

III.3.4.3. Les ouvrages traversant

Il existe trois vannes qui sont encore en bon état et qui se trouvent à Antanetybe et Andralambo dans la commune Ambalavao.

III.4. Résultats pour chaque LOT

Le logiciel MapInfo Professional a été utilisé pendant le montage des données sur carte.

Les données sur terrains sont répertoriées sur des photos qui ont été prises sur Google Earth puis traitées sur le logiciel.

Les étapes de la réalisation des cartes se trouvent en annexe A.

Il y a sept cartes comme résultats dont quatre d'entre eux appartiennent au LOT3 et les restes représentent respectivement le LOT1, LOT2 et le LOT4. Ces dernières représentent respectivement chaque LOT et qui illustrent chacune les désordres, les ouvrages traversants, les végétations, les agglomérations, ...

Les figures qui sont présentes ci-après sont les résultats finals pour le montage des données sur une carte. Les restes des cartes se trouvent en annexe B.

LOT1

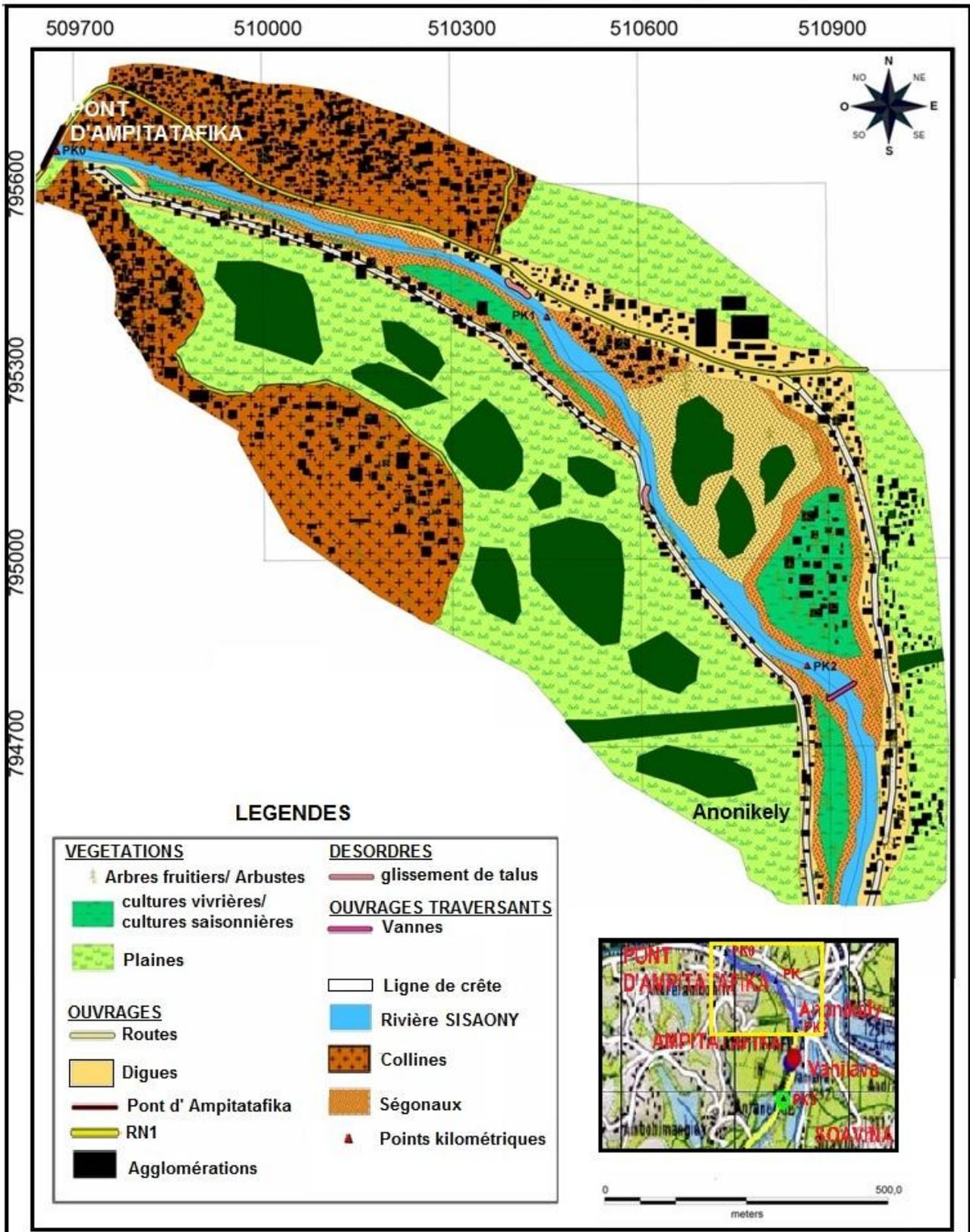


Figure 33: Carte numérisée représentant le LOT1 par l'auteur (source : Google Earth janvier2015)

