

Nouvelle-Calédonie Province Nord



Etude des zones inondables à Koné - Aléa d'inondation Néa, Ne N'duco et Tiombola



Direction de l'Aménagement Nord

Etude des zones inondables à Koné - Aléa d'inondation Néa, Ne N'duco et Tiombola

Numéro de l'affaire	059/08/H/NC
Chargé d'affaire	NC
Libellé long de l'affaire	Etude des zones inondables à Koné - Aléa d'inondation Néa, Ne N'duco et Tiombola
Date de mise à disposition du rapport	Août 2009
Commune	Koné
Coordonnées X,Y (WGS84, UTM58)	X : 485 000 ; Y : 7 672 000
Mots clés	Zones inondables Hydrologie Koné (Tiombola, Néa, Ne N'Duco)
Signature du rédacteur : N. CAZE	
Signature du vérificateur : M. VOGUET	

Indice	Version	Rédacteur	Vérificateur	Date
01	Soumise au client	NC / M. Labelle (Roche)	MV	15/07/09
02	Révision suite à remarque DAN/DAVAR	NC	MV	14/08/09
03	Finale	NC	MV	31/08/09

Table des matières

1. Objet du présent rapport	5
2. Bibliographie.....	6
3. Analyse hydrologique	7
3.1. Caractéristiques des bassins versants	7
3.2. Débits.....	9
3.2.1. Méthodologie.....	9
3.2.2. Approche régionale	9
3.2.3. Approche locale	10
3.2.4. Analyse critique (courbes enveloppes DAVAR).....	13
4. Analyse hydraulique.....	14
4.1. Type de modèle hydraulique utilisé	14
4.2. Données de base topographiques.....	14
4.2.1. Sources de données	14
4.2.2. Fonds topographique au 1/10 000.....	14
4.2.3. Construction du modèle de terrain.....	14
4.3. Cours d'eau modélisés.....	17
4.3.1. Nea, Ne N'duco et Tiombola	17
5. Résultats de la modélisation.....	18
5.1. Calage Nea et Tiombola.....	18
5.2. Coefficients de frottement	18
5.3. Conditions aux limites	19
5.4. Résultats de la modélisation pour la Née	20
5.5. Résultats de la modélisation - Ne N'duco et Tiombola	22
6. Modélisation hydraulique.....	26
6.1. Modèle utilisé et limites d'interprétation.....	26
6.2. Valeurs de référence : hauteurs et vitesses.....	26
7. Définition de l'aléa	27
7.1. Cartographie des hauteurs.....	27
7.2. Cartographie de l'aléa	27
8. Enjeux identifiés	28
9. Prescriptions et recommandations	29
9.1. Prescriptions générales.....	29
9.2. Prescriptions relatives à la constructibilité	29

Table des illustrations

Figure 1 : Bassins versants (Néa, Ne N'duco, Tiombola)	8
Figure 2 : implantation des profils modélisés, des ouvrages et des levés topographiques (Koné)...	16
Figure 3 : Analyse de sensibilité aux coefficients de Strickler - Nea.....	20
Figure 4 : Sensibilité à la condition aux limites Aval – Nea.....	21
Figure 5 : Vue en plan des cours d'eau modélisés en crue 100 ans – Ne N'duco et Tiombola.....	22
Figure 6 : Analyse de sensibilité aux coefficients de Strickler – Ne N'duco	23
Figure 7 : Sensibilité aux valeurs de coefficients de frottement – Tiombola secondaire	23
Figure 8 : Sensibilité aux valeurs de débits – Tiombola amont.....	24
Figure 9 : Sensibilité aux valeurs de débits – Tiombola secondaire	24
Figure 10 : Sensibilité à la condition aux limites Aval – Tiombola.....	25

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des bassins versants étudiés.....	7
Tableau 2 : Ajustements de Gumbel sur stations hydrométriques.....	10
Tableau 3 : Calculs des temps de concentrations.	11
Tableau 4 : Coefficients de Montana pour poste de Koné.....	12
Tableau 5 : Coefficients de Montana pour poste de Tango.	12
Tableau 6 : Calculs des débits de références par différentes méthodes hydrologiques.....	13
Tableau 7 : Comparaison des débits centennaux calculés avec méthode DAVAR.	13
Tableau 8 : Récapitulatif des débits de référence.	13
Tableau 9 : Valeurs des coefficients de Strickler (Nea, Ne N'duco et Tiombola).	18
Tableau 10 : Définition de l'aléa pour la crue de référence (source : DAVAR / Cahier des charges de l'étude).....	27

ANNEXES

Annexe 1 : Hydrologie (courbes IDF)

Annexe 2 : Présentation du modèle HEC-RAS

Annexe 3 : Résultats des tests de sensibilité – Nea, Ne N'duco, Tiombola

Annexe 4 : Résultats de modélisation – Nea, Ne N'duco, Tiombola

1. Objet du présent rapport

La cartographie de l'aléa d'inondation vise à assurer la mise en sécurité des personnes en intégrant le risque inondation comme une contrainte d'aménagement, tout en prenant en compte le développement urbain de la commune.

La Direction de l'Aménagement et du Foncier de la Province Nord a engagé une étude relative à la définition de l'aléa d'inondation à Voh et Koné.

Le phasage de l'étude est le suivant :

- Phase 1 : bibliographie / reconnaissances de terrain / étude hydrologique / programme de levés topographiques ;
- Phase 2 : levés topographiques / modélisation hydraulique / résultats hauteurs – vitesses ;
- Phase 3 : cartographies des hauteurs / vitesses / aléa.

Un premier modèle, simulant le fonctionnement en crue des rivières Néa, Tiombola et Ne N'Duco, avait été construit pour ces précédents rapports. Ce modèle avait été élaboré par les équipes de SAFEGE basées à Aix-en-Provence.

Suite à la construction du modèle, certaines incohérences ont été relevées, non reflétées par des réalités de terrain. Afin de lever les incertitudes et d'améliorer la représentativité du modèle numérique, des levés topographiques et des visites de terrain complémentaires ont été réalisés.

Les levés additionnels ont été réalisés en novembre 2008, par le cabinet Geoplan (commande Province Nord 08/1002/05693). Ces levés portaient sur 5 profils en travers additionnels, au niveau de la confluence entre Ne N'Duco et Tiombola et sur l'amont de la Nea, soit 930 ml de profils. Trois ouvrages (deux sur un bras rive gauche de la Tiombola, initialement non modélisé, et un sur la Nea au niveau de la RT1) ont également été relevés, pour être pris en compte dans la modélisation.

Une nouvelle modélisation a ensuite été réalisée pour les rivières Néa, Tiombola et Ne N'Duco, en s'appuyant sur l'ensemble des informations topographiques disponibles. Suite à une analyse approfondie des résultats de modélisation initiaux, A2EP, avec l'appui technique de son partenaire Roche, a choisi de revoir la représentation des cours d'eau adoptée dans le modèle. En effet, des relations multiples entre cours d'eau apparaissent, ce qui nécessite une représentation adaptée des profils en travers pour mieux appréhender et représenter le fonctionnement des plaines inondables en interconnexion.

Le présent rapport présente l'ensemble des résultats de la démarche pour les rivières Néa, Tiombola et Ne N'Duco, sur la commune de Koné.

Par ailleurs, ce dossier est associé à un CD-ROM qui contient l'ensemble des fichiers de modélisation, lisibles avec le logiciel HEC-RAS (diffusé gratuitement par l'US Army : <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>).

2. Bibliographie

Les études recensées sur le secteur d'étude sont les suivantes :

- [1] *Délimitation de la zone inondable de la rivière Koné*, HYDREX, 1994 ;
- [2] *Carte hydrogéomorphologique des zones inondables sur la commune de KONE*, SIEE, 2003 ;
- [4] *Extrapolation de la courbe de tarage de hautes eaux à la station limnigraphique de Pouembout Boutana*, HYDREX, 1997 ;
- [5] *Extrapolation de la courbe de tarage de hautes eaux à la station limnigraphique de la Faténaoué*, HYDREX, 1998 ;
- [6] *Courbes enveloppes des débits spécifiques maximums de crues pour le quart Sud Ouest de la Nouvelle-Calédonie – La Foa / La Coulée*, DAVAR, 2006 ;
- [7] *Voie de contournement Nord – commune de KONE – étude de faisabilité*, Province Nord, 2006

3. Analyse hydrologique

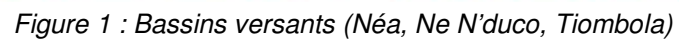
3.1.Caractéristiques des bassins versants

Les caractéristiques des bassins versants étudiés sont les suivantes :

Bassin versant	Surface BV (ha)	Périmètre bassin versant	longueur du plus long chemin hydraulique	Denivelé maximum
	S	P	L	
	ha	km	m	m
NENDUCO	396	12.13	5530	710
TIOM_SEC	91	4.11	1600	40
TIOM_1	2836	35.00	15650	870
TIOM_TOT	3433	34.13	16370	870
NEA_TOT	851	15.97	5570	850
NEA_1	271	9.35	3480	830
NEA_2	49	3.36	1560	440
NEA_3	47	4.34	2070	570
NEA_4	199	10.14	3680	815

Tableau 1 : Caractéristiques des bassins versants étudiés

Les figures qui suivent présentent sur le découpage en bassins versants des trois rivières (base du découpage : fond 1/10 000 DI3T).



3.2.Débits

3.2.1. Méthodologie

En raison de l'absence de données hydrométriques sur les rivières étudiées, l'analyse hydrologique a été menée selon les deux approches suivantes :

- Approche régionale ou méthode de transposition par utilisation des données hydrométriques à proximité et jugées fiables par la DAVAR : poste de Boutana et Faténaoué ;
- Approche locale par application de la méthode rationnelle à partir des coefficients a et b de Montana déterminés à partir des IDF disponibles des postes pluviométriques de Koné et Tango.

Ces deux approches ont été comparées sur les bassins versants considérés, et confrontées également aux calculs produits par la DAVAR (*Courbes enveloppes des débits spécifiques maximums de crues pour le quart Sud Ouest de la Nouvelle-Calédonie – La Foa / La Coulée*, DAVAR, 2006).

3.2.2. Approche régionale

3.2.2.a. Généralités

La méthode de transposition s'applique à des bassins versants dont les caractéristiques morphologiques sont similaires : il s'agit d'appliquer une transposition des débits d'un bassin disposant de données hydrométriques à un bassin versant non équipé de stations de mesure de débit.

La formule de transposition est la suivante :

$$Q'_T = (S'/S)^\Psi \cdot Q_T$$

Avec :

- Q'_T débit de période de retour T de la rivière considérée (m³/s) ;
- Q_T débit connu de période de retour T d'une rivière proche (m³/s) ;
- S' superficie du bassin versant non équipé (km²) ;
- S superficie du bassin versant équipé (km²) ;
- Ψ coefficient d'abattement, évalué à 0.75 dans le cadre d'une analyse menée à l'échelle de la Nouvelle Calédonie par la DAVAR.

3.2.2.b. Données hydrométriques

Deux stations hydrométriques gérées par la DAVAR sont disponibles à proximité des sites d'études :

- Station de Boutana : période d'exploitation de 1955 à 2005 avec 39,7 ans de données et un débit maximum évalué à 2399 m³/s ;
- Station de Faténaoué : période d'exploitation de 1955 à 2004 avec 34,9 ans de données et un débit maximum évalué à 1802 m³/s.

Le tableau suivant récapitule des ajustements de Gumbel des débits de crues maximaux annuels évalués à ces deux stations :

	Période de retour				Superficie du BV (km ²)
	T= 5 ans	T= 10 ans	T= 50 ans	T= 100 ans	
Station de Boutana	1015	1398	2240	2596	176
Station de Faténaoué	825	1133	1810	2096	111

Tableau 2 : Ajustements de Gumbel sur stations hydrométriques.

3.2.3. Approche locale

3.2.3.a. Généralités

L'estimation du débit décennal ou centennal d'un cours d'eau par application de la méthode rationnelle nécessite deux types d'information :

- Caractéristiques du bassin versant : surface, pente, point haut et bas, chemin hydraulique le plus long, etc.
- Détermination des coefficients a et b de Montana décrivant l'intensité pluviométrique.

La formule Rationnelle permet de calculer le débit de pointe ruisselant sur la parcelle :

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = C \cdot i \text{ (mm/h)} \cdot A \text{ (km}^2\text{)} / 3,6$$

- **C : coefficient de ruissellement** de la parcelle qui est fonction de la nature du terrain, de la pente, de l'état de la végétation et de la durée de l'averse ;
- **i : intensité** de la pluie critique qui s'applique sur le site calculée sur le temps de concentration t du bassin versant ;

$$i \text{ (mm/h)} = a \cdot t^b$$

La formule décrite ci-dessus indique que la détermination du coefficient de ruissellement, ainsi que du temps de concentration, est déterminante dans la définition des débits de références. Or, le calcul de ces paramètres fait l'objet d'une variabilité importante ; c'est pourquoi l'analyse spécifique suivante a été produite.

3.2.3.b. Coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement est fonction de nombreux paramètres que sont entre autres : superficie du bassin versant, géologie, antécédents pluviométriques, intensité pluviométrique de l'événement considéré, densité d'urbanisation (indirectement taux d'imperméabilisation du site).

Compte-tenu des pentes assez fortes sur les bassins versants amont (pris en compte pour l'évaluation des débits) et de la nature des événements pluvieux, nous retiendrons des coefficients de ruissellement avec des valeurs hautes, à considérer comme sécuritaire mais réalistes pour les périodes cycloniques où la saturation des sols est rapide.

En pratique, et suivant en cela les recommandations de la DAVAR, nous retiendrons un coefficient de 0,7 pour les pluies 5 ans, et un coefficient de 0,9 pour les événements 10 et 100 ans.

3.2.3.c. Calcul du temps de concentration

Différentes méthodes ont été testées sur les bassins versants étudiés : Giandotti, Passini, Dujardin et Desbordes. Notons que :

- Les formules de Giandotti et Passini s'appliquent aux bassins versants ruraux ; elles sont fonction de la pente, de la superficie et de la longueur du bassin versant et sont donc indépendantes du coefficient de ruissellement considéré ;
- Les formules de Desbordes et Dujardin sont utilisées pour les bassins versants mixtes : la première est plutôt à tendance urbaine tandis que la seconde est plus adaptée aux bassins à dominante rurale ; elles sont fonction de la superficie, de la pente et du coefficient de ruissellement considéré et donc indépendantes de l'allongement du bassin versant.
- Les résultats des tests sont les suivants :

B.V.	Giandotti		Passini		Dujardin		Desbordes	
	Tc (mn)	V transfert (m/s)	Tc (mn)	V transfert (m/s)	Tc (mn)	V transfert (m/s)	Tc (mn)	V transfert (m/s)
NEA TOT	51	1.80	60	1.54	28	3.36	17	5.56
TIOM 2	48	1.93	54	1.71	25	3.74	15	6.13
TIOM 1	113	2.31	209	1.25	69	3.76	35	7.45
TIOM TOT	121	2.25	231	1.18	76	3.60	38	7.24
NEA 1	31	1.89	28	2.06	15	3.91	10	5.80
NEA 2	18	1.42	11	2.32	7	3.47	6	4.62
NEA 3	18	1.88	12	2.81	7	4.61	6	6.15
NEA 4	29	2.09	27	2.29	14	4.44	9	6.53

Tableau 3 : Calculs des temps de concentrations.

Note : la vitesse de transfert calculée est le rapport L/T_c (avec L plus long parcours hydraulique et T_c le temps de concentration).

Nous constatons que les formules du temps de concentration de Desbordes et de Dujardin fournissent des temps très courts qui n'apparaissent pas réalistes. **La formule de Giandotti fournit des résultats globalement satisfaisants**, elle sera utilisée en référence par la suite.

3.2.3.d. Détermination des coefficients de Montana

La détermination des coefficients de Montana s'appuie sur l'exploitation des courbes IDF disponibles à proximité des différentes zones d'études (voir les courbes IDF en annexe) :

- IDF au poste de Koné (Météo France) ;
- IDF au poste de Tango (Météo France).

Poste de Koné

Le poste de Koné se trouve à la sortie nord du village en bordure de l'aérodrome. La station automatique existe depuis juillet 1995. Les calculs des durées de retour seront faits sur la période 1995-2005, soit 11 années. Le pourcentage des données manquantes est relativement faible avec seulement 3,8% ce qui donne une bonne qualité à l'échantillon utilisé.

Le poste de Koné enregistre en moyenne 1096 mm de précipitations par an (normale 1971-2000). Les variations inter-annuelles étant très importantes en Nouvelle-Calédonie avec des années très sèches en phases El Niño et très humides en phases La Niña, cette valeur n'est pas très informative. Ainsi, sur la période commune d'étude (1991-2006), le total annuel moyen de Koné est de 1027 mm.

Les coefficients a et b pour Koné issus de l'analyse de ces données par Météo France sont :

KONE 1995-2005	d entre 6mn et	60 mn	d entre 60mn et	1440 mn	d entre 1 440mn et	5760 mn
T (ans)	a	b	a	b	a	b
2	149.5	-0.238	1005.1	-0.701	2715.9	-0.841
5	169.2	-0.215	1151.8	-0.680	2914.1	-0.810
10	184.5	-0.203	1270.7	-0.669	3140.2	-0.796
20	200	-0.193	1393.3	-0.661	3395.3	-0.786
50	220.7	-0.183	1558.5	-0.653	3756.5	-0.777
100	236.5	-0.177	1685.1	-0.649	4040.6	-0.771

Tableau 4 : Coefficients de Montana pour poste de Koné.

Le poste de Koné possède 10,2 années de mesures utilisables pour les calculs d'intensités de précipitations sur la période 1995-2005. La période de mesure est relativement courte mais la qualité des données est bonne et le nombre de données manquantes relativement faible.

La méthode n'autorise pas les extrapolations au-delà de 4 fois la taille de l'échantillon¹, soit approximativement 40 ans. Les valeurs des durées de retour 50 ans et centennales de ce poste sont donc présentées à titre informatif.

Poste de Tango

Le poste de Tango a connu 2 localisations. La première (Tango Méaré) était à 551 m d'altitude à environ 6 km plus au nord du site actuel. Celui-ci se trouve à quelques centaines de mètre du col de Tango sur la transversale Koné-Tiwaka, à une altitude de 341 m. Le poste de Tango-Méaré était équipé d'une station automatique mesurant des paramètres au pas de temps horaire et a fonctionné d'août 1990 à fin décembre 1998. Celui de Tango est équipé d'une station automatique mesurant la pluie au pas de temps de 6 minutes et les mesures ont débuté en février 1998. Pour les calculs de durées de retour, les deux échantillons ont été assemblés. Ainsi, la période de calcul est comprise entre 1991 et 2006 pour les périodes d'intégration d'au moins 60 minutes, mais de 1998 à 2006 pour les périodes d'intégration inférieures à 60 minutes.

