$Q_p = 0.002 A^{0.8} I^{0.32} P_p^{1.39} \quad (\text{II-16})$$

- Si la surface du bassin versant est inférieure à 150km² :

$$Q_p = 0.009 A^{0.5} I^{0.32} P_p^{1.39} \quad (\text{II-17})$$

Où P_p : pluie maximale de 24 heures de fréquence p [mm] ;

A : surface du bassin versant en [km²] ;

I : pente moyenne du bassin versant en [m/km].

Pour les bassins versants qui ont de superficie inférieure à 5km², Louis DURET a proposé :

$$Q(p) = 0.278 A H(1, p) \left(1 - \frac{36}{H(24, p)}\right)^2 \quad (\text{II-17})$$

C'est une formule analogue à la méthode superficielle de Mr CAQUOT :

$$Q = k' c_r^\varphi A^\psi I_g^\omega \quad (\text{II-18})$$

C_r : coefficient de ruissellement (%);

A : surface du bassin versant (km²) ;

I_g : pente moyenne du bassin (m/km);

k' , φ , ψ , ω sont des constantes dépendant de la région.

III-2 : Méthode Empirique

Cette méthode pourrait être utilisée si les données permettant de faire des analyses précises sont insuffisantes. Par conséquent, les résultats obtenus à partir de cette méthode de détermination ne sont pas aussi précis.

Il y a deux types de formules Empiriques que l'on peut utiliser :

- Le débit est fonction de la surface du bassin

$$Q = f(A) \quad (\text{II-19})$$

- Le débit est fonction de la pluviométrie et la surface du bassin

$$Q = f(A, H) \quad (\text{II-20})$$

Or les données pluviométriques sont insuffisantes, on ne peut pas donc travailler sur cette deuxième formule.

Pour la première formule : $Q = f(A)$; MAYER a proposé la formule ci-dessous :

$$Q = \zeta A^E \quad (\text{II-21})$$

Avec E : coefficient compris entre 0.4 et 0.8.

ζ : Constante de MAYER variable pour chaque région

Remarque : pour les zones des hauts plateaux, le Génie Rural utilise la formule suivante:

$$Q = 6.5 A^{0.8} \quad (\text{II-22})$$

III-3 : Méthode de CTGREF

Le Centre Technique de Génie Rural, des Eaux et Forêts (CTGREF) utilise les formules suivantes pour déterminer :

a- L'apport annuel d'un bassin versant

$$Q_a = \frac{S}{31.5} \left(\frac{P}{B} \right)^{5/3} \left(\frac{Z_m}{100} \right)^{1/3}$$

Q_a : Apport annuel en l/s

S : Surface du bassin versant en km²

P : Pluviométrie annuelle

B : Paramètre régional (ses valeurs sont données en annexe)

Z_m : Altitude moyenne du bassin versant en m.

b- Apport mensuel d'un bassin

$$Q_m = \frac{Q_a * R * 12}{100}$$

Q_m : apport mensuel en l/s ;

Q_a : apport annuel en l/s ;

R : pourcentage de répartition mensuelle d'Aldegheri dont sa valeur pour le mois considéré est donnée par le tableau suivant :

Tableau 14 : pourcentage de répartition mensuelle d'Aldegheri :

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
R1	16.9	16.4	17	9.7	5.7	4.1	3.7	3.4	2.6	2.4	4.8	12.8
R2	17.9	18.1	20.5	8.75	4.8	3.7	3.05	2.65	2.05	2.0	4.4	11.6
R3	13.4	14.8	15.7	9.9	6.9	5.7	5.8	6.0	4.4	3.6	4.5	9.2
R4	23.7	18.9	17.1	6.6	3.7	2.7	2.3	1.95	1.53	1.5	3.2	15.7

R1 : hautes terres centrales ;

R2 : grands bassins sortie Nord- Ouest des hauts plateaux ;

R3 : bordure orientale des hautes terres ;

R4 : bassins du centre Sud, centre Ouest et petits bassins de la bordure occidentale des hauts plateaux.

III-4 Applications numériques

Prenons la formule de Louis DURET dont la surface du bassin versant est inférieure à 150 km².

$$Q_p = 0.009 A^{0.5} I^{0.32} P_p^{1.39}$$

- Pour le bassin d'AMBOROMPOTSY :

