

Energie



APD ET ACT DE LA PCH WE PAALO

Etude hydrologique



Rapport n° : 15F-042-RL-2

Révision n° : E

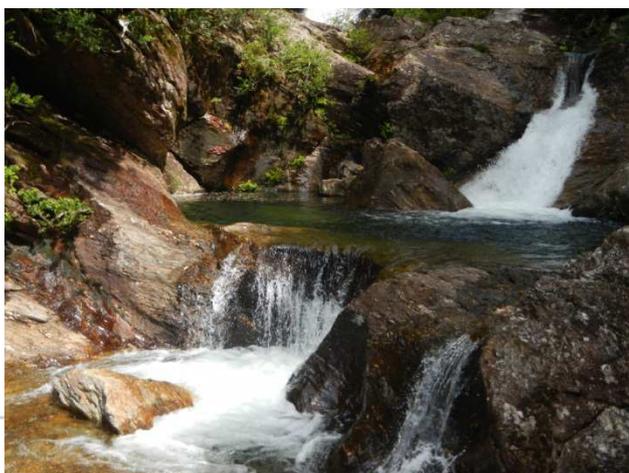
Date : 11/05/2017

Votre contact :

Chloé LESTREHAN

lestrehan@isl.fr

Rapport



ISL Ingénierie SAS - LYON
84 boulevard Marius Vivier Merle
Immeuble LE DISCOVER
69485 - Lyon cedex 03
FRANCE
Tel. : +33.4.27.11.85.00
Fax : +33.4.72.34.60.99
www.isl.fr

ISL
Ingénierie

Visa

Document verrouillé du 21/06/2016.

Révision	Date	Auteur	Chef de Projet	Superviseur	Commentaire
A	29/04/2016	BPE	BPE	LDO	
B	13/05/2016	BPE	BPE	LDO	Remarques ENERCAL remarques DAVAR
C	21/06/2016	BPE	BPE	LDO	Remarques DAVAR
D	09/11/2016	BPE	CLE	LDO	
E	11/05/2017	BPE	CLE	LDO	

BPE : PELTIE Benjamin

CLE : LESTREHAN Chloé

LDO : DEROO Luc

Rapport ISL
15F-042-RL-2
Revision E

<http://www.isl.fr/r.php?c=128710>



SOMMAIRE

1	INTRODUCTION	1
1.1	CONTEXTE DE L'ETUDE	1
1.2	OBJECTIF DE CE RAPPORT	1
1.3	PRESENTATION SOMMAIRE DU PROJET	1
2	PRESENTATION DU BASSIN VERSANT	3
2.1	GEOLOGIE ET CONTEXTE	3
2.2	TEMPS DE CONCENTRATION	3
2.3	HYDROMETRIE	4
2.3.1	HYDROMETRIE DU TERRITOIRE	4
2.3.2	HYDROMETRIE DE LA WE PAALO	8
2.3.2.1	Réseau de mesure existant	8
2.3.2.2	Equipement du bassin versant	8
2.4	PLUVIOMETRIE	8
2.4.1	PLUVIOMETRIE DU TERRITOIRE	8
2.4.2	PLUVIOMETRIE DE LA WE PAALO	9
2.4.2.1	Réseau de mesure existant	9
2.4.2.2	Equipement du bassin versant	11
2.4.3	ANALYSE PLUVIOMETRIQUE A L'ECHELLE DU TERRITOIRE SUR L'ANNEE 2015-2016	11
2.5	EVAPOTRANSPIRATION	20
2.5.1	BASSIN DE WE PAALO	20
2.5.2	DONNEES METEO FRANCE	20
2.5.3	COMPARAISON	21
3	METHODOLOGIE DE RECONSTITUTION D'UNE CHRONIQUE DE DEBIT HORAIRE SUR 2010-2015	22
3.1	PLUVIOMETRIE	22
3.2	HYDROMETRIE	22
3.3	MODELE HYDROLOGIQUE POUR CALCUL DU PRODUCTIBLE	22
4	ANALYSE PLUVIOMETRIQUE	23
4.1	MESURES PLUVIOMETRIQUES SUR LE BASSIN VERSANT	23

4.2	STATIONS EXISTANTES _____	27
4.3	CHRONIQUE HORAIRE RECONSTITUEE A GALARINO _____	32
5	ANALYSE HYDROMETRIQUE _____	33
5.1	JAUGEAGES _____	33
5.1.1	CAMPAGNES DAVAR 1981-1995 _____	33
5.1.2	CAMPAGNES ENERCAL 2015-2016 _____	35
5.1.2.1	Jaugeages aval _____	35
5.1.2.2	Jaugeages amont _____	38
5.2	RECONSTITUTION DE LA COURBE DE TARAGE _____	40
5.2.1	METHODE D'EXTRAPOLATION DE LA COURBE DE TARAGE _____	40
5.2.2	RELATION ENTRE LA SURFACE MOUILLEE ET LA HAUTEUR D'EAU _____	40
5.2.3	CALCUL DE LA RELATION VITESSE – HAUTEUR D'EAU, _____	44
5.2.4	EXTRAPOLATION DU DEBIT POUR LES HAUTEURS D'EAU JUSQU'A 800 L/S ENVIRON.	45
5.3	RECONSTITUTION DE LA CHRONIQUE DE DEBIT AU DROIT DE LA SECTION DE JAUGEAGE _____	47
5.4	RELATION ENTRE LES DEBITS AMONT ET AVAL _____	47
5.4.1	SUPERFICIE DES BASSINS VERSANTS _____	47
5.4.2	JAUGEAGES AMONT ET AVAL _____	47
6	MODELE HYDROLOGIQUE _____	50
6.1	PRESENTATION DU MODELE PLUIE DEBIT UTILISE _____	50
6.2	CALAGE DU MODELE SUR L'ANNEE 2015 _____	51
7	ANALYSE DES DEBITS D'ETIAGE _____	56
8	HYDROLOGIE DES CRUES _____	60
9	EFFET DE LA PRISE D'EAU SUR LES DEBITS DE LA RIVIERE _____	61
10	SYNTHESE _____	70
10.1	DEBITS CARACTERISTIQUES _____	70
10.2	DEBIT MAXIMAL DERIVE _____	70
10.3	DEBIT MINIMUM ET DEBITS RESTITUES DANS LE COURS D'EAU _____	71

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE 1 BIBLIOGRAPHIE

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Stations hydrométriques sur le territoire de la Nouvelle-Calédonie _____	5
Figure 2 : Définition du module selon la DAVAR [14] _____	5
Figure 3 : Plan des stations hydrométriques de référence DAVAR _____	6
Figure 4 : Pluviométrie sur le territoire de la Nouvelle-Calédonie _____	8
Figure 5 : postes pluviométriques à proximité de la We Paalo _____	9
Figure 6 : Pluviomètres amont (gauche) et aval (droite) (source EMR 2016) _____	11
Figure 7 : analyse pluviométrique à l'échelle du territoire pour 2015-2016 – synthèse _____	12
Figure 8 : Reconstitution de la chronique d'ETP par la méthode d'Oudin sur le bassin versant de We Paalo _____	20
Figure 9 : ETP Penman moyenne - Fiche climatologique Météo France à Poindimié _____	21
Figure 10 : comparaison des ETP Météofrance à Poindimié et calculé sur We Paalo en 2015 _____	21
Figure 11 : Extrait du programme d'équipement du bassin versant par EMR _____	23
Figure 12 : Pluviomètres amont, vue amont et aval (source : EMR) _____	24
Figure 13 : Pluviomètres aval, vue amont et aval (source : EMR) _____	24
Figure 14 : Pluviométrie sur les postes amont et aval sur la période de mesure _____	25
Figure 15 : comparaison des cumuls pluviométriques _____	26
Figure 16 : Cumul des stations pluviométriques amont et aval de We Paalo en 2015, sur les jours de fonctionnement communs aux 2 stations _____	26
Figure 17 : Pluie mensuelle moyenne des stations pluviométriques de Tao, Pagou et Galarino sur la période 2005-2015 _____	27
Figure 18 : Extrait du programme d'équipement du bassin versant _____	28
Figure 19 : Moyenne interannuelle des précipitations sur la période 1990-2009 (source DAVAR) _____	28
Figure 20 : Cumuls pluviométriques de la station de Mandjela _____	29
Figure 21 : Cumuls pluviométriques de la station de Galarino _____	30
Figure 22 : Comparaison des postes pluviométriques de Galarino, Paalo aval et Paalo amont _	31
Figure 23 : Comparaison des postes pluviométriques de Galarino, Paalo aval et Paalo amont – rupture en août 2015 _____	31
Figure 24 : Jaugeages à Kugac _____	33
Figure 25 : Jaugeages à We Paalo _____	34
Figure 26 : Jaugeages à Weina _____	34
Figure 27 : Jaugeages à Tiahot _____	35
Figure 28 : emplacement de la station de jaugeage _____	36

Figure 29 : station de jaugeage, vue amont et aval (source EMR)	36
Figure 30 : vue de la sonde de mesure (source EMR)	37
Figure 31 : Jaugeages aval à We Paalo, campagne 2015-2016	37
Figure 32 : Comparaison des jaugeages ENERCAL et DAVAR	38
Figure 33 : Jaugeages amont à We Paalo, campagne 2015-2016 (source EMR)	39
Figure 34 : Profil topographique de la section de jaugeage aval réalisé par EMR en février 2015	41
Figure 35 : Section de jaugeage aval – vue vers l’amont	41
Figure 36 : Profil en travers sous HEC-RAS	42
Figure 37 : Surface mouillée en fonction de la hauteur d’eau	43
Figure 38 : Périmètre mouillé en fonction de la hauteur d’eau	44
Figure 39 : Vitesse moyenne en fonction de la hauteur d’eau	45
Figure 40 : Extrapolation de la courbe de tarage	45
Figure 41 : Chronique de débits reconstitués à la station de jaugeage	47
Figure 42 : Comparaison des jaugeages à l’amont (bruts) et à l’aval (issus de la sonde limnimétrique)	49
Figure 43 : modèle pluie débit GR4	50
Figure 44 : cumuls observés et simulés par le modèle pluie débit GR4	51
Figure 45 : débits lissés sur 10 jours observés et simulés par le modèle pluie débit GR4	52
Figure 46 : donnée brute du capteur limnimétrique	53
Figure 47 : Chronique de débits reconstitués à la station de jaugeage	54
Figure 48 : volumes mensuels ruisselés pour les années 2010 à 2016 simulés par le modèle GR4	54
Figure 49 : ajustement statistique de débit caractéristique d’étiage sur 5 années	57
Figure 50 : variabilité du débit caractéristique d’étiage médian (Source : Caractérisation des régimes d’étiage en Nouvelle-Calédonie, 2008 DAVAR\SESER\ORE)	58
Figure 51 : Synthèse des ajustements de Gumbel pour la crue centennale sur l’ensemble des stations hydrométriques de la Nouvelle Calédonie, source DAVAR	60
Figure 52 : effet du turbinage à la prise - courbe des débits classés sur 2010-2016	61
Figure 53 : effet du turbinage à la prise - chronique de débit 2010-2016	62
Figure 54 : effet du turbinage à l’usine - courbe des débits classés sur 2010-2016	62
Figure 55 : effet du turbinage à l’usine – chronique de débit 2010-2016	63
Figure 56 : Débits moyens mensuels à la prise d’eau	71

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : implantation simplifiée du projet de centrale sur la We Paalo	2
---	---

Tableau 2 : Formules empiriques pour le calcul du temps de concentration.....	3
Tableau 3 : Caractéristiques du bassin versant de We Paalo	4
Tableau 4 : Temps de concentration du bassin versant de We Paalo selon différentes formules empiriques	4
Tableau 5 : Stations de référence (Recueil des débits caractéristiques de la Nouvelle-Calédonie, (DAVAR, 2009))	7
Tableau 6 : Stations pluviométriques DAVAR référencées en 2012 à proximité du bassin versant de Viâdyu.....	10
Tableau 7 : Stations pluviométriques Météo France référencées en 2014 à proximité du bassin versant de Viâdyu	10
Tableau 8 : Caractéristiques des pluviomètres.....	25
Tableau 9 : Nombre de données manquantes dans la chronique horaire de Galarino	32
Tableau 10 : Campagnes de jaugeages - données DAVAR.....	33
Tableau 11 : jaugeages amont effectués	40
Tableau 12 : Courbe de tarage - valeurs numériques	46
Tableau 13 : Comparaison des jaugeages amont et aval bruts.....	48
Tableau 14 : Comparaison des jaugeages amont (bruts) et aval (issus de la sonde limnimétrique)	48
Tableau 15 : Débits caractéristiques d'étiage.....	56
Tableau 16 : quantiles débit d'étiage de la We Paalo.....	57
Tableau 17 : débit caractéristique d'étiage de la We Paalo(Source : Caractérisation des régimes d'étiage en Nouvelle-Calédonie, 2008 DAVAR\SESER\ORE).....	58
Tableau 18 : effet d'une variation du débit réservé sur le productible	59
Tableau 19 : Détermination de la crue centennale	60
Tableau 20 : fonctionnement de la centrale hydroélectrique	61
Tableau 5 : Débits caractéristiques	70

1 INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE DE L'ETUDE

Le rapport présent étudie l'hydrologie du projet de la We Paalo, dans le cadre de son avant projet détaillé.

1.2 OBJECTIF DE CE RAPPORT

L'objet de ce rapport est de traiter les points suivants :

- Etude pluviométrique
- Etude hydrométrique
- Caractérisation des débits courants de la We Paalo
- Caractérisation des débits d'étiage de la We Paalo
- Caractérisation des débits de crue de la We Paalo
- Effet de la centrale sur les débits de la rivière

1.3 PRESENTATION SOMMAIRE DU PROJET

La carte suivante présente le projet de manière simplifiée avec l'implantation de la prise d'eau, de l'usine et de la conduite forcée, ainsi que des pluviomètres et stations de jaugeages implantés pour les besoins du projet.

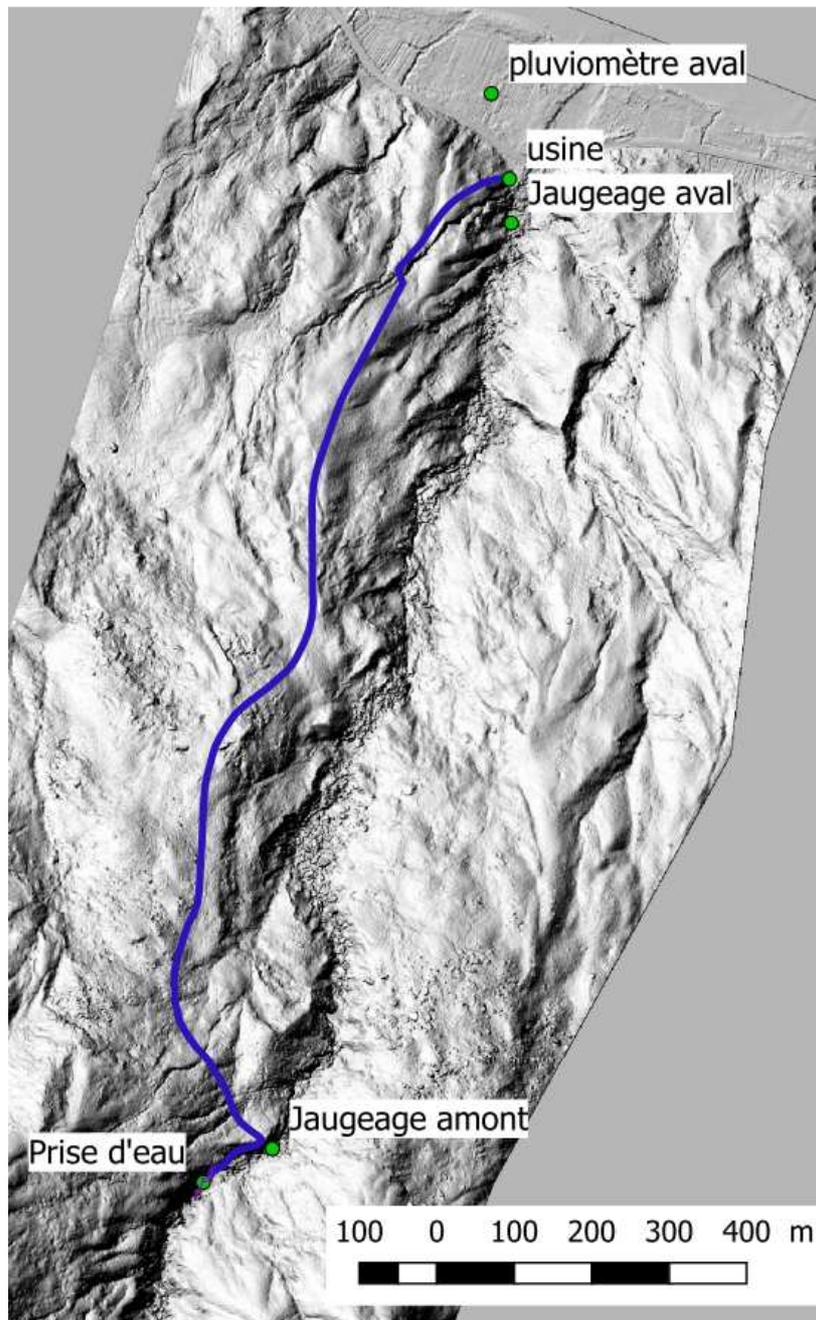


Tableau 1 : implantation simplifiée du projet de centrale sur la We Paolo

2 PRESENTATION DU BASSIN VERSANT

2.1 GEOLOGIE ET CONTEXTE

Compte-tenu de la géologie du bassin versant, il apparaît que le bassin versant est imperméable et non karstique. Le cours d'eau est donc uniquement alimenté par ruissellement. Les paramètres physico-chimiques de l'eau ont été enregistrés pendant 1 an durant la mission de suivi hydrologique du cours d'eau. Ces paramètres sont stabilisés. Les données physico-chimiques mesurées caractérisent une origine surfacique des eaux de la rivière, donc principalement alimentées par le ruissellement. La relation étroite entre le comportement du cours d'eau et la pluviométrie confirme cette hypothèse. (Source rapport EMR)

2.2 TEMPS DE CONCENTRATION

Le temps de concentration correspond au temps que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée "hydrologiquement" de l'exutoire pour parvenir à celui-ci.

Plusieurs formules empiriques existent pour estimer le temps de concentration :

Nom de la méthode	Formulation
Ventura	$T_c = \frac{7,62}{60} \cdot \sqrt{S/i}$
Kirpich	$T_c = 0,0195 \cdot \frac{L^{0,77}}{60} \cdot i^{-0,385}$
Johnstone et Cross	$T_c = \frac{5,66}{60} \cdot \sqrt{L/1000 \cdot i}$
Passini - Turraza	$T_c = 0,108 \frac{(SL)^{\frac{1}{3}}}{\sqrt{i}}$
Méthode SCS	$T_c = 0,023 \cdot \left(\frac{L}{1000}\right)^{0,8} \cdot \left(\frac{1000}{72,9} - 9\right)^{0,7} \cdot \frac{1}{\sqrt{i}}$
Méthode par estimation directe	$T_c = \frac{1}{3600} \cdot \left(\sum \frac{L_k}{1,4 \cdot i_k^{0,5}} + \sum \frac{L_k}{K \cdot i_k^{0,5} R_h^{\frac{2}{3}}} \right)$

Tableau 2 : Formules empiriques pour le calcul du temps de concentration

Avec T_c	temps de concentration, en h	S	surface, en km ²
L	chemin hydraulique, en m	K	Coefficient de Strickler m ^{1/3} /s
i	pente pondérée, en m/m	R_h	Rayon hydraulique en m

Le premier terme de la méthode par estimation directe correspond au temps de concentration pour les écoulements en nappe (versants par exemple) tandis que le second terme correspond au temps de concentration pour les écoulements concentrés de l'eau (cours d'eau par exemple).

Les caractéristiques du bassin versant au niveau du point de jaugeage du bassin de We Paalo sont les suivantes :

Surface	Cote max	Cote min	Longueur du chemin hydraulique	Pente moyenne	Pente pondérée
4,37 km ²	1512 m	5 m	4,58 km	0,329	0,36

Tableau 3 : Caractéristiques du bassin versant de We Paalo

Les résultats des différentes méthodes sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

Ventura	Kirpich	Johnstone et Cross	Turraza	SCS	estimation directe
27 min	19 min	20 min	27 min	23 min	35 min

Tableau 4 : Temps de concentration du bassin versant de We Paalo selon différentes formules empiriques

Les formules donnent des résultats similaires. Le temps de concentration est estimé à 25 minutes au droit de la section de jaugeage.

2.3 HYDROMETRIE

2.3.1 HYDROMETRIE DU TERRITOIRE

Ce chapitre présente de manière succincte les caractéristiques du réseau de mesure hydrométrique de la Nouvelle Calédonie.

La DAVAR (Direction des Affaires Vétérinaires, Alimentaires et Rurales) dispose d'un réseau de 40 stations de mesure de débits sur l'ensemble du territoire de la Nouvelle Calédonie.

La carte suivante montre la localisation des stations hydrométriques existantes :

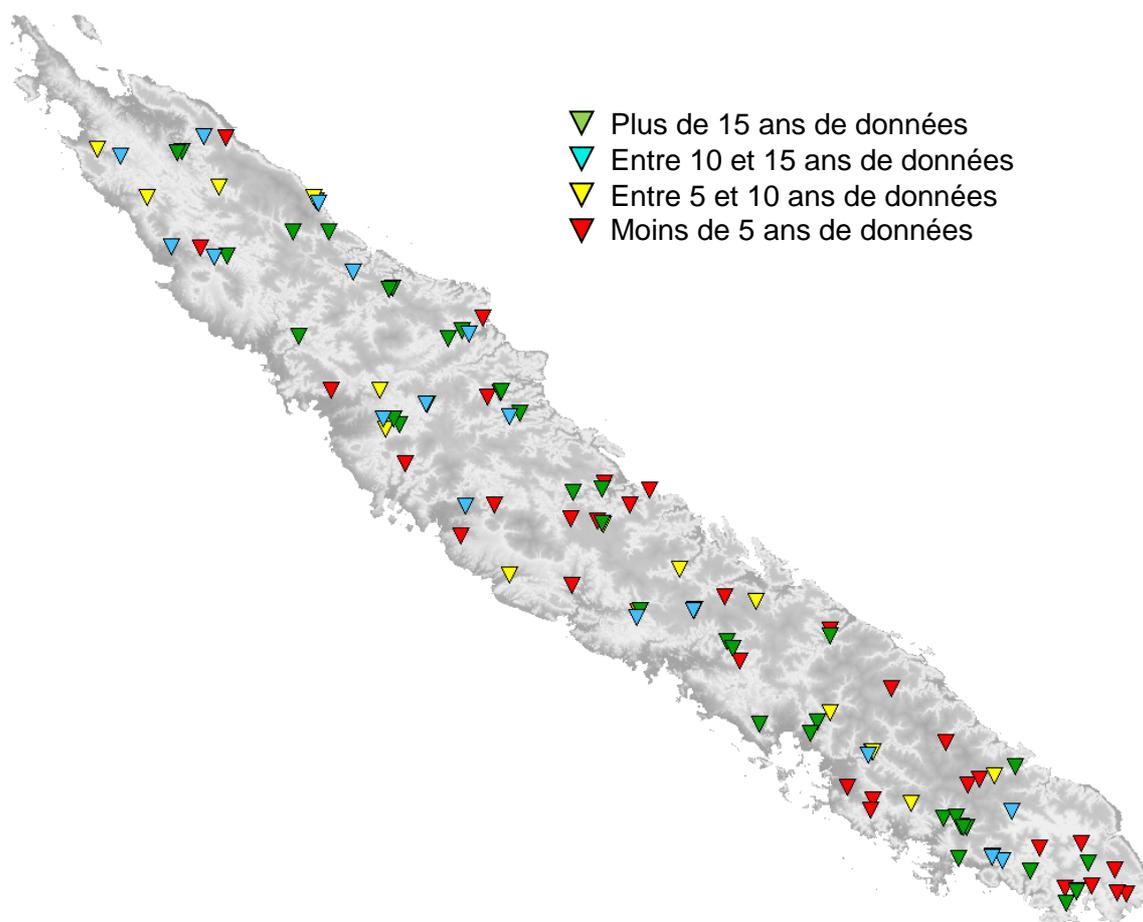


Figure 1 : Stations hydrométriques sur le territoire de la Nouvelle-Calédonie

Le régime hydrologique des cours d'eau de la Nouvelle Calédonie est caractérisé dans le document de référence édité par la DAVAR : Recueil des débits caractéristiques de la Nouvelle-Calédonie, (DAVAR, 2009). Ce rapport fournit pour les vingt-deux stations actuellement ouvertes et disposants de plus de 10 années de données ininterrompues :

- les caractéristiques de la station (localisation, durée des observations, etc.),
- la courbe de débits classés
- les débits moyens mensuels,
- les débits caractéristiques d'étiages et de crues,
- la courbe de tarissement,
- la pluviométrie,
- les caractéristiques physiques du bassin versant (altitudes, pentes, géologie, occupation des sols, etc.).

Nota : La DAVAR utilise le terme module pour désigner la médiane :

Le **module** est la moyenne annuelle des débits. Etant donnée la grande variabilité des débits journaliers et la forte influences des épisodes de crue sur les valeurs moyennes, cette grandeur est peu représentative de ce que l'on observe fréquemment dans les cours d'eau. Il est donc fortement conseillé de privilégier l'utilisation du débit médian pour caractériser les débits habituels des cours d'eau.

Figure 2 : Définition du module selon la DAVAR [14]

Le choix de prendre en compte la médiane au lieu du module paraît effectivement justifié.

Les bassins versants jaugés par les stations hydrométriques sont représentés sur la carte suivante :



Figure 3 : Plan des stations hydrométriques de référence DAVAR

Les stations de référence DAVAR sont réparties géographiquement sur tout le territoire de la Grande-Terre mais elles ne couvrent pas l'île dans son intégralité : aucune station sur les côtes ni sur les massifs montagneux fortement arrosés par les pluies.

Les caractéristiques hydrologiques des bassins versants non jaugés seront obtenues par transposition des caractéristiques de bassins versants jaugés voisins, corrigés si besoin par l'altitude, les précipitations ou l'évapotranspiration.

Le tableau suivant liste les stations de référence :

	Numéro	Code station	Surface du BV	Altitude	Période d'ouverture
Rivières des lacs	1	5705501001	77 km ²	240 m	1956-2013
Rivière bleue	2	5707200501	33 km ²	1 m	1974-2013
Rivière des pirogues	3	5704400110	104 km ²	5 m	1971-2013
La coulée	4	5700300107	45 km ²	7 m	1991-2013
Dumbea est	5	5700500101	57 km ²	100 m	1963-2013
Dumbea nord	6	5700500201	32 km ²	80 m	1963-2013
Couvelée	7	5700500301	40 km ²	30 m	1967-2013
Tontouta	8	5705200103	385 km ²	33 m	1954-2013
Ouenghi	9	5703300103	212 km ²	0 m	1954-2013
La foa	10	5701600202	116 km ²	19 m	1980-2013
Boghen	11	5702600110	113 km ²	31 m	1955-2013
Papainda	12	5703906501	9 km ²	50 m	1980-2013
Boutana	13	5703900103	181 km ²	28 m	1955-2013
Fatenaoue	14	5704700301	111 km ²	30 m	1955-2013
Diahot	15	5700400101	248 km ²	3 m	1955-2013
Ouaieme	16	5703100101	325 km ²	10 m	1959-2013
Tipindje	17	5705000102	252 km ²	7 m	1955-2013
Tiwaka	18	5705100105	261 km ²	8 m	1955-2013
Tchamba	19	5704600105	72 km ²	8 m	1955-2013
Nimbaye	20	5702900101	283 km ²	3 m	1972-2013
Houailou	21	5700800102	266 km ²	14 m	1954-2013
Thio	22	5704800101	345 km ²	15 m	1981 -2013

Tableau 5 : Stations de référence (Recueil des débits caractéristiques de la Nouvelle-Calédonie, (DAVAR, 2009))

Le territoire a fait également l'objet de nombreuses campagnes de jaugeages ponctuels sur des cours d'eau non équipés.

2.3.2 HYDROMETRIE DE LA WE PAALO

2.3.2.1 Réseau de mesure existant

Le cours d'eau de la We Paalo ne dispose pas de station hydrométrique de mesure de la DAVAR. Le cours d'eau a cependant fait l'objet de jaugeages ponctuels dans les années 1980-1990.

2.3.2.2 Equipement du bassin versant

Le cours d'eau a été équipé pour les besoins de l'étude d'une station limnimétrique de mesure en continue. Cette station a été installée en février 2015. Des jaugeages ponctuels sont réalisés chaque mois pour permettre l'établissement d'une courbe de tarage au droit de la station de mesure.

2.4 PLUVIOMETRIE

2.4.1 PLUVIOMETRIE DU TERRITOIRE

Le territoire jouit d'un climat tropical, avec une période chaude et pluvieuse de décembre à avril et une saison froide et sèche entre mai et octobre. Les vents dominants, les alizés viennent de l'Est et Sud-est, ce qui explique la disparité de la pluie sur l'ensemble du territoire.

Le territoire dispose de 129 stations, dont 49 DAVAR et 80 Météo France. La carte suivante représente la moyenne annuelle des précipitations sur la période 1990-2009. (Synthèse et régionalisation des données pluviométriques de la Nouvelle-Calédonie DAVAR, Novembre 2011). Les bassins versants des stations hydrométriques sont représentés associés à leurs précipitations annuelles moyennes.

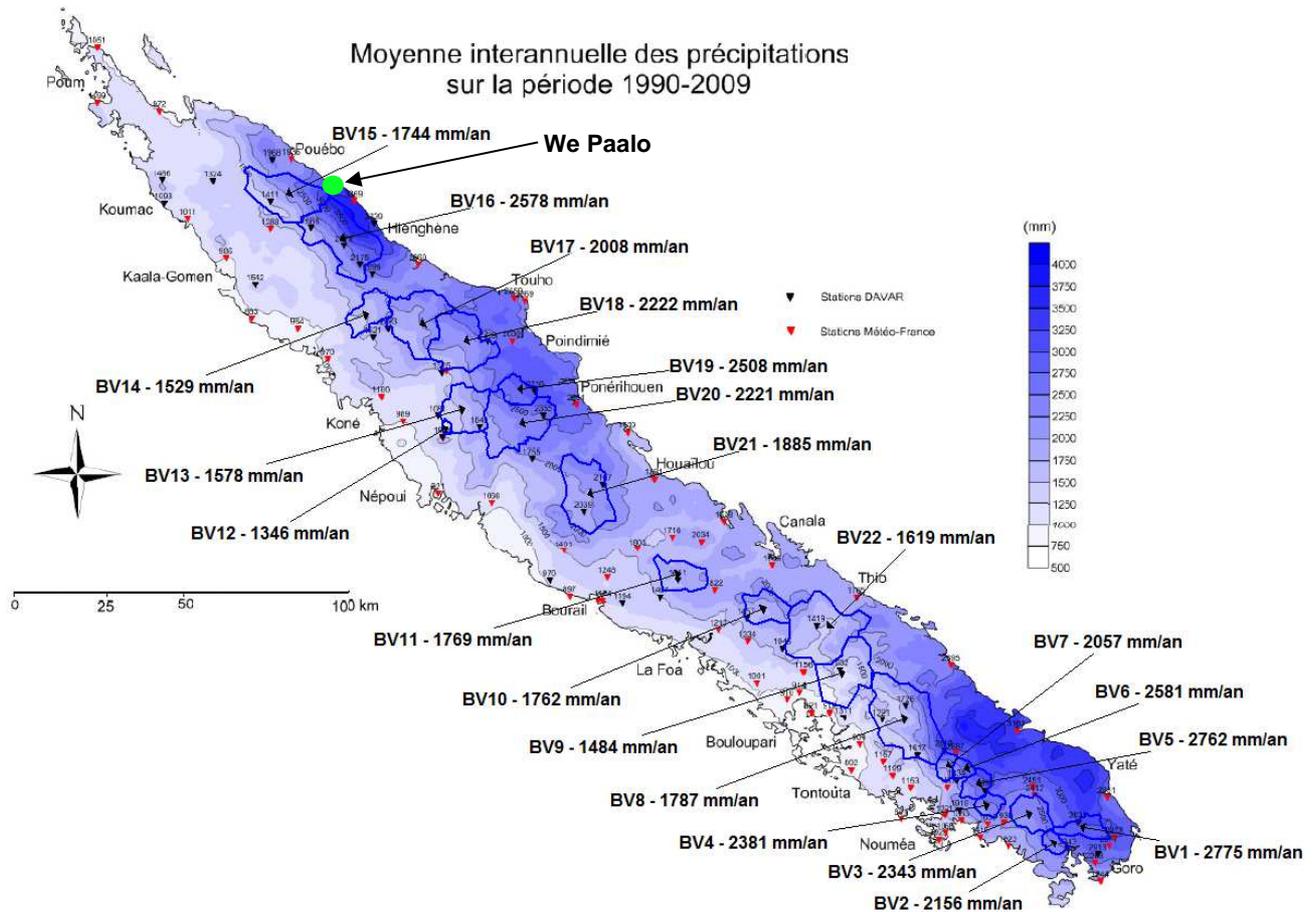


Figure 4 : Pluviométrie sur le territoire de la Nouvelle-Calédonie

Une forte inégalité sur la répartition des pluies est observée sur le territoire : de fortes précipitations sont observées sur la côte est, et plus particulièrement sur les massifs montagneux. La pluviométrie sur la côte ouest à basse altitude est faible.