Pour le poste de Tango, la différence de quantité moyenne de précipitations entre les deux sites est estimée à près de 20%, le premier étant plus pluvieux que le deuxième. En appliquant cette correction, on peut évaluer la quantité moyenne annuelle du site actuel sur la période 1991-2006 à 1560 mm, soit près de 50% de plus qu'à Koné.

Les coefficients a et b issus de l'analyse de ces données par Météo France sont :

TANGO 1991-2006	d entre 6mn et	30 mn	d entre 30mn et	180 mn	d entre 180mn et	5760 mn
T (ans)	A	B	A	B	A	B
2	148.7	-0.171	464.2	-0.517	1446.9	-0.720
5	160.5	-0.125	514.6	-0.474	2109.9	-0.734
10	170.5	-0.099	559.4	-0.454	2617.7	-0.741
20	181.1	-0.079	607.2	-0.439	3128.7	-0.745
50	195.7	-0.058	672.8	-0.424	3807.3	-0.750
100	207	-0.046	723.6	-0.416	4322.1	-0.753

Tableau 5 : Coefficients de Montana pour poste de Tango.

Pour Tango, nous disposons de 14,8 années de mesures utilisables pour les calculs d'intensités de précipitations sur la période 1991-2006 mais uniquement pour les périodes d'intégrations supérieures ou égales à 60 minutes (8,1 années pour les périodes d'intégrations inférieures à 60 minutes). Le pourcentage de données manquantes est plus important avec 7,7%, ce qui donne une moins bonne confiance dans les résultats. Comme pour Koné, les valeurs des durées de retour 50 ans et centennales de ce poste sont présentées à titre informatif.

¹ Source : Météo France

3.2.3.e. Résultats

Les résultats de l'approche locale (méthode rationnelle) et de l'approche régionale (méthode de transposition) sont fournis dans le tableau ci-dessous :

BV	Débit de fréquence 5 ans (m³/s)				Débit de fréquence 10 ans (m³/s)				Débit de fréquence 100 ans (m³/s)			
	Calcul				Calcul				Calcul			
	[1] Méthode rationnelle (station de Koné)	[2] Méthode rationnelle (station de Tango)	[3] Méthode de transposition (station de Boutana)	[4] Méthode de transposition (station de Faténanoué)	[1] Méthode rationnelle (station de Koné)	[2] Méthode rationnelle (station de Tango)	[3] Méthode de transposition (station de Boutana)	[4] Méthode de transposition (station de Faténanoué)	[1] Méthode rationnelle (station de Koné)	[2] Méthode rationnelle (station de Tango)	[3] Méthode de transposition (station de Boutana)	[4] Méthode de transposition (station de Faténanoué)
NEA TOT	154	129	105	120	177	199	144	165	251	299	268	305
TIOM 2	90	77	69	79	103	119	95	109	146	178	177	202
TIOM 1	328	285	258	296	381	463	355	407	555	717	659	752
TIOM TOT	379	333	298	342	440	544	410	469	643	844	761	868
NEA 1	55	54	44	51	62	80	61	70	88	118	114	130
NEA 2	11	11	12	14	13	16	17	19	17	22	32	36
NEA 3	11	11	12	14	12	15	16	19	17	21	31	35
NEA 4	41	42	35	40	46	61	49	56	65	88	90	103

Tableau 6 : Calculs des débits de références par différentes méthodes hydrologiques.

3.2.4. Analyse critique (courbes enveloppes DAVAR)

L'étude sur les courbes enveloppes des débits spécifiques maximums de crues pour le quart sud ouest de la Nouvelle Calédonie portée par la DAVAR indique les formulations suivantes :

- $Q_{sp\text{T}100\text{ans}} = [75^+/- 25] \cdot S^{-0.25}$ en m³/s/km² ;
- $Q_{\text{T}100\text{ans}} = [75^+/- 25] \cdot S^{0.75}$ en m³/s.

L'application de ces formulations donne les résultats suivants :

BV	Surface (km²)	Débit de fréquence 100 ans (m³/s)			
		Calcul			
		[1] Fourchette de débits calculés	[2] Méthode DAVAR (c=50)	[3] Méthode DAVAR (c=75)	[4] Méthode DAVAR (c=100)
NEA TOT	8.51	251 - 305	249	374	498
TIOM 2	4.90	146 - 202	165	247	330
TIOM 1	28.30	555 - 752	613	920	1227
TIOM TOT	34.27	643 - 868	708	1062	1416
NEA 1	2.71	88 - 130	106	159	211
NEA 2	0.49	17 - 36	29	44	59
NEA 3	0.47	17 - 35	29	43	57
NEA 4	1.99	65 - 103	84	126	168

Tableau 7 : Comparaison des débits centennaux calculés avec méthode DAVAR.

Les résultats calculés par l'analyse hydrologique régionale et locale sont donc cohérents vis-à-vis des formulations faites par la DAVAR, sachant que la courbe supérieure (coefficient = 100) correspond aux résultats des ajustements obtenus sur les stations hydrométriques de la côte est.

La fourchette des débits calculés par la présente étude hydrologique se situent entre les coefficients 50 et 75. C'est pourquoi nous proposons de **retenir les valeurs hautes comme débits centennaux de référence**. Les valeurs de référence que nous retiendrons sont donc les suivantes :

	Débit 5 ans (m³/s)	Débit 10 ans (m³/s)	Débits 100 ans (m³/s)	Débit spécifique 100 ans (m³/s/km²)
Néa	125	169	305	36
Tiombola	355	479	868	25

Tableau 8 : Récapitulatif des débits de référence.

4. Analyse hydraulique

4.1.Type de modèle hydraulique utilisé

Le modèle utilisé est un modèle filaire classique (HEC RAS 4) déterminant les conditions d'écoulement relatives au passage d'un débit constant le long d'une vallée, discrétisée à partir d'une succession de profils en travers.

Une présentation du modèle mathématique HEC RAS est disponible en annexe.

Pour Koné, compte-tenu de l'extension des zones inondables, qui conduisent à la "fusion" de plusieurs cours d'eau et donc à un fonctionnement presque bi-dimensionnel, il a été nécessaire de recourir à des structures latérales au niveau de certaines confluences (en particulier jonction Tiombola/Ne N'duco) pour obtenir une répartition représentative des débits entre les différents biefs.

4.2.Données de base topographiques

4.2.1. Sources de données

Les données topographiques de référence seront les données suivantes :

- profils en travers levés pour les besoins spécifiques de l'étude,
- fonds topographique Province Nord au 1/2000
- fonds topographiques DI3T au 1/10 000.

Ces données seront utilisées par ordre de priorité décroissante : la priorité est donnée aux profils en travers, puis aux levés aéroportés, au 1/2000 et le fond au 1/10000 est utilisé faute de mieux.

4.2.2. Fonds topographique au 1/10 000

Ce fond a été mis à disposition par la Nouvelle Calédonie (DI3T) le 2 mars 2007. Disponible sur toute la Nouvelle Calédonie en référentiel Lambert RGNC 91, il est donné pour une précision métrique ($\pm 0,5$ m).

Les informations topographiques (semis de points et courbes de niveau) sont utilisées pour la délimitation des bassins versants généraux, pour la caractérisation du lit majeur en absence de données plus précises, et comme point de comparaison avec les autres données disponibles.

4.2.3. Construction du modèle de terrain

Le fond topographique de base utilisé est le 1/2000. Ce fond a été mis à disposition par la Province Nord (Service topographie) le 6 mars 2007.

Seule la commune de Koné est couverte, sur la quasi-totalité des linéaires à cartographier. Le fond utilisé est une mise à jour 2006, en référentiel Lambert RGNC 91, avec une précision décimétrique.

Les informations topographiques (semis de points et courbes de niveau) seront utilisées pour la caractérisation du lit majeur sur les cours d'eau étudiés sur la commune de Koné. Les informations d'habillage (routes, habitations, ...) seront utilisées pour la cartographie des zones inondables.

Les orthophotographies aériennes du secteur ont également été exploitées pour évaluer les relations entre cours d'eau, et valider les coefficients de Strickler selon les secteurs.

Deux ensembles de profils en travers ont été exploités : les levés réalisés en juin 2007 par SEFP, et les levés complémentaires réalisés par Geoplan en novembre 2008.

Afin de valoriser au mieux l'ensemble de ces données, dont la qualité est assez variable, nous avons reconstruit les profils en travers modélisés en quatre étapes :

- En pratique, un premier modèle de terrain a été généré sur la base du 1/2000, puis les profils en travers levés (SEFP et Geoplan) ont été interpolés, suivant l'axe des cours d'eau, et rattachés (en dehors de l'axe des lits mineurs) aux bordures de la plaine inondable déduites du 1/2000. Ces interpolations ont été réalisées à l'aide des logiciels Autocad et Inroads, ce qui a permis de générer un modèle de terrain complet, comprenant à la fois la plaine inondable et l'axe des cours d'eau (afin d'en extraire des profils modélisés).

Cette méthode a permis de valoriser au mieux l'information topographique disponible, et de confronter sur tous les secteurs les données des profils en travers et du fond au 1/2000.

- La construction d'un MNT complet permet ensuite d'extraire des profils modélisés tout le long du cours d'eau et non plus seulement au droit des profils levés, ce qui s'est avéré nécessaire au vu de la stratégie de modélisation adoptée.
- Une fois le MNT validé, et avant d'entreprendre le sectionnement des différents cours d'eau à modéliser, une première analyse des niveaux d'eau anticipés a été faite à l'aide du calculateur hydraulique de HEC-RAS. Cette analyse a permis d'identifier les secteurs où des relations entre les cours d'eau existent lors des fortes crues (fusion des zones inondables, et donc déversements possibles d'un cours d'eau à un autre).

Cette analyse a permis d'établir une stratégie de modélisation adaptée à la configuration très particulière des cours d'eau traversant le village, avec des zones inondables qui se rejoignent très en amont de la jonction des lits mineurs. Suite à cette analyse, nous avons ensuite repositionné les profils modélisés, les jonctions entre cours d'eau, et pris en compte des "structures latérales" qui représentent les échanges de débits entre les biefs en amont des jonctions, pour différents niveaux de crues.

- Une fois la stratégie de modélisation définie, les profils en travers finaux ont été extraits du modèle de terrain à l'aide du logiciel RiverCAD. Les profils en travers modélisés ne sont pas obligatoirement linéaires, ils sont représentés perpendiculairement à l'écoulement en tout temps pour une plus grande précision des résultats hydrauliques.

La carte n°1 jointe permet de localiser les profils modélisés, les levés topographiques réalisés et les ouvrages pris en compte.

La figure page suivante synthétise l'ensemble de ces éléments à plus grande échelle.

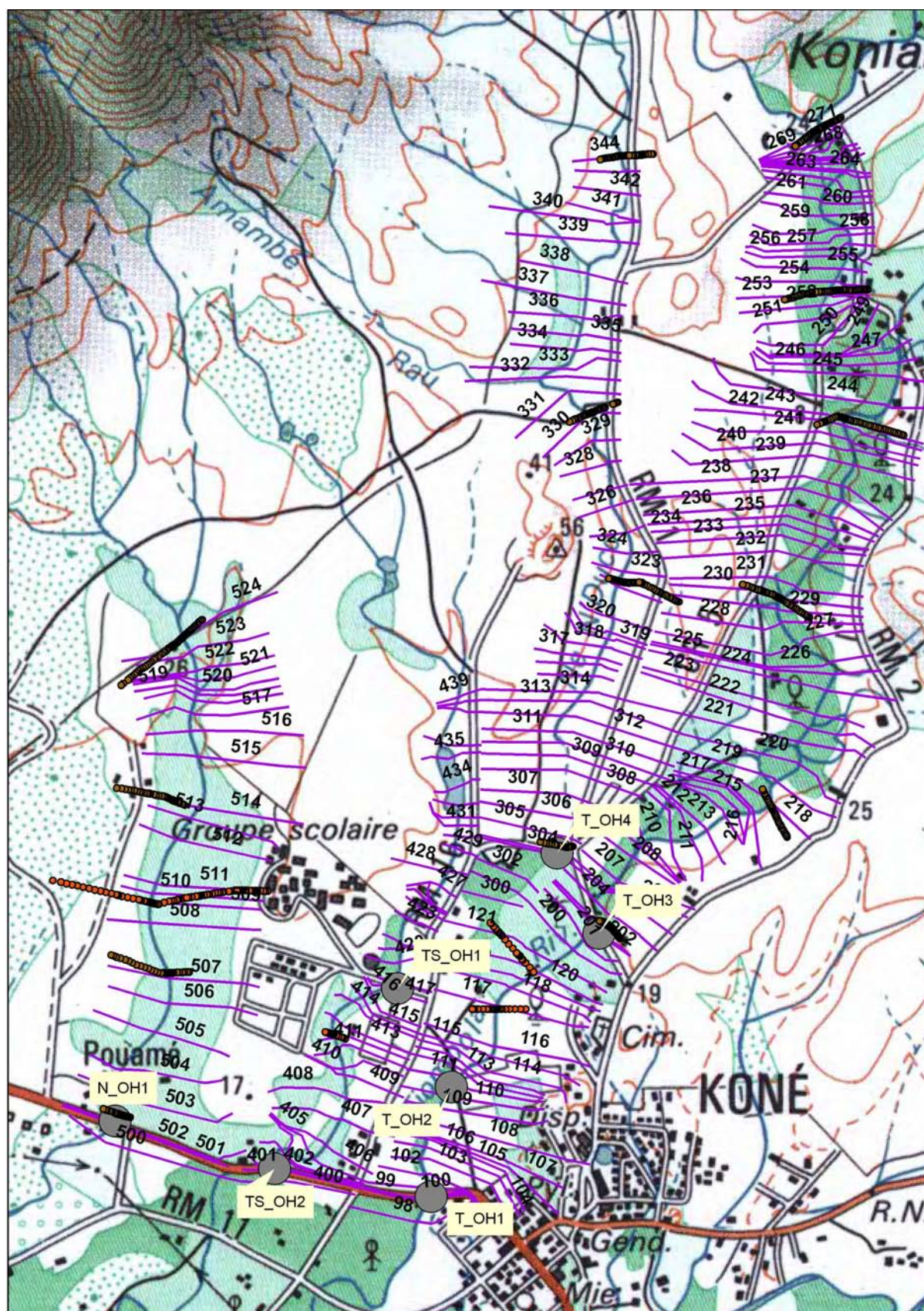


Figure 2 : implantation des profils modélisés, des ouvrages et des levés topographiques (Koné)

Les ouvrages pris en compte pour les rivières modélisées sur Koné sont les suivants :

- Nea (profil 501.5, N_OH1) : pont cadre sur la RT1
- Tiombola (profil 99.5, T_OH1) : pont sur la RT1 (largeur 25m) avec appui intermédiaire
- Tiombola (profil 202.5, T_OH3) : pont cadre 5x1,2m sur RM
- N'duco (profil 303.5, T_OH4) : pont cadre 5x1,5m sur la RM16
- Tiombola secondaire (profil 401.5, TS_OH1) : pont cadre 4x2,8 sur la RT1
- Tiombola secondaire (profil 417.5, TS_OH2) : pont cadre 4x2,8 sur route communale

Le radier busé T_OH2 (Tiombola, profil 111.5) n'a pas été pris en compte comme un ouvrage, il est totalement effacé dès la crue 5 ans. Le niveau haut du radier (cote 5.32) est intégré dans le profil modélisé.

4.3.Cours d'eau modélisés

4.3.1. Nea, Ne N'duco et Tiombola

Le modèle a été construit pour être représentatif des écoulements de la Nea, la Ne N'duco (affluent de la Tiombola), et la Tiombola avant leur jonction avec la rivière Koné, en particulier dans leur traversée du centre ville de Koné.

Lors de l'analyse préliminaire, il est apparu clairement que la rivière Néa ne pouvait pas influencer ou être influencée par les niveaux d'eaux des rivières N'Duco et Tiombola.

Le modèle comporte 5 biefs (tronçons de cours d'eau) : Nea, NDuco, Tiombola Amont, Tiombola Aval, Tiombola secondaire. La Nea est totalement indépendante des quatre autres biefs.

Le bief Tiombola secondaire, dont la modélisation n'était pas demandée dans le cahier des charges, a du être ajouté pour pouvoir représenter de manière plus fidèle les écoulements en amont du village.

Pour une meilleure lisibilité des résultats, les profils en travers sont numérotés selon le bief concernés (référence croissante de l'aval vers l'amont, la valeur la plus basse est le profil aval) :

- Tiombola (en aval de la confluence avec la Ne N'duco) : profils 100 à 121
- Tiombola (en amont de la confluence avec la Ne N'duco) : profils 200 à 265
- Ne N'duco : profils 300 à 343
- Tiombola (bras secondaire non dénommé longeant le stade et le collège) : profils 400 à 439
- Nea : profils 500 à 524

Les bras secondaires d'écoulement à la rivière Tiombola présents sur le MNT entre les stations 213 à 245 n'ont pas été intégrés au modèle hydraulique en tant que branches de rivières distinctes, mais simplement à la géométrie des « cross sections » de la section de rivière TIOM_2. Pour bien représenter l'influence de ces bras secondaires d'écoulement sur les niveaux d'eau et vitesses, des « levees » et des zones ineffectives d'écoulement ont été utilisés.

Il a été établi que les rivières Tiombola et N'Duco s'échangeaient de l'eau à certains points le long de la route RM16. Pour notre modèle, il a été déterminé que les rivières N'Duco et Tiombola étaient en vase communicant environ 350 mètres en amont de la jonction physique des lits mineurs.

5. Résultats de la modélisation

5.1. Calage Nea et Tiombola

La modélisation hydraulique de la Nea et de la Tiombola a fait l'objet d'un calage simplifié en raison de l'absence de données historiques de crues (PHE) et de données mesurées (jaugeage) sur le cours d'eau en période de crue.

La modélisation a été réalisée en régime fluvial, afin d'obtenir une meilleure stabilité des calculs, en particulier au droit des ouvrages. Il est toutefois probable que certains secteurs amont sur la Ne N'duco présentent des passages localisés en écoulement torrentiel.

Les seules données mesurées disponibles se situent au niveau de la RT1 mais l'influence forte des crues de la Koné à ce niveau ne permettent pas de caler les écoulements des affluents considérés. Ces valeurs de crues observées sont, indirectement, prises en compte dans la condition aux limites aval qui correspond aux niveaux en crue de la rivière Koné.

L'analyse de sensibilité réalisée permet de conforter les résultats obtenus par ce calage empirique. L'ensemble des résultats, sous forme de tableau avec référence aux profils modélisés (« River Station ») est présenté en annexe.

5.2. Coefficients de frottement

Le coefficient de Strickler représente la rugosité du cours d'eau, en lit mineur ainsi qu'en lit majeur. Les reconnaissances de terrain et l'analyse des études [1], [6] et [9] ont permis d'estimer les coefficients de frottement.

Les coefficients considérés sont résumés dans le tableau suivant, avec la plage de variation retenue pour l'analyse de sensibilité.