LOT2

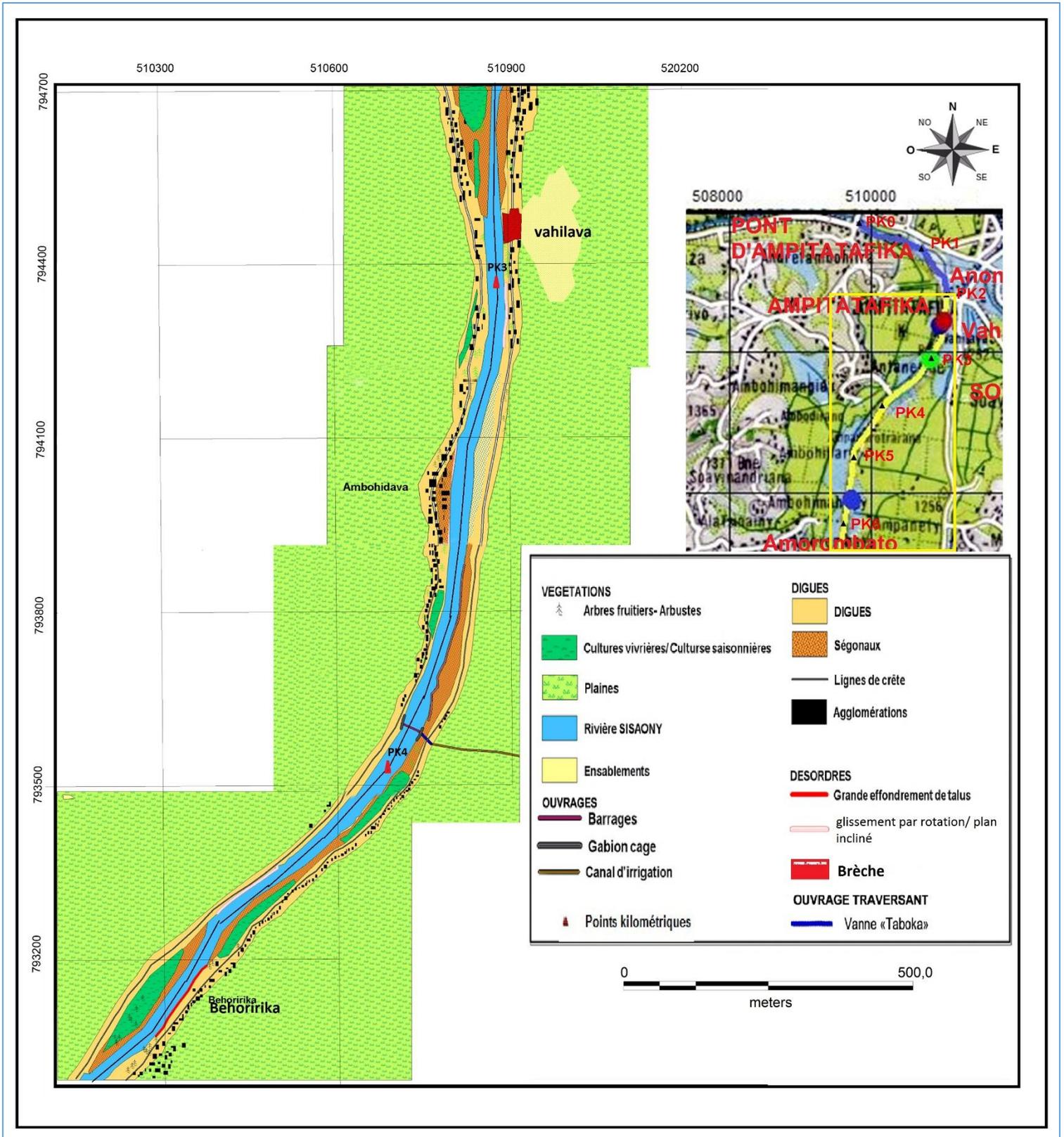


Figure 34: Carte numérisée représentant le LOT2 par l'auteur (source : Google Earth janvier2015)

LOT3

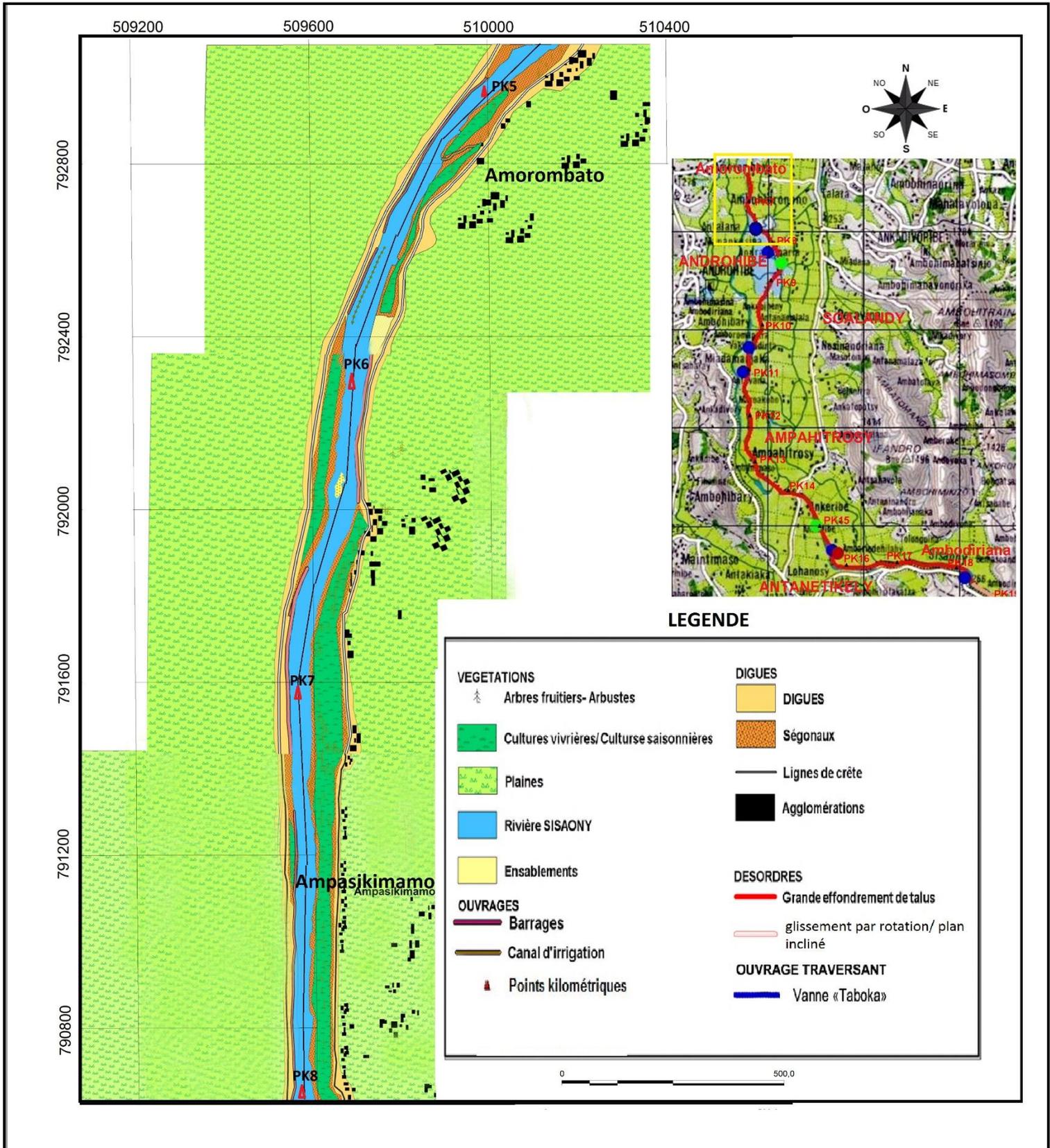


Figure 35: Carte numérisée représentant le LOT3 par l'auteur (source: Google Earth janvier2015)