Au centre de l'île, entre Bourail et Houaïlou, les précipitations sont peu importantes.

Les bassins versants équipés d'une station de mesure de débits sont situés dans des zones où la pluviométrie moyenne est comprise entre 1500 et 2500 mm/an. Aucune station hydrométrique n'est située dans les zones à hautes altitudes et ayant de fortes précipitations, les cours d'eau situés dans les massifs montagneux sont donc difficilement caractérisables à l'aide des stations présentées précédemment.

2.4.2 PLUVIOMETRIE DE LA WE PAALO

2.4.2.1 Réseau de mesure existant

La pluviométrie annuelle moyenne du bassin versant de la We Paolo est de l'ordre de 3250 mm en bas et 3500 mm en haut d'après la carte des précipitations moyennes sur 1990-2009.

La DAVAR et Météo France possèdent un réseau de pluviomètres répartis sur l'ensemble de la Nouvelle Calédonie. La carte suivante présente l'implantation du bassin versant de la We Paolo et les postes pluviométriques et hydrométriques à proximité.

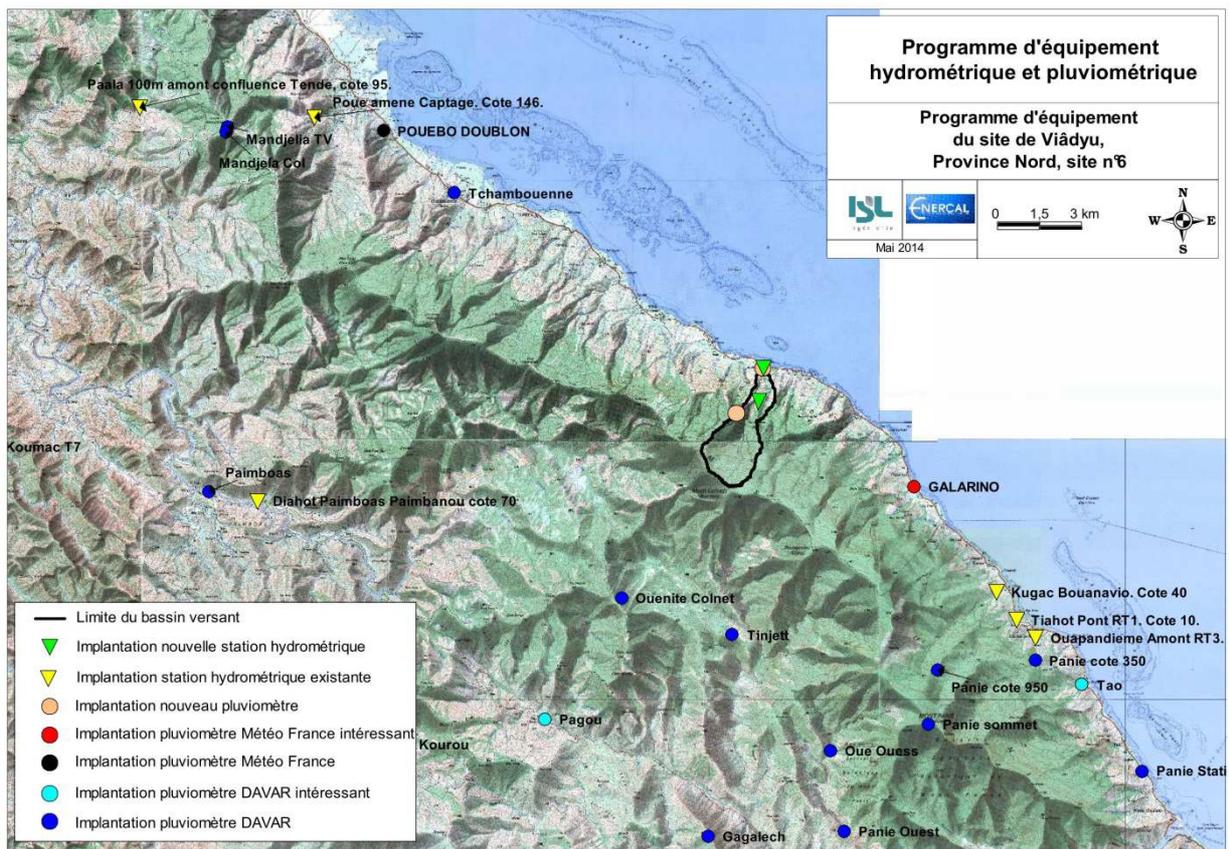


Figure 5 : postes pluviométriques à proximité de la We Paolo

Les stations pluviométriques référencées en 2012 comme ayant été exploitées ou en cours d'exploitation par la DAVAR et situées dans un rayon de 20 km sont les suivantes :

N°STATION	NOM STATION	RIVIERE	COMMUNE	X_RGNC91	Y_RGNC91	Z_NGNC	Date 1ère mesure	Date dernière mesure
5706500100	Tchambouenne	POUEBO_XXX	Pouébo	254812,7258	419166,75		03/06/1980	15/04/1982
5700400600	Mandjelia TV	Diahot	Pouébo	246782,1888	421427,3894	780	27/05/1982	28/06/2004
5700401000	Mandjela Col	Diahot	Ouégoa	246721,3344	421247,9071		12/03/2002	31/12/2012
5700400200	Paimboas	Diahot	Ouégoa	246224,4271	408497,9208	90	01/09/1981	31/12/2012
5701502200	Koumac T5	Koumac	Koumac	243410,2778	403130,2779	320		
5701501900	Oueholle P4	Koumac	Koumac	245436,1917	403272,5585	590		
5700900900	Ouemou Kourou	Iouanga	Kaala-Gomen	251089,4418	399603,8597	412		
5703100400	Pagou	Ouaieme	Hienghène	258185,4037	400529,3487	240	19/09/1990	31/12/2012
5703100700	Ouenite Colnet	Ouaieme	Hienghène	260861,4786	404857,5711	910		
5703100600	Tinjett	Ouaieme	Hienghène	264783,3514	403598,4336	610		
5706400200	Tao	Tao	Hienghène	277164,6629	401913,6515		22/06/1995	31/12/2012
5703100500	Oue Ouess	Ouaieme	Hienghène	268292,3395	399506,3591	370		
5706400400	Panie cote 350	Tao	Hienghène	275507,4703	402761,3459	350		
5706400500	Panie cote 950	WE-CAOT	Hienghène	272063,3056	402396,9688	950		
5703101000	Panie Ouest	Ouaieme	Hienghène	268805,0291	396647,4546	120		
5706400600	Panie sommet	Ouaieme	Hienghène	271759,6941	400457,1633	1628	30/06/1981	26/07/1983
5706400300	Panie Station Girard	Ouaieme	Hienghène	279310,285	398856,1314			
5703100800	Gagalech	Ouaieme	Hienghène	264002,4393	396426,3122	732		

Tableau 6 : Stations pluviométriques DAVAR référencées en 2012 à proximité du bassin versant de Viâdyu

Pour certaines stations, les dates d'ouverture et de fermeture de la station sont inconnues, elles sont donc supposées fermées.

Parmi les stations de la DAVAR actuellement exploitées, les stations de Tao et Pagou sont potentiellement intéressantes :

- La station de Tao est située sur le littoral à 15 km de la station de Viâdyu_aval et couvre une période d'observation de plus de 10 ans,
- La station de Pagou est située dans l'intérieur des terres à 10 km de la station de Viâdyu_amont et couvre une période d'observation de plus de 10 ans. Cependant cette station étant située sur la rivière Ouaième, elle couvre un autre bassin versant du massif du Mont Panié, s'écoulant vers le Sud-Est. Elle est donc susceptible d'être soumise à un régime de pluie différent de celui du bassin versant de Viâdyu.

Les autres stations actuellement exploitées (Mandjela Col et Paimboas) sont situées à plus de 15 km du bassin versant et semblent moins intéressantes.

Les stations pluviométriques de Météo France exploitées en Mai 2014 et situées dans un rayon de 20 km sont les suivantes :

n° station	Nom station	altitude	type de station	état	latitude	longitude	date d'ouverture
98824002	GALARINO	4 m	4	ouverte	-20,512	164,765	01/01/1959
98824003	POUEBO DOUBLON	19 m	4	ouverte	-20,398	164,585	01/01/2004

Tableau 7 : Stations pluviométriques Météo France référencées en 2014 à proximité du bassin versant de Viâdyu

Parmi les stations de Météo France actuellement exploitées, la station de Galarino est intéressante. Elle est située sur le littoral à moins de 5 km de la station de Viâdyu_aval et couvre une période d'observation de plus de 10 ans.

La station de Pouebo Doublon est située à plus de 15 km de la station de Viâdyu_aval et couvre une période d'observation plus courte, elle est par conséquent moins intéressante.

2.4.2.2 Equipement du bassin versant

Le bassin de la We Paolo a également été équipé de deux stations pluviométriques depuis février 2015, composées d'un pluviographe automatique et d'un pluviomètre totalisateur par station. Ces stations sont présentées plus en détails dans la suite de l'étude.



Figure 6 : Pluviomètres amont (gauche) et aval (droite) (source EMR 2016)

2.4.3 ANALYSE PLUVIOMETRIQUE A L'ECHELLE DU TERRITOIRE SUR L'ANNEE 2015-2016

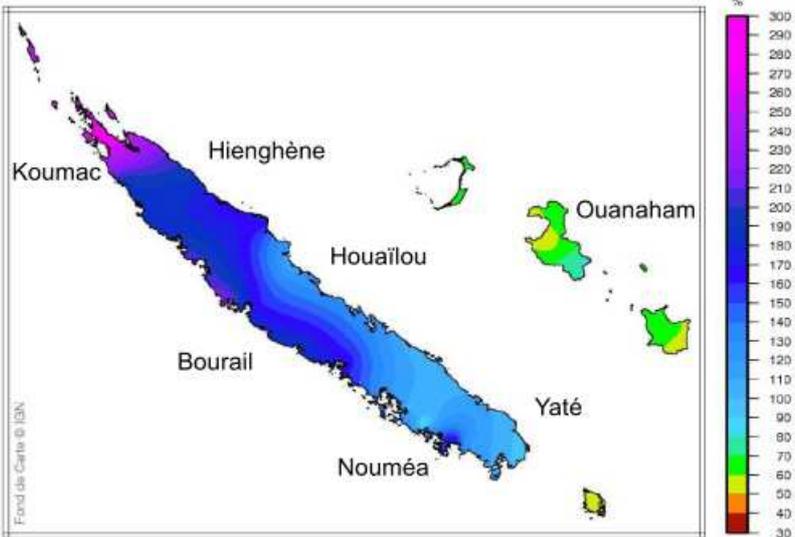
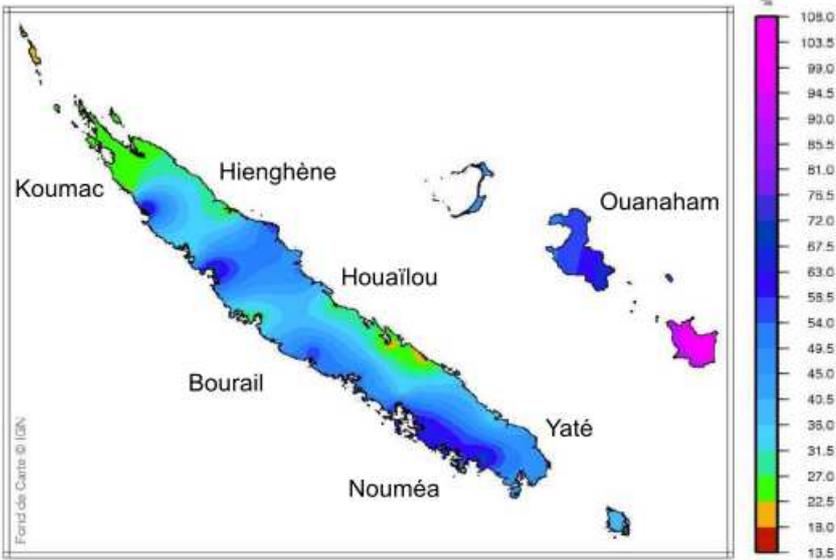
Météo France fournit un bilan climatique mensuel de la Nouvelle-Calédonie chaque mois. L'année 2015-2016 est marquée par une baisse marquée des précipitations conséquence du phénomène ENSO (El Nino South Oscillation) fortement marqué cette année. En février 2016, le phénomène El Nino a fortement diminué d'intensité et les précipitations sont proches de la normale, Nouvelle-Calédonie, la région de We Paolo étant toutefois encore marquée par une pluviométrie déficitaire. Le tableau suivant synthétise les informations pluviométriques détaillées dans chaque bulletin pour l'année 2015-2016.

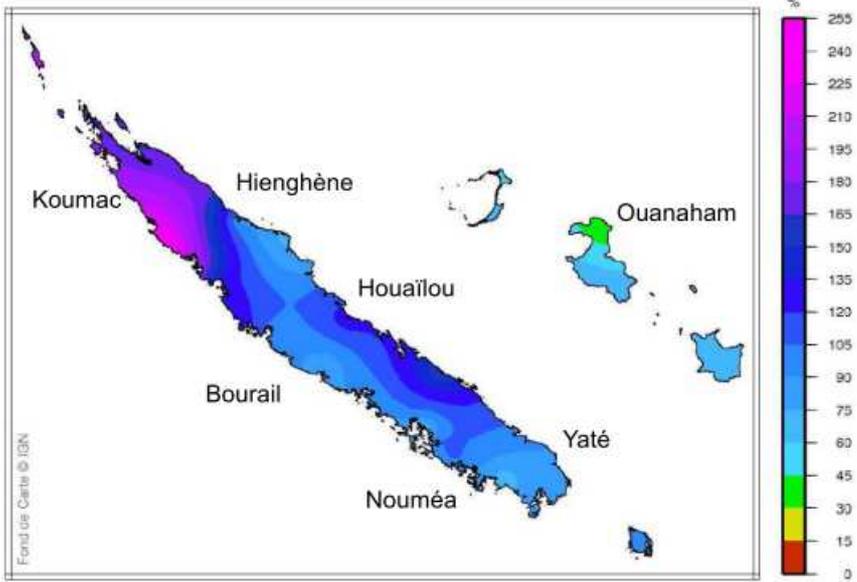
La synthèse est la suivante :

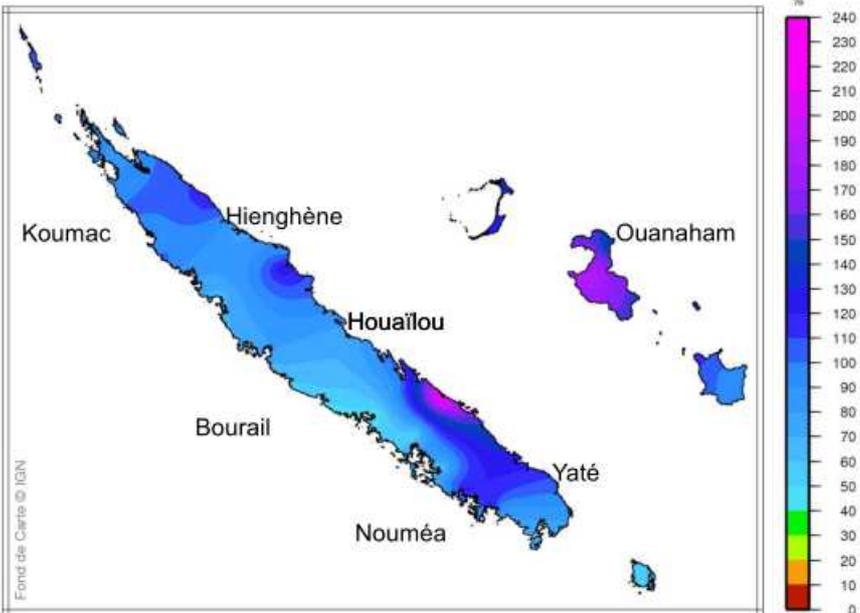
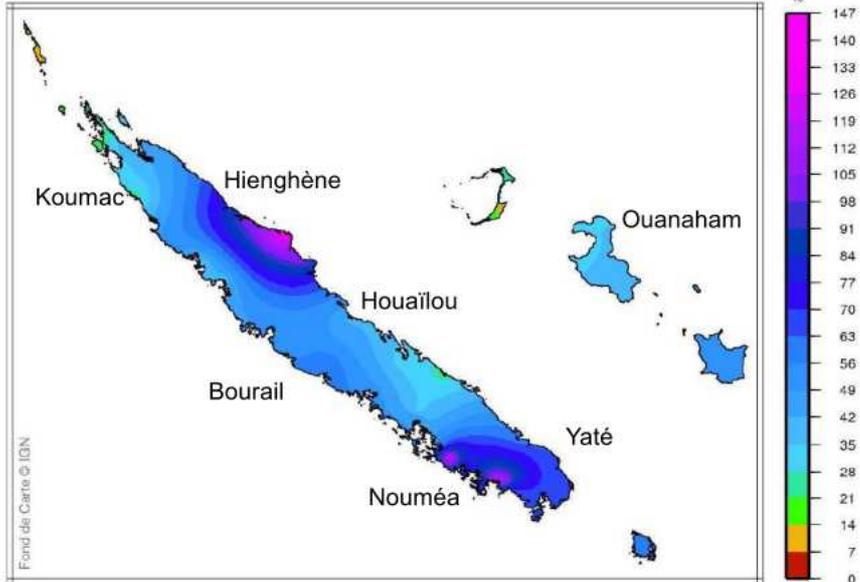
Période	Appréciation pour la région de We Paalo
02/2015	Excédentaire, environ 150-200% de la normale
03/2015	Fortement déficitaire, environ 20-30% de la normale
04/2015	Fortement excédentaire, environ 160-180% de la normale
05/2015	Légèrement excédentaire, environ 100-130% de la normale
06/2015	Déficitaire, environ 50-70% de la normale
07/2015	Fortement excédentaire, environ 160-180% de la normale
08/2015	Déficitaire, environ 60-80% de la normale
09/2015	Fortement déficitaire, environ 40-60% de la normale
10/2015	Fortement déficitaire, environ 40-60% de la normale
11/2015	Proche de la normale, environ 80-100% de la normale
12/2015	Déficitaire, environ 70-90% de la normale
01/2016	Fortement déficitaire, environ 20-40% de la normale
02/2016	Fortement déficitaire, environ 40-60% de la normale

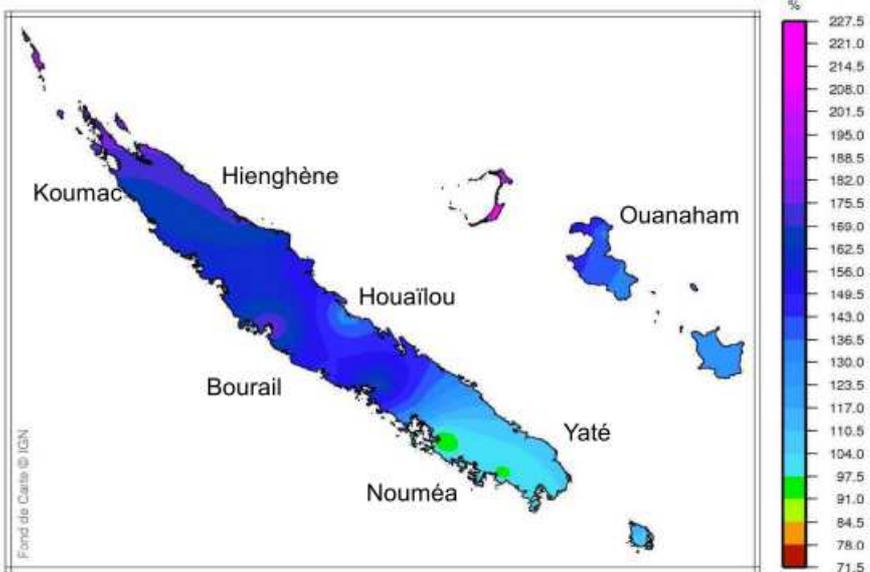
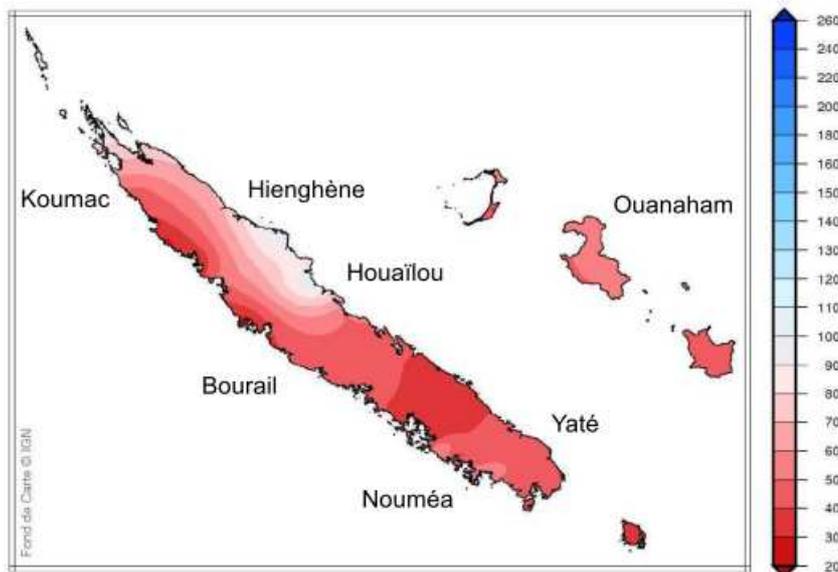
Figure 7 : analyse pluviométrique à l'échelle du territoire pour 2015-2016 – synthèse

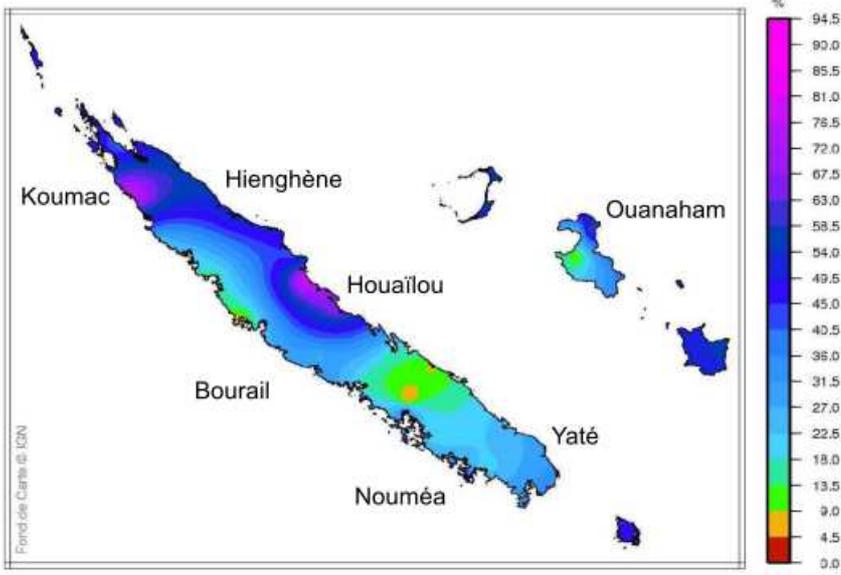
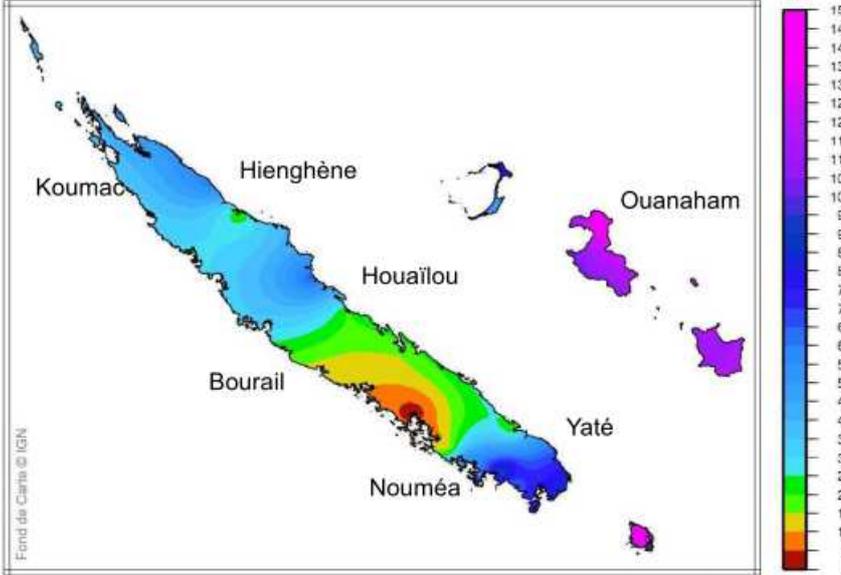
Le détail de l'analyse mois par mois est fourni dans le tableau suivant.

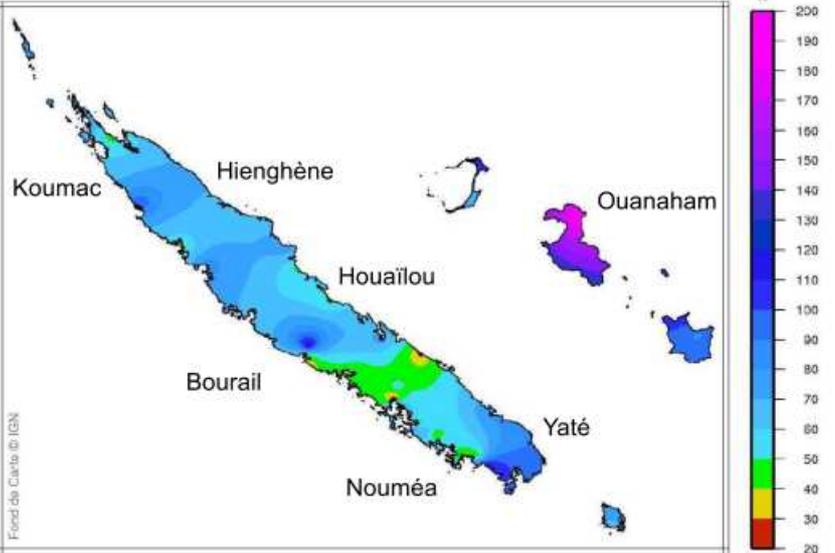
Mois	Commentaires Météo-France
02/2015	<p>Les rapports aux normales décroissent du nord vers le sud. Les deux tiers nord enregistrent les cumuls les plus excédentaires, entre 1,5 et 3 fois supérieurs aux quantités de référence. En allant vers le sud, les quantités s'approchent des normales tout en les dépassant légèrement en moyenne.</p>  <p>Fig. 3 : Rapport des précipitations du mois par rapport aux normales (en %).</p> <p>La région de We Paalo est excédentaire.</p>
03/2015	<p>Le bilan est déficitaire partout.</p>  <p>Fig. 3 : Rapport des précipitations du mois par rapport aux normales (en %).</p> <p>La région de We Paalo est fortement déficitaire.</p>

<p>04/2015</p>	<p>Sur la côte Ouest, le bilan est contrasté. Sur les deux tiers sud, les cumuls sont proches de la normale en moyenne. Sur le tiers nord, le bilan est très excédentaire.</p>  <p><i>Fig. 3 : Rapport des précipitations du mois par rapport aux normales (en %).</i></p> <p>La région de We Paalo est fortement excédentaire.</p>
<p>05/2015</p>	<p>Le bilan est contrasté. Les pluies ont été supérieures à la normale sur l'est de l'archipel. Dans le sud-est de la Grande Terre, il dépasse les +30 % à Borindi. La côte Ouest a été beaucoup moins arrosée et le bilan par rapport à la normale est déficitaire, notamment dans la partie centrale de l'île. Les extrémités nord et sud de la Grande Terre connaissent néanmoins des déficits moins marquées. Finalement, sur la côte Ouest, seule la région autour de Koumac est proche des normales saisonnières.</p>

	 <p>Fig. 3 : Rapport des précipitations du mois par rapport aux normales (en %).</p> <p>La région de We Paalo est légèrement excédentaire.</p>
<p>06/2015</p>	 <p>Fig. 3 : Rapport des précipitations du mois par rapport aux normales (en %).</p> <p>La région de We Paalo est déficitaire.</p>
<p>07/2015</p>	<p>Le mois de juillet a été dans l'ensemble bien humide, à l'exception de l'extrême sud-ouest du pays, les pluies ont quasiment partout été supérieures aux normales.</p>

	 <p>Fig. 3 : Rapport des précipitations du mois par rapport aux normales (en %).</p> <p>La région de We Paalo est fortement excédentaire.</p>
<p>08/2015</p>	<p>Les conditions sont restées sèches dans l'ensemble, et particulièrement sur la côte Ouest.</p>  <p>Fig. 3 : Rapport des précipitations du mois par rapport aux normales (en %).</p> <p>La région de We Paalo est déficitaire.</p>
<p>09/2015</p>	<p>En septembre, les pluies ont été faibles et déficitaires sur l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie, mais plus particulièrement sur la côte Ouest</p>

	 <p>Fig. 3 : Rapport des précipitations du mois par rapport aux normales (en %).</p> <p>La région de We Paalo est fortement déficitaire.</p>
<p>10/2015</p>	<p>Pour le troisième mois consécutif, les déficits de pluies se sont poursuivis sur presque tout le territoire, mais plus particulièrement sur la région de Boulouparis où plusieurs stations ont enregistré des quantités mensuelles proches ou égales à 0 mm. La sécheresse météorologique débutée au mois d'août s'est donc encore accentuée en octobre.</p>  <p>Fig. 3 : Rapport des précipitations du mois par rapport aux normales (en %).</p> <p>La région de We Paalo est fortement déficitaire.</p>
<p>11/2015</p>	<p>Le bilan est déficitaire partout sauf sur le nord-ouest de la Grande Terre.</p>

	 <p>Fig. 3 : Rapport des précipitations du mois par rapport aux normales (en %).</p> <p>La région de We Paalo est proche de la normale.</p>
<p>12/2015</p>	 <p>Fig. 3 : Rapport des précipitations du mois par rapport aux normales (en %).</p> <p>La région de We Paalo est déficitaire.</p>
<p>01/2015</p>	<p>Sixième mois consécutif de déficit global de précipitation, janvier a vu la sécheresse se renforcer sur tout le territoire. Les déficits sont extrêmement marqués sur le nord-ouest du Caillou, les Loyauté et la chaîne centrale de la Grande Terre où de nombreux records de minimum de précipitation pour un mois de janvier ont été battus.</p>

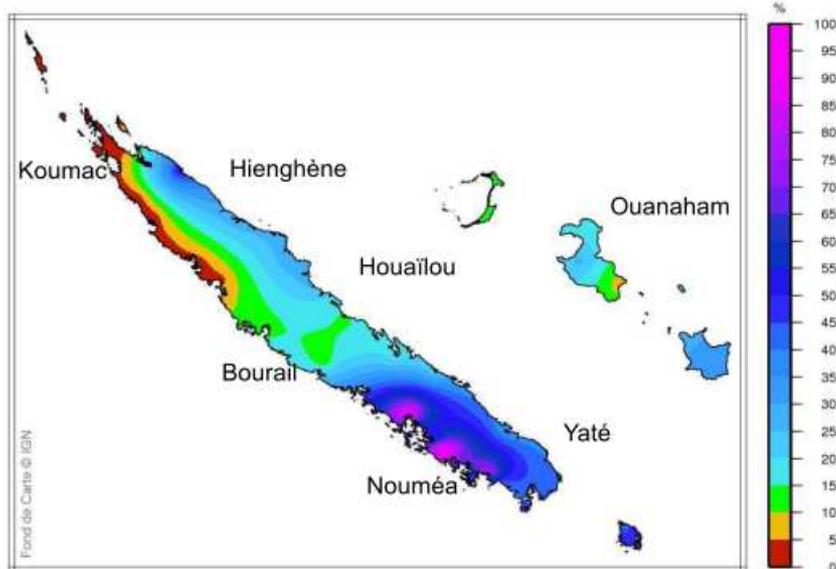


Fig. 3 : Rapport des précipitations du mois par rapport aux normales (en %).