La seule exception est la prise en compte d'un coefficient de Strickler de 40 en lit majeur au droit (amont et aval immédiat) des franchissements de route.

	Strickler (K)	Test de sensibilité : Gamme de variation du coefficient de Strikler
Fond du lit mineur	20	15 à 25
Lit majeur	15	12 à 20

Tableau 9 : Valeurs des coefficients de Strickler (Nea, Ne N'duco et Tiombola).

5.3. Conditions aux limites

Afin de réaliser la modélisation hydraulique en régime permanent, nous avons retenu les conditions aux limites suivantes :

- Condition amont : débits pour occurrences 5 ans, 10 ans et 100 ans résultants de l'analyse hydrologique

Les valeurs de débits sont prises en compte dans le modèle dès l'amont des différents tronçons de cours d'eau, même s'ils correspondent à des valeurs à l'exutoire, ce qui constitue une approche sécuritaire.

La variabilité des débits est étudiée à travers des tests de sensibilité dans la modélisation hydraulique.

- Condition aval : la condition en limite aval a été prise au niveau de la RT1, en aval des ouvrages modélisés. L'étude [1] nous renseigne sur des cotes maximales atteintes par la rivière Koné pour différentes occurrences de crues. Il est donc proposé, dans un souci d'homogénéité avec les zones inondables disponibles actuellement, d'utiliser les informations HYDREX comme condition aval aux deux modèles sur la commune (cotes interpolées entre profils).

En pratique, la hauteur d'eau dans la Koné conditionne directement les hauteurs d'eau représentées. Cela confirme la note de l'étude Hydrex (Hydrex, 1994) qui relevait que "la zone inondable est engendrée par le débit de la Koné", et notait que pour les principaux affluents, dont la Tiombola, ces cours d'eau ont "tendance à voir la crue de la Koné remonter dans leur lit".

5.4. Résultats de la modélisation pour la Néa

Les hauteurs d'eau calculées pour la Néa, par rapport au fond du lit, varient entre 3 et 6 m (dans la partie aval, après la rupture de pente).

La variation du coefficient de frottement pour une occurrence centennale induit des faibles différences de cotes : en moyenne de ± 10 cm avec des maximums de +23 cm (valeurs les plus défavorables de Strickler) atteints en amont de zone urbanisée.

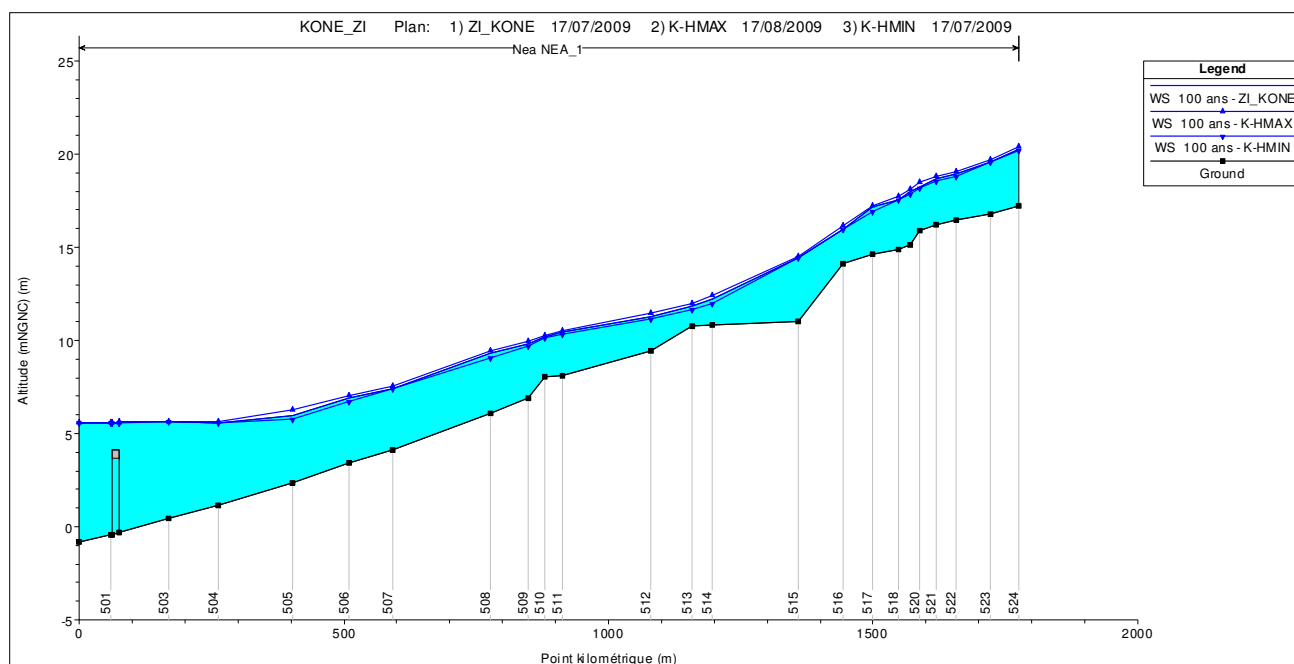


Figure 3 : Analyse de sensibilité aux coefficients de Strickler - Nea

Le profil en long des tests de sensibilité permet de situer les tronçons sensibles au Strickler. Compte-tenu de la morphologie du lit majeur dans ces secteurs, une incertitude sur les niveaux de cette amplitude n'a quasiment aucun effet sur l'extension de la zone inondable et sur l'étendue respective des différents aléas.

Les hauteurs d'eau calculées s'avèrent également très peu sensibles au débit de crue pris en compte : l'écart est au plus de -24 cm pour un débit centennal passant de 305 à 250 m³/s.

Enfin, l'influence de la condition aux limites aval (en prenant en compte une variation de +1 m) ne remonte pas au-delà de 500 m en amont de la confluence avec la Koné, comme le montre la figure suivante.

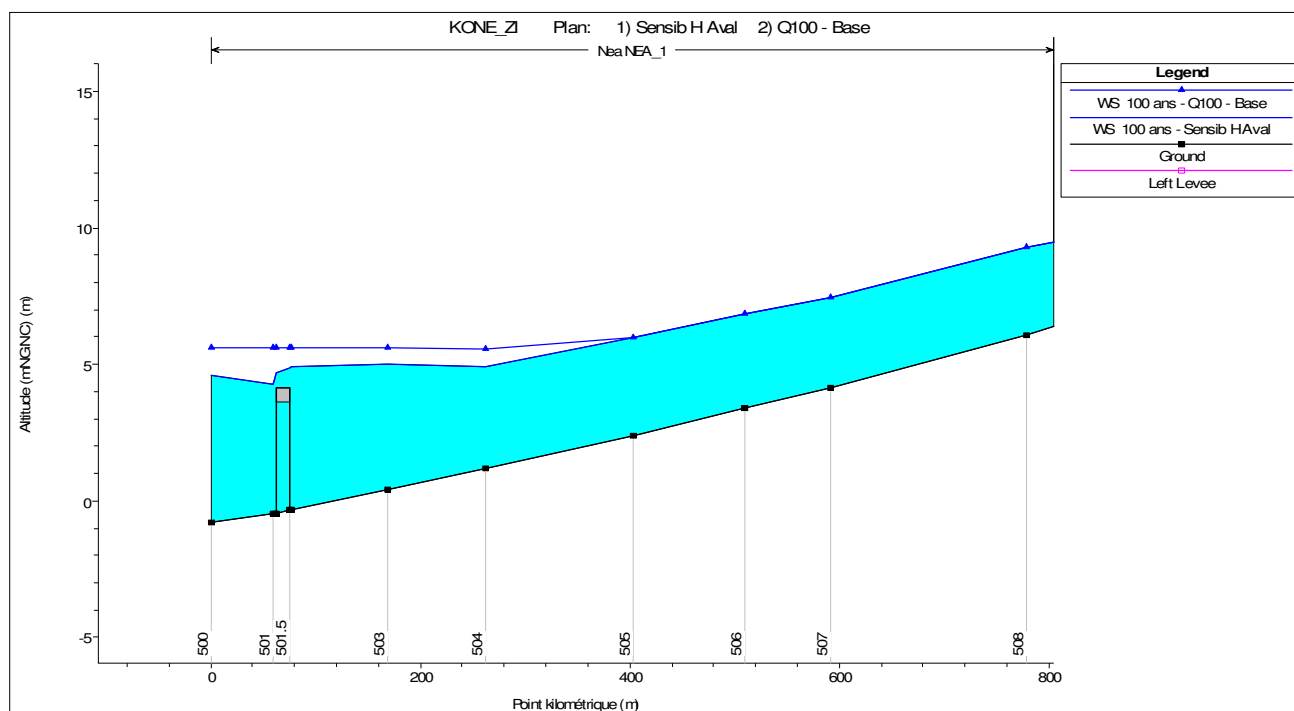


Figure 4 : Sensibilité à la condition aux limites Aval – Nea

5.5. Résultats de la modélisation - Ne N'duco et Tiombola

La figure suivante montre une vue des résultats de modélisation pour la crue centennale, pour l'ensemble Ne N'duco / Tiombola secondaire / Tiombola, qui sont en interaction par le biais des déversements modélisés.

Il apparaît que les zones inondables de la Tiombola (profils 200 et plus), de la Ne N'duco (profils 300 et plus) et du bras secondaire (profils 400 et plus) à l'ouest du stade finissent par se confondre, ce qui justifie les hypothèses de modélisation retenues et les liens (structures latérales) établis entre ces cours d'eau.

En pratique, malgré un bassin versant et donc des apports directs beaucoup plus réduits, le bras « Tiombola secondaire » reprend une partie importante du débit de la Tiombola.

La répartition des débits, en crue centennale, évalué par le modèle tout à l'aval, est de 420 m³/s pour le bras secondaire et 480 m³/s pour le cours principal de la Tiombola.

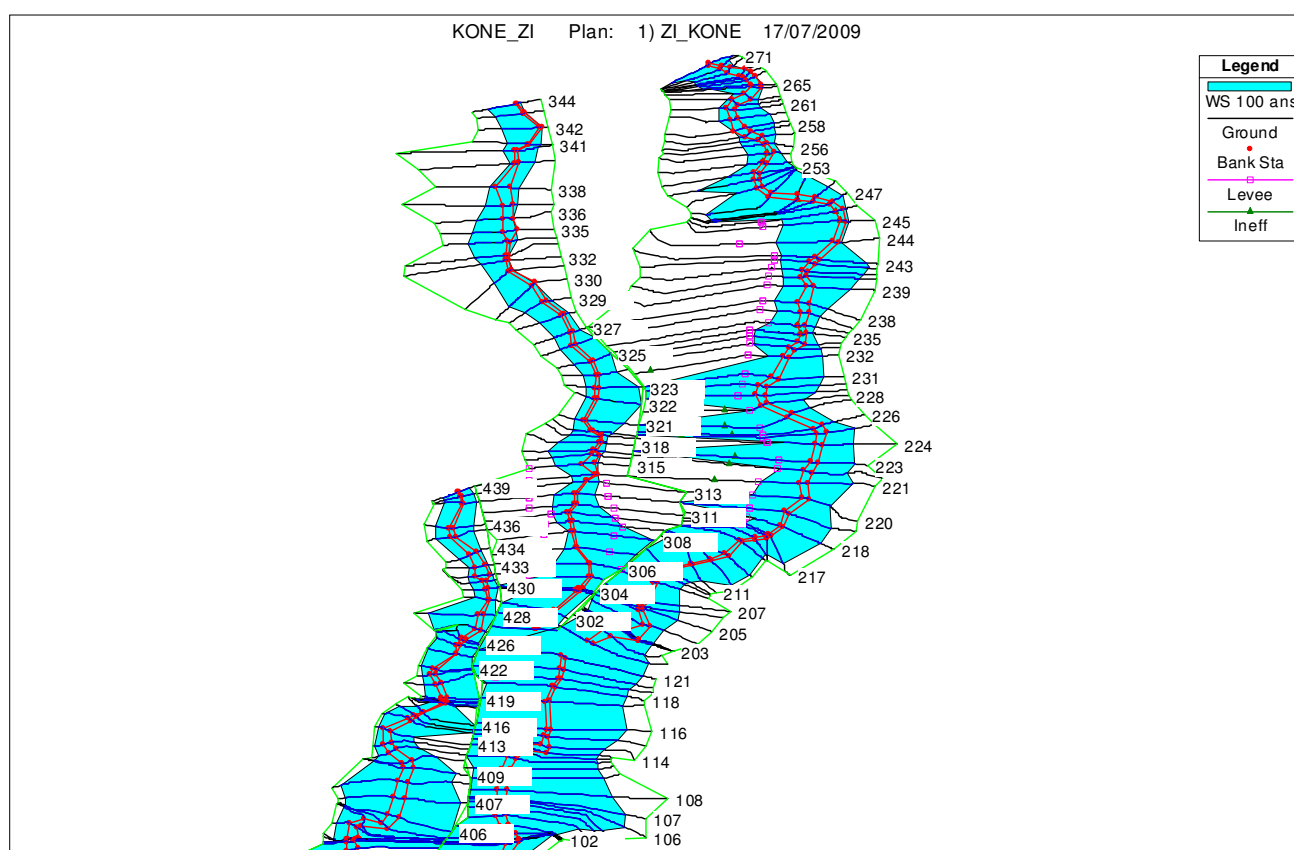


Figure 5 : Vue en plan des cours d'eau modélisés en crue 100 ans – Ne N'duco et Tiombola

Les hauteurs d'eau calculées pour la Ne N'duco s'avèrent peu sensibles aux coefficients de frottement pris en compte (variation de ± 30 cm en fonction des valeurs retenues).

La prise en compte d'un débit plus faible (119 m³/s au lieu de 172 m³/s) a également peu d'influence sur les hauteurs d'eau de la Ne N'duco (écart maximal de -47 cm) et surtout n'a quasiment aucun effet sur l'extension de la zone inondable, compte-tenu du caractère encaissé de la partie amont, où se rencontrent les écarts les plus forts.

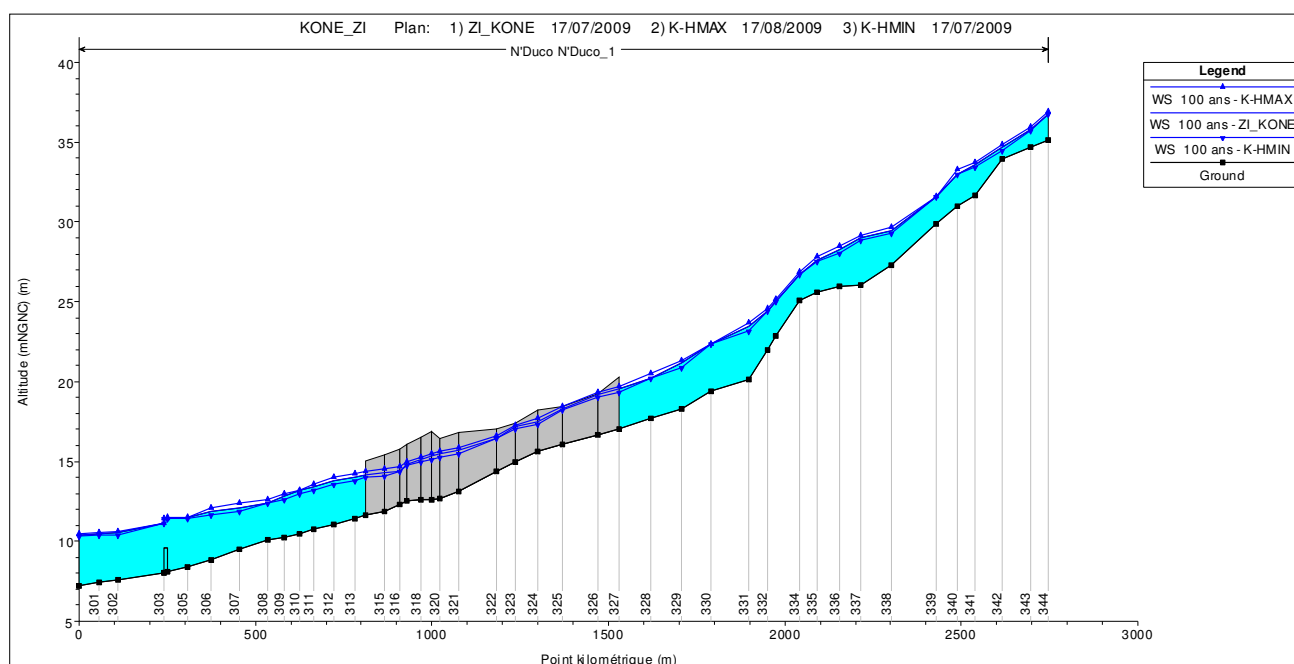


Figure 6 : Analyse de sensibilité aux coefficients de Strickler – Ne N'duco

La condition aux limites aval ne modifie en rien les hauteurs calculées pour la Ne N'duco, ce qui est normal car la confluence avec la Tiombola intervient très en amont de la confluence Tiombola/Koné. Concernant l'analyse de sensibilité par rapport aux coefficients de frottement, on obtient une fourchette de variation entre de -70 cm à +80 cm pour le bief Tiombola secondaire. Cet écart important s'explique par le fait que ce tronçon sert de bras de décharge au cours d'eau principal. En modifiant les coefficients de frottement sur l'ensemble des cours d'eau, on relève globalement les niveaux, ce qui conduit à un report de débit supplémentaire sur Tiombola secondaire qui vient amplifier les écarts de niveau. L'ouvrage au niveau de la RT1 devient également très limitant, amplifiant encore les écarts obtenus.