LOT4

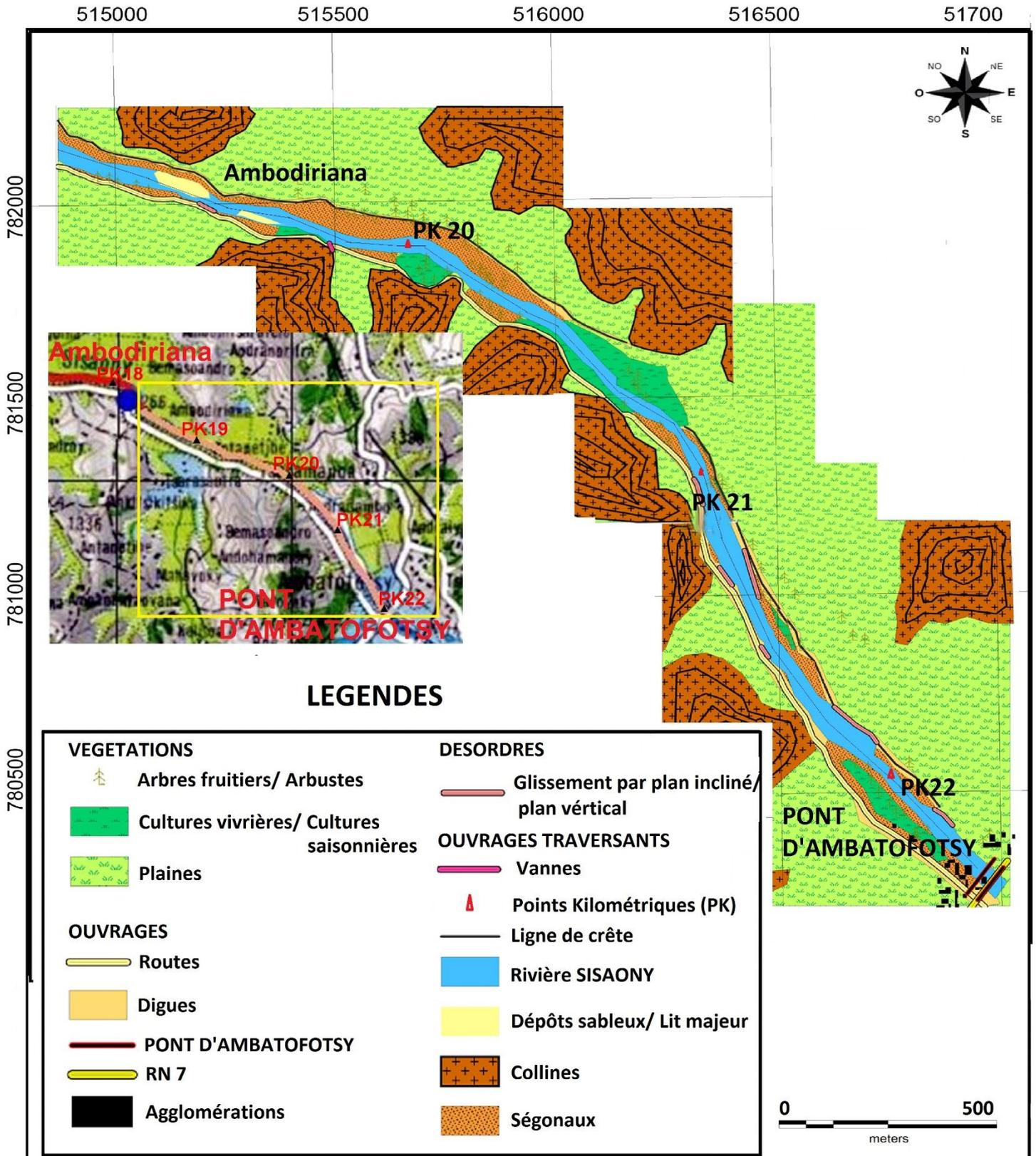


Figure 36: Carte numérisée représentant le LOT4 par l'auteur (source: Google Earth janvier2015)

CHAPITRE IV ESTIMATION DES APPORTS DE SEDIMENTS SUR LA RIVIERE SISAONY

Pour la protection contre les crues de la plaine, il faut gérer la filière sable. Cette maîtrise passe tout d'abord par l'étude de la situation, qui permettra de proposer un certain nombre d'actions conservatoires. L'objectif de cette étude est d'analyser les principales données relatives à cette filière sable.

IV.1. Etude de l'évolution géométrique des lits de la rivière SISAONY pendant une période de dix ans environ.

Cette étude résulte de la comparaison des données topographiques disponibles au sein de l'Autorité pour la Protection contre l'Inondation de la Plaine d'Antananarivo (APIPA). La période qui s'est écoulée entre les deux séries de données est donc d'environ douze ans. Les comparaisons ont donc été faites sur la base des profils de 1982, et des profils en long et en travers levés en 1995.

IV.1.1. Localisation des levées effectuées en 1995

Les levées en 1995 concernant la rivière Sisaony sont effectuées dans la partie endiguée à proximité des plaines. Les portions du lit étudiées sont les suivantes :

Du pont d'Ambatofotsy au faux confluent Ikopa – Sisaony soit sur une distance de 36,9 km sur lesquels ont été levés 17 profils en travers.

IV.1.2. Rattachements altimétriques

Les repères utilisés pour le rattachement des profils en travers réalisés sont les suivants sur la Sisaony :

- Ampitatafika (1251,888)
- Ampangabe (1249,911)

IV.2. Comparaison des topographies et évolution des lits de rivière.

Le tableau 7 ci-après fait apparaître le résultat de la comparaison entre les deux levées effectuées entre la période de 12 ans. Compte tenu de la difficulté à retrouver les sites exacts des anciens profils en travers, les calculs de terrassements effectués ont été faits en appliquant à la largeur du lit mineur actuelle la différence constatée entre les deux côtes des fonds moyens. Il y a lieu de remarquer que lorsque la côte moyenne de fond actuel est supérieure à la côte

ancienne, les qualités estimées ont été portées dans la colonne dépôt, dans le cas contraire, elles ont été portées dans la colonne érosion.

L'analyse des résultats obtenus est la suivante :

Tableau 7: Estimation des dépôts et érosions sur la Sisaony

N° Profils	P.M.	Cote fond Rivière		Long.Appl. [m]	Dépôt [m3]	Erosion [m3]	Observations
		Ancien	Actuel				
1	0	67,55	68,24	1600	80 316		Pont d'Ambatofotsy
2	3 525	63,58	65,58	2894	233 372		
3	5 462	61,68	63,08	2387	147 708		
4	8 299	59,90	59,71	2407		14 269	
5	10 276	57,78	59,70	1174		3 903	
6	11 847	54,51	54,77	4049	60 157		
7	18 373	50,37	21,14	3675	195 913		
8	19 196	49,41	49,39	2032		191 707	
9	22 436	47,53	47,53	2777		181 788	Pont d'Ampitatafika
10	24 750	47,65	47,65	1660		59 583	
11	25 755	47,47	47,47	1050		32 332	
12	26 849	47,78	47,78	1308		24 935	
13	28 370	47,73	47,73	1058		15 071	
14	28 965	47,45	47,45	2158	688		
15	32 685	47,07	47,07	2842	36 559		
16	34 649	46,26	46,26	2118	21 273		
17	36 021	46,30	46,30	1136	15 217		Faux confluent
	Total :			36922	791 203	523 587	

Le bilan obtenu pour la rivière Sisaony fait apparaître un excédent de dépôts (791.203 m³) sur les érosions (523.587 m³), soit une différence d'érosion 268.000 m³.