$$A = 136.5 \text{ km}^2$$

$$I = 7.5 \text{ m/km}$$

$$P_p = 103.3 \text{ mm}$$

$$Q_1 = 126 \text{ m}^3/\text{s}$$

- TRIMOANALA

$$A = 67.5 \text{ km}^2$$

$$I = 5 \text{ m/km}$$

$$P_p = 103.3 \text{ mm}$$

$$Q_2 = 78 \text{ m}^3/\text{s}$$

- ANDALATSOAVALY

$$A = 16.5 \text{ km}^2$$

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

$$P_p = 103.3 \text{ mm}$$

$$Q_3 = 51 \text{ m}^3/\text{s}$$

- ANKIANJANAKANGA

$$A = 43.8 \text{ km}^2$$

$$I = 4.5 \text{ m/km}$$

$$P_p = 103.3 \text{ mm}$$

$$Q_4 = 60 \text{ m}^3/\text{s}$$

- AMBOHITROMBALAHY

$$A = 42.6 \text{ km}^2$$

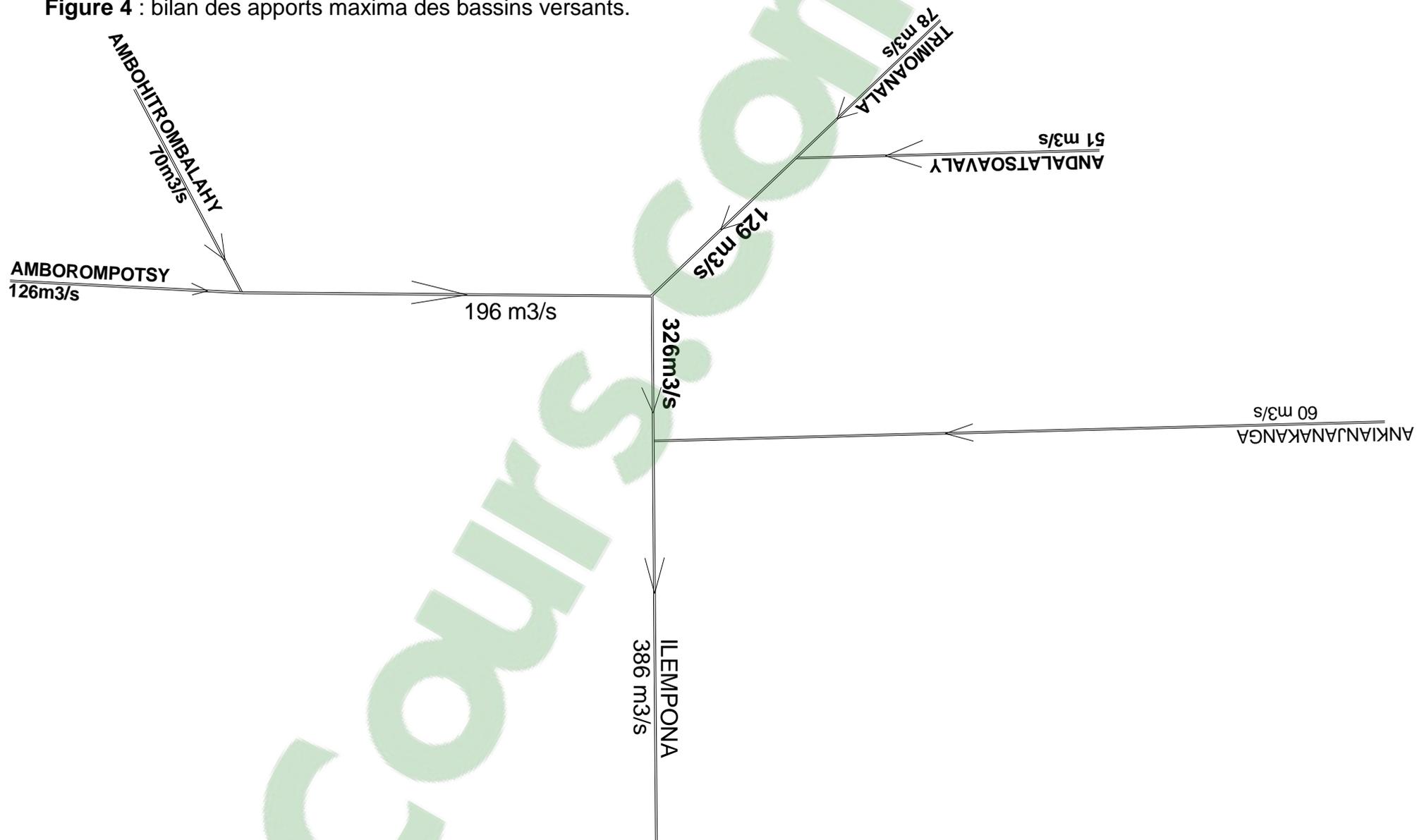
$$I = 7.5 \text{ m/km}$$

$$P_p = 103.3 \text{ mm}$$

$$Q_5 = 70 \text{ m}^3/\text{s}$$

Le graphe ci-après montre le bilan des apports maxima de chaque bassin versant:

Figure 4 : bilan des apports maxima des bassins versants.



CHAPITRE IV : ETUDE THEORIQUE D'ÉCOULEMENT D'UN COURS D'EAU

I- Introduction

Dans les chapitres précédents ; nous avons évoqué les principaux caractéristiques du système intermédiaire permettant de trouver la relation pluie-ruissèlement c'est-à-dire de trouver des formules mathématiques donnant le débit maximal apporté par les bassins versants ou bien de calculer le débit maximal à l'exutoire afin d'en déduire les différentes caractéristiques que l'émissaire ou le drain doit avoir (pente moyenne, largeur, côte de berge et les différents obstacles) pour qu'il puisse assurer le drainage de la plaine.

Le présent chapitre se concentre donc à l'étude de l'influence du débit sortant de l'exutoire des bassins versants sur les zones basses inondables : plaine.

II : Etude théorique de l'écoulement

L'étude de l'écoulement d'une rivière est généralisée en deux parties :

- Ecoulement en régime permanent ;
- Ecoulement en régime transitoire.

II-1 : Ecoulement en régime permanent

II.1-1 : Définition

L'écoulement est dit permanent si les variables caractéristiques de l'écoulement telles que débit, vitesse, section mouillée, profondeur de l'eau, pente sont toujours constantes. Si ces variables sont, en plus, constantes dans l'espace, on dit que l'écoulement est uniforme.

Dans le cas des cours d'eau naturels, l'écoulement uniforme est rarement rencontré.

II.1-2 : Caractéristiques d'un écoulement permanent

La rugosité du lit est caractérisée par le coefficient k appelé coefficient de rugosité. La vitesse de l'eau varie suivant la nature des parois. Elle est déterminée

par les formules semi-empiriques dont les plus usuelles pour l'écoulement des cours d'eau sont les suivantes :

- Formule de MANNING STRICKLER

MANNING et STRICKLER ont établi, pour un écoulement à surface libre, une relation entre :

- Vitesse moyenne dans la section V (m/s);
- La pente hydraulique J ;
- Le rayon hydraulique R_h ;
- La granulométrie moyenne des granulats constituant les parois.

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} J^{1/2} = K R_h J^{1/2} \quad (\text{II-23})$$

$$\text{Avec } K = \frac{1}{n} = \frac{21}{D_{50}^{1/6}}$$

D_{50} (mm) le diamètre des granulats moyens

K : coefficient qui varie suivant la nature des parois.