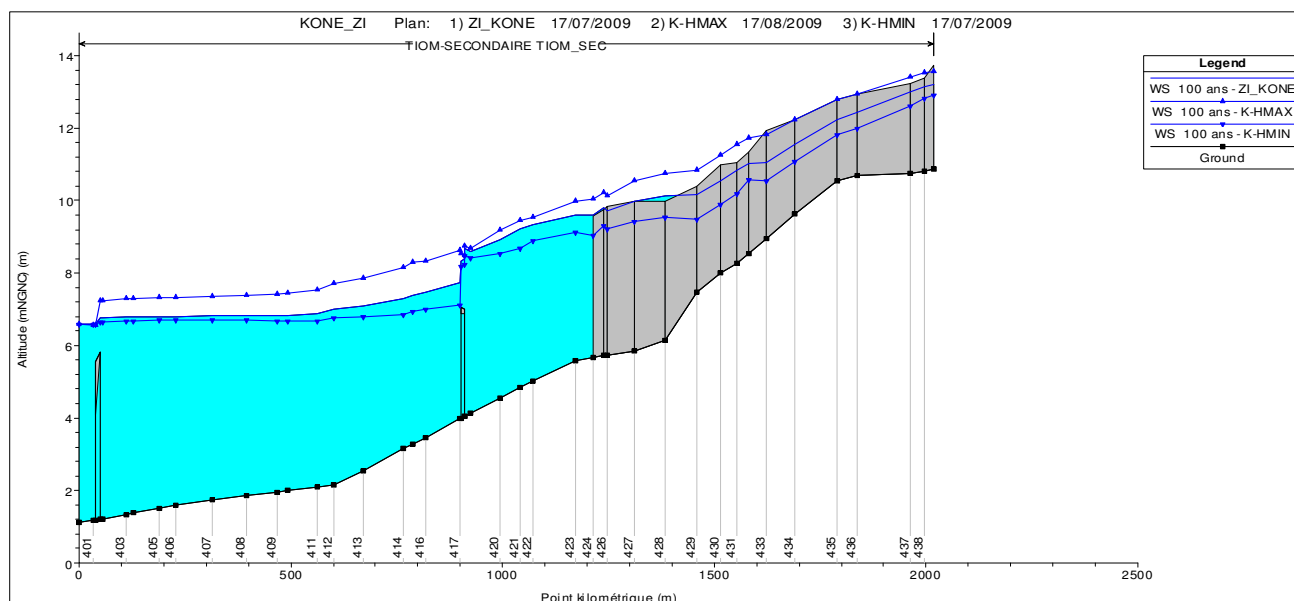


Figure 7 : Sensibilité aux valeurs de coefficients de frottement – Tiombola secondaire

Concernant la sensibilité aux valeurs de débits (valeur basse), une variation de 20% par rapport aux débits de référence (710 m³/s contre 868 m³/s pour l'ensemble de la Tiombola, et 613 m³/s contre 750 m³/s pour Tiombola amont) fait apparaître des écarts de +50 cm au maximum par rapport aux débits pris en référence.

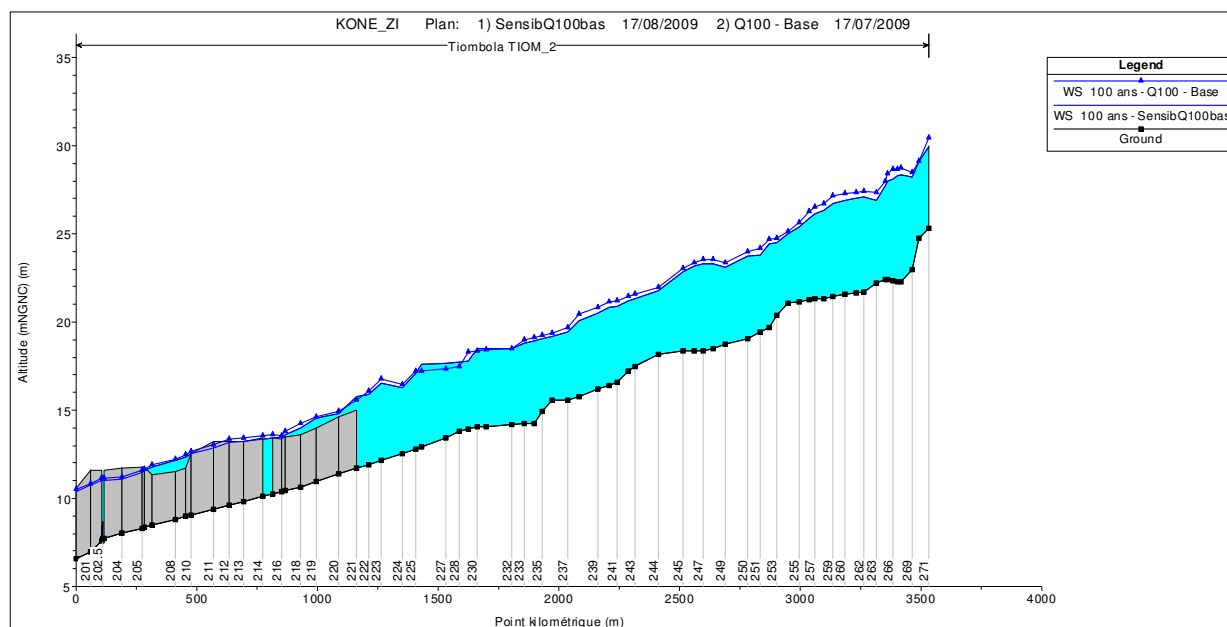


Figure 8 : Sensibilité aux valeurs de débits – Tiombola amont

Encore une fois, les incertitudes les plus fortes interviennent sur le bras Tiombola Secondaire, en raison d'une répartition modifiée des débits (déversements réduits quand le débit est revu à la baisse dans le cours principal), qui amplifie de ce fait les variations.

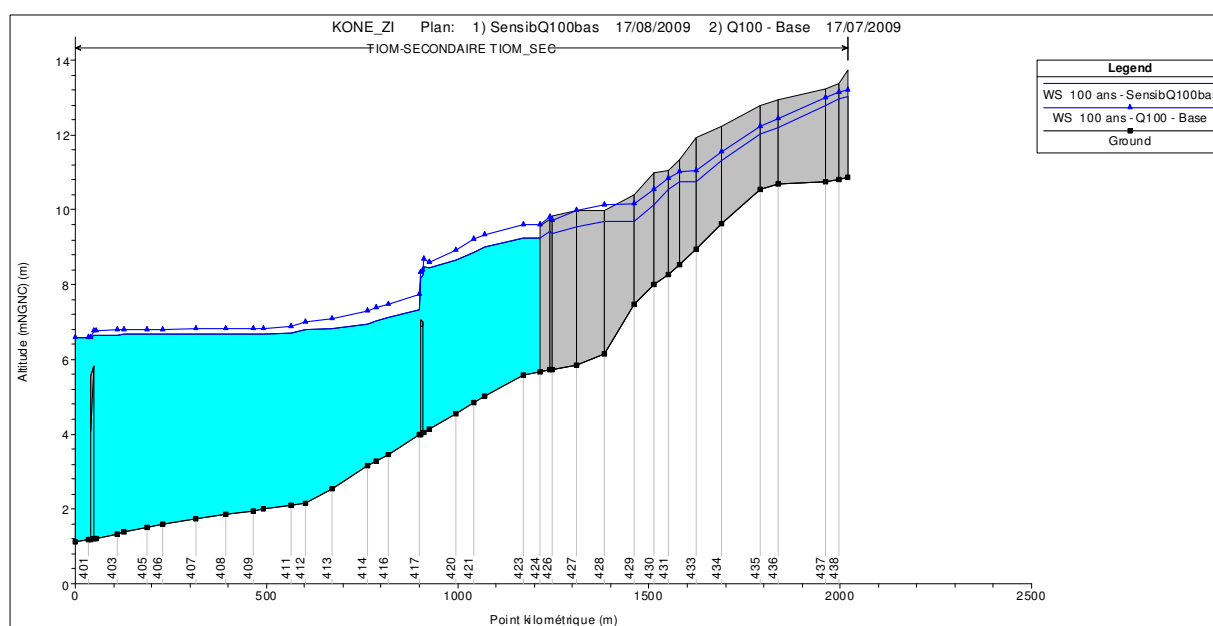


Figure 9 : Sensibilité aux valeurs de débits – Tiombola secondaire

Le modèle se montre très robuste par rapport aux conditions aux limites aval, comme le montre le graphe ci-dessous. La condition aval n'influence pas les hauteurs d'eau en amont du profil 104, soit environ 250 m en amont de la RT1.

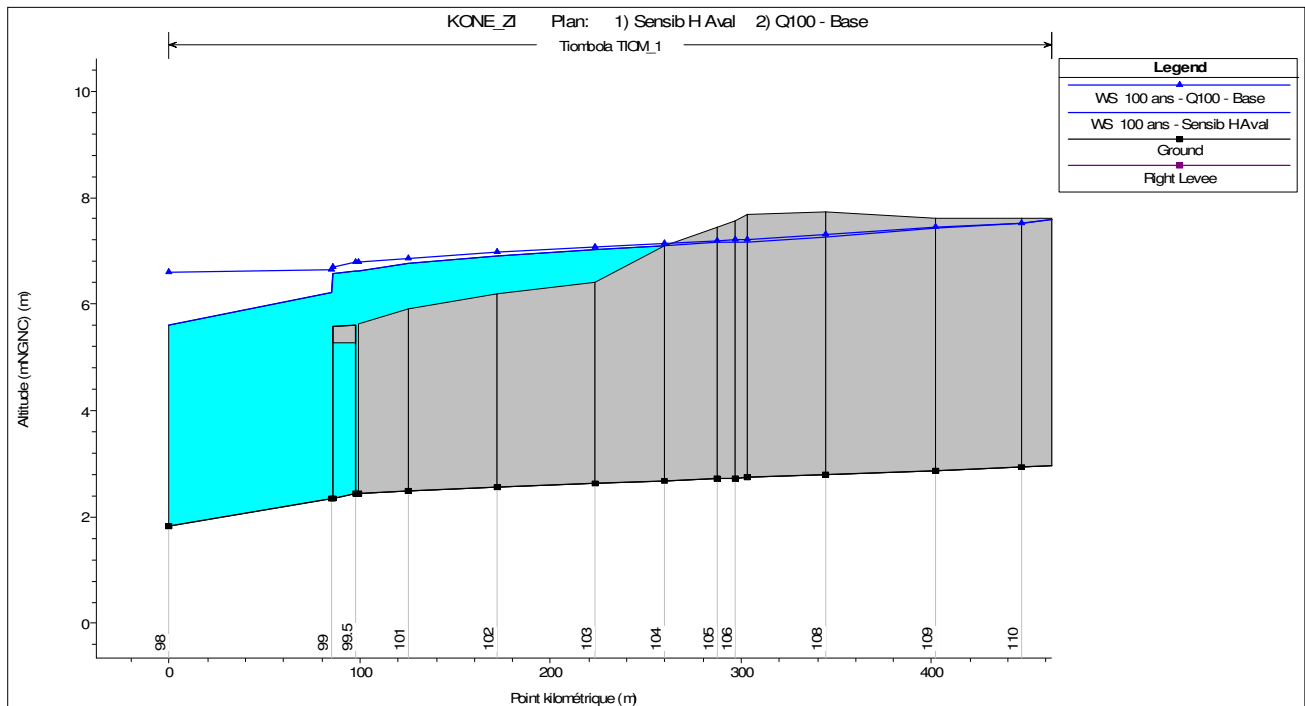


Figure 10 : Sensibilité à la condition aux limites Aval – Tiombola

Concernant les hauteurs d'eau calculées, l'intégralité des résultats de modélisation est présentée en annexe. Le modèle reste au-dessus (environ 50 cm) des valeurs de référence du cyclone GYAN81, sans que cela soit significatif : les repères de crue, Plus Hautes Eaux connues (PHEC), sont situés au droit de la RT1, donc au niveau de la condition aux limites aval déterminée par l'étude Hydrex, qui était elle-même au-dessus des PHEC.

On note une submersion relativement importante de la RT1 pour les crues calculées, y compris la décennale. Le modèle prend bien en compte le fonctionnement du bras secondaire comme un lit de décharge.

Concernant les vitesses, seul le tronçon amont de la Tiombola (entre les sections 270 et 220) fait apparaître des vitesses supérieures à 4 m/s, en lit mineur et supérieures à 2 m/s en lit majeur. Les écoulements sont probablement torrentiels lors des fortes crues dans le secteur. De même, les vitesses supérieures à 3 m/s en lit mineur se retrouvent essentiellement sur les tronçons amont de la Ne N'duco et de la Nea, au droit des pentes les plus fortes.

Partout ailleurs, les vitesses d'écoulement restent relativement modérées.

Sur le tronçon aval de la Tiombola, en lit majeur gauche, les vitesses ne dépassent pas 1 m/s, ce qui s'explique par la présence du bras de décharge. Les vitesses sont estimées à environ 1 m/s en rive droite. Compte-tenu de la morphologie de la plaine inondable, relativement large, les vitesses diminueront rapidement à mesure que l'on s'écartera de l'axe principal des écoulements.

6. Modélisation hydraulique

6.1. Modèle utilisé et limites d'interprétation

Les cartographies associées au présent rapport sont établies en s'appuyant sur des valeurs de hauteurs d'eau et de vitesses calculées par un modèle numérique.

L'outil de modélisation utilisé, HEC-RAS, représente les écoulements unidimensionnels (filaire) et a été utilisé en régime permanent. **L'hypothèse centrale est que la hauteur d'eau est uniforme sur toute la largeur d'un profil en travers modélisé.**

La représentation unidimensionnelle ne rend que partiellement compte des écoulements latéraux intervenant au sein d'une plaine inondable. Cette limitation s'est avérée significative sur l'aval de la Tiombola, et a nécessité la mise en place d'un modèle relativement complexe, avec plusieurs tronçons de cours d'eau en interaction, pour pouvoir représenter fidèlement la répartition des écoulements.

Par ailleurs, indépendamment des limites intrinsèques du modèle, les sources de données topographiques se sont avérées parfois imprécises et difficiles à exploiter (information altimétrique partielle ou manquante), en particulier dans les zones à fort couvert végétal (où la photorestitution n'a pas pu fournir de résultats fiables).

Pour la Née, la Ne N'duco et la Tiombola, les incertitudes sont situées sur les parties amont, où les pentes sont fortes et le couvert végétal dense. Toutefois, les pentes marquées permettent de limiter l'incertitude en planimétrie, un écart de niveau calculé important ne modifiant que très peu l'extension de la zone inondable.

Ces secteurs sont aussi ceux où les enjeux sont les moins présents (pas d'urbanisation, pas de projets d'installation programmés à court terme).

Une autre zone d'incertitude a été identifiée au niveau de la Tiombola secondaire, juste en aval de la jonction avec l'axe principal de la Tiombola, et qui reprend aussi une partie des débits de la Ne N'duco. Les reports de débits vers ce tronçon sont fonction des niveaux atteints dans l'axe principal de la Tiombola, ce qui vient amplifier les variations de niveau dans le secteur.

Pour un talweg intermédiaire, en amont de la confluence entre Ne N'duco et Tiombola (rive droite de la Tiombola), nous avons choisi de ne pas cartographier l'aléa d'inondation, car l'hypothèse du modèle filaire (hauteur d'eau homogène sur la largeur du profil modélisé) n'est plus applicable. Il aura fallu ajouter un autre bief, et représenter un sous-bassin versant. Nous avons choisi de ne pas représenter la zone inondable sur ce secteur d'extension limitée. En absence de limite cartographiée, la limite géomorphologique fait toujours foi.

6.2. Valeurs de référence : hauteurs et vitesses

L'ensemble des hauteurs d'eau et vitesses de référence sont celles calculés par le modèle, pour la crue centennale.

Les valeurs de hauteur d'eau calculées ont été reproduites sur la cartographie associée au présent rapport pour faciliter leur utilisation directe.

Pour l'évaluation d'un projet, ces valeurs de hauteurs et vitesses sont à prendre en référence, en priorité sur l'extension de la zone inondable cartographiée (moins précise car liée à la précision du fond topographique).

La zone inondable pourra être précisée localement, dans le cas où une information topographique nouvelle serait disponible (par exemple levé réalisé pour état des lieux).

7. Définition de l'aléa

L'aléa est la probabilité d'apparition d'un phénomène naturel, d'intensité et d'occurrence données, sur un territoire donné. Il est faible, modéré, fort ou très fort en fonction de la hauteur d'eau, la vitesse d'écoulement et du temps de submersion, par rapport au phénomène de référence.

Pour la présente cartographie, la crue centennale a été prise en référence.

7.1. Cartographie des hauteurs

Sur la base d'une extrapolation (entre chaque profils) des résultats de la modélisation, les hauteurs d'eau ont été cartographiées. La cartographie fait apparaître, pour les crues de référence :

- la limite d'expansion de crue ;
- les hauteurs d'eau par classe de 0,5 m (carte des iso-submersions)

La cartographie s'appuie sur un modèle numérique de terrain généré à partir du fond topographique au 1/2000 ou à partir du levé aéroporté selon les cas.

7.2. Cartographie de l'aléa

L'aléa représente le croisement entre hauteurs d'eau et vitesses. La qualification de l'aléa se fait selon la grille d'analyse suivante :

	Vitesse faible à modérée	Vitesse forte à très forte
	< 1 m/s	> 1 m/s
H < 0.5 m	Aléa moyen	Aléa fort
0,5 m < H < 1 m	Aléa moyen	Aléa fort
1 m < H < 1,5 m	Aléa fort	Aléa très fort
H > 1,5 m	Aléa très fort	Aléa très fort

Tableau 10 : Définition de l'aléa pour la crue de référence (source : DAVAR / Cahier des charges de l'étude)

L'aléa très fort est caractérisé essentiellement par des vitesses d'écoulement supérieures à 1 m/s et des hauteurs de submersion importantes, supérieures à 1 m. Il peut en outre correspondre à des zones où le transport solide est important.

L'aléa fort correspond à des zones présentant au moins un des caractères de la zone d'aléa très fort, à savoir vitesse d'écoulement supérieure à 1 m/s et hauteur de submersion dépassant 1m.

Enfin, les aléas moyens/faibles sont caractérisés par des hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement faibles.

En pratique, les vitesses supérieures à 1 m/s ne sont pas rencontrées en lit majeur, à l'exception de la partie amont de la Tiombola et d'un secteur limité en rive gauche en aval de la Tiombola. Dans ces secteurs, la hauteur de submersion est déjà supérieure à 1,5 m, donc l'aléa est déjà qualifié de très fort sur la base des seules hauteurs. La vitesse calculée par le modèle n'apportera donc pas de modification à la cartographie d'aléa.

Pour Koné, l'extension des crues définies par l'étude Hydrex 1994 (crues de la Koné, parties aval des cours d'eau) et celle définies par la méthode géomorphologique (pour la partie amont) a également été superposée à la carte.

Concernant la méthode géomorphologique, cette limite coïncide assez bien avec les limites obtenues pour la crue centennale. Normalement, la zone hydrogéomorphologique est sécuritaire et a une extension plus importante que la crue centennale.

Sur certains tronçons très localisés, la crue centennale s'étend au-delà de cette zone géomorphologique, en raison des sources topographiques utilisées, plus précises pour la présente étude, ce qui fait apparaître certaines dépressions d'extension limitée non apparente sur un 1/10000 par exemple.

La zone comprise entre l'extension de la crue centennale calculée et la zone géomorphologique est considérée soumise à un aléa faible.

8. Enjeux identifiés

La partie amont des cours d'eau étudiés (Néa, Tiombola, Ne N'duco) comporte un couvert végétal assez dense, avec une occupation des sols restée majoritairement naturelle.

Sur l'amont de la Tiombola, en rive gauche, on note la présence d'habitations (tribu Grombaou) potentiellement touchées par la crue centennale (aléa moyen à fort).

Le CR5 (le long de la rive gauche de la Tiombola), la RM1 (rive droite de la Ne N'duco) et la RM16 (entre la Tiombola et le bras secondaire de la Tiombola) sont submergés en crue centennale.