La région de We Paalo est fortement déficitaire.

La carte du rapport des précipitations du mois par rapport aux normales montre que ce sont les régions de la côte Ouest (excepté le nord-ouest), le sud-ouest de la Grande-Terre et Maré, qui ont été les plus arrosées. Ailleurs, le bilan est proche de la normale ou déficitaire.

02/2016

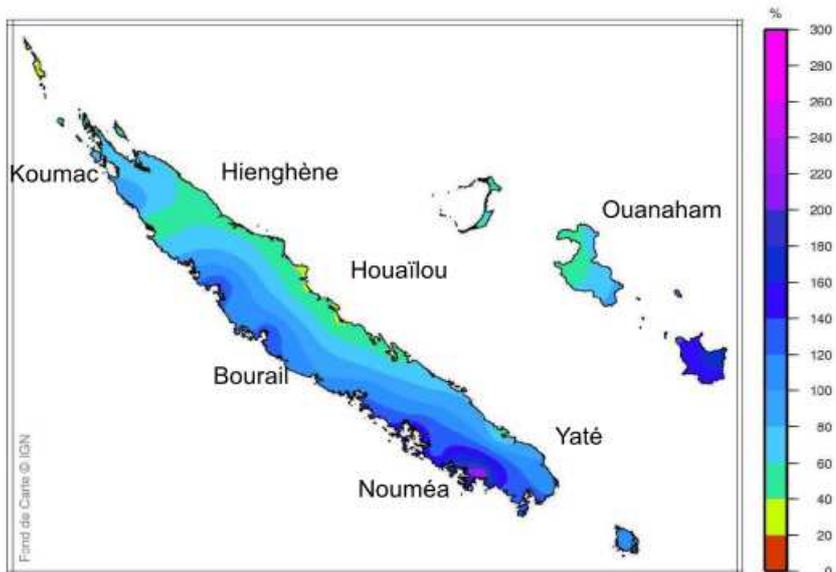


Fig. 3 : Rapport des précipitations du mois par rapport aux normales (en %).

La région de We Paalo est déficitaire.

2.5 EVAPOTRANSPIRATION

2.5.1 BASSIN DE WE PAALO

Aucune mesure d'évapotranspiration n'est effectuée sur le bassin versant de We Paalo, pour autant la chronique de température mesurée en 2015 permet de reconstituer la chronique journalière en fonction du jour julien et de la latitude de la station de mesure à l'aide de la formule d'Oudin et al. (2005).

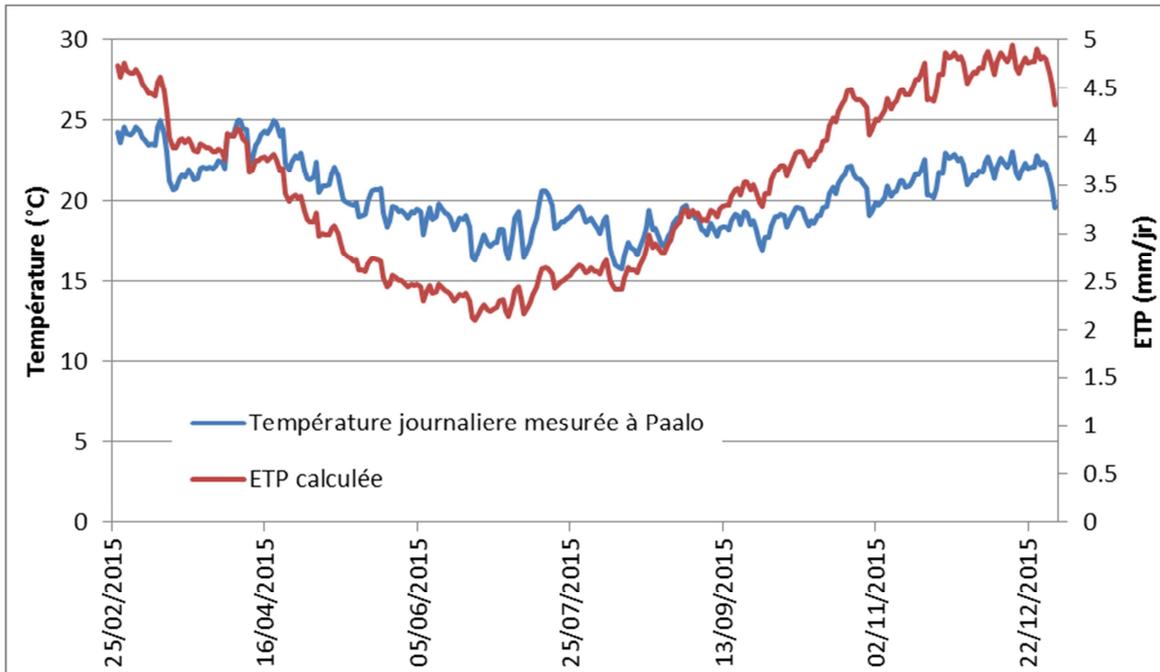


Figure 8 : Reconstitution de la chronique d'ETP par la méthode d'Oudin sur le bassin versant de We Paalo

La chronique de février 2015 à janvier 2016 n'est pas suffisamment longue pour considérer l'évapotranspiration obtenue comme représentative du bassin versant.

2.5.2 DONNEES METEO FRANCE

Météo-France fournit pour certaines de ces stations automatiques des données statistiques d'évapotranspiration sur la période 1981-2010. La station disponible la plus proche est celle de Poindimié, située à environ 100 km au Sud-Est. L'extrait de la fiche climatique est fourni ci-dessous.



Figure 9 : ETP Penman moyenne - Fiche climatologique Météo France à Poindimié

2.5.3 COMPARAISON

Afin de vérifier la cohérence entre les deux points de mesures, une comparaison avec le cumul mensuel est réalisée :

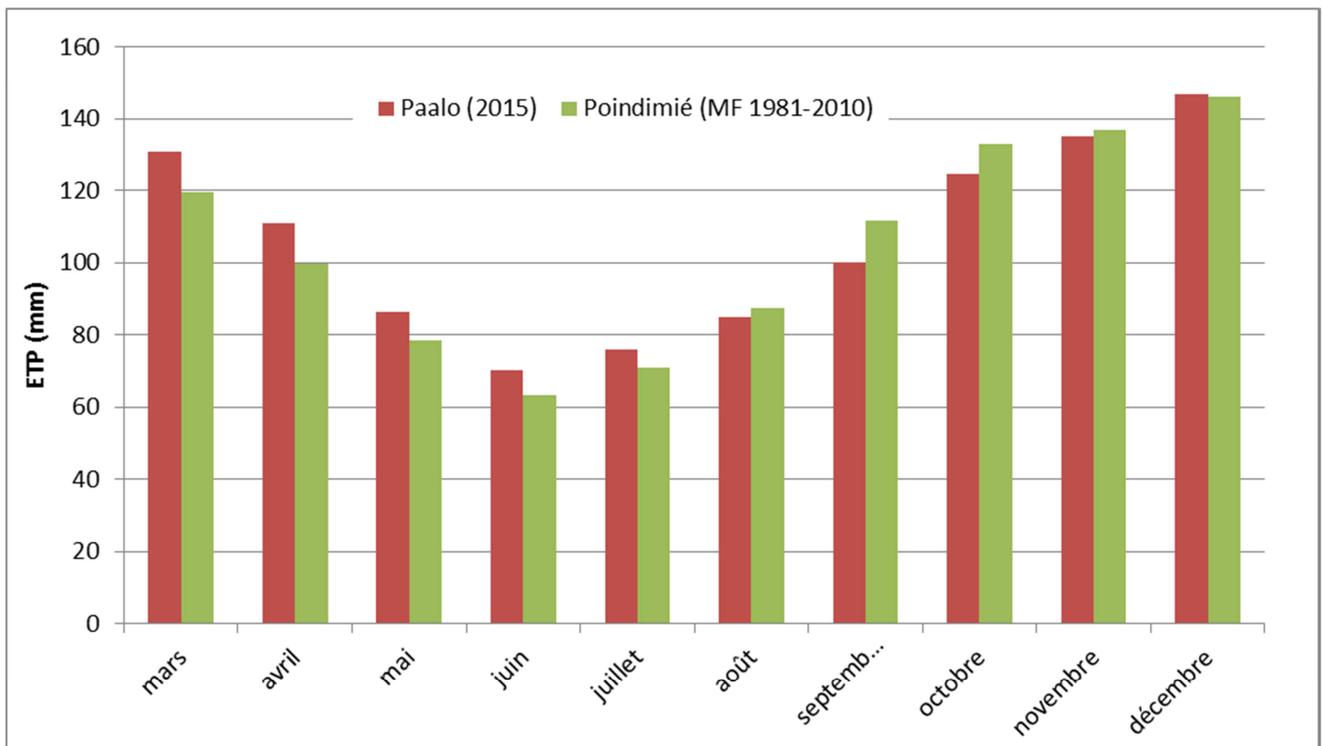


Figure 10 : comparaison des ETP Météofrance à Poidimié et calculé sur We Paolo en 2015

L'évapotranspiration calculée à partir de la température mesurée à la station de We Paolo aval entre mars 2015 et janvier 2016 est supérieure à l'ETP moyenne (1981-2010) de la station de Poindimié excepté sur les mois d'août, septembre et octobre. Cela est en accord avec le fait que l'année 2015 est considérée par la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) comme l'année la plus chaude depuis le début du XIXème siècle (au niveau mondial).

3 METHODOLOGIE DE RECONSTITUTION D'UNE CHRONIQUE DE DEBIT HORAIRE SUR 2010-2015

Afin d'estimer précisément le productible de la centrale de We Paalo, une chronique de débit au pas de temps horaire est reconstituée sur plusieurs années.

La méthodologie est la suivante :

3.1 PLUVIOMETRIE

- Analyse pluviométrique des pluviomètres installés sur le bassin versant de We Paalo ;
- Choix d'une station pluviométrique de référence représentative de la pluviométrie du bassin versant de We Paalo, disponible au pas de temps horaire sur la durée la plus longue possible : Galarino, de 2010 à 2016 ;
- Recalage des données pluviométriques entre la station de référence et les données enregistrées sur le bassin versant de We Paalo en 2015-2016 ;
- Consolidation de la chronique de pluie ;

3.2 HYDROMETRIE

- Analyse des jaugeages réalisés sur le bassin versant de We Paalo (jaugeages ENERCAL 2015-2016 et DAVAR 1980-1990);
- Création d'une courbe de tarage au droit de la section de jaugeage équipée d'une sonde de mesure en continu de la hauteur d'eau (sur la période 2015-2016);
- Détermination de la chronique de débit sur la période d'installation de la sonde (sur la période 2015-2016) ;
- Relation entre débit aval, débit amont et débit au droit de la prise d'eau ;
- Analyse des débits d'étiage.

3.3 MODELE HYDROLOGIQUE POUR CALCUL DU PRODUCTIBLE

- Calage d'un modèle GR4 au pas de temps horaire sur la chronique de débits mesurés à la station de jaugeage, sur la base des pluies horaires à la station de référence recalées pour le bassin de We Paalo ;
- Calcul d'une chronique de débits sur la période d'ouverture (2010-2016) de la station pluviométrique de référence, au pas de temps horaire.

4 ANALYSE PLUVIOMETRIQUE

4.1 MESURES PLUVIOMETRIQUES SUR LE BASSIN VERSANT

Deux pluviomètres ont été installés sur le bassin versant dans le cadre de cette étude. Les deux appareils sont localisés sur la carte ci-dessous :

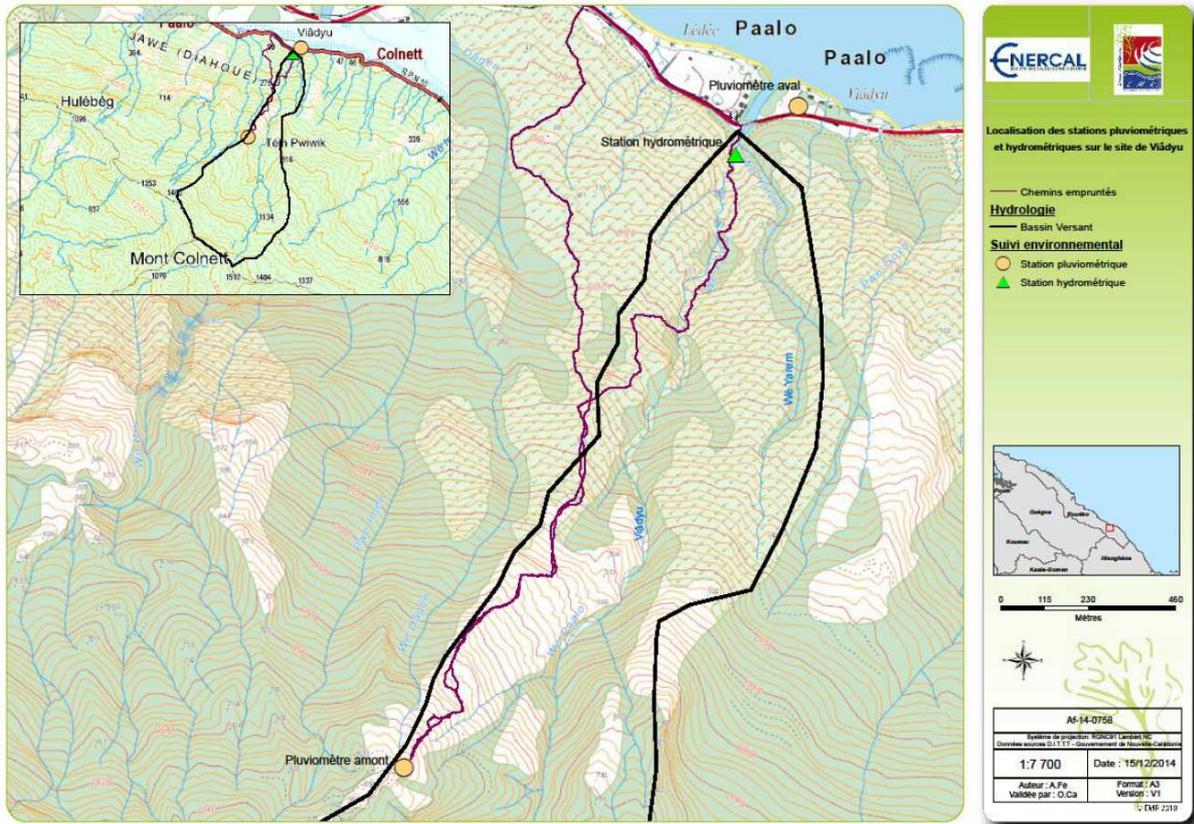


Figure 11 : Extrait du programme d'équipement du bassin versant par EMR

Les caractéristiques des appareils installés sont les suivantes.

La station amont a été installée à 828 m d'altitude et est composée :

- d'un pluviomètre RIMCO 8000 relevant une mesure de température toutes les heures et la pluviométrie en continue (à chaque basculement de l'auget). Le pluviomètre est fixé sur un poteau enterré sur un tiers de sa longueur, amenant le collecteur à une hauteur de 1,50m, et des haubans viennent consolider l'installation ;
- d'un pluviomètre totaliseur, réalisé à partir d'un tube de PVC de 2 m de profondeur et de diamètre égal au collecteur du pluviomètre, soit 20 cm. L'ouvrage a été positionné de façon à ne pas influencer le pluviomètre et une couche d'huile à haute densité a été introduite dans le pluviomètre afin d'éviter l'évaporation de l'eau collectée. Le pluviomètre totaliseur a été enterré sur un tiers de sa longueur et son ancrage a été complété par des haubans.



Figure 12 : Pluviomètres amont, vue amont et aval (source : EMR)

La station aval a été réalisée le 25 février 2015, en aval à proximité du bassin versant de la We Paalo, à 12 m d'altitude, dans le jardin du chef de la tribu de Diahoué et est composé du même matériel que la station pluviométrique amont. De même que pour la station amont, les ouvrages ont été enterrés sur un tiers de leur longueur et des haubans ont été installés pour renforcer l'ancrage.



Figure 13 : Pluviomètres aval, vue amont et aval (source : EMR)

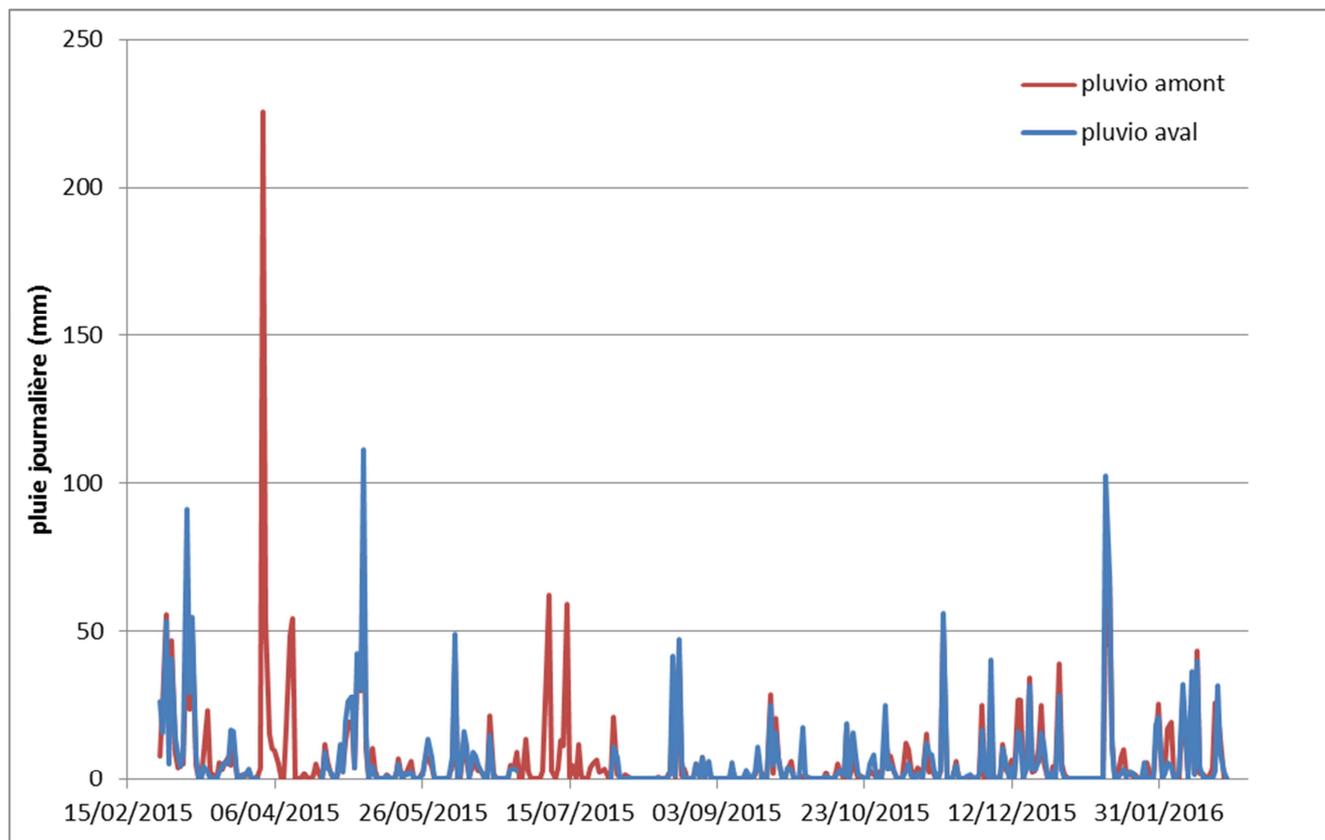


Figure 14 : Pluviométrie sur les postes amont et aval sur la période de mesure

Sur la période du 27/02/2015 au 23/02/2016, la station aval n'a pas fonctionné pendant deux périodes : avril 2015 et juillet 2015. Afin de comparer les données, seules les pluies enregistrées en dehors de ces périodes de dysfonctionnement sont conservées. Voici les caractéristiques des stations sur cette période :

	Altitude	Pluie Moyenne journalière (mm)	Cumul de pluie (mm)	Pluie Maximale journalière (mm)
Paalo aval	12 m	6,5	2006,5	111,4
Paalo amont	828 m	6,1	1893,2	71,4

Tableau 8 : Caractéristiques des pluviomètres

Les mesures effectuées indiquent que la pluviométrie à l'aval est plus forte que celle à l'amont, d'environ 5% sur le cumul sur la période de mesures. La figure suivante présente la méthode graphique du double cumul pour les périodes d'ouverture communes aux 2 stations. Cette méthode ne révèle aucune anomalie apparente.

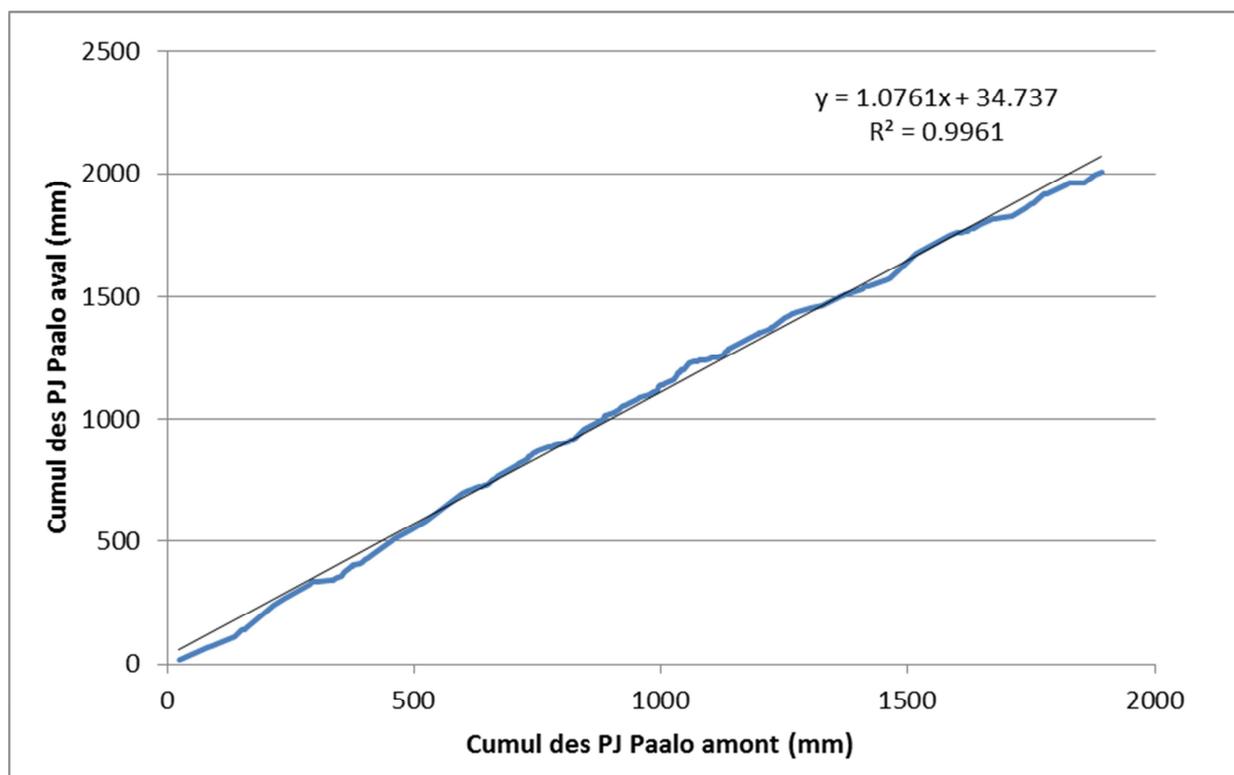


Figure 15 : comparaison des cumuls pluviométriques

La comparaison des cumuls pluviométriques amont et aval sur les périodes d'ouvertures communes des deux stations montrent une évolution fortement corrélées, sans anomalie évidente.

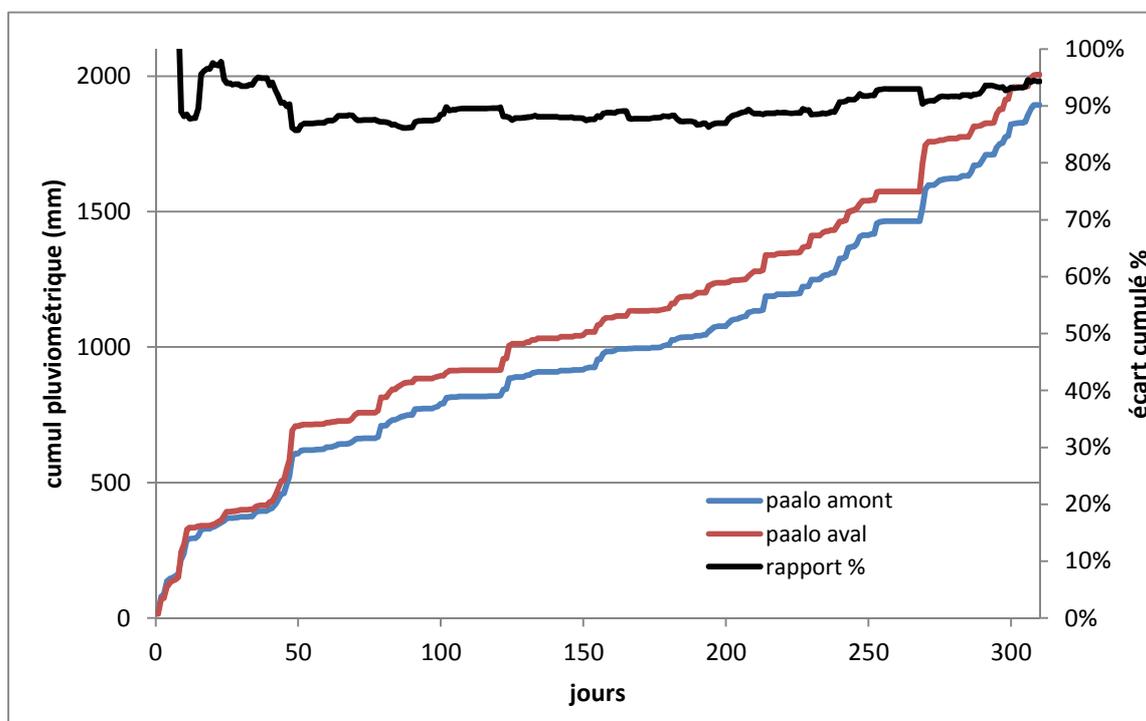


Figure 16 : Cumul des stations pluviométriques amont et aval de We Paalo en 2015, sur les jours de fonctionnement communs aux 2 stations

La pluviométrie plus forte à l'aval qu'à l'amont est en contradiction avec l'effet orographique attendu au niveau de la chaîne de montagne dans laquelle se trouve le bassin versant de We Paalo. Le pluviomètre amont ne semble pas être représentatif de la pluviométrie générale du bassin versant. Les pluviomètres étant équipés de totalisateur, leur dysfonctionnement semble exclu. Un « effet de site » lié à l'implantation du pluviomètre amont sur une crête en bordure de bassin versant pourrait expliquer cela.

La pluviométrie enregistrée sur We Paalo pourrait donc être légèrement sous-estimée.

4.2 STATIONS EXISTANTES

Plusieurs stations météorologiques sont installées par la DAVAR et Météo France à proximité de la zone d'étude.

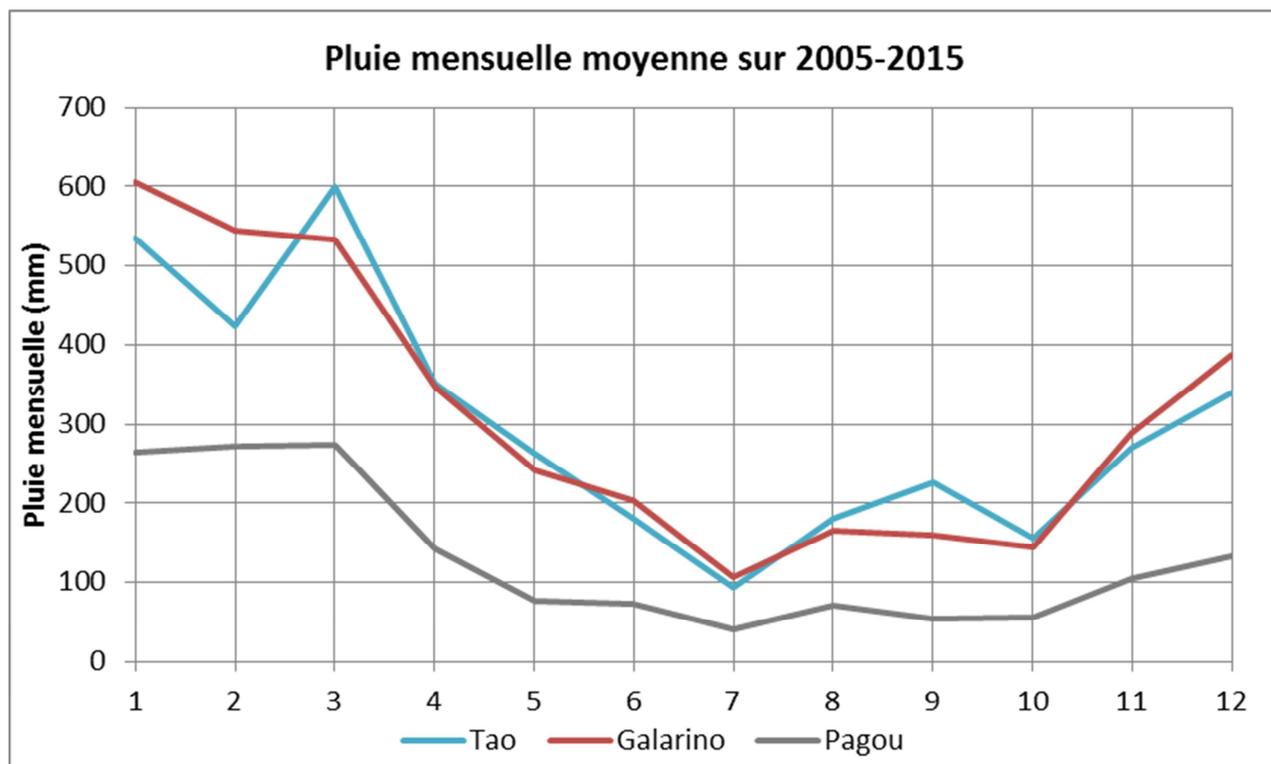


Figure 17 : Pluie mensuelle moyenne des stations pluviométriques de Tao, Pagou et Galarino sur la période 2005-2015

Les stations de Tao et Galarino situées sur la côte Est de part et d'autre du Mont Panié présentent des cumuls mensuels moyens très proches. La station de Pagou, située à l'ouest de la chaîne du Panié, est nettement moins soumise aux précipitations.

Seule la chronique de la station de Galarino a été utilisée par la suite car les données disponibles recourent la période d'observation sur la We Paalo et la chronique est suffisamment longue pour réaliser une analyse statistique.