- Formule de CHEZY :

$$V = C_z \sqrt{R_h J} \quad (\text{II-24})$$

Où C_z est un coefficient caractéristique de la rugosité avec

$$C_z = \frac{87}{1 + \frac{\wp}{\sqrt{R_h}}} \quad (\text{Formule de Bazin})$$

Avec \wp le coefficient de CHEZY : pour une rivière en terre à parois herbées

$$\wp = 1.75.$$

Le débit est enfin donné par la formule :

$$Q = V * S$$

Où **Q** le débit d'évacuation en m³/s

V la vitesse d'écoulement en m/s

S la section mouillée m²

II-2 : Écoulement en régime non permanent

Pour les rivières naturelles, l'écoulement permanent est rarement rencontré. Lorsque les trajectoires des différents filets liquides ne sont plus parallèles pour un écoulement dans un canal, cet écoulement est dit en régime varié ou non permanent. La surface libre et le fond ne sont plus parallèles. Le régime varié se produit nécessairement dans un canal dont la section transversale varie.

Dans le cas de l'écoulement non permanent, les grandeurs caractéristiques (débit, vitesse, profondeur d'eau et section mouillée) sont variables suivant le temps.

Cet écoulement varié est aussi classé en deux groupes :

- Les écoulements graduellement variés : les caractéristiques hydrauliques changent très lentement d'une section à l'autre. Ils occupent en générale une zone relativement courte comme dans un ressaut hydraulique, chute brusque ou contraction.

- Les écoulements rapidement variés : il y a évolution rapide, parfois discontinue, des caractéristiques hydrauliques du mouvement.

MANNING STRICKLER a proposé la formule suivante pour déterminer le débit d'écoulement d'une rivière de section trapézoïdale:

$$Q = k * S * R^{2/3} I^{1/2}$$

Avec **Q** le débit en m³/s

k Coefficient de MANNING STRICKLER dont sa valeur est compris entre 30 et 40 pour une rivière bien entretenue.

$$R = \frac{S}{B}$$

Où S la section mouillée en m^2

B le périmètre mouillé en m

R : rayon hydraulique

I : pente de la rivière en %

PARTIE III :

PROPOSITION

D'AMENAGEMENT

CHAPITRE I : PROPOSITION D'AMMENAGEMENT ET RECALIBRAGE DU RESEAU

Deux solutions peuvent être avancées et devront être accomplies pour éviter ou pour réduire la surélévation d'eau dans la plaine d'AMBOHIBARY-MANDROSOHASINA :

I- REBOISEMENT DES BASSINS VERSANTS SUPERIEURS

Cette idée a été avancée par LAPLAINE. Elle est basée sur le fait que les collines ferrallitiques dénudées sont responsables des apports alluvionnaires intenses qui seront transportés par les ruissèlements et seront déposés dans le lit d'une rivière. Ainsi, le reboisement empêchera les actions érosives de se produire.

En fait, le reboisement réduira les phénomènes d'érosion mais ne les annulera pas pour autant. Les alluvionnaires auront toujours lieu mais un peu plus étalées dans le temps. Toutefois, c'est un travail de longue durée et les résultats ne seront qu'à long terme et ne répond pas à l'optique désiré.

II- COUPURE DES MEANDRES, DEROGTAGE DU SEUIL DE L'ILEMPONA

Cette étude a pour but d'augmenter le débit hydraulique global du réseau, c'est-à-dire de réduire la durée d'inondation.

II-1 : coupure des méandres

a- Etudes théoriques

Considérons un tronçon quelconque de rivière et appliquons à ce tronçon la formule de Manning Strickler :

$$Q = k * S * R^{2/3} I^{1/2}$$

Avec $S = bh$

$$I = \frac{\Delta z}{L}$$

Δz : Différence de cote amont et aval du tronçon.

L : Longueur du tronçon.

$$k = \frac{1}{n}$$

Donc :

$$Q = \frac{h^{5/3} b}{nL^{1/2}} \Delta z^{1/2}$$

Augmenter le débit d'un cours d'eau revient alors à :

- Augmenter la largeur b du cours d'eau ;
- Diminuer la valeur du coefficient de rugosité ;
- Raccourcir le trajet ; c'est-à-dire diminuer la longueur L du tronçon.

b- Application numérique

Considérons le tronçon de l'ILEMPONA à partir du pont de Kelivozona vers l'aval ; actuellement, la longueur du tronçon est de 2777m avec une largeur moyenne de 21m. Si on coupe les méandres par un chenal de raccourcissement de largeur moyenne $b=30m$, de longueur 2116m et $n=0.030$.

Le choix de certaines valeurs doit se référer à l'ouvrage existant c'est-à-dire le pont de Kelivozona, par exemple :

- on prend comme largeur du drain 30m ; cette valeur est égale à la longueur de ce pont.
- On prend aussi comme profondeur maximal de l'eau au niveau de ce pont $h=3.75m$: d'après constatations sur place, si la hauteur de l'eau est inférieure à cette valeur, l'inondation de la plaine n'est pas encore considérable.

Il nous reste donc à trouver la pente que doit avoir ce tronçon de fleuve pour assurer l'évacuation de 386m^3 d'eau par seconde.

c- Recherche de ΔZ

Prenons encore la formule de Manning Strickler :

$$Q = \frac{h^{5/3} b}{nL^{1/2}} \Delta z^{1/2}$$

Avec $h = 3.75\text{m}$

$B = 30\text{m}$

$n = 0.030$

$L = 2116\text{m}$

$Q = 386\text{m}^3/\text{s}$

$$\Delta z = \left[\frac{nQL^{1/2}}{h^{5/3}b} \right]^2 = \frac{n^2 Q^2 L}{h^{10/3} b^2}$$

$$\Delta z = 3.84\text{m}$$

Comme Δz représente la différence de cote amont et aval du tronçon. Or, la pente de ce tronçon est égale au rapport de cette différence de cote et de la longueur L du tronçon. La pente admissible est donc :

$$I = \frac{\Delta z}{L} = \frac{3.84}{2116} = 0.18\%$$

d- Méthode directe pour déterminer l'apport des bassins versants

Cette méthode consiste à déterminer la quantité d'eau excédentaire provoquant l'inondation pendant une averse ou passage d'un cyclone apportant une forte intensité de pluie. Considérons par exemple le passage du cyclone Geralda dans cette zone ; après 36h de précipitation, la hauteur moyenne de la lame d'eau au niveau des rizières est estimée à 1.95m sur une superficie de 1 900ha. La quantité d'eau excédentaire est donc environ 37 050 000 m³ pendant cette durée de précipitation (soit 36heures). Il y avait donc 286m³ d'eau par seconde qui vont stocker en amont du drain principal.