CHAPITRE V ÉTUDE GEOTECHNIQUE

V.1. Reconnaissance géotechnique in situ

V.1.1. Test de perméabilité

Faute de moyen, on a réalisé des tests de perméabilité simples. Nous avons fait 6 trous (deux pour chaque site) qui sont espacés de plusieurs kilomètres le long des digues (figure 38), ces derniers ont été creusés à des niveaux différents de l'ouvrage, plus précisément sur la crête puis sur la pente de la digue. Ces dispositifs ont été pris car le sol d'une même parcelle est rarement homogène et que la perméabilité du sol n'est pas la même en tout point du profil en travers de la digue, elle dépend généralement de la nature du sol. Le test de perméabilité a été réalisé en quatre étapes successives dont :

V.1.1.1. Creusement des trous :

À l'aide d'une bêche, le terrain a été décapé sur une surface de 40 cm (2 largeurs de fer de bêche) sur 40 cm et sur une profondeur de 30 cm (1 hauteur de fer de bêche). La profondeur du terrain à décaper peut être augmentée si la topographie de la parcelle contraint le dispositif d'assainissement à être enterré plus profondément. En revanche, la hauteur conseillée de terre végétale au-dessus du système d'assainissement individuel est de 20 cm.

A l'intérieur du terrain décapé, un trou de 20 cm de côté a été creusé (1 largeur de bêche) sur une profondeur de 30 cm (1 hauteur de fer de bêche).

Les parois du trou doivent être scarifiées (à l'aide d'un couteau par exemple afin de faire disparaître un lissage éventuel du sol et de rendre les parois et le fond du trou rugueux.

La figure 37 montre le trou après creusement et le lieu de creusement sur la partie de la digue

V.1.1.2. Saturation du sol pendant 4 heures :

Pour cette étape, il fallait disposer d'un volume d'eau conséquent de plusieurs dizaines de litres. Remplir entièrement le trou inférieur de 20 cm de côté et de 30 cm de profondeur. Tous les quarts d'heure environ (fréquence indicative à diminuer ou à réduire en fonction de la vitesse d'infiltration) nous avons versé de l'eau dans le trou afin de garder le plus constamment possible une hauteur d'eau de 30 cm.

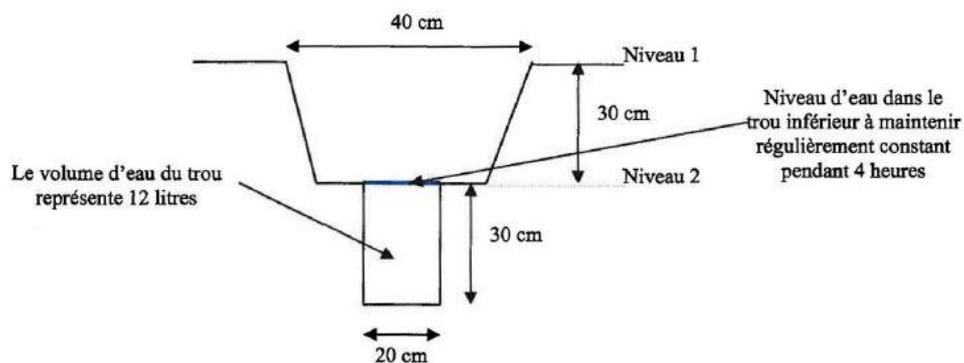


Figure 37: : Dimensions des trous



V.1.1.3. Réalisation du test

Au bout de 4 heures de saturation du sol, il faut remplir le trou d'eau (jusqu'au niveau 2). Au bout de 10 minutes, on prend la mesure de la hauteur d'eau infiltrée.

V.1.1.4. Calcul de la perméabilité du sol

La perméabilité du sol nous est donnée par la formule :

$$K = 0,856 \times h_{\text{eau}}$$

K : Perméabilité (m/s)

h_{eau} : Hauteur d'eau infiltrée

Le tableau 8 ci-dessous nous donne les valeurs de perméabilité et les types de sol correspondant.

Tableau 8: Valeurs de perméabilité et type de sol correspondant

Perméabilité K en mm/h	K < 30	K < 15	15 < K < 30	30 < K < 500	K > 500
h _{eau} infiltrée correspondante	h _{eau} < 35 mm	h _{eau} < 18 mm	18 < h _{eau} < 35 mm	35 < h _{eau} < 583 mm	H _{eau} > 583 mm
type de sol	nappe d'eau proche de la surface du sol	sol argileux	sol limoneux	sol sableux	sol perméable en grand

Nature du sol	Ordre de grandeur de k en m/s	Degré de perméabilité
Graviers moyens à gros	10 ⁻³ à 10 ⁻¹	Très élevé
Petits graviers, sable	10 ⁻³ à 10 ⁻⁵	Assez élevé
Sable très fin, sable limoneux, loess	10 ⁻⁵ à 10 ⁻⁷	faible
Limon compact, argile silteuse	10 ⁻⁷ à 10 ⁻⁹	Très faible
Argile franche	10 ⁻⁹ à 10 ⁻¹²	Pratiquement imperméable

V.1.2. Résultats des tests

Après les tests et les calculs, nous avons trouvé les valeurs de la hauteur d'eau infiltrée, les valeurs de la perméabilité et le type de sol correspondant à chaque valeur obtenue. Le tableau 9 suivant nous montre les résultats.

Tableau 9: Résultats des tests de perméabilité

Test N°	h _{eau} infiltrée en mm correspondante	Perméabilité K en m/s	type de sol
T1	34	$8,05.10^{-6}$	Sol limoneux
T2	45	$1,06.10^{-5}$	Sol sableux
T3	27	$6,41.10^{-6}$	Sol limoneux
T4	13	$3,08.10^{-6}$	Sol argileux
T5	33	$7,8.10^{-6}$	Sol limoneux
T6	32	$8,9.10^{-6}$	Sol limoneux

V.1.3. Synthèse

D'après ses résultats notre fourchette de valeur se trouve entre 10^{-5} à 10^{-7} ce qui montre bien un degré de perméabilité faible. Ces ouvrages devront avoir un degré de perméabilité très faible, mais le vieillissement de la digue a provoqué une perte des fines au fil du temps.