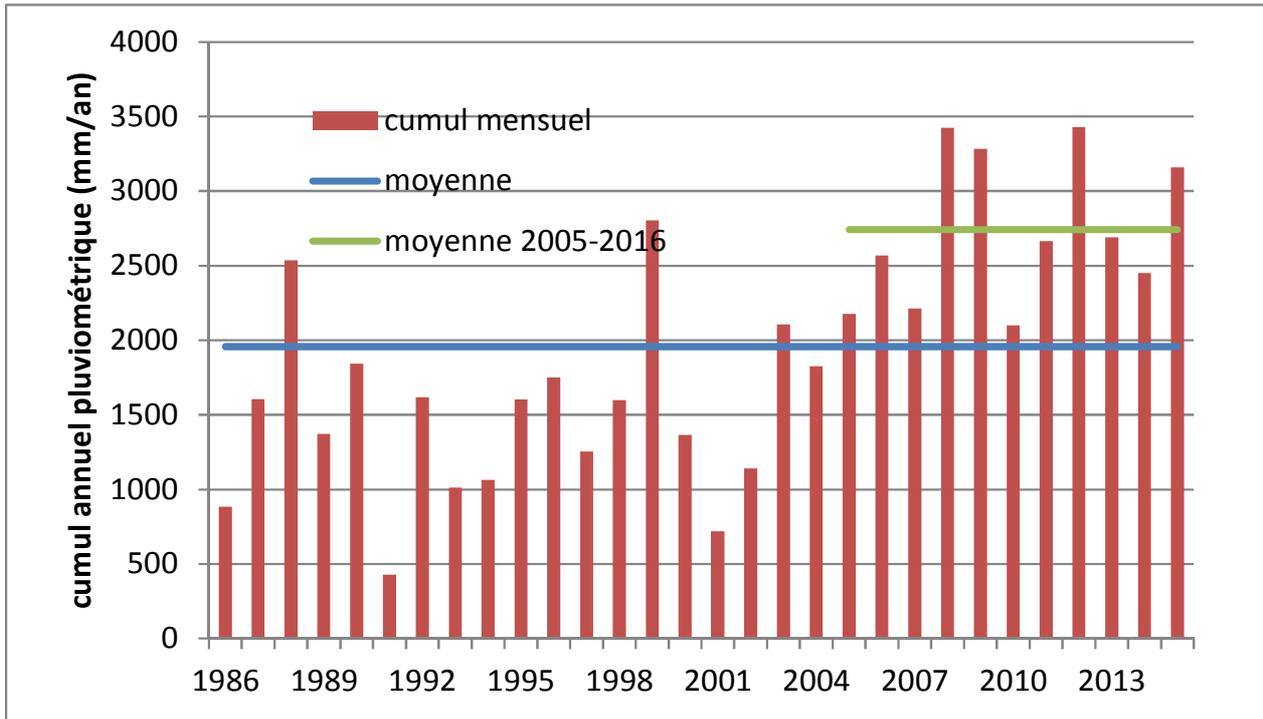


Figure 20 : Cumuls pluviométriques de la station de Mandjela

La station de Mandjela se situe 30 km au nord ouest de We Paalo à 780 m d'altitude. La pluviométrie annuelle moyenne est de 1956 mm. Sur les 5 dernières années la moyenne est de 2741 mm. La localisation en altitude est intéressante car elle permet, cependant la localisation de cette station engendre des pluies bien inférieures à celles de Galarino et du bassin de la We Paalo comme le confirme la Figure 19. Cette station n'est pas utilisée dans la présente étude.

NOTA : les données de cette station ont été fournies en mai 2016, après la date de remise de ce rapport dans sa première version.

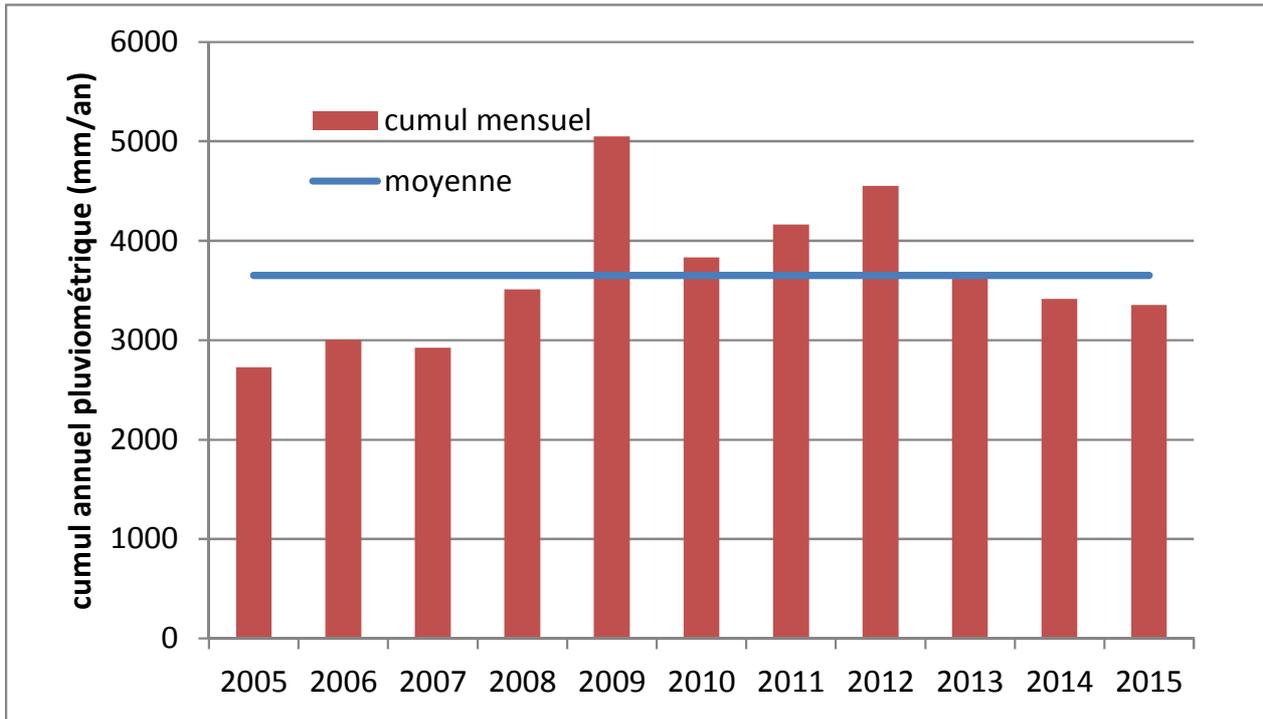


Figure 21 : Cumuls pluviométriques de la station de Galarino

La station de Galarino se situe sur le versant Est du Mont Panié : la pluviométrie annuelle est très forte à 3 682 mm/an en moyenne depuis 2006.

Les années 2010 à 2015 sont légèrement au-dessus en terme de pluviométrie. L’année 2015 à 3 354 mm est en dessous de la moyenne des années 2006 à 2015, c’est l’année la plus sèche depuis 2008.

Le versant de We Paolo est à proximité mais la répartition spatiale des pluies montre (cf. Figure 19) une légère diminution des pluies vers le Nord malgré la proximité géographique.

Le cumul sur la période de février 2015 à février 2016 permet la comparaison des stations. La figure suivante présente les cumuls pour les périodes d’ouverture communes aux 3 stations. On remarque que les différences entre cumuls sont principalement générées lors de deux épisodes pluvieux, du 29 avril au 7 mai 2015, puis du 6 au 25 juin 2015.

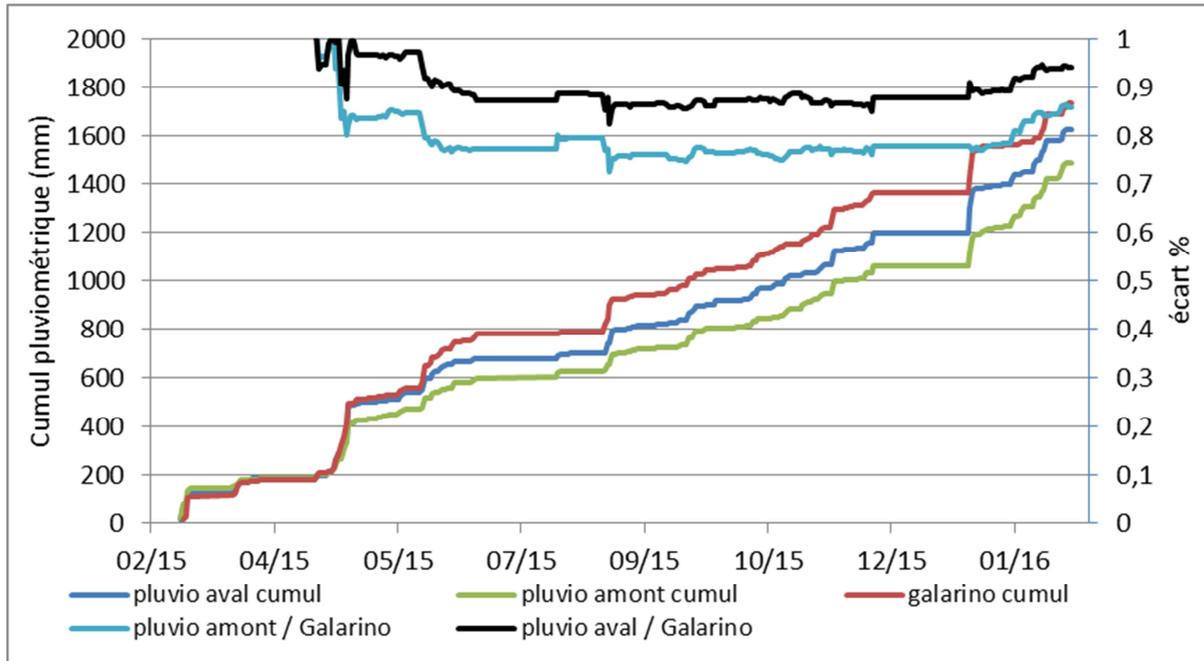


Figure 22 : Comparaison des postes pluviométriques de Galarino, Paolo aval et Paolo amont

L’observation détaillée de la chronique de pluie montre que la répartition de la pluviométrie évolue entre les périodes de février 2015 à aout et de septembre 2015 à février 2016. Cette observation est mise en évidence dans le graphique suivant. L’importance du phénomène El-Nino en 2015 et son évolution au cours de l’année pourrait apporter des explications à ce phénomène.

La période de février à septembre présente un écart de l’ordre de 80 à 90% entre Galarino et Paolo, tandis que sur la période de septembre à février de l’année 2016 les cumuls sont identiques.

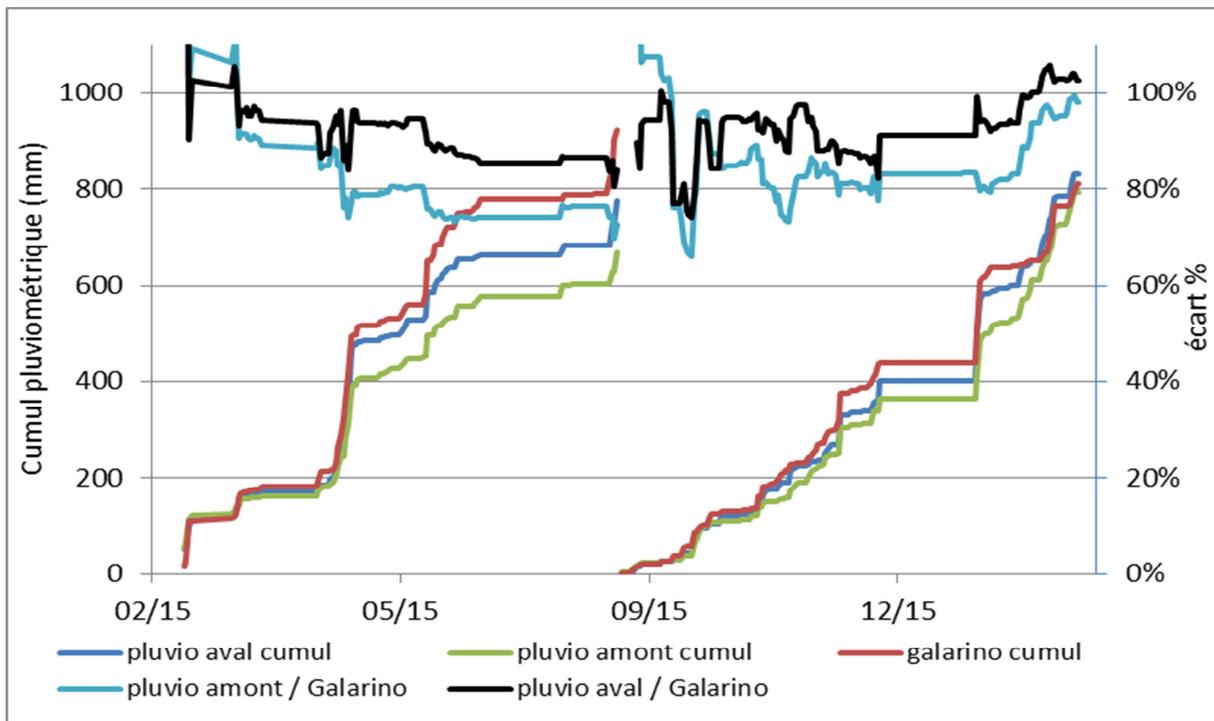


Figure 23 : Comparaison des postes pluviométriques de Galarino, Paolo aval et Paolo amont – rupture en août 2015

Un coefficient de correction de 0,95 appliqué à la chronique de Galarino permet de retrouver des cumuls pluviométriques proche de ceux enregistrés sur We Paalo. Il sera vérifié ultérieurement que ce coefficient permet d'obtenir une quantité suffisante de pluie pour assurer un calage du modèle pluie débit.

4.3 CHRONIQUE HORAIRE RECONSTITUEE A GALARINO

La chronique horaire de Galarino permet de simuler le régime hydrologique de We Paalo sur plusieurs années. L'observation de la chronique montre de nombreuses lacunes : le tableau ci-dessous donne le nombre de données manquantes pour chaque année et chaque mois. Un mois moyen contient 720 valeurs horaires (30 jours par mois).

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
janvier		0	0	0	0	521
février		0	0	0	0	25
mars		0	0	0	0	363
avril		0	0	0	0	159
mai	54	0	0	0	0	0
juin	229	0	0	0	0	86
juillet	440	0	0	0	0	299
août	0	0	0	0	145	68
septembre	0	0	132	0	179	261
octobre	0	0	330	0	0	0
novembre	0	0	104	0	0	110
décembre	0	170	0	0	97	

Tableau 9 : Nombre de données manquantes dans la chronique horaire de Galarino

Afin de compléter la chronique, deux solutions ont été retenues :

- entre 2010 et 2016, la pluie journalière de Galarino a été répartie de manière homogène au pas de temps horaire sur les périodes manquantes,
- en 2015, si la pluie journalière à Galarino n'est pas disponible, la pluie horaire de We Paalo corrigée par le coefficient défini précédemment est prise en compte.

La chronique de pluie est ainsi quasiment reconstituée ; il reste quelques données manquantes :

- du 21/06/2010 11:00:00 au 19/07/2010 07:00:00,
- du 18/10/2012 06:00:00 au 01/11/2012 05:00:00,
- du 01/01/2015 06:00:00 au 22/01/2015 16:00:00.

5 ANALYSE HYDROMETRIQUE

5.1 JAUGEAGES

5.1.1 CAMPAGNES DAVAR 1981-1995

Des campagnes de jaugeage ont été effectuées dans les années 1981 à 1995 par la DAVAR sur le cours d'eau de We Paalo et à proximité : Tiahot, Kugac et Weina.

N° station	Nom point de jaugeage	Date de début	Date de fin	Nombre de jaugeages
5706502002	Weina Amont pont Colnett (Oua Hinna) Cote 20	25/08/1983	19/01/1995	182
5706401101	Tiahot Pont RT1. Cote 10.	04/08/1981	23/10/1991	20
5706401201	Kugac Bouanavio. Cote 40	04/08/1981	23/10/1986	10
5706501501	Paalo Ouebato. Cote 15	14/07/1983	30/09/1987 + 25/11/2014	156

Tableau 10 : Campagnes de jaugeages - données DAVAR

Les résultats bruts de ces campagnes sont présentés ci-dessous. La présentation de ces résultats permet d'évaluer l'utilisation des jaugeages réalisés à proximité pour caractériser les étiages de la We Paalo. Les jaugeages douteux et les plateaux horizontaux (cercles rouges sur les graphiques) peuvent s'expliquer par le fait que :

- les repères ont évolués d'une campagne à l'autre,
- les seuils réalisés pour les mesures saturent lorsque le niveau d'eau est trop important.

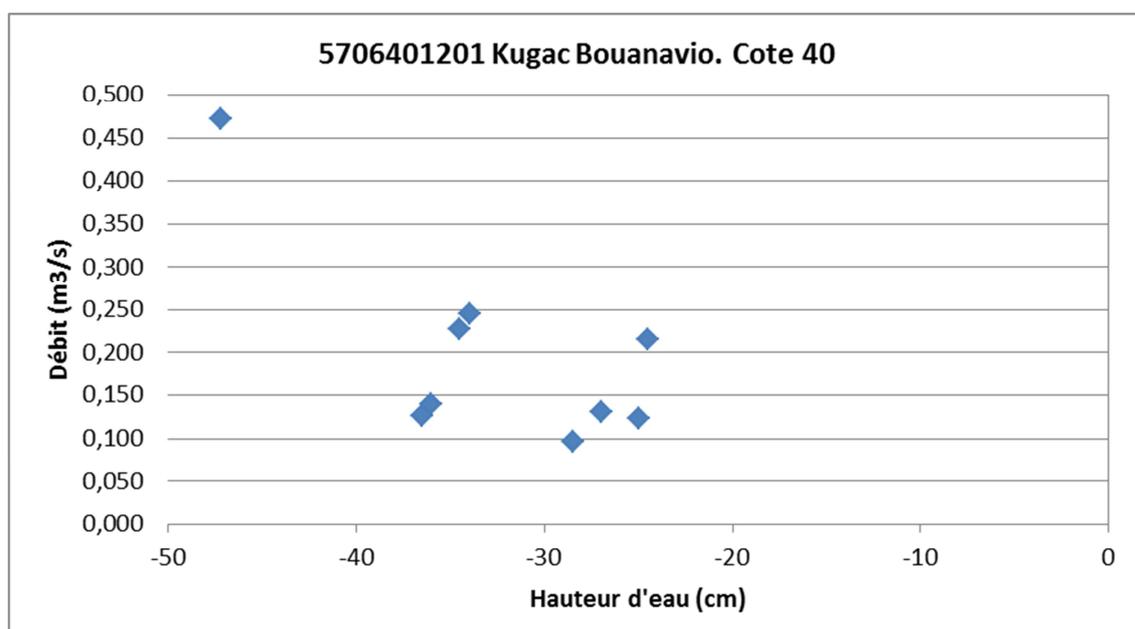


Figure 24 : Jaugeages à Kugac

Les mesures fournies par la campagne de Kugac ne semblent pas directement exploitables ; aucune courbe relation débit/hauteur d'eau n'apparaît clairement.

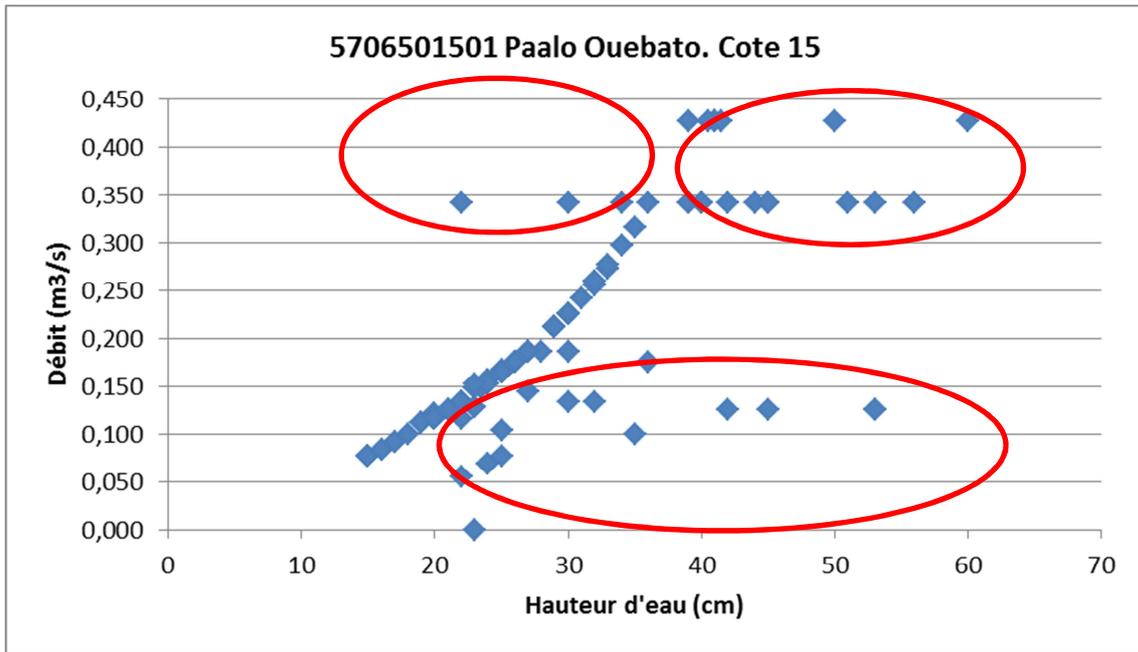


Figure 25 : Jaugeages à We Paalo

Les mesures fournies par la campagne de We Paalo laissent apparaître une relation débit/hauteur d'eau. Les points semblant erronés (paliers) sont extraits de la chronique.

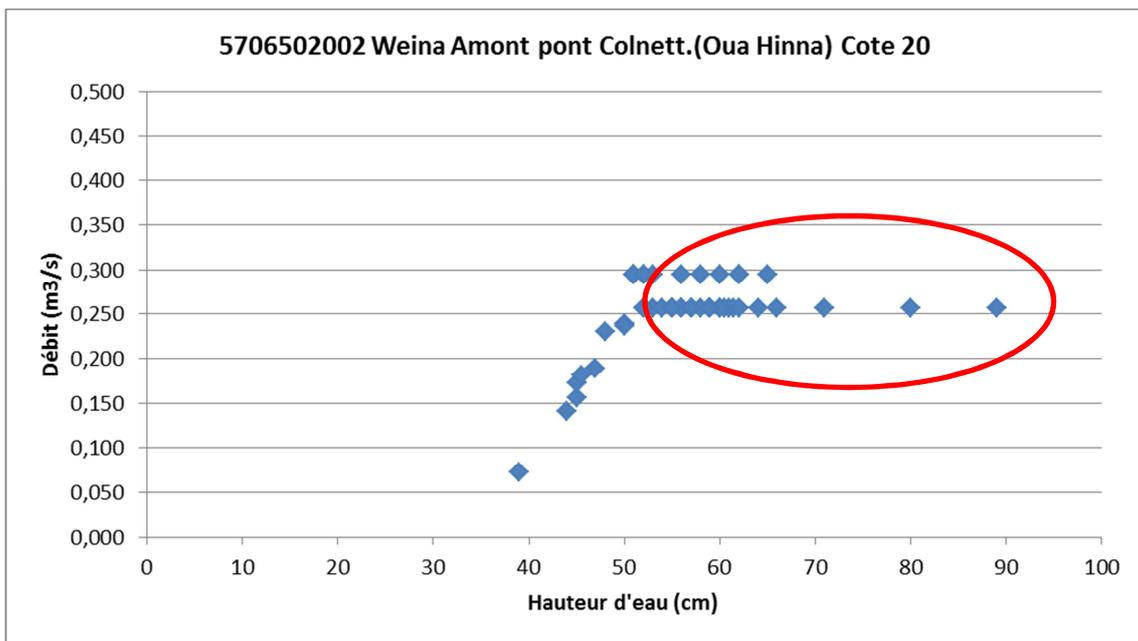


Figure 26 : Jaugeages à Weina

Les mesures fournies par la campagne de Weina indiquent une relation débit/hauteur d'eau. Cependant, les mesures de débit semblent présentés un palier à 250 l/s puis 300 l/s. en deçà, la relation hauteur d'eau/débit apparaît clairement.

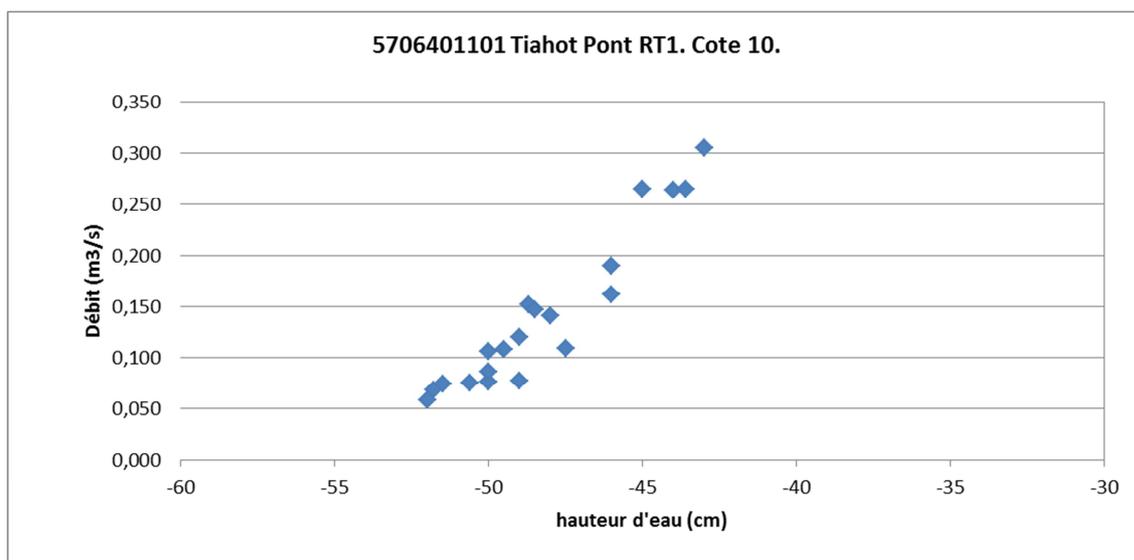


Figure 27 : Jaugeages à Tiahot

Les mesures fournies par la campagne de Tiahot sont légèrement dispersées mais laissent cependant apparaître une relation hauteur d'eau/ débit.

En définitive, seuls les jaugeages de la We Paalo seront réutilisés dans cette étude.

5.1.2 CAMPAGNES ENERCAL 2015-2016

5.1.2.1 Jaugeages aval

ENERCAL a mandaté la société EMR pour effectuer une série de jaugeages ponctuels de la We Paalo ainsi qu'une mesure en continu à un pas de temps de 5 minutes. Cette campagne a débuté en décembre 2014 jusqu'en février 2016. Les jaugeages sont effectués à proximité de l'embouchure de la rivière, à la cote 20 m environ. L'emplacement retenu correspond à la section utilisée pour les jaugeages DAVAR (présence d'un seuil de mesure en béton), afin d'essayer de corréler les jaugeages actuels et DAVAR. Le bassin versant intercepté est de 4,37 km².

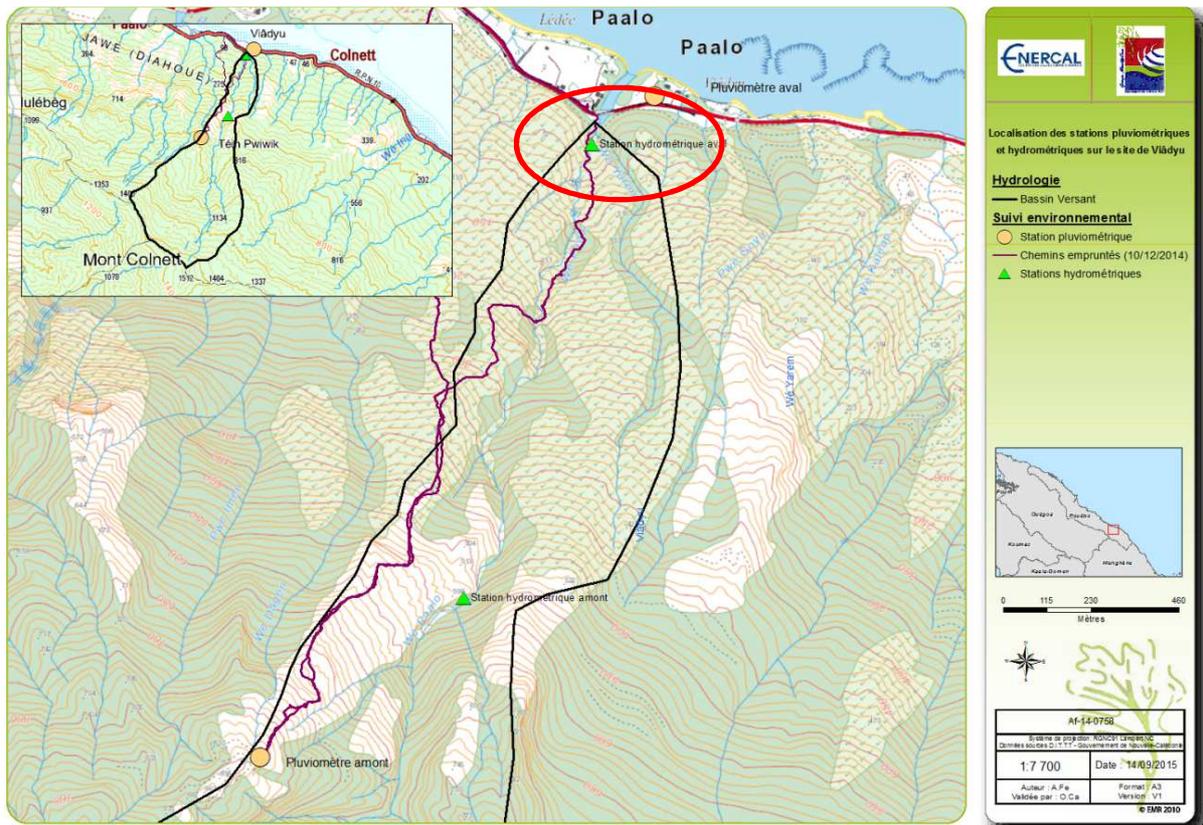


Figure 28 : emplacement de la station de jaugeage



Figure 29 : station de jaugeage, vue amont et aval (source EMR)



Figure 30 : vue de la sonde de mesure (source EMR)

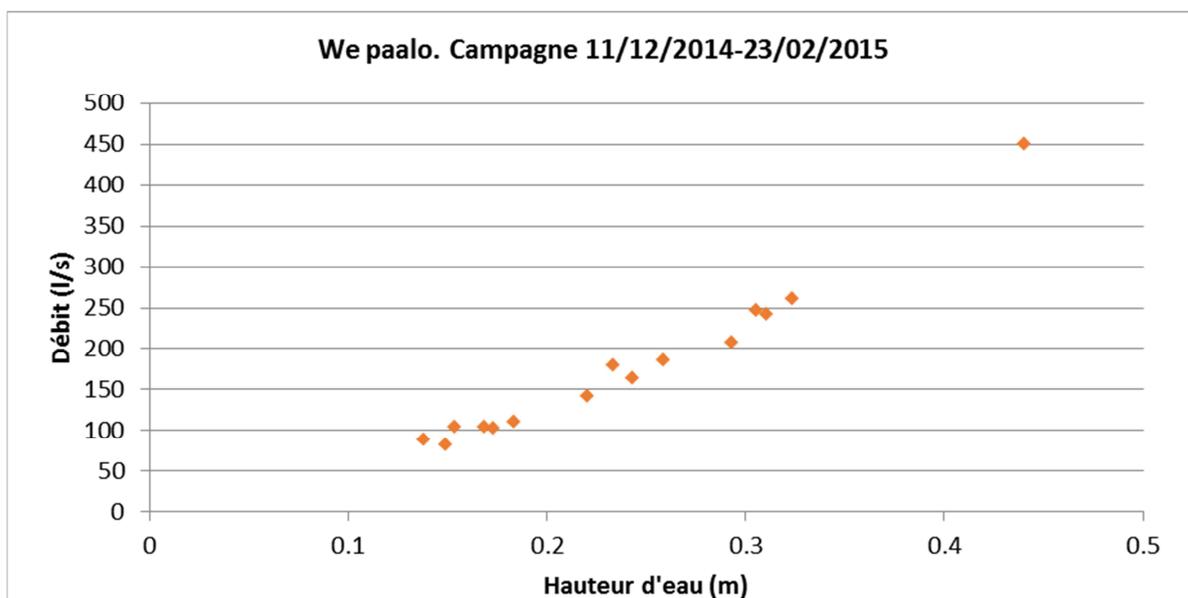


Figure 31 : Jaugeages aval à We Paalo, campagne 2015-2016

Les jaugeages présentent une courbe hauteur d'eau / débit exploitable jusqu'à 45 cm d'eau à l'échelle limnimétrique au droit de la section de jaugeage.

Les jaugeages ont été effectués au droit de la section de jaugeage utilisée pour les campagnes de 1980-1990. La superposition des campagnes ENERCAL et DAVAR est présentée ci-dessous.