Le groupe scolaire (Internat) et le lotissement au sud de ce groupe scolaire se retrouvent isolés lors de ces crues. Le lotissement lui-même apparaît hors d'eau, à l'exception d'une unique habitation à l'extrême sud-est (lot le plus proche du bras secondaire de la Tiombola).

En rive droite de la Tiombola, juste en aval de confluence avec la Ne N'duco (au nord-est du stade), on note la présence de quelques habitations exposées à un aléa moyen à fort.

Plus en aval, en amont de la RT1, plusieurs habitations sont concernées par un aléa très fort.

La RT1 est submergée en plusieurs endroits, et au niveau de tous les franchissements des cours d'eau étudiés. Cette submersion est autant liée à la condition aval (niveau de la rivière Koné) qu'aux apports amont, qui dépassent les capacités des ouvrages en crue de type centennale, ce qui n'est pas surprenant compte-tenu du caractère exceptionnel de ces crues.

A l'exception des voiries, aucun équipement public n'apparaît touché par la crue de référence. Le modèle montre que le stade est hors d'eau, bien qu'isolé entre 2 bras lors des fortes crues.

Globalement, compte-tenu de l'extension très importante de la crue de référence, le nombre de bâtiments concernés apparaît relativement limité, montrant que la contrainte d'inondation a été prise en compte au moins en partie dans l'urbanisme de Koné.

9. Prescriptions et recommandations

9.1. Prescriptions générales

En raison de l'importance des débits pris en compte (cyclones), l'extension des zones soumises à un aléa d'inondation s'avère très importante, y compris au droit des secteurs urbanisés.

Toutefois, l'installation de constructions a été naturellement limitée par la présence des zones inondables, ne serait-ce que par la nature des terrains souvent peu propices à la construction.

Compte-tenu de la morphologie des sites, la création de zones tampons ou de bassins d'orage n'aura un effet que sur les crues fréquentes, et pas sur les débits exceptionnels pris en compte pour la présente étude.

Il est tout de même important de conserver autant que possible le couvert végétal sur les parties amont, et de limiter l'évolution des pratiques culturales (par exemple suppression de haies, transformation de prairies en terres labourées).

Sans possibilité de limiter les valeurs de débits transitant dans les cours d'eau, il est essentiel de limiter autant que possible les restrictions à l'écoulement et l'augmentation des enjeux exposés (constructions,...) qui constituent les principaux facteurs de risque.

9.2. Prescriptions relatives à la constructibilité

Il n'existe pas de réglementation relative aux règles de constructibilité en zone inondable en province Nord.

Dans le présent document, nous proposons de reprendre les termes de la délibération n° 29-2006/APS du 27 juillet 2006 relative aux règles de constructibilité en zones inondables dans la province sud, qui ont été conçues et adaptées à la Nouvelle-Calédonie et devraient pouvoir être transposées en Province Nord.

A titre informatif, nous avons également joint en annexe les prescriptions applicables en France métropolitaine concernant les zones soumises à un aléa d'inondation.

▪ Aléa très fort

« Dans ces zones, aucune construction nouvelle n'est autorisée sur une parcelle non bâtie.

Toute extension, ou changement de destination, ne sera possible qu'en s'accompagnant d'une intervention sur un ou des bâtiments existants tels que démolition, redistribution, mise en sécurité des personnes exposées et minimisation des conséquences économiques.

En atténuation du principe ci-dessus, pourront être autorisés :

- les extensions limitées des logements existants justifiées, par le pétitionnaire, en vue d'améliorer les conditions de vie, de sécurité et d'hygiène ;*
- les équipements publics indispensables au fonctionnement des services publics ;*
- les équipements n'ayant pas d'incidence sur l'écoulement des eaux comme notamment les terrains de jeux, les bassins.*

Les divisions de terrain qui pourraient être autorisées le seront avec mention des contraintes affectant la propriété.

Les lotissements à usage d'habitation sont interdits.

Toute nouvelle construction ou extension d'habitat est interdite dans les cônes de déjection qui constituent des formations particulièrement dangereuses avec, entre autres, des transports solides très actifs. »

- **Aléa fort**

« Dans ces zones, une construction nouvelle est possible si les dispositions constructives retenues permettent la mise en sécurité des personnes et la minimisation des conséquences économiques.

Dans ces zones, les constructions qui pourraient être autorisées le seront dans les conditions suivantes :

- *à l'appui de sa demande, le pétitionnaire devra fournir un levé topographique englobant l'ensemble de son terrain et la voie de desserte au droit de celui-ci ;*
- *le remblaiement du terrain sera interdit sauf à produire une étude d'un organisme compétent, établie à l'initiative et sous la responsabilité du pétitionnaire, indiquant que le remblaiement n'a pas de conséquences sur le régime d'écoulement des eaux ;*
- *la construction devra comporter un niveau refuge, à l'abri des intempéries, d'une surface minimale de 10 m², situé au dessus de la cote identifiée des plus hautes eaux. L'accès à la toiture devra être rendu possible à partir de ce niveau ;*
- *la conception de la construction devra entraver le moins possible l'écoulement des eaux et résister à la poussée des eaux et des embâcles ; ce point sera attesté par une personne ou un organisme se déclarant compétent en la matière, désigné sous la responsabilité du pétitionnaire ;*
- *la surélévation des planchers habitables, par rapport au terrain naturel, ne dépassera pas 1,50 mètres ;*
- *aucun mur de clôture plein ne sera autorisé.*

Outre les conditions générales ci-dessus auxquelles les constructions sont soumises, les lotissements nouveaux et les permis de construire valant autorisation de diviser ou non sont interdits, à l'exception de ceux qui respectent les conditions suivantes :

- *la situation du projet est en limite d'une zone non inondable ;*
- *les voies de desserte des lots ou des habitations inondables sont non inondables à condition qu'elles soient sans conséquence sur le régime d'écoulement des eaux au vu d'une étude menée par le lotisseur ;*
- *les lots ou les habitations situés en zone inondable ont un accès direct sur les voiries, les accès par des servitudes étant interdits. »*

Le principe essentiel est de proscrire toute nouvelle construction dans les fonds de thalwegs. Par ailleurs :

- *les constructions dépourvues de fondations prévues pour résister à des affouillements, à des tassements et à des érosions localisées seront interdites,*
- *les coefficients d'emprise au sol seront limités à des valeurs de 0,20 à 0,30,*

- les constructions seront établies de façon à ne pas faire barrage à l'écoulement,
- il en sera de même pour les clôtures qui seront ajourées avec des soubassements limités à 0,20 m. Elles pourront être plus simplement interdites,
- les sous-sols seront interdits dans toutes les zones d'écoulement préférentiel.

Pour le bâti déjà autorisé ou existant, il pourra être prescrit des conditions de fonctionnement, en particulier des périodes d'ouverture.

Concernant les activités industrielles et artisanales existantes, on peut envisager les prescriptions ci-dessous :

- mise hors d'eau avec arrimage des produits susceptibles de polluer les eaux ;
- mise en place d'un dispositif de coupure du réseau électrique placé au-dessus de la cote de référence + 0,50 m et qui permettra d'isoler la partie inondée ;
- mise en place de dispositifs de coupure des autres réseaux techniques placés également au-dessus de la cote de référence + 0,50 m pour isoler la partie sinistrée ;
- mise en œuvre d'un programme de réduction de la vulnérabilité qui comprendra deux phases : un diagnostic du risque avec des indicateurs de quantification du risque, une évaluation économique des dommages potentiels, l'évaluation économique des pertes d'exploitation, et l'indication des moyens à mettre en place avec : les consignes de sécurité, la délimitation des zones de refuge pour les produits et le matériel, les mesures à mettre en œuvre pour limiter les dommages, les programmes prévisionnels des opérations à engager.

▪ Aléa moyen

On se situe en général dans un espace urbanisé où l'inondation peut perturber le fonctionnement social et l'activité économique. Il faut porter une attention particulière à ce qui n'est pas interdit :

- établissements recevant du public ;
- activités industrielles avec des possibilités de fortes pertes d'exploitation ;
- les réseaux divers, bâtiments et centres opérationnels concourant à l'organisation des secours et à la gestion de la crise.

Pour les installations industrielles et artisanales il pourra être repris une partie des prescriptions possibles dans les zones d'aléa fort.

Concernant les prescriptions vis-à-vis des gestionnaires de réseaux, on peut prévoir les mesures suivantes :

- isoler et protéger les réseaux publics ;
- implanter les centraux téléphoniques, les transformateurs électriques et tout autre matériel sensible à une cote supérieure aux plus hautes eaux avec une fondation sur socle permettant de résister à l'érosion du ruissellement, installer les lignes électriques et téléphoniques sans emprise au sol ;
- modifier les réseaux qui traversent les lits des rivières et qui peuvent être emportés ;
- disposer des tampons de visite à verrouillage.

On peut interdire d'autre part :

- le mobilier urbain mobile ;
- les barrières et autres mobiliers urbains pouvant piéger les embâcles ;
- les publicités avec emprise au sol.

▪ **Aléa faible**

« Dans ces zones; toutes les constructions peuvent être autorisées.

Toutefois, ces autorisations seront accompagnées d'une information du pétitionnaire l'invitant à prendre toutes les précautions pour limiter les dégâts à ses biens.

Le plancher habitable sera toujours hors d'eau. »

ANNEXES

Annexe 1 : Hydrologie (courbes IDF)

Annexe 2 : Présentation du modèle HEC-RAS

Annexe 3 : Résultats des tests de sensibilité

Annexe 4 : Résultats de modélisation

Intensités de précipitations à Koné et Tango

Pour le compte de A2EP
Mars 2007



METEO FRANCE

**Direction Interrégionale de Nouvelle-Calédonie
et de Wallis et Futuna**

5, rue Vincent Auriol – BP 151 - 98845 Nouméa Cedex

Téléphone : (687) 27 93 00

Fax : (687) 27 93 27

Rédigé par Luc Maitrepierre, ingénieur des travaux de la météorologie.

Email : luc.maitrepierre@meteo.fr

Vérifié par : Sterenn Caudmont

Météo-France reste propriétaire des informations de cette étude. Elles ne peuvent donc être rediffusées ou revendues, en partie ou en totalité, sans son autorisation préalable. Toute publication de travaux utilisant explicitement ces informations doit en mentionner la provenance.

Malgré les contrôles effectués, ces informations ne peuvent être garanties exemptes d'erreurs. Météo-France ne peut être tenu pour responsable des conséquences directes ou indirectes de l'utilisation des informations contenues dans ce dossier.

1 GÉNÉRALITÉS

Le poste de Koné se trouve à la sortie nord du village en bordure de l'aérodrome. La station automatique existe depuis juillet 1995. Les calculs des durées de retour seront faits sur la période 1995-2005, soit 11 années. Le pourcentage des données manquantes est relativement faible avec seulement 3,8% ce qui donne une bonne qualité à l'échantillon utilisé.

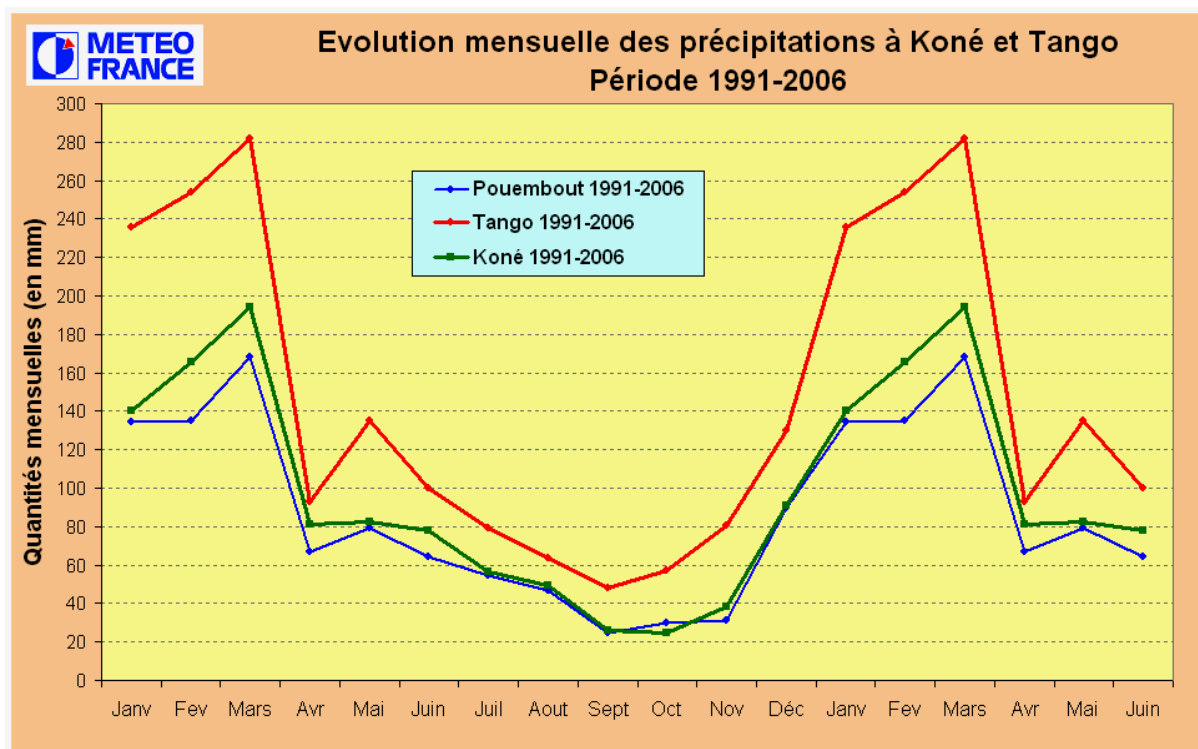
Le poste de Tango a connu 2 localisations. La première (Tango Méaré) était à 551 m d'altitude à environ 6 km plus au nord du site actuel. Celui-ci se trouve à quelques centaines de mètre du col de Tango sur la transversale Koné-Tiwaka, à une altitude de 341 m. Le poste de Tango-Méaré était équipé d'une station automatique mesurant des paramètres au pas de temps horaire et a fonctionné d'août 1990 à fin décembre 1998. Celui de Tango est équipé d'une station automatique mesurant la pluie au pas de temps de 6 minutes et les mesures ont débuté en février 1998. Pour les calculs de durées de retour, les deux échantillons ont été assemblés. Ainsi la période de calcul est comprise entre 1991 et 2006 pour les périodes d'intégration d'au moins 60 minutes, mais de 1998 à 2006 pour les périodes d'intégration inférieures à 60 minutes.

2 VALEURS MENSUELLES

Le poste de Koné enregistre en moyenne 1096 mm de précipitations par an (normale 1971-2000). Les variations interannuelles étant très importantes en Nouvelle-Calédonie avec des années très sèches en phases El Niño et très humides en phases La Niña, cette valeur n'est pas très informative. Ainsi, sur la période commune d'étude (1991-2006), le total annuel moyen de Koné est de 1027 mm.

Pour le poste de Tango, la différence de quantité moyenne de précipitations entre les deux sites est estimée à près de 20%, le premier étant plus pluvieux que le deuxième. En appliquant cette correction, on peut évaluer la quantité moyenne annuelle du site actuel sur la période 1991-2006 à 1560 mm, soit près de 50% de plus qu'à Koné.

Comme pour tous les postes de Nouvelle-Calédonie, on observe une saison pluvieuse de janvier à mars (plus de 120 mm par mois à Koné) et une saison sèche de septembre à novembre (moins de 40 mm par mois à Koné). Il existe un fort gradient de précipitations entre le littoral (plus sec) et la Chaîne (plus arrosée). Cela explique la différence entre Koné (ou Pouembout) et Tango. La faiblesse des valeurs au mois d'avril est liée à la période de mesure.



Graphique 2.1 : Cycle annuel des précipitations à Koné, Pouembout et Tango

3 INTENSITÉS DE PRÉCIPITATIONS

3.1 Généralités

La méthode utilisée pour cette étude est celle du Renouvellement.

Le poste de Koné possède 10,2 années de mesures utilisables pour les calculs d'intensités de précipitations sur la période 1995-2005. La période de mesure est relativement courte mais la qualité des données est bonne et le nombre de données manquantes relativement faible.

La méthode n'autorise pas les extrapolations au-delà de 4 fois la taille de l'échantillon, soit approximativement 40 ans. Les valeurs des durées de retour 50 ans et centennales de ce poste sont donc présentées à titre informatif.

Pour Tango, nous disposons de 14,8 années de mesures utilisables pour les calculs d'intensités de précipitations sur la période 1991-2006 mais uniquement pour les périodes d'intégrations supérieures ou égales à 60 minutes (8,1 années pour les périodes d'intégrations inférieures à 60 minutes). Le pourcentage de données manquantes est plus important avec 7,7%, ce qui donne une moins bonne confiance dans les résultats. Comme pour Koné, les valeurs des durées de retour 50 ans et centennales de ce poste sont présentées à titre informatif

3.2 Les résultats du poste de Koné

Les intensités de ce poste sont dans le **Tableau 3.1**. On note que les maximums pour les durées d'intégration de 15 minutes à 6 heures ont été observés lors d'un épisode pluvio-orageux qui a permis d'enregistrer 101,2 mm en une heure. Les maximums pour les durées d'intégration de 12 heures à 3 jours ont été observés lors du cyclone Beti en mars 1996. C'est le cas du maximum en 24 heures avec 270 mm.

On peut constater une bonne progressivité des GD (pente des ajustements) en ANNEXE 2, ce qui est le gage d'une bonne cohérence des résultats. Comme il n'y a pas de valeurs exceptionnellement fortes enregistrées sur la période 1995-2005, les résultats sont probablement en dessous de la réalité dans certains cas.

 Quantités maximales de précipitations (en mm) à Koné											
Valeurs calculées avec la méthode du renouvellement										Période 1995-2005	
Durée (en min)	Nombre d'années de mesure	T = Durée de retour (en années)							Paramètres		Max
		1	2	5	10	20	50	100	GD(d)	Po(d)	
6	10.2	8.1	9.5	11.4	12.8	14.2	16.0	17.4	2.02	8.1	14.0
15	10.2	17.3	20.0	23.7	26.4	29.2	32.8	35.6	3.97	17.3	30.1
30	10.2	28.9	34.5	42.0	47.6	53.3	60.7	66.4	8.14	28.9	54.0
60	10.2	44.0	54.6	68.6	79.2	89.8	103.8	114.3	15.27	44.0	101.2
90	10.2	51.6	64.7	82.0	95.0	108.1	125.4	138.4	18.85	51.6	123.2
120	10.2	57.4	72.6	92.5	107.6	122.7	142.7	157.8	21.80	57.4	130.2
180	10.2	63.3	79.9	101.9	118.5	135.1	157.0	173.6	23.95	63.3	133.6
360	10.2	75.1	95.9	123.3	144.1	164.9	192.3	213.1	29.97	75.1	147.2
720	10.2	94.2	124.1	163.5	193.4	223.3	262.7	292.6	43.07	94.2	220.2
1440	10.2	104.5	142.5	192.7	230.7	268.7	319.0	356.9	54.82	104.5	270.0
2880	10.2	119.5	163.3	221.2	264.9	308.7	366.6	410.4	63.16	119.5	282.0
4320	10.2	118.5	169.8	237.6	288.8	340.1	407.9	459.1	73.97	118.5	284.6
5760	10.2	123.4	178.3	250.9	305.8	360.8	433.4	488.3	79.23	123.4	285.2

Tableau 3.1 : Durées de retour des précipitations à Koné

Les IDF réalisées à partir des durées de retour (du **Tableau 3.1**) sont en annexe à la fin du document, de même que les graphiques des paramètres d'ajustement sur lesquels figurent les paramètres GD(d) et Po(d) (**Tableau 3.1**), et les droites d'ajustement synthétisées dans le **Tableau 3.2**.