Donc on peut s'attendre aujourd'hui lors des crues intenses a des phénomènes de renard hydraulique le long de la digue du Sisaony.

V.2. Reconnaissance géotechnique en laboratoire

V.2.1. Analyse granulométrique par tamisage

On appelle granulats un ensemble de grains minéraux, de dimensions comprises entre 0 et 125 mm, de provenance naturelle ou artificielle, destinés à la confection :

- des mortiers, des bétons ;
- des couches de fondation, des couches de base et de roulement des chaussées ;
- des assises et des ballasts de voies ferrées.

Pour l'analyse granulométrique, les démarches à suivre sont notées sur la figure 39 ci-dessous.

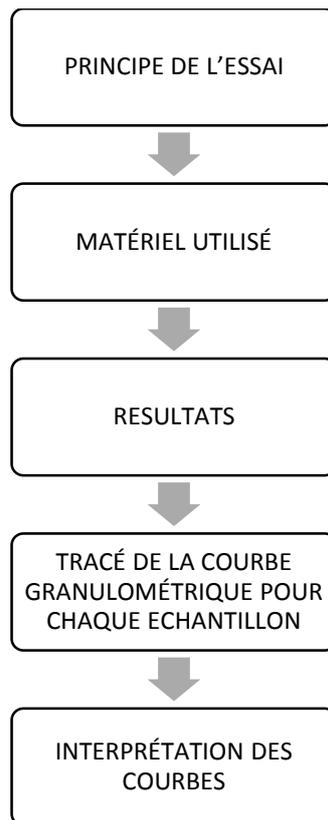


Figure 39: Organigramme sur l'analyse granulométrique par tamisage

V.2.1.1. Objectif

- L'analyse granulométrique consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un granulat dont les dimensions sont comprises entre 0,063 et 125 mm.

On appelle :

- REFUS sur un tamis : la quantité de matériau qui est retenue sur le tamis.
- TAMISAT (ou passant) : la quantité de matériau qui passe à travers le tamis.

V.2.1.2. Tracé de la courbe granulométrique pour chaque échantillon

Il suffit de porter les divers pourcentages des tamisats cumulés sur une feuille semi-logarithmique (figure 40-41) :

- en abscisse : les dimensions des mailles, échelle logarithmique ;
- en ordonnée : les pourcentages sur une échelle arithmétique ;
- la courbe est tracée de manière continue.

