



République d'Haïti

Université d'État d'Haïti

(UEH)

Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire

(FAMV)

Département des Ressources Naturelles et de l'Environnement

(DRNE)

Sujet : *«Diagnostic du Micro Bassin versant de Péligre et modélisation des paramètres hydrologiques et hydrauliques»*

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Préparé par : Aneçène Joseph BORANGE

Option : Ressources Naturelles et Environnement

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur Agronome

Damien, Mai 2021

Le mémoire intitulé :

Diagnostic du Micro Bassin versant de Péligre et modélisation des paramètres hydrologiques et hydrauliques

NOM et Prénom	Signature	Date
VILMONT Eric Junior
LOUIS Stephen
ALCIUS Steevensen
DOLISCAR Gary

Dédicaces

Ce travail est dédié à :

- Mon père et ma mère qui ont consacré toute leur énergie pour ma formation ;
- Mon frère Wensky BORANGE qui est toujours là pour me donner des conseils ;
- Mes camarades de promotion notamment Romial LOUIS, Elijeune PIERRE, André MICHEL, Cameau Cadostin et James NICOLAS ;
- Ma très chère marraine Myriame Dessalines qui me supporte financièrement durant le cycle d'études :
- Pasteur Celange CORASLIN pour ses aides spirituelles ;

Remerciements

Avant toutes choses, je remercie Dieu, le créateur de l'univers de m'avoir accordé la vie, la force, la santé et l'intelligence nécessaires à la réalisation de ce travail.

Qu'il me soit permis aussi de remercier les personnes qui ont rendu possible ce travail :

- Le professeur Gary DOLISCAR, mon conseiller scientifique ;
- Le directeur du département des Ressources Naturelles et Environnement, Docteur Neudy JEAN-BAPTISTE pour ses conseils ;
- Le doyen de la faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire, je veux parler de Jocelyn LOUISSANT, qui m'a permis de trouver un stage dans le barrage hydroélectrique de Péligre ;
- L'ingénieur Ernst CADET qui me donne beaucoup de témoignages intéressants lors de mes visites dans la centrale hydroélectrique de Péligre ;
- L'ingénieur Saint-Phar JEAN qui m'aide beaucoup à comprendre les logiciels et qui me donne toujours des directions à suivre ;
- L'Ingénieur-Agronome Jean-Marie JOINVIL pour ses supports ;
- L'Ingénieur-Agronome Myrtho JEAN pour ses aides dans la réalisation des cartes ;
- Mes amis et collègues, pour leur support moral ;
- Le corps professoral de la FAMV ;
- L'économiste Fabienne BASTIEN pour son hospitalité ;
- Guerda CORASLIN pour ses conseils ;
- Mes camarades de promotion avec qui j'ai partagé d'agréables expériences et heureux moments.

Résumé

La dégradation de l'environnement est un problème majeur auquel de nombreux pays font face. C'est le cas en Haïti où la crise environnementale est devenue de plus en plus inquiétante. La plupart de nos bassins versants sont dégradés. Un exemple touchant est celui du bassin versant alimentant le lac de Péligre. Les causes sont dues principalement à la déforestation, à l'agriculture et à la précarité des individus. Il n'est pas sans savoir que les racines des arbres jouent un rôle extrêmement important dans la stabilité des sols. La disparition de la couverture végétale en amont des bassins versants entraîne une augmentation de la sédimentation du réservoir. Le comblement du lac-réservoir de Péligre diminue la production d'électricité et affectent également certains matériels électromécaniques. Durant les dernières décennies, un des principaux challenges imposés par la société est la production d'électricité. Face à ce problème, une étude-diagnostic a été effectuée dans le but de proposer des pistes de solutions. L'objectif de ce présent travail consiste à modéliser des données hydrauliques et hydrologiques dans le but de limiter les risques situés tant en amont qu'en aval du barrage hydroélectrique de Péligre tout en tenant compte de ses différents impacts environnementaux. Pour atteindre cet objectif, nous avons inspecté le site, nous avons fait des recherches documentaires et nous avons également utilisé des logiciels notamment Excel, xlstat, ArcGIS et HEC-RAS pour le traitement des données. Le barrage-réservoir de Péligre joue plusieurs rôles particulièrement dans le contrôle des risques d'inondation, l'irrigation et la production d'électricité. Les dégâts que subit ce barrage sont considérables. Il est impacté surtout par la sédimentation. Le bassin versant alimentant le réservoir a un risque d'érosion et une altitude élevée. La disparition de la couverture végétale influence le ruissellement et a un effet direct sur la perte de sol. Le volume de sédiments enregistrés en 1956 et en 2016 est respectivement 135 et 353 millions de mètres cubes. À travers un graphe réalisé sur XLSTAT, nous avons vu que le niveau du lac varient considérablement. Cette situation entraîne un faible débit turbiné qui va provoquer d'un autre côté une faible production d'électricité. Il se peut que la situation s'empire à l'avenir si des actions correctives ne sont pas adoptées tant en amont qu'en aval du bassin versant de Péligre.

Mots-clés : bassin versant, modélisation hydraulique, sédimentation, débits.

Table des matières

Dédicaces	ii
Remerciements.....	iii
Résumé.....	iv
Listes des sigles et abréviations	xiv
1 INTRODUCTION	1
1.1. Problématique.....	2
1.1.1 Historique du barrage de Péligre.....	3
1.1.2 Présentation de la centrale hydroélectrique de Péligre	4
1.1.3 Caractéristiques du lac de Péligre	5
1.1.4 Localisation du lac de Péligre	5
1.1.5 Présentation de la zone d'étude.....	7
1.2 Objectifs	8
1.2.1 Objectif général.....	8
1.2.2 Objectifs spécifiques	8
1.3 Justification de l'étude	9
1.4 Limitations de l'étude.....	9
1.5 Formulation de l'hypothèse de recherche	9
2 REVUE DE LITTÉRATURE.....	10
2.1 Bassin versant.....	10
2.1.1 Utilité de la notion de bassin versant	10
2.1.2 Caractéristiques physiographiques d'un bassin versant.....	10
2.1.3 Description des fonctions d'un bassin versant.....	12
2.1.4 Indices de forme d'un BV	13

2.2	Les types de pentes d'un bassin versant	13
2.2.1	Pente orographique	13
2.2.2	Pente topographique.....	13
2.2.3	Pente hydrographique	13
2.2.4	Pente stratigraphique.....	13
2.3	Les bassins versants du pays : Présentation globale.....	14
2.4	Situation actuelle des Bassins versants d'Haïti	14
2.5	Aménagement des bassins versants.....	14
2.6	Dégradations des bassins versants.....	15
2.7	Réservoir	15
2.8	Barrage	16
2.9	Les différents types de barrages	16
2.9.1	Barrages en béton.....	16
2.9.2	Barrages en remblais	17
2.9.3	Barrages mobiles.....	17
2.10	Classification des barrages	17
2.10.1	Les matériaux de construction	17
2.10.2	La façon à résister à la poussée de l'eau	17
2.11	Les différents types de centrale hydroélectriques : Grande et petite hydraulique	18
2.11.1	Grande Hydraulique	18
2.11.2	Petite Hydraulique	19
2.12	Modes d'exploitation des barrages.....	19
2.13	Impacts environnementaux du barrage hydroélectrique du Péligre	19
2.14	Contrôle du flux d'eau.....	19

2.15	Blocage à la migration des poissons	20
2.16	Piégeage et modification du transport des sédiments.....	20
2.17	Fragmentation des écosystèmes	21
2.18	Mort des individus.....	22
2.19	Effets indirects du barrage.....	22
2.20	Avantages de l'énergie hydraulique	22
3	METHODOLOGIE	23
3.1	Matériels et méthode	23
3.2	Inspection du site.....	23
3.3	Recherche documentaire	23
3.4	Elaboration d'une fiche d'enquête	23
3.5	Collecte des données	24
3.6	Enquête formelle	24
3.7	Traitement des données	24
3.8	Aspects biophysiques du bassin de Péligne	25
3.8.1	Délimitation du bassin versant de Péligne.....	25
3.8.2	La forme.....	25
3.8.3	Le rectangle équivalent	25
3.8.4	Caractéristiques topographiques du SBV	26
3.8.5	Les classes d'altitude et de pente	26
3.8.6	La courbe hypsométrique.....	26
3.8.7	La densité de drainage.....	26
3.9	Modélisation Avec XLSTAT	26
4	RESULTATS ET DISCUSSIONS	28
4.1	Présentation de la réalité des versants de Péligne.....	28

4.1.1	Forme, superficie et périmètre du bassin versant de Péligre.....	28
4.1.2	Le rectangle équivalent	30
4.1.3	Pentes	30
4.1.4	Courbe hypsométrique	32
4.1.5	Altitude	32
4.1.6	La densité hydrographique.....	34
4.1.7	L'érosion hydrique.....	34
4.1.8	Occupations des sols du micro bassin versant de Péligre pour l'année 1998 37	
4.1.9	Occupations des sols du micro bassin versant de Péligre pour l'année 2014 38	
4.1.10	Indicateurs morphométriques du bassin versant de Péligre	40
4.1.11	Les causes de la dégradation des sous-bassins versants alimentant le Barrage-Réservoir de Péligre.....	40
4.2	Les activités mises en valeur dans les sous bassins versant alimentant le Barrage-Réservoir de Péligre	42
4.2.1	Agriculture	42
4.2.2	Elevage.....	42
4.2.3	Système d'outillage.....	42
4.2.4	Le calendrier cultural	43
4.2.5	Coup d'œil sur les activités de conservation des sols réalisées dans le bassin versant alimentant le Barrage-Réservoir-Péligre.....	43
4.2.6	ONG et institutions étatiques	44
4.3	Conclusion partielle.....	44
4.4	Modélisation des paramètres hydrauliques du barrage hydroélectriques de Péligre.....	45

4.4.1	Description du Modèle HEC-RAS.....	45
4.4.2	Application de HEC-RAS.....	45
4.4.3	Modélisation hydraulique avec XLSTAT.....	51
4.4.4	Modélisation des débits chassés en fonction de la hauteur du limnimètre de la station Guayamouc pour l'année 2014	53
4.4.5	Modélisation des débits turbinés par rapport à la hauteur du barrage pour l'année 2008 à 2010.....	55
4.5	Analyse des débits journaliers pour l'année 2009 à 21018.....	57
4.6	Analyse de la production pour l'année 2014 à 2018.....	58
4.7	Analyse des données hydrologiques dans les bassins versants alimentant le lac de Péligre.....	59
4.7.1	Analyse de la précipitation atmosphérique annuelle en millimètres et dixièmes pour la station Hinche	59
4.7.2	Analyse précipitation atmosphérique annuelle en millimètres et dixièmes pour la station Lascahobas.....	60
4.8	Espérance de vie du barrage de Péligre.....	61
4.9	Perspective d'envasement de la retenue de Péligre.....	62
5	PROPOSITIONS	64
5.1	Conservation et réhabilitation du milieu biophysique.....	64
5.2	Sensibilisation des gens pour une exploitation rationnelle des ressources	64
5.3	Développer des programmes de reboisement dans les zones vulnérables	64
5.4	Promotion de nouvelles alternatives	65
5.5	Promotion des activités non-agricoles rémunératrices.....	65
5.6	Réhabilitation de la centrale hydroélectrique de Péligre.....	65
5.7	Installation des petits barrages en amont du lac de Péligre.....	66
6	CONCLUSION	67

7 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....68

8 ANNEXES.....72

Liste des tableaux

Tableau 1 : Différents types de centrales hydroélectriques	18
Tableau 5 : Résumé des paramètres morphométriques du bassin versant de Péligre	40
Tableau 6 : Analyse de variance pour les débits chassés en fonction de la hauteur du barrage pour l'année 2016.....	51
Tableau 7 : Les paramètres pour le modèle des débits chassés en fonction de la hauteur du barrage hydroélectrique de Péligre pour l'année 2016	52
Tableau 8 : Analyse de variance pour les chasser en fonction de la hauteur du limnimètre de la station Guayamouc pour l'année 2014	53
Tableau 9 : les paramètres pour le modèle des débits chassés en fonction de la hauteur du limnimètre de la station Guayamouc pour l'année 2014	54
Tableau 10 : Analyse de variance pour les débits turbinés par rapport à la hauteur du barrage pour l'année 2008 à 2010.....	55
Tableau 11 : Les paramètres du modèle pour les débits turbinés par rapport à la hauteur du barrage pour l'année 2008 à 2010.....	56

Liste des figures

Figure 1: Présentation du barrage hydroélectrique de Péligré	4
Figure 2: Image présentant la centrale hydroélectrique de Péligré.....	5
Figure 3: Carte de localisation du lac de Péligré	6
Figure 4: Situation du bassin versant alimentant le lac de Péligré	15
Figure 5: Présentation du bassin de Péligré	29
Figure 6: Pentés du bassin versant de Péligré.....	31
Figure 7: Courbe hypsométrique du bassin versant de Péligré.....	32
Figure 8: Carte des classes d'altitude du bassin versant de Péligré	33
Figure 9: Présentation des risques d'érosion du bassin versant de Péligré	36
Figure 10: Carte d'occupation du bassin versant de Péligré(1998).....	38
Figure 11: carte d'occupation des sols du bassin de Péligré(2010).....	40
Figure 12 : Fourneau de charbon bassin versant de Thomonde	41
Figure 13 : Image d'un micro retenu dans la zone de rampe soldat.	43
Figure 14 : Structure en Gabion dans la ravine de Nifyèn.....	44
Figure 15: Cas où la hauteur d'eau est très faible dans le lac.....	46
Figure 16: Profil transversal du lac en 3D cas où le volume est très faible	47
Figure 17: Cas où le volume d'eau est normal dans le lac	48
Figure 18: Profil transversal du lac en 3D cas où le volume d'eau est normal	48
Figure 19: Cas où le volume d'eau est supérieur à la normale dans le lac.....	49
Figure 20: Profil transversal en 3D du lac cas où le volume d'eau est supérieur à la normale.	50
Figure 21: Hauteur d'eau dans le lac en fonction des différentes positions.....	51
Figure 22: Régression des débits chassés de l'année 2016 en fonction de la hauteur du barrage.....	53
Figure 23: Régression des débits chassés en fonction de la hauteur limnimétrique	55
Figure 24 : Régression des débits turbinés par rapport à l'élévation pour l'année 2008 à 2010.....	57

Figure 25 : Présentation des débits moyens journaliers du barrage de Péligre pour l'année 2009 à 2018.....	58
Figure 26: présentation de la production d'électricité dans le barrage pour l'année 2014 à 2018.....	59
Figure 27 : Représentation de la précipitation annuelle de la station Hinche pour l'année 1912à1959	60
Figure 28 : Représentation de la précipitation annuelle de la station Lascahobas pour l'année 1969 à 1962	61
Figure 29: Simulation des volumes sédimentés depuis 1956	62

Listes des sigles et abréviations

AECOM:	AECOM Technology Corporation
AQUASTAT:	Système d'Information Mondial de la FAO sur l'Eau et l'Agriculture
BV :	Bassin versant
C :	Carbone
COB :	Coyne et Bellier, Bureau d'ingénierie, experts et conseils
EDH :	Électricité d'État d'Haïti
FAO :	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
GWH :	Giga watt heure
L.G.L :	Lalonde Girouard Letendre, Société d'expertise et d'ingénierie
m³ :	Mètre cube
MDE:	Ministère de l'Environnement
N :	Azote
ODVA :	Organisation pour le Développement de la Vallée de l'Artibonite
OEA :	Organisation des États Américains
P :	Phosphore
PDNA :	Évaluation des besoins post-catastrophe
PMDN :	Programme de Mitigation des Désastres Naturels
PROGEBBA :	Programme de Gestion de l'Eau dans le Bassin Versant de L'Artibonite
UICN :	Union Internationale pour la Conservation de la Nature

1 INTRODUCTION

La dégradation de l'environnement constitue un problème majeur auquel de nombreux pays font face, mais les mécanismes participant à cette dégradation diffèrent d'un pays à l'autre. Dans les pays développés, l'utilisation de certaines technologies et les excès de consumérisme laissent eux des volumes de déchets difficilement recyclables. Ce phénomène se manifeste dans les pays du sud par la surexploitation des ressources ligneuses et l'érosion des terres qui, chaque année, conduit à l'abandon de sept(7) millions d'hectares et la disparition de dix(10) millions d'hectares de forêts ombrophiles tropicales (ELLISSADE et al 2003, cité par ULYSSE, 2008).

En Haïti, le problème de la dégradation des sols se manifeste à l'échelle nationale et saute aux yeux des observateurs les moins avertis. La détérioration des ressources naturelles renouvelables et la gestion des bassins versants en particulier représentent un problème majeur qui attire l'attention de tout le monde. De l'aspect physique du pays et de la prédominance de l'agriculture de montagne sur celles des plaines et des vallées, il en a découlé une dégradation continue et poussée de la majeure partie des bassins versants par suite d'une agriculture de subsistance pratiquée par des centaines de milliers de petits exploitants agricoles. En effet, près de 63% des exploitations agricoles ont une pente supérieure à 20% et seulement 29% accusent une pente de moins de 10%(PIERVIL, 1999). Il a été prouvé depuis 1981 que près de 20% des sols de montagne étaient sur le point de ne plus pouvoir être utilisés à des fins agricoles, 30% étaient sérieusement menacés et risquaient d'être perdus si rien n'est fait pour les protéger à court terme, les 50% restant étant chaque jour de plus en plus affecté par l'érosion (MAGNY, 1991).

C'est le cas dans le bassin versant alimentant le lac de Péligre, les conditions de dégradation sont énormes. La principale cause est surtout la déforestation qui est présentée comme un phénomène contemporain. L'utilisation des ressources ligneuses comme source principale d'énergie contribue à la destruction quasi complète de la couverture forestière et a grandement contribué au processus de l'érosion s'appuyant sur d'autres facteurs tels que la topographie et les mauvaises pratiques culturelles sur des pentes accentuées (PNUD, 2005 ; ROOSE, 1994). Parallèlement, l'augmentation de la

population, avec un taux de croissance autour de 2% rend extrêmement difficile de gérer le rapport entre l'homme et les ressources naturelles, ce qui engendre une pression exagérée sur les maigres ressources disponibles qui faute de pouvoir s'adapter se détériorent (MONTAS, 2005). Avec les problèmes de dégradation qui ne cessent pas de croître en amont, le niveau de sédimentation augmente progressivement au niveau du réservoir de Péligre ce qui va entraîner une diminution considérable de la production d'électricité. Et d'un autre côté, l'un des principaux challenges imposés par la société est d'assurer une disponibilité énergétique pour répondre aux besoins en tout instants. Face à cette situation, il est impérativement important de prendre en considération ces problèmes. C'est dans cette perspective qu'une étude-diagnostic est réalisée en vue de proposer des pistes de solutions.

1.1. Problématique

Le barrage-réservoir de Péligre est unique en Haïti et joue un rôle vital à cause de sa vocation tripartite: contrôle des crues, irrigation dans la vallée de l'Artibonite et production hydro-électrique. Quelques temps après sa mise en service, la capacité de stockage du lac est réduite par suite de la sédimentation due à l'érosion produite en aval dans le bassin versant. Une étude sur la sédimentation menée par une firme canadienne LGL en 1980 a démontré que la réserve initiale du lac qui était 607 millions de m³ est passée 472 millions de m³. Selon cette même étude, on a montré que le volume de sédiments déposés dans le lac de 1956 à 1980 s'est élevé à 135 millions de mètres cubes soit un taux moyen de 5,6 millions de mètres par année sur 24 ans. De 1980 à 1984, ce taux est passé à 6,5 millions de mètres cubes par an pour atteindre de nos jours plus de 12 millions de m³ par an (BDPA et SCETAGRI, 1990). La sédimentation du lac a exercé des impacts négatifs sur le système d'irrigation et le contrôle des crues dans la vallée de l'Artibonite ainsi que sur la production d'électricité. À ce titre les pertes sont évaluées à \$29 millions pour la baisse du débit garanti pour l'irrigation et à \$17,3 millions pour la production hydroélectrique (L.G.L, 1981).Malgré les différents travaux réalisés dans le lac, la sédimentation ne cesse pas de croître au niveau du lac, selon les dernières études, il est passé à 353 millions de m³ (GLM Engineering, 2016). Donc, la capacité du lac est fortement réduite par la sédimentation.

Le fleuve Artibonite, dont le tiers se trouve en République Dominicaine, est le plus important cours d'eau avec un bassin hydrographique de 9 550 km². De façon générale, les cours d'eau connaissent une forte sédimentation, principalement due au déboisement de leurs bassins versants. Environ 40-50 millions d'arbres sont coupés par an ce qui contribue à l'érosion des sols, à la sédimentation des plans et cours d'eau, à l'obstruction des canaux de drainage et à la diminution du débit des sources (MDE, 2001). Les racines des arbres jouent un rôle important dans la stabilité des sols. Les sols nus provoquent un risque d'érosion plus intéressant. Selon le rapport Haïti-OEA (1987), la plus grande partie des eaux de pluie ruissellent rapidement en surface, ce qui favorise l'érosion laminaire, l'érosion en rigole et les ravinements. Dans les années 1980, environ 6 000 hectares de terres en pente forte étaient abandonnés par année à cause de l'érosion (Paskett et Philoctète 1990). Des études réalisées sur la dégradation de l'environnement et les catastrophes naturelles, souligne que les bassins versants présentent des difficultés en termes d'alimentation en eau pendant les périodes de sécheresse (PDNA, 2008). Il faut aussi noter que l'étiage au niveau du lac a baissé la production des poissons et le revenu d'un bon nombre de pêcheurs. Pour protéger le lac et pour éviter que les problèmes amplifient, plusieurs mesures peuvent être entreprises à savoir: la réduction des sédiments en amont du lac en utilisant des structures appropriées, l'enlèvement des sédiments au niveau du lac dans un autre endroit, la reforestation dans les bassins versants se trouvant en amont du lac, la conservation des sols dans l'aire du réservoir de Péligre pour ne citer que ceux-là.

1.1.1 Historique du barrage de Péligre

La construction a commencé en 1956 à des fins de contrôle des crues et de l'irrigation. Le niveau maximal a alors été fixé à la cote 167 m pour une capacité totale de 172 X 10⁶m³. Ce travail a été réalisé par une firme américaine portant le Brown and Root(COB-L.G.L, 1990). En 1972 fut achevée la seconde phase pour l'exploitation hydro-électrique en rehaussant le niveau maximal à la cote 172 m pour une capacité maximale de 607 x 10⁶ m³ dont 77% en réserve utile et 23% en réserve morte. Le barrage ainsi construit n'est muni d'aucun système de vidange de fond pour les sédiments.



Figure 1: Présentation du barrage hydroélectrique de Péligre

Source : <https://www.naptup.com/article.phpid=264&c=news>

1.1.2 Présentation de la centrale hydroélectrique de Péligre

À 52 kilomètres de Port-au-Prince, en suivant la route Nationale no 3, soit à 9 kilomètres de Mirebalais, se dressent la centrale de Péligre et son barrage. Le barrage est pourvu de 7 vannes dont 3 évacuateurs de crue et quatre vannes de chasses. C'est une centrale de moyenne chute. Elle est d'une hauteur de 172 m par rapport au niveau de la mer. La centrale de Péligre est dotée de trois turbines d'une capacité de 15.5 MW chacune. Ces turbines types Francis ont été installées par une compagnie italienne. On peut dire que la centrale a une capacité moyenne de 45 MW.



Figure 2: Image présentant la centrale hydroélectrique de Péligre

Source : <https://www.edh.ht/centrales-hydro.php>

1.1.3 Caractéristiques du lac de Péligre

La couleur de l'eau est verte en raison du développement important du plancton dans le lac. Cette couleur indique également que le lac est très fertile, car elle est le résultat de la matière organique qui entre avec la sédimentation des rivières, qui se fait à l'embouchure des rivières dans le lac. Ce phénomène permet le développement de la faune aquatique qui y trouve une nourriture abondante et contribue par la même occasion au développement de la pêche.

1.1.4 Localisation du lac de Péligre

Le lac de Péligre est une étendue d'eau située dans la République d'Haïti dans le département du Centre. Il s'étend dans trois communes. La plus grande partie se situe dans la commune Lascahobas et le reste au niveau de la commune de Belladère et Boucan Carré. Les coordonnées géographiques permettant de situer le lac sont les suivants : 18° 54' 30" N 72° 00' 00" W.

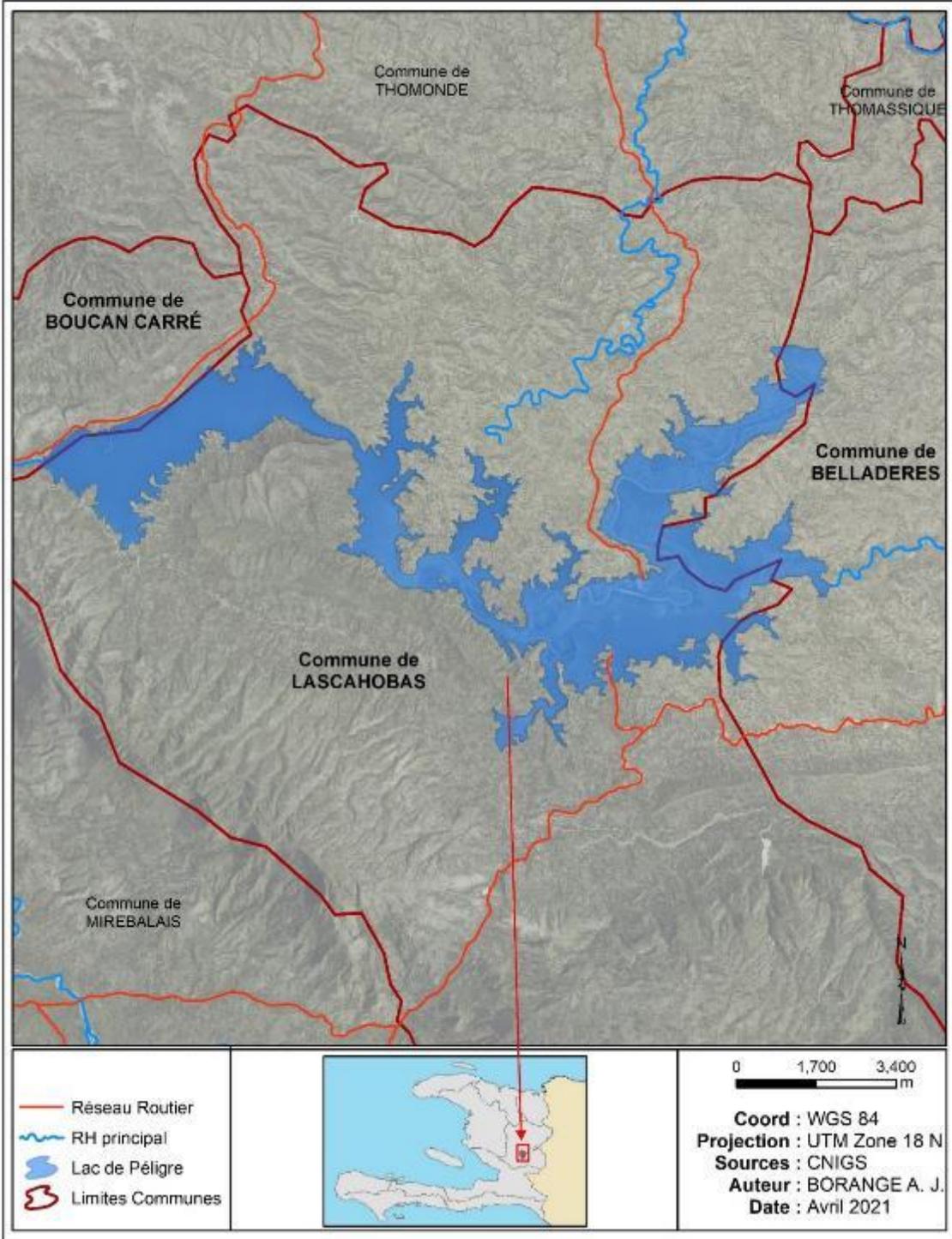


Figure 3: Carte de localisation du lac de Péligre

1.1.5 Présentation de la zone d'étude

1.1.5.1 Pluviométrie

Le régime pluviométrique de la zone d'étude est caractérisé par deux saisons : Avril-Octobre où l'on enregistre des fortes averses et Novembre-Mars où les précipitations sont faibles. La zone reçoit une pluviométrie moyenne d'environ 2172 mm de pluie.

1.1.5.2 Température

La zone d'étude ne connaît pas vraiment une variation de température. La température moyenne minimale est de 23.6 °C et la température maximale est 26.9 °C. La température moyenne annuelle de la zone est 25.6 °C.