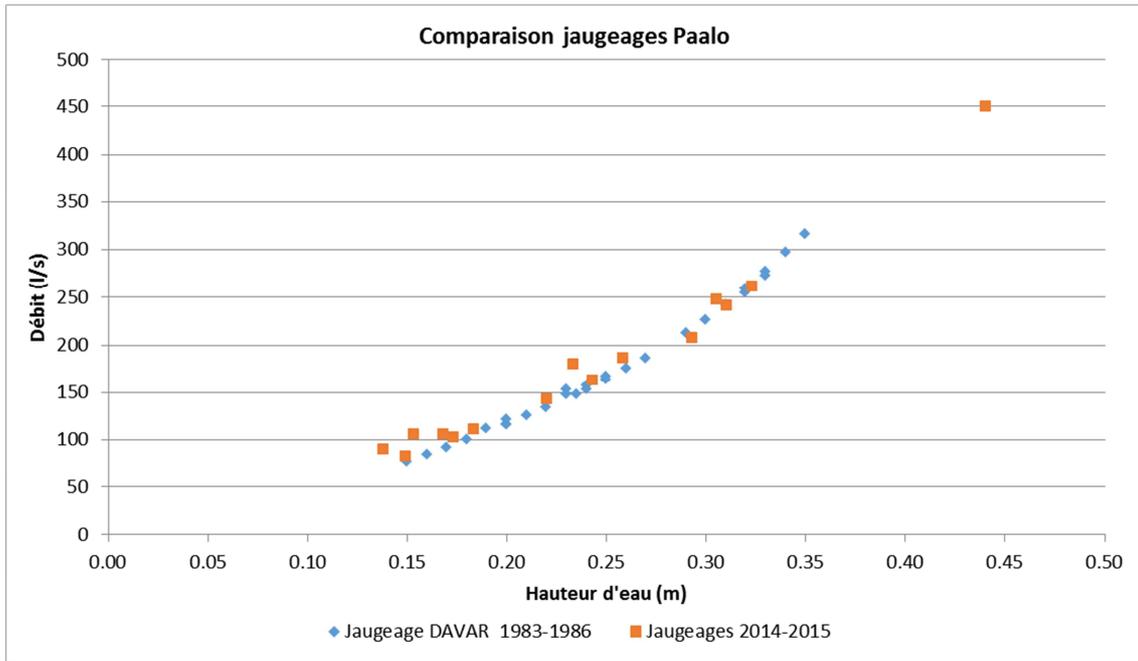


Figure 32 : Comparaison des jaugages ENERCAL et DAVAR

Il apparait que ces campagnes donnent des résultats très proches, en termes de relation hauteur d'eau/débit. Cela s'explique par l'emplacement du site de jaugeage identique à celui des campagnes antérieures, ainsi que par le substratum rocheux affleurant en fond de rivière qui assure une conservation du profil en travers à l'identique entre les campagnes.

La validité des mesures effectuées paraît donc acquise au moins pour les débits inférieurs à 350 l/s. Il réside cependant une forte incertitude sur les débits supérieurs à 350 l/s notamment jusqu'au débit d'équipement de 710 l/s (à la prise d'eau).

5.1.2.2 Jaugeages amont

Une seconde campagne de jaugeage a été menée au niveau de la prise d'eau du projet. Cette campagne a débuté en août 2015. Le bassin versant intercepté est de 3,88 km². Ce point n'est pas équipé de sonde de mesure en continu, seules des mesures ponctuelles ont été réalisées lors des visites sur site des équipes EMR.

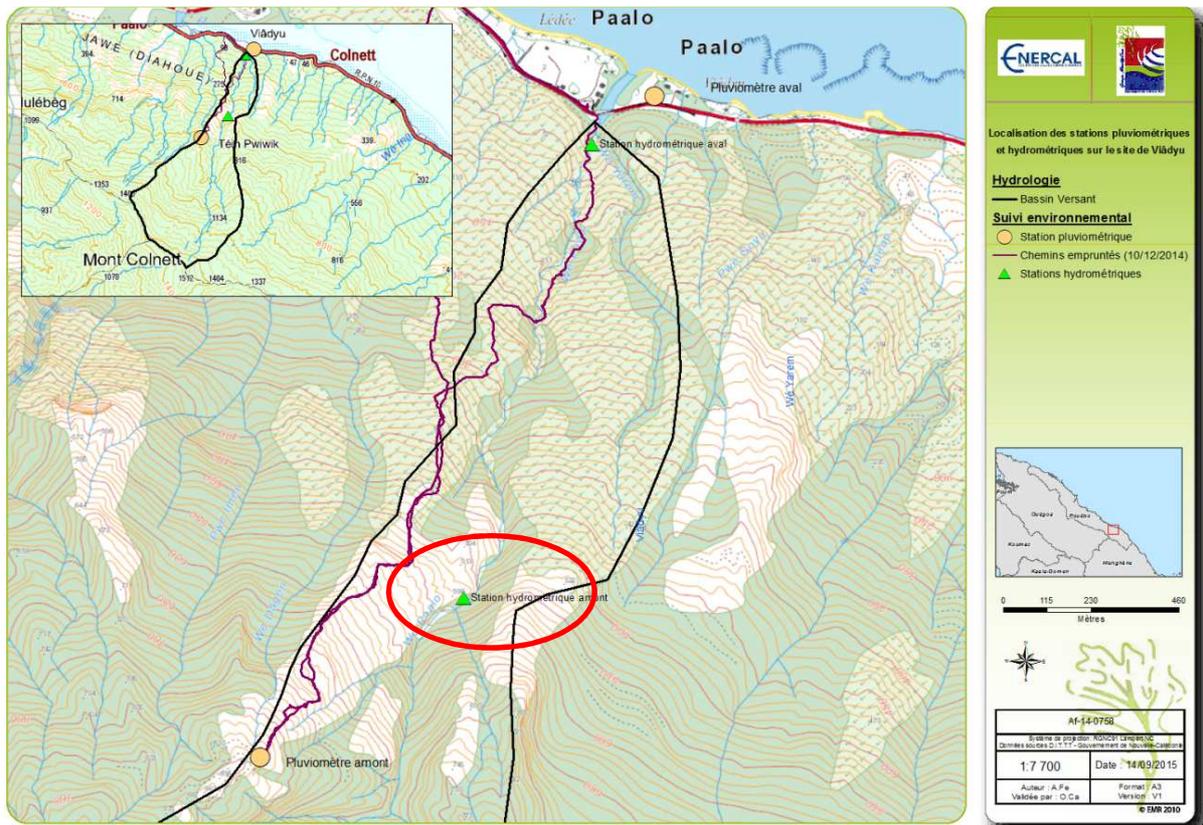


Figure 33 : Jaugeages amont à We Paalo, campagne 2015-2016 (source EMR)

Les données mesurées sont les suivantes :

Date	Heure	Débit (L/s)	Cond ($\mu\text{S/cm}$)	pH	T ($^{\circ}\text{C}$)	O2 (mg/L)	O2 (%)	Eh (mV)
18/08/2015	11:24	101	27.6	7.65	15.3	9.45	100.2	199.3
16/09/2015	11:08	98	28.7	7.52	16.2	9.36	101.6	174.0
21/10/2015	10:34	87	25.1	7.32	18.05	9.35	104.3	180.6
17/11/2015	11:04	70	12.37	7.26	18.9	9.21	105.1	189.4
07/12/2015	10:06	95	26.35	6.54	19.25	9.01	104.4	41.6
26/01/2016	09:45	111	27.7	7.04	19.68	9.06	105.6	154.4
23/02/2016	10:19	210	25.7	7.35	20.15	8.63	102.1	135.4

Tableau 11 : jaugeages amont effectués

EMR indique que la mesure de conductivité du 07/12/2015 est incorrecte et due à un problème de fonctionnement de l'électrode.

5.2 RECONSTITUTION DE LA COURBE DE TARAGE

Les jaugeages effectués dans le cadre de la mission ont été faits pour des débits inférieurs au débit d'équipement de l'usine : une très forte incertitude réside sur l'extrapolation de la courbe pour des débits plus forts.

L'objectif de cette partie est de reconstituer la courbe de tarage à l'aide du profil en travers de la section de jaugeage.

5.2.1 METHODE D'EXTRAPOLATION DE LA COURBE DE TARAGE

La courbe de tarage fournie par EMR est établie jusqu'à un débit de 450 l/s. Il s'en suit que l'extrapolation de la relation hauteur limnimétrique/débit au droit de la station de tarage n'est pas possible pour des débits de plus de 450 l/s, hors le débit d'équipement de la centrale est de 710 l/s.

Il est donc procédé à une extrapolation de la courbe de tarage de We Paalo selon la **méthode de la section mouillée et de la vitesse moyenne**. Cette méthode est réalisée en plusieurs étapes :

- 1- Calcul de la relation entre la surface mouillée et la hauteur d'eau du profil en travers au droit de la section de jaugeage ;
- 2- Attribution de la surface mouillée à chaque jaugeage effectué, ce qui permet de corriger les valeurs mesurées lors des jaugeages ;
- 3- Calcul de la relation vitesse – hauteur d'eau,
- 4- Extrapolation du débit pour les hauteurs d'eau jusqu'à 800 l/s environ.

5.2.2 RELATION ENTRE LA SURFACE MOUILLEE ET LA HAUTEUR D'EAU

La relation entre la hauteur d'eau et la surface mouillée est calculée. **Cette relation est connue et n'admet que les incertitudes liées au levé topographique du profil en travers réalisé par EMR en le 27/02/2015 avec une lunette de chantier et mire.**

A chaque jaugeage, EMR réalise un relevé bathymétrique de la section de jaugeage, les différentes courbes sont fournies sur la figure ci-dessous :

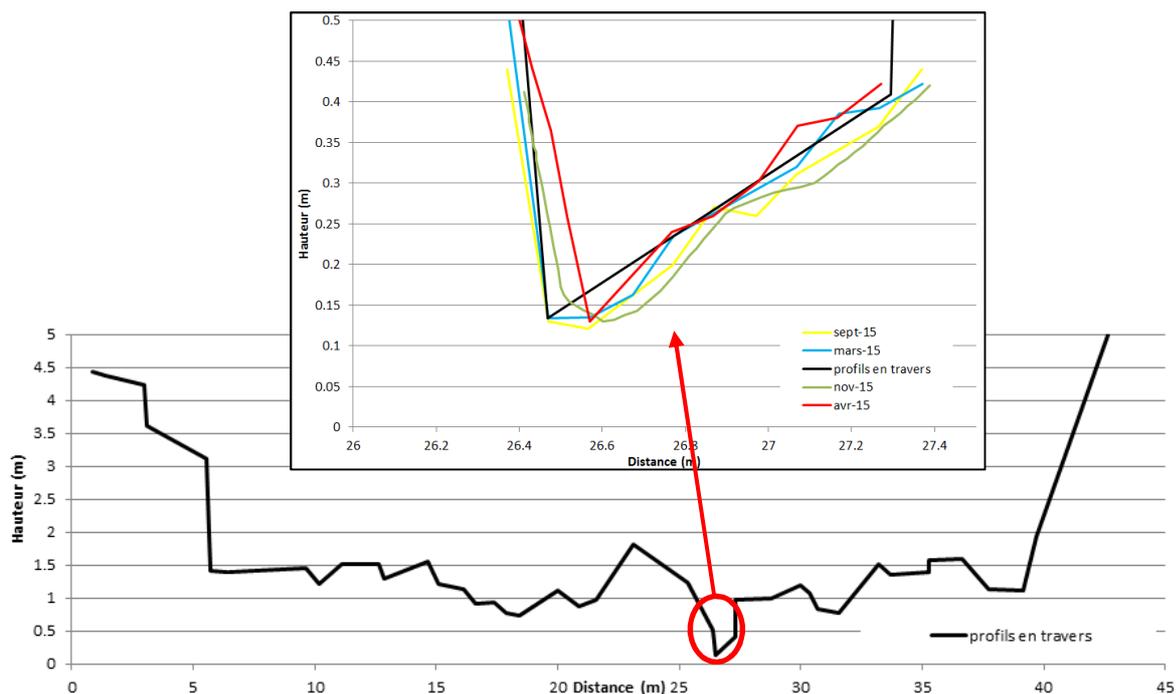


Figure 34 : Profil topographique de la section de jaugeage aval réalisé par EMR en février 2015



Figure 35 : Section de jaugeage aval – vue vers l’amont

Pour la suite de l’étude, il est considéré que le profil bleu est le plus représentatif de la section, en effet celui-ci semble être le plus précis. La section et le périmètre mouillés sont calculés pour ce profil à l’aide d’un modèle HEC-RAS simplifié.

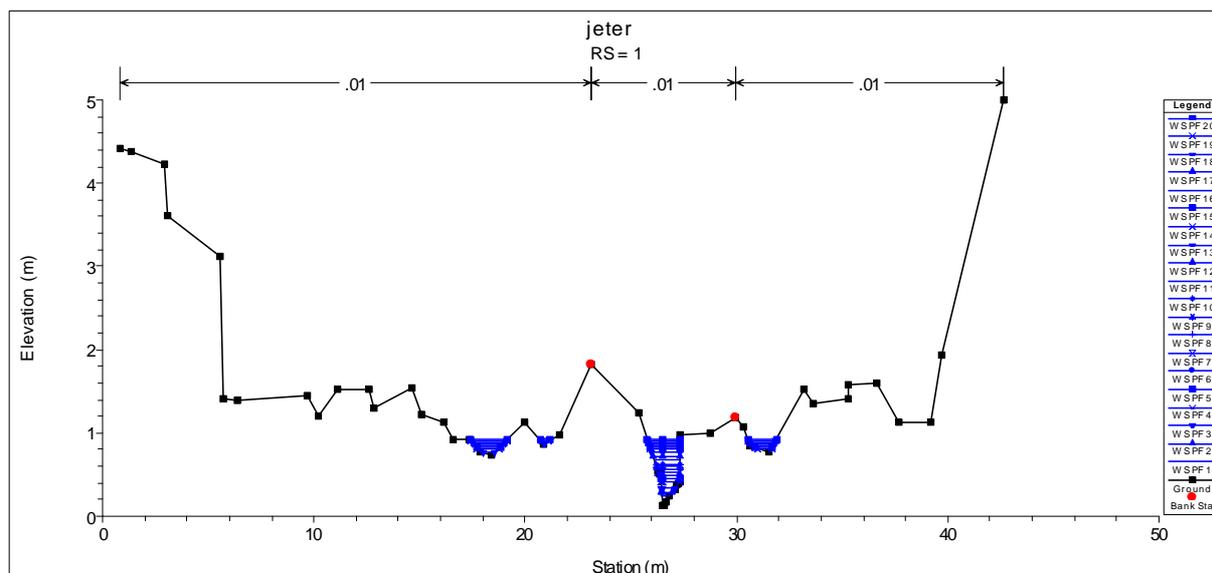


Figure 36 : Profil en travers sous HEC-RAS

Les graphiques suivants reprennent le calcul théorique réalisé par ISL (courbe bleue) et les points de mesures des jaugeages EMR (en vert). Une correction de 19 cm est apportée par rapport aux données brutes topographiques afin de se recalculer par rapport au zéro de l'échelle limnimétrique installée (coïncidence des jaugeages DAVAR et EMR, et coïncidence des mesures de surface et de périmètre mouillé réalisées lors des jaugeages EMR avec les données théoriques issues du profil en travers).

Les mesures des surfaces mouillées réalisées à chaque jaugeage présentent une bonne corrélation avec les valeurs calculées à partir du profil en travers topographique. Les différences s'expliquent par l'imprécision et la discrétisation des mesures lors des jaugeages.

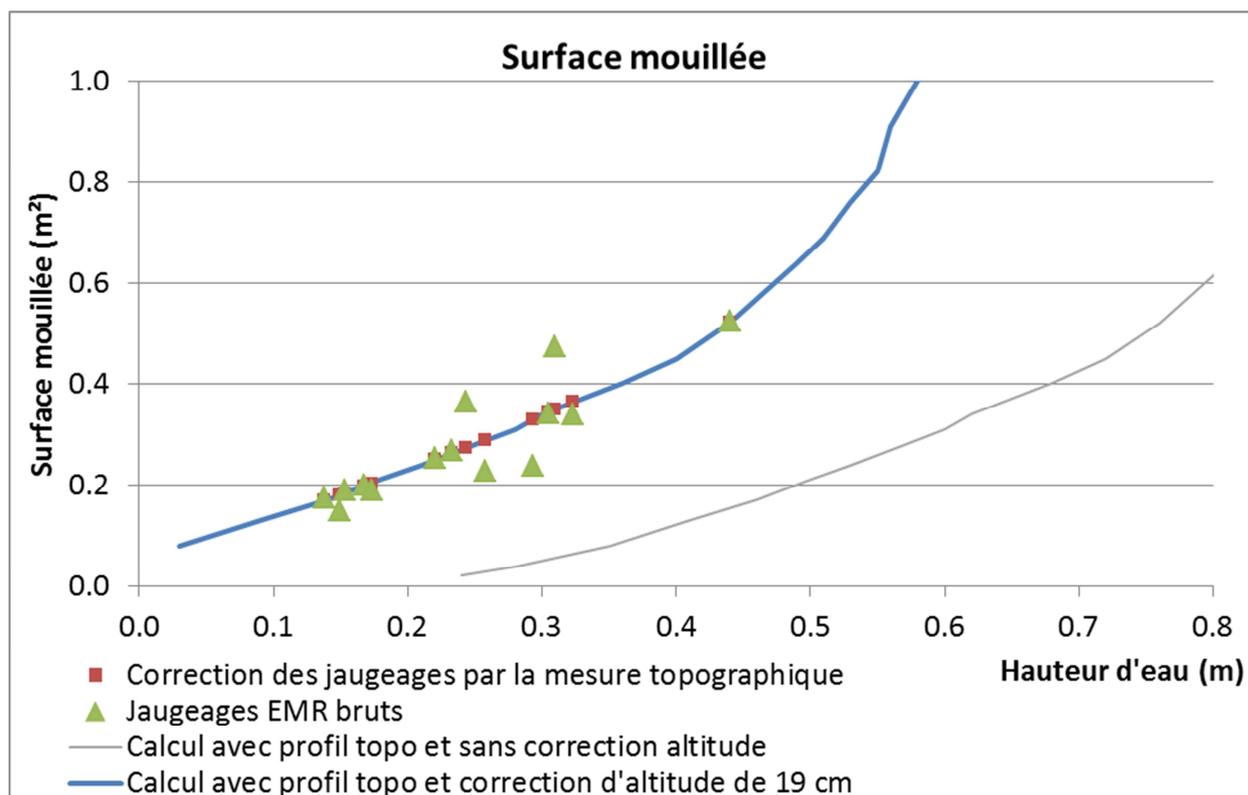


Figure 37 : Surface mouillée en fonction de la hauteur d'eau

Le périmètre mouillé présente une variation brusque due à la topographie accidentée du profil en travers, qui engendre des écoulements sur des chenaux latéraux augmentant brusquement et de manière conséquente le périmètre mouillé pour une hauteur d'eau sensiblement identique.

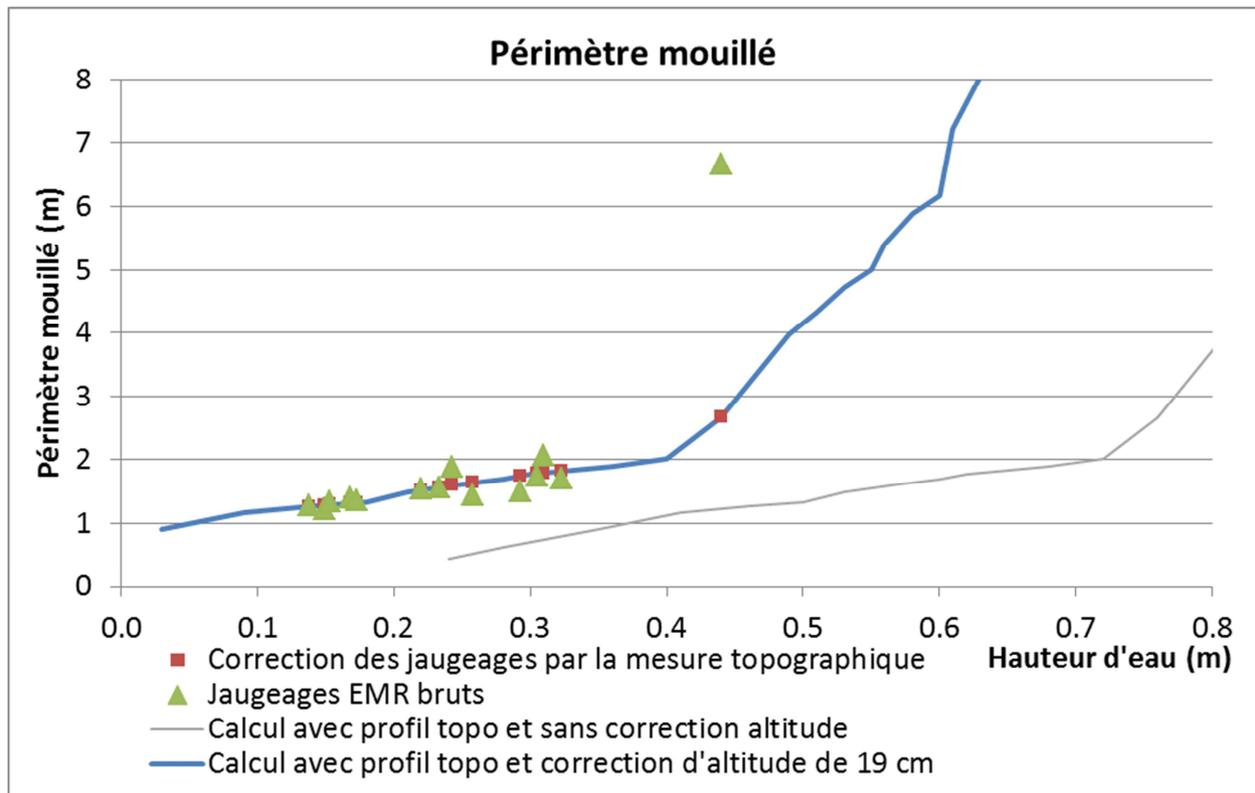


Figure 38 : Périmètre mouillé en fonction de la hauteur d'eau

5.2.3 CALCUL DE LA RELATION VITESSE – HAUTEUR D'EAU,

La vitesse est égale au rapport du débit par la surface mouillée, et la surface mouillée est liée à la hauteur d'eau par la courbe de tarage.

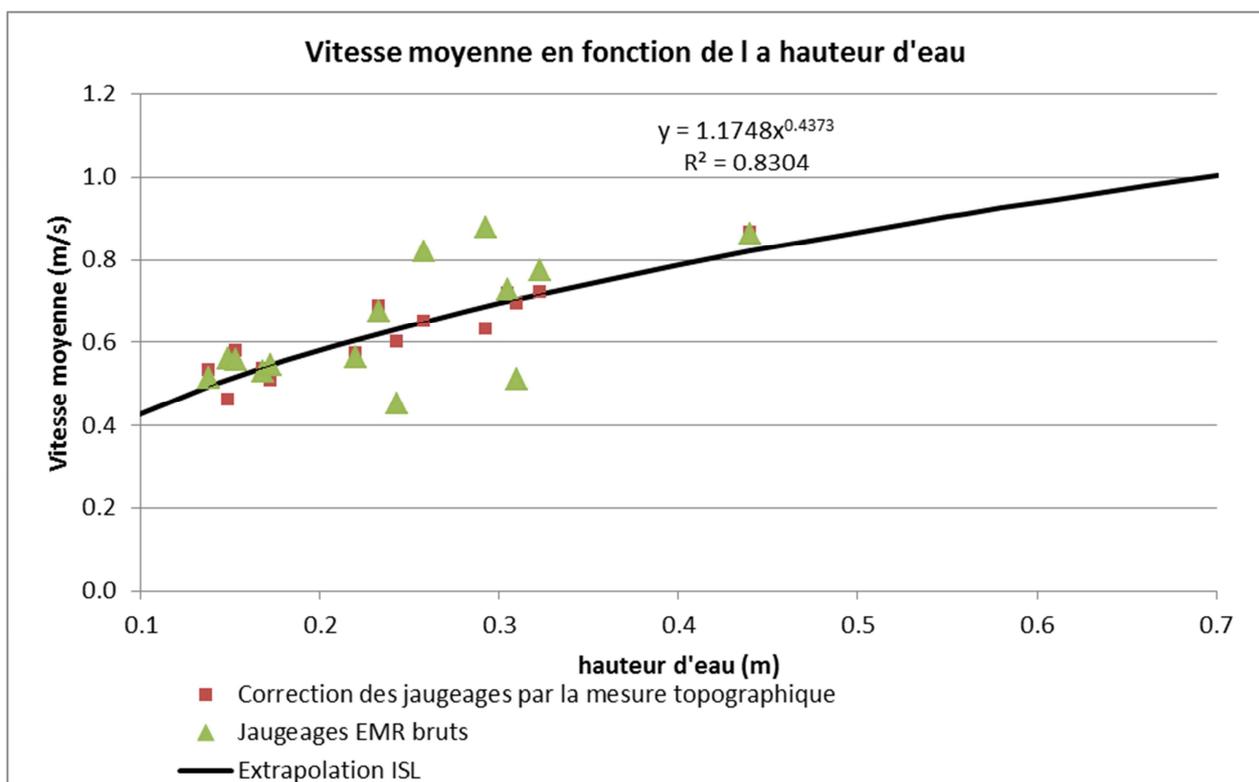


Figure 39 : Vitesse moyenne en fonction de la hauteur d'eau

L'extrapolation de la vitesse est donnée par la loi (en noir sur le graphique précédent) qui présente le meilleur ajustement de la vitesse moyenne corrigée à l'aide de la surface mouillée réelle. Il est supposé que l'écoulement suit une loi de la forme :

$$V = 1,1748 \times h^{0,4373}$$

Où h est la hauteur d'eau à l'échelle limnimétrique.

5.2.4 EXTRAPOLATION DU DEBIT POUR LES HAUTEURS D'EAU JUSQU'A 800 L/S ENVIRON.

Cette loi permet l'extrapolation de la vitesse moyenne pour des hauteurs suffisantes permettant d'atteindre le débit d'équipement de la future centrale. Le débit au droit de la section de jaugeage est alors déterminé par multiplication de la vitesse moyenne de la section avec la surface mouillée calculée sur la section de jaugeage :

$$Q = V_m \times S_m$$

Où,

- V_m est la vitesse moyenne de l'eau ;
- S_m est la surface mouillée de la section.

Finalement, la courbe de tarage au droit de la section aval de jaugeage est la suivante :

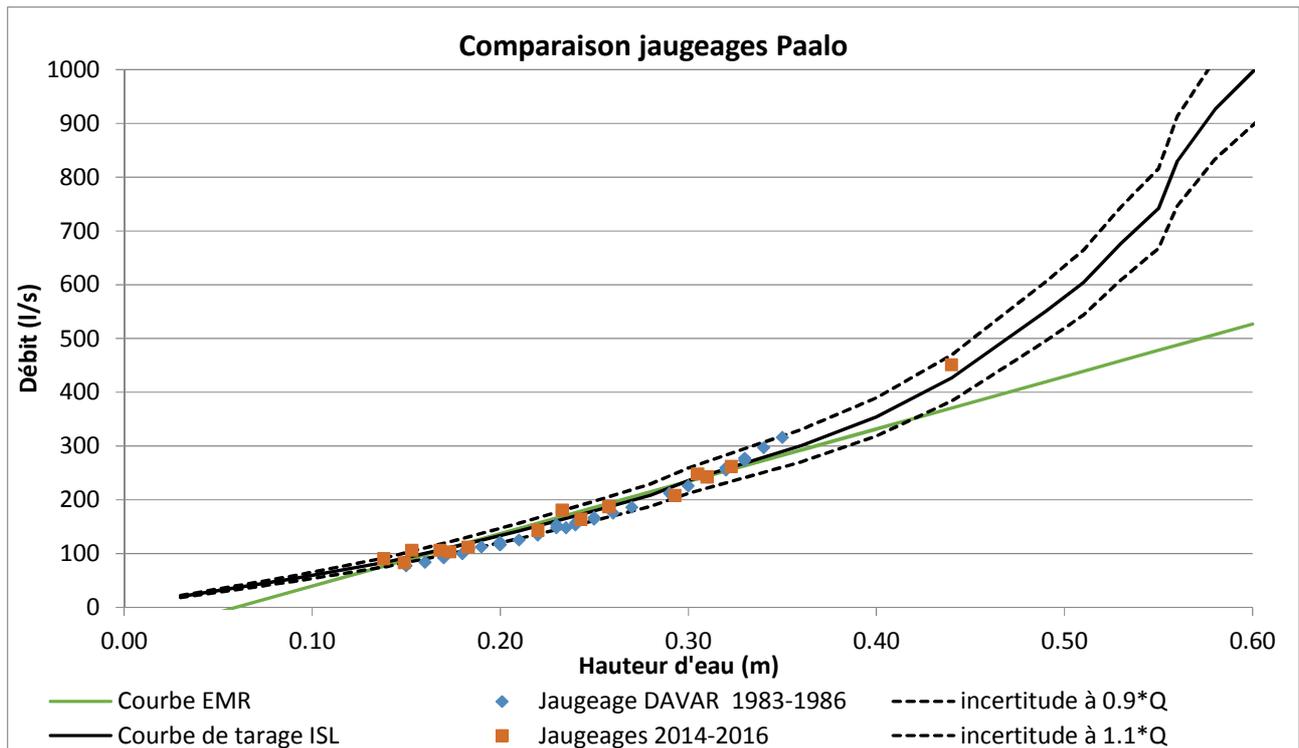


Figure 40 : Extrapolation de la courbe de tarage

L'établissement de cette courbe de tarage est basé sur le levé topographique de la section de jaugeage effectué par EMR lors de la campagne de jaugeage de 2015-2016.

Les courbes de tarage avec +/- 10 % de débit sont également tracées sur le graphique précédent.

Les valeurs numériques sont fournies dans le tableau ci-dessous :

Hauteur d'eau au droit de la section de jaugeage aval (m)	Débit issu de la courbe de tarage reconstituée (l/s)
0,03	20
0,09	53
0,14	85
0,18	117
0,21	142
0,25	179
0,28	209
0,30	236
0,36	301
0,40	354
0,44	427
0,49	550
0,51	604
0,53	676
0,55	742
0,56	830
0,58	926
0,60	996
0,61	1060
0,66	1469
0,69	1708
0,70	1799

Tableau 12 : Courbe de tarage - valeurs numériques

Un point de jaugeage pour des débits de l'ordre de 700 l/s permettrait d'affiner cette courbe et par conséquent les débits turbinables et le productible du projet.

5.3 RECONSTITUTION DE LA CHRONIQUE DE DEBIT AU DROIT DE LA SECTION DE JAUGEAGE

La chronique de débit est ainsi reconstituée à l'aide de la loi présentée précédemment.

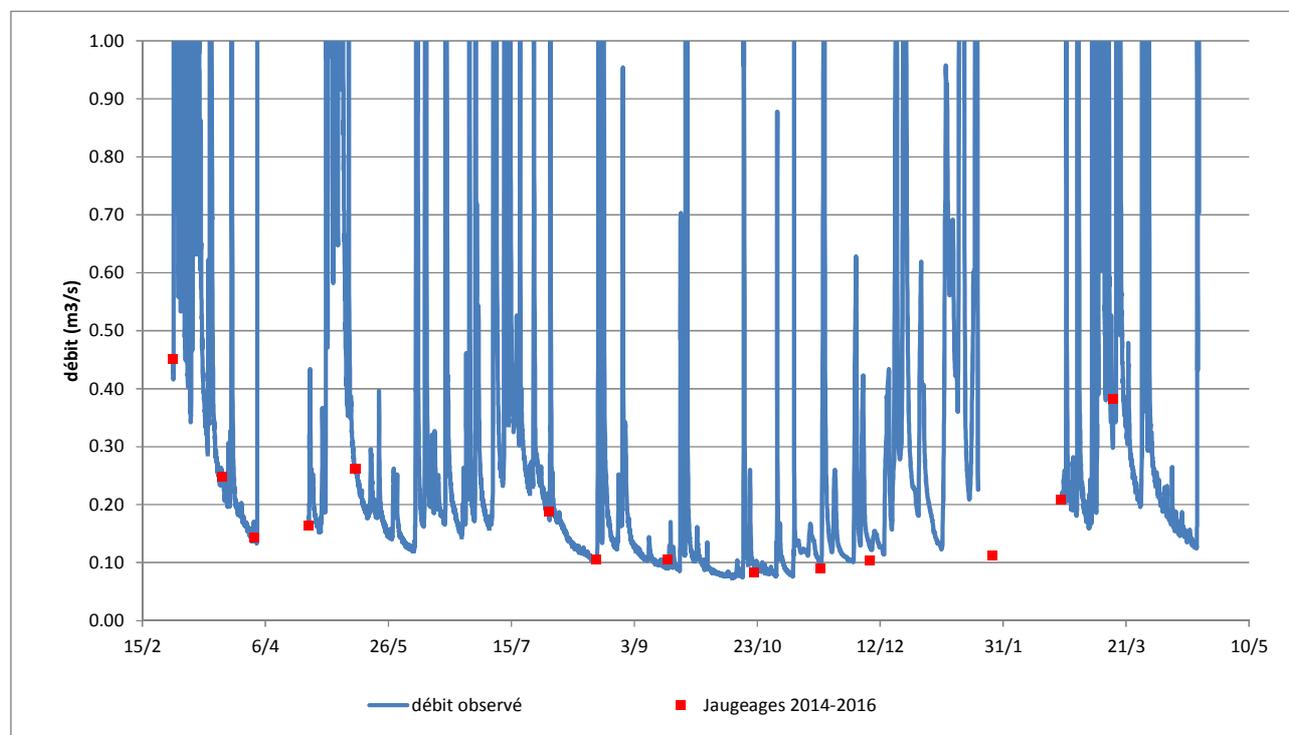


Figure 41 : Chronique de débits reconstitués à la station de jaugeage

5.4 RELATION ENTRE LES DEBITS AMONT ET AVAL

5.4.1 SUPERFICIE DES BASSINS VERSANTS

Le bassin versant intercepté au niveau du jaugeage amont est de 3,88 km², tandis que le bassin versant intercepté au niveau du jaugeage aval est d'environ 4,37 km². Si l'on considère les débits courants proportionnels à la surface du bassin versant, **le débit amont est alors égal à 89 % du débit aval.**

Cette relation est valable si la répartition des pluies est homogène sur le bassin versant, et s'il n'y a pas de perte ou d'arrivée d'eau par infiltration.