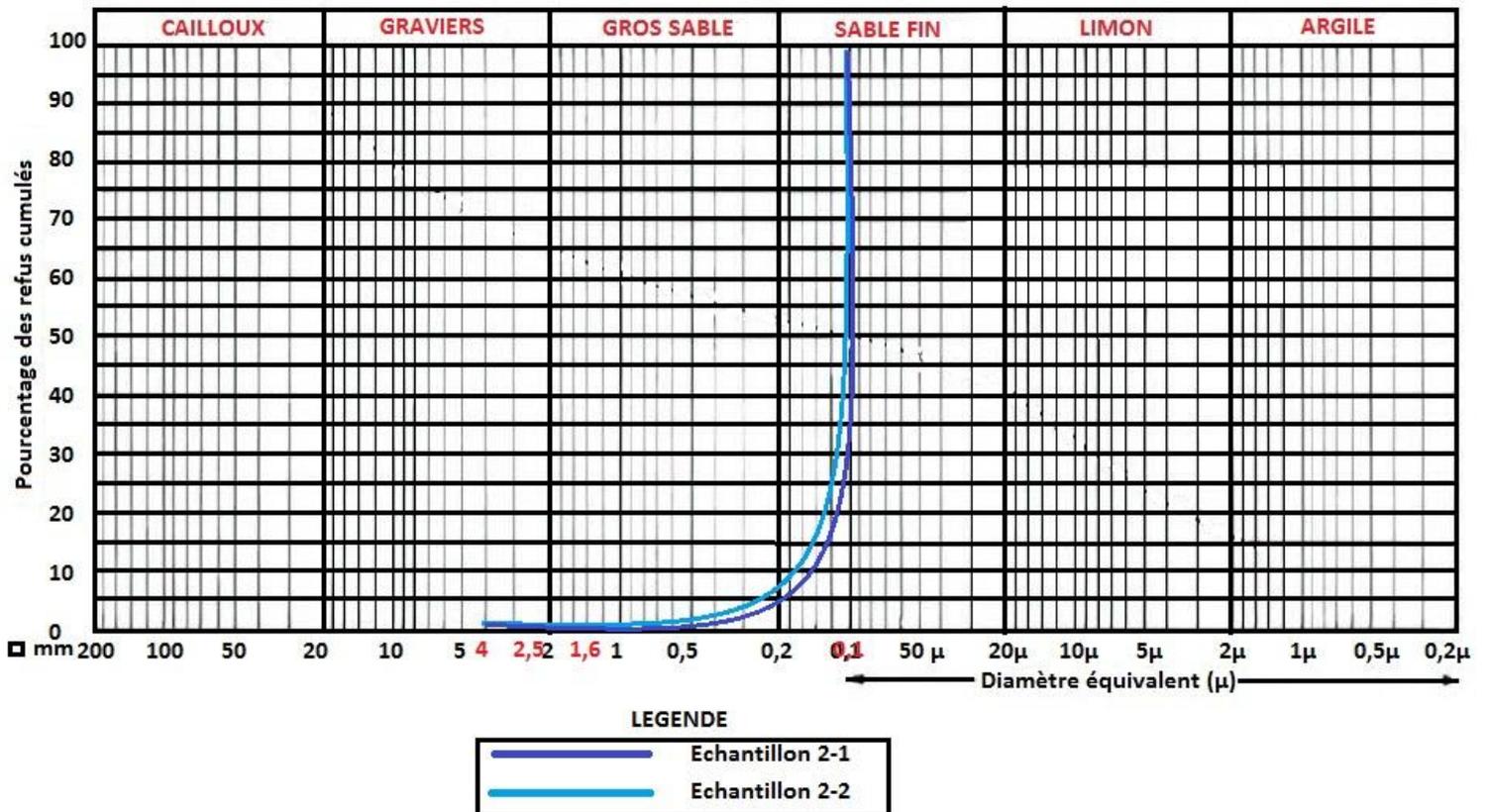
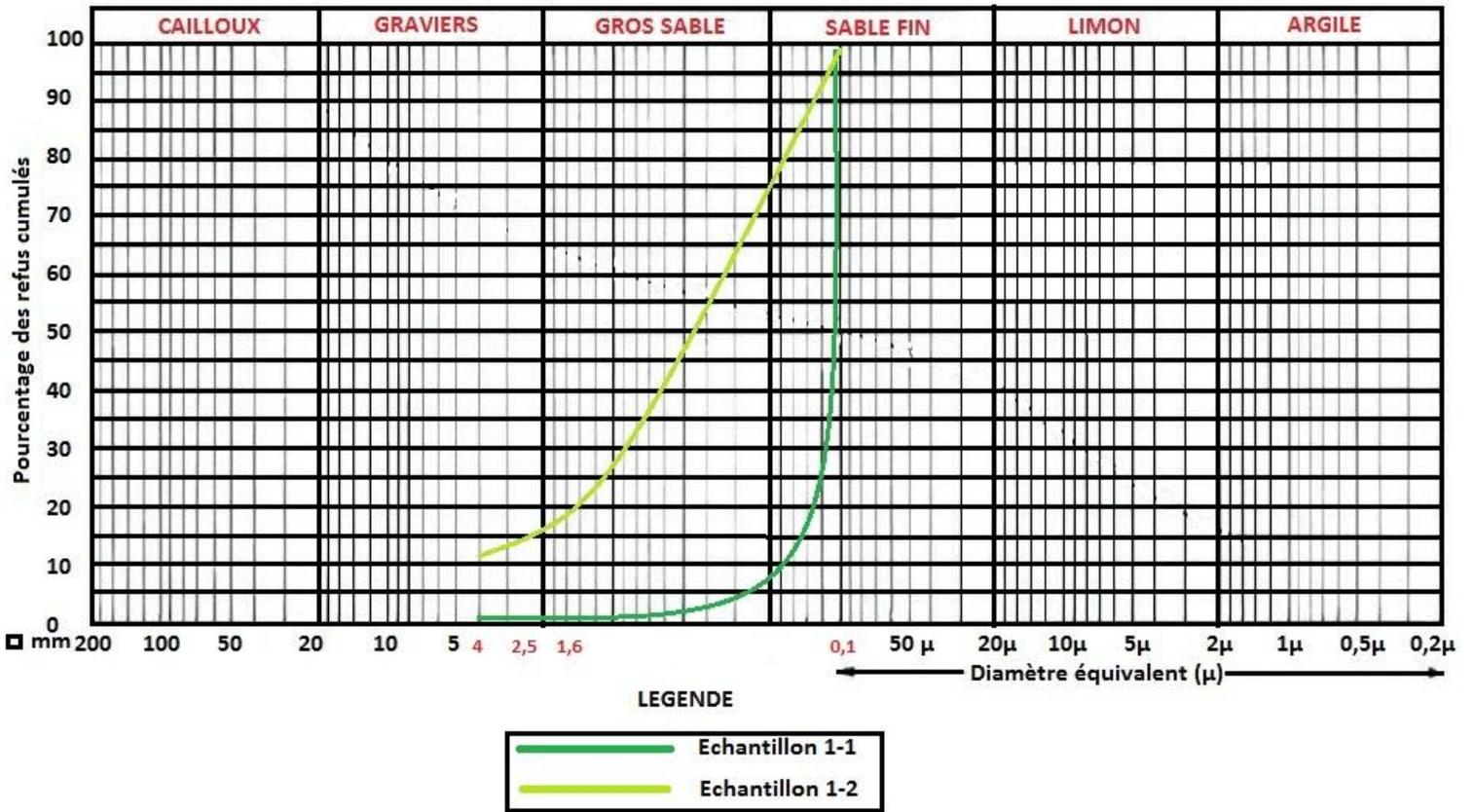
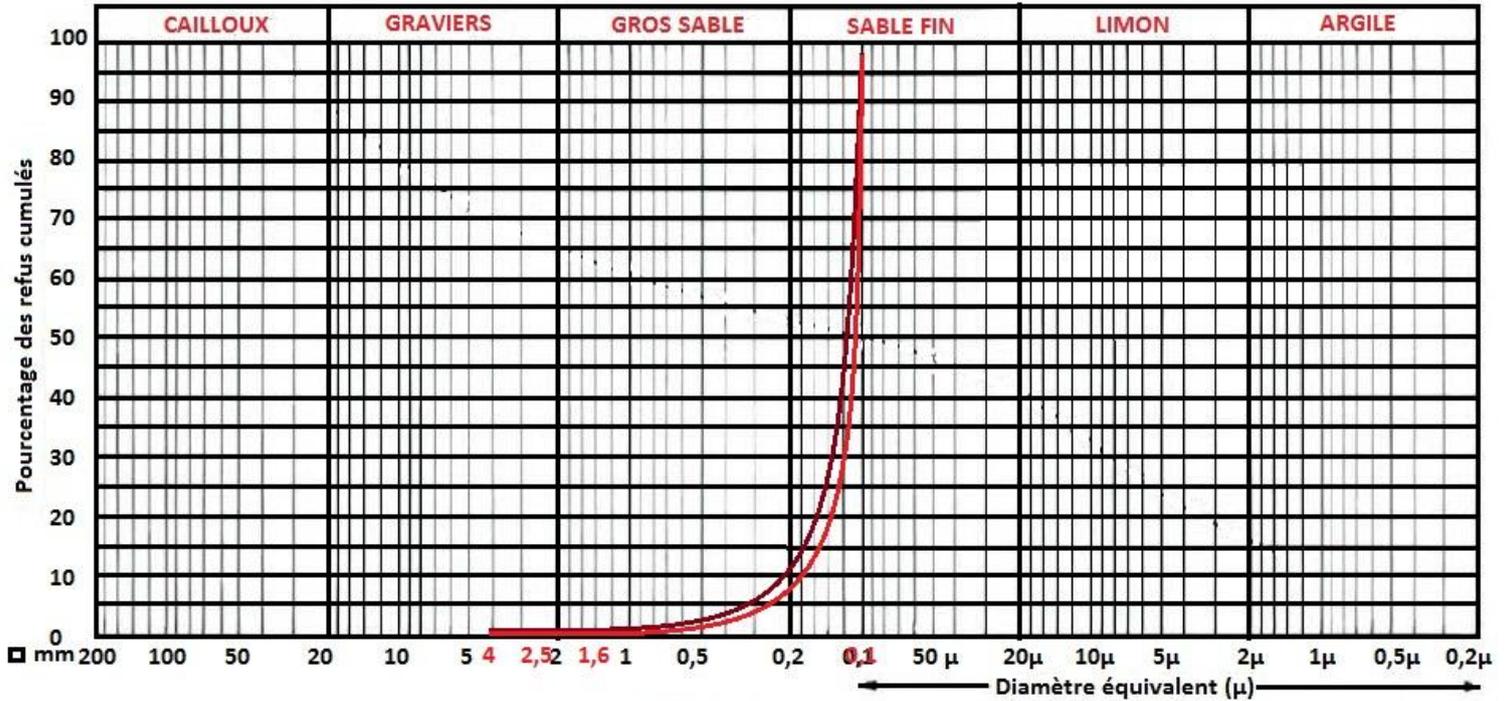
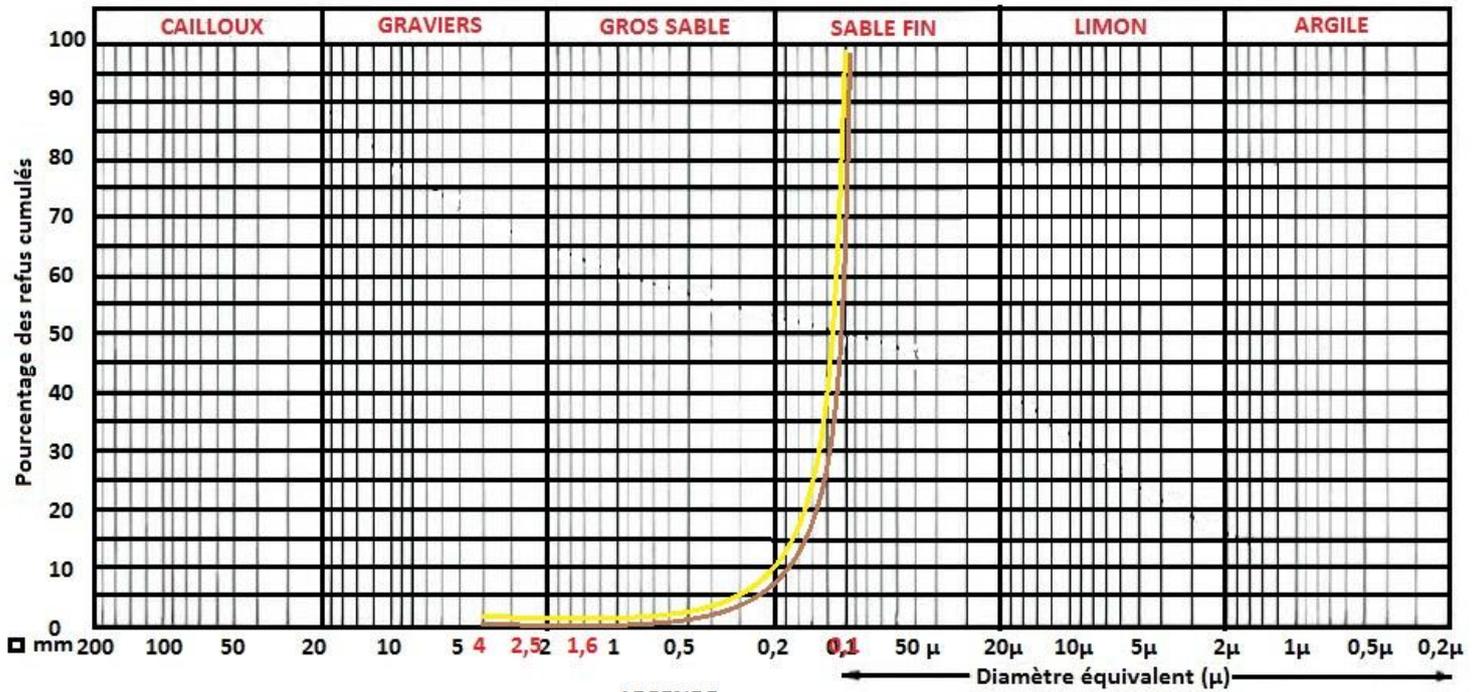