1.1.5.3 Hydrologie

Le fleuve Artibonite est l'artère fluviale principale du réservoir de Péligre. Long de 365 Km, ce fleuve prend sa source à plus de 1000 mètres d'altitude en République Dominicaine et draine un bassin versant de 9600 Km² dont les deux tiers, soit 6400 Km² se trouve en Haïti. Il comprend plusieurs affluents comme la rivière de Thomonde, Rivière Onde verte, Rivière Lascahobas, Rivière Guayamouc, Rivière Fer-a-Cheval, Rivière Boucan-Carré, Rivière Lathème, Rivière Blanche, Rivière Bois, Rivière Roche, Rivière Espagnole, etc., dont certains sont à régime permanents et d'autres temporaires.

1.1.5.4 Végétation

La végétation de la zone est très diversifiée. Dans les versants proches du réservoir, la majorité des terres sont sur végétation permanente particulièrement celles qui ont des pentes très prononcées. Pour les terres cultivées, on trouve des systèmes agro-forestiers avec les manguiers qui sont très nombreux.

1.1.5.5 Géologie

Du point de vue géologique, le bassin versant alimentant le lac de Péligre occupe une position intermédiaire entre un ensemble septentrional de type arc insulaire représenté par le Massif du Nord et un ensemble méridional de type bassin océanique particulièrement développé dans la presqu'île du sud d'Haïti. Sur le plan géologique, trois formations sont dominantes :

- Les alluvions et matériaux détritiques retrouvés dans les zones de plateau Saint Michel de l'Attalaye et de Saint-Raphaël représentent 17% de la superficie ;
- Les marnes et les sables situés dans le prolongement du couloir central représentant la formation la plus étendue avec près de 25% de la superficie ; et
- les calcaires durs situés à la base des chaînes de montagnes au Nord-Est et Nord-Ouest du plateau couvrent plus de 17% de l'aire du bassin versant.

Il faut remarquer une très faible présence de matériaux basaltiques (4%) localisés sur le prolongement de la chaîne des Cahos. Les roches sont à 86% d'origine sédimentaire, alors que 14% seulement sont d'origine magmatique (PREPTIT et al. 1992).

1.1.5.6 Géomorphologie

Les formations géomorphologiques constituées par les mornes couvrent 38% de la partie haïtienne du bassin du fleuve Artibonite en amont du barrage de Péligré. Les bancs, plaines et vallées constituant une grande partie du Plateau Central s'étendent sur 45% de l'aire du bassin versant. Le reste de l'aire est pratiquement constituée de formations rocheuses. Les formations karstifiées, qui jouent un rôle important sur l'infiltration des précipitations et la formation de résurgences en aval, s'étendent sur 22% du bassin versant. De plus, l'ensemble des formations contenant une proportion significative de calcaire donnent naissance à 46% des sols du bassin ayant une forte tendance alcaline (Haïti-OEA 1987, cite par OXFAM et CRSOGEMA, 2006).

1.2 Objectifs

1.2.1 Objectif général

L'objectif général de ce présent mémoire consiste à modéliser des données hydrauliques et hydrologiques dans le but de limiter les risques situés tant en amont qu'en aval du barrage hydroélectrique de Péligré tout en prenant en compte de ses différents impacts environnementaux.

1.2.2 Objectifs spécifiques

Ce travail de recherche a pour objectif spécifique de :

- Déterminer les causes de la dégradation du bassin versant de Péligré ;

- Faire une analyse des données hydrologiques et hydrauliques du barrage ;
- Proposer des solutions aux différents problèmes rencontrés dans le bassin versant et également dans la centrale hydro-électrique de Péligre ;

1.3 Justification de l'étude

Ce document a une importance capitale. Il sera utile notamment aux organisations internationales et en particulier aux autorités étatiques pour la réalisation de nouveaux travaux dans le barrage, c'est-à-dire qu'il sera un guide pour n'importe quel individu voulant recueillir des informations relatives à ce domaine. Ce travail de recherche réalisé dans le réservoir de Péligre se fait dans le but de protéger le lac contre l'envasement, d'augmenter la quantité d'électricité produite par le barrage et de limiter les carences d'eau pour l'irrigation dans les zones se trouvant en aval du barrage. De plus, il va permettre d'avoir des connaissances sur l'état des bassins versants en amont du lac et de prévenir les situations pouvant entraîner l'aggravation.

1.4 Limitations de l'étude

Cette étude n'a pas la prétention d'être parfaite. Il existe certaines limites qu'il est important de relever. Il s'agit bien évidemment des difficultés rencontrées dans la collecte des informations. Nous avons comme tâche de recueillir les données relatives à la production du barrage durant les 10 dernières années (2010-2018). On a remarqué pour chaque année, il y a toujours des données manquantes. De plus, nous n'avons pas trop de détails sur les études déjà effectuées dans le barrage et suffisamment de fonds pour réaliser les travaux de terrain.

1.5 Formulation de l'hypothèse de recherche

La sédimentation enregistrée au niveau du lac est due principalement aux dégradations des bassins versants alimentant le lac.

2 REVUE DE LITTÉRATURE

2.1 Bassin versant

Les définitions attribuées au concept de bassin versant se rapportent généralement aux caractéristiques hydriques et topographiques (FAO, 1996). Selon SHENG (1993), un bassin versant est une zone topographiquement délimitée qui est drainée par un système fluvial. Il correspond à la superficie totale des terres drainées en un point d'un fleuve ou d'une rivière. Il s'agit d'une entité hydrologique définie et utilisée comme entité physico-biologique et socio-économico-politique pour planifier et aménager les ressources naturelles (FAO, 1996). On emploie souvent le terme bassin hydrologique comme de bassin versant.

2.1.1 Utilité de la notion de bassin versant

La connaissance d'un bassin versant est fondamentale dans toute étude hydrologique et/ou de risque naturel ou de vulnérabilité de la ressource en eau. Le bassin versant est le cadre général des études d'hydrauliques (FURUSHO, 2008). Les études hydrologiques par approche par bassin versant présentent des avantages en amont et en aval du bassin. En amont l'approche par bassin versant permet de garantir la qualité d'eau disponible, développer la ressource énergétique (barrage), réduire le risque d'érosion des pentes, assurer la remontée des espèces aquatiques (poissons), et en aval lutter efficacement contre la pollution, garantir les quantités et réduire le risque d'inondation.

2.1.2 Caractéristiques physiographiques d'un bassin versant

Un bassin versant comprend en général quatre portions fondamentales de terrain : les sommets, les flancs, les ravines et les zones de déposition (GIL, 1986).

2.1.2.1 Les sommets

Ce sont en général des surfaces planes ou légèrement convexes qui se trouvent dans les parties supérieures du bassin versant. Ils sont le plus souvent allongés, parfois étroits et situés de part et d'autre de la ligne de partage des eaux.

2.1.2.2 Les flancs

Ce sont les parties latérales d'une montagne. Ils sont caractérisés par une pente forte le plus souvent rectiligne. À ce niveau, le ruissellement est très intense et l'érosion se fait par éboulement. Ces portions de terrain réclament grandement l'implantation des structures de mise en défenses (DESORMES, 1998).

2.1.2.3 Les Ravines

Ce sont des zones plus moins ou moins concaves qui constituent des canaux d'écoulement des eaux pluviales en montagnes. L'ensemble des ravines forme le réseau hydrographique ou de drainage du bassin versant.

2.1.2.4 Zones de déposition

C'est la partie d'un terrain ayant des pentes très faibles sur lesquelles les eaux de crues perdent leur vitesse et une partie de leur capacité de charriage. Ainsi, une grande quantité de matériaux lourds peuvent être transportés vers l'aval à partir des zones érodées et des ravines actives. Ces zones comprennent les cônes de déjection, les piémonts, les vallées et les plaines (DESORMES, 1998).

2.1.2.5 Piémonts

Plaine d'accumulation située au pied d'un récif montagneux, formée par la réunion des cônes de déjection des cours d'eau issus de la montagne. Ils sont caractérisés par une faible pente et constitués de matériaux grossiers.

2.1.2.6 Vallées

Les vallées sont les plaines allongées, pourvues de cours d'eau permanent et qui bénéficient des apports des alluvions et des colluvions. Elles sont caractérisées par des sols profonds riches en argile et en matière organique.

2.1.2.7 Plainnes

Les plainnes sont constituées de particules fines transportées par l'eau de ruissellement descendant des mornes et déposées sur le sable. Elles sont caractérisées par des pentes très faibles.

2.1.2.8 Cônes de déjection

Les cônes de déjection se forment aux points où la ravine encaissée de forte pente débouche sur un terrain en pente plus douce. La vitesse de l'eau et la capacité de charriage sont fortement réduites et les matériaux lourds se déposent en éventail au débouché de la ravine.

2.1.3 Description des fonctions d'un bassin versant

Un bassin versant remplit plusieurs fonctions. Les fonctions hydrologiques, écologiques et socio-économiques sont quelques exemples.

2.1.3.1 Fonctions hydrologiques

Le bassin versant remplit plusieurs fonctions hydrologiques fondamentales, qui sont les suivantes :

- a. Il recueille l'eau de pluie et de fonte de la neige ;
- b. Il accumule des quantités variables de cette eau pour des durées variables ;
- c. Il restitue cette eau sous forme de ruissellement ;

L'eau qui tombe dans un bassin versant a tendance ruisseler dans le sens de la pente du terrain sous l'influence de la force de gravité.

2.1.3.2 Fonctions écologiques

Un bassin versant remplit au moins deux fonctions écologiques :

- a. Il procure des sites d'échange et des mécanismes essentiels pour le bon développement des réactions chimiques nécessaires aux organismes vivants.
- b. Il procure un habitat à la faune et à la flore.

2.1.3.3 Fonctions économiques

Les bassins en bonne santé sont nécessaires pour assurer un environnement socio-économique sain. Tout un chacun vit dans un bassin versant ; tout un chacun dépend de l'eau et des autres ressources naturelles pour sa survie. Toute personne qui vit ou qui travaille dans un bassin versant a un impact sur les conditions du bassin versant et sur les ressources, par conséquent, elle a avantage à collaborer à la préservation des conditions du bassin versant.

2.1.4 Indices de forme d'un BV

La forme d'un BV, entre autres, peut contribuer à l'accroissement du débit d'un cours d'eau ainsi qu'à l'apparition progressive des crues. En effet, plusieurs indices de formes permettent de caractériser et de comparer les BV entre eux. Parmi ces indices, celui de compacité de Gravélius (1914) est le plus utilisé. Il est caractérisé par le rapport du périmètre du BV au périmètre du cercle qui a la même surface. Il est de 1 pour un BV de forme presque circulaire et supérieure à 1 lorsque le BV est de forme allongée.

2.2 Les types de pentes d'un bassin versant

On peut distinguer 4 types de pentes:

2.2.1 Pente orographique

La pente orographique caractérise le relief. Elle favorise l'élévation des masses d'air en mouvement au-dessus des reliefs et provoque la condensation de l'humidité qu'elles contiennent.

2.2.2 Pente topographique

C'est la pente qui influence l'écoulement superficiel des eaux (ruissellement de surface et écoulement hypodermique). Elle accélère le ruissellement sur les versants et détermine en partie le temps de réponse du cours d'eau aux impulsions pluviométriques.

2.2.3 Pente hydrographique

La pente hydrographique, ou profil en long du cours d'eau, peut-être déterminée sur la carte ou mesurée sur le terrain par un nivellement de précision.

2.2.4 Pente stratigraphique

Elle contrôle le chemin des eaux infiltrées qui alimentent les aquifères. Elle détermine aussi la direction de l'écoulement des eaux souterraines.

2.3 Les bassins versants du pays : Présentation globale

Notre pays comprend trente (30) grands bassins versants primaires dont 25 sont presque totalement déboisés, 400 bassins versants secondaires et 900 tertiaires et quaternaires (Magny, 1991). Cette subdivision est liée à l'importance des cours d'eau, drainant la surface en question (plaines, pentes, versant, terrasses). Les bassins versants primaires sont les plus étendus et se subdivisent en autant de bassins (secondaires, tertiaires, quaternaires). Chaque bassin versant est délimité par la ligne de partage des eaux ou la ligne de crête.

2.4 Situation actuelle des Bassins versants d'Haïti

La majorité des bassins versants du pays sont dans un état très critique. Ils sont lézardés par le déboisement et l'érosion, leur capacité de rétention d'eau du sol diminue, le ruissellement augmente. Ce qui accroît l'indice de torrencialité des rivières dont le débit d'étiage diminue avec le temps.

Il s'agit d'une situation alarmante dans un pays où le risque d'érosion grave et très grave est estimé à près de 24% du territoire (CADET, 2005). Des trente principaux bassins versants du pays, 25 sont complètement dénudés. Les zones côtières (de la côte des Arcadins à la baie de Caracol, par exemple) demeurent sans protection malgré les menaces évidentes dont elles sont l'objet. L'érosion et l'épuisement des sols provoquent des désordres sur le plan écologique et socio-économique : exode rural, récurrence des inondations, envasement des marais et des cotes qui entravent la reproduction des ressources halieutiques (McClintock, 2004).

2.5 Aménagement des bassins versants

C'est une activité qui résulte en la formation et l'adoption de règlements établis pour une utilisation optimale des ressources des bassins, en vue de fournir des biens et des services sans épuiser ces ressources. D'ordinaire, il faut tenir compte des facteurs sociaux, économiques et institutionnels agissant à l'intérieur et à l'extérieur de ces bassins versants (FAO, 1993).

2.6 Dégradations des bassins versants

La dégradation des BV est leur perte de valeur dans le temps, y compris le potentiel de terres. Elles s'accompagnent des nets changements du comportement hydrologique du système fluvial, qui se traduit par une diminution de la qualité, de la quantité et de la régularité du débit. Elle résulte de l'interaction des facteurs géographiques et climatiques et d'une mauvaise utilisation des sols : déboisement, pratiques culturales inadéquates, érosion des sols et des pentes par suite d'activité extractive, de déplacement d'animaux, de la construction de route et dérivation, transport et utilisation mal contrôlée de l'eau (FAO, 1993).



Figure 4: Situation du bassin versant alimentant le lac de Péligre

Source : <https://lapetiterosedesvents.org/haiti/>

2.7 Réservoir

Le Petit Larousse définit le réservoir comme étant un lieu aménagé pour accumuler et conserver certaines choses. C'est aussi une cuve qui permet de contenir une réserve de gaz ou de liquide. Nous disons ainsi que le réservoir est un lieu aménagé pour accumuler et conserver de l'eau de pluie ou de ruissellement.

2.8 Barrage

Un barrage est une barrière sous forme de digue, érigée à l'exutoire d'un bassin collecteur, communément appelé le bassin versant. Il est destiné à stocker les eaux de ruissellement ou celles d'un cours d'eau en amont de la digue (DIPAMA, 2005).

Le Petit Larousse définit le barrage comme étant un ouvrage artificiel coupant le lit d'un cours d'eau et servant soit à en assurer la régulation, soit à pourvoir à l'alimentation des villes en eau ou à l'irrigation des cultures, ou bien à produire de l'énergie.

Un barrage peut-être naturel ou d'origine catastrophique (glissement de terrains, avalanche, etc.), ou bien le résultat d'une désorganisation du réseau fluvial avec un changement dans le système géomorphologique. Les barrages sont donc des ouvrages qui barrent sur toute la largeur une section d'une vallée et créent une cuvette géologiquement étanche (SCHLEISS et POUGATSCH, 2011). Il est utile de rappeler que le barrage est un projet, il a donc une durée de vie longue, mais déterminée dans le temps. Les barrages finissent assez souvent par être comblés, ou bien par céder, sapés par les eaux d'infiltration (BRUNET, 2005). Avec le temps et face à la croissance démographique, les barrages ont été étroitement associés au développement humain, permettant entre autres de contrôler les inondations dues aux crues extrêmes, de lessiver les sédiments, de faciliter la navigation et la production d'énergie, et d'améliorer la qualité de l'eau (CIGB, s. d.a; Hydro-Québec, 2015; UICN, 2004).

Les premiers barrages dans le monde datent de l'Antiquité. Ils avaient comme objectifs la satisfaction des besoins en eau des populations et l'irrigation. On les situe dans la vallée du Nil, en Mésopotamie, en Chine et en Asie du Sud. Les plus vieux vestiges connus proviennent du barrage de Sadd-el-Karafa réalisé en Égypte entre 2950 et 2750 avant Jésus -Christ (SCHLEISS et POUGATSCH, 2011). Ce barrage d'une hauteur de 14 m et d'une longueur de 113 m à son apogée aurait créé un réservoir d'une capacité de 0,5 millions de m³ pendant les crues. Il servait à l'irrigation en saison sèche.

2.9 Les différents types de barrages

Chaque structure et matériau de construction définit le type de barrage. On distingue :

2.9.1 Barrages en béton

- Barrage-poids (gravité)
- Barrages-voûtes
- Barrages à contreforts
- Barrages en béton compacté au rouleau (BCR)

2.9.2 Barrages en remblais

- Barrages en terre homogène
- Barrages à noyau
- Barrages à masque

2.9.3 Barrages mobiles

Ont une hauteur limitée, ils sont généralement édifiés en aval du cours des rivières, de préférence à l'endroit où la pente est la plus faible. On utilise généralement ce type de barrage dans l'aménagement des estuaires et des deltas pour rendre les rivières navigables en les canalisant (Rouissait, 2010).

2.10 Classification des barrages

Un barrage fluvial permet la régulation du débit d'une rivière ou d'un fleuve, l'irrigation des cultures, une prévention relative des catastrophes naturelles (crues, inondations), par la création de lacs artificiels ou de réservoirs. Un barrage autorise aussi sous certaines conditions la production de forces motrices (moulin à eau) et d'électricité (on parle alors de barrage hydro-électrique) (Bendimerad, 2011).

La classification des barrages est faite en fonction des critères suivants :

2.10.1 Les matériaux de construction

- Barrages rigides : en béton, béton compacté au rouleau (BCR), maçonneries.
- Barrages souples : en terre ou enrochement.

2.10.2 La façon à résister à la poussée de l'eau

- Barrages à stabilité de forme (barrages voûtes) : sa forme arquée horizontalement et verticalement, permet de reporter la poussée de l'eau sur les flancs de la vallée. Il doit donc s'appuyer sur une fondation rocheuse résistante.
- Barrage à stabilité de poids (barrages poids) : un barrage poids est un barrage dont la propre masse suffit à résister à la pression exercée par l'eau. Ce sont des

barrages souvent relativement épais, dont la forme est généralement simple (leur section s'apparente dans la plupart des cas à un triangle rectangulaire) (BENDIMERAD, 2011).

2.11 Les différents types de centrale hydroélectriques : Grande et petite hydraulique

Le terme "centrale hydraulique" recouvre une très large gamme de types et tailles d'installations. Depuis les très petites turbines installées sur l'arrivée d'eau potable des chalets de montagne, permettant l'autonomie électrique, jusqu'aux très grands barrages qui ont nécessité de noyer des vallées entières.

Les centrales hydrauliques sont classées en deux familles : celle de la grande hydraulique et celle de la petite hydraulique. La petite hydraulique est elle-même divisée en plusieurs types de centrales, la pico et la micro-hydraulique. Ce classement est réalisé en fonction de la puissance fournie par les centrales.

Tableau 1 : Différents types de centrales hydroélectriques

	Pico-hydraulique	Micro-hydraulique	Petite-hydraulique	Grande-hydraulique
Puissance	2 kW à 50 kW	50 kW à 500 kW	500 kW à 10 MW	>10 Mw

2.11.1 Grande Hydraulique

Dans le cas de la grande Hydraulique, il est important de prendre en compte les paramètres suivants :

- L'appui du barrage sur la fondation naturelle
- Le risque de glissement de terrain dans le lac de retenue, notamment en cas de séisme.
- Le risque de dégradation progressive du barrage lui-même provoqué par des infiltrations d'eau, ou par le vieillissement des matériaux constitutifs.

Il est à noter que les grands ouvrages hydrauliques sont réalisés là où c'est possible, et ne sont pas nécessairement à proximité des lieux de consommation électrique.

2.11.2 Petite Hydraulique

Aucune définition officielle n'a été établie pour les petits ouvrages. On considère alors que les ouvrages inférieurs à 10 mètres de haut sont des petits barrages. Le terme de « petite hydraulique » désigne communément des installations de capacité inférieure ou égale à 10 MW.

2.12 Modes d'exploitation des barrages

Le mode d'exploitation des barrages, c'est-à-dire le calendrier de libération des débits et la quantité d'eau relâchée, dépend du rôle envisagé pour le barrage. Certains barrages sont construits en poursuivant un seul but, par exemple le contrôle des inondations. En revanche, les barrages polyvalents, ou pluri-fonctions, permettent de répondre à plusieurs besoins en même temps, ce qui représente un atout considérable pour les pays en développement : d'un seul investissement découlent plusieurs bénéfices domestiques et économiques.

2.13 Impacts environnementaux du barrage hydroélectrique du Péligre

Comme la plupart des activités humaines et industrielles, l'exploitation de l'énergie hydraulique présente des avantages et des inconvénients, tant pour l'environnement, pour la santé et pour les aspects sociaux. Un ouvrage transforme la rivière en plan d'eau, modifiant les écoulements, le transport des matériaux et perturbant l'écosystème associé. L'accumulation des sédiments pénalise la gestion des plans d'eau. Les vidanges réalisées en étiage, ou les chasses de dégravage en période de crues, transfèrent vers l'aval une partie des sédiments accumulés. Ces relargages de matière, parfois massifs, ont des conséquences sur la faune aquatique (en particulier les juvéniles) et sur la capacité d'autoépuration du cours d'eau. Plus bas, on expliquera de manière spécifique les différents impacts du barrage.

2.14 Contrôle du flux d'eau

La construction d'un barrage permet de réguler le débit d'un fleuve, diminuant ainsi les écarts de flux et donc l'intensité des crues et des sécheresses. Cette régulation par le

barrage modifie le mode d'écoulement naturel des rivières. L'augmentation probable du flux moyen aval en saison sèche peut inonder de manière permanente des écosystèmes importants, tandis qu'une diminution des flux pendant la saison humide peut nuire à la productivité biologique de petites plaines inondables (Kummu et al. 2007). En outre, un changement du régime du fleuve peut entraîner des retards dans l'arrivée et une durée plus courte des crues; selon les études sur l'Amazonie menées par Junk et al. (1997) cela aurait un effet négatif sur la productivité des écosystèmes. Dans les périodes anciennes, avant la construction des stations limnimétriques, le barrage hydroélectrique de Péligre donnait beaucoup de problèmes. Il était extrêmement difficile de contrôler les lâchées d'eau. Certaines fois, ça provoque des dégâts majeurs en aval selon les témoignages du directeur en chef de la centrale hydroélectrique (CADET, 2018). Pour remédier à ce problème, Ingénieur Noël a construit deux stations limnimétriques amont du lac. L'une pour la rivière de Guayamouc et l'autre pour la rivière portant le nom de los abeilles.

2.15 Blocage à la migration des poissons

Le lac de Péligre représente un réservoir qui est très riche en biodiversité. On n'est pas sans savoir que la majorité des poissons d'eau douce sont constitués d'espèces qui nécessitent de la migration notamment pour la reproduction. Parallèlement, l'un des effets majeurs de la construction d'un barrage sur les communautés de poissons de rivière est le déclin et la disparition possible des espèces migratrices (Jackson et Marmulla, 2001; WCD, 2000). Le renouvellement de ces espèces de poissons serait fondamentalement affecté par le barrage qui constitue des barrières à la migration pouvant ainsi contribuer à la diminution voire même l'extinction de ces espèces. Pour éviter le dérangement des poissons, les passages à poissons doivent assurer un flux adéquat contrebalançant les poissons tués au niveau des barrages. Bref ! On peut signaler que les barrages divisent les écosystèmes et perturbent sévèrement la biodiversité à l'échelle locale (Kummu et al. 2007).

2.16 Piégeage et modification du transport des sédiments

Les barrages modifient deux éléments essentiels de la géomorphologie du système: la capacité qu'à la rivière à transporter les sédiments, et la quantité de sédiments disponibles pour le transport (Grant et al. 2003). Si la capacité de transport est

supérieure à l'offre disponible, les bords et/ou le lit du fleuve s'érodent. Inversement, si la capacité de transport est inférieure à l'offre disponible, le fleuve a tendance à accumuler des sédiments. La forme et l'intensité des changements morphologiques en aval dû aux barrages dépendent des caractéristiques de la rivière et de l'état du barrage, des régimes d'écoulement ainsi que de la charge en sédiments. Lorsque les barrages piègent les sédiments, une grande partie des nutriments (C, N, P) qui y sont liés sont piégés également. Ce qui diminue la quantité de nutriments disponibles en aval. Or de nombreuses espèces aquatiques de poissons sont adaptées aux conditions des eaux riches en sédiments et turbides. Il est possible que les conditions d'alimentation et de ponte soient perturbées entraînant ainsi le déclin de la biodiversité et de la productivité (Blake, 2001)

2.17 Fragmentation des écosystèmes

Toute la chaîne alimentaire, et non une seule espèce, peut être modifiée à la suite d'une altération des débits naturels. Les conditions extrêmes induisent en effet un stress important sur les communautés biologiques et, dans certaines limites de tolérance, peuvent fortement accroître la biodiversité (Magilligan et Nislow, 2005). La perturbation est donc une composante importante de l'écologie et les ajustements d'amplitude et de périodicité des écoulements mobilisant les sédiments du lit peuvent contribuer à réduire l'hétérogénéité de la faune de lit et affecter l'ensemble des communautés de la chaîne alimentaire (Power, 1998). Ces communautés peuvent connaître des changements d'espèces et des modifications de leurs caractéristiques propres. Dans un système fluvial, les réservoirs influent de manière non négligeable sur le flux de l'eau, sur sa qualité et sur sa biodiversité, en particulier pour les espèces migratrices. Parmi les effets négatifs du barrage sur l'écosystème figure la destruction d'écosystèmes terrestres par inondation, les émissions de gaz à effet de serre, ainsi que de profonds changements au niveau des espèces aquatiques. Malgré les énormes importances du barrage hydroélectrique de Péligre, ils provoquent des dégâts considérables.

2.18 Mort des individus

Les barrages hydroélectriques comportent des évacuateurs de crue et des turbines dans lesquelles les poissons et autres organismes aquatiques peuvent se retrouver piégés, être blessés ou mourir (Benstead et al., 1999).

2.19 Effets indirects du barrage

Les ouvrages hydrauliques vont permettre l'intensification de l'agriculture grâce à l'irrigation. Un effet indirect du développement de cette structure est donc la pollution de l'eau par les intrants agrochimiques (McCartney, 2009; Pacini et autres, 2013).

De plus, les fluctuations artificielles du débit du fleuve pourraient provoquer la désynchronisation de l'agriculture traditionnelle de décrue (Uluocha et Okeke, 2004), ce qui peut entraîner une conversion vers l'agriculture irriguée, et augmenter la dépendance des populations envers les barrages. Cette succession d'évènements donne un caractère inévitable aux impacts négatifs que les ouvrages hydrauliques ont sur leur milieu récepteur.

Finalement, la création du réservoir en amont du barrage libère une nouvelle niche d'exploitation de l'écosystème par les humains; les populations s'approvisionnent en poissons dans le réservoir où la pêche est plus facile et fructueuse que dans un cours d'eau, dans des zones où la surpêche est déjà une menace à la biodiversité.

2.20 Avantages de l'énergie hydraulique

Les barrages permettent de capter l'énergie du cycle de l'eau. Ils transforment l'écoulement de l'eau en énergie électrique. Cet écoulement à la surface de la Terre représente un potentiel énergétique considérable. Les avantages de l'hydroélectricité sont présentés comme ceci : longévité des ouvrages, modicité d'entretien, souplesse de fonctionnement (association favorable avec d'autres énergies intermittentes), possibilité d'associer la production à d'autres usages (écrêtement ou laminage des crues, soutien des étiages (lorsque le cours d'eau est à son plus bas niveau, vers la fin de l'été), alimentation urbaine...), source nationale ou locale, renouvelable et propre. Il semble cependant que certains de ces avantages sont discutables et ne contrebalancent pas les inconvénients.

3 METHODOLOGIE

Dans ce chapitre, on décrit les différentes méthodes adoptées pour atteindre les objectifs fixés et les différents matériels et logiciels utilisés.

3.1 Matériels et méthode

Pour mieux répondre aux exigences de travail scientifique et pour avoir des éléments de réponses fiables, nous avons adopté dans notre étude une démarche méthodologique s'établissant en plusieurs étapes :

- Inspection sur le site
- Recherche documentaire
- Elaboration d'une fiche d'enquête
- Collecte de données
- Enquête formelle
- Traitement des données

3.2 Inspection du site

Dans le cadre de ce diagnostic, une visite a été réalisée dans le barrage avec un expert canadien en l'occurrence Ingénieur Vincent Locquet de la firme AECOM. Cette visite était réalisée dans le but d'avoir une reconnaissance d'une manière globale du site d'étude et de faire un constat sur l'état des différents appareils constituant la centrale et leurs dégradations.