Si on pose Q_a le débit actuel du drain ; il faudra augmenter à $Q = Q_a + 286m^3 / s$ pour éviter tout risque d'inondation. Or d'après Manning et Strickler :

$$Q_a = \frac{h^{5/3} b_a}{n L_a^{1/2}} \Delta z_a^{1/2}$$

Où b_a la largeur moyenne actuelle du drain ;

L_a la longueur du tronçon du drain ;

Δz la différence actuelle de cote amont et aval du tronçon.

Application numérique :

$$b_a = 21m$$

$$L_a = 2777m$$

$$\Delta z = 1.4m$$

$$n = 0.050$$

$$Q_a = \frac{1.4^{5/3} \times 21}{0.05 \times 2116^{1/2}} \times 1.4^{1/2}$$

$$Q_a = 95 m^3 / s$$

Le drain doit assurer le débitage $Q = 381 m^3 / s$ pour qu'il n'y ait pas inondation.

II-2 : Déroctage du seuil de l'ILEMPONA

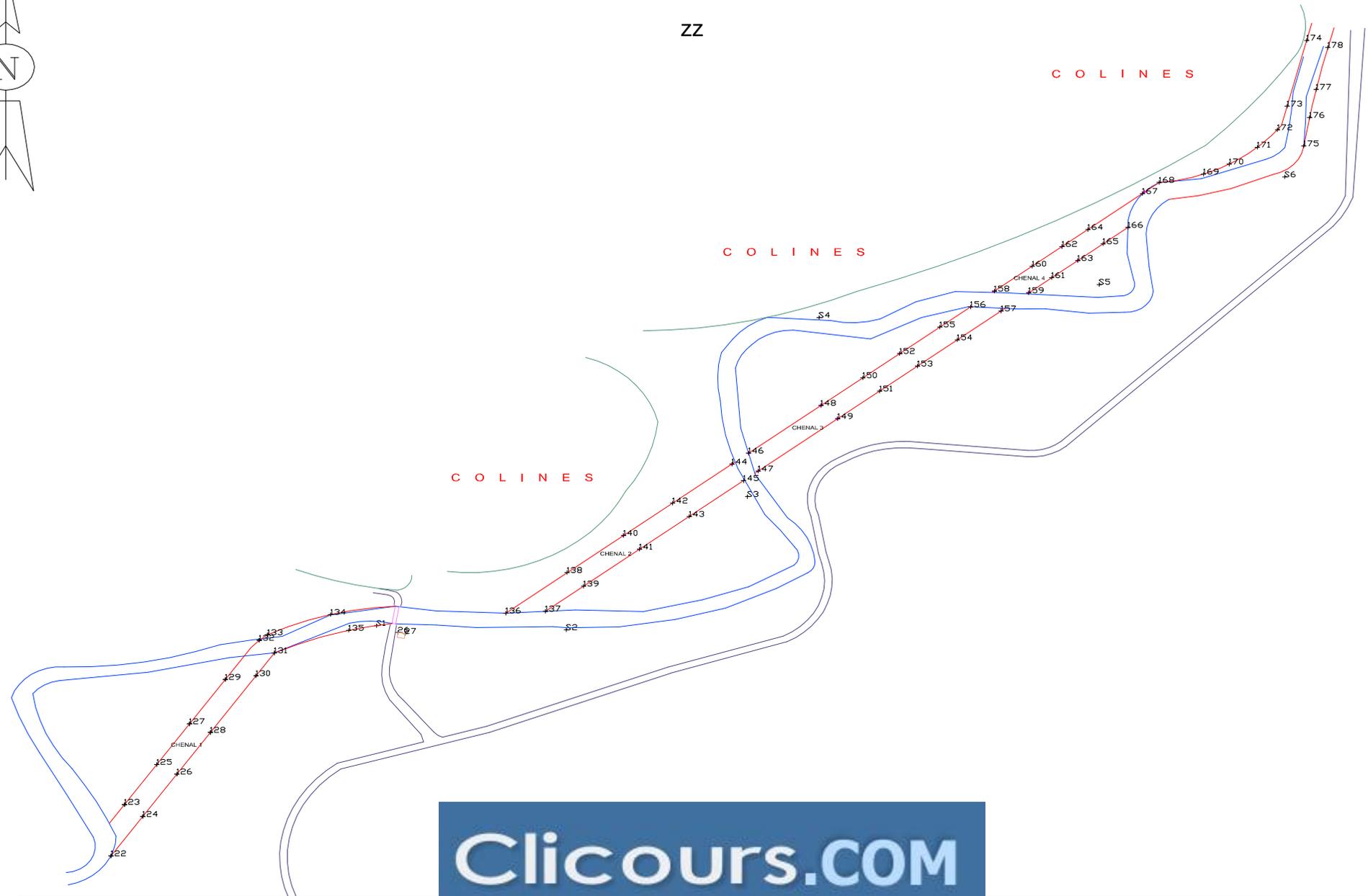
Après déblayage, il faut extraire une certaine quantité de rocheux par des matériels explosifs (dynamites) pour avoir les dimensions désirées (largeur et profondeur de l'émissaire). L'endroit où on doit réaliser ce déroctage et la quantité des matériaux rocheux à extraire ne peuvent pas être prédéfinis. En effet, les récifs rocheux sont souvent dans le sous-sol, on ne peut les identifier qu'après déblayage.