Figure 40: Courbe granulométrique pour les échantillons 1 et 2 présent sur la digue de sisaony



LEGENDE

- Echantillon 3-1
- Echantillon 3-2



LEGENDE

- Echantillon 4-1
- Echantillon 4-2

Figure 41: Courbe granulométrique pour les échantillons 3 et 4

V.2.1.3. Interprétation des courbes

La forme de la courbe granulométrique obtenue apporte les renseignements suivants :

- Les dimensions d et D du granulat,
- La plus ou moins grande proportion d'éléments fins,
- La continuité ou la discontinuité de la granularité.

L'imprécision relative aux échantillons est notée dans le tableau 10 ci-dessous :

Tableau 10: L'imprécision relative

Echantillon N°	$(2/1000) \times MS$	L'imprécision relative : $(R_n + T_n) / MS$
1-1	0,3826	0,0094
1-2	0,7276	0,0011
2-1	0,5524	0,0030
2-2	0,196	0,0030
3-1	0,3132	0,0038
3-2	0,6254	0,0035
4-1	0,898	0,00037
4-2	0,5658	0,014

$$\frac{R_n + T_n}{MS} < \frac{2}{1000} \times MS$$

La norme indique qu'en dessous de $\frac{2}{1000} \times MS$ pour les imprécisions relatives, il n'y a pas de conséquence sur l'analyse, ce qui est pour notre cas.

Pour les échantillons qui sont analysés, d est inférieur à 0.5 mm, le granulat est désigné 0/D. Donc les échantillons sont dans les classes des sables, car pour ces derniers, on a 0/D tels que $D \leq 6,3$ mm.

Le tableau 11 ci-dessous montre dans quelle classe de sable les échantillons se trouvent-ils.

Tableau 11: classes granulaires principales (Norme NF P 18-101)

Ouverture tamis (mm)	Appellation	
5	SABLES	Gros
4		
3,15		
2,50		
2,00		
1,60		Moyen
1,25		
1,00		
0,80		
0,63		
0,50		Fins
0,40		
0,315		
0,250		
0,200		
0,160		FINES
0,125		
0,100		
0,080		

Ce tableau montre que les échantillons sont dans les classes des sables fins, car la majorité des tamisats sont supérieurs à 100 μ m, ce qui est montré dans les diagrammes semi-logarithmique (figure 40-41)

La granulométrie des échantillons est plus ou moins uniforme, mais discontinue sauf pour l'échantillon 1-2 qui est continu.

V.2.2. Essai de limite de plasticité, liquidité, retrait : Limite d'atterberg

V.2.2.1. Description

C'est de déterminer les états de consistance d'un sol la limite de plasticité, la limite de liquidité et limite de retrait.