3.3 Recherche documentaire

Cette étape consiste en une revue de littérature en vue de recueillir toutes les informations autour de notre thématique. Dans le cadre de notre étude, plusieurs documents ont été consultés. Nous avons consulté des mémoires, des rapports d'étude, des articles, et des sites internet relatifs à ce sujet de recherche. On s'est servi également des études antérieures effectuées dans le barrage qui nous renseignent sur le niveau de sédiments déposés dans le lac durant les années précédentes.

3.4 Elaboration d'une fiche d'enquête

Pour la réalisation de cette étude, une fiche d'enquête a été élaborée en vue de collecter les informations de terrain nécessaires. Les différentes questions ont

permis de collecter les données concernant le fonctionnement actuel du Barrage-Réservoir-Péligre et les activités mises en valeur dans les sous-bassins alimentant le lac.

3.5 Collecte des données

Les couches d'occupation de sol, d'érosion et le Modèle Numérique de Terrain proviennent du Centre National de l'Information Géo-Spatiale (CNIGS). Les cartes de pentes et d'altitude ont été créées à partir du MNT. Nous avons également utilisé les bases de données hydrauliques de la Centrale Hydraulique de Péligre datant de 2008 à 2018, des données hydrologiques dans le Ministère Environnement et des données sur les activités mises en valeur dans les sous-bassins alimentant le lac.

3.6 Enquête formelle

Lors de nos visites, nous avons interviewé un bon nombre de gens. Nous avons parlé avec le directeur de la centrale, les différents techniciens et des individus vivant dans les sous-bassins alimentant le lac de Péligre. Cette entrevue nous a permis de collecter beaucoup d'informations.

3.7 Traitement des données

Cela consiste à traiter les données obtenues dans un esprit critique et à présenter les éléments de réponses convaincantes. Ce traitement de données s'est fait en utilisant des logiciels comme XLSTAT, ARCGIS, HEC-RAS et enfin des outils notamment WORD et EXCEL pour le calcul et la rédaction du rapport.

Ces logiciels ont été utilisés dans le but :

1. Déterminer, délimiter à l'avance la zone d'étude et calculer sa superficie et son périmètre.
2. Simuler les données hydrauliques du barrage-réservoir-Péligre.
3. Analyser les données hydrologiques du bassin de Péligre.
4. Analyser la couche d'occupation de sol de 1998 et 2014 du bassin de Péligre

3.8 Aspects biophysiques du bassin de Péligre

Une bonne portion de l'étude est concernée par la cartographie. Les données spatiales de la zone d'étude proviennent du Comité du Centre National d'Information Géospatiales (CNIGS). Le logiciel ArcGIS est utilisé dans le traitement des données recueillies afin d'obtenir les paramètres physiographiques du sous bassin versant.

3.8.1 Délimitation du bassin versant de Péligre

La délimitation du BV a été générée de façon automatique sur ArcGIS (version 10.5), à l'aide de l'extension Spatial Analyst.

3.8.2 La forme

La forme du bassin versant a été déterminée à partir de son coefficient de Gravélius. Le coefficient de Gravélius dépend de la superficie du bassin ainsi que de son périmètre. La formule suivante a été utilisée pour le calcul du coefficient de Gravélius:

$$KG = \frac{P}{2\sqrt{\pi * A}} \approx 0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec **KG** : Coefficient de Gravélius,

A : Aire du BV en Km² et

P : Périmètre du BV en Km

3.8.3 Le rectangle équivalent

La longueur du rectangle équivalent a été calculée en fonction du résultat obtenu pour KG. Si Kg > 1,12 la formule sera :

$$L = \frac{Kg * \sqrt{A}}{1,12} * \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kg} \right)^2} \right)$$

Avec : **KG** : Indice de Gravelius ;

L : Longueur du rectangle équivalent en Km

A : Aire du micro bassin versant en Km²

3.8.4 Caractéristiques topographiques du SBV

Les caractéristiques topographiques d'un bassin versant influencent fortement son comportement hydrologique face à une précipitation. Ainsi, nous avons déterminé certains indices et paramètres qui pourront nous aider à concevoir l'influence du relief du SBV sur l'écoulement.

3.8.5 Les classes d'altitude et de pente

Les classes d'altitude ont été obtenues par une classification automatique en utilisant la méthode de classification de Jenks dans symbologie. Les classes de pente ont été créées de façon automatique à l'aide de l'extension Spatial Analyst d'ArcGIS (version 10.5). La méthode de classification de Jenks a été utilisée.

3.8.6 La courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique caractérise le relief d'un bassin. Elle a été tracée en reportant en ordonnée l'altitude Y, et en abscisse le pourcentage de la surface du bassin dont l'altitude est supérieure ou égale à Y, rapportée à la surface totale du bassin.

3.8.7 La densité de drainage

La densité de drainage est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant. Elle a été calculée par la formule suivante :

$$D_d = \frac{\sum L}{A}$$

Avec : D_d : densité de drainage en km/km²

L_i : longueur des cours d'eau en km

A : superficie du bassin versant en km²

3.9 Modélisation Avec XLSTAT

Pour modéliser, nous avons utilisé les bases de données de la centrale hydroélectrique de Péligre datant de 2008-2018. Dans le cadre de notre travail, nous avons adopté le modèle de régression linéaire simple. L'équation du modèle est $Y_{\text{prédit}} = b_0 + b_1X$. Y est généralement appelé variable dépendante et X variable indépendante. Dans cette étude,

nous avons considéré les débits turbinés et les débits chassés comme des variables dépendantes et les hauteurs comme des variables indépendantes.

4 RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1 Présentation de la réalité des versants de Péligre.

4.1.1 Forme, superficie et périmètre du bassin versant de Péligre.

Le périmètre et l'aire du bassin versant de Péligre accusent respectivement les valeurs suivantes: 28,3 kilomètres et 28,99 kilomètres carrés. Ces paramètres ont permis de déterminer la forme du bassin versant par la formule de Gravélius. Le Coefficient de Compacité du bassin versant de Péligre est égal à 1.67, donc il s'écarte de l'unité. Par conséquent nous pouvons dire que la forme du bassin est allongée. Une forme allongée d'un bassin versant favorise des faibles débits de pointes en raison du temps de concentration élevé.

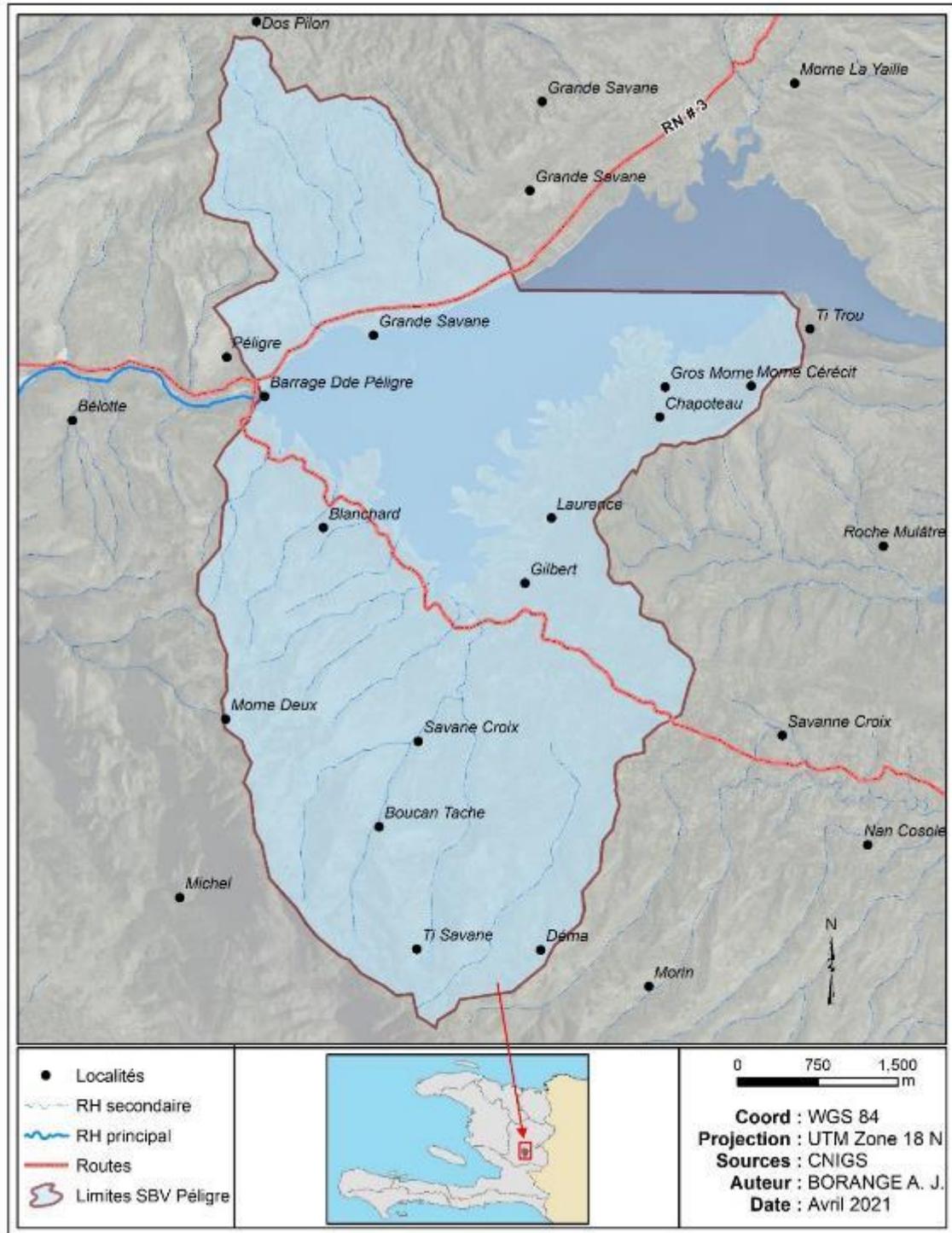


Figure 5: Présentation du bassin versant de Péligre

4.1.2 Le rectangle équivalent

En considérant la longueur L et la largeur l du rectangle, connaissant le périmètre P , l'indice de compacité de Gravélius K_G et la superficie A du bassin versant, on peut déduire l et L :

$$L = \frac{\sqrt{A}}{1,12} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{1,12^2}{K_G}} \right)$$

$$L = 8.52 \text{ km}$$

$$l = A/L = 3.4 \text{ km}$$

4.1.3 Pentés

La pente du terrain influence directement sur la vitesse du ruissellement et par conséquent aussi sur son érosivité. L'analyse de la carte thématique montre que la région se caractérise par des pentes qui varient de (0) à (64.76%). Ce qui explique l'instabilité de certaines zones et leur niveau de sensibilité à l'érosion. La figure 6 permet de constater que les terres dont la déclivité est comprise entre zéro (0) et 6.10% représentent seulement 39.23% de la superficie totale du bassin versant, soit 11.37 km². Ces terres sont dites à pente faible. Les terres pour lesquelles la pente est comprise entre 6.10 à 16.25% totalisent 27.99 km², elles représentent 17.97%. Les autres parties du bassin versant accusent une déclivité beaucoup plus intéressante. Sa situation est réellement critique dans la mesure où de rares exploitants respectent le sens de la plus forte pente dans leurs pratiques de labour. Or, au-delà de 20% de pente, les techniques de conservation des sols sont nécessaires pour bloquer le ruissellement des eaux de pluie ou encore le ravinement dû aux effets mécaniques de l'érosion linéaire.

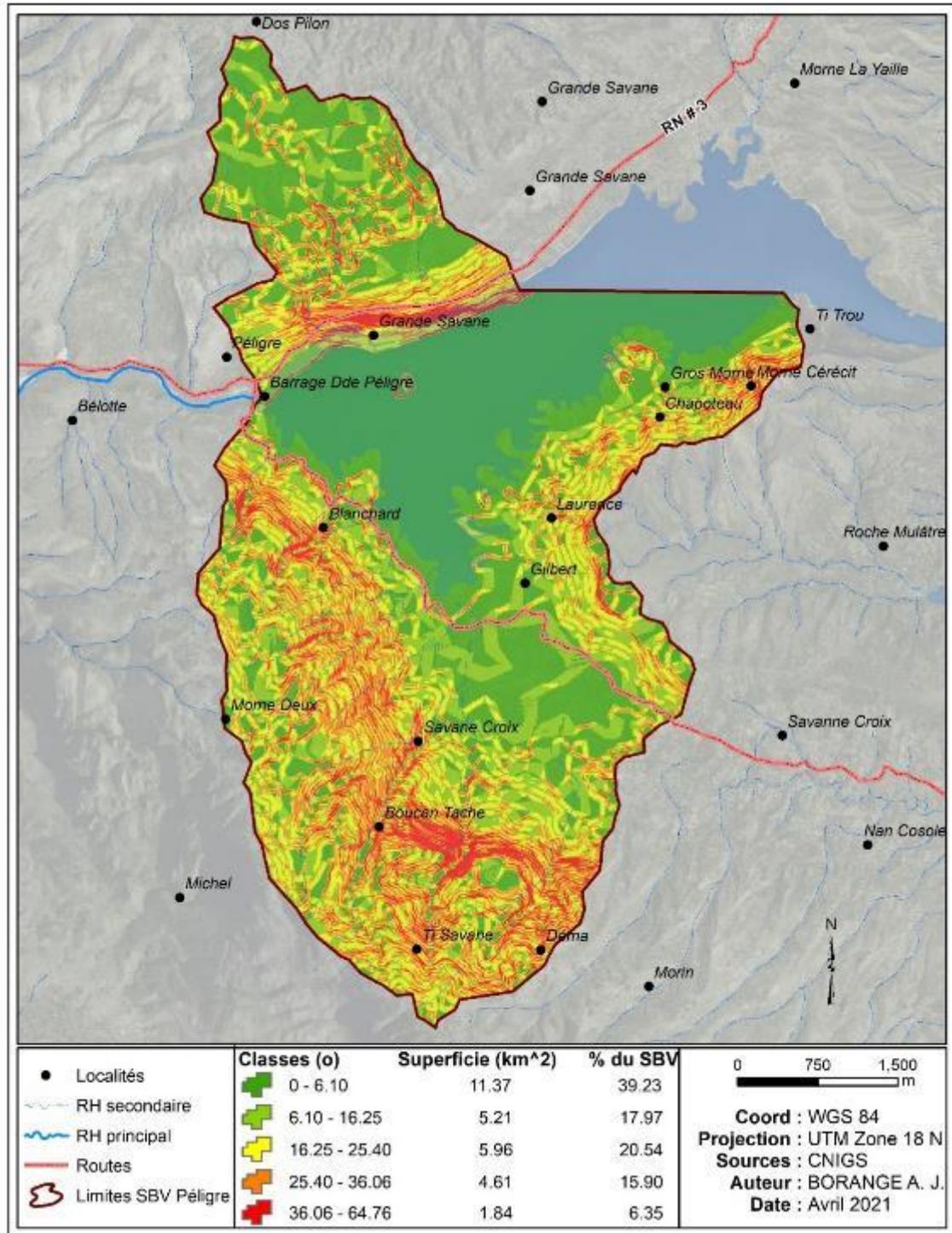


Figure 6: Pentes du bassin versant de Péligre

4.1.4 Courbe hypsométrique

L'effet du relief sur un hydrogramme est très important : une pente forte correspond à une durée plus faible de concentration des eaux de ruissellement dans les canaux de drainage. Le relief est souvent caractérisé par la courbe hypsométrique du bassin ; on porte une altitude donnée en ordonnées et en abscisses la surface du bassin pour laquelle chaque point est à une cote au moins égale à cette altitude. Les courbes hypsométriques demeurent un outil pratique important. Elles peuvent servir à la détermination de la pluie moyenne sur un bassin versant et donnent des indications quant au comportement hydrologique et hydraulique du bassin et de son système de drainage.

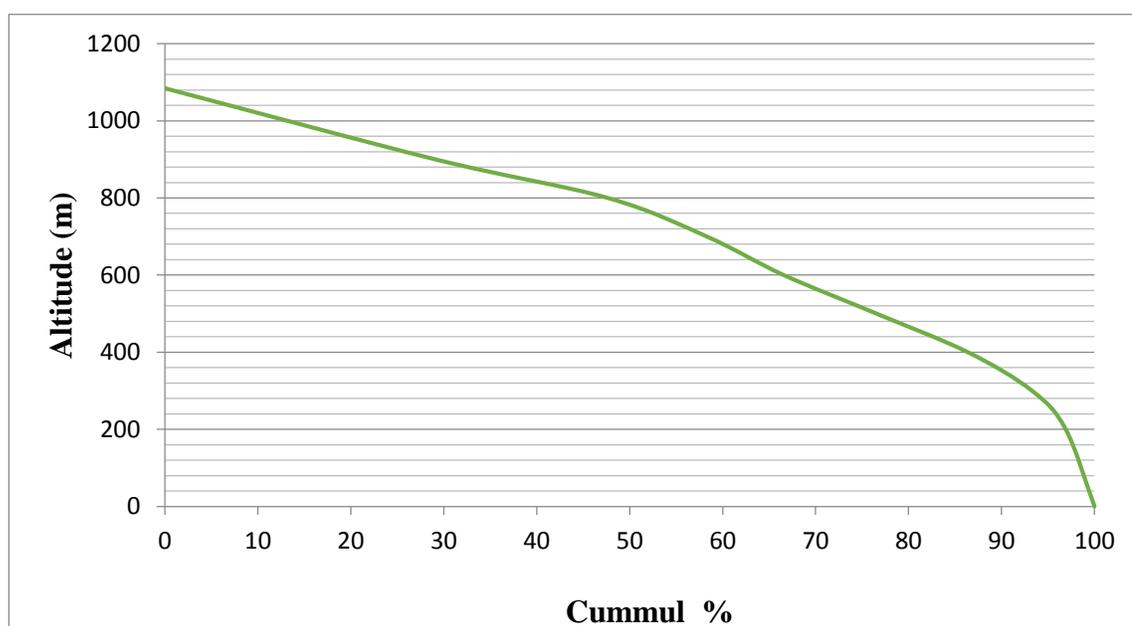


Figure 7: Courbe hypsométrique du bassin versant de Péligne

4.1.5 Altitude

L'altitude minimale et maximale ainsi que les variations au sein d'un bassin versant conditionnent la dynamique des températures, des précipitations et du Régime hydrologique (périodes de hautes et de basses eaux). Ce paramètre est extrêmement important. À n'importe quel moment, il peut modifier le comportement hydrologique d'un bassin versant. Le SBV de Péligne a une altitude minimale de 140 m et une altitude maximale de 1075 m. L'altitude moyenne vaut 624.32m. La figure 8 présente les classes

d'altitudes du SBV de Péligre et les portions de superficie occupées par chaque classe sont également présentées.

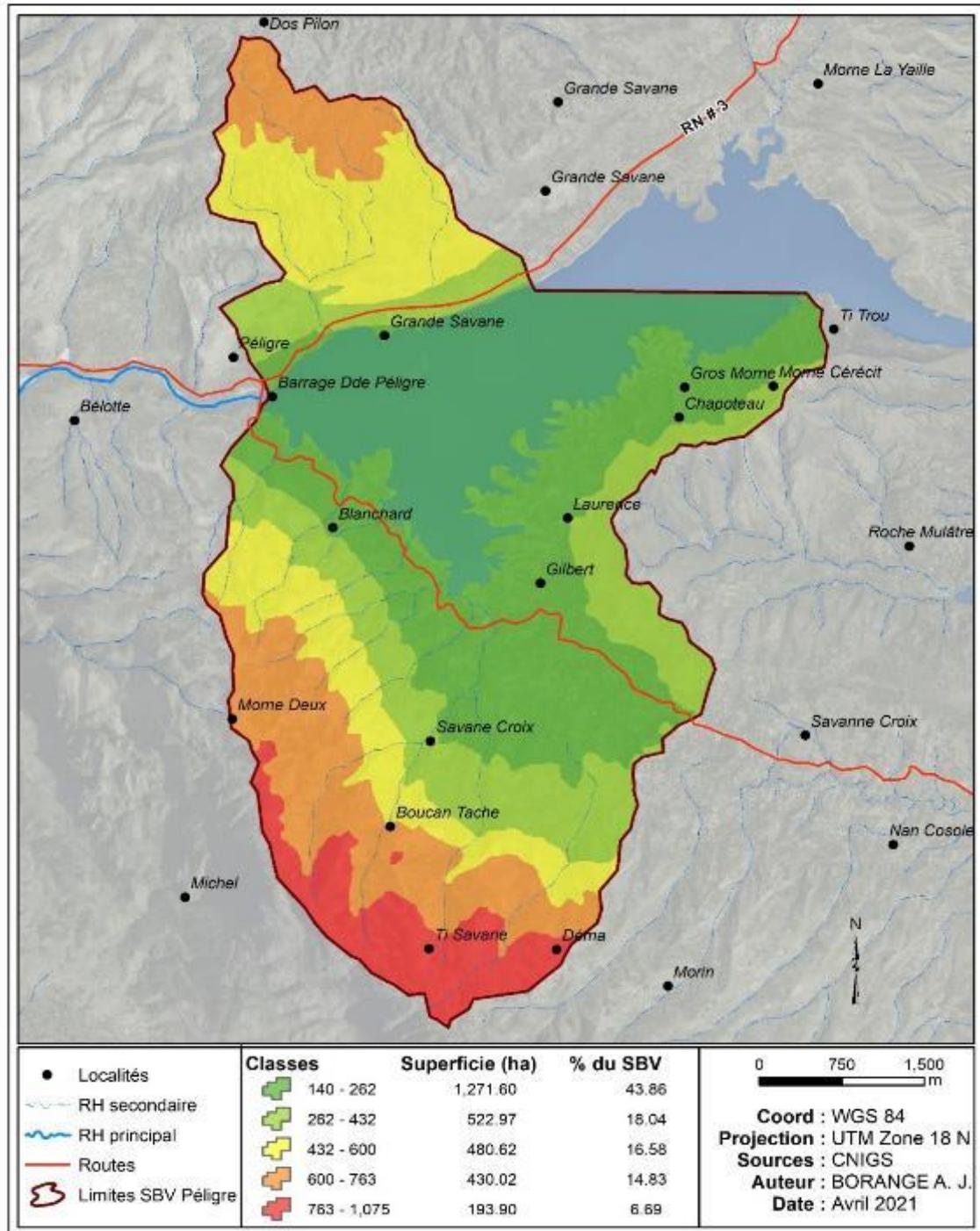


Figure 8: Carte des classes d'altitude du bassin versant de Péligre

4.1.6 La densité hydrographique

La densité hydrographique représente le nombre de canaux d'écoulement par unité de surface.

$$F = N_i/A$$

Où :

F : densité hydrographique [km^{-2}] ;

N_i : nombre de cours d'eau ;

A : superficie du bassin [km^2].

Le bassin du Péligre compte en son sein plus ou moins 100 cours d'eau ; ainsi la densité de drainage vaut :

$$F = 614/28.99 \text{ km}^2 = 21,17 \text{ drains/km}^2$$

En somme, les régions à haute densité de drainage et à haute densité hydrographique (deux facteurs allant souvent de pair) présentent en général une roche mère imperméable, un couvert végétal restreint et un relief montagneux. C'est ce que nous constatons dans le bassin de Péligre.

4.1.7 L'érosion hydrique

Elle est causée par l'impact des gouttes de pluie sur le sol qui provoque le détachement puis le transport des particules de terre. Quand l'eau ne peut s'infiltrer le sol y est gorgé et devient donc imperméable. La lame qui s'écoule entraîne alors la couche arable constituée par les particules détachées par les gouttes de pluies. Ces éléments s'accumulent le plus souvent en aval ou viennent s'accumuler dans le lac. La situation est beaucoup plus compliquée avec la quantité et l'agressivité de la pluie (FAO, 1993).

Les bassins versants alimentant le lac de Péligre sont fortement dégradés. Les faibles structures de conservation des sols et des eaux les rendent exposés aux agressions des

pluies et du vent. La figure 9 montre que la plus forte partie du bassin versant de Péligre à un risque d'érosion élevé et grave, avec respectivement les valeurs de **9.85 km²** et **8.61 km²** comme superficie. La partie du bassin versant qui a un faible risque d'érosion représente une superficie de **5.92 km²**. Ainsi, on admet que l'érosion correspond au transport et à l'accumulation des particules de sols arrachés. Au niveau du bassin versant de Péligre, l'entraînement des matériaux sont dus principalement à deux grands facteurs : le ruissellement des eaux fluviales ou pluviales : érosion hydrique, et l'utilisation des outils aratoires dans les pratiques agricoles qui provoque une érosion mécanique sèche.

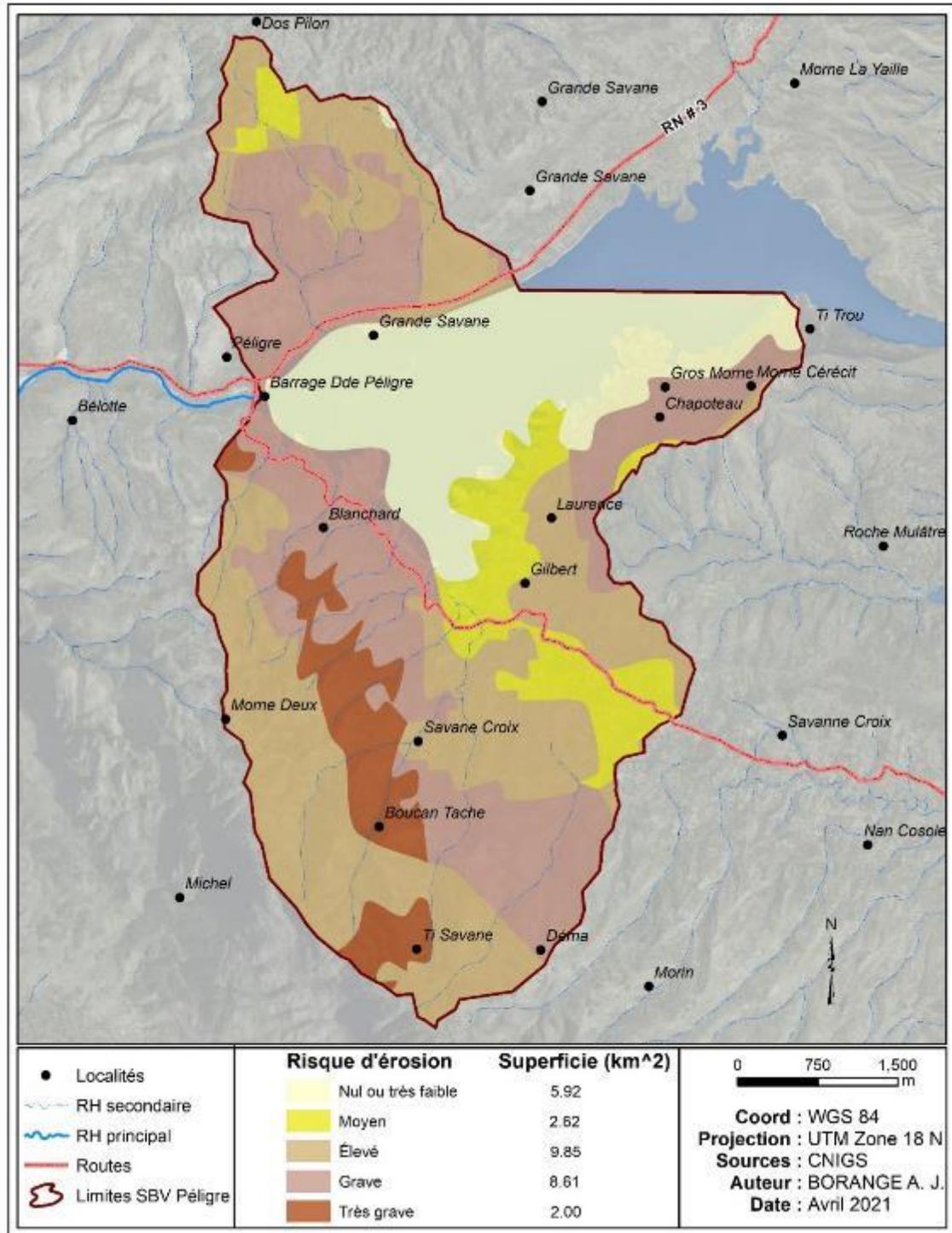


Figure 9: Présentation des risques d'érosion du bassin versant de Péligre

4.1.8 Occupations des sols du micro bassin versant de Péligre pour l'année 1998

L'évaluation spatio-temporelle de l'occupation des sols du bassin versant de Péligre a été faite à partir d'une image Landsat de la zone d'étude. Cinq classes d'occupation ont été déterminées et la superficie couverte par les différentes classes a été évaluée. La figure 10 affiche la superficie des différentes classes d'occupations du sol. Nous avons vu en 1998 qu'il y a une très forte partie du bassin versant qui est occupée par des cultures moyennement denses.