II : PROPOSITION DE NOUVEAU TRACE

Ce nouveau tracé est donné par le plan ci-après dont les points 122 à 178 sont les repères des limites des chenaux ; les listings d'implantation de ces points sont donnés par les tableaux suivants :



ZZ



Clicours.COM

LISTING D'IMPLANTATION DU CHENAL N°1

Station / Référence angulaire			
	Matricule	X (m)	Y (m)
Station	S.1	1000.000	5000.000
Référence V0	26	1027.952	4989.181

Visées de contrôle		
Matricule	Angle (gr)	Distance (m)
S.2	378.1930	247.359

Points rayonnés				
Matricule	Angle (gr)	Distance (m)	X (m)	Y (m)
122	124.8884	502.547	653.692	4635.825
123	131.2519	433.765	671.214	4717.065
124	126.8212	428.977	695.088	4698.254
125	134.8792	361.114	713.313	4780.424
126	129.7987	350.568	739.564	4765.327
127	140.3989	289.246	756.001	4844.669
128	134.3585	274.840	783.179	4831.104
129	150.5587	214.953	802.633	4914.848
130	146.7888	176.214	842.617	4920.741
131	156.5472	140.329	866.499	4956.758
132	166.8881	154.934	846.825	4976.723
133	170.0014	142.994	857.748	4985.453
134	194.6783	62.444	940.088	5017.599
135	163.5959	37.304	963.459	4992.497

Les angles indiqués sont les lectures horizontales en mettant à zéro sur la référence.

LISTING D'IMPLANTATION DE LA STATION S2

Station / Référence angulaire			
	Matricule	X (m)	Y (m)
Station	S.1	1000.000	5000.000
Référence V0	26	1027.952	4989.181

Points rayonnés				
Matricule	Angle (gr)	Distance (m)	X (m)	Y (m)
S.2	378.1930	247.359	1247.270	4993.380

Les angles indiqués sont les lectures horizontales en mettant à zéro sur la référence

LISTING D'IMPLANTATION DU CHENAL N°2

Station / Référence angulaire			
	Matricule	X (m)	Y (m)
Station	S.2	1247.270	4993.380
Référence V0	S.1	1000.000	5000.000

Visées de contrôle		
Matricule	Angle (gr)	Distance (m)
27	396.4813	210.192

Points rayonnés				
Matricule	Angle (gr)	Distance (m)	X (m)	Y (m)
136	18.8749	83.259	1168.323	5019.827
137	50.5168	40.065	1219.945	5022.681
138	98.9512	90.291	1248.199	5083.666
139	118.2484	72.550	1269.638	5062.396
140	127.8033	166.692	1321.795	5142.485
141	139.2044	159.014	1342.562	5120.679
142	136.8246	243.534	1385.824	5193.658
143	144.7388	240.313	1407.442	5172.532
144	142.1577	339.445	1463.072	5255.396
145	147.6472	330.076	1478.278	5229.145

Les angles indiqués sont les lectures horizontales en mettant à zéro sur la référence.

LISTING D'IMPLANTATION DE LA STATION S3

Station / Référence angulaire			
	Matricule	X (m)	Y (m)
Station	S.2	1247.270	4993.380
Référence V0	S.1	1000.000	5000.000

Visées de contrôle		
Matricule	Angle (gr)	Distance (m)
27	396.4813	210.192

Points rayonnés				
Matricule	Angle (gr)	Distance (m)	X (m)	Y (m)
S.3	151.9320	316.309	1483.337	5203.912

Les angles indiqués sont les lectures horizontales en mettant à zéro sur la référence.

LISTING D'IMPLANTATION DU CHENAL N°3

Station / Référence angulaire			
	Matricule	X (m)	Y (m)
Station	S.4	1576.750	5487.043
Référence V0	S.3	1483.337	5203.912

Visées de contrôle		
Matricule	Angle (gr)	Distance (m)
S.5	270.6650	368.919

Points rayonnés				
Matricule	Angle (gr)	Distance (m)	X (m)	Y (m)
146	5.5362	233.307	1484.684	5272.669
147	399.8668	255.455	1497.220	5244.283
148	378.6560	138.971	1579.055	5348.091
149	370.1672	161.707	1600.904	5327.150
150	345.3712	110.990	1633.759	5391.813
151	341.7119	140.403	1655.668	5370.919
152	311.2557	119.462	1681.845	5430.244
153	313.9990	149.456	1705.049	5410.384
154	292.0335	183.484	1756.808	5451.752
155	285.7579	158.116	1734.153	5472.049
156	274.2604	198.088	1774.112	5503.985
157	276.9420	237.358	1813.883	5497.367

Les angles indiqués sont les lectures horizontales en mettant à zéro sur la référence.

LISTING D'IMPLANTATION DE LA STATION S4

Station / Référence angulaire			
	Matricule	X (m)	Y (m)
Station	S.3	1483.337	5203.912
Référence V0	S.2	1247.270	4993.380

Points rayonnés				
Matricule	Angle (gr)	Distance (m)	X (m)	Y (m)
S.4	166.6520	298.143	1576.750	5487.043

Les angles indiqués sont les lectures horizontales en mettant à zéro sur la référence

LISTING D'IMPLANTATION CHENEL N°4

Station / Référence angulaire			
	Matricule	X (m)	Y (m)
Station	S.5	1941.951	5539.294
Référence V0	S.4	1576.750	5487.043

Visées de contrôle		
Matricule	Angle (gr)	Distance (m)
S.6	170.0160	295.715

Points rayonnés				
Matricule	Angle (gr)	Distance (m)	X (m)	Y (m)
158	4.1648	137.217	1805.137	5528.781
159	0.0170	92.990	1849.894	5526.148
160	29.3369	92.166	1854.426	5568.173
161	19.9251	63.101	1879.768	5550.024
162	65.8096	77.205	1893.455	5599.366
163	68.4431	47.235	1913.825	5577.242
164	98.2772	88.220	1927.097	5626.254
165	113.9532	64.593	1946.924	5603.695
166	134.0454	97.769	1979.363	5629.621
167	132.8091	154.493	1998.286	5683.149
168	137.7549	179.131	2020.018	5700.518

Les angles indiqués sont les lectures horizontales en mettant à zéro sur la référence.