V.2.2.2. But

Le but de ces tests est de déterminer les limites de consistance qui sont exprimées en termes de teneur en eau marquant les limites entre état solide, plastique, et liquide. Il est important de noter que ces tests ne s'appliquent que pour les sols fins, définis comme ayant des grains de diamètres inférieurs à 0.06mm. Dans notre cas, les grains ont un diamètre inférieur à 100µm.

V.2.2.3. Principe

La consistance d'un sol varie en fonction de la teneur en eau. Selon la teneur en argile et sable, le sol absorbera plus ou moins vite l'eau ajoutée.

Le sol passera successivement de l'état solide à l'état plastique puis liquide.

La limite d'atterberg se réalise sur un matériau dont la taille de particule est <100µm. (tamisage du sol sur tamis de 100µm, on prélève le passant)

Le degré de plasticité des sols est noté dans le tableau 12 suivant.

Tableau 12: Degré de plasticité des sols

Indice de plasticité	Degré de plasticité
$0 < I_P$	Sol non plastique
$5 < I_P < 30$	Sol peu plastique
$30 < I_P < 50$	Sol plastique
$50 < I_P$	Sol très plastique

V.2.2.4. Résultats des essais et graphes

Les résultats obtenus pendant les essais sont regroupés dans le tableau 13 ci-dessous :

Tableau 13: Résultat pour l'essai de limite d'Atterberg

ECHANTILLON Nombre de chocs	W%	Limite de liquidité Wl						Limite de plasticité Wp	
		01		02		03			
Tare N°		A	B	C	D	E	F	G	H
Poids tare (1)		11	11	11	11	11	11	10	09
Poids total humide (2)		21	20	21	20	19	16	14	17
Poids total sec (3)		16	16	16	17	15	14	12	15
Poids d'eau (4) = (2) – (3)		5	4	5	3	4	2	2	2
Poids matériau sec (5) = (3) – (1)		5	5	5	6	4	3	2	6
Teneur en eau $\frac{(4)}{(5)}$		1	0,8	1	0,5	1	0,66	1	0,33
Teneur en eau moyenne W%		90		75		83		66,5	
Wl= 79,5 Wp= 66,5	Ip= 13	21			26		24		
		Nombre de coups							

W_L : Limite de liquidité

W_P : Limite de plasticité

I_p : Indice de plasticité

V.2.2.5. Commentaires

Se basant sur les résultats notés dans le tableau 13, la limite de plasticité théorique s'obtient par calcul de la moyenne des deux limites de plasticités obtenues au laboratoire.

Limite de plasticité : $W_p = 66,5$ [%]

En ce qui concerne la limite de liquidité, vu que, lors des trois tentatives, le sillon s'est refermé après un nombre de coups différents de 25, une courbe de tendance (figure 42) peut fournir la teneur en eau si le sillon s'était refermé à exactement 25 coups.

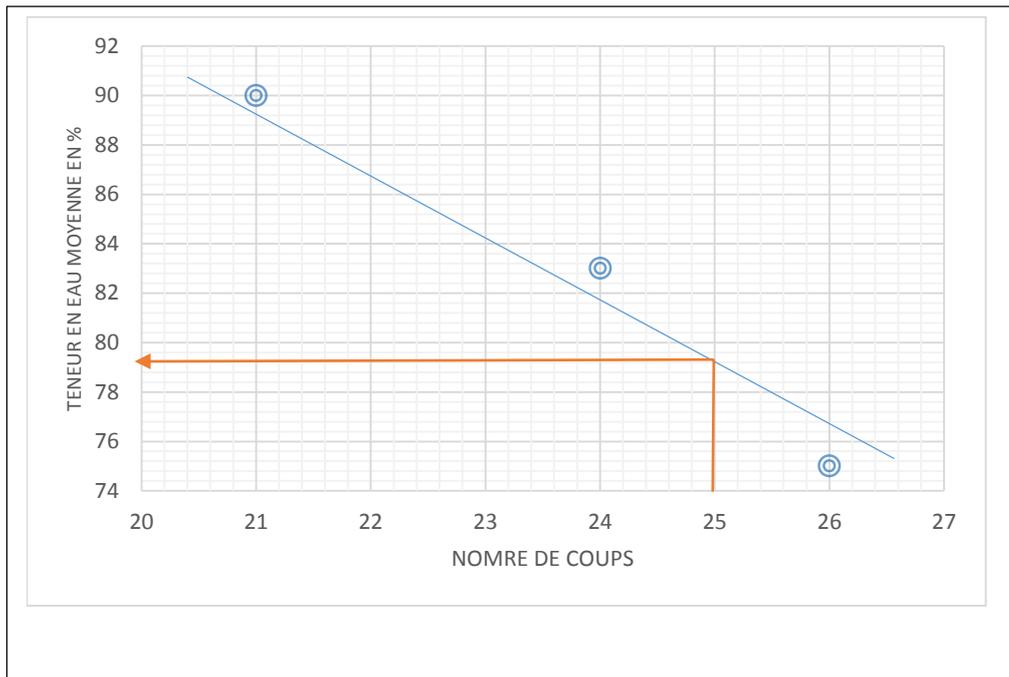


Figure 42: Limite de liquidité

- Ainsi pour 25 coups, on a $Wl = 79,5[\%]$.
- De ce fait on peut calculer l'indice de plasticité $I_p = Wl - Wp = 13 [\%]$.
- En se référant à la désignation de plasticité incluse dans les normes fournies, notre sol fin est peu plastique ($10 \leq I_p \leq 20$) à l'exemple de limon sableux, limon, ...

CONCLUSION

L'inspection visuelle qui est à la fois une inspection sur terrain et création d'une base de données a été facilitée par la connaissance des points à observer et des techniques et procédures à suivre lors de la descente sur terrain. Les données sur terrain ont été associées à des images Google Earth qui étaient notre image de référence, car elles renseignent partiellement la réalité du terrain. Les logiciels de traitement d'image comme Mapinfo étaient un atout indispensable à la réalisation des cartes (base de données) qui représentent respectivement chaque LOT. L'étude des apports de sédiments sur la rivière Sisaony était nécessaire à la compréhension des phénomènes de surverse qui se sont produits de plus, le résultat qui est mentionné dans le tableau 10 montre qu'il y a un excédent de dépôts sur la rivière. Les résultats des études géotechniques in situ et en laboratoire qui montrent à la fois la perméabilité, la limite d'Atterberg et les caractéristiques granulométriques des sols figurent respectivement dans les tableaux 9 et 13, sur la figure 40 et 41.