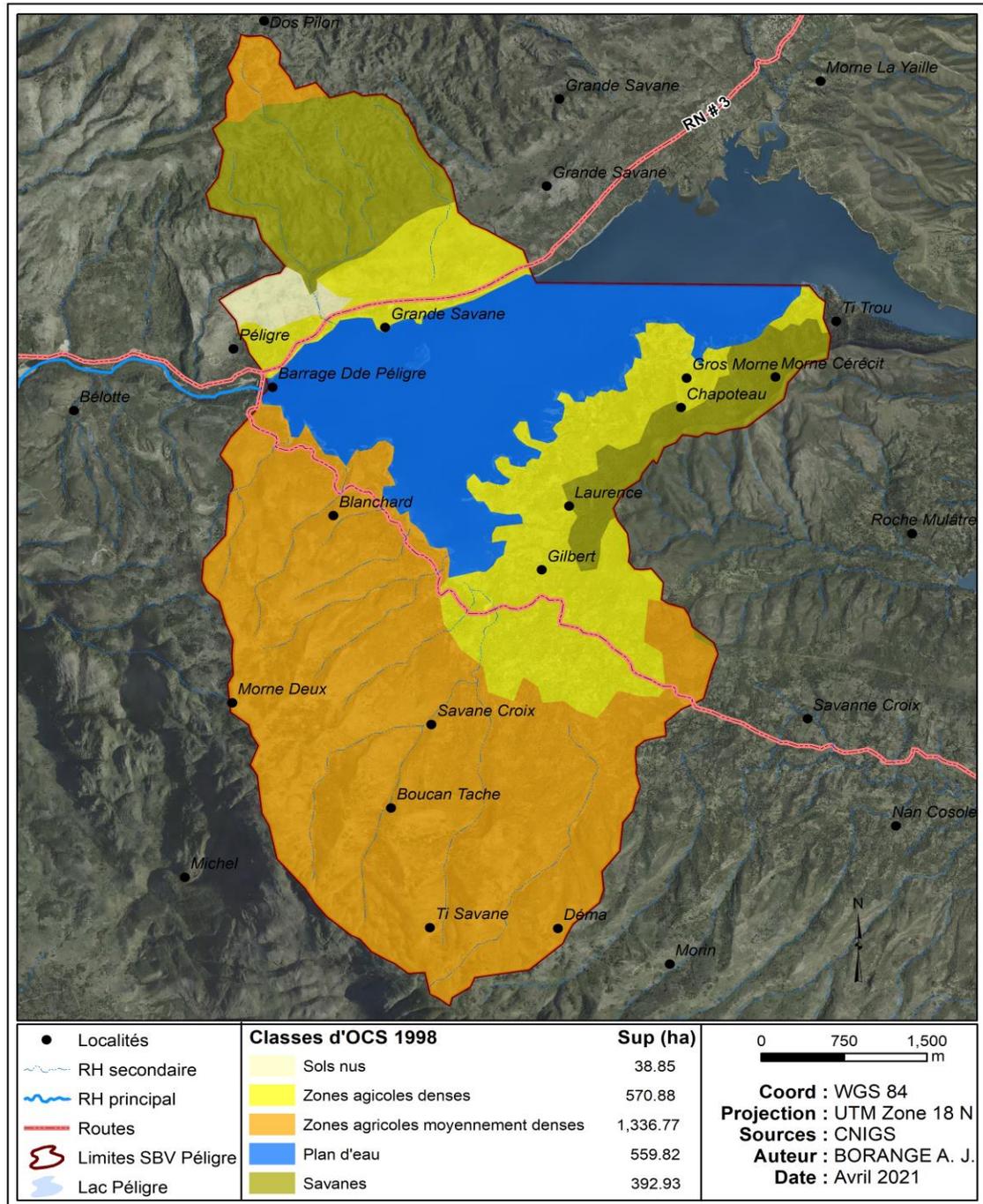


Figure 10: Carte d'occupation du bassin versant de Péligre(1998)

4.1.9 Occupations des sols du micro bassin versant de Péligre pour l'année 2014

La figure 11 nous montre effectivement qu'il y a évolution au niveau de l'occupation des sols du bassin versant de Péligre. En 1998, les sols nus occupaient une superficie de 38.85 hectares tandis qu'en 2014, ils occupaient une superficie de 92.94 hectares. En

1998, le plan d'eau occupe 559.82 hectares, en 2014 il est passé à 547.10 hectares. Nous avons vu que ce bassin est fortement anthropisé. On continue toujours à pratiquer beaucoup d'agriculture. On constate seulement 82.44 hectares du bassin versant qui ont une végétation arborée.

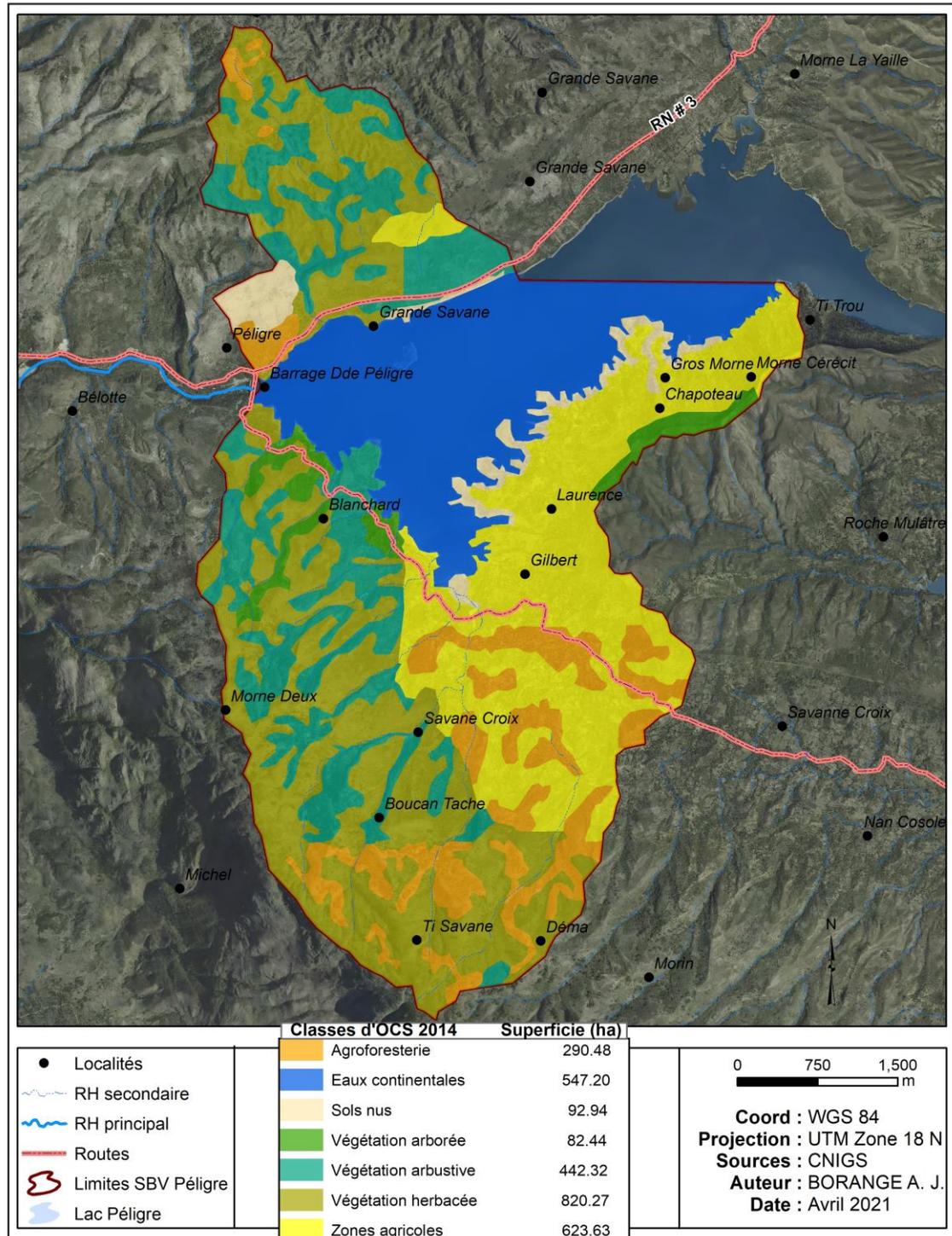


Figure 11: Carte d'occupation des sols du bassin de Péligre(2014)

4.1.10 Indicateurs morphométriques du bassin versant de Péligre

Via les différents paramètres morphométriques calculés, nous pouvons donc dire que ce bassin versant est intéressant. Son indice Gravélius nous montre qu'il a une forme allongée. La densité hydrographique est de 21.17 drains/km². Cela indique justement que nous avons besoin environ 21 drains pour évacuer l'eau vers le lac. De plus, nous avons vu que l'altitude est très variée. Cet indicateur peut-être un élément qui peut modifier le régime hydrologique.

Tableau 2: Résumé des paramètres morphométriques du bassin versant de Péligre

Paramètres	Valeurs
Superficie du sous bassin versant	28.99 km ²
Périmètre du sous bassin versant	28.3 km
Longueur du rectangle équivalent	8.52km
Largeur du rectangle équivalent	3.54 km
Indice de compacité de Gravélius	1.67
Altitude maximale	1084m
Altitude moyenne	624.32m
Dénivelée spécifique	265.95 m
Densité hydrographique	21.17 drains/km ²

4.1.11 Les causes de la dégradation des sous-bassins versants alimentant le Barrage-Réservoir de Péligre

4.1.11.1 La pluviosité

La pluviosité est une cause fondamentale qui engendre la perte des sols au niveau des sous-bassins. Les gouttelettes d'eau qui tombent sur le sol provoquent l'effet de rejaillissement appelé aussi effet splash. Lorsque le versant est dénudé, l'eau désagrège plus facilement les particules du sol et l'emportent la partie aval.

4.1.11.2 Abattage des arbres

L'exploitation anarchique des ressources ligneuses constitue également un facteur déterminant du niveau de dégradation des sols des sous bassins versants. Le bois de feu et la fabrication du charbon constituent les principales utilisations du bois exploité. L'énergie provenant de la biomasse végétale est la principale source d'énergie des individus. Ces activités ont un grand impact sur les versants. Les paysans témoignent certaines fois qu'ils n'ont pas d'autres alternatives que d'abattre un arbre.



Figure 12 : Fourneau de charbon bassin versant de Thomonde

4.1.11.3 Les pratiques paysannes néfastes

Il s'agit des pratiques culturelles notamment les labours à la houe perpendiculairement aux courbes de niveau. Ce phénomène a accentué le ruissellement des eaux.

4.1.11.4 Les conditions socio-économiques

Les faibles moyens des paysans accompagnés de leur dépendance à l'agriculture leur obligent à travailler le sol de manière permanente sans lui donner la chance de renouer à sa fertilité. Afin de faire face à la misère, les agriculteurs sont obligés d'exploiter la

moindre portion de terre qui est à leur disposition. Malgré qu'ils connaissent les conséquences néfastes de l'exploitation à des fins agricoles des sols pentus, ils sont obligés de leur cultiver afin de satisfaire les besoins de leur famille. De plus, il transforme les ressources ligneuses en bois pour pouvoir répondre aux besoins immédiats

4.2 Les activités mises en valeur dans les sous bassins versant alimentant le Barrage-Réservoir de Péligre

4.2.1 Agriculture

Notre visite était orientée dans les versants de Thomonde. L'agriculture est l'activité principale pratiquée dans ce sous bassin versant. Au niveau des mornes, les cultures dominantes sont : le maïs, le pois Congo, le manioc, le haricot. Les associations de culture sont dominantes et les plus rencontrées sont les suivantes : maïs-manioc-haricot ; pois Congo-sorgho ; maïs-pois Congo-haricot. Dans les basses altitudes et dans les vallées, on cultive les bananiers.

4.2.2 Elevage

L'élevage est une activité pratiquée par toutes les exploitations agricoles et constitue une sorte d'épargne à quoi ils peuvent servir pour régler un besoin important. L'élevage à grande échelle ne retrouve pas au niveau des sous bassins versants, on pratique surtout l'élevage traditionnel. Le cheptel des sous bassins versants est composé de bovins, de caprins, d'ovins, d'équins, de porcins et de volailles. Les bovins sont élevés dans les plaines. Les résidus de récolte des parcelles sont utilisés pour leur alimentation. L'élevage de caprins, bovins et volailles est le plus rencontré.

4.2.3 Système d'outillage

Le système d'outillage des sous bassins versants est surtout composé d'outils aratoires. Presque tous les exploitants agricoles enquêtés possèdent les mêmes outils à savoir houe, pelle, machette, digo, charrue et une pioche. On utilise les pioches et les charrues pour faire le labourage des sols.

4.2.4 Le calendrier cultural

Le calendrier cul n'est pas stable dans les zones où l'on pratique de l'agriculture pluviale. C'est l'arrivée des pluies qui déclenchent des activités agricoles. Quand il n'y a pas de problème de sécheresse, on pratique trois saisons particulièrement dans les zones de plaine. Dans les zones de montagne, une seule saison est réalisable.

4.2.5 Coup d'œil sur les activités de conservation des sols réalisées dans le bassin versant alimentant le Barrage-Réservoir-Péligre

La situation socio-économique des gens influence grandement la dégradation des sous-bassins versants. Puisque les paysans n'ont pas beaucoup de moyens, certaines fois, ils sont bien obligés d'exploiter des ressources naturelles. Cependant, les versants qui ont des pentes prononcées devraient être sous couverture végétale permanente. Lors de notre visite, on a remarqué qu'il y a des structures inappropriées dans certains endroits et dans d'autre zone, aucune structure de conservation. On valorise seulement les structures en gabion, maçonnerie et les micros retenus tandis que les structures biologiques sont extrêmement importantes dans la conservation des versants.



Figure 13 : Image d'un micro retenu dans la zone de rampe soldat.

4.2.6 ONG et institutions étatiques

Plusieurs institutions et ONG interviennent au niveau des sous bassins versants alimentant le lac de Péligre. L'organisation World Vision a réalisé de nombreuses activités particulièrement dans le domaine éducatif et sanitaire. Le MARNDR intervient également par l'intermédiaire de PROGEBA et PMDN. Ces institutions contribuent à augmenter les structures de protection des bassins versants. La majorité des travaux s'effectue dans les ravines. On utilise des structures en gabion, en maçonnerie et des micros retenues.



Figure 14 : Structure en Gabion dans la ravine de Nifyèn

4.3 Conclusion partielle

L'analyse des paramètres morphométriques nous montre clairement que ce bassin versant est fortement dégradé. La pente, l'altitude, l'occupation des sols, la densité de drainage sont des indicateurs qui nous permettent de vérifier que les conditions de dégradation sont énormes. En Haïti, il n'y a pas de plan d'occupation de sol ni de plan d'aménagement du territoire. Cela permet aux paysans d'exploiter en toute quiétude les terres de pente conduisant à un déboisement anarchique ; principale cause de la

dégradation du bassin versant. Cette situation a pour grave conséquence la sédimentation dans le lac.

4.4 Modélisation des paramètres hydrauliques du barrage hydroélectriques de Péligre

Dans le but d'avoir une idée beaucoup plus claire sur les problèmes retrouvés en aval du bassin versant de Péligre, une collection de données a été réalisée. Ces données portent plus spécifiquement sur les paramètres hydrauliques. Pour mieux les analyser, nous avons fait des simulations sur le logiciel HEC-RAS et XLSTAT.

4.4.1 Description du Modèle HEC-RAS

Le système de modélisation HEC-RAS est développé comme des logiciels des études hydrauliques qui permettent de simuler les écoulements à surface libre. Il a été conçu par le Hydrologic Engineering Center de l'U.S Army Corps of Engineers à travers le projet NextGen. Ce projet englobe plusieurs aspects hydrologiques et hydrauliques : Analyse du ruissellement des précipitations, Hydraulique fluviale, Simulation des systèmes des réservoirs, Analyse des dommages d'inondation, prévision des crues pour la conception des réservoirs. HEC-RAS permet également de simuler et d'incorporer la géométrie et les caractéristiques de micro bassin de Péligre.

4.4.2 Application de HEC-RAS

La simulation d'un écoulement stationnaire permet de se donner une première idée des Hauteurs d'eau et des débits dans le micro bassin de Péligre. La première étape sert à introduire les données d'écoulement qui sont saisies de l'amont à l'aval de Péligre objet d'étude en respectant les conditions limites pour établir la hauteur initiale de la surface de l'eau aux extrémités du système de rivière (amont et aval).

4.4.2.1 Situation du lac de Péligre cas où le volume d'eau est très faible

Dans les périodes d'étiage, le volume d'eau dans le lac arrive certaines fois très bas. Pour une hauteur de 172 m, on a un débit de 11,5 m³/s. cela traduit que les précipitations durant cette période sont négligeables. L'un des facteurs qui créent la diminution de

l'eau dans le lac est bien évidemment le déboisement en amont. Le réservoir de Péligré est extrêmement important pour le pays.

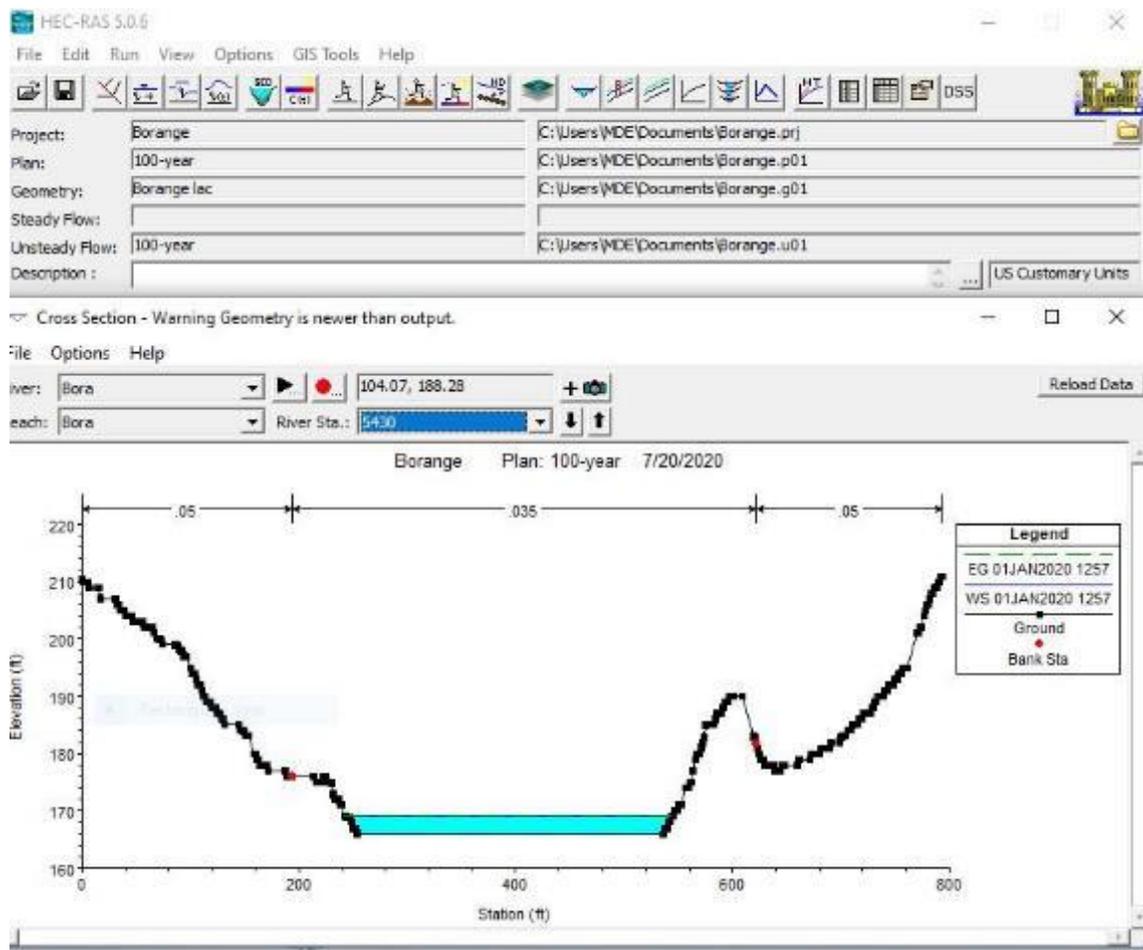


Figure 15: Cas où la hauteur d'eau est très faible dans le lac

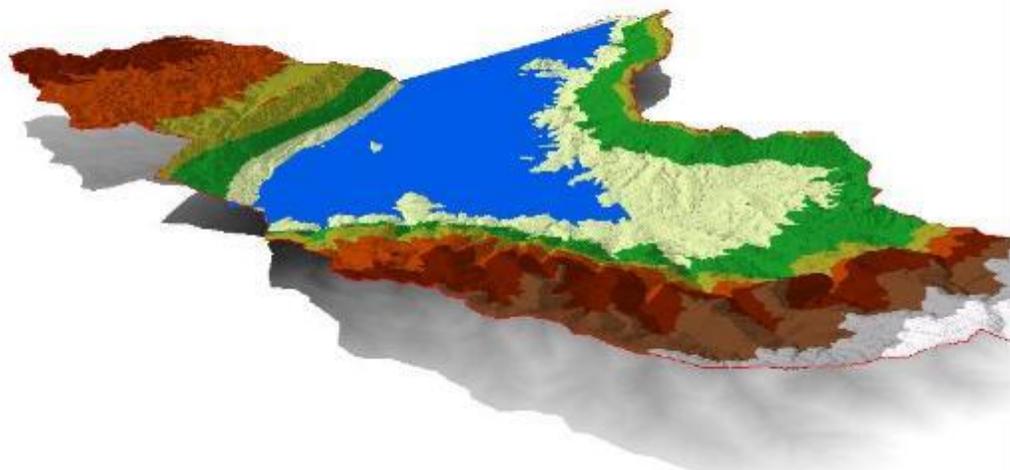


Figure 16: Profil transversal du lac en 3D cas ou le volume est très faible

4.4.2.2 Situation du lac de Péligre cas ou le volume d'eau est normal

Quand on a un volume d'eau intéressant, le fonctionnement des trois turbines ne pose pas de problème. Il y a une production d'électricité qui peut répondre au besoin de la population. Quelques fois on utilise une quantité d'eau pour l'irrigation.

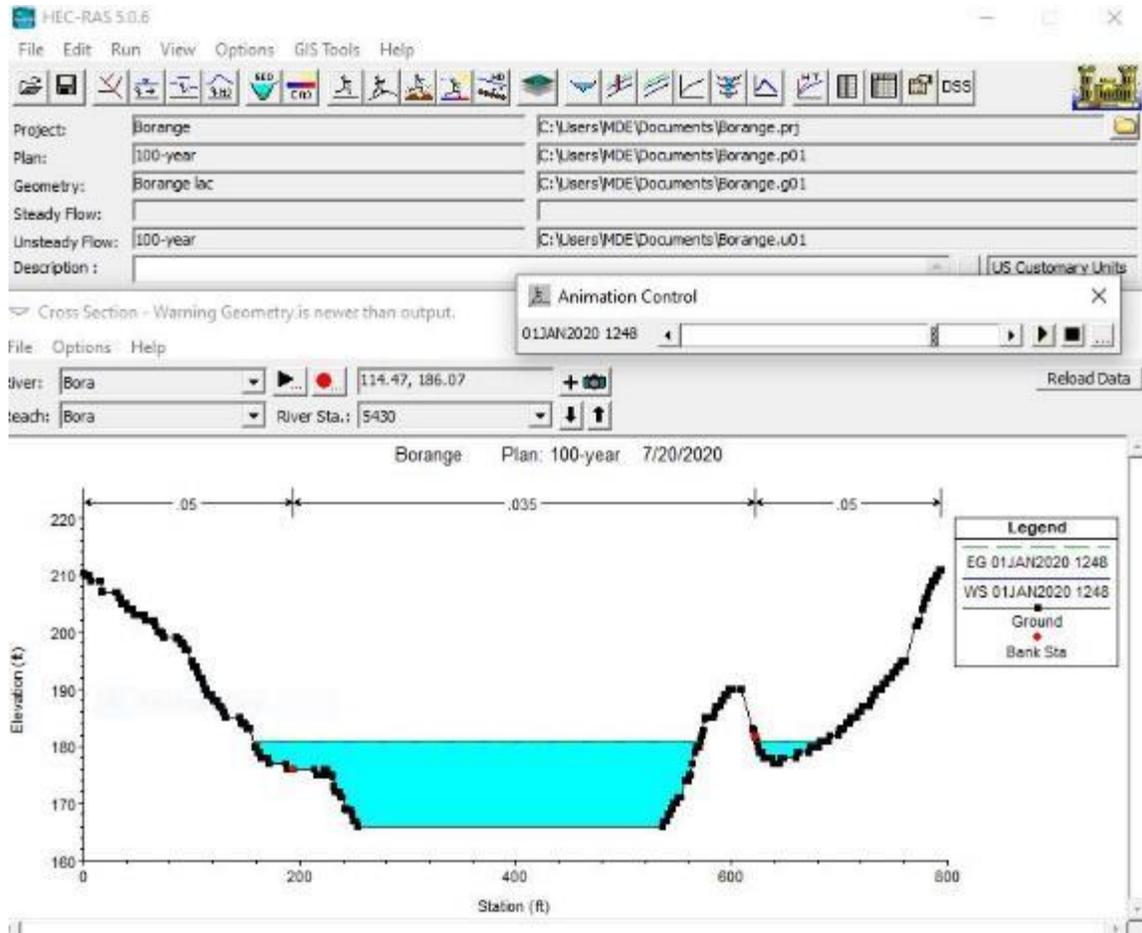


Figure 17: Cas où le volume d'eau est normal dans le lac

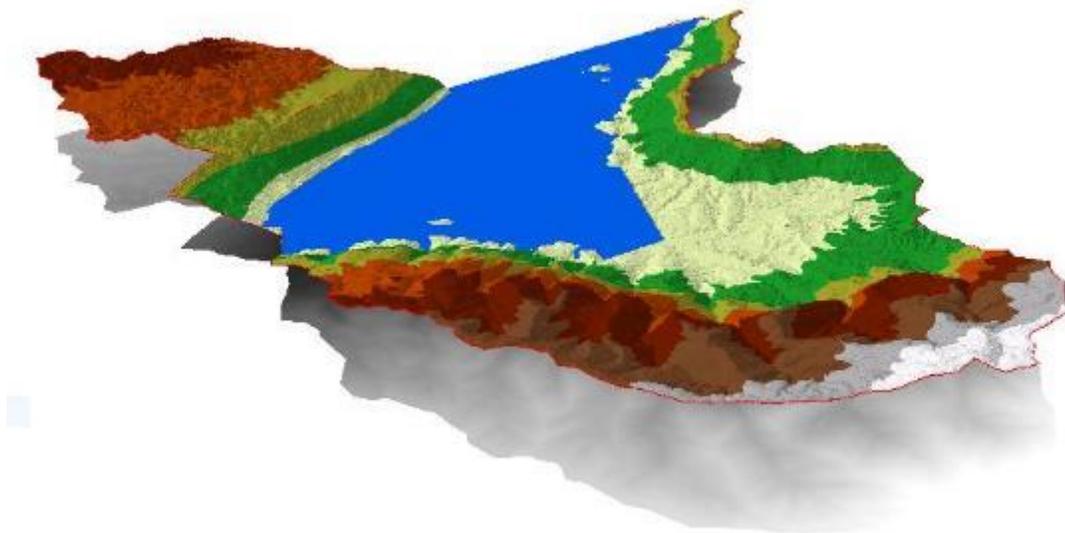


Figure 18: Profil transversal du lac en 3D cas où le volume d'eau est normal

4.4.2.3 Situation du lac lorsque le volume d'eau est supérieur à la normale

Une hauteur d'eau est trop élevée dans le lac peut engendrer des dégâts considérables. Selon les témoignages des techniciens, l'eau ne peut pas arriver à une hauteur plus de 172 m sinon ça peut endommager totalement le barrage et provoquer de graves risques d'inondations en aval.