Concrètement, si l'on veut avoir une estimation des précipitations maximales de Koné pour une durée de retour (T) de 20 ans et une période d'intégration (d) de 15 minutes, il suffit de prendre les valeurs du **Tableau 3.2** pour calculer $GD(15 \text{ mn}) = 0,39 \cdot 15^{0,889} = 4,34$ et $Po(15 \text{ mn}) = 2,258 \cdot 15^{0,737} = 16,6$. Puis on calcule directement la précipitation maximale selon la formule : $P = GD \cdot \ln(T) + Po$ soit $4,34 \cdot \ln(20) + 16,6$ donc $P = 29,6 \text{ mm}$. Ce

résultat est proche des 29,2 mm du **Tableau 3.1**. Ainsi, il est facile de calculer les précipitations maximales pour toutes les périodes d'intégration et durées de retour souhaitées.

Les ajustements $I(d,T)=Ad^B$ dans le **Tableau 3.2** correspondent aux courbes IDF (Intensité-Durée-Fréquence). Attention : les intensités (I) des IDF sont exprimées en mm/heure.

Paramètres d'ajustement à Koné, période 1995-2005						
tels que $GD(d)=Ad^B$ et $Po(d)=Ad^B$						
	6 min ≤ d ≤ 60 min		60 min ≤ d ≤ 1440 min		1440 min ≤ d ≤ 5760 min	
	A	B	A	B	A	B
GD(d)	0.390	0.889	3.160	0.392	7.488	0.272
Po(d)	2.258	0.737	15.200	0.271	46.567	0.113
tels que $I(d,T)=Ad^B$ avec $I(d,T)$ en mm/heure						
	6 min ≤ d ≤ 60 min		60 min ≤ d ≤ 1440 min		1440 min ≤ d ≤ 5760 min	
T	A	B	A	B	A	B
2 ans	149.5	-0.238	1005.1	-0.701	2715.9	-0.841
5 ans	169.2	-0.215	1151.8	-0.680	2914.1	-0.810
10 ans	184.5	-0.203	1270.7	-0.669	3140.2	-0.796
20 ans	200.0	-0.193	1393.3	-0.661	3395.3	-0.786
50 ans	220.7	-0.183	1558.5	-0.653	3756.5	-0.777
100 ans	236.5	-0.177	1685.1	-0.649	4040.6	-0.771

Tableau 3.2 : Paramètres d'ajustement à Koné

3.3 Les résultats du poste de Tango

Les intensités de ce poste sont dans le **Tableau 3.3**. On note que tous les maximums ont été observés lors du passage du cyclone Franck en février 1999, qui a permis d'enregistrer 107,5 mm en une heure et 336 mm en 24 heures.

Les ajustements ont été difficiles à réaliser pour les périodes d'intégration de 60 minutes à 6 heures car quelques valeurs se démarquent notablement de l'ajustement linéaire des points de l'échantillon. Cependant, on peut constater une bonne progressivité des GD (pente des ajustements) en ANNEXE 4, ce qui est le gage d'une bonne cohérence des résultats.



Quantités maximales de précipitations (en mm) à Tango

Valeurs calculées avec la méthode du renouvellement

Période 1991-2006

Durée (en min)	Nombre d'années de mesure	T = Durée de retour (en années)							Paramètres		Max
		1	2	5	10	20	50	100	GD(d)	Po(d)	
6	8.1	9.4	10.9	12.8	14.2	15.7	17.6	19.1	2.09	9.4	13.0
15	8.1	19.8	23.7	28.9	32.8	36.7	41.9	45.9	5.66	19.8	31.3
30	8.1	32.7	41.1	52.2	60.6	69.0	80.1	88.5	12.11	32.7	60.5
60	14.8	40.0	53.8	72.1	85.9	99.8	118.1	131.9	19.96	40.0	107.5
90	14.8	50.1	67.1	89.6	106.7	123.7	146.2	163.2	24.57	50.1	134.0
120	14.8	57.7	79.0	107.1	128.4	149.7	177.9	199.2	30.74	57.7	160.0
180	14.8	69.1	96.7	133.1	160.7	188.3	224.7	252.3	39.76	69.1	196.5
360	14.8	96.5	130.1	174.4	207.9	241.4	285.8	319.3	48.37	96.5	278.0
720	14.8	120.4	158.0	207.6	245.1	282.7	332.3	369.8	54.16	120.4	305.0
1440	14.8	144.0	188.3	246.9	291.1	335.4	394.0	438.2	63.88	144.0	336.0
2880	14.8	170.3	221.4	288.8	339.8	390.8	458.3	509.3	73.60	170.3	355.5
4320	14.8	191.9	249.3	325.3	382.8	440.2	516.2	573.7	82.91	191.9	409.0
5760	14.8	203.1	264.3	345.3	406.5	467.7	548.7	609.9	88.34	203.1	422.0

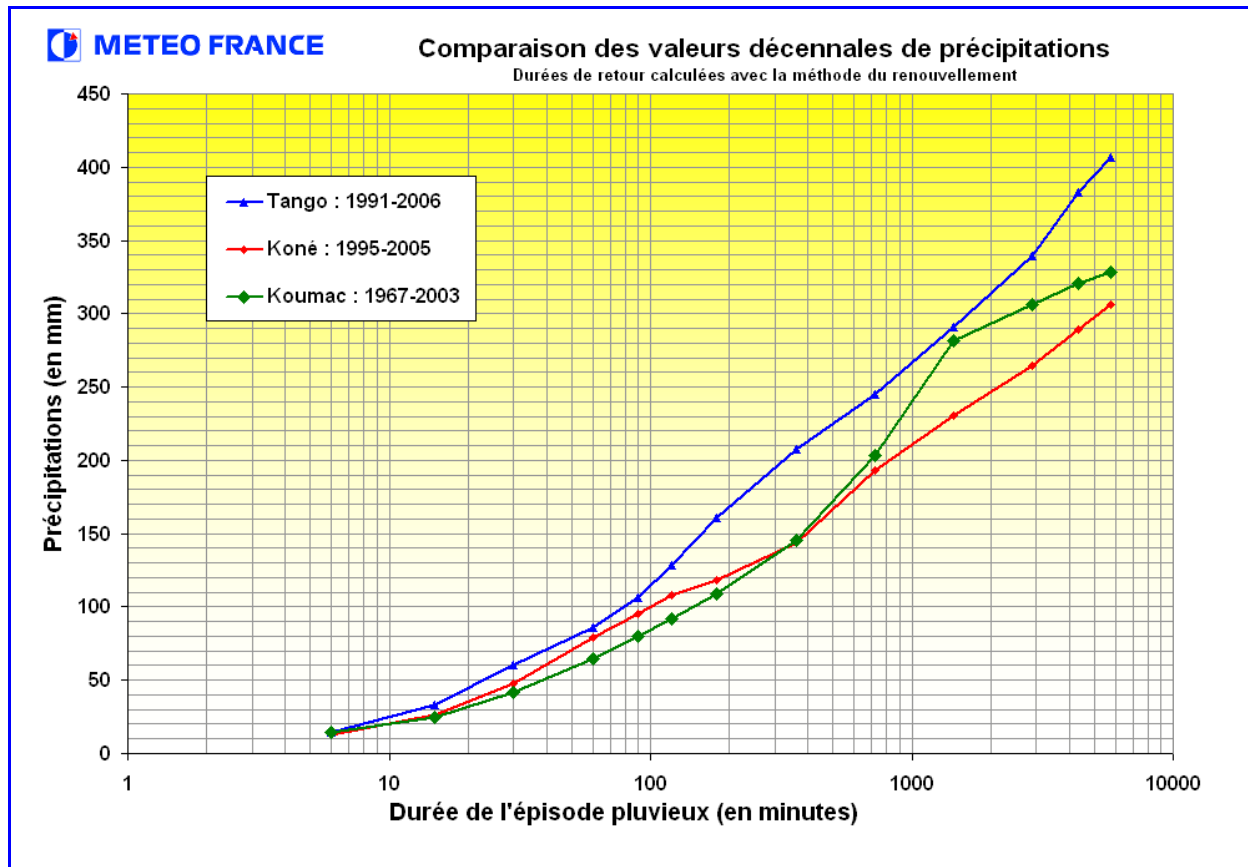
Tableau 3.3 : Durées de retour des précipitations à Tango

Les IDF réalisées à partir des durées de retour (du **Tableau 3.3**) sont en annexe à la fin du document, de même que les graphiques des paramètres d'ajustement sur lesquels figurent les paramètres GD(d) et Po(d) (**Tableau 3.3**), et les droites d'ajustement synthétisées dans le **Tableau 3.4**.

Paramètres d'ajustement à Tango, période 1991-2006						
 tels que $GD(d)=Ad^B$ et $Po(d)=Ad^B$						
	6 min ≤ d ≤ 30 min		30 min ≤ d ≤ 180 min		180 min ≤ d ≤ 5760 min	
	A	B	A	B	A	B
GD(d)	0.297	1.090	1.304	0.658	12.505	0.225
Po(d)	2.364	0.776	7.380	0.427	15.961	0.298
tels que $I(d,T)=Ad^B$ avec $I(d,T)$ en mm/heure						
	6 min ≤ d ≤ 30 min		30 min ≤ d ≤ 180 min		180 min ≤ d ≤ 5760 min	
T	A	B	A	B	A	B
2 ans	148.7	-0.171	464.2	-0.517	1446.9	-0.720
5 ans	160.5	-0.125	514.6	-0.474	2109.9	-0.734
10 ans	170.5	-0.099	559.4	-0.454	2617.7	-0.741
20 ans	181.1	-0.079	607.2	-0.439	3128.7	-0.745
50 ans	195.7	-0.058	672.8	-0.424	3807.3	-0.750
100 ans	207.0	-0.046	723.6	-0.416	4322.1	-0.753

Tableau 3.4 : Paramètres d'ajustement à Tango

3.4 Comparaison des résultats et conclusion



Graphique 3.5 : Comparaison des valeurs décennales

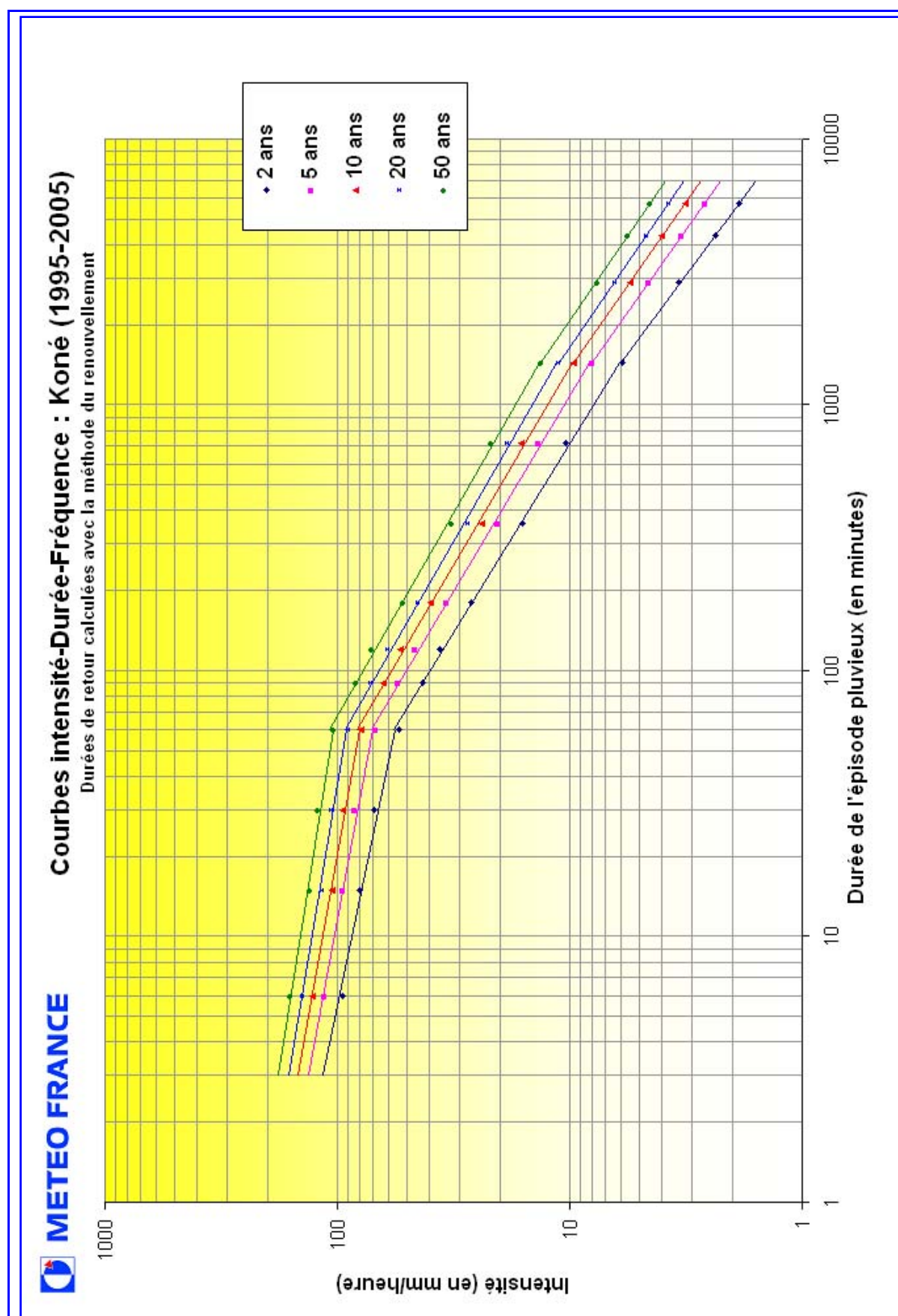
Le **Graphique 3.5** permet la comparaison des valeurs décennales des postes de Koné et Tango avec celles du poste de référence de Koumac (1967-2003).

On observe que les valeurs de Tango sont supérieures à celles de Koné et Koumac respectant une certaine logique car ce poste enregistre plus de précipitations que les deux autres.

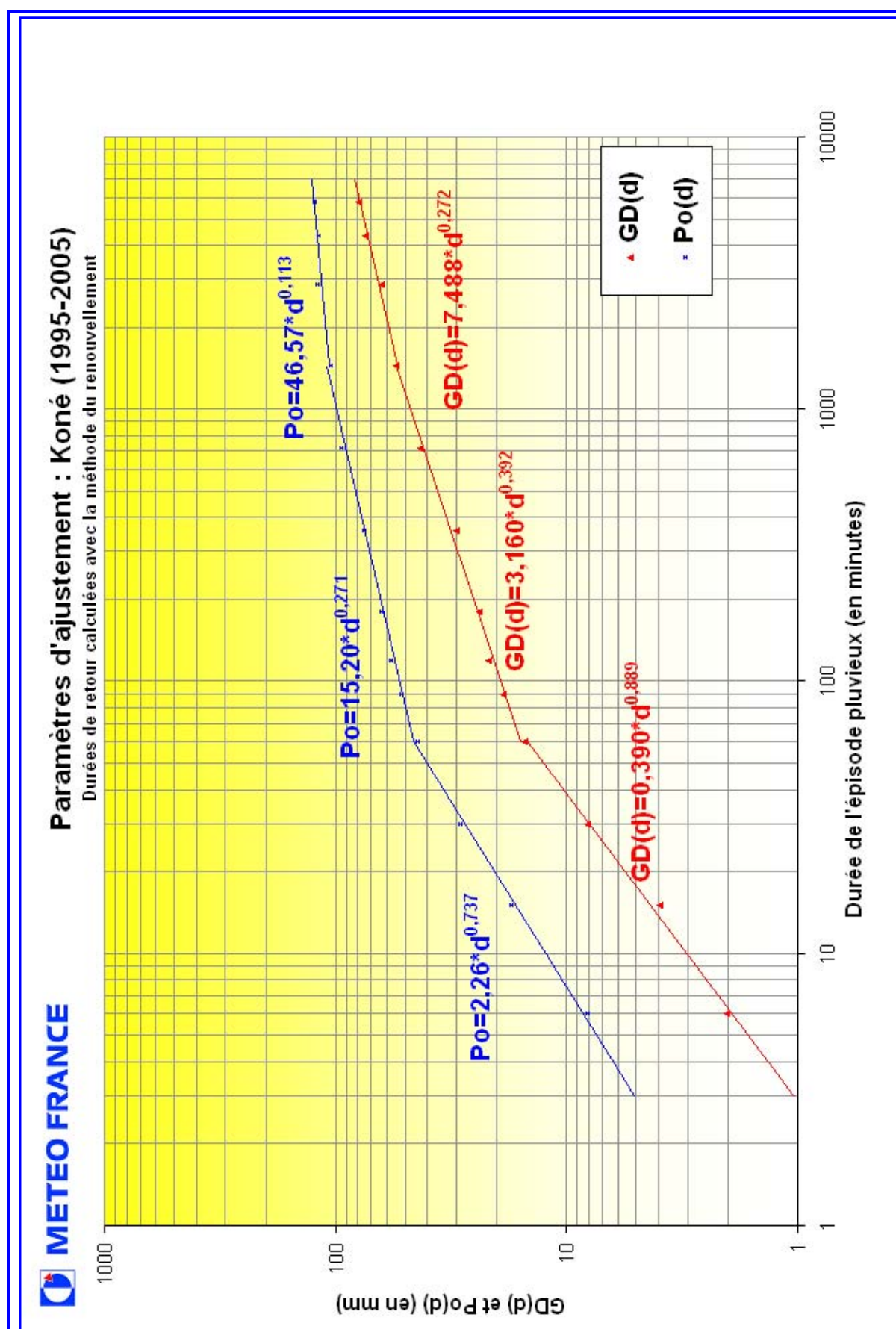
Les valeurs du poste de Koné sont inférieures à celles de Koumac pour les périodes d'intégrations de plus de 6 heures. Cela est lié à la taille de l'échantillon de Koné qui est beaucoup plus court que celui de Koumac. Il faut donc en tenir compte en majorant les résultats de Koné (20%) pour les périodes d'intégrations de plus de 6 heures. Il faudrait aussi le faire pour Tango car la taille de son échantillon étant comparable, la même sous-estimation est probable pour les longues périodes d'intégration.