LISTING D'IMPLANTATION DE LA STATION S5

Station / Référence angulaire			
	Matricule	X (m)	Y (m)
Station	S.4	1576.750	5487.043
Référence V0	S.3	1483.337	5203.912

Visées de contrôle		
Matricule	Angle (gr)	Distance (m)
S.2	17.1786	593.515

Points rayonnés				
Matricule	Angle (gr)	Distance (m)	X (m)	Y (m)
S.5	270.6650	368.919	1941.951	5539.294

Les angles indiqués sont les lectures horizontales en mettant à zéro sur la référence

LISTING D'IMPLANTATION DE LA STATION N°6

Station / Référence angulaire			
	Matricule	X (m)	Y (m)
Station	S.5	1941.951	5539.294
Référence V0	S.4	1576.750	5487.043

Visées de contrôle		
Matricule	Angle (gr)	Distance (m)
S.3	368.8494	568.161

Points rayonnés				
Matricule	Angle (gr)	Distance (m)	X (m)	Y (m)
S.6	170.0160	295.715	2183.807	5709.449

Les angles indiqués sont les lectures horizontales en mettant à zéro sur la référence.

LISTING D'IMPLANTATION DE L'ELARGISSEMENT

Station / Référence angulaire			
	Matricule	X (m)	Y (m)
Station	S.6	2183.807	5709.449
Référence V0	S.5	1941.951	5539.294

Visées de contrôle		
Matricule	Angle (gr)	Distance (m)
S.4	16.6741	646.516

Points rayonnés				
Matricule	Angle (gr)	Distance (m)	X (m)	Y (m)
169	41.6301	106.018	2077.877	5713.776
170	56.2778	75.244	2111.307	5729.585
171	97.3979	58.869	2147.994	5756.172
172	130.7520	74.998	2174.081	5783.814
173	140.7322	111.792	2186.794	5821.202
174	147.3817	217.607	2212.269	5925.187
177	157.3175	144.207	2224.662	5847.748
178	156.0732	212.039	2239.894	5913.936

Les angles indiqués sont les lectures horizontales en mettant à zéro sur la référence.

CHAPITRE II : EVALUATION DU PROJET

Seul le montant de déblayage peut être prédéfini. En effet, après une suite d'opérations de déblayage les engins pourront affronter des obstacles : récifs rocheux souterrains.

Nous avons quatre portions de chenal de raccourcissement une partie du fleuve existant à redimensionner dont la profondeur de chaque tronçon est égale à la différence de cote du haut talus du fleuve et celle de sont lit.

- Tronçon n°1 :
 - Longueur : 344.60m
 - Largeur : 30m
 - Profondeur : 3.10m
- Tronçon n°2 :
 - Longueur : 356.60m
 - Largeur : 30m
 - Profondeur : 3.50m
- Tronçon n°3 :
 - Longueur : 397m
 - Largeur : 30m
 - Profondeur : 4.10m
- Tronçon n°4 :
 - Longueur : 207
 - Largeur : 30m
 - Profondeur : 3.25m

Le volume à déblayer est obtenu par la formule :

$$V (m^3) = \text{longueur du chenal} \times \text{largeur} \times \text{profondeur}$$

L'élargissement est de 3m en moyenne de part et d'autre des bords du réseau sur une distance de 506m. Le tableau suivant illustre le montant de l'opération :

Tableau 15 : évaluation financière du projet.

	Volume à déblayer (m ³)	Coût unitaire (Ariary)	Coût total (Ariary)
Chenal	32 048.0		
Chenal	37 443.0		
Chenal	48 831.0		
Chenal	20 182.5		
Elargissement	9 563.0		
Montant total			

PARTIE IV : ETUDE D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

I. INTRODUCTION

La construction des infrastructures est prise comme l'une des clés de développement pour notre Pays. Pourtant, une telle activité est une menace pour l'environnement biophysique et humaine. Actuellement, les problèmes environnementaux de Madagascar sont la dénaturation, la dégradation et même la destruction de l'écosystème.

Pour assurer une meilleure intégration des considérations environnementales au développement et une meilleure utilisation des ressources et des territoires, l'Etat procède à l'approbation de la loi portant « Charte de l'Environnement Malagasy » (article 10 de la loi n°90/033 du 21 décembre 1990) et à l'application du Décret relatif à mise en compatibilité des investissements avec l'environnement ou Décret MECIE(décret n° 99/954 du 15 décembre 1999 modifié par le décret n° 2004/167 du 03 février 2004). Cette loi implique une obligation pour les projets d'investissements publics ou privés susceptibles de porter atteinte à l'environnement d'être soumis soit à une Etude d'Impacts Environnementaux (E.I.E.), soit à un Programme d'Engagement Environnemental selon la nature technique, l'importance de ces projets et la sensibilité de leurs milieux d'implantation.

II. DEFINITIONS

II.1 Environnement

C'est l'ensemble des milieux naturels et artificiels y compris les milieux humains et les facteurs sociaux et culturels qui intéressent le développement. Cette définition a été tirée de la Charte de l'environnement Malagasy.

II.2. Impact

C'est la différence entre le changement d'une valeur d'état suite à des actions et le changement de cette même valeur sans actions. Il y a donc des impacts positifs et des impacts négatifs.