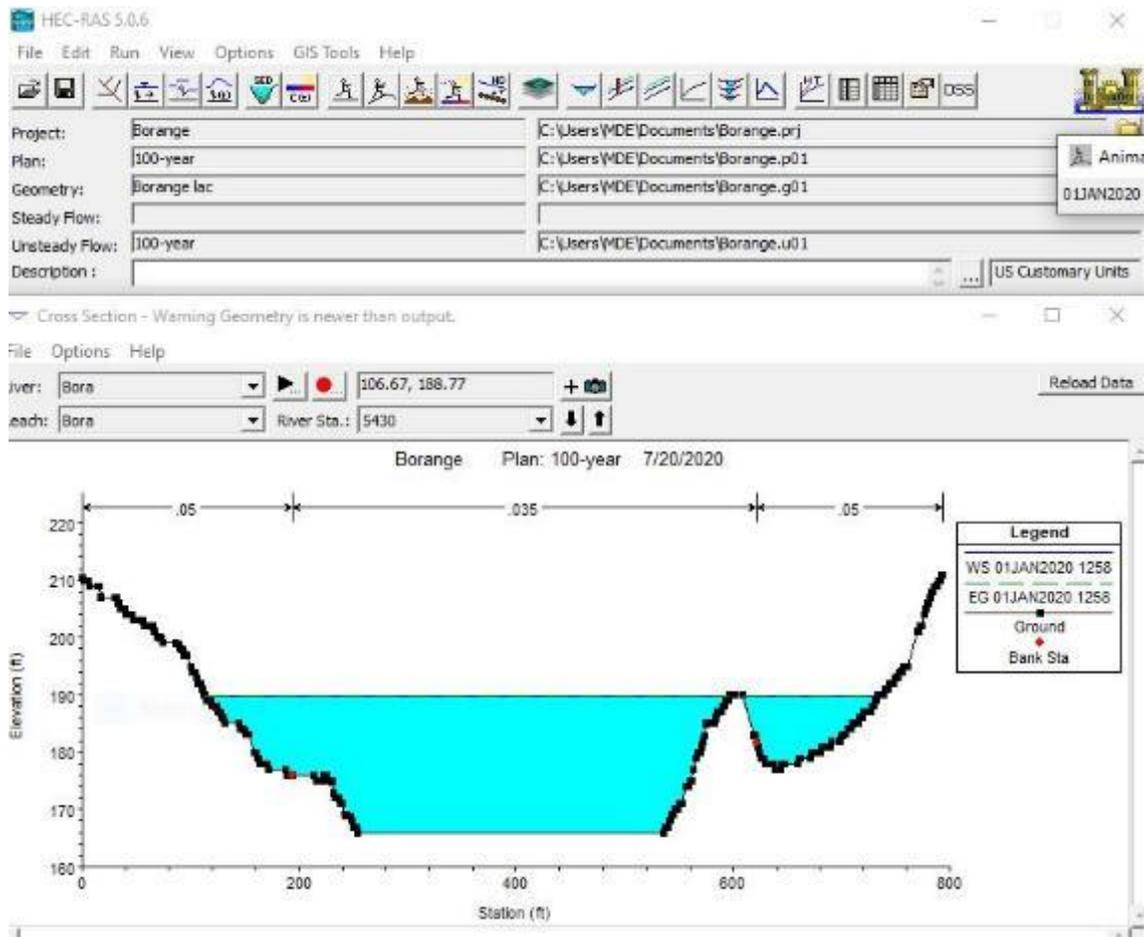


Figure 19: Cas où le volume d'eau est supérieur à la normale dans le lac

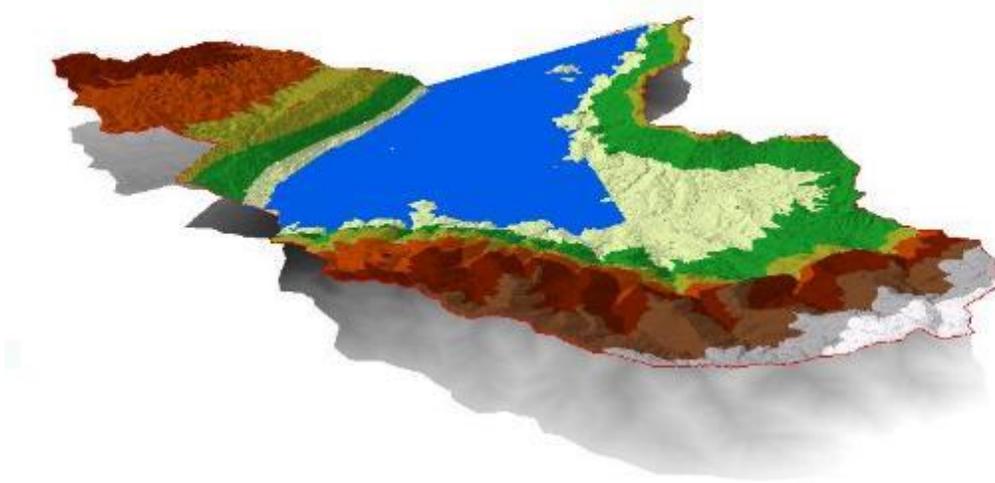


Figure 20: Profil transversal en 3D du lac cas où le volume d'eau est supérieur à la normale.

4.4.2.4 Hauteur de l'eau dans le lac en fonction des différentes positions

La hauteur dans le lac n'est pas linéaire. Cela varie justement en fonction de l'altitude. Nous avons pris cinq stations. Nous avons remarqué que chaque surface correspond à une hauteur d'eau différente.

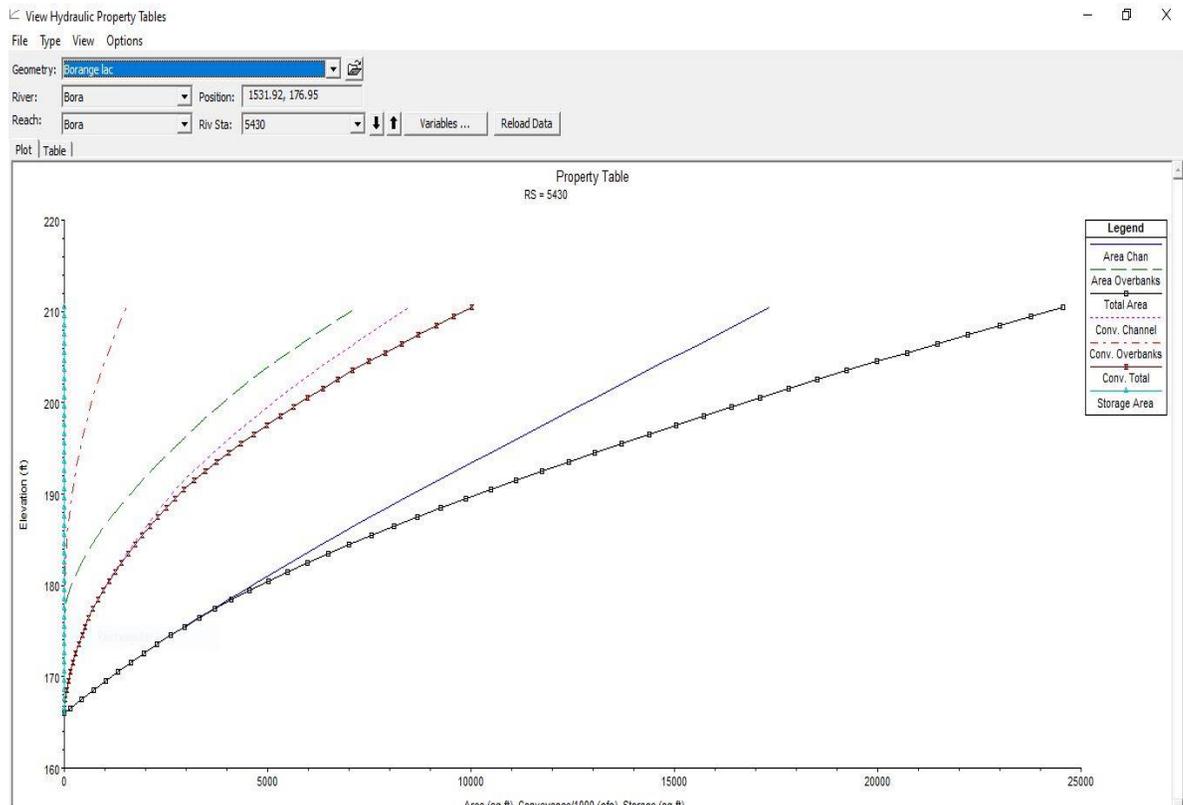


Figure 21: Hauteur d'eau dans le lac en fonction des différentes positions

4.4.3 Modélisation hydraulique avec XLSTAT

4.4.3.1 Modélisation des débits chassés en fonction de la hauteur du barrage pour l'année 2016

Tableau 3 : Analyse de variance pour les débits chassés en fonction de la hauteur du barrage pour l'année 2016

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	1	409458.245	409458.245	47.366	< 0.0001
Erreur	364	3146625.420	8644.575		
Total corrigé	365	3556083.665			

Étant donné que la probabilité associée au F est dans ce cas inférieure à 0.0001, cela signifie que l'on prend un risque de se tromper de moins de 0.01% en concluant que la variable explicative apporte une quantité d'information significative au modèle.

Tableau 4 : Les paramètres pour le modèle des débits chassés en fonction de la hauteur du barrage hydroélectrique de Péligre pour l'année 2016

Source	Valeur	Erreur standard	T	Pr > |t|	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)
Constante(b)	-1542.869	234.174	-6.589	< 0.0001	-2003.373	-1082.366
Elevation(a)(m)	9.865	1.433	6.882	< 0.0001	7.046	12.684

Puisque les p-values sont très faibles, les valeurs pour la constante b et a sont significativement différentes de zéro. Dans ce cas, H0 est rejeté c'est-à-dire on prend un risque très faible de nous tromper.

Equation du modèle :

$$\text{Débits chassés en m}^3/\text{s} = -1542.87 + 9.86 * \text{élévation (m)}$$

Cette équation peut être utilisée pour prédire les débits qu'on peut chasser en fonction de nouvelles valeurs de la hauteur du barrage.

4.4.3.2 Régression des débits chassés en fonction de la hauteur d'eau dans le barrage pour l'année 2016

Nous avons remarqué effectivement que les débits chassés augmentent linéairement en fonction de la hauteur du barrage. La mesure de la hauteur de l'eau dans le barrage permet de prédire à temps le surplus d'eau qu'on doit évacuer dans le lac. Certaines fois, ça entraîne des dégâts considérables en aval notamment dans la vallée de l'Artibonite. Pour pallier ce problème, Ingénieur Noël a construit deux stations limnimétriques en amont du barrage : l'une pour la rivière de Guayamouc et l'autre la rivière de los abeille. Avec ça, on va contrôler mieux les évacuateurs de crues puisqu'ils sont donc nécessaires pour que les ouvrages ne soient pas endommagés par des déversements non contrôlés.

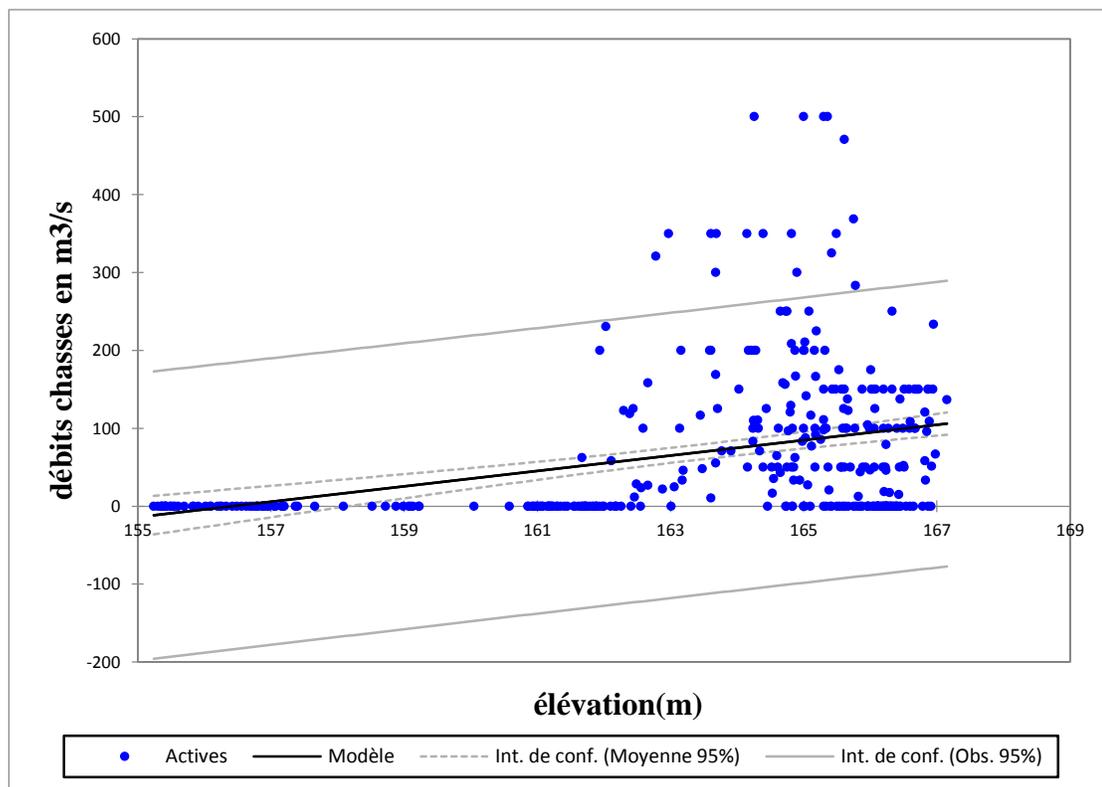


Figure 22: Régression des débits chassés de l'année 2016 en fonction de la hauteur du barrage

4.4.4 Modélisation des débits chassés en fonction de la hauteur du limnimètre de la station Guayamouc pour l'année 2014

Tableau 5: Analyse de variance pour les chasser en fonction de la hauteur du limnimètre de la station Guayamouc pour l'année 2014

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	1	216437.768	216437.768	104.297	< 0.0001
Erreur	271	562378.690	2075.198		
Total corrigé	272	778816.458			

Étant donné que la probabilité associée au F est dans ce cas inférieure à 0.0001, cela signifie que l'on prend un risque de se tromper de moins de 0.01% en concluant que la variable explicative apporte une quantité d'information significative au modèle.

Tableau 6: les paramètres pour le modèle des débits chassés en fonction de la hauteur du limnimètre de la station Guayamouc pour l'année 2014

Source	Valeur	Erreur standard	t	Pr > |t|	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)
Constante	-46.603	7.616	-6.119	< 0.0001	-61.598	-31.608
hauteur limnimetre(m)	114.672	11.228	10.213	< 0.0001	92.566	136.778

Puisque les p-values sont très faibles, les valeurs pour la constante b et a sont significativement différentes de zéro. Dans ce cas, H0 est rejeté c'est-à-dire on prend un risque très faible de nous tromper.

Equation du modèle :

$$\text{Débits chassés (m}^3\text{/s)} = -46.60 + 114.67 \cdot \text{hauteur limnimètre (m)}$$

Cette équation peut être utilisée pour prédire les débits chassés en fonction de nouvelles valeurs de la hauteur d'eau dans la rivière de Guayamouc. Ça va permettre aux techniciens de savoir quand est-ce qu'on peut chasser l'excès d'eau dans le lac tout en limitant les risques d'inondation en aval.

4.4.4.1 Régression des débits chassés en fonction de la hauteur des limnimètres

Nous avons remarqué clairement dans la figure ci-dessous que les débits chassés augmentent linéairement en fonction de la hauteur d'eau dans les rivières. La mise en place des stations limnimétriques a permis non seulement de chasser à temps l'excès d'eau dans le lac, mais également de limiter les risques en aval. Certaines fois les volumes d'eau sont trop élevés pour les zones situant en aval du barrage. En effet, nous pouvons donc dire que les stations limnimétriques permettent de mieux gérer les quantités d'eau qui vont arriver dans le lac.

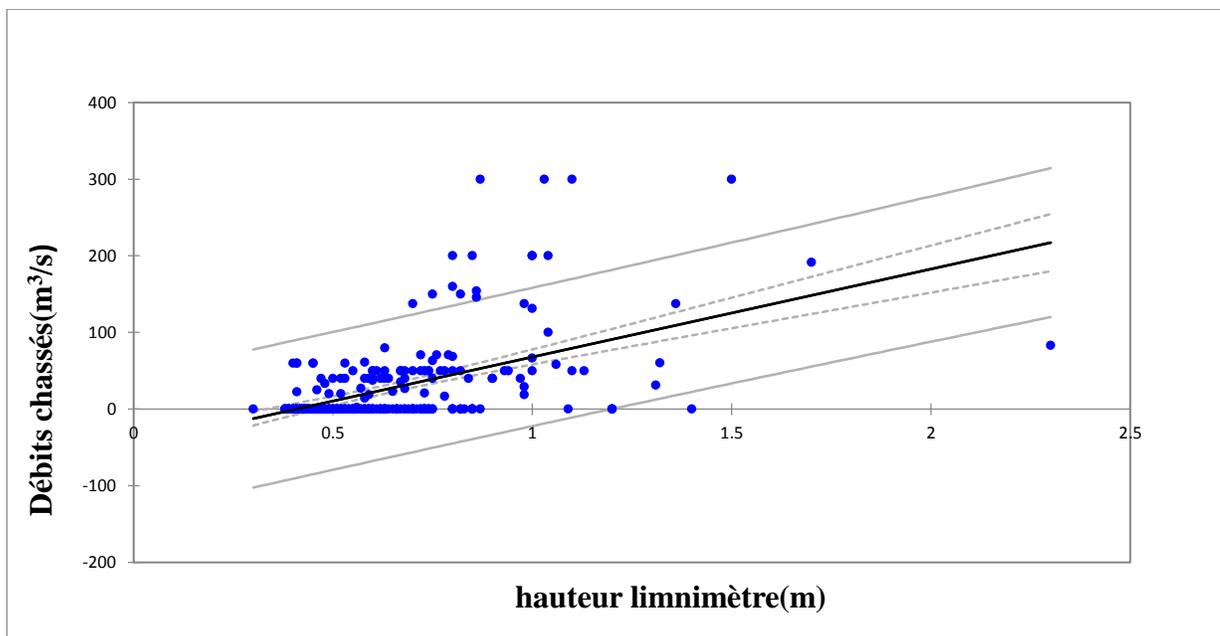


Figure 23: Régression des débits chassés en fonction de la hauteur limnimétrique

4.4.5 Modélisation des débits turbinés par rapport à la hauteur du barrage pour l'année 2008 à 2010

Tableau 7 : Analyse de variance pour les débits turbinés par rapport à la hauteur du barrage pour l'année 2008 à 2010

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	1	80486.545	80486.545	177.486	< 0.0001
Erreur	1005	455749.126	453.482		
Total corrigé	1006	536235.670			

Étant donné que la probabilité associée au F est dans ce cas inférieure à 0.0001, cela signifie que l'on prend un risque de se tromper de moins de 0.01% en concluant que la variable explicative apporte une quantité d'information significative au modèle.

Tableau 8 : Les paramètres du modèle pour les débits turbinés par rapport à la hauteur du barrage pour l'année 2008 à 2010

Source	Valeur	Erreur standard	T	Pr > |t|	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)
Constante	-241.885	22.489	-10.756	< 0.0001	-286.015	-197.755
élévation(m)	1.792	0.135	13.322	< 0.0001	1.528	2.056

Puisque les p-values sont très faibles, les valeurs pour la constante b et a sont significativement différentes de zéro. Dans ce cas, H0 est rejeté c'est-à-dire on prend un risque très faible de nous tromper.

Equation du modèle :

$$\text{Débits total turbinés (m}^3\text{/s)} = -241.89 + 1.79 * \text{élévation(m)}$$

Cette équation peut être utilisée pour prédire les débits Turbinés en fonction de la hauteur de l'eau dans le barrage.

4.4.5.1 Régression des débits turbinés en fonction de la hauteur du barrage pour l'année 2008 à 2010

Les débits turbinés augmentent linéairement en fonction de la hauteur du barrage. Cela nous permet de comprendre avec une bonne hauteur d'eau dans le lac, on pourrait avoir une plus grande quantité d'électricité parce que la tension du courant varie en fonction de la hauteur de chute et du débit. De ce fait, pour avoir une meilleure production d'électricité, faut-il bien d'avoir une hauteur d'eau considérable le dans le lac.

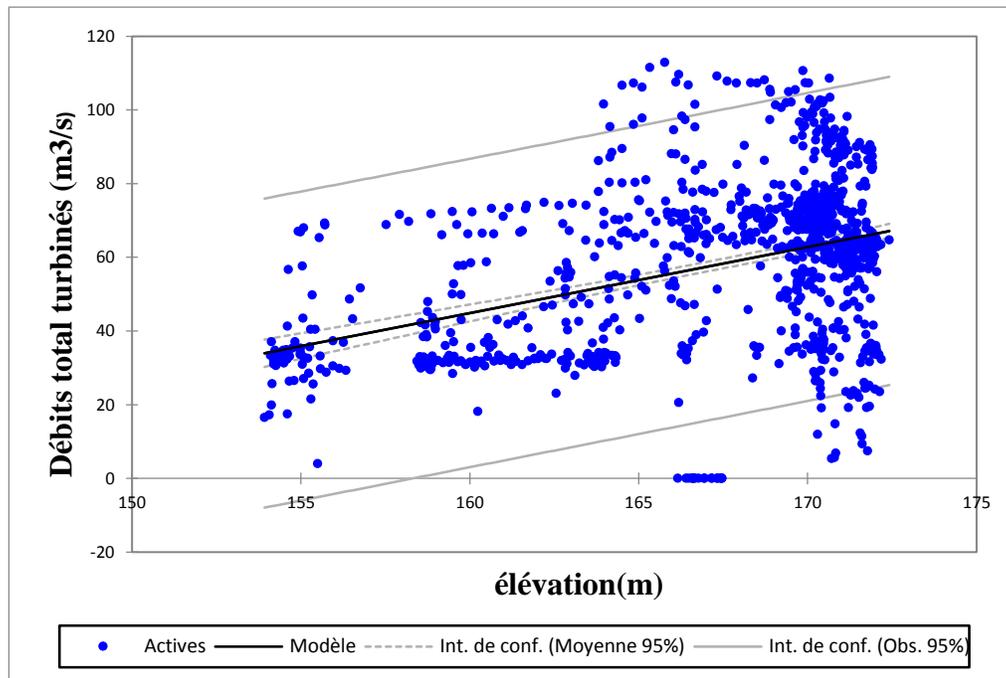


Figure 24 : Régression des débits turbinés par rapport à l'élévation pour l'année 2008 à 2010

4.5 Analyse des débits journaliers pour l'année 2009 à 21018

La figure 25 illustre des données collectées au niveau du barrage sur des fichiers Excel à partir de l'année 2009. Nous avons constaté qu'il y a une grande variation au niveau des débits dans le barrage. Cela est dû aux fluctuations des rivières alimentant le lac. Le faible niveau impacte grandement la production d'électricité. Plus le volume d'eau est élevé dans le lac, plus débits turbinés sont intéressants.

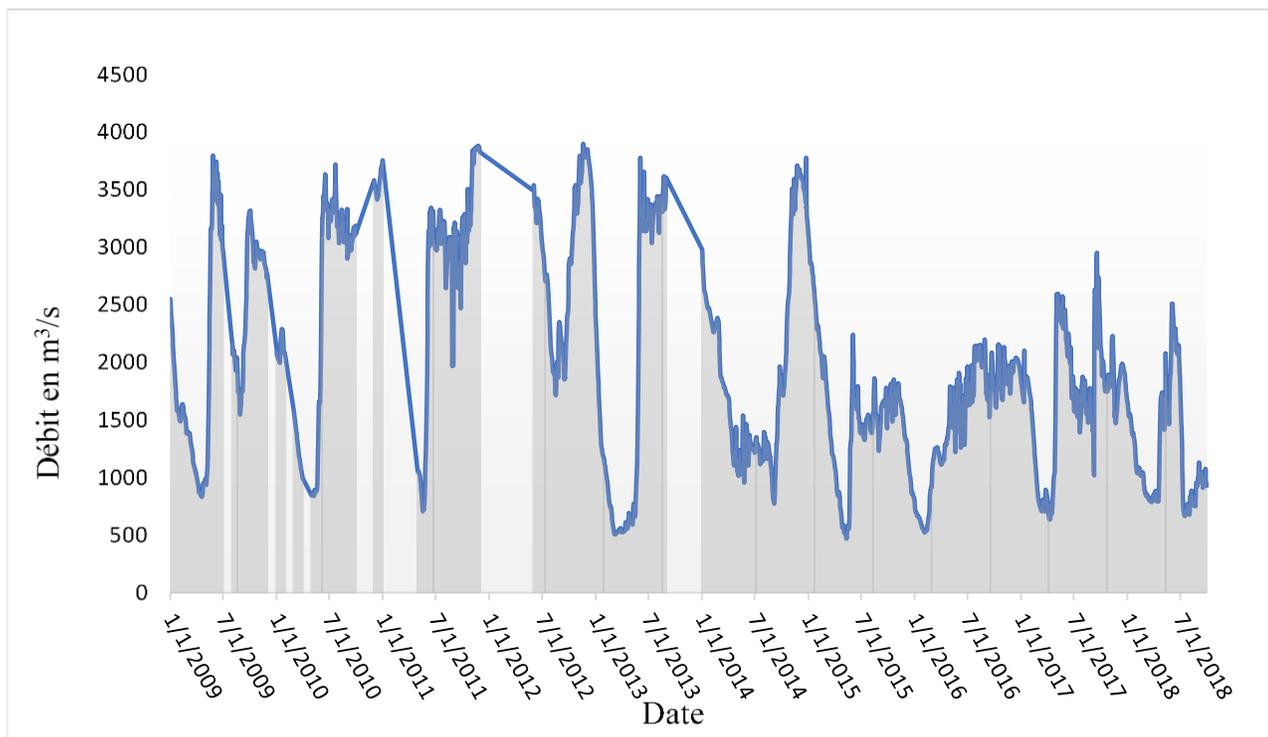


Figure 25 : Présentation des débits moyens journaliers du barrage de Péligre pour l'année 2009 à 2018

4.6 Analyse de la production pour l'année 2014 à 2018

La figure 26 nous montre qu'il n'y a pas une grande variation de production d'électricité. Sauf en 2017, nous avons observé un pic de production. Cette augmentation de la production est due à une réhabilitation réalisée au niveau des matériels électromécaniques.

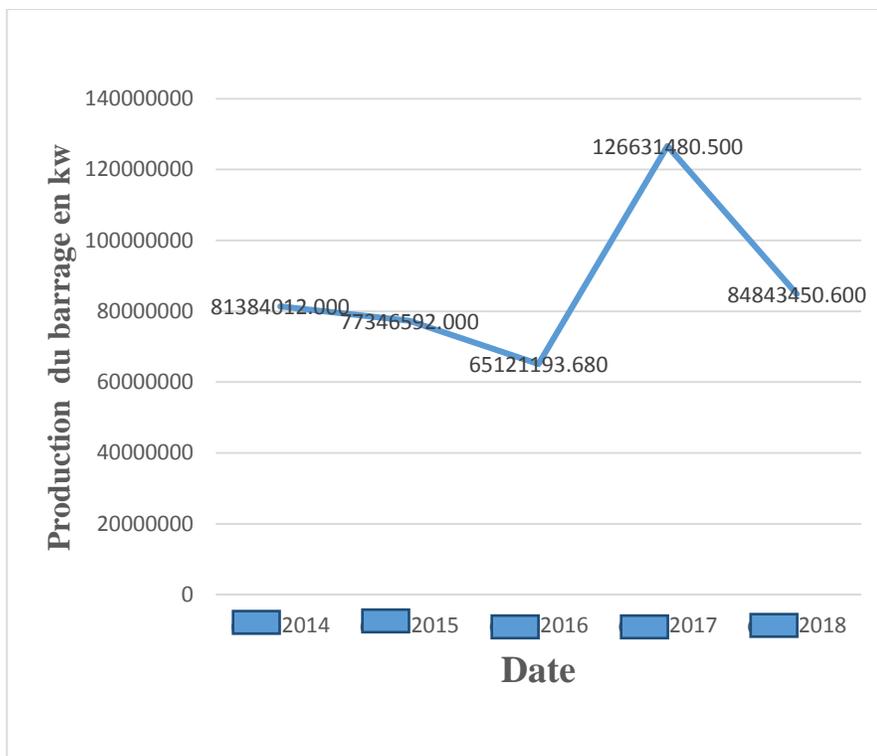


Figure 26: présentation de la production d'électricité dans le barrage pour l'année 2014 à 2018

4.7 Analyse des données hydrologiques dans les bassins versants alimentant le lac de Péligre

Les données hydrologiques sont quasiment inexistantes au niveau de la plupart des versants alimentant le lac de Péligre à cause des stations de mesure qui sont inexistantes ou non opérationnelles. Dans le cas de cette étude, on se limite des précipitations atmosphériques annuelles de la station Hinche de 1912 à 1959 et de la station de Lascahobas de 1929 à 1962 du Ministère de l'environnement.

4.7.1 Analyse de la précipitation atmosphérique annuelle en millimètres et dixièmes pour la station Hinche

En observant cette courbe des pluies annuelles à la station de Hinche, nous avons l'impression que cette station reçoit des pluies sporadiquement. Il n'y a pas une suite logique de distribution de la pluviométrie. Cette distribution étant aléatoire au regard même de la moyenne annuelle, il ressort de cette courbe des pluies plusieurs ensembles de constat.

La tranche (1912 à 1923) a reçu quelques hauteurs des pluies voisines à la moyenne annuelle et certaines inférieures à la moyenne. Le groupe (1924 à 1926) a connu une augmentation de la pluviométrie avec une hauteur plus haute que la moyenne. L'ensemble (1927 à 1959) traduit une pluviométrie qui n'est pas écartée de la moyenne. Il est à noter que pour les années 1940 et 1951, il y a des valeurs qui sont nettement supérieures à la moyenne.