En conclusion, les résultats des postes de Koné et Tango sont cohérents avec la taille de l'échantillon utilisé et la pluviométrie du lieu.

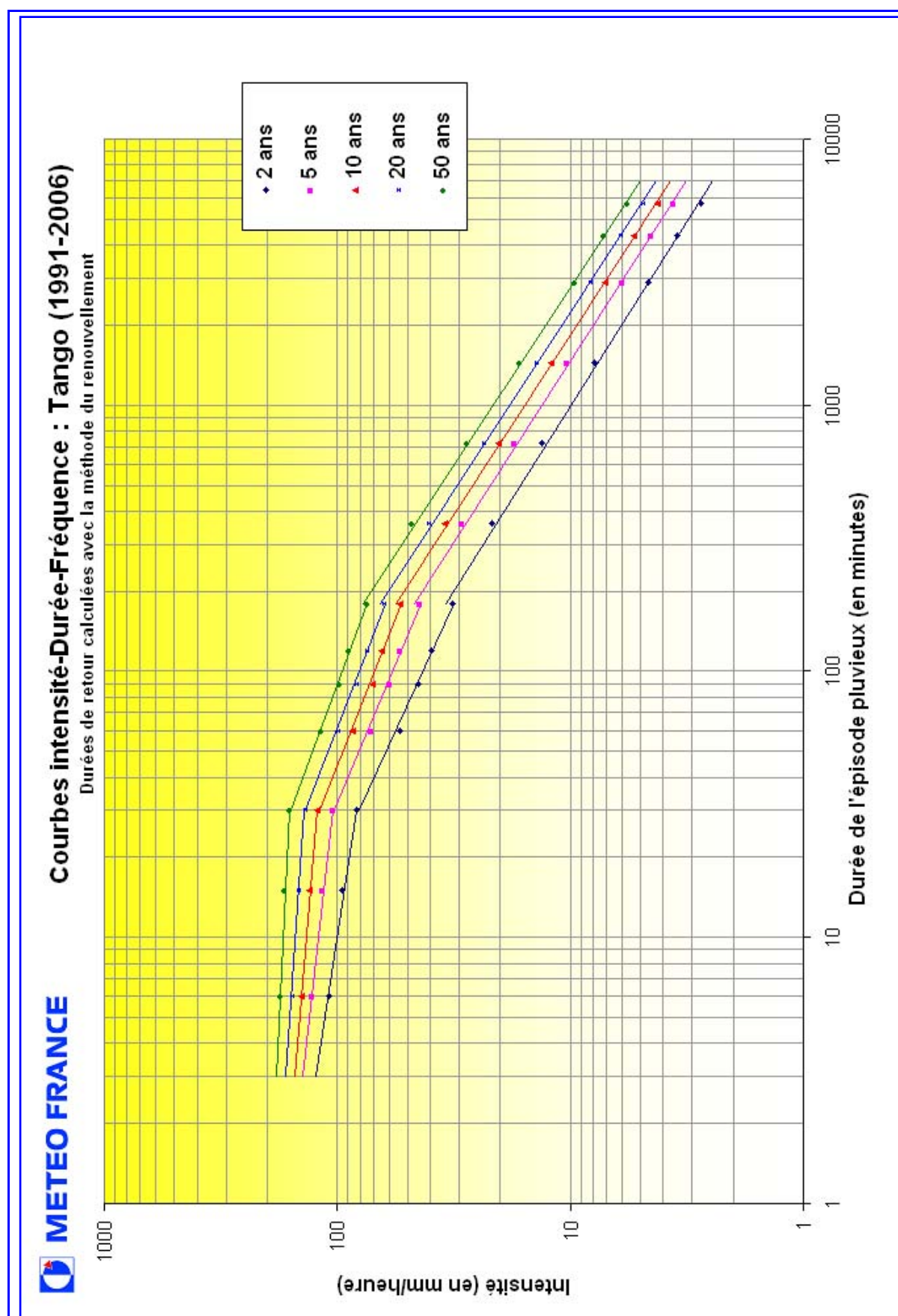
Annexe 1 : IDF de Koné



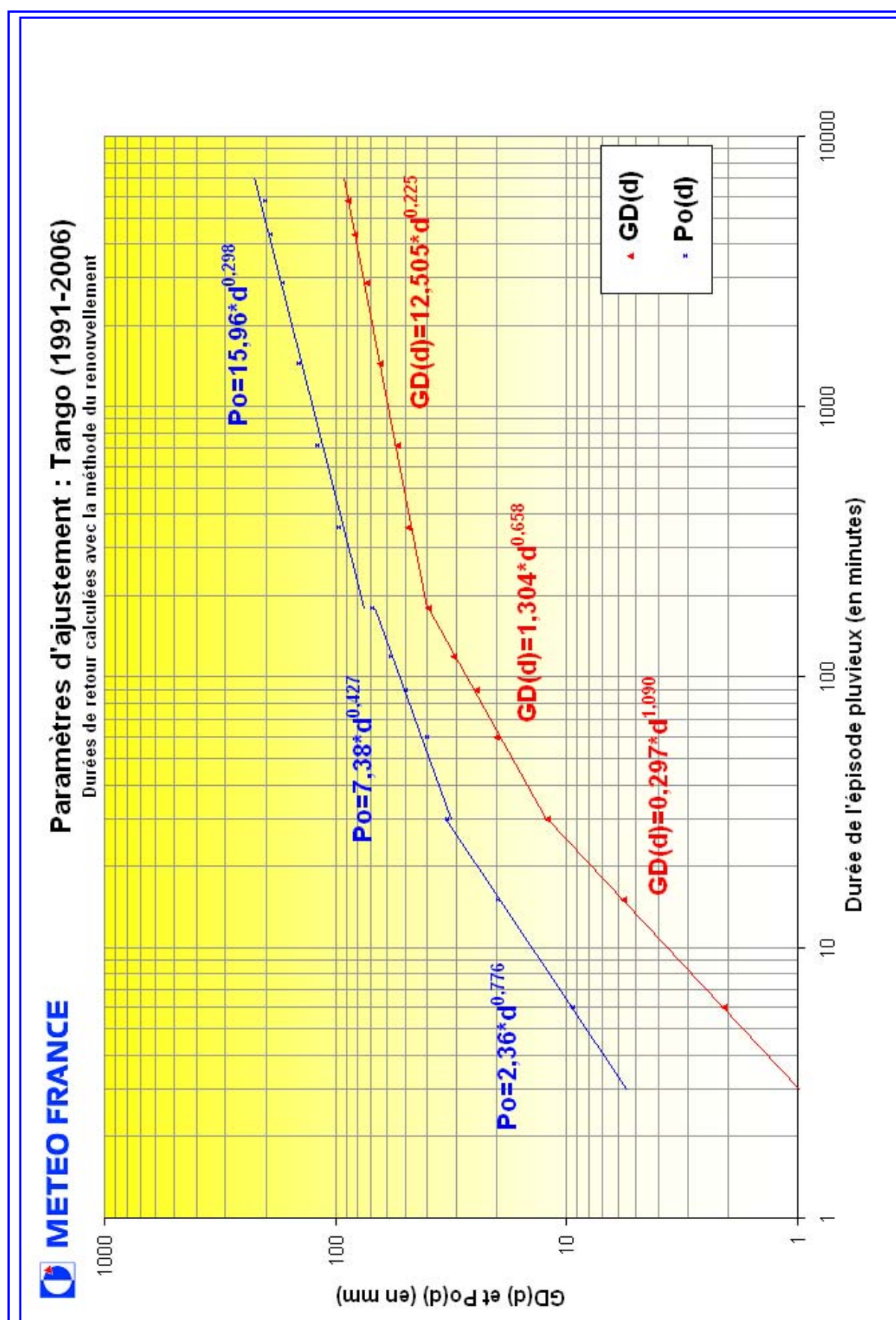
Annexe 2 : Paramètres d'ajustement à Koné



Annexe 3 : IDF de Tango



Annexe 4 : Paramètres d'ajustement à Tango



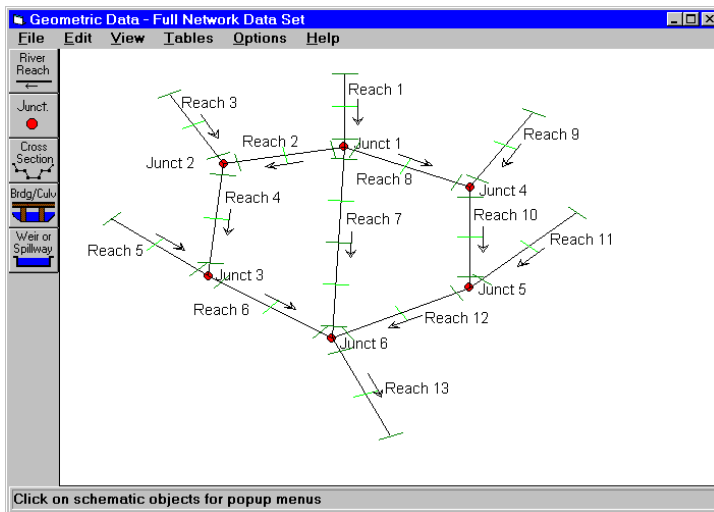
Les modèles mathématiques HEC

A - PRESENTATION GENERALE

Les modèles mathématiques **HEC** ont été développés aux Etats Unis, initialement en vue d'applications dans le domaine de la recherche. Leurs potentialités leurs ont permis très rapidement une mise en oeuvre sur de multiples cas concrets et une diffusion à l'échelle internationale.

Leurs domaines d'application couvrent la majorité des phénomènes relevant de l'hydraulique fluviale et plus précisément la modélisation des écoulements de crue. Ils permettent de simuler le passage d'un débit constant dans une rivière, en tenant compte des particularités du relief, et des facteurs influant sur les hauteurs de submersion (modes d'occupation des sols, types d'infrastructures...)

A partir d'une base de données topographiques décrivant le bras vif du cours d'eau et le réseau hydrographique associé, ils permettent d'établir des zonages de zones inondables, d'évaluer l'impact d'aménagements divers, et d'optimiser les caractéristiques d'ouvrages d'art (pont, seuil).



Description d'un réseau hydrographique

Edition des résultats

Profile Output Table - Standard Table 1					
File Options Std. Tables Help					
HEC-RAS Plan: Pressure Reach: Easy Creek					
River Sta.	Q Total (cfs)	Min Ch El (ft)	W.S. Elev (ft)	Crit W.S. (ft)	E.G. Elev (ft)
6	8000.00	510.00	525.23		525.50
6	10000.00	510.00	530.38		530.53
6	25000.00	510.00	533.27		533.87
5	8000.00	510.00	525.11	517.30	525.41
5	10000.00	510.00	530.26	518.16	530.48
5	25000.00	510.00	533.16	522.82	533.78

Top width of the wetted cross section.

B - ORGANISATION GENERALE

De même que la majorité des logiciels d'hydraulique fluviale, les modèles mathématiques **HEC** décrivent la rivière et sa vallée par un ensemble de sections topographiques positionnées le long de l'axe de chaque émissaire (cours d'eau principal et affluents).

Ces données sont spécifiées dans une base de données unique où sont renseignés la topographie du relief, les caractéristiques des ouvrages, les paramètres de calcul et les conditions d'écoulement aux extrémités du système étudié.

Lors de la constitution de la base de données, l'opérateur est renseigné, de manière automatique sur la nature des informations à spécifier et sur les options offertes par le programme pour faciliter leur appréciation (domaines de validité, message d'aide).

L'ossature principale de la base de données est donc très aisément construite, sans nul besoin de connaissances spécifiques en hydraulique fluviale. Néanmoins, la réalisation dans les règles de l'art des modélisations nécessitent néanmoins l'intervention d'un hydraulicien confirmé.

C - ALGORITHMES DE CALCUL

L'équation principale de l'algorithme de calcul s'écrit comme suit :

$$Z_2 + a_2 \times \frac{V_2^2}{2g} = Z_1 + a_1 \times \frac{V_1^2}{2g} + dh \quad (1)$$

avec Z_1, Z_2 = cotes de l'eau,
 a_1, a_2 = coefficients de répartition de la vitesse
 V_1, V_2 = vitesses moyennes de l'eau,
 dh = perte de charge entre les deux sections,

L'estimation des pertes de charge sur le bief compris entre deux sections de calcul successives, est évaluée par l'expression :

$$dh = L_f \times \left[\frac{dJ}{dx} + C \times \left(a_2 \times \frac{V_2^2}{2g} - a_1 \times \frac{V_1^2}{2g} \right) \right] \quad (2)$$

avec L_f = longueur pondérée du bief,
 dJ/dx = pente de la ligne de pertes de charge,
 C = coefficient de contraction ou d'élargissement.

La longueur pondérée utilisée dans la formule précédente permet de tenir compte des distorsions générées par les méandres sur la répartition des eaux en chaque composante de la section d'écoulement.

Elle s'écrit :

$$L_f = \frac{L_{MG} \times Q_{MG} + L_{LM} \times Q_{LM} + L_{MD} \times Q_{MD}}{Q_{MG} + Q_{LM} + Q_{MD}} \quad (3)$$

avec

L_{MG}	= longueur du bief sur le lit majeur gauche,
L_{LM}	= longueur du bief sur le lit mineur,
L_{MD}	= longueur du bief sur le lit majeur droit,
Q_{MG}	= débit sur le lit majeur gauche,
Q_{LM}	= débit sur le lit mineur,
Q_{MD}	= débit sur le lit majeur droit.

Les pertes de charge linéaires sur chaque bief peuvent être exprimées selon plusieurs méthodes, suivant les choix de l'opérateur ou les conditions d'écoulement. Dans le cas général, le modèle applique la formule analytique suivante :

$$\frac{dJ}{dx} = \frac{1}{2} \times \left[\frac{Q_1}{K_1 \times S_1 \times Rh_1^{2/3} \times \sqrt{i_1}} + \frac{Q_2}{K_2 \times S_2 \times Rh_2^{2/3} \times \sqrt{i_2}} \right] \quad (4)$$

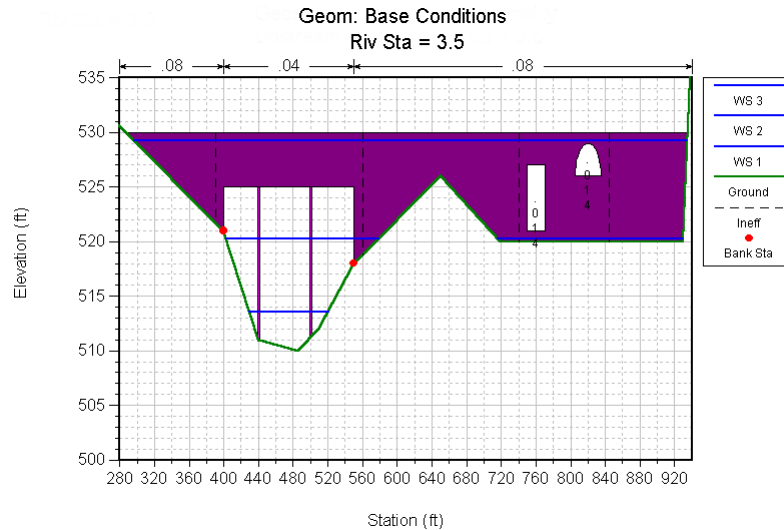
avec Q_1, Q_2 = débits à chaque section,

Entre deux sections d'un bief, le calcul des caractéristiques des écoulements est mené par résolution simultanée de ces quatre équations (cf (1)+(2)+(3)+(4)).

Selon le régime d'écoulement établi, la succession de pas de calcul sur chaque bief s'effectue d'aval en amont (régime fluvial) et/ou d'amont en aval (régime torrentiel).

C - PERTES DE CHARGES SINGULIERES

Les modèles mathématiques **HEC** comportent des procédures de calcul spécifiques aux ouvrages d'art tels que les seuils, ponts, dalots et canalisations. La prise en compte des ponts dans les calculs hydrauliques nécessite de décrire précisément la géométrie de l'ouvrage ainsi que la position des éventuels appuis en rivière. Ainsi, le modèle est capable de déterminer pour chaque hauteur d'eau, la section effectivement disponible sous l'ouvrage et le type de formulation des pertes de charges à employer.



Les différents modules de pertes de charge singulières se basent sur l'équation suivante :

$$\Delta H = \Delta H_e + \Delta H_L + \Delta H_d$$

avec ΔH = perte de charge totale,
 ΔH_e = perte de charge à l'entonnement en amont de l'ouvrage,
 ΔH_L = perte de charge linéaire par frottement dans l'ouvrage,
 ΔH_d = perte de charge au divergent en aval de l'ouvrage.

Les pertes de charge par frottement dans l'ouvrage sont évaluées par la formule suivante :

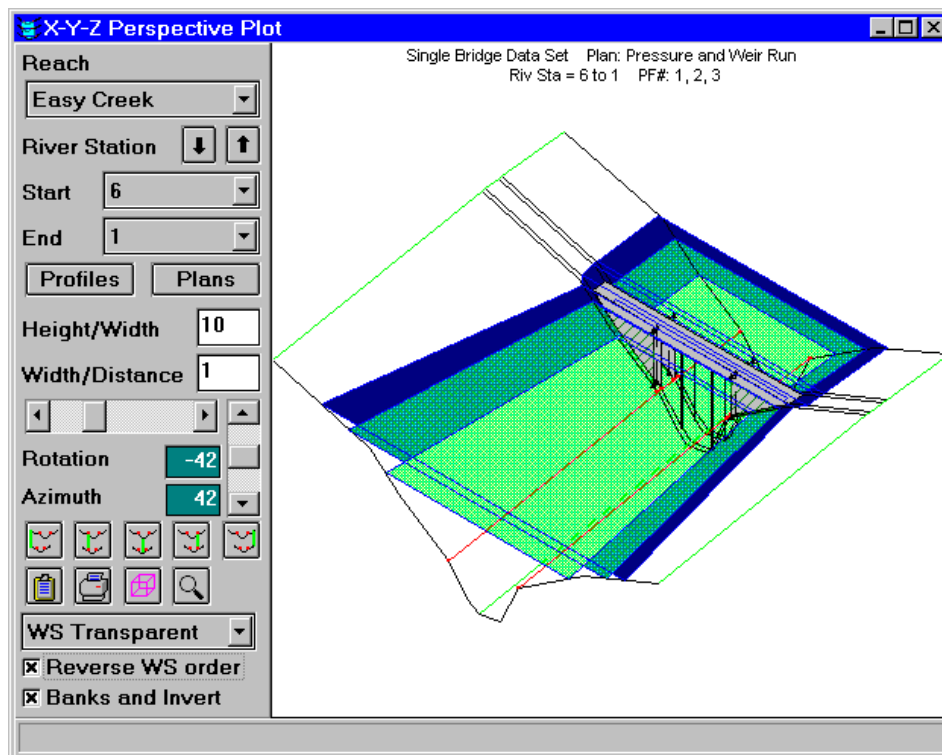
$$\Delta H_L = \frac{Q_{ouv}}{K_{ouv} \times S_{ouv} \times Rh_{ouv}^{2/3} \times \sqrt{i}} \times L$$

Les pertes de charge aux extrémités amont et aval sont calculées sur la base d'une fraction des énergies cinétiques de l'eau. La formule de calcul de ces pertes de charge se présente donc sous la forme suivante :

$$\Delta H_{e/d} = K_{e/d} \times \left[a_{eau} \times \frac{V_{eau}^2}{2g} - a_{ouv} \times \frac{V_{ouv}^2}{2g} \right]$$

Les valeurs du coefficient K_e dépendent de la configuration des extrémités de l'ouvrage et de l'éventuelle présence de dispositifs facilitant le passage des crues (entonnement, biseau ...). Les valeurs du paramètre K_e de pertes de charge sont déduites de tableaux spécifiques, établis par expérimentation sur de multiples cas concrets.