III. ETUDE D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

C'est une étude qui détermine les impacts sur l'environnement d'une activité donnée en donnant leurs sources, leurs importances et les mesures d'atténuation ou de compensation permettant d'assurer l'intégrité de l'environnement dans le développement.

III.1 Description du projet

Cette description est basée sur les travaux prévus, les ressources et les énergies à utiliser pendant et après la réalisation du projet. On peut tirer de cette description les sources des impacts et les impacts correspondants.

III.2 Les différentes phases du projet

Le projet est divisé en deux phases :

a. La phase préparatoire :

- Information des agriculteurs riverains concernant le projet. Les agriculteurs doivent être informés quelques mois avant l'exécution du projet. En effet, les futures tracées du cours d'eau devra toucher des propriétés privées (champs de culture).

- Transport des engins (pelles mécaniques, camions bennes).

b. La phase d'exécution

C'est la réalisation proprement dite du projet

III.3 Les ressources utilisées pour la réalisation du projet et les milieux récepteurs

D' une part, l'énergie la plus utilisée pendant la réalisation de ce projet est l'énergie obtenue par combustion des carburants pour fonctionner les engins. D'autre part, d'après les caractéristiques techniques des travaux prévus, les composantes environnementales susceptibles d'être touchées par l'exécution du projet sont :

- les milieux biologiques (flore et faune) ;
- les milieux physiques (nappes phréatiques) ;
- Les milieux humains (vie sociale, économique et culturelle).

IV. IDENTIFICATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX SUR LES DIFFERENTS MILIEUX

a. Milieux biologiques

- Perturbation des animaux aquatiques ;
- Dégradation des couvertures végétales.

b. Milieux physiques

- Pollution de l'air par l'émission des gaz ;
- Contamination des nappes phréatiques ;
- Pollution du sol ;
- Rétrécissement des surfaces cultivables.

c. Les milieux humains

- Création d'emploi ;
- Risque d'accident de travail ;
- Nuisance sonore ;
- Santé menacée suite à la pollution de l'atmosphère.

V. MESURES

- disposer des plans de reboisements intensifs ;
- déplacement et protection des animaux endémiques en danger ;
- utiliser des engins en bon état ;
- éviter les travaux nocturnes et pendant les périodes de repos.

CONCLUSION GENERALE

AMBOHIBARY SAMBAINA et MANDROSOHASINA possèdent une potentielle économique non négligeable dans la région de VAKINAKARATRA. Pourtant, la production en filière riziculture est encore faible par rapport à la surface exploitée, faute de la mauvaise structure du réseau de drainage. Ainsi, la présente étude concernant la révision de ce réseau du drainage constitue un ensemble complexe de questions : question socio-économique, environnementale, agronomique et hydrologique.

Pour le côté économique, le principal objectif est d'améliorer la production des cultures vivrières pour assurer au moins l'autosuffisance alimentaire.

Ce mémoire peut représenter aussi une base théorique et données techniques permettant de résoudre le problème d'inondation d'une plaine ou d'un versant quelconque afin de la ou le protéger contre la submersion.

L'étude doit suivre les recommandations suivantes :

- estimation des débits de crue ou des précipitations recueillies sur l'ensemble des bassins versants afin de déterminer l'apport maximal de ces versants ;
- l'étude des divers aménagements proposés à l'aide des modèles mathématiques à citer :
 - coupure des méandres par des chenaux de raccourcissement ;
 - déroctage.
 - élargissement.

Ce qui a pour effet d'augmenter le débit d'évacuation et de réduire, voire supprimer les inondations.

LISTE BIBLIOGRAPHIQUES

- B.C.E.O.M.- Manuel d'exécution de petits ouvrages routiers en Afrique, 1975, Min. Coopération.
- QUESNEL - Hydraulique fluviale appliquée, 1970, édition Eyrolles.
- REMENIERAS - Hydrologie de l'Ingénieur, 1965, édition Eyrolles.
- ROCHE - Hydrologie de surface, 1963, Gauthier-Villars.
- RODIER - AUVRAY.- Estimation des débits des crues décennales pour les bassins inférieurs à 200 km² en Afrique Occidentale, 1972, ORSTOM.
- CARLIER - Hydraulique générale et appliquée, 1961, édition Eyrolles.
- CASTANY - Traité pratique des eaux souterraines, 1963, Dunod.
- DEGREMONT.- Mémento technique de l'eau, 1972, Degremont.
- RRANQUIN - La climatologie en Afrique, 1972, Min. Coopération.
- WISLER, BRATER - Hydrology, 1963, John Wiley.
- VEN TE CHOW. - Applied Hydrology, 1964, McGraw Hill.
- VEN TE CHOW. – Open Channel Hydraulics, 1959, McGraw Hill.
- SILBER – Ecoulement à surface libre, 1968, Dunod.
- SCHOELLER – Les eaux souterraines, 1962, Masson.
- LELIAVSKI – Précis d'Hydraulique fluviale, 1961, Dunod.
- LENCASTRE – Manuel d'Hydraulique générale, 1963, édition Eyrolles.
- Jean Donné RASOLOFONIAINA. – Cours d'Hydrologie, 2002, C.N.E.A.G.R.
- LINSLEY, KOHLER, PAULHUS – Applied Hydrology, 1966, McGraw Hill.
- NGUYEN VAN TUU- Hydraulique routière, 1981, B.C.E.O.M.
- LUIS DURET- Estimation de débits de crue à Madagascar, 1976, ORSTOM.
- Le GOURIERES – Hydrologie de surface, Université Fédérale de Cameroun.
- PIERRE CHAPERON, JOEL DANLOUX et LUC FERRY, Fleuves et rivières de Madagascar, 1993, ORSTOM.