Figure 27 : Représentation de la précipitation annuelle de la station Hinche pour l'année 1912 à 1959

4.7.2 Analyse précipitation atmosphérique annuelle en millimètres et dixièmes pour la station Lascahobas

Du graphique ci-dessous nous percevons l'irrégularité interannuelle des pluies caractérisée par une tendance plus ou moins élevée comparativement à la station de Hinche. Les précipitations sont comprises entre 1100 et 3186 millimètres d'eau. On observe ainsi, une tendance à la hausse des pluies avec un pic en 1940, signe de la forte pluviométrie observée en cette année. Les plus faibles s'observent en 1953 et en 1959.

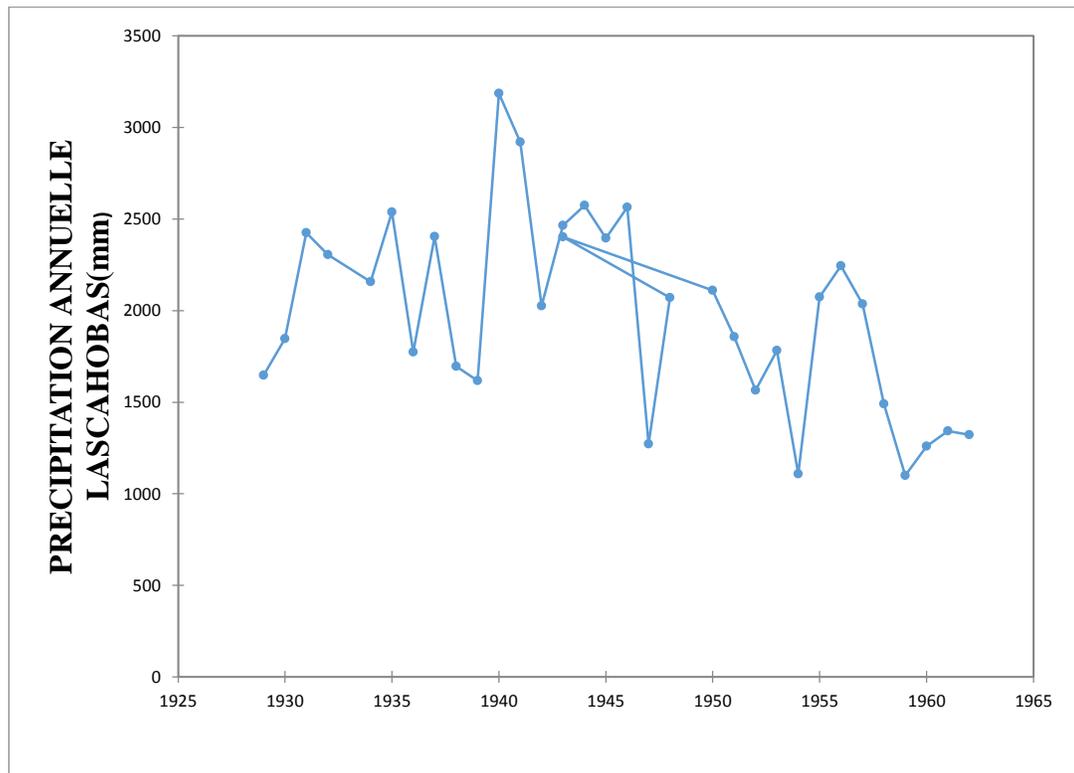
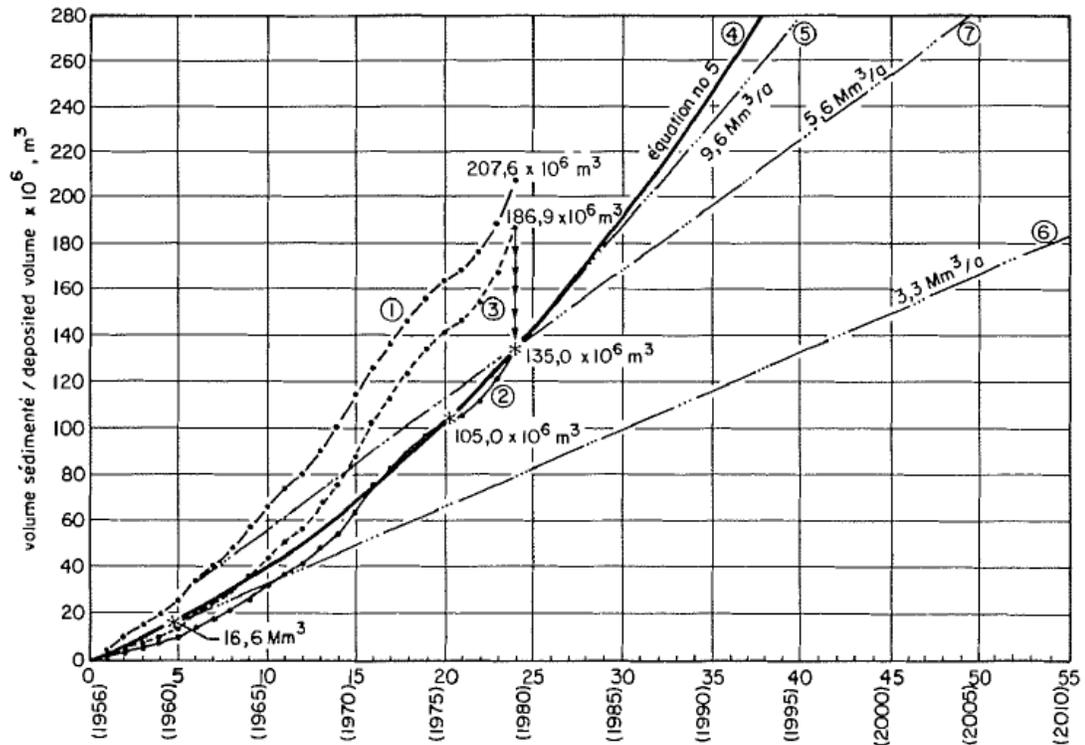


Figure 28 : Représentation de la précipitation annuelle de la station Lascahobas pour l'année 1969 à 1962

4.8 Espérance de vie du barrage de Péligre

La figure ci-dessous donne l'historique de la sédimentation du réservoir Péligre suivant plusieurs approches. La courbe 1 représente le volume d'envasement qui aurait enregistré depuis 1956. Selon cette simulation, le volume de sédiment aurait été de $207,6 \times 10^6 \text{ m}^3$. La courbe 2 prend en considération la variation de la dégradation du territoire. Le volume total obtenu par simulation, pour la période de 1956 à 1979, est de $136,7 \times 10^6 \text{ m}^3$. D'après ces figures, le volume de $16,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ observé en 1961 serait réduit, en 1979, à $9,4 \times 10^6 \text{ m}^3$ à cause de la surcharge dépôts avec le temps. La courbe 3 montre grâce au tassement, le volume du dépôt est passé de $186,9$ à $135,0 \times 10^6 \text{ m}^3$ entre 1956 et 1979. Ce phénomène a donc eu pour effet de prolonger la vie du barrage d'au moins 20% soit de cinq ans au cours de la période d'observation de 24 années. La courbe 4 peut servir à prédire l'évolution du remplissage du réservoir si les tendances actuelles de

dégradation du bassin se maintiennent. Contrairement à la courbe 4, les droites 5, 6 et 7 résultent d'un taux d'envasement constant de $9,6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$.



Source : Université Laval, 1981

Figure 29: Simulation des volumes sédimentés depuis 1956

4.9 Perspective d'envasement de la retenue de Péligre

Considérant le fait qu'en 1979 la réserve utile initiale ($467,40 \times 10^6 \text{ m}^3$) était affectée à près de 20% et que la presque totalité des sédiments se déposait dans le réservoir supérieur dont la réserve morte est nulle, on peut conclure que le rendement du réservoir risque d'être sérieusement affecté dans un proche avenir. Dehoux (1961) prévoyait l'envasement complet du réservoir pour l'an 2137. Les courbes 4 et 5 dans la figure ci-dessus montrent que ce même niveau d'envasement pourrait bien être atteint entre l'an 2016 et 2023, dépendant de l'hypothèse retenue, soit une réduction de plus de 100 ans par rapport aux 180 ans prévus initialement.

Tableau 12 : Perspective d'envasement de la retenue de Péligre

Reserve utile envasée(%)	Année			
	Courbe 4	Courbe 5	Courbe 7	Courbe 6 (d'après Dehoux 1961)
20	1979	1979	1979	1997
30	1985	1985	1988	2011
50	1994	1995	2005	2039

Source : **Université Laval, 1981**

5 PROPOSITIONS

Après avoir effectué le diagnostic, nous avons remarqué que la situation est alarmante au niveau des bassins versants alimentant le lac et également dans la centrale hydroélectrique. Face à cette situation, nous avons envisagé les recommandations suivantes :

5.1 Conservation et réhabilitation du milieu biophysique

Les actions à entreprendre sont la mise en place des structures conservatoires dans les zones de dégradation avancée. Parmi ces zones, on peut citer la localité de cange, rampe soldat, cerca et lasè. L'établissement d'un couvert arboré est à conseiller vu l'absence quasi-totale des arbres en privilégiant les espèces à croissance rapide, et fixatrices d'azotes. Le traitement des ravines en vue de les stabiliser est d'une grande nécessité, car elles évacuent beaucoup de sédiments dans le lac. Pour se faire, des corrections biologiques pour les petites ravines sont nécessaires. Pour les grandes ravines, la modification de leur profil par des seuils est recommandée. Par exemple, les ravines Bois-d'homme, Gran dlo, Cange, Jean Jillette, Lasè, Rat ponyon et nifyèn doivent aménagées par structures en gabion et des micros retenues permettant l'accumulation des sédiments.

5.2 Sensibilisation des gens pour une exploitation rationnelle des ressources

Il est urgent de sensibiliser les gens à une exploitation rationnelle des ressources naturelles au niveau des bassins versants. L'éducation environnementale de la population doit être faite. Des séances de sensibilisation doivent être organisées surtout par les organisations paysannes locales afin d'inciter les agriculteurs à contribuer dans la gestion du milieu et avoir un comportement responsable vis-à-vis de l'environnement. Il est déconseillé vivement aux agriculteurs d'exploiter les endroits aux pentes abruptes. Ces endroits doivent être autant que possible sous couverture végétale permanente.

5.3 Développer des programmes de reboisement dans les zones vulnérables

En Haïti les campagnes de reboisement ne donnent de bons résultats. Ce problème est dû à un ensemble d'éléments notamment la précarité des gens, la situation foncière, etc.

Afin d'y remédier, il est conseillé d'adopter un programme intégré avec des suivies à long terme. Les espèces qu'on va choisir devraient respecter les conditions agro-écologiques du milieu.

5.4 Promotion de nouvelles alternatives

Il y a une corrélation négative entre la pauvreté des gens et l'exploitation des ressources naturelles. Plus les individus ne sont pauvres, ils font beaucoup plus de pression sur les ressources. De ce fait, nous demandons aux autorités étatiques de créer dans la zone des activités notamment des banques de crédit agricole pouvant améliorer les conditions socio-économiques de la population. On peut également utiliser le programme de paiement pour les services environnementaux. Les gens qui acceptent de conserver la forêt surtout dans zones où les pentes sont très prononcées, méritent d'être encouragés par des primes ou d'autres alternatives. Ces paiements pourraient surmonter les contraintes financières auxquels les fermiers font face dans l'attente que les arbres grandissent et aider la promotion de l'agroforesterie.

5.5 Promotion des activités non-agricoles rémunératrices

Il est intéressant de conseiller les gens à pratiquer des activités autres que l'agriculture. On peut justement encourager les gens à impliquer beaucoup plus dans le secteur transport et l'artisanat.

5.6 Réhabilitation de la centrale hydroélectrique de Péligre

Ces dernières décennies, les dépôts de limon ont réduit l'activité de la centrale électrique en réduisant ses capacités de production d'électricité. Afin d'éviter une situation beaucoup plus critique, il convient aux organismes d'intervention de commencer dans très peu de temps avec les travaux d'amélioration. Il y a des matériels qui méritent d'être réparés en urgence notamment les reniflas et les trois groupes turbo-alternateurs. Selon les propos recueillis, il y a très longtemps que les trois groupements fonctionnent en même temps. Il est aussi évident de faire un curage au niveau du lac afin de diminuer le volume de sédimentation.

5.7 Installation des petits barrages en amont du lac de Péligre

L'installation des petits barrages en amont du lac peut-être une alternative ultra intéressante. Ces barrages peuvent réduire de manière considérable la sédimentation qui va déverser dans le lac. Le coût de ces installations sera très élevé. Parallèlement, ça peut empêcher grandement cette réalisation.

6 CONCLUSION

Le processus de dégradation des bassins versants alimentant le lac de Péligré et les problèmes retrouvés au niveau de la centrale nous permettent de voir que la nécessité est urgente d'atténuer les impacts. Les résultats de recherche ont justifié l'intérêt de l'étude.

Après avoir présenté, interprété et analysé les données recueillies, nous avons vu que l'hypothèse est confirmée. La sédimentation du lac est due principalement aux dégradations des bassins versants. La plus forte partie du bassin versant alimentant le réservoir de Péligré a un risque d'érosion élevé et une altitude qui est très variée. Ces facteurs influencent grandement la sédimentation. L'occupation des sols est aussi un élément qui influence grandement la sédimentation. Les données bathymétriques nous font voir que le volume de sédiment augmente progressivement. Le volume de sédiments déposés dans le lac de 1956 à 1980 est élevé à 135 millions de mètres cubes soit un taux moyen de 5,6 millions de mètres par année. D'après la dernière étude sédimentologique, le volume de sédiments fut évalué à 353 millions de mètres cubes, ce qui correspond à un taux d'envasement de 5,9 millions de mètres cubes. Le réservoir de Péligré a perdu près de 60 à 70% de son volume initial à cause de la sédimentation. Cela pour conséquence une faible production d'électricité, diminution des volumes d'eau chassés, destruction des matériels électromécaniques. Donc, s'il n'y a pas une réhabilitation dans un temps qui n'est pas trop loin, la durée de vie de la centrale risque d'être fragilisée beaucoup plus.

Avant l'installation des limnimètres en amont des rivières alimentant le réservoir, on ne pouvait pas contrôler les risques d'inondations en aval du barrage. La création de ces stations permet aux techniciens d'évacuer à temps le volume qui est trop élevé dans le lac. Cette étude est loin d'être parfaite, car les problèmes sont tellement énormes, toutefois, si on applique les recommandations ci-dessus, on pourra avoir de nouveaux changements dans le bassin versant et également dans la centrale hydro-électrique de Péligré.

7 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ❖ **BDPA, SCETAGRI**, Conservation et gestion des ressources naturelles en vue d'un développement durable en Haïti, 1990, P.52-53
- ❖ **Bendimerad. A. Z. (2011)**, Comportement des barrages en BCV et en BCR étude comparative, projet de fin d'études, département de génie civil, faculté des sciences de l'ingénieur, université abou bekr belkaid, Tlemcen, Algérie. P 42-45.
- ❖ **Benstead, J. P., March, J. G., Pringle, C. M. et Scatena, F. N. (1999)**. Effects of a low-head dam and water abstraction on migratory tropical stream biota. *Ecological Applications*, vol. 9, n° 2, p. 656-668.
- ❖ **Blake, D.** "Proposed Mekong dam scheme in China threatens millions in downstream countries", *World Rivers Review*, 16(3), 2001, p 4-5.
- ❖ **Brunet R., Ferras R. et They H. (2005)**: *Les mots de la géographie : dictionnaire critique, collection dynamiques du territoire*, Reclus, la documentation française. 518p.
- ❖ **Cadet M. (2005)**. L'État haïtien a-t-il pris une bonne décision de laisser s'expatrier des travailleurs de 1961 à 2001? Mémoire de maîtrise, Université de Montréal, 22p.
- ❖ CIGB (Commission Internationale sur les Grands Barrages). (s. d.b). Technologie des barrages. *In* CIGB-ICOLD. *Barrages*, http://www.icoldcigb.org/FR/Barrages/technologies_barrages.asp
- ❖ **COB-L.G.L.** Etude de surélévation du barrage de Péligre. Rapport de diagnostic, Mars 1990, p.11.
- ❖ **DESORMES H.C. (1998)**. Diagnostic de la dégradation du haut bassin versant de la rivière Jassa (Ouanaminthe, Mémoire d'Ingénieur- Agronome, UEH/FAMV, Damien, Haïti, 53p.
- ❖ **FAO(1996)**. Elaboration d'un programme national d'aménagement des bassins versants, Rome, 96p.
- ❖ **FAO, 2016**. Site Web AQUASTAT. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et L'Agriculture.
- ❖ **FAO. (1993)**. Manuel de terrain pour l'aménagement des bassins versants. Techniques de traitement des pentes. Cahier FAO conservation N°13/3.

- Ministère de la corporation et du développement, 1991. Memento de l'Agronome. 4ème édition. Collection **Technique rurale en Afrique**. France.
- ❖ **FAO. (1993)**. Manuel de terrain pour l'aménagement des bassins versants. Techniques de traitement des pentes. Cahier FAO Conservation N°13/3. Ministère de la Coopération et du développement, 1991 : Mémento de l'Agronome. 4ème édition. Collection « Techniques rurales en Afrique ». France.
 - ❖ **FURUSHO, Y.C. (2008)**. Etude du fonctionnement hydrologique d'un bassin versant Périurbain : LA CHEZINE, thèse en Sciences et techniques des environnements urbains, Université de Nantes, 67 p.
 - ❖ **GIL N. (1986)**. Aménagement des bassins versants et conservation des sols et des eaux. IN bulletin pedologique de la FAO, No 44. Rome, pp :18-18
 - ❖ **GLM, Engineerin COOP(2016)**. RelevésTopo-Bathymétriques et Géophysiques des dépôts des sédiments au barrage de Péligre, Haïti, Inter American Développement Bank(IABD), Energy Division (ENE), Washington, D.C,20577-USA,119p.
 - ❖ **Grant, G.E., Schmidt, J.C., Lewis, S.L.** “A geological framework for interpreting downstream effects of dams on rivers”. In: O'Connor, J.E., Grant, G.E. (Eds.), A Peculiar River - Water Science and Application, 7. American Geophysical Union, 2003, p.203–219.
 - ❖ **Jackson, D.C., Marmulla, G.** “The influence of dams on river fisheries, in: G. Marmulla (Ed.), Dams, Fish and Fisheries. Opportunities, challenges and conflict resolution” FAO, Fisheries Technical Paper 419, Rome, Italy, 2001, p1–44.
 - ❖ **Junk,W.J.** “ The central Amazon floodplain: ecology of a pulsing system” Springer, Berlin, Ecological Studies, 126, 1997.
 - ❖ **Kummu M., Varis O.**” Sediment-related impacts due to upstream reservoir trapping, the Lower Mekong River “, Geomorphology 85, 2007, p 275–293
 - ❖ L.G.L.,Etude sedimentologique du reservoir de peligre,1981,p.11,12
 - ❖ **Magalligan F.J. et Nislow K.H. (2005)**. Changes in hydrologic regime by dams. Geomorphology, 71:61-78.
 - ❖ **MAGNY E., 1991**. Ressources Naturelles et environnement : une nouvelle approche. Port-au-Prince, Deschamps, 252 p.

- ❖ **McCartney, M. (2009).** Living with dams: managing the environmental impacts. *WaterPolicy*, vol. 11, n°1, p. 121-139.
- ❖ **McClintock N. 2004.** Regenerative agriculture for Haiti's Central Plateau - A sustainable foundation for food and nutrition security, Zanmi Lasante Paris.
- ❖ **MDE-Ministère de l'Environnement, (2001).** Première communication nationale sur les changements climatiques. Gouvernement d'Haïti/ Coopération Technique GEF/UNEP No GF/2200-97-16/97-49.94 p.
- ❖ **MDE-Ministère de l'Environnement, (2001).** Première communication nationale sur les changements climatiques. Gouvernement d'Haïti/ Coopération Technique GEF/UNEP No GF/2200-97-16/97-49.94 p.
- ❖ **MDE-Ministère de l'Environnement, (2001).** Première communication nationale sur les changements climatiques. Gouvernement d'Haïti/ Coopération Technique GEF/UNEP No GF/2200-97-16/97-49.94 p.
- ❖ **MONTAS R. (2005).** La pauvreté en Haïti : situation, causes et politiques de sortie. CEPALC,Santiago, Chile, 55p.
- ❖ **ODVA, 2013** Organisation pour le Développement de la Vallée de l'Artibonite. 2014. 87 p.
- ❖ **OEA 187. Haïti.** Mission d'assistance technique intégrée. Organisation des États Américains, Washington, D.C., 656 p.
- ❖ **OXFAM Quebec et CRC SOGEMA 9(2006).** Projet binational de réhabilitation du bassin versant du fleuve Artibonite, dans la zone frontalière entre Haïti et la république dominicaine, Projet no 4456/A-031937, Rapport de l'étude diagnostic, Québec, 245p.
- ❖ **Paskett, C.J. et C. Philoctete 1990.** Soil conservation in Haïti. *J. Soil and Water Conservation*, 35:457-459.
- ❖ **PDNA, (2008).** Rapport d'évaluation des besoins après désastres. Cyclones Fay, Gustay,Hanna et IKE PDNA, 2008. Rapport d'évaluation des besoins après désastres. Cyclones Fay,Gustay, Hanna et IKE
- ❖ **PIERVIL FN. (1999).** Analyse des impacts techniques et socioéconomiques des travaux de défenses de restauration des sols. Etude de cas : Treuil-Beaumont-

- Danti (Dept de L'Artibonite). Mémoire d'Ingénieur –Agronome, UEH FAMV. Damien, Haïti, 51p.
- ❖ **PNUD (2005)**. Fiches d'informations sur les chantiers de développement en Haïti, Port-au-Prince, 35p.
 - ❖ **Power M.D. (1998)**. Patterns and processes of sediment sirtling in gravel-bed rivers. *Progress in Physical Geography*, 22 (1):1-32.
 - ❖ **PREPETIT, C. & BOISSON, D. (1992)**. Inventaire des ressources minières de la république d'Haïti (Département de l'Artibonite). Port-au-Prince, Haïti : Bureau des Mines et de l'Énergie /Direction de la géologie et des Mines, 52 pages.
 - ❖ **Resources management: Lessons from Nigeria. *GeoJournal***, vol. 61, p. 151-154.
 - ❖ **Roose E. (1994)**. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols(GCES), Rome, 458p.
 - ❖ **Rouissat. B. (2010)**, Cours de barrage, 4ème année génie civil, département de génie civil , Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen.**SANOUE K., 2008**, *Communalisation et gestion des ressources en eau à l'échelle du Bassin de Nayarlé*, mémoire de maîtrise de géographie, Université de Ouagadougou, 117p.
 - ❖ **Schleiss A.J. et Pougatsch H. (2011) :Les barrages: Du projet à la mise en service**. PPUR Presses polytechniques, volume 17 de *Traité de génie civil de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne*. 714 p
 - ❖ **Schleiss. A. J. & Pougatsch. H (2011)**, Les barrages, du projet à la mise en service, Presses polytechniques et universitaire romandes, lausanne, Vol 17.
 - ❖ **SHENG T.C. (1993)**. Guide pratique d'aménagement des bassins versants. Etude et planification FAO, Rome, 181p.
 - ❖ **Uluocha, N. O. et Okeke, I. C. (2004)**. Implications of wetlands dégradation for water
 - ❖ **ULYSSE.B. (2008)**. Contribution à l'élaboration d'un plan d'aménagement du Bassin versant de la Rivière Coupe à l'inde (4^{ème}, 3^{ème} section communale de Dessalines). Mémoire d'Ingénieur- Agronome, UEH/FAMV, Damien, Haïti, 49p.

8 ANNEXES

Annexe 1 : Fiche d'enquête1



RÉPUBLIQUE D'HAÏTI
UNIVERSITÉ D'ÉTAT D'HAÏTI
(UEH)

FACULTÉ D'AGRONOMIE ET DE MÉDECINE VÉTÉRINAIRE
(FAMV)

Fonctionnement actuel de la Centrale hydroélectrique de Péligre

1. Quel est le niveau du lac ?
 - a) En saison sèche :m
 - b) En saison pluvieuse :m
2. Existe-t-il une courbe de capacité de date récente (Volume en fonction de la cote du barrage) ?
3. Existe-t-il une courbe de tarage en amont/aval de l'usine ?
 OUI Non
Si non, comment fait-on pour savoir quand il faut évacuer ?
4. Quels sont les règles d'utilisation des pertuis de fond et des passes de l'évacuateur principal ?
 Rep. :
5. Peut-on ouvrir les pertuis de fond lorsque les vannes de surface sont ouvertes à 100% ou partiellement ?
 Rep. :
6. Doit-on ouvrir d'abord les vannes de fond jusqu'à 100% avant d'ouvrir l'évacuateur principal ?
 Rep. :
7. Connait-on le débit de fuite actuelle par les pertuis de fond, ou connait-on le pourcentage d'ouverture de la vanne de fond qui cause la fuite ?
 Rep. :

8. En 2018, est-on encore capable d'évacuer par les pertuis de fond ?

Rep. :

Le cas échéant, a-t-on déjà établi le niveau d'ensablement des pertuis de fond, c.-à-d. quel est le niveau des vases par-dessus l'entrée de ces pertuis ?

Rep. :

9. Les 3 vannes évacuatrices et les 4 vannes des pertuis de fond sont-elles télécommandées ?

Rep. :

10. Est-ce les données d'ouvertures de ces vannes sont prises en charges par le SCADA (Système de Contrôle et d'Acquisition des Données) ?

Rep. :

11. Combien de groupes fonctionnent actuellement ?

Rep. groupe (s)

12. Caractéristiques des groupes :

a) Rendement turbine en fonction du débit et des chutes (ou colline)

Rep. :

b) Rendement alternateur

Rep. :

c) Diamètre intérieur et longueur des conduites forcées

Rep. :

d) Débit minimum (limité par la cavitation et/ou par les vibrations) et débit maximum des groupes

Rep. :

13. Quel est le temps de transfert d'eau appliqué par EDH pour véhiculer l'eau entre les barrages de Péligre et de Canneau ?

14. Y a-t-il un débit minimum d'irrigation à respecter mois par mois ?

15. Y a-t-il un débit maximum contre les inondations à respecter mois par mois ?

16. Quelles sont les contraintes connues au niveau du barrage ?

17. Quelle est la production maximale de cette centrale ?

18. Cette production est-elle souvent atteinte ?

19. Quelles sont les principales contraintes de fonctionnement optimal de la centrale ?
20. Quels sont les travaux de réhabilitation effectués à Péligre de 2008 à 2018 ?
21. Quels sont les résultats obtenus par rapport à ces réhabilitations ? (si la réponse de la question précédente est oui)
22. Si le système est en panne, comment on fait pour résoudre le problème ?
23. Quelles sont les principales pannes rencontrées à Péligre ?
24. Est qu'il y a une équipe de maintenance sur le site ?
25. Quelle évolution a-t-on à Péligre de 2008 à 2018 ?
26. Quelles les stratégies développées pour corriger les problèmes se trouvant en amont du Barrage de Péligre ?

Annexe 2 : Enquête réalisée dans les sous-bassins alimentant le Barrage-Réservoir-Péligre

Nom de l'enquêté.....

Date de l'enquête.....

Département.....

Commune.....

A. Présentation de l'exploitation.

A.1. Présentation du chef de l'exploitation

Nom et prénom	Age	Sexe	Niveau d'étude	Activité agricole	Activité non agricole

1. Etes-vous originaire de la zone ? oui ou non
2. Si oui, depuis quand ?.....
3. Combien a débuté votre exploitation ?.....
4. Combien y a-t-il de résidents dans votre exploitation ?.....
5. Combien y a-t-il de membres dans votre famille vivant hors de l'exploitation agricole?.....
6. Quelle est la principale raison de la migration de ces personnes ?.....
7. Faites-vous de l'artisanat ? oui ou non

Si oui, quel type ?

8. Avez-vous un savoir-faire particulier ?

A.2 Avez-vous un savoir un savoir-faire particulier ?

Tableau présentant la description de la maison d'habitation

	Nature	Etat actuel
Toits		
Murs		
Dimension		

B. Description du milieu socio-économique

B1.-.Activites des habitants de la zone

	Agriculture	pêche	Elevage	Commerce	Artisanat
Type					
Degré d'importance					
Observations					

1. Quelle ONG effectuant des interventions dans la zone ?
2. Dans quels domaines interviennent-elles ?
3. a) agriculture b) sante c) environnement d) autre.....
Remarques.....
4. y a-t-il des organisations ou associations dans la zone ? oui ou non
si oui , lesquelles.....
5. Avez-vous accès à crédit ?
a) Oui b) non
6. Est-ce qu'il vous arrive souvent de vendre un animal, la terre ou un jardin
pour répondre à vos besoins ?
7. Comment faites-vous pour écouler vos produits ?
8. Combien y a-t-il de marches dans la zone et citez les ?
9. Quelle religion est plus pratiquée dans la zone ?
10. Quelle est votre religion ?
11. Y a-t-il des établissements scolaires dans la zone ? oui ou non
12. Y a-t-il des professionnels dans la zone ? oui ou non
13. Y a-t-il des centres de santé dans la zone ?