Des jaugeages ont été réalisés en amont en parallèle de la campagne de jaugeage aval. La comparaison de ces mesures doit permettre d'identifier l'écart réel entre les débits amont et aval.

5.4.2 JAUGEAGES AMONT ET AVAL

Les jaugeages effectués en amont (prise d'eau) et en aval (usine) du cours d'eau présente des décalages temporels de 2 à 6 h, trop importants pour être directement comparés, comme le montrent les tableaux suivant.

Le premier tableau compare les jaugeages amont et aval effectués par EMR, aux heures exactes des mesures.

Jaugeage ponctuel amont			Jaugeage ponctuel aval			Ecart de temps
Date	Heure	Débit (L/s)	Date	Heure	Débit (L/s)	(heures)
18/08/2015	11:24	101	18/08/2015	14:07	106	02:43
16/09/2015	11:08	98	16/09/2015	14:48	106	03:40
21/10/2015	10:34	87	21/10/2015	13:52	83	03:18
17/11/2015	11:04	70	17/11/2015	15:04	90	04:00
07/12/2015	10:06	95	07/12/2015	15:34	103	05:28
26/01/2016	09:45	111	26/01/2016	13:06	112	03:21
23/02/2016	10:19	210	23/02/2016	14:52	208	04:33

Tableau 13 : Comparaison des jaugeages amont et aval bruts

Le tableau suivant présente les mesures amont comparées aux mesures aval au même instant (le temps de propagation entre l'amont et l'aval de l'ordre de quelques minutes n'est pas pris en compte). Il apparaît que les débits aval diffèrent sensiblement des débits aval du tableau précédent. Cela s'explique par des écarts temporels de l'ordre de 4 à 12 fois le temps de concentration du bassin.

Il paraît donc raisonnable de rapporter les jaugeages amont aux mesures en continu du limnimètre aval au même instant temporel.

Jaugeage ponctuel amont			Jaugeage aval mesure en continu			Ratio
Date	Heure	Débit (L/s)	Date	Heure	Débit (L/s)	
18/08/2015	11:24	101	18/08/2015	11:23	109	93%
16/09/2015	11:08	98	16/09/2015	11:10	98	100%
21/10/2015	10:34	87	21/10/2015	10:35	97	89%
17/11/2015	11:04	70	17/11/2015	11:05	81	86%
07/12/2015	10:06	95	07/12/2015	10:05	123	77%
26/01/2016	09:45	111	Sonde défectueuse			
23/02/2016	10:19	210	Attente dernières données			
Ratio moyen =						89%

Tableau 14 : Comparaison des jaugeages amont (bruts) et aval (issus de la sonde limnimétrique)

Compte-tenu de la sonde défectueuse, seuls 5 jaugeages peuvent être comparés lors de la rédaction du présent rapport. Les débits de la mesure en continu du limnimètre aval sont calculés à l'aide de la courbe de tarage déterminée précédemment.

Les jaugeages effectués sur la partie amont au niveau de la prise d'eau de la future centrale indiquent des débits inférieurs aux débits mesurés à la même date (minutes) à l'aval compris entre 77% et 100 % des débits aval. **La moyenne des ratios entre débits amont et débit aval est égale à 89%, comme le ratio entre les surfaces de bassin versants.**

La figure suivante présente cette comparaison de débits ; la courbe verte correspondant au ratio de 89% entre les superficies de bassin versant.

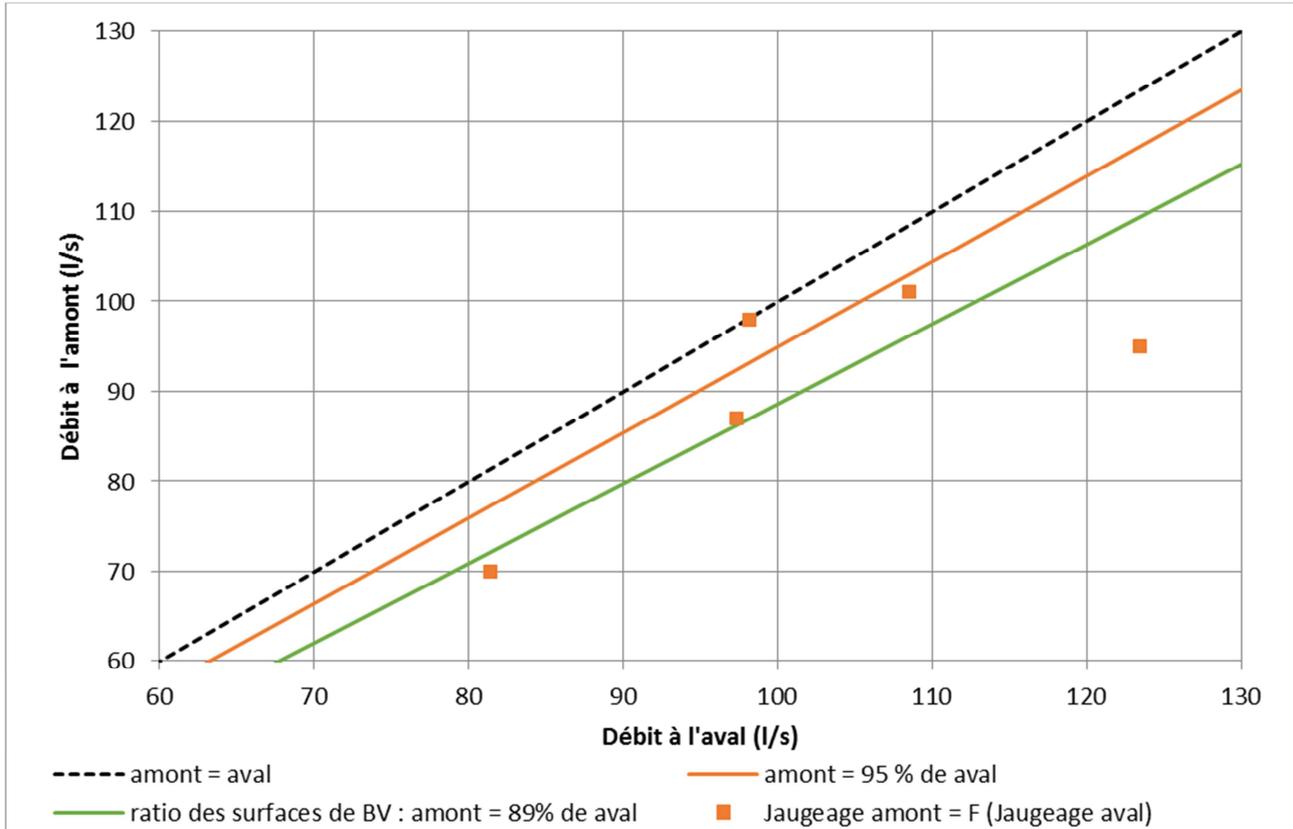


Figure 42 : Comparaison des jaugeages à l'amont (bruts) et à l'aval (issus de la sonde limnimétrique)

Il est proposé de retenir un ratio de débit de 89 % entre l'amont et l'aval (ratio des bassins versants et comparaison des jaugeages amont et aval). Cette valeur sera confirmée avec des jaugeages supplémentaires lors de la poursuite des mesures.

6 MODELE HYDROLOGIQUE

6.1 PRESENTATION DU MODELE PLUIE DEBIT UTILISE

Un modèle hydrologique de type GR4 horaire est construit pour le bassin versant de la Paolo. Les données d'entrées du modèle sont :

- Surface du bassin versant en kilomètre carré au droit de la station de jaugeage aval ;
- Pluviométrie au pas de temps horaire à Galarino diminuée d'un coefficient 0,9 ;
- ETP à Poindimié ;
- Chronique de débit observée reconstituée au droit de la station de jaugeage aval ;
- Paramètre A, B, C et D du modèle GR4 défini comme suit :
 - o A : capacité du réservoir de production (mm)
 - o B : capacité à un jour du réservoir de routage (mm)
 - o C : temps de base de l'hydrogramme unitaire HU1 (h)
 - o D : coefficient d'échanges souterrains (mm)

La figure ci-après représente de manière simplifiée le fonctionnement d'un modèle de type GR4.

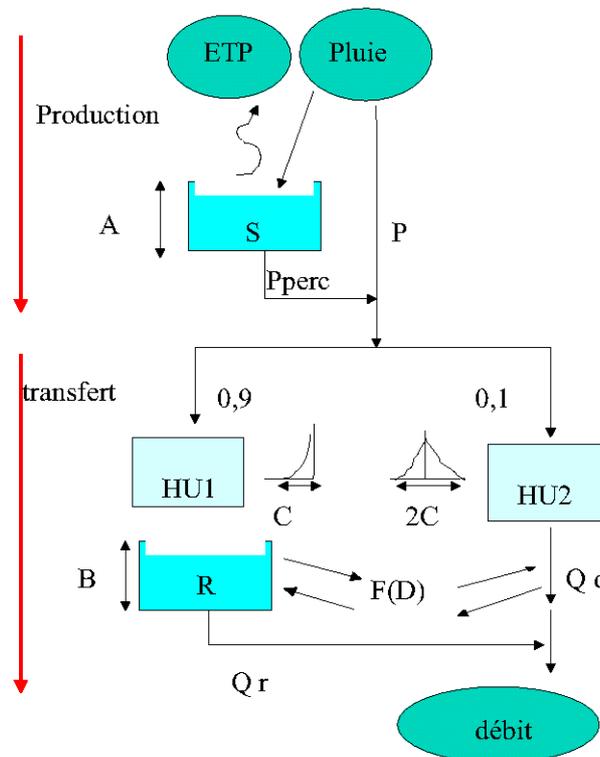


Figure 43 : modèle pluie débit GR4

Les 4 paramètres du modèles sonty définis comme suit :

- A : défini par calage du modèle ;
- B : défini par calage du modèle ;
- C : défini à partir du temps de concentration du bassin versant et pris égal à 1 h pour la We Paolo ;
- D : pris égal à zéro dans l'hypothèse d'absence d'écoulement souterrain.

Seuls les paramètres A et B sont donc des variables d'ajustements pour caler le modèle sur la chronique de débit observé.

6.2 CALAGE DU MODELE SUR L'ANNEE 2015

Le modèle pluie débit est calé sur la seule année de mesure en continu des débits de la We Paalo, l'année 2015. Les débits nous intéressant pour la production d'énergie étant inférieurs à 800 l/s et l'incertitude sur la courbe de tarage pour les débits supérieurs étant forte, il est retenu d'effectuer le calage pour les débits inférieurs à 800 l/s sur la période du 27/02/2015 au 09/11/2016, date à partir de laquelle la sonde semble défaillant (voir explication plus loin)..

Le calage est effectué suivant les méthodes suivantes :

- Comparaisons des cumuls de débits sur la période de calage considérée ;
- Comparaisons des moyennes glissantes des débits sur 10 jours ;

Les débits supérieurs à 800 l/s sont systématiquement bornés à 800 l/s pour les chroniques observées et simulées.

Les paramètres utilisés sont : $A = 1000$ et $B = 70$.

Les résultats du calage sont présentés ci-dessous :

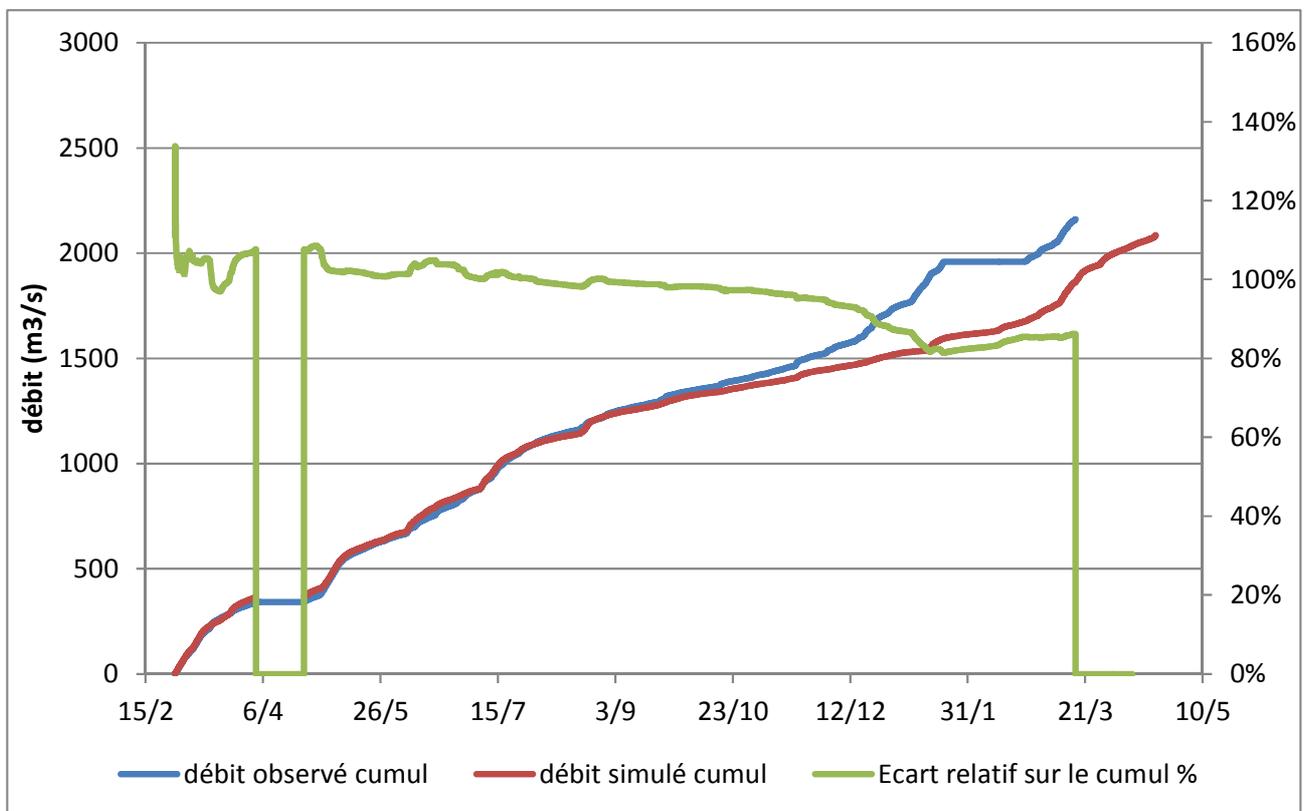


Figure 44 : cumuls observés et simulés par le modèle pluie débit GR4

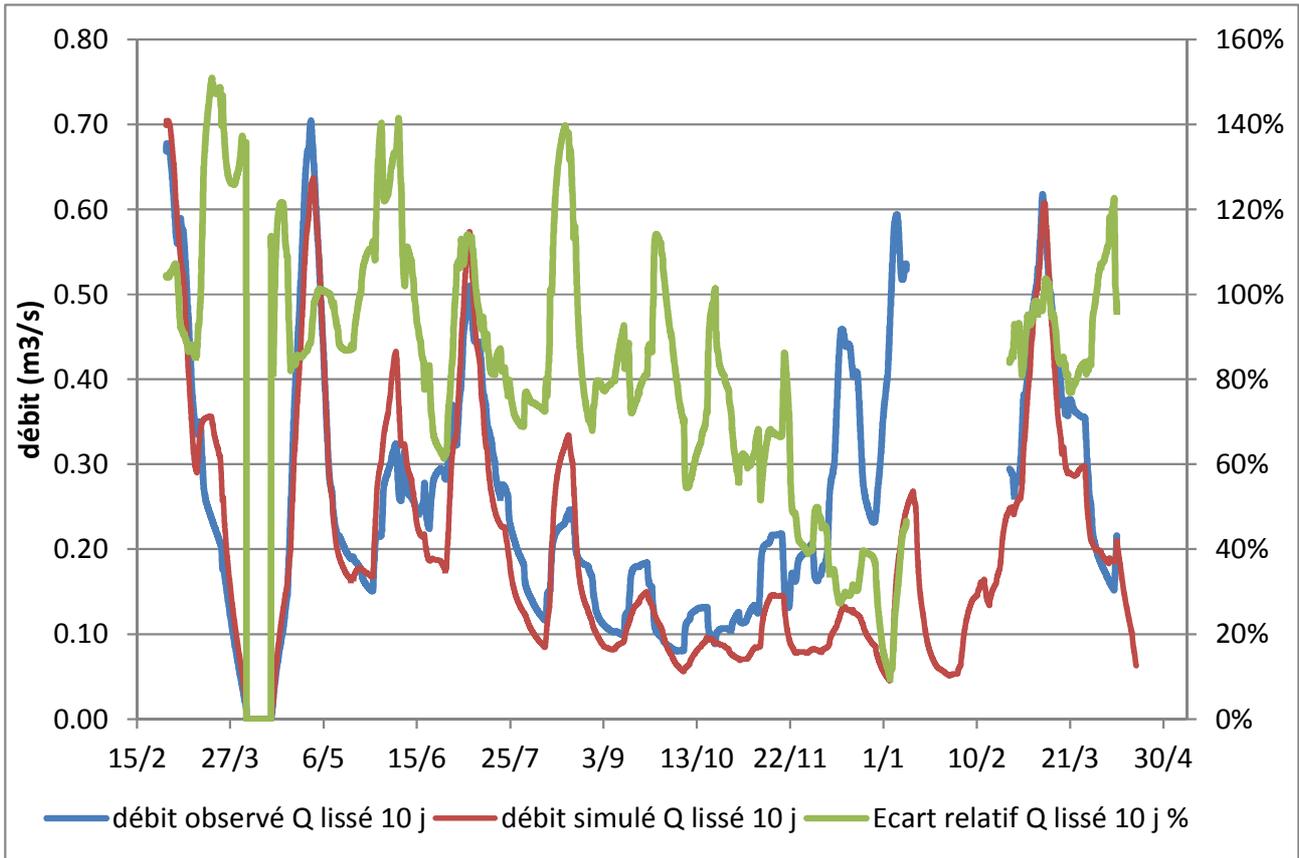


Figure 45 : débits lissés sur 10 jours observés et simulés par le modèle pluie débit GR4

Le modèle présente un calage satisfaisant du début de la chronique à octobre 2015. À compter de fin octobre 2015, et jusqu'à début mars 2016, le modèle sous-estime largement les débits observés.

Une défaillance du capteur d'enregistrement est suspectée. Les oscillations périodiques de la chronique du limnimètre apparaissent à partir du 01/11/2015 et s'amplifient fortement à partir du 01/01/2016.

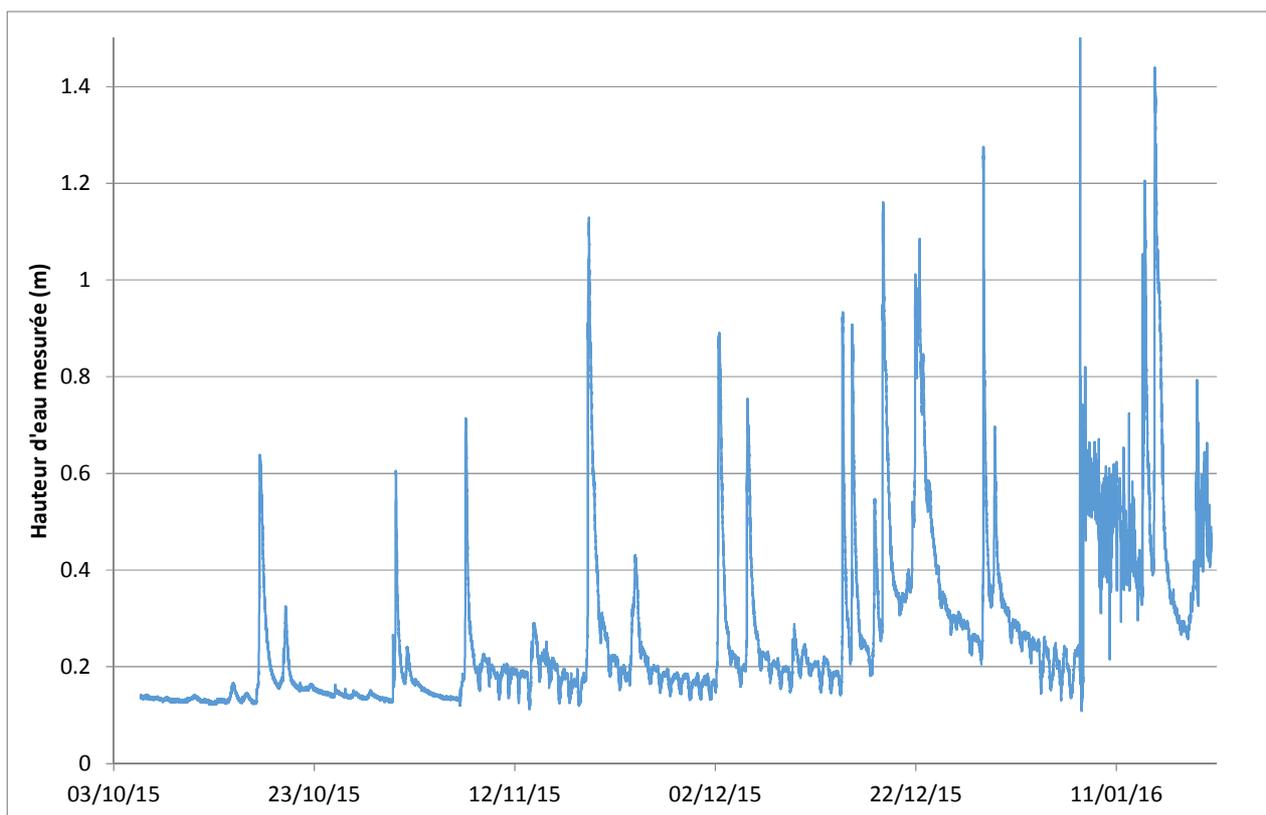


Figure 46 : donnée brute du capteur limnimétrique

Les résultats confirment l'hypothèse d'une défaillance de la sonde limnimétrique à partir de novembre 2015. En effet les débits simulés et observés lissés sur 10 jours sont à nouveau très proches à compter de la date de mise en service de la nouvelle sonde de mesure, comme le montre la Figure 45.

Cela est également conforté par la comparaison de la chronique de débits (calculés à partir de la sonde limnimétrique d'EMR et de la courbe de tarage établie par ISL) avec les jaugeages ponctuels EMR, en rouge dans le graphique ci-dessous. On observe de novembre à janvier un écart de plus en plus prononcé entre les jaugeages et la chronique de débit. Cet écart est subitement proche de zéro après installation de la nouvelle sonde par EMR.

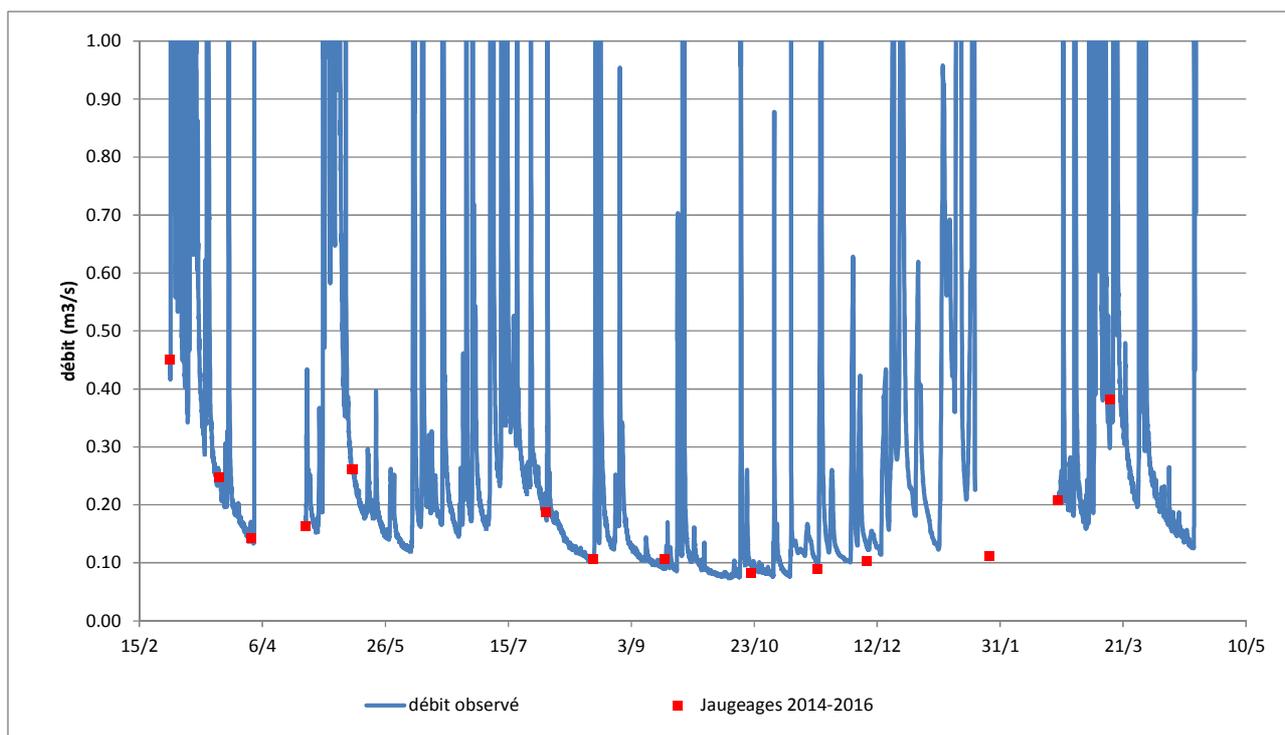


Figure 47 : Chronique de débits reconstitués à la station de jaugeage

La chronique des débits simulés sur la période 2010-2016 est présenté ci-dessous en volume mensuel ruisselé pour les années 2010 à 2016.

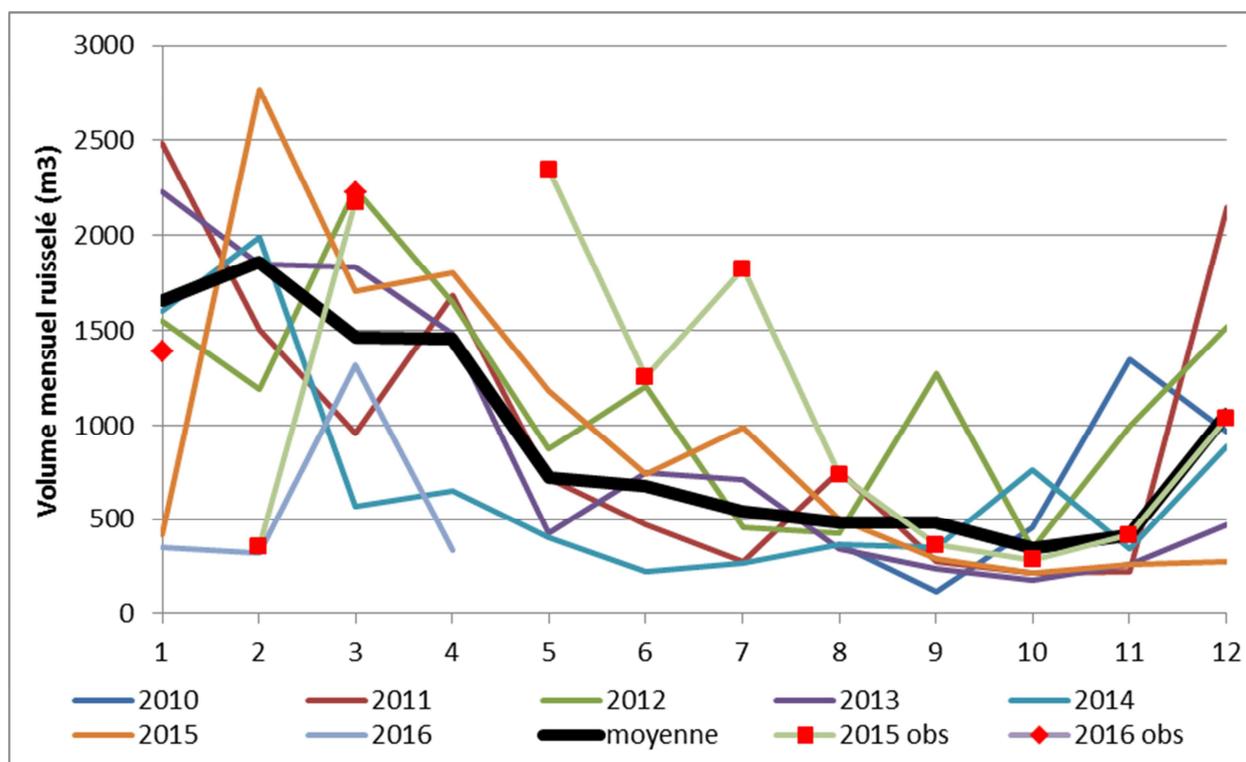
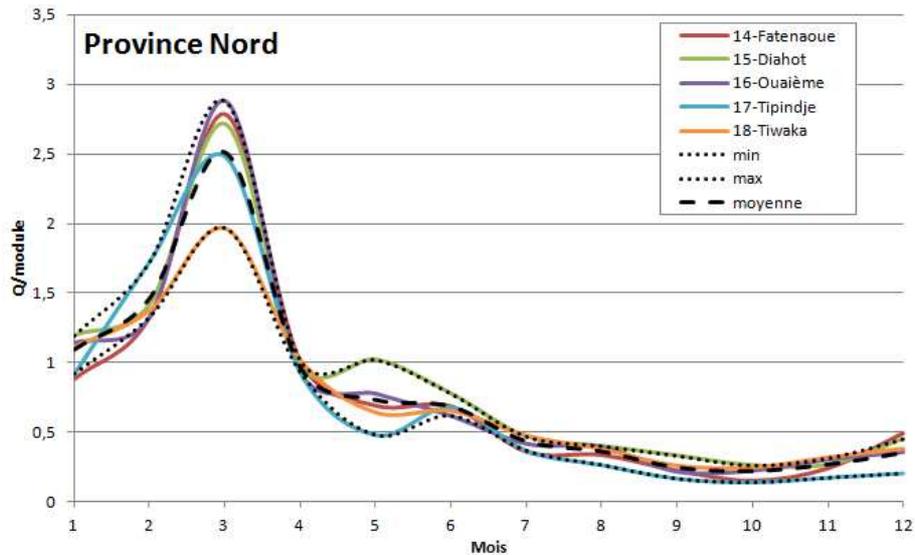


Figure 48 : volumes mensuels ruisselés pour les années 2010 à 2016 simulés par le modèle GR4

La lecture de ce graphique met en évidence les points suivants :

- La forme générale des courbes est conforme aux courbes moyennes de la province Nord, avec toutefois une avance d'environ 1 mois sur les hautes eaux ;



- L'année 2015 est proche de la moyenne jusqu'au mois de août où les débits sont nettement inférieurs à la moyenne, encore plus marqué sur les 2 premiers mois de 2016, janvier et février où les débits simulés sont inférieurs aux débits moyens sur les mois les plus secs
- La présence du phénomène « El Nino » fortement marqué fin 2015 début 2016 engendre une année de mesure « biaisée » par rapport aux années moyennes précédemment enregistrée.
- Les débits observés en 2015 présentent des cumuls importants, la courbe de tarage utilisée devant probablement surestimer les forts débits (pas de point de calage pour les hautes eaux) ;

Le calage du modèle apparaît donc satisfaisant :

- Le calage est bon sur les mois de février à septembre 2015 en cumul et en moyenne sur 10 jours, pour les débits inférieurs à 800 l/s ;
- La chronique longue présente des volumes ruisselés en accord avec la forme générale des courbes similaires en province Nord ;
- Les paramètres du modèle GR4 permettant de reproduire les débits observés sont réalistes (A=1000 et B=70) ;

Ce modèle peut donc être utilisé pour calculer le productible de la centrale hydroélectrique.