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES ANNEXES

INTRODUCTION GENERALE	1
PARTIE I : ENVIRONNEMENT DU PROJET	2
CHAPITRE I : PRESENTATION DU PROJET	3
I.1 : Localisation du projet	3
I.2 Historique	4
CHAPITRE II : ETUDE SOCIO-ECONOMIQUE	5
II.1 contexte social	5
II.1-1. Démographie	5
II.1.2 Infrastructures sanitaires et sociales	8
II.1-3 Alphabétisation	8
II.1-4 Santé	8
II.2 : Potentialité économique de la zone d'influence	9
II.2-1 : Production agricole	9
II.2-1-1 : La riziculture irriguée	9
a- Types de rizicultures	9
b- Caractéristiques techniques	10
c- Rendement	10
d- Diagnostic de la riziculture	11
II.2-1-2 : Les autres cultures :	12
a- Les cultures de saison des pluies :	12
b- Les cultures de contre-saison :	12
c- Comportement d'autoconsommation	13
II.2-2 : Le calendrier cultural	13
II.2-3: Les techniques de production	15
II.2-3-1 : Les techniques culturales	15
II.2-3-2 : Les matériels agricoles	15

II.3 : L'élevage	15
II.4 : Autre activité : le commerce	16
II-5 Les problèmes et contraintes	17
II.5-1 Les problèmes de scolarisation	17
II.5-2 Accès à l'eau potable	17
II.5-3 Sécurité publique.....	17
II.5-4 Contraintes naturelles	17
II.6 : Le climat	19
II.6-1 : Bilan thermique des cinq dernières années (station ANTSIRABE) --	20
Tableau 10 : bilan thermique:	20
II.6-2 : Pluviométrie	20
II.7 : Conclusion	21
PARTIE II : APPROCHE THEORIQUE DU DRAINAGE	23
CHAPITRE I : DEFINITIONS ET OBJET DU DRAINAGE	24
I-1 : Le drainage	24
I-1-1 : Drainage superficiel	24
I-1-2 : Assainissement profond.....	24
I-2 : Objet du drainage	24
I-3 : Différents systèmes de drainage	24
CHAPITRE II : FACTEURS D'INONDATION	26
II-1 : Facteurs artificiels	26
II-1-1 : Insuffisance d'entretien du cours d'eau	26
II-1-2 : Dégradation du drain	26
II-1-3 : Dégradation des bassins versants.....	26
II-1-4 : Insuffisance d'entretien de l'émissaire	27
II-2 : Facteurs naturels	27
II-2-1 : Les caractéristiques physiques et géomorphologiques d'un bassin versant	28
II-2-2 : Paramètres géométriques	28
II-2-3 : Caractéristiques géologiques et hydrogéologiques	31
II-2-4 : Caractéristiques hydrographiques	32
II-2-5 : Caractéristiques hydrologiques	36
CHAPITRE III : ESTIMATION DE DEBIT DE CRUE	37
III – 1 : Débit maximal en fonction de la hauteur de pluie maximale précipitée dans 24 heures	37

III-2 : Méthode Empirique -----	42
III-3 : Méthode de CTGREF -----	42
a- L'apport annuel d'un bassin versant -----	43
b- Apport mensuel d'un bassin -----	43
III-4 Applications numériques -----	44
CHAPITRE IV : ETUDE THEORIQUE D'ECOULEMENT D'UN COURS D'EAU -----	47
I- Introduction -----	47
II : Etude théorique de l'écoulement -----	47
II-1 : Ecoulement en régime permanent-----	47
II-2 : Ecoulement en régime non permanent -----	49
PARTIE III : PROPOSITION D'AMENAGEMENT -----	51
CHAPITRE I : PROPOSITION D'AMMENAGEMENT ET RECALIBRAGE DU RESEAU 52	
I- REBOISEMENT DES BASSINS VERSANTS SUPERIEURS -----	52
II- COUPURE DES MEANDRES, DEROCTAGE DU SEUIL DE L'ILEMPONA 52	
II-1 : coupure des méandres -----	52
a- Etudes théoriques -----	52
b- Application numérique -----	53
c- Recherche de ΔZ -----	54
d- Méthode directe pour déterminer l'apport des bassins versants -----	55
II-2 : Déroctage du seuil de l'ILEMPONA -----	56
II : PROPOSITION DE NOUVEAU TRACE -----	56
CHAPITRE II : EVALUATION DU PROJET -----	63
PARTIE IV : ETUDE D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX -----	65
I. INTRODUCTION -----	66
II. DEFINITIONS -----	66
III. ETUDE D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX -----	67
III.1 Description du projet -----	67
III.2 Les différentes phases du projet -----	67
a. La phase préparatoire :-----	67
b. La phase d'exécution-----	67
III.3 Les ressources utilisées pour la réalisation du projet et les milieux récepteurs -----	67

IV. IDENTIFICATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX SUR LES DIFFERENTS MILIEUX	68
a. Milieux biologiques	68
b. Milieux physiques	68
c. Les milieux humains	68
V. MESURES	68
LISTE BIBLIOGRAPHIQUE	
ANNEXES	

Nom : RAFALIMANARIVO

Prénoms : Christian Olivier

Adresse : Lot 1118 E 41 Mahazoarivo Nord ANTSIRABE

E-mail : cnyolive@yahoo.fr

Tel : 033 23 066 11

Nombre de pages : 79

**Titre de mémoire : « REVISION DU RESEAU DE DRAINAGE DE LA
PLAINE D'AMBOHIBARY »**

RESUME :

L'étude de protection contre l'inondation d'une région nécessite un travail d'étude théorique permettant de déterminer les différents paramètres relatifs à la montée des crues. Ce travail métrera en valeur les bases théoriques des différentes disciplines à savoir :

-l'hydrologie de la région ;

-la structure géologique du bassin versant et son aspect morphologique.

-ses caractéristiques hydrographiques auxquelles on essaye d'élaborer des modèles mathématiques pour les écoulements fluviaux et de donner une méthode d'approche pour le calcul du volume d'eau à drainer.

Encadreur : Monsieur RAMANATSIZEHENA Pascal