C. Description du milieu biophysique

C1.- Ressources en eau

	Fleuve	rivière	Source	puits	étangs	Canaux d'irrigation
Nom						
Distance par rapport à la maison d'habitation						
Utilisation						

C2.-Ressource en sol

Type de sol	nature	Couleur pi	Texture	Structure	Profondeur	Piérosité

C3.-Climat

1.-Puviometrie

Mois sec	Mois pluvieux

2.-Temperature

Mois chaud	Mois froid

C4.-Végétation

Type de végétation	Végétation dominante

Remarques.....

C5.- Environnement

1. Quels sont les facteurs limitant la production ?
 - a) Sol pierreux b) humidité c) inondation d) ravine e) autres
2. Le type de végétation sur la parcelle ?
 - a) Arbustive b) Herbacée c) Pérenne
3. Quel type d'aménagement pratiqué sur la parcelle et pourquoi ?
4. L'unité agroécologique de la zone ?
5. Selon vous quelle est la principale cause de la dégradation des bassins versants ?
 - a) Déforestation b) Mauvaises pratiques culturales c) Climat défavorable d) Pentas
 - e) Type de plantes cultivées
6. Cette dégradation comment a-t-elle évolué dans le temps ?
 - a) Elle s'améliore b) elle s'aggrave
7. Selon vous, quelles sont les conséquences de la dégradation des sous bassins versants ?
8. Lors des fortes averses, les eaux transportées par les rivières sont-elles chargées de sédiments ?
 - a) Oui b) non
9. Selon vous quelle est la principale cause de la coupe des essences ?
 - a) Charbon de bois b) Bois de feu c) Bois d'œuvre d) étais
10. D'après vous, que faire pour combattre la dégradation des sous bassins versants ?
11. Est-ce qu'il y a des arbres forestiers sur vos parcelles ?
 - a) Oui b) Non
12. Si oui, quelles sont leurs utilisations ?
 - a) Protection b) Vente c) Charbon d) Construction e) autres
13. Chaque combien de temps on coupe les arbres ?
 - a) Souvent b) Rarement c) Régulier

D. Système de culture

1. Quelles sont les cultures généralement pratiquées dans la zone ?
2. Quelles sont les cultures de rentes ?
3. Quel type d'association généralement réalisé dans la zone et pourquoi ?
4. Quel type de rotation généralement réalisé dans la zone et pourquoi ?

5. Calendrier cultural

Cultures	Semis						Récolte					
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D

6. Ces calendriers sont-ils respectés annuellement ? oui ou non

7. N'y a-t-il pas des périodes où le calendrier cultural est modifié ?

8. En cas de sécheresse, quelle alternative ?

9. Combien de saisons réalisées sur les parcelles ?

10. Quels sont les outils et équipements agricoles utilisés pour la réalisation des activités agricoles ?

11. Quel moyen utilisé pour renouveler la fertilité de la parcelle ?

a) Jachère b) Engrais chimique C) Engrais vert

12. Aimeriez-vous augmenter la taille de votre exploitation ? si oui, pourquoi ?

13. La superficie de votre exploitation diminue ou augmente ?

14. Quelle est la superficie de votre exploitation ?

15. Modes de tenure des terres

	FVD			FVD		
	Achat	Héritage	Indivision	Fermage	Métayage	Autre
Sup(CX)						

16. L'agriculture est-elle pour vous le seul moyen de gagner un revenu ? En cas où il y a d'autre activité, préciser les ?

17. Est-elle plus rentable par rapport à l'agriculture ?

18. Production Agricole

Cultures	Superficie	Production	Prix de l'unité a

	cultivée	cultivée	la récolte

Remarques.....

.....

.....

19. Emprunts effectués

Origine	Somme	date	durée	remboursement

- Dans quelle période de l'année ces emprunts sont fréquents ?

a)semis b) soudure c) récolte d) autre

- Quelle est la stratégie de remboursement ?

a)ventes de récoltes b) revenus extra agricole

20. Main d'œuvre

- Quel est le mode d'association de travail prédominant dans la zone ?

a) Corvée b) Escouade c) bout kod d) ramponeau e) autre

E. Système d'élevage

1.- pratiquez-vous l'élevage ?

2.- Quelle est la taille de votre cheptel ?

Espce	Sexe	Age	Prtix d'achat	Valeur actuelle	Tems sur L'EA

Remarques.....

3.-Techniques d'élevage

Espèces	Libre		Pâturage		A la corde		Abreuvement	
	Saison	Zone	Saison	Zone	Saison	Zone	Saison	Zone

Remarques.....

4.- est ce qu'il n'existe pas d'autres techniques d'élevage dans la zone ? Si oui, citez-les.

5. -Achetez-vous habituellement de l'aliment pour les bétails ? Si oui, pour quelle espèce ?

6.- Quelles sont les maladies qui frappent souvent vos bétails ?

Espèces	Nature	Maladie

6.- y va-t-il des agents vétérinaires qui fournissent des soins au bétail ?

Annexe 3 : liste des tableaux présentant les données du Barrage hydroélectrique de Péligre

AECOM		AECOM TECHNOLOGY CORPORATION							AECOM							
Étude et gestion de la sédimentation du réservoir de Péligre																
Année 2016																
CENTRALE HYDRO-ÉLECTRIQUE DE PÉLIGRE																
FICHE DE CONTRÔLE DE L'EXPLOITATION DU BARRAGE																
Date	Heure	Élévation	Retenue Millions	Variation Millions	Ouverture Vanne de				Période Sec.	Débit Vanne de chasse	Débit turbinés			Spillway	Débit total	Apport
					1	2	3	4			1	2	3			
	7h	m	m ³	m ³					\$6400	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	
1/1/2016		158.03	68.40	-2.60	0	0	0	0		0.00	28.67	16.26	0.00	0.00	44.93	14.84
1/2/2016		157.66	64.44	-3.96	0	0	0	0		0.00	17.83	13.33	0.00	0.00	31.22	-13.57
1/3/2016		157.40	62.10	-2.34	0	0	0	0		0.00	7.48	28.83	0.00	0.00	36.30	3.22
1/4/2016		157.20	60.30	-1.80	0	0	0	0		0.00	6.32	8.54	0.00	0.00	14.86	-5.97
1/5/2016		157.17	60.03	-0.27	0	0	0	0		0.00	15.06	0.00	0.00	0.00	15.06	11.93
1/6/2016		157.18	60.12	0.09	0	0	0	0		0.00	13.82	0.00	0.00	0.00	13.82	14.86
1/7/2016		157.16	59.94	-0.18	0	0	0	0		0.00	16.54	0.00	0.00	0.00	16.54	14.46
1/8/2016		157.05	58.95	-0.99	0	0	0	0		0.00	17.56	0.00	0.00	0.00	17.56	6.10
1/9/2016		156.97	58.26	-0.69	0	0	0	0		0.00	17.16	0.00	0.00	0.00	17.16	3.75
1/10/2016		156.90	57.70	-0.56	0	0	0	0		0.00	16.33	0.00	0.00	0.00	16.33	3.84
1/11/2016		156.88	58.26	0.56	0	0	0	0		0.00	14.44	0.00	0.00	0.00	14.44	12.59
1/12/2016		156.87	57.46	-0.80	0	0	0	0		0.00	16.54	0.00	0.00	0.00	16.54	15.61
1/13/2016		156.80	56.90	-0.56	0	0	0	0		0.00	14.55	0.00	0.00	0.00	14.55	8.07
1/14/2016		156.81	56.98	0.08	0	0	0	0		0.00	13.25	0.00	0.00	0.00	13.25	14.18
1/15/2016		156.79	56.82	-0.16	0	0	0	0		0.00	15.86	0.00	0.00	0.00	15.86	14.00
1/16/2016		156.73	56.34	-0.48	0	0	0	0		0.00	17.22	0.00	0.00	0.00	17.22	11.67
1/17/2016		156.69	56.02	-0.32	0	0	0	0		0.00	17.08	0.00	0.00	0.00	17.08	13.38
1/18/2016		156.63	55.54	-0.48	0	0	0	0		0.00	17.92	0.00	0.00	0.00	17.92	12.37
1/19/2016		156.49	54.42	-1.12	0	0	0	0		0.00	15.26	0.00	0.00	0.00	15.26	2.30
1/20/2016		156.42	53.86	-0.56	0	0	0	0		0.00	17.95	0.00	0.00	0.00	17.95	11.47
1/21/2016		156.33	53.14	-0.72	0	0	0	0		0.00	15.70	0.00	0.00	0.00	15.70	7.37
1/22/2016		156.26	52.58	-0.56	0	0	0	0		0.00	14.21	0.00	0.00	0.00	14.21	7.73
1/23/2016		156.2	52.10	-0.48	0	0	0	0		0.00	16.15	0.00	0.00	0.00	16.15	10.59
1/24/2016		156.09	51.22	-0.88	0	0	0	0		0.00	18.16	0.00	0.00	0.00	18.16	7.97
1/25/2016		156.02	50.66	-0.56	0	0	0	0		0.00	16.17	0.00	0.00	0.00	16.17	3.69
1/26/2016		155.91	48.97	-1.69	0	0	0	0		0.00	14.74	0.00	0.00	0.00	14.74	5.82
1/27/2016		155.84	49.38	0.41	0	0	0	0		0.00	17.33	0.00	0.00	0.00	17.33	11.66
1/28/2016		155.70	48.40	-0.98	0	0	0	0		0.00	17.52	0.00	0.00	0.00	17.52	6.17
1/29/2016		155.61	47.77	-0.63	0	0	0	0		0.00	14.97	0.00	0.00	0.00	14.97	7.68
1/30/2016		155.53	47.21	-0.56	0	0	0	0		0.00	11.64	0.00	0.00	0.00	11.64	5.16
1/31/2016		155.5	47.00	-0.21	0	0	0	0		0.00	16.42	0.00	0.00	0.00	16.42	13.99

2/1/2016	155.43			0	0	0	0	0.00	14.82	0.00	0.00	0.00	14.82	9.15
2/2/2016	155.36	46.51	-0.49	0	0	0	0	0.00	15.24	0.00	0.00	0.00	15.24	9.57
2/3/2016	155.24	46.02	-0.49	0	0	0	0	0.00	14.17	0.00	0.00	0.00	14.17	4.44
2/4/2016	155.30	45.18	-0.34	0	0	0	0	0.00	5.02	0.00	0.00	0.00	5.02	9.88
2/5/2016	155.36	45.60	0.42	0	0	0	0	0.00	4.71	0.00	0.00	0.00	4.71	9.57
2/6/2016	155.39	46.02	0.42	0	0	0	0	0.00	12.22	0.00	0.00	0.00	12.22	14.65
2/7/2016	155.36	46.23	0.21	0	0	0	0	0.00	4.71	0.00	0.00	0.00	4.71	2.28
2/8/2016	155.41	46.02	-0.21	0	0	0	0	0.00	7.96	0.00	0.00	0.00	7.96	12.02
2/9/2016	155.41	46.37	0.35	0	0	0	0	0.00	8.96	0.00	0.00	0.00	8.96	8.96
2/10/2016	155.42	46.37	0.00	0	0	0	0	0.00	6.61	0.00	0.00	0.00	6.61	7.42
2/11/2016	155.49	46.44	0.07	0	0	0	0	0.00	4.87	0.00	0.00	0.00	4.87	10.54
2/12/2016	155.56	46.93	0.49	0	0	0	0	0.00	4.41	0.00	0.00	0.00	4.41	10.08
2/13/2016	155.83	47.42	0.49	0	0	0	0	0.00	8.41	0.00	0.00	0.00	8.41	30.29
2/14/2016	156.10	49.31	1.89	0	0	0	0	0.00	10.74	0.00	0.00	0.00	10.74	35.74
2/15/2016	156.24	51.30	1.99	0	0	0	0	0.00	15.83	0.00	0.00	0.00	15.83	28.80
2/16/2016	156.56	52.42	1.12	0	0	0	0	0.00	15.73	0.00	0.00	0.00	15.73	45.36
2/17/2016	156.78	54.98	2.56	0	0	0	0	0.00	14.35	0.00	0.00	0.00	14.35	34.72
2/18/2016	156.94	56.74	1.76	0	0	0	0	0.00	11.08	0.00	0.00	0.00	11.08	25.90
2/19/2016	157.07	58.02	1.28	0	0	0	0	0.00	16.51	0.00	0.00	0.00	16.51	30.05
2/20/2016	157.37	59.13	1.11	0	0	0	0	0.00	16.64	0.00	0.00	0.00	16.64	47.89
2/21/2016	158.52	61.83	2.70	0	0	0	0	0.00	34.00	0.00	0.00	0.00	34.00	167.10
2/22/2016	158.72	72.70	10.87	0	0	0	0	0.00	18.93	0.00	0.00	0.00	18.93	42.08
2/23/2016	158.88	74.70	2.00	0	0	0	0	0.00	19.82	0.00	0.00	0.00	19.82	38.33
2/24/2016	158.99	76.30	1.60	0	0	0	0	0.00	18.04	0.00	0.00	0.00	18.04	30.77
2/25/2016	159.07	77.40	1.10	0	0	0	0	0.00	16.06	0.00	0.00	0.00	16.06	25.32
2/26/2016	159.13	78.20	0.80	0	0	0	0	0.00	17.74	0.00	0.00	0.00	17.74	24.68
2/27/2016	159.22	78.80	0.60	0	0	0	0	0.00	22.72	0.00	0.00	0.00	22.72	33.14
2/28/2016	159.23	79.70	0.90	0	0	0	0	0.00	33.43	0.00	0.00	0.00	33.43	34.59
2/29/2016	159.10	79.80	0.10	0	0	0	0	0.00	18.08	0.00	0.00	0.00	18.08	3.03
3/1/2016	160.05	88.00	9.50	0	0	0	0	0.00	16.69	0.00	0.00	0.00	16.69	126.64
3/2/2016	160.58	93.30	5.30	0	0	0	0	0.00	17.50	0.00	0.00	0.00	17.50	78.84
3/3/2016	160.86	96.10	2.80	0	0	0	0	0.00	15.73	0.00	0.00	0.00	15.73	48.13
3/4/2016	161.09	98.58	2.48	0	0	0	0	0.00	14.88	0.00	0.00	0.00	14.88	46.82
3/5/2016	161.22	100.14	1.56	0	0	0	0	0.00	22.21	0.00	0.00	0.00	22.21	40.27
3/6/2016	161.30	101.10	0.96	0	0	0	0	0.00	27.87	0.00	0.00	0.00	27.87	38.98
3/7/2016	161.30	101.10	0.00	0	0	0	0	0.00	11.84	0.00	0.00	0.00	11.84	11.84
3/8/2016	161.45	102.90	1.80	0	0	0	0	0.00	17.21	0.00	0.00	0.00	17.21	38.04
3/9/2016	161.56	104.22	1.32	0	0	0	0	0.00	17.49	0.00	0.00	0.00	17.49	32.77
3/10/2016	161.73	106.26	2.04	0	0	0	0	0.00	16.66	0.00	0.00	0.00	16.66	40.27
3/11/2016	161.83	107.46	1.20	0	0	0	0	0.00	16.41	0.00	0.00	0.00	16.41	30.30
3/12/2016	161.89	108.18	0.72	0	0	0	0	0.00	23.54	0.00	0.00	0.00	23.54	31.87
3/13/2016	161.85	107.70	-0.48	0	0	0	0	0.00	31.16	0.00	0.00	0.00	31.16	25.61
3/14/2016	161.72	106.14	-1.56	0	0	0	0	0.00	17.75	0.00	0.00	0.00	17.75	-0.31
3/15/2016	161.75	106.50	0.36	0	0	0	0	0.00	18.71	0.00	0.00	0.00	18.71	22.88
3/16/2016	161.79	106.98	0.48	0	0	0	0	0.00	17.15	0.00	0.00	0.00	17.15	22.71
3/17/2016	161.89	108.18	1.20	0	0	0	0	0.00	16.48	0.00	0.00	0.00	16.48	30.37
3/18/2016	161.94	108.78	0.60	0	0	0	0	0.00	17.98	0.00	0.00	0.00	17.98	24.93
3/19/2016	161.98	109.26	0.48	0	0	0	0	0.00	25.71	0.00	0.00	0.00	25.71	31.27
3/20/2016	161.88	108.06	-1.20	0	0	0	0	0.00	33.03	0.00	0.00	0.00	33.03	19.14
3/21/2016	161.72	106.14	-1.92	0	0	0	0	0.00	17.52	0.00	0.00	0.00	17.52	-4.70
3/22/2016	161.70	105.90	-0.24	0	0	0	0	0.00	17.87	0.00	0.00	0.00	17.87	15.10
3/23/2016	161.68	105.66	-0.24	0	0	0	0	0.00	20.26	0.00	0.00	0.00	20.26	17.48
3/24/2016	161.62	104.94	-0.72	0	0	0	0	0.00	25.42	0.00	0.00	0.00	25.42	17.09
3/25/2016	161.55	104.10	-0.84	0	0	0	0	0.00	32.44	0.00	0.00	0.00	32.44	22.72
3/26/2016	161.35	101.70	-2.40	0	0	0	0	0.00	24.37	0.00	0.00	0.00	24.37	-3.41
3/27/2016	161.24	100.38	-1.32	0	0	0	0	0.00	34.33	0.00	0.00	0.00	34.33	19.05
3/28/2016	161.06	98.22	-2.16	0	0	0	0	0.00	17.99	0.00	0.00	0.00	17.99	-7.01
3/29/2016	161.03	97.86	-0.36	0	0	0	0	0.00	16.20	0.00	0.00	0.00	16.20	12.03
3/30/2016	161.00	97.50	-0.36	0	0	0	0	0.00	15.88	0.00	0.00	0.00	15.88	11.72
3/31/2016	160.96	97.10	-0.40	0	0	0	0	0.00	18.79	0.00	0.00	0.00	18.79	14.16

8/1/2016	166.43	177.24	0.54	0	2.2	2.2	0	14.89	0.00	0.00	24.65	0.00	24.65	45.79
8/2/2016	166.44	177.42	0.18	0	2.2	2.2	0	50.00	0.00	0.00	37.14	0.00	37.14	89.22
8/3/2016	166.29	174.72	-2.70	0	2.2	2.2	0	17.50	0.00	0.00	35.47	0.00	35.47	21.42
8/4/2016	166.40	176.70	1.98	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	33.26	0.00	33.26	56.18
8/5/2016	166.54	179.22	2.52	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	21.54	0.00	21.54	50.71
8/6/2016	166.89	185.52	6.30	0	6.6	6.6	0	109.06	0.00	0.00	27.38	0.00	27.38	209.35
8/7/2016	166.50	178.50	-7.02	0	6.6	6.6	0	52.25	0.00	0.00	46.36	0.00	46.36	17.96
8/8/2016	166.60	180.30	1.80	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	45.95	0.00	45.95	66.18
8/9/2016	166.65	181.20	0.90	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	34.23	0.00	34.23	44.65
8/10/2016	166.79	183.72	2.52	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	33.56	0.00	33.56	68.73
8/11/2016	166.87	185.16	1.44	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	45.10	0.00	45.10	61.76
8/12/2016	166.91	185.88	0.72	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	47.43	0.00	47.43	55.77
8/13/2016	166.92	186.06	0.18	0	4.4	4.4	0	51.46	0.00	0.00	47.47	0.00	47.47	101.01
8/14/2016	166.68	181.74	-4.32	0	4.4	4.4	0	100.00	0.00	0.00	33.34	0.00	33.34	89.31
8/15/2016	166.59	180.12	-1.62	0	4.4	4.4	0	100.00	0.00	0.00	48.82	0.00	48.82	129.27
8/16/2016	166.49	178.32	-1.80	0	4.4	4.4	0	100.00	0.00	0.00	23.95	0.00	23.95	108.52
8/17/2016	166.24	173.82	-4.50	0	4.4	4.4	0	78.95	0.00	0.00	46.35	0.00	46.35	73.82
8/18/2016	166.00	169.50	-4.32	0	2.2	2.2	0	46.35	0.00	0.00	46.33	0.00	46.33	43.34
8/19/2016	165.98	169.14	-0.36	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	44.33	0.00	44.33	40.82
8/20/2016	166.03	170.04	0.90	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	46.37	0.00	46.37	57.38
8/21/2016	166.12	171.66	1.62	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	47.44	0.00	47.44	65.76
8/22/2016	166.12	171.66	0.00	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	46.33	0.00	46.33	46.99
8/23/2016	166.13	171.84	0.18	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	47.43	0.00	47.43	49.18
8/24/2016	166.10	171.30	-0.54	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	39.19	0.00	39.19	32.94
8/25/2016	166.11	171.48	0.18	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	36.42	0.00	36.42	38.50
8/26/2016	166.19	172.92	1.44	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	35.88	0.00	35.88	52.46
8/27/2016	166.44	177.42	4.50	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	47.47	0.00	47.47	99.26
8/28/2016	166.98	187.14	9.72	0	4.5	4.5	0	66.67	0.00	0.00	32.33	0.00	32.33	212.16
8/29/2016	167.15	190.10	2.96	4.5	4.5	4.5	4.5	136.45	0.00	0.00	31.37	0.00	31.37	211.71
8/30/2016	166.95	186.60	-3.50	6.6	6.6	6.6	6.6	233.23	0.00	0.00	31.44	0.00	31.44	211.07
8/31/2016	166.33	175.44	-11.16	6.6	6.6	6.6	6.6	250.00	0.00	0.00	31.33	0.00	31.33	453.87
9/1/2016	165.65	163.20	-12.24	0	4.4	4.4	0	100.00	0.00	0.00	35.96	0.00	35.96	-5.71
9/2/2016	165.34	157.62	-5.58	0	4.4	4.4	0	100.00	0.00	0.00	48.28	0.00	48.28	82.79
9/3/2016	164.82	148.80	-8.82	0	4.4	4.4	0	50.00	0.00	0.00	48.28	0.00	48.28	8.10
9/4/2016	164.83	148.95	0.15	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	45.93	0.00	45.93	47.67
9/5/2016	165.06	152.58	3.63	0	2.5	2.5	0	27.08	0.00	0.00	49.17	0.00	49.17	124.16
9/6/2016	164.85	149.25	-3.33	0	2.5	2.5	0	50.00	0.00	0.00	48.29	0.00	48.29	61.83
9/7/2016	164.52	144.30	-4.95	0	2.5	2.5	0	50.00	0.00	0.00	43.83	0.00	43.83	36.54
9/8/2016	164.75	147.75	3.45	0	2.5	2.5	0	50.00	0.00	0.00	39.13	0.00	39.13	129.06
9/9/2016	165.66	163.38	-15.63	4.4	6.6	6.6	4.4	127.50	0.00	0.00	39.19	0.00	39.19	366.27
9/10/2016	165.08	152.94	-10.44	4.4	6.6	6.6	4.4	250.00	0.00	0.00	38.63	0.00	38.63	167.79
9/11/2016	164.75	147.75	-5.19	4.4	6.6	6.6	4.4	250.00	0.00	0.00	42.80	0.00	42.80	235.51
9/12/2016	164.73	147.45	-0.30	4.4	6.6	6.6	4.4	250.00	0.00	0.00	41.64	0.00	41.64	288.17
9/13/2016	164.65	146.25	-1.20	4.4	6.6	6.6	4.4	250.00	0.00	0.00	44.78	0.00	44.78	280.89
9/14/2016	163.68	131.70	-14.55	4.4	6.6	6.6	4.4	168.75	0.00	0.00	24.23	0.00	24.23	24.58
9/15/2016	163.77	133.05	1.35	0	4.4	4.4	0	70.83	0.00	0.00	47.74	0.00	47.74	134.20
9/16/2016	164.74	147.60	14.55	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	45.40	0.00	45.40	213.81
9/17/2016	165.33	158.34	10.74	0	2.4	2.4	0	20.83	0.00	0.00	45.49	0.00	45.49	199.66
9/18/2016	165.56	161.58	3.24	0	2.4	2.4	0	50.00	0.00	0.00	33.29	0.00	33.29	120.79
9/19/2016	165.61	162.48	0.90	0	2.4	2.4	0	50.00	0.00	0.00	22.00	0.00	22.00	82.41
9/20/2016	165.89	167.52	5.04	0	2.4	2.4	0	50.00	0.00	0.00	18.70	0.00	18.70	127.03
9/21/2016	166.51	178.68	11.16	0	2.4	2.4	0	50.00	0.00	0.00	42.20	0.00	42.20	221.37
9/22/2016	166.60	180.30	1.62	0	6.6	6.6	0	108.33	0.00	0.00	41.90	0.00	41.90	168.98
9/23/2016	166.33	175.44	-4.86	0	6.6	6.6	0	150.00	0.00	0.00	42.71	0.00	42.71	136.46
9/24/2016	166.20	173.10	-2.34	0	6.6	6.6	0	150.00	0.00	0.00	43.07	0.00	43.07	165.99
9/25/2016	165.88	167.34	-5.76	0	6.6	6.6	0	150.00	0.00	0.00	43.28	0.00	43.28	126.61
9/26/2016	165.61	162.48	-4.86	0	6.6	6.6	0	150.00	0.00	0.00	23.29	0.00	23.29	117.04
9/27/2016	165.48	160.14	-2.34	0	6.6	6.6	0	150.00	0.00	0.00	43.60	0.00	43.60	166.52
9/28/2016	165.43	159.24	-0.90	0	6.6	6.6	0	150.00	0.00	0.00	43.99	0.00	43.99	183.57
9/29/2016	165.03	152.04	-7.20	0	6.6	6.6	0	87.50	0.00	0.00	44.01	0.00	44.01	48.18
9/30/2016	165.17	154.56	2.52	0	2.4	2.4	0	50.00	0.00	0.00	41.84	0.00	41.84	121.01
10/1/2016	165.12	153.66	-0.90	0	4.4	4.4	0	77.08	0.00	0.00	38.20	0.00	38.20	104.87
10/2/2016	165.17	154.56	0.90	0	4.4	4.4	0	100.00	0.00	0.00	43.73	0.00	43.73	154.15
10/3/2016	165.00	151.50	-3.06	0	4.4	4.4	0	100.00	0.00	0.00	36.12	0.00	36.12	100.71
10/4/2016	164.62	145.80	-5.70	0	4.4	4.4	0	100.00	0.00	0.00	33.97	0.00	33.97	68.00
10/5/2016	164.24	140.10	-5.70	0	4.4	4.4	0	100.00	0.00	0.00	29.50	0.00	29.50	63.53
10/6/2016	164.32	141.30	1.20	0	4.4	4.4	0	100.00	0.00	0.00	46.66	0.00	46.66	160.55
10/7/2016	164.16	138.90	-2.40	0	4.4	4.4	0	50.00	0.00	0.00	44.84	0.00	44.84	67.06
10/8/2016	164.46	143.40	4.50	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	44.36	0.00	44.36	96.44
10/9/2016	165.10	153.30	9.90	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	43.54	0.00	43.54	176.87
10/10/2016	165.40	158.70	5.40	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	43.95	0.00	43.95	106.45
10/11/2016	165.59	162.12	3.42	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	43.05	0.00	43.05	82.63
10/12/2016	165.82	166.26	4.14	0	2.4	2.4	0	12.50	0.00	0.00	45.42	0.00	45.42	105.83
10/13/2016	166.19	172.92	6.66	0	2.4	2.4	0	50.00	0.00	0.00	27.24	0.00	27.24	194.32
10/14/2016	166.85	184.80	11.88	0	6.6	6.6	0	95.83	0.00	0.00	47.18	0.00	47.18	280.51
10/15/2016	166.94	186.42	1.62	0	6.6	6.6	0	150.00	0.00	0.00	45.92	0.00	45.92	214.67
10/16/2016	166.72	182.46	-3.96	0	6.6	6.6	0	150.00	0.00	0.00	36.85	0.00	36.85	141.02
10/17/2016	166.58	179.94	-2.52	0	6.6	6.6	0	150.00	0.00	0.00	47.23	0.00	47.23	168.06
10/18/2016	166.68	181.74	1.80	0	6.6	6.6	0	150.00	0.00	0.00	45.08	0.00	45.08	215.92
10/19/2016	166.87	185.16	3.42	0	6.6	6.6	0	150.00	0.00	0.00	47.58	0.00	47.58	237.16
10/20/2016	166.72	182.46	-2.70	0	6.6	6.6	0	150.00	0.00	0.00	47.36	0.00	47.36	166.10
10/21/2016	166.51	178.68	-3.78	0	6.6	6.6	0	150.00	0.00	0.00	46.91	0.00	46.91	153.16
10/22/2016	166.08	175.26	-3.42	0	6.6	6.6	0	150.00	0.00	0.00	46.24	0.00	46.24	106.66
10/23/2016	165.57	161.76	-13.50	0	6.6	6.6	0	150.00	0.00	0.00	46.87	0.00	46.87	90.62
10/24/2016	165.30	156.90	-4.86	0	6.6	6.6	0	150.00	0.00	0.00	46.93	0.00	46.93	140.68
1														