7 ANALYSE DES DEBITS D'ETIAGE

Les débits d'étiages caractéristiques sont les suivants :

- DCE : débit dépassé 355 jours par an,
- DCE(2) : débit de période de retour 2 ans.

Le débit réservé est fixé en première approche à 50% du DCE(2). ¹Les valeurs caractéristiques des débits à la station de jaugeage sont les suivantes :

	Débit moyen	Débit médian	DCE (355j)
Station limnimétrique (27/02/2015-20/01/2016)	0,510 m3/s	0,178 m3/s	0,080 m3/s
Modèle hydrologique 2011	0,371 m3/s	0,178 m3/s	0,053 m3/s
Modèle hydrologique 2012	0,434 m3/s	0,244 m3/s	0,080 m3/s
Modèle hydrologique 2013	0,341 m3/s	0,158 m3/s	0,045 m3/s
Modèle hydrologique 2014	0,266 m3/s	0,136 m3/s	0,045 m3/s
Modèle hydrologique 2015	0,353 m3/s	0,164 m3/s	0,051 m3/s
Modèle hydrologique, moyenne des années 2011-2015	0,353 m3/s	0,176 m3/s	0,055 m3/s

Tableau 15 : Débits caractéristiques d'étiage

La valeur du débit moyen sur l'année d'observation à la station de jaugeage est élevée, ce qui confirme l'hypothèse que la courbe de tarage surestime les débits en hautes eaux.

Les débits médians sont relativement homogènes d'une année à l'autre.

Les DCE calculés annuellement présentent une variabilité assez faible exceptée pour l'année 2012 où l'étiage est nettement plus fort. Au regard de ces différentes années, l'année de mesure 2015 semble être une année moyenne.

Un ajustement statistique est mené sur les 5 valeurs de DCE de 2011 à 2015 selon la loi log-normale, couramment utilisée pour caractériser les étiages. Cette loi est la suivante :

$$F(Q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \beta} \int_{-\infty}^Q \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\log t - \alpha}{\beta} \right)^2 \right] \cdot dt$$

Où :

- F(Q) est la fonction de répartition de la loi Log Normale ;
- Alpha et bêta sont les paramètres de la loi.

¹ L'arrêté du gouvernement de la Nouvelle-Calédonie qui fixera les modalités de calcul du débit minimum n'est pas encore paru au jour de rédaction de ce rapport.

L'ajustement est présenté ci-dessous :

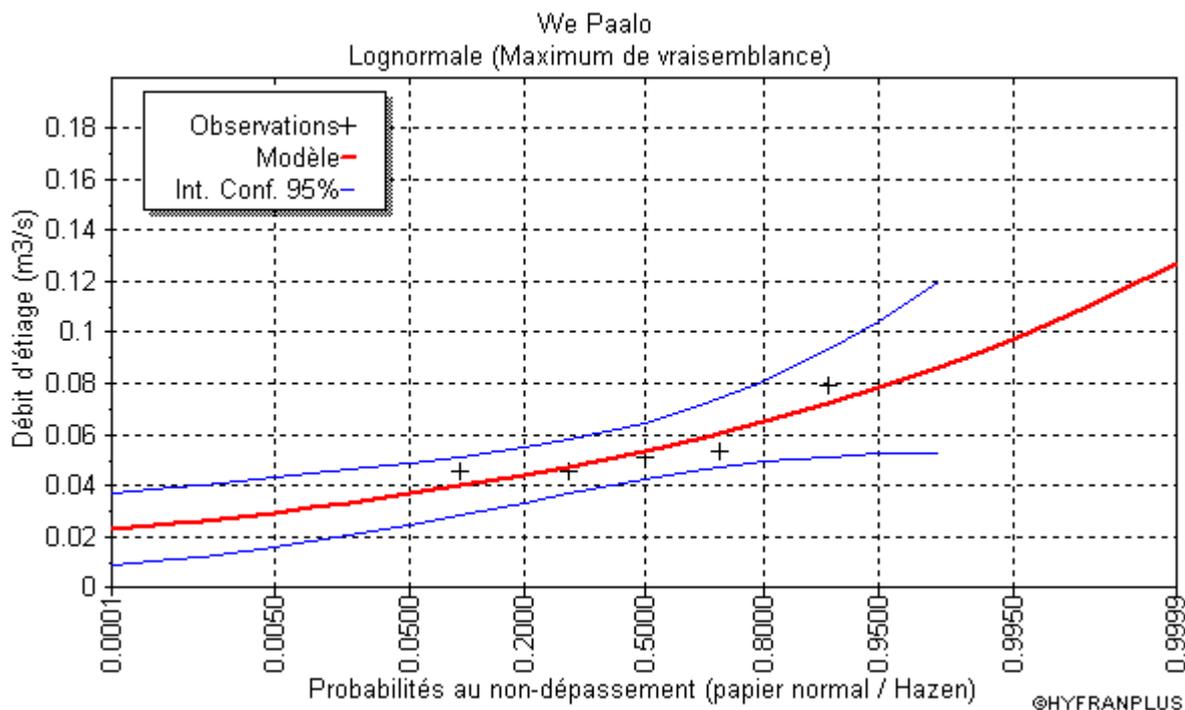


Figure 49 : ajustement statistique de débit caractéristique d'étiage sur 5 années

Les paramètres de l'ajustement sont $\alpha = -2,93$ et $\beta = 0,233$

Les quantiles calculés par cet ajustement sont les suivants :

T = 1/q (ans)	q = probabilité au non dépassement	Débit (m3/s)	Ecart-type (m3/s)
100	0,01	0,031	0,0068
10	0,1	0,040	0,0059
5	0,2	0,044	0,0055
3,3	0,3	0,047	0,0053
2	0,5	0,054	0,0056
1,5	0,6667	0,059	0,0065
1,0001	0,9999	0,127	0,0410

Tableau 16 : quantiles débit d'étiage de la We Paolo

Le DCE(2) est évalué à 0,054 m3/s par cette méthode, soit 12,2 l/s/km² pour un bassin versant de 4,37 km² à l'usine.

La figure suivante présente la variabilité du débit caractéristique d'étiage médian en Nouvelle Calédonie. Il s'agit d'une carte de synthèse d'une étude sur les étiages menée par DAVAR\SESERIORE en 2008. La région de Paolo présente d'après cette carte un DCE(2) de débit spécifique compris entre 2 et plus de 10 l/s/km², en accord avec la valeur calculée précédemment.

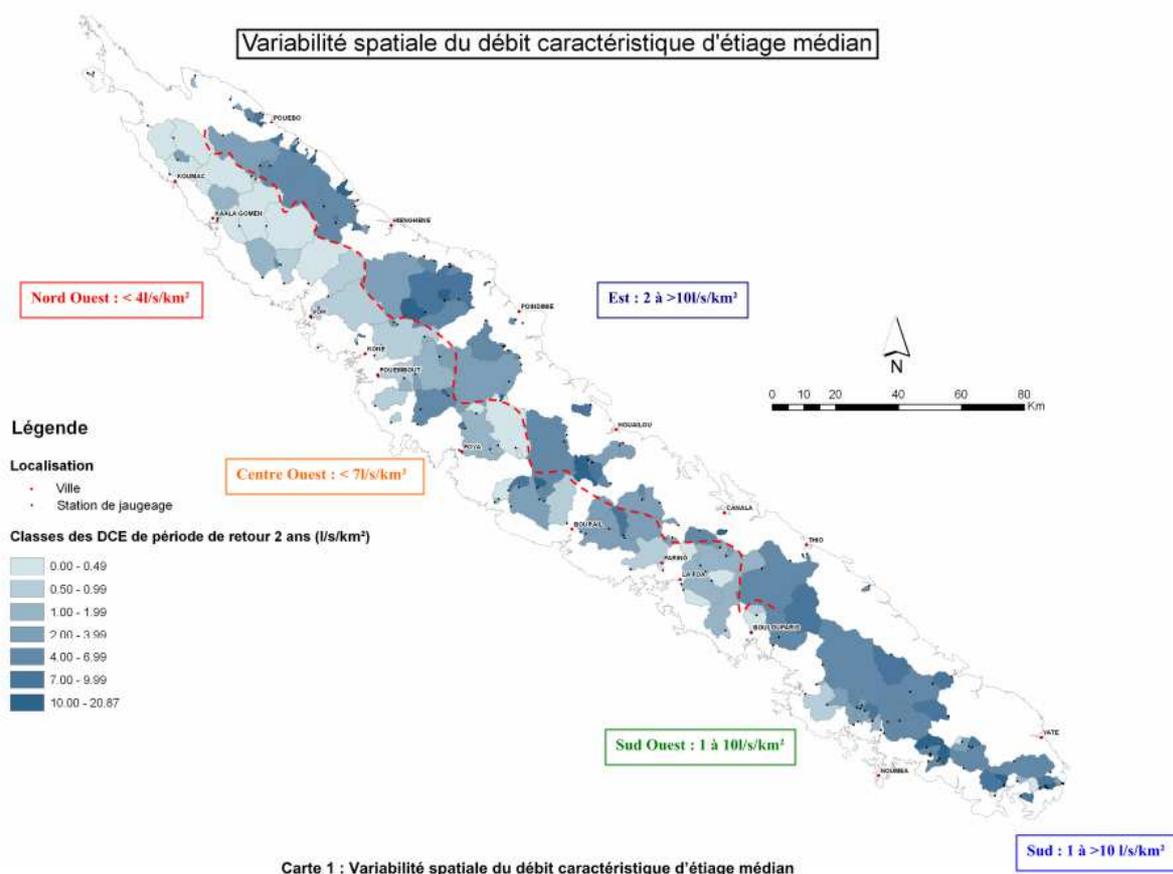


Figure 50 : variabilité du débit caractéristique d'étiage médian (Source : Caractérisation des régimes d'étiage en Nouvelle-Calédonie, 2008 DAVAR\SESERIORE)

Enfin cette même étude présente également un calcul du débit d'étiage pour différentes période de retour basé sur une corrélation entre les jaugeages existants à la date de l'étude (jaugeages présentés plus haut, réalisés entre 1987 et 1989) et des stations hydrométriques de références situées à proximité et comportant une chronique de donnée plus complète.

	Humide 100 ans	Humide 10 ans	Humide 5 ans	DCE 2 ans	Sec 5 ans	Sec 10 ans	Sec 100 ans
Débit d'étiage en l/s/km²	31	21	17	12	8	7	5

Tableau 17 : débit caractéristique d'étiage de la We Paalo (Source : Caractérisation des régimes d'étiage en Nouvelle-Calédonie, 2008 DAVAR\SESERIORE)

Le DCE(2) est estimé à 12 l/s/km² comme précédemment. A noter que les coefficients de corrélation R² pour la We Paalo dans cette étude sont assez mauvais : R²= 0,40 avec la station de la Nimbaye et R²= 0,23 avec la station de la Ouaième.

NOTA : cette étude a été mise à jour en mai 2016, postérieurement à la date de remise de ce rapport. La valeur du DCE(2) calculée est de 13,4 l/s/km². Cette valeur est très proche de la valeur retenue dans cette étude, et confirme le choix du débit réservé.

Au regard de ces différentes approches, il semble raisonnable de retenir une valeur de 12 l/s/km² pour le débit d'étiage caractéristique médian. Cette valeur correspond à un débit de 45 l/s à la prise d'eau. **Le débit réservé est alors de 22,5 l/s au niveau de la prise d'eau.**

Une analyse des effets du débit réservé sur le productible de la centrale est fournie ci-dessous :

	50%DCE2 Qr=0,0225	10%module Qr=0,035	100%DCE2 Qr=0,045	200% DCE2 Qr=0,09
Prod (MWh)	7092	6680	6377	5235
Cout de production (F/kWh)	18,53 F/kWh	20,0 F/kWh	21,0 F/kWh	25,0 F/kWh

Tableau 18 : effet d'une variation du débit réservé sur le productible

Il apparait que le choix du débit réservé a un impact notable sur le productible et donc le coût de production (8% avec le scénario 10% du module, 13% avec le scénario 100% du DCE2 et 35% avec le scénario 200% du DCE2, par rapport à 50% du DCE2).

A noter que les pertes de productible dues à une augmentation du débit réservé ne peuvent être compensées par l'augmentation de la valeur du débit d'équipement (augmentation du turbinage en hautes eaux). Pour rappel, le débit d'équipement choisi n'est atteint ou dépassé que 8% du temps ; une augmentation du débit d'équipement ne permettrait une surproduction que moins de 8% du temps soit moins de 30 j par an. La valeur du débit réservé influence en revanche l'énergie produite sur l'ensemble de la plage de fonctionnement et diminue également la durée de la plage de fonctionnement.

En outre, toute augmentation du débit d'équipement, qui a fait l'objet d'une optimisation indépendamment du débit réservé, entrainerait une hausse significative du coût du projet et donc du prix de production. Revoir à la hausse le débit d'équipement conduirait à des augmentations de la dimension de la prise d'eau, du diamètre de la conduite forcée, de la section du canal de rejet, de la puissance de l'ensemble turbine/alternateur et enfin du transformateur d'évacuation d'énergie.

En conclusion l'augmentation éventuelle du débit réservé ne peut être compensée économiquement par une augmentation du débit d'équipement. L'augmentation inévitable du coût de production induite par l'augmentation du débit réservé aura un effet défavorable sur le placement de ce type d'énergie par rapport aux autres EnR et un impact négatif sur le développement d'une filière hydro-électrique en Nouvelle Calédonie, cela même alors que le territoire dispose dans ce domaine d'un potentiel avéré.

Il est proposé de retenir la valeur de 50% du DCE(2). Le débit d'armement (débit minimum turbinable) est d'environ 10% du débit d'équipement soit 0,071 m³/s. En conséquence, en dessous d'un débit de 0,0935 m³/s (débit réservé + débit minimum turbinable) dans la rivière, l'usine ne fonctionne pas et le débit laissé à la rivière est égal au débit naturel (Voir chapitre 0).

8 HYDROLOGIE DES CRUES

La méthode proposée se base sur une analyse globale, à l'échelle de la Nouvelle Calédonie réalisée par la DAVAR. En effet, la DAVAR a établi un certain nombre de fiches techniques relatives aux caractéristiques de stations hydrométriques dont elle a la gestion. Par le biais des mesures réalisées sur ces stations, des ajustements statistiques ont permis la détermination des débits théoriques de crues. La synthèse des ajustements de Gumbel pour la crue centennale sur l'ensemble des 22 stations hydrométriques de la Nouvelle Calédonie est présentée ci après. Il ressort de ces corrélations que les débits de crue centennale des cours d'eau de la côte Est peuvent être estimés par la loi suivante :

$$Q_{100}=98,717xS^{0.75}$$

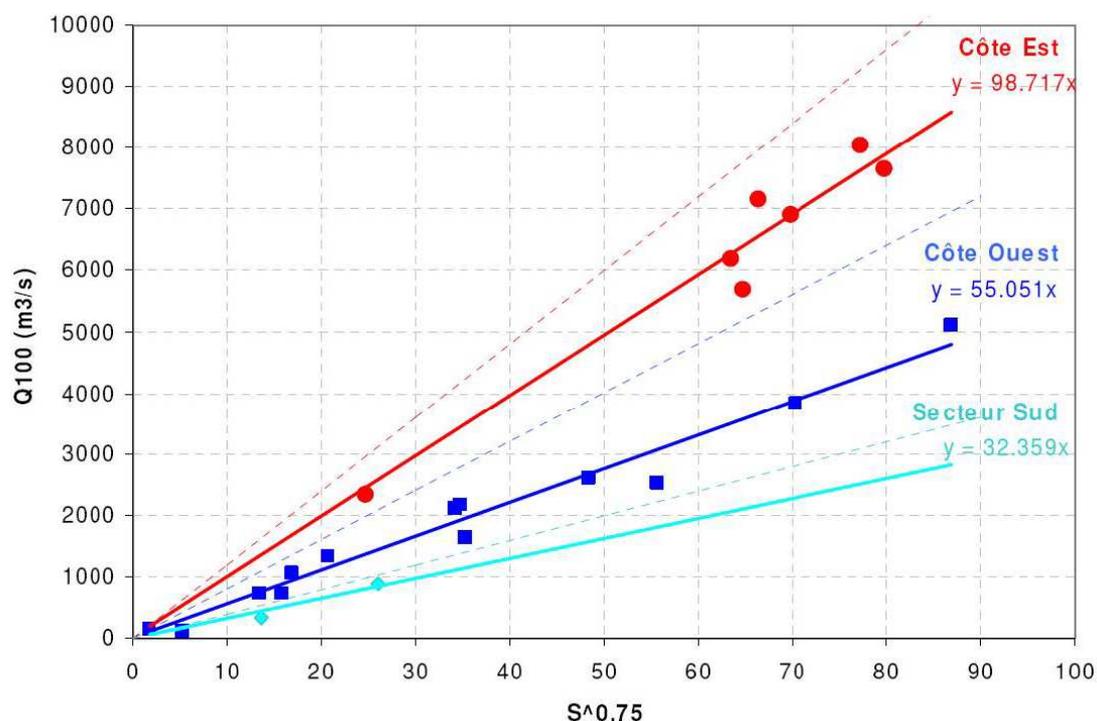


Figure 51 : Synthèse des ajustements de Gumbel pour la crue centennale sur l'ensemble des 22 stations hydrométriques de la Nouvelle Calédonie, source DAVAR

Bien que ces lois aient été déterminées sur des bassins versants de 70 à 350 km², la DAVAR indique que « la Davar développe progressivement des sites pilotes sur de petites unités hydrologiques [...]. Les premières observations tendent à montrer que les relations empiriques restent cohérentes pour des surfaces de l'ordre du km² ».

La formule est utilisée pour déterminer la crue centennale au droit de la prise d'eau et de l'usine :

	Surface du bassin versant	Q100
Prise d'eau	3,79 km ²	270 m ³ /s
Usine	4,37 km ²	300 m ³ /s

Tableau 19 : Détermination de la crue centennale

9 EFFET DE LA PRISE D'EAU SUR LES DEBITS DE LA RIVIERE

Les effets de la centrale de We Paalo sur les débits de la We Paalo sont calculés au niveau de la prise d'eau et juste à l'amont de l'usine.

L'impact de la centrale est quantifié en observant la courbe des débits classés issues du modèle hydrologique sur 2010 – 2016. Le fonctionnement de la centrale est le suivant :

Débit en amont de la prise Q	Débit réservé Qr	Débit turbiné Qe	Débit restitué en aval de la prise Qrest_prise	Débit restitué au niveau de l'usine Qrest_usine
$Q \leq Qr + Qa$	Q	0	Q	$Q/0,89$
$Qr + Qa < Q \leq Qe + Qr$	Qr	$Q - Qr$	Qr	$Qr + (Q/0,89 - Q)$
$Q > Qe + Qr$	Qr	Qe	$Q - Qe (> Qr)$	$Q - Qe + (Q/0,89 - Q)$

Tableau 20 : fonctionnement de la centrale hydroélectrique

Où,

- Qe = débit d'équipement de la centrale = 0,714 m³/s
- Qr = débit réservé = 50%DCE2 = 0,0225 m³/s
- Qa débit d'armement = 0,071 m³/s
- Q = débit naturel de la rivière au niveau de la prise d'eau
- Qrest_prise = débit restitué en aval de la prise d'eau
- Qrest_usine = débit restitué au niveau de l'usine

Au niveau de la prise d'eau les effets du turbinage sont donnés par les graphiques suivants :

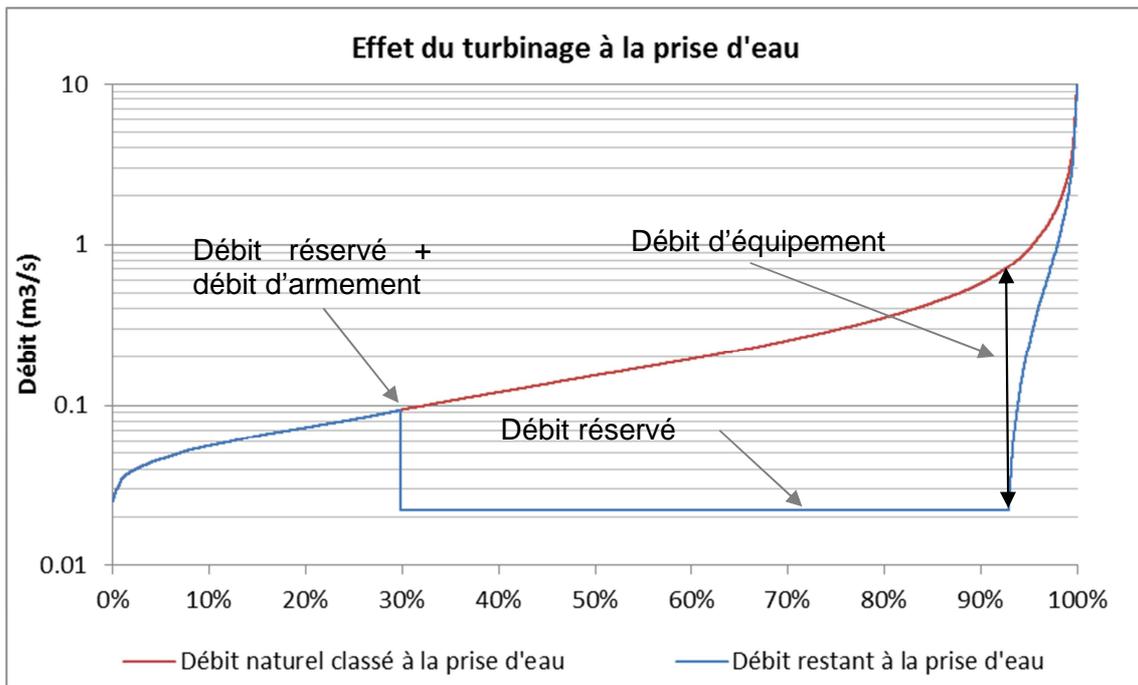


Figure 52 : effet du turbinage à la prise - courbe des débits classés sur 2010-2016

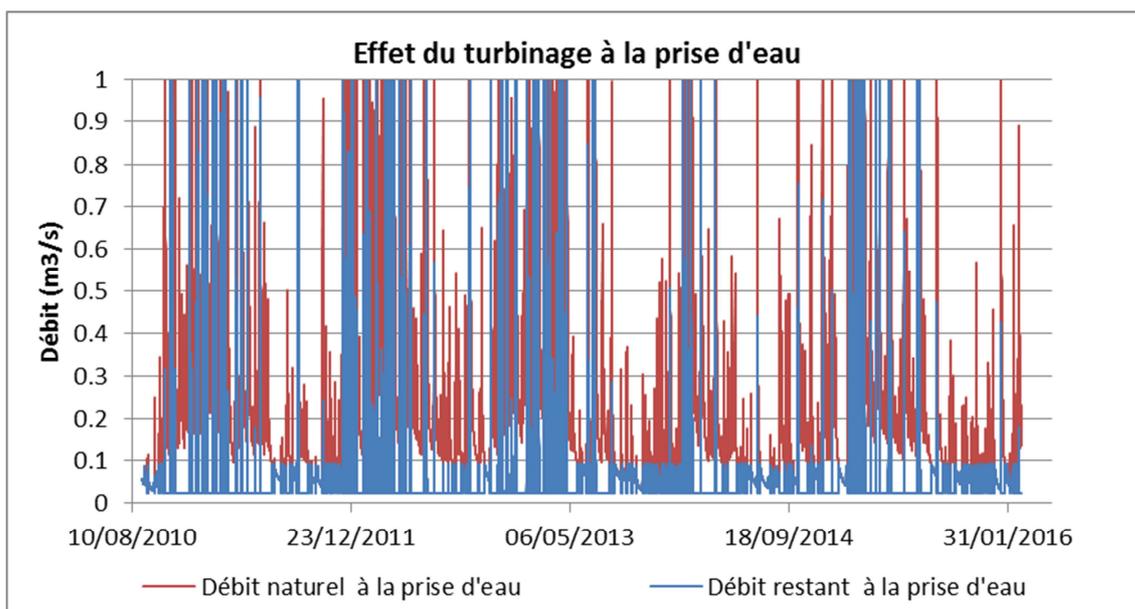


Figure 53 : effet du turbinage à la prise - chronique de débit 2010-2016

Le débit en aval de la prise d'eau est égal au débit réservé 93% du temps. Le reste du temps, ce débit est augmenté lorsque l'apport est supérieur au débit d'équipement.

Au niveau de l'usine, les effets du turbinage sont donnés par les graphiques suivants :

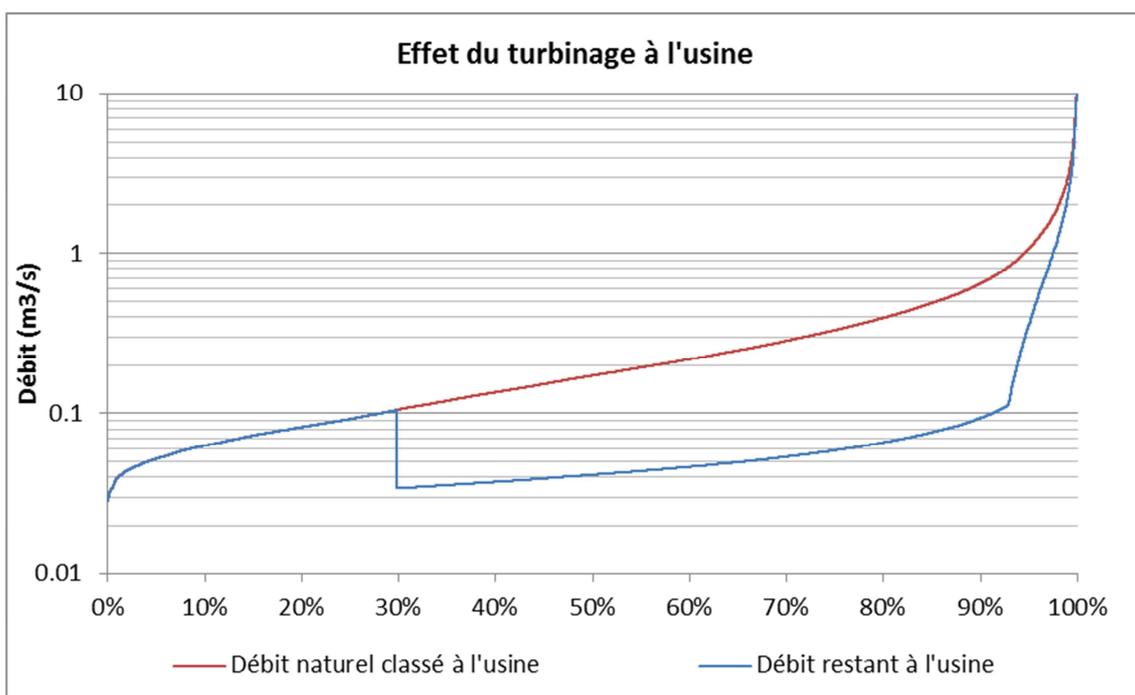


Figure 54 : effet du turbinage à l'usine - courbe des débits classés sur 2010-2016

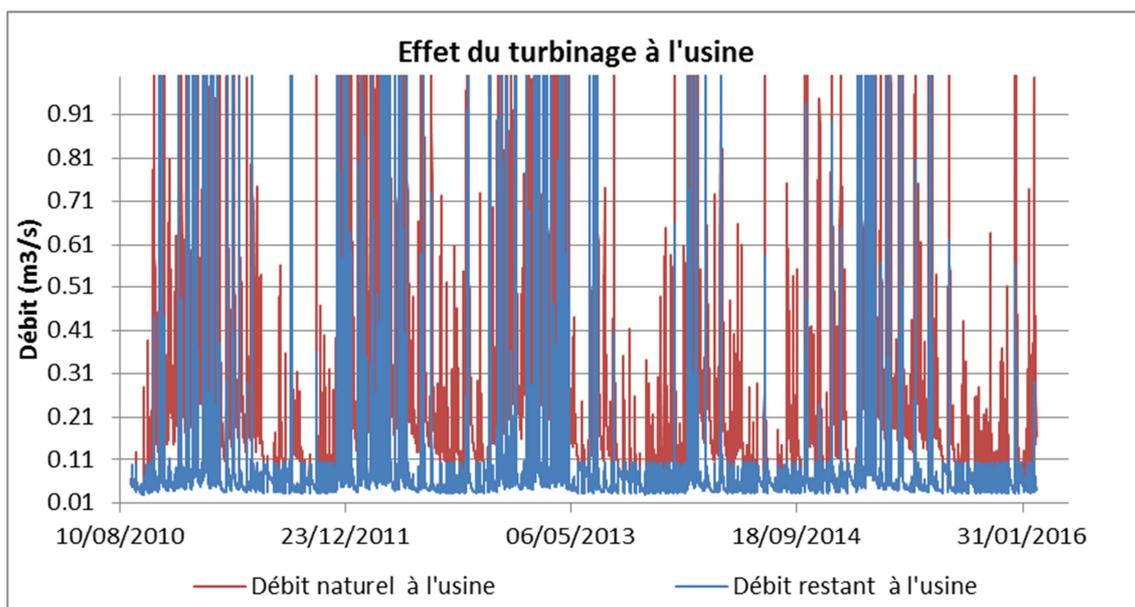
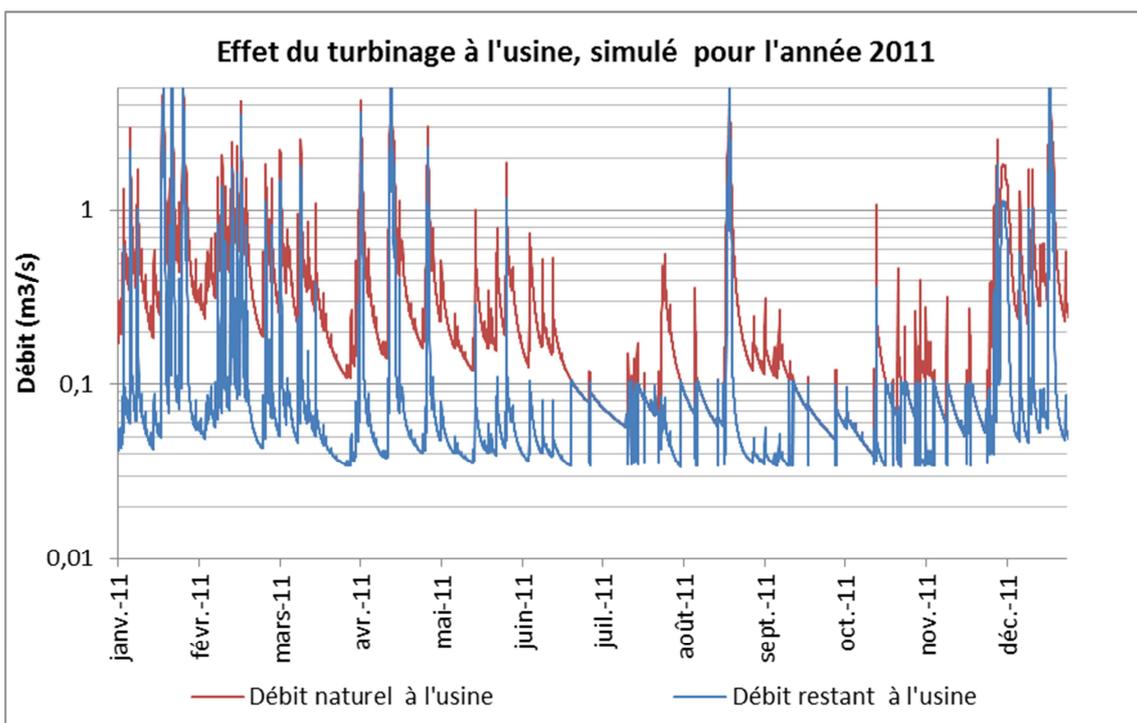
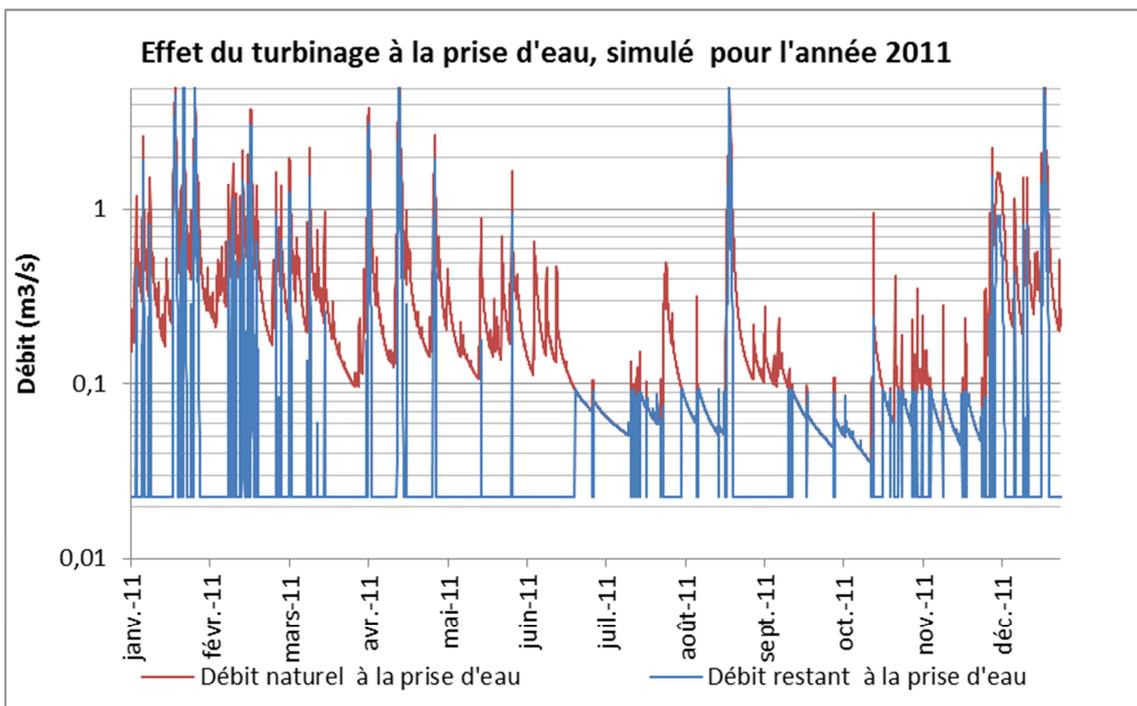