11/1/2016		165.97	168.96	12.06	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	46.96	0.00	46.96	186.54
11/2/2016		166.46	177.78	8.82	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	46.97	0.00	46.97	149.05
11/3/2016		166.82	184.26	6.48	0	4.4	4.4	0		58.33	0.00	0.00	43.53	0.00	43.53	176.85
11/4/2016		166.67	181.56	-2.70	0	4.4	4.4	0		100.00	0.00	0.00	47.51	0.00	47.51	116.26
11/5/2016		166.40	176.70	-4.86	0	4.4	4.4	0		100.00	0.00	0.00	46.76	0.00	46.76	90.51
11/6/2016		166.27	174.36	-2.34	0	4.4	4.4	0		100.00	0.00	0.00	44.85	0.00	44.85	117.77
11/7/2016		166.20	173.10	-1.26	0	4.4	4.4	0		100.00	0.00	0.00	44.30	0.00	44.30	129.71
11/8/2016		166.00	169.50	-3.60	0	4.4	4.4	0		100.00	0.00	0.00	42.77	0.00	42.77	101.10
11/9/2016		166.06	170.58	1.08	0	4.4	4.4	0		100.00	0.00	0.00	40.85	0.00	40.85	153.35
11/10/2016		165.99	169.32	-1.26	0	4.4	4.4	0		100.00	0.00	0.00	42.71	0.00	42.71	128.13
11/11/2016		165.77	165.36	-3.96	0	4.4	4.4	0		100.00	0.00	0.00	46.31	0.00	46.31	100.47
11/12/2016		165.63	162.84	-2.52	0	4.4	4.4	0		100.00	0.00	0.00	46.11	0.00	46.11	116.94
11/13/2016		165.59	162.12	-0.72	0	4.4	4.4	0		100.00	0.00	0.00	44.16	0.00	44.16	135.83
11/14/2016		165.32	157.26	-4.86	0	4.4	4.4	0		100.00	0.00	0.00	46.85	0.00	46.85	90.60
11/15/2016		165.26	156.18	-1.08	0	4.4	4.4	0		85.42	0.00	0.00	47.21	0.00	47.21	120.13
11/16/2016		165.37	158.16	1.98	0	2.4	2.4	0		50.00	0.00	0.00	47.64	0.00	47.64	120.56
11/17/2016		165.57	161.76	3.60	0	2.4	2.4	0		50.00	0.00	0.00	47.68	0.00	47.68	139.34
11/18/2016		165.70	164.10	2.34	0	2.4	2.4	0		50.00	0.00	0.00	45.63	0.00	45.63	122.71
11/19/2016		165.96	168.78	4.68	0	6.6	6.6	0		104.17	0.00	0.00	46.15	0.00	46.15	204.49
11/20/2016		166.05	170.40	1.62	0	6.6	6.6	0		150.00	0.00	0.00	45.52	0.00	45.52	214.27
11/21/2016		166.02	169.86	-0.54	0	6.6	6.6	0		150.00	0.00	0.00	45.79	0.00	45.79	189.54
11/22/2016		165.60	162.30	-7.56	0	6.6	6.6	0		150.00	0.00	0.00	45.43	0.00	45.43	107.93
11/23/2016		164.98	151.20	-11.10	0	6.6	6.6	0		83.33	0.00	0.00	47.97	0.00	47.97	23.66
11/24/2016		164.85	149.25	-1.95	0	2.4	2.4	0		33.33	0.00	0.00	46.33	0.00	46.33	57.09
11/25/2016		165.00	151.50	2.25	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	46.63	0.00	46.63	77.88
11/26/2016		165.50	160.50	9.00	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	46.59	0.00	46.59	150.76
11/27/2016		165.83	166.44	5.94	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	47.41	0.00	47.41	116.16
11/28/2016		166.05	170.40	3.96	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	45.56	0.00	45.56	91.39
11/29/2016		166.21	173.28	2.88	0	2.4	2.4	0		18.75	0.00	0.00	33.14	0.00	33.14	85.22
11/30/2016		166.23	173.64	0.36	0	2.4	2.4	0		50.00	0.00	0.00	42.99	0.00	42.99	97.16
12/1/2016		166.06	170.58	-3.06	0	2.4	2.4	0		50.00	0.00	0.00	39.63	0.00	39.63	54.22
12/2/2016		165.85	166.80	-3.78	0	2.4	2.4	0		43.75	0.00	0.00	45.02	0.00	45.02	45.02
12/3/2016		165.75	165.00	-1.80	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	45.49	0.00	45.49	24.65
12/4/2016		165.86	166.98	1.98	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	43.60	0.00	43.60	66.51
12/5/2016		165.96	168.78	1.80	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	39.34	0.00	39.34	60.18
12/6/2016		166.11	171.48	2.70	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	33.67	0.00	33.67	64.92
12/7/2016		166.17	172.56	1.08	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	43.03	0.00	43.03	55.52
12/8/2016		166.21	173.28	0.72	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	43.03	0.00	43.03	51.36
12/9/2016		166.25	174.00	0.72	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	45.14	0.00	45.14	53.48
12/10/2016		166.26	174.18	0.18	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	43.00	0.00	43.00	45.09
12/11/2016		166.24	173.82	-0.36	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	44.11	0.00	44.11	39.94
12/12/2016		166.23	173.64	-0.18	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	46.99	0.00	46.99	44.91
12/13/2016		166.35	175.80	2.16	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	41.13	0.00	41.13	66.13
12/14/2016		166.39	176.52	0.72	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	46.99	0.00	46.99	55.33
12/15/2016		166.37	176.16	-0.36	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	47.04	0.00	47.04	42.88
12/16/2016		166.33	175.44	-0.72	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	46.94	0.00	46.94	38.61
12/17/2016		166.31	175.08	-0.36	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	29.39	0.00	29.39	25.22
12/18/2016		166.31	175.08	0.00	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	43.08	0.00	43.08	43.08
12/19/2016		166.30	174.90	-0.18	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	43.07	0.00	43.07	40.99
12/20/2016		166.27	174.36	-0.54	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	43.02	0.00	43.02	36.77
12/21/2016		166.23	173.64	-0.72	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	43.07	0.00	43.07	34.74
12/22/2016		166.20	173.10	-0.54	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	43.13	0.00	43.13	36.88
12/23/2016		166.15	172.20	-0.90	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	43.11	0.00	43.11	32.70
12/24/2016		166.11	171.48	-0.72	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	39.44	0.00	39.44	31.10
12/25/2016		166.06	170.58	-0.90	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	46.56	0.00	46.56	36.14
12/26/2016		165.96	168.78	-1.80	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	42.50	0.00	42.50	21.67
12/27/2016		165.88	167.34	-1.44	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	42.56	0.00	42.56	25.89
12/28/2016		165.79	165.72	-1.62	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	46.24	0.00	46.24	27.49
12/29/2016		165.67	163.56	-2.16	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	45.95	0.00	45.95	20.95
12/30/2016		165.54	161.22	-2.34	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	46.41	0.00	46.41	19.32
12/31/2016		165.42	159.06	-2.16	0	0	0	0		0.00	0.00	0.00	46.80	0.00	46.80	21.88

AECOM		AECOM TECHNOLOGY CORPORATION		AECOM	
FICHE DE CONTRÔLE DU NIVEAU DES LIMNIMÈTRES					
Rivière Gayamouc					
Année 2014					
Date	Heure de lecture				
	Lecture en mètre				
	6:00	12:00	18:00		
1/1/2014	0.18	0.21	0.17		
1/2/2014	0.15	0.19	0.15		
1/3/2014	0.13	0.17	0.14		
1/4/2014	0.12	0.16	0.15		
1/5/2014	0.11	0.25	0.13		
1/6/2014	0.1	0.23	0.12		
1/7/2014	0.9	0.18	0.11		
1/8/2014	0.8	0.15	0.1		
1/9/2014	0.7	0.14	0.14		
1/10/2014	0.6	0.12	0.13		
1/11/2014	0.5	0.1	0.12		
1/12/2014	0.4	0.9	0.11		
1/13/2014	0.18	0.8	0.7		
1/14/2014	0.22	0.41	0.6		
1/15/2014	0.25	0.39	0.8		
1/16/2014	0.27	0.37	0.9		
1/17/2014	0.29	0.51	0.1		
1/18/2014	0.31	0.54	0.35		
1/19/2014	0.33	0.56	0.34		
1/20/2014	0.41	0.52	0.31		
1/21/2014	0.91	0.49	0.29		
1/22/2014	0.22	0.45	0.27		
1/23/2014	0.19	0.44	0.24		
1/24/2014	0.35	0.42	0.22		
1/25/2014	0.43	0.39	0.21		
1/26/2014	0.41	0.38	0.19		
1/27/2014	0.38	0.36	0.17		
1/28/2014	0.36	0.34	0.16		
1/29/2014	0.34	0.31	0.28		
1/30/2014	0.26	0.24	0.21		
1/31/2014	0.19	0.17	0.15		

2/1/2014	0.25	0.22	0.19
2/2/2014	0.22	0.23	0.18
2/3/2014	0.24	0.19	0.16
2/4/2014	0.19	0.17	0.14
2/5/2014	0.17	0.24	0.23
2/6/2014	0.41	0.21	0.21
2/7/2014	0.32	0.28	0.25
2/8/2014	0.29	0.26	0.23
2/9/2014	0.27	0.24	0.22
2/10/2014	0.26	0.22	0.19
2/11/2014	0.24	0.31	0.17
2/12/2014	0.41	0.33	0.35
2/13/2014	0.41	0.49	0.32
2/14/2014	0.35	0.45	0.29
2/15/2014	0.29	0.44	0.27
2/16/2014	0.27	0.38	0.25
2/17/2014	0.25	0.35	0.64
2/18/2014	0.23	0.32	0.61
2/19/2014	0.57	0.47	0.66
2/20/2014	0.55	0.45	0.67
2/21/2014	0.48	0.44	0.58
2/22/2014	0.47	0.35	0.55
2/23/2014	0.45	0.46	0.53
2/24/2014	0.43	0.34	0.52
2/25/2014	0.37	0.38	0.49
2/26/2014	0.34	0.55	0.45
2/27/2014	0.31	0.52	0.43
2/28/2014	0.28	0.49	0.41
3/1/2014	0.47	0.41	0.31
3/2/2014	0.44	0.39	0.32
3/3/2014	0.35	0.38	0.29
3/4/2014	0.33	0.37	0.28
3/5/2014	0.31	0.36	0.27
3/6/2014	0.29	0.37	0.26
3/7/2014	0.27	0.36	0.25
3/8/2014	0.26	0.35	0.29
3/9/2014	0.25	0.34	0.23
3/10/2014	0.24	0.33	0.22
3/11/2014	0.19	0.32	0.21
3/12/2014	0.18	0.25	0.19
3/13/2014	0.17	0.31	0.18
3/14/2014	0.16	0.34	0.17
3/15/2014	0.15	0.29	0.16
3/16/2014	0.14	0.28	0.15
3/17/2014	0.31	0.27	0.14
3/18/2014	0.29	0.26	0.13
3/19/2014	0.28	0.25	0.22
3/20/2014	0.27	0.24	0.21
3/21/2014	0.26	0.23	0.21
3/22/2014	0.25	0.22	0.19
3/23/2014	0.24	0.31	0.18
3/24/2014	0.23	0.18	0.17
3/25/2014	0.19	0.17	0.41
3/26/2014	0.18	0.16	0.13
3/27/2014	0.17	0.15	0.22
3/28/2014	0.16	0.14	0.21
3/29/2014	0.15	0.13	0.18
3/30/2014	0.14	0.22	0.17
3/31/2014	0.17	0.19	0.16

4/1/2014	0.73	0.97	0.99
4/2/2014	0.76	0.95	0.97
4/3/2014	0.74	0.85	0.89
4/4/2014	0.72	0.86	0.84
4/5/2014	0.69	0.87	0.81
4/6/2014	0.67	0.88	0.79
4/7/2014	0.65	0.84	0.75
4/8/2014	0.62	0.83	0.73
4/9/2014	0.61	0.74	0.71
4/10/2014	0.56	0.85	0.68
4/11/2014	0.57	0.78	0.65
4/12/2014	0.49	1.59	0.65
4/13/2014	0.47	1.47	0.45
4/14/2014	1.25	1.38	1.39
4/15/2014	1.28	1.35	1.29
4/16/2014	1.25	1.27	1.23
4/17/2014	1.22	1.24	1.2
4/18/2014	1.19	1.22	1.21
4/19/2014	1.16	1.41	1.22
4/20/2014	1.23	1.45	1.24
4/21/2014	1.24	1.56	1.56
4/22/2014	1.88	1.54	1.79
4/23/2014	1.78	1.35	1.62
4/24/2014	1.56	1.35	1.42
4/25/2014	1.39	1.36	1.31
4/26/2014	1.28	1.37	1.2
4/27/2014	1.35	1.25	1.39
4/28/2014	1.41	1.22	1.29
4/29/2014	1.25	1.23	1.22
4/30/2014	1.18	1.24	1.46
5/1/2014	1.56	1.54	1.44
5/2/2014	1.42	1.51	1.41
5/3/2014	1.39	1.41	1.39
5/4/2014	1.28	1.39	1.37
5/5/2014	1.27	1.27	1.25
5/6/2014	1.22	1.35	1.34
5/7/2014	1.18	1.32	1.32
5/8/2014	1.25	1.28	1.28
5/9/2014	1.45	1.26	1.24
5/10/2014	1.26	1.24	1.23
5/11/2014	1.31	1.21	1.41
5/12/2014	1.19	1.29	1.44
5/13/2014	1.46	1.34	1.64
5/14/2014	1.26	1.32	1.62
5/15/2014	1.32	1.49	1.56
5/16/2014	1.73	1.46	1.54
5/17/2014	1.56	1.57	1.51
5/18/2014	1.99	1.55	1.49
5/19/2014	1.46	1.64	1.47
5/20/2014	2.44	1.61	1.46
5/21/2014	3.22	1.99	1.47
5/22/2014	2.87	1.85	1.26
5/23/2014	1.78	1.74	1.37
5/24/2014	1.56	1.71	1.35
5/25/2014	1.38	1.65	1.32
5/26/2014	1.25	1.56	1.52
5/27/2014	1.21	1.49	1.64
5/28/2014	1.18	1.24	1.44
5/29/2014	1.14	1.51	1.41
5/30/2014	1.27	1.31	1.42
5/31/2014	2.99	1.44	1.44

6/1/2014	1.87	1.81	1.64
6/2/2014	1.58	1.52	1.49
6/3/2014	1.64	1.61	1.53
6/4/2014	1.44	1.42	1.41
6/5/2014	1.38	1.35	1.31
6/6/2014	1.34	1.33	1.28
6/7/2014	1.28	1.25	1.21
6/8/2014	1.25	1.22	1.14
6/9/2014	1.28	1.16	1.21
6/10/2014	1.18	1.24	1.19
6/11/2014	1.27	1.19	1.17
6/12/2014	1.22	1.24	1.22
6/13/2014	1.29	1.17	1.15
6/14/2014	1.19	1.22	1.19
6/15/2014	1.26	1.16	1.14
6/16/2014	1.18	1.23	1.21
6/17/2014	1.25	1.18	1.14
6/18/2014	1.22	1.25	1.22
6/19/2014	1.28	1.22	1.19
6/20/2014	1.18	1.17	1.14
6/21/2014	0.97	0.19	0.31
6/22/2014	0.71	0.41	0.51
6/23/2014	0.79	0.31	0.61
6/24/2014	0.87	0.28	0.41
6/25/2014	1.22	0.19	0.31
6/26/2014	1.25	0.41	0.41
6/27/2014	1.29	0.42	0.42
6/28/2014	0.79	0.47	0.64
6/29/2014	0.99	0.46	0.54
6/30/2014	"	"	"
7/1/2014	1.18	0.14	0.13
7/2/2014	1.23	0.19	0.17
7/3/2014	1.28	0.22	0.18
7/4/2014	0.99	0.96	0.94
7/5/2014	0.78	0.74	0.69
7/6/2014	0.81	0.79	0.75
7/7/2014	0.47	0.45	0.44
7/8/2014	1.18	0.99	0.92
7/9/2014	0.74	0.71	0.69
7/10/2014	0.68	0.63	0.58
7/11/2014	0.61	0.59	0.49
7/12/2014	0.57	0.51	0.46
7/13/2014	0.78	0.72	0.65
7/14/2014	0.74	0.69	0.58
7/15/2014	0.63	0.58	0.47
7/16/2014	0.64	0.61	0.55
7/17/2014	0.61	0.54	0.49
7/18/2014	0.56	0.51	0.47
7/19/2014	0.49	0.44	0.38
7/20/2014	1.47	1.43	0.99
7/21/2014	1.38	0.99	0.84
7/22/2014	0.61	0.44	0.36
7/23/2014	0.64	0.58	0.47
7/24/2014	0.58	0.51	0.45
7/25/2014	0.49	0.44	0.35
7/26/2014	0.56	0.49	0.41
7/27/2014	1.22	0.19	0.14
7/28/2014	1.19	1.24	1.27
7/29/2014	0.56	0.51	0.48
7/30/2014	0.41	0.39	0.31
7/31/2014	1.99	1.87	1.76

8/1/2014	1.98	1.85	1.67
8/2/2014	1.56	1.48	1.35
8/3/2014	1.24	0.99	0.87
8/4/2014	0.96	0.81	0.76
8/5/2014	0.58	0.49	0.41
8/6/2014	0.88	0.81	0.71
8/7/2014	1.21	0.99	0.93
8/8/2014	0.83	0.78	0.71
8/9/2014	0.72	0.68	0.65
8/10/2014	1.45	1.41	1.37
8/11/2014	1.35	1.33	1.29
8/12/2014	1.18	1.16	1.14
8/13/2014	0.79	0.74	0.71
8/14/2014	0.76	0.72	0.96
8/15/2014	0.73	0.71	0.64
8/16/2014	0.68	0.65	0.63
8/17/2014	0.58	0.55	0.52
8/18/2014	0.49	0.47	0.44
8/19/2014	0.58	0.56	0.51
8/20/2014	0.51	0.49	0.45
8/21/2014	0.55	0.47	0.42
8/22/2014	0.68	0.65	0.61
8/23/2014	0.52	0.48	0.46
8/24/2014	0.58	0.54	0.62
8/25/2014	0.64	0.61	0.59
8/26/2014	0.88	0.79	0.74
8/27/2014	0.65	0.62	0.54
8/28/2014	0.61	0.58	0.65
8/29/2014	0.57	0.59	0.55
8/30/2014	0.83	0.73	0.68
8/31/2014	0.87	0.69	0.65
9/1/2014	0.98	0.86	0.81
9/2/2014	0.95	0.79	0.71
9/3/2014	0.46	0.44	0.41
9/4/2014	0.67	0.66	0.61
9/5/2014	0.49	0.47	0.45
9/6/2014	0.66	0.63	0.75
9/7/2014	0.47	0.85	0.79
9/8/2014	0.75	0.69	0.58
9/9/2014	0.99	0.98	0.96
9/10/2014	1.21	1.18	1.22
9/11/2014	1.58	1.53	1.62
9/12/2014	1.64	1.58	1.49
9/13/2014	0.99	1.64	1.58
9/14/2014	0.97	1.55	1.47
9/15/2014	0.95	0.96	0.92
9/16/2014	0.48	0.99	1.37
9/17/2014	2.23	1.21	1.16
9/18/2014	1.31	1.36	1.44
9/19/2014	1.21	1.18	0.99
9/20/2014	2.25	1.88	1.83
9/21/2014	1.45	1.39	1.34
9/22/2014	1.56	1.49	1.37
9/23/2014	1.36	1.65	1.79
9/24/2014	2.56	1.99	1.83
9/25/2014	1.73	1.65	1.79
9/26/2014	1.53	1.74	1.62
9/27/2014	1.87	1.88	1.75
9/28/2014	2.88	2.23	1.99
9/29/2014	2.99	2.54	1.83
9/30/2014	1.78	1.63	1.49

10/1/2014	1.52	1.48	1.31
10/2/2014	1.49	1.44	1.27
10/3/2014	1.64	1.59	1.41
10/4/2014	1.41	1.33	1.23
10/5/2014	1.38	0.88	1.41
10/6/2014	0.95	0.85	1.38
10/7/2014	0.88	0.79	1.19
10/8/2014	0.81	0.75	1.22
10/9/2014	0.78	0.69	1.31
10/10/2014	0.74	1.22	1.19
10/11/2014	1.25	1.19	1.16
10/12/2014	1.21	1.18	1.41
10/13/2014	0.99	1.55	1.34
10/14/2014	0.95	1.49	1.31
10/15/2014	0.91	1.87	1.44
10/16/2014	0.87	1.46	1.36
10/17/2014	0.79	1.53	1.27
10/18/2014	1.64	1.59	1.43
10/19/2014	1.56	1.47	1.36
10/20/2014	1.48	1.41	1.27
10/21/2014	1.35	1.32	0.99
10/22/2014	1.26	1.18	0.95
10/23/2014	0.99	1.57	0.84
10/24/2014	0.94	1.45	0.39
10/25/2014	0.79	1.34	0.47
10/26/2014	0.72	1.22	0.55
10/27/2014	..	..	..
10/28/2014	..	..	..
10/29/2014	..	..	..
10/30/2014	..	..	..
10/31/2014	..	..	..
11/1/2014	1.27	1.24	1.21
11/2/2014	0.99	0.97	0.94
11/3/2014	1.44	1.38	1.33
11/4/2014	1.66	1.61	1.55
11/5/2014	1.88	1.79	1.73
11/6/2014	1.49	1.44	1.39
11/7/2014	1.35	1.29	1.26
11/8/2014	0.99	0.97	0.94
11/9/2014	0.91	0.88	0.85
11/10/2014	0.81	0.79	0.77
11/11/2014	0.89	0.78	0.82
11/12/2014	1.44	2.21	1.98
11/13/2014	1.65	1.58	1.53
11/14/2014	1.38	1.33	1.29
11/15/2014	1.22	1.18	0.99
11/16/2014	1.23	1.55	1.45
11/17/2014	1.31	1.28	1.25
11/18/2014	1.18	0.99	0.96
11/19/2014	0.99	0.97	0.95
11/20/2014	0.93	0.91	0.89
11/21/2014	0.98	0.96	0.92
11/22/2014	1.17	1.13	0.99
11/23/2014	0.97	0.95	0.93
11/24/2014	0.98	0.96	0.91
11/25/2014	1.15	1.12	1.9
11/26/2014	0.99	0.98	0.97
11/27/2014	1.9	1.7	0.99
11/28/2014	0.97	0.94	0.91
11/29/2014	0.89	0.87	0.85
11/30/2014	0.94	0.91	0.88

12/1/2014	0.96	0.99	0.97
12/2/2014	1.7	1.9	1.6
12/3/2014	0.99	0.97	0.94
12/4/2014	0.96	0.99	0.97
12/5/2014	0.98	0.96	0.93
12/6/2014	0.91	0.89	0.87
12/7/2014	0.94	0.92	0.89
12/8/2014	0.96	0.98	0.97
12/9/2014	0.98	0.96	0.94
12/10/2014	0.92	0.89	0.86
12/11/2014	0.88	0.86	0.84
12/12/2014	0.87	0.85	0.82
12/13/2014	0.85	0.88	0.86
12/14/2014	0.94	0.91	0.79
12/15/2014	0.83	0.86	0.84
12/16/2014	0.76	0.78	0.67
12/17/2014	0.71	0.68	0.66
12/18/2014	0.77	0.75	0.73
12/19/2014	0.74	0.72	0.71
12/20/2014	0.65	0.63	0.62
12/21/2014	0.59	0.57	0.56
12/22/2014	0.56	0.55	0.53
12/23/2014	0.56	0.53	0.49
12/24/2014	0.51	0.48	0.45
12/25/2014	0.46	0.43	0.41
12/26/2014	0.44	0.41	0.39
12/27/2014	0.37	0.36	0.34
12/28/2014	0.32	0.31	0.29
12/29/2014	0.28	0.26	0.25
12/30/2014	0.27	0.24	0.22
12/31/2014	0.29	0.27	0.23

Annexe 4: Précipitation atmosphérique annuelle en millimètres et dixièmes pour la station Lascahobas.

ANNEE	PRECIPITATION LASCAHOBAS(mm)	ANNUELLE
1929	1646.6	
1930	1846.4	
1931	2424.6	
1932	2305.5	
1934	2157.7	
1935	2538.4	
1936	1773.9	
1937	2403.8	
1938	1695.3	
1939	1617.0	
1940	3186.0	
1941	2920.0	
1942	2026.0	
1943	2464.5	
1944	2575.0	

1945	2394.9
1946	2564.0
1947	1271.5
1948	2071.6
1943	2403.0
1950	2111.0
1951	1857.0
1952	1564.5
1953	1781.5
1954	1109.0
1955	2075.0
1956	2244.0
1957	2036.0
1958	1491.0
1959	1100.0
1960	1259.0
1961	1343.0
1962	1322
Moyenne	1987.233
Ecart-type	524.331

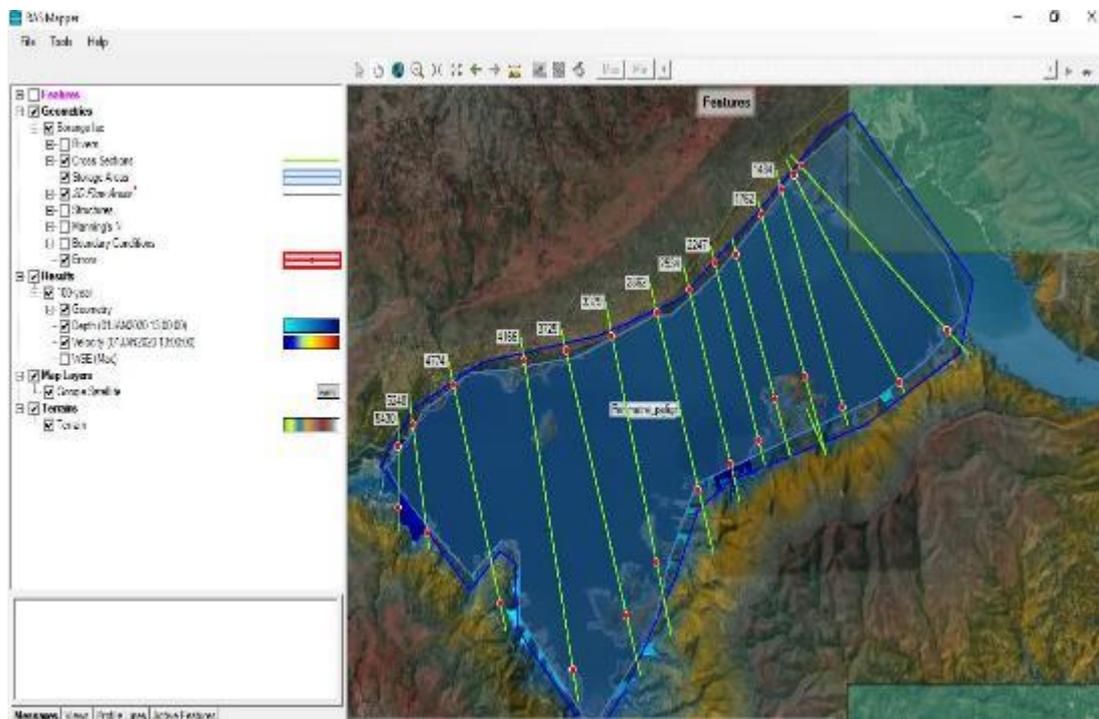
ANNEXE 5 : Précipitation atmosphérique annuelle en millimètres et dixièmes pour la station Hince

ANNEE	PRECIPITATION ANNUELLE HINCE (mm)
1912	1366.0
1913	955.6
1914	524.0
1921	578.0
1922	270.8
1923	1467.9
1924	1101.9
1925	1847.1
1926	1994.7
1927	1319.1

1928	1266.0
1929	1366.1
1930	1047.2
1931	1894.4
1932	1787.6
1933	1657.9
1934	1698.7
1935	1204.7
1936	2021.0
1937	1448.2
1938	1274.7
1939	1803.2
1940	2081.6
1941	1829.9
1942	1263.9
1943	2070
1944	885.3
1945	1157.6
1946	1488.0
1947	1205.9
1948	1305.8
1949	1285.5
1950	974.1
1951	1713.0
1952	1192.1
1953	1005.7
1954	1047.0
1955	1316.6
1956	1122.5
1957	1355.2
1958	649.5
1959	888.0
Moyenne	1337.695

Ecart-type	480.866
------------	---------

Annexe 5: Profil transversal du lac de Péligre



Annexe 6: Image présentant les trois turbines de la centrale hydroélectrique de Péligre



Annexe 7 : Structure en maçonnerie dans la ravine de Cange