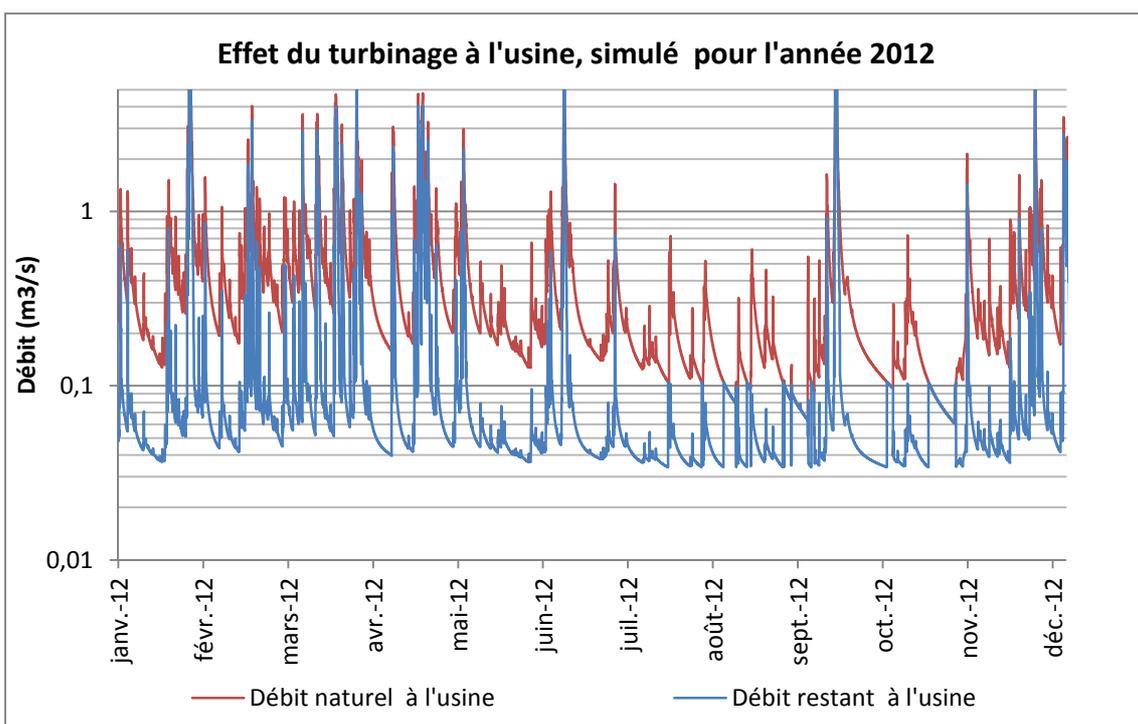
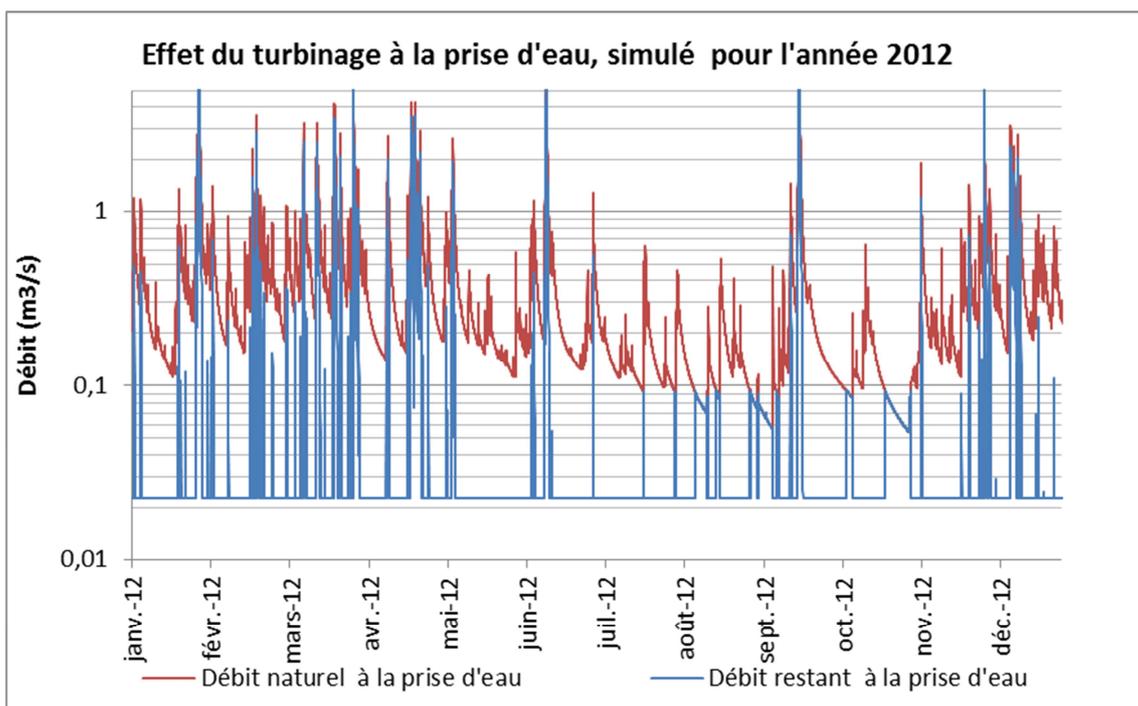
Figure 55 : effet du turbinage à l'usine – chronique de débit 2010-2016

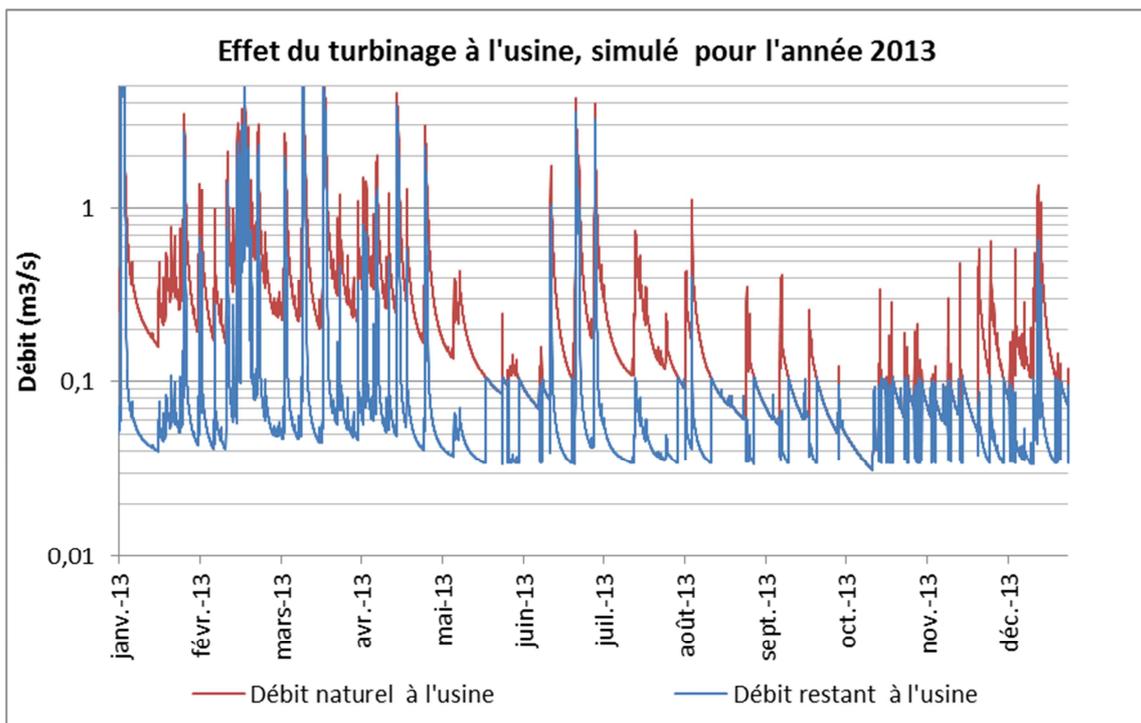
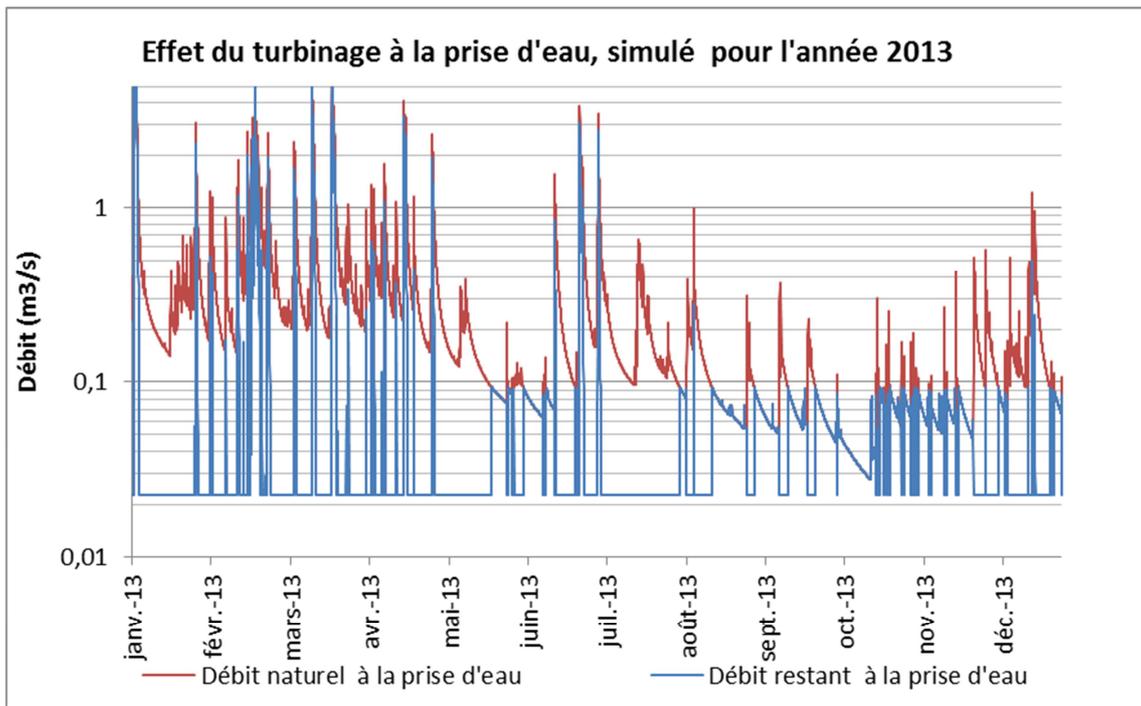
Le débit à l'usine est égal 62% du temps au débit réservé augmenté du débit produit par la différence de bassin versant entre la prise d'eau et l'usine. 30% du temps le débit dans le cours d'eau est maintenu intégralement à l'état naturel (périodes de faibles débits). Les 8% du temps restant, le débit dépassant le débit d'équipement, le surplus est restitué à l'aval de l'ouvrage.

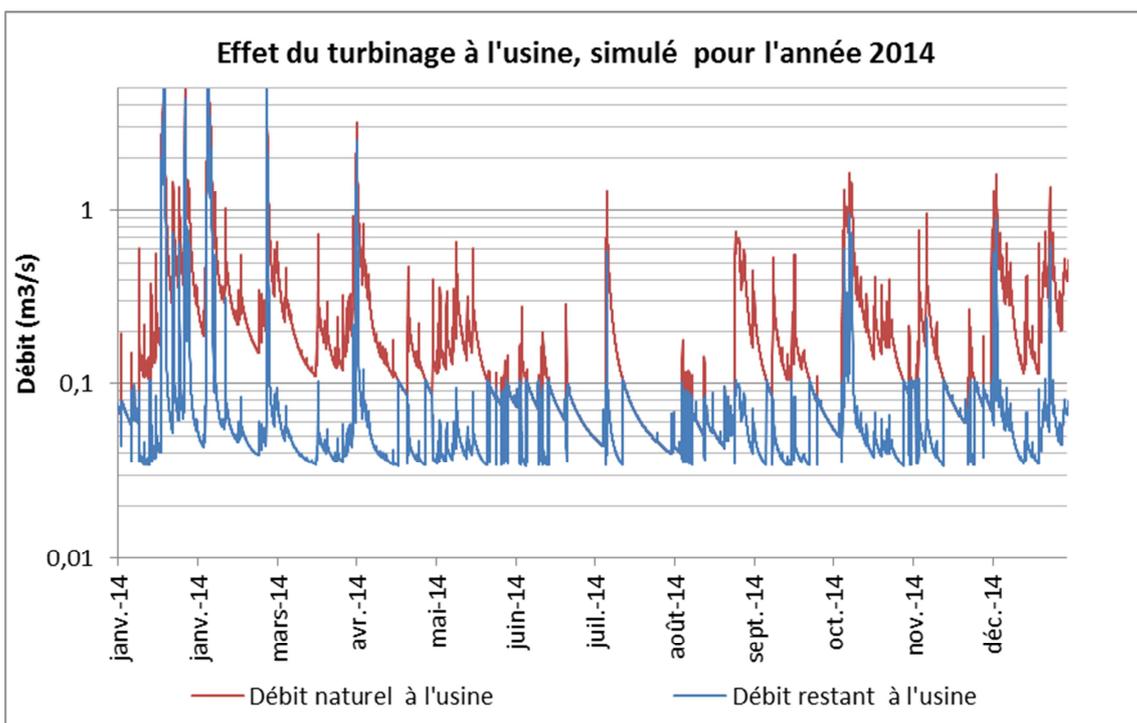
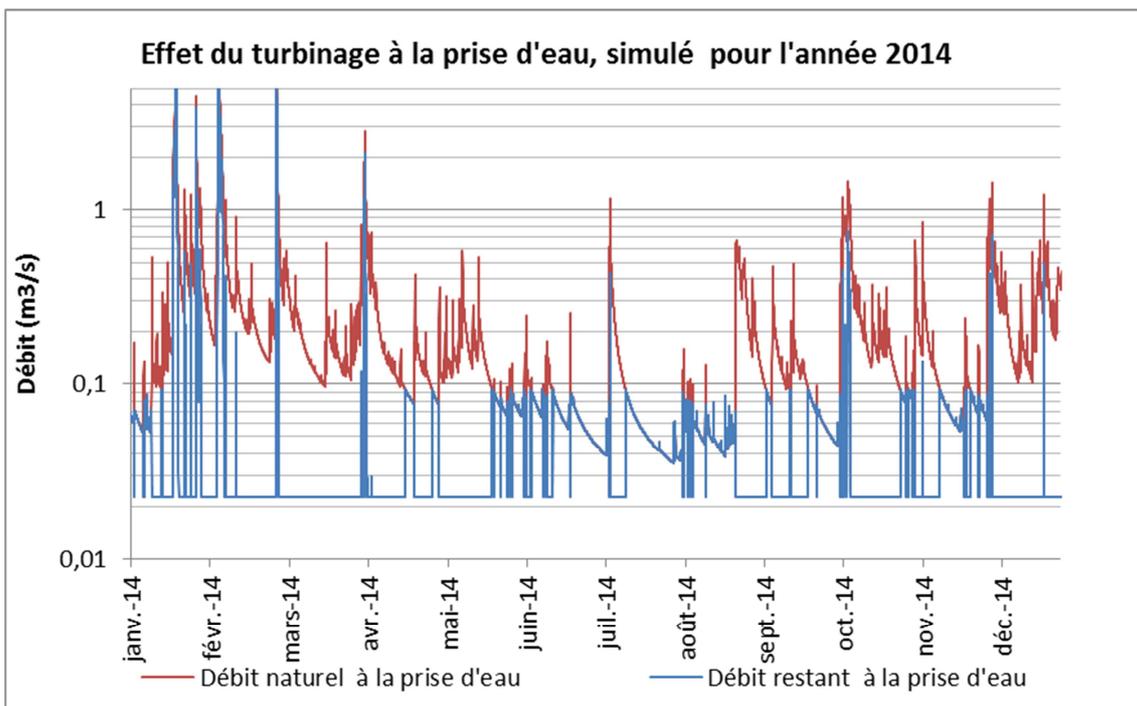
Les graphiques ci-après montrent l'impact de l'aménagement à l'aval de la prise d'eau et à l'amont de l'usine, simulé sur les années 2011 à 2015².

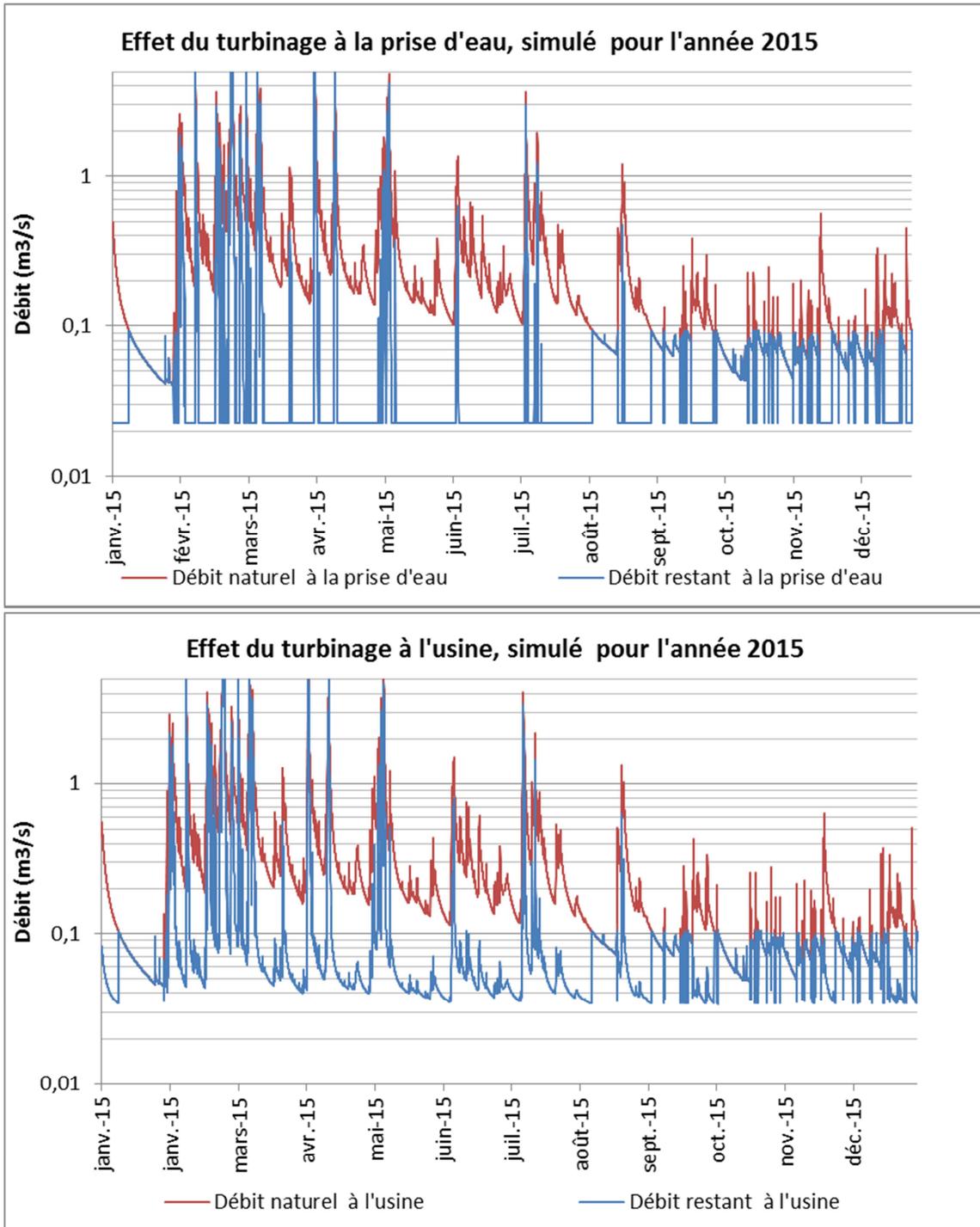
² Période pour lesquels les débits dans la Paolo ont pu être reconstitué à un pas de temps horaire.











En conclusion, l'implantation d'une centrale sur la We Paalo engendre les conséquences suivantes :

- Pour les débits faibles (30% du temps), inférieurs à la somme du débit réservé et du débit d'armement, le débit de la Paalo est intégralement restitué : il n'y a pas de prélèvement.
- Pour les débits courants (62% du temps), les débits restitués à la rivière sont égaux au débit réservé ;
- Pour les débits forts (8% du temps), le débit d'équipement de la centrale est dépassé : le débit restitué est supérieur au débit minimum.

Pour les débits de crue usuelles (crues annuelles), le débit prélevé est faible devant le débit naturel de la rivière et l'effet de la prise d'eau est peu important.

10 SYNTHÈSE

10.1 DÉBITS CARACTÉRISTIQUES

Le tableau suivant récapitule les débits caractéristiques de la rivière We Paalo à la prise d'eau et à l'usine :

	Prise d'eau	Usine
Surface du bassin versant	3,79 km ²	4,37 km ²
Débit moyen	0,306 m ³ /s	0,353 m ³ /s
Débit médian	0,153 m ³ /s	0,176 m ³ /s
DCE2	0,045 m ³ /s	0,052 m ³ /s
Q10	150 m ³ /s	167 m ³ /s
Q100	270 m ³ /s	300 m ³ /s

Tableau 21 : Débits caractéristiques

10.2 DÉBIT MAXIMAL DERIVE

D'après l'étude hydrologie réalisée, le débit moyen du cours d'eau We Paalo à la prise d'eau est estimé à 0,31 m³/s et le débit médian à 0,15 m³/s.

Le débit d'équipement de la centrale hydroélectrique est pris égal à 2,3 fois le débit moyen de la rivière We Paalo à la prise d'eau, soit **0,71 m³/s**.

La courbe des débits classés de We Paalo permet d'établir que le débit d'équipement est dépassé 8% du temps environ soit environ 30 jours par an.

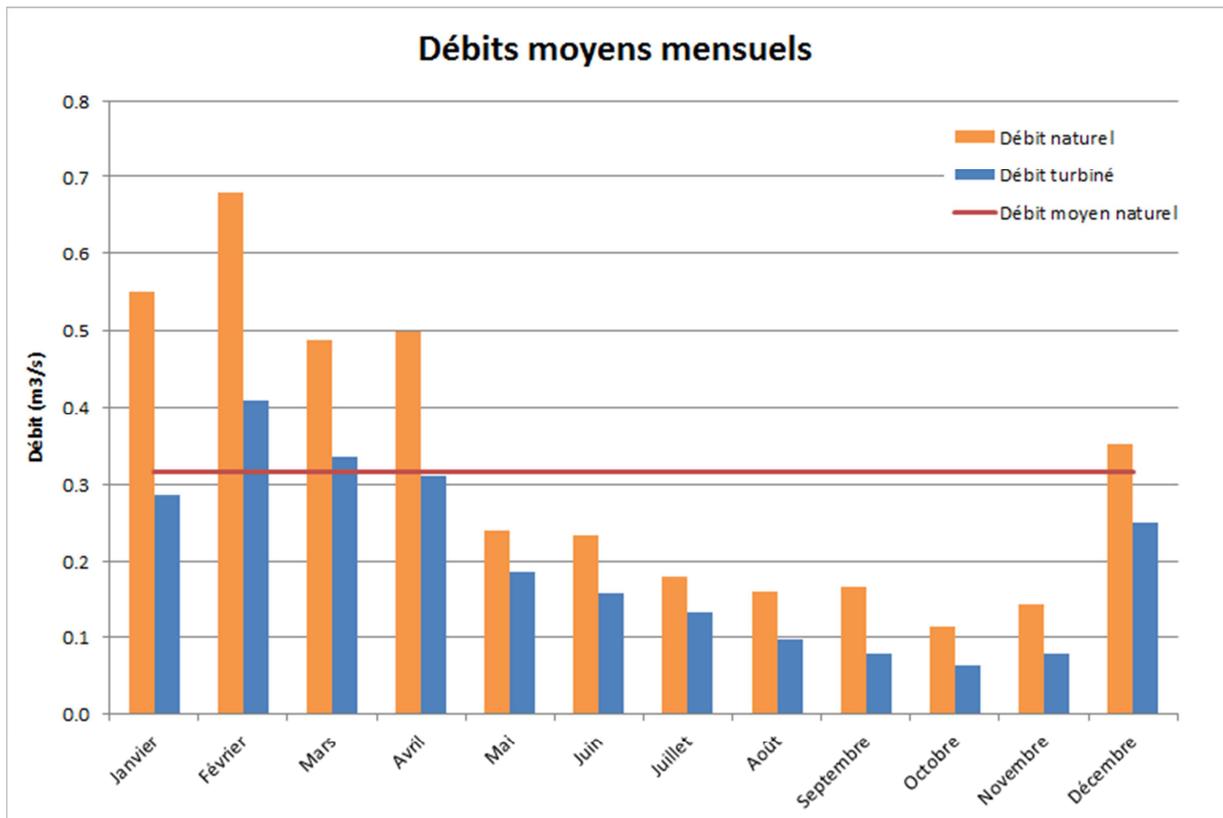


Figure 56 : Débits moyens mensuels à la prise d'eau

10.3 DEBIT MINIMUM ET DEBITS RESTITUES DANS LE COURS D'EAU

La délibération n°118 du 7 avril 2016 relative au régime d'autorisation des usines hydrauliques utilisant l'énergie des cours d'eau et des lacs impose que « le débit maintenu dans la rivière [...] ne pourra pas être inférieur au débit minimal fixé par arrêté du Gouvernement de Nouvelle-Calédonie qui décrira les modalités de son calcul. » A ce jour l'arrêté fixant les modalités de calcul du débit minimum restitué n'est pas sorti.

Il est proposé de maintenir un débit réservé au droit de la prise d'eau égal à 50% de la valeur du débit caractéristique d'étiage de période de retour 2 ans, soit **22,5 l/s**.

La centrale turbine les débits supérieurs à 0,0935 m³/s, correspondant à la somme du débit réservé et du débit d'armement³, soit environ 70% du temps. A noter que les périodes sèches (y compris étiage) ne sont pas turbinées, la centrale étant en arrêt pour les périodes correspondant aux débits faibles atteints 30% de l'année. Pour ces débits l'intégralité du débit naturel est restitué au cours d'eau de la Paalo. Lorsque le débit dans la Paalo dépasse le débit d'équipement de la turbine, le surplus est restitué à l'aval de la prise d'eau : le débit dans le tronçon court-circuité est alors supérieur au débit réservé. Ce mode de fonctionnement est observé 8% du temps (période des plus forts apports).

A l'aval de l'usine l'intégralité du débit est restitué en permanence : l'aménagement n'ayant ni retenu ni dérivation vers un autre bassin versant le débit dans la Paalo est inchangé à l'aval de l'usine.

³ Contrairement à ce que la terminologie de ce terme semblerait impliquer, ce débit minimum est également nécessaire au maintien en fonctionnement correct de la turbine et pas uniquement à son démarrage. Aussi lorsque les débits entonnés retombent en dessous du seuil, la turbine est arrêtée.

ANNEXE 1 BIBLIOGRAPHIE

Titre	Auteur	Date	N°
Les Ressources hydroélectriques de la Nouvelle-Calédonie - Inventaire	EDF International	Juillet 1985	[1]
Aménagements hydroélectriques de la Province Nord – Etude de faisabilité	ISL	Septembre 1990	[2]
Aménagements hydroélectriques de la Province Nord – Etude de faisabilité – Dossier complémentaire	ISL	Juin 1991	[3]
Aménagement hydroélectrique de Ouapandième – Etude de faisabilité	ISL	Juin 1992	[4]
Aménagement hydroélectrique de Tiahot – Etude de faisabilité	ISL	Juin 1992	[5]
Aménagement hydroélectrique de Gouien – Etude de faisabilité	ISL	Juin 1992	[6]
Aménagement hydroélectrique de Ouéni – Etude de faisabilité	ISL	Juin 1992	[7]
Aménagement hydroélectrique de Paoula – Etude de faisabilité	ISL	Juin 1992	[8]
Aménagement de la Ouaième – Actualisation des études	ISL	Janvier 1996	[9]
Aménagement de la Ouinné – Actualisation des études	ISL	Mai 1996	[10]
L'énergie hydroélectrique en Nouvelle-Calédonie – Rapport de présentation au congrès du territoire	ISL	Août 1998	[11]
Centrale hydroélectrique de la Néaoua – Etude du suréquipement	ISL	Septembre 2011	[12]
Synthèse et régionalisation des données pluviométriques de la Nouvelle-Calédonie	DAVAR	Novembre 2011	[13]
Recueil des débits caractéristiques de la Nouvelle-Calédonie	DAVAR	Décembre 2009	[14]
Caractérisation des régimes d'étiage en Nouvelle-Calédonie	DAVAR	Février 2008	[15]
Etude hydrologique de la rivière Ouapandième	ORSTOM	Mars 1983	[16]
Code de l'environnement de la Province Nord	Province Nord	Octobre 2008	[17]
Code de l'environnement de la Province Sud	Province Sud	Janvier 2013	[18]
Couches SIG : Modèle Numérique de Terrain	NASA		[19]

	Georep.nc		
Couches SIG : Réseau hydrographique	Georep.nc DITTT	Janvier 2011	[20]
Couches SIG : Aires protégées de la Nouvelle-Calédonie	Georep.nc Province Nord et Province Sud	2009	[21]
Couches SIG : Carte géologique	Georep.nc D. Cluzel, Université Française de Nouvelle Calédonie		[22]
Couches SIG et métadonnées : mesures hydrologiques (coordonnées et ouvertures des stations)	DAVAR	Avril 2013	[23]
Métadonnées : pluviométrie (coordonnées et ouverture des stations)	DAVAR	Avril 2013	[24]
Couches SIG : régions hydrographiques	DAVAR	Décembre 2011	[25]
Couche SIG : Delineation of New Caledonia Key Biodiversity Areas	Langhammer et al (IUCN) Georep.nc	2007 2011	[26]
Couche SIG : Aires protégées	Georep.nc Province Nord et Province Sud	2013	[27]