De cette manière, il est rendu possible d'étudier diverses configurations pour les ponts (types d'appui, nombre d'ouvertures, orientation, longueur ...) et ce en tenant compte des conditions hydrauliques à proximité de l'ouvrage.

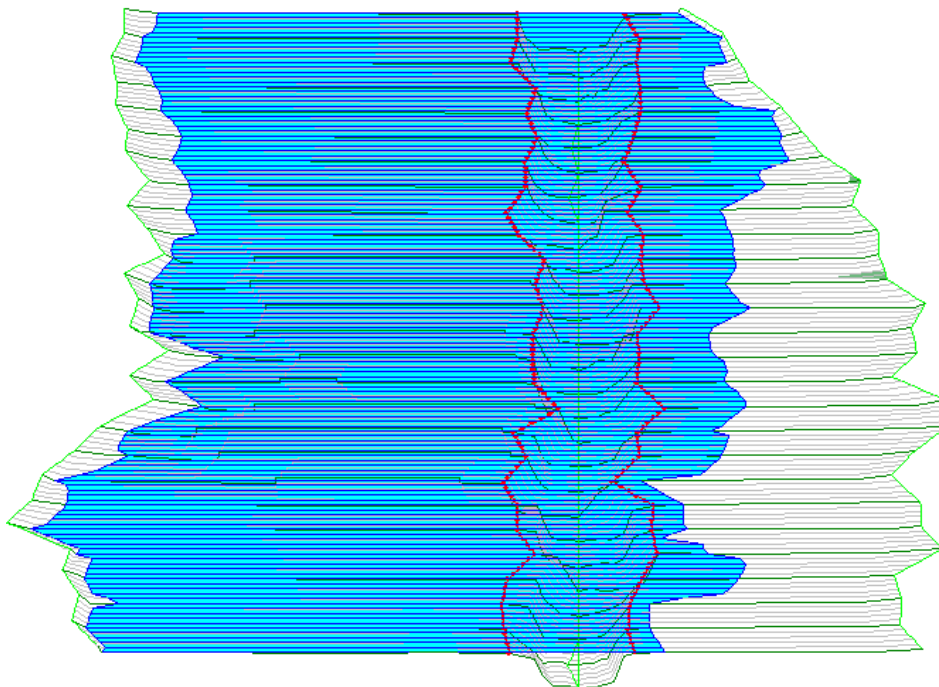


D - SYNTHÈSE DES FONCTIONNALITÉS

Parmi ses nombreuses possibilités, on peut citer les principales :

- ⇒ Le calage automatique sur une ligne d'eau observée (la topographie étant fixée, le modèle détermine les coefficients de Strickler des différents lits, qui satisfont aux relevés de ligne d'eau servant de témoins de calage)
- ⇒ La localisation des changements de régime d'écoulement (torrentiel-fluvial et fluvial-torrentiel).
- ⇒ La répartition automatique des valeurs de vitesses et débits, au droit de chaque section de calcul, et ce pour chaque tranche d'eau.
- ⇒ La prise en compte de la sinuosité du lit de la rivière dans sa vallée (effet de la longueur pondérée citée dans le paragraphe ayant trait aux algorithmes de calcul).
- ⇒ Le calcul des pertes de charges aux ponts et ouvrages de décharge, selon les méthodes dites de "Yarnell" ou du FWA (ayant trait à l'optimisation d'ouvrages de franchissement importants)
- ⇒ La prise en compte des zones d'épandage y compris les échanges avec le bras actif de la rivière (zones de stockage-destockage), par des déversoirs latéraux.

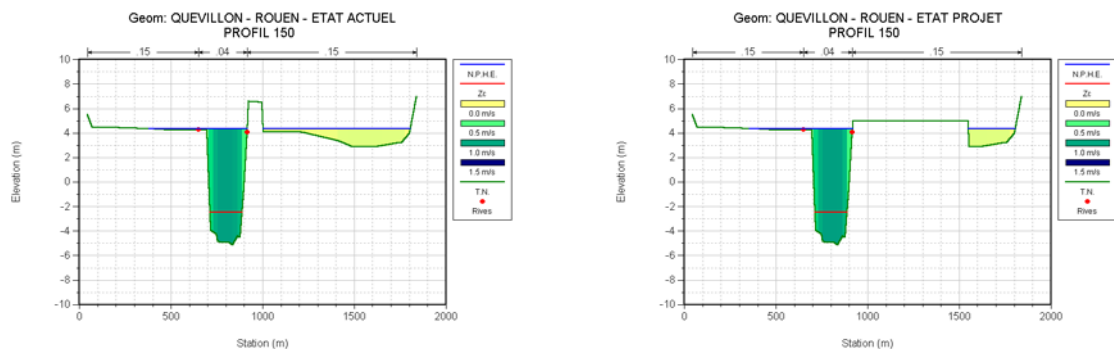
Geom: TEST
Riv Sta = 270 to 10 PF#: 1



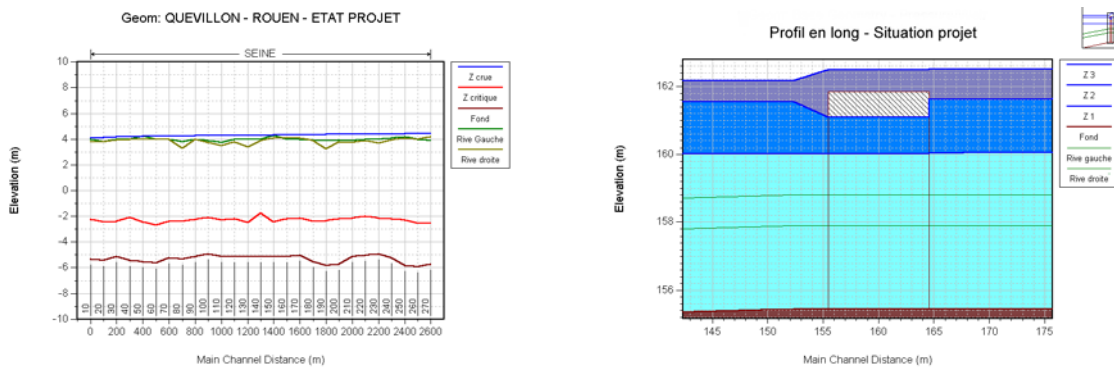
E - PRESENTATION DES RESULTATS

Afin de permettre la vérification des résultats des calculs de ligne d'eau, les modèles mathématiques **HEC** permettent l'édition de près de quatre vingt neuf (89) paramètres différents, décrivant les conditions d'écoulement sur le site (Nombre de Froude, Profondeur critique, Largeur au miroir, Coefficient de répartition des vitesses, Pente de ligne de charge ...).

Outre la classique décomposition des variables débit-vitesse-hauteur d'eau entre les différentes composantes d'une section d'écoulement, il offre la possibilité de les répartir sur chaque tranche d'eau comprise entre deux points d'une section :



La précision des fonds topographiques combinée à ces résultats intermédiaires par section, facilite l'interpolation des limites d'inondation entre deux sections successives et enfin la constitution de zonages (ex : Plan de Prévention des Risques d'Inondation).



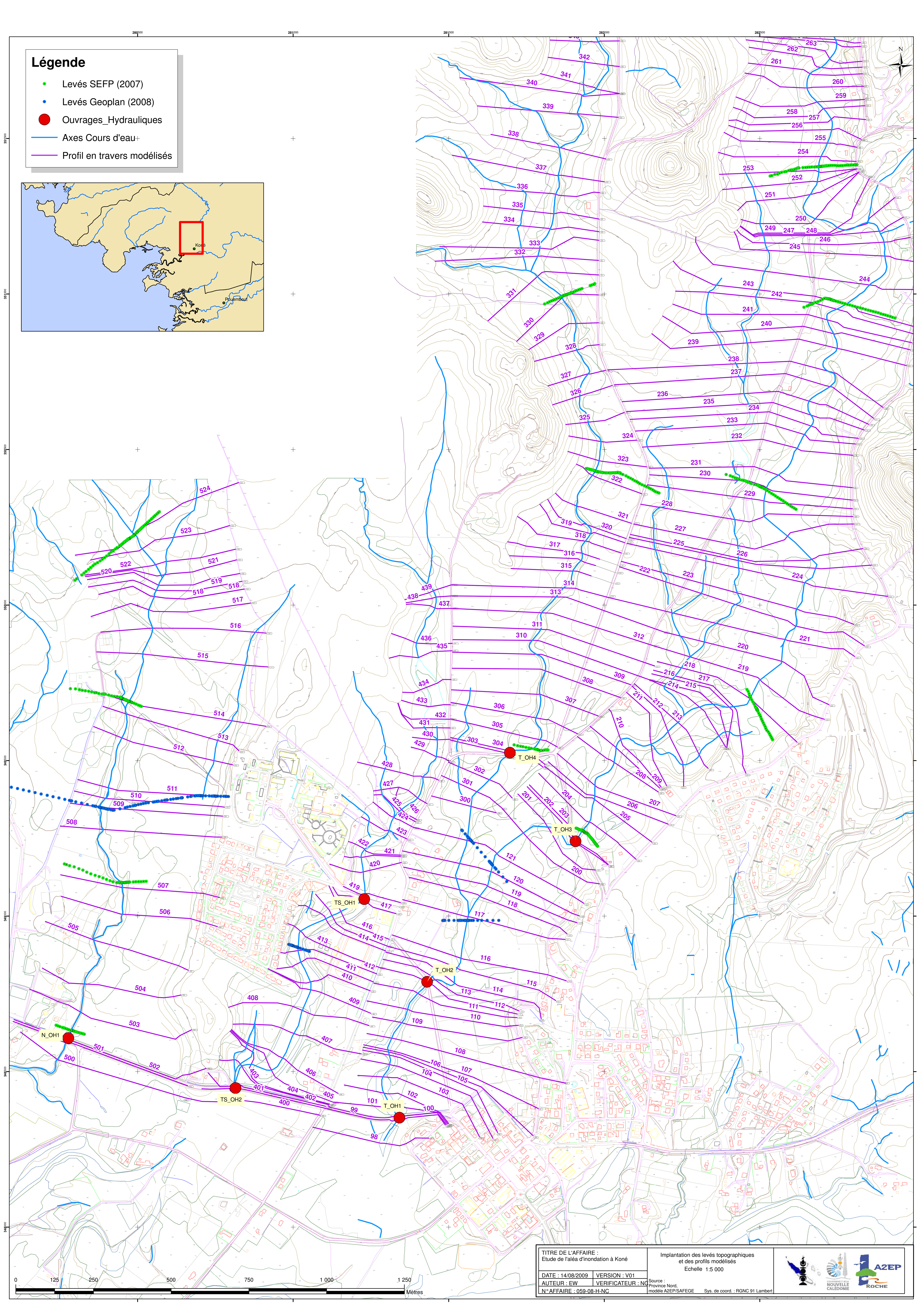
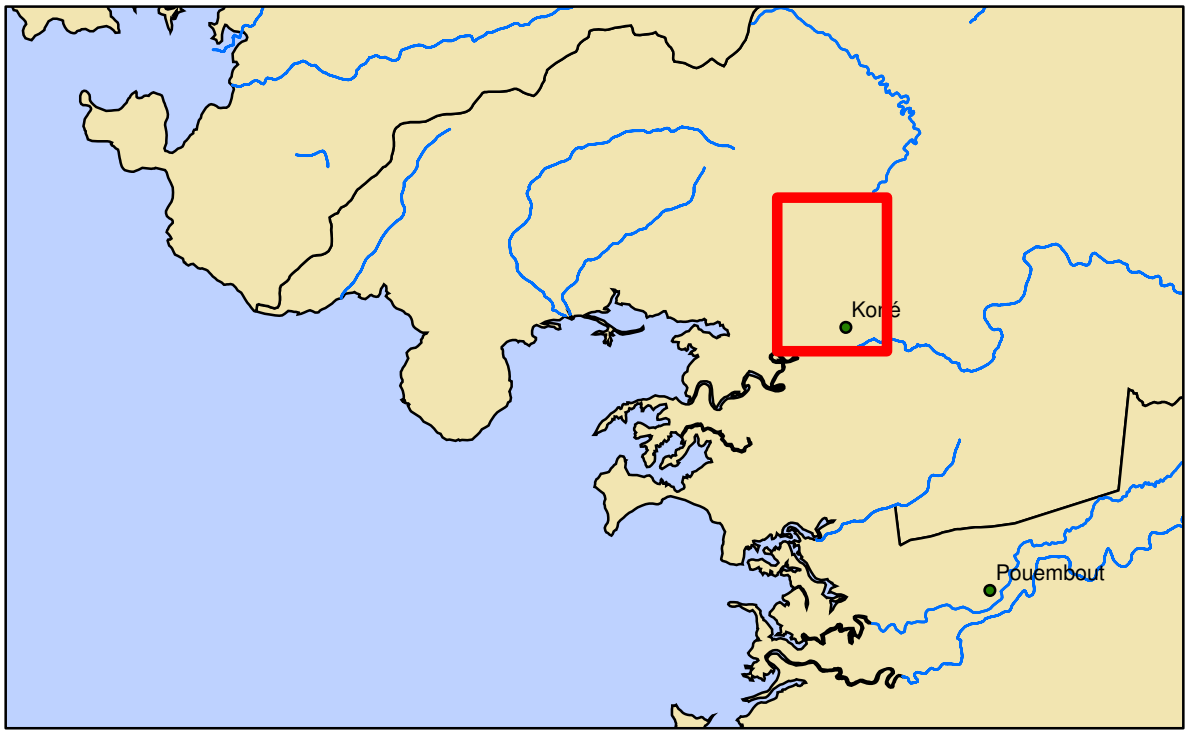
Les données d'entrée comme les résultats des simulations peuvent être visualisés, soit sous la forme de tableaux, soit sous la forme de graphiques. Leur présentation peut se faire sur imprimante, sur écran ou sur table traçante.

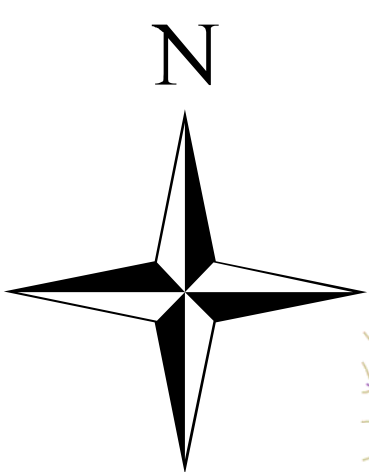
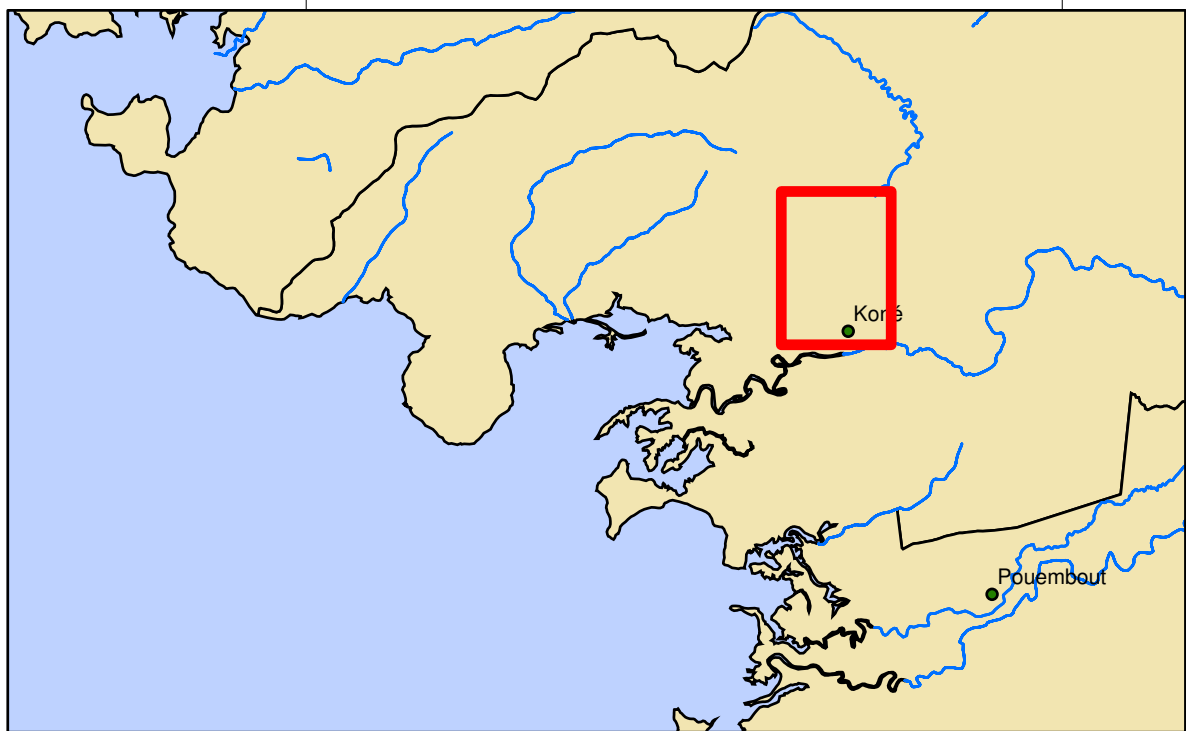
Ainsi, il est possible de représenter :

- le profil en long de la rivière et les lignes d'eau correspondantes
- les profils en travers du cours d'eau avec indication des cotes de submersion,
- les courbes d'évolution au droit d'une section d'un paramètre.
(ex : débit/hauteur d'eau/froude/vitesse/surface ...).

Légende

- Levés SEFP (2007)
- Levés Geoplan (2008)
- Ouvrages_Hydrauliques
- Axes Cours d'eau
- Profil en travers modélisés





Légende

- Limite de vitesse forte/faible à modérée
- Hauteur d'eau comprises entre 0 et 0,5 m
- Hauteur d'eau comprises entre 0,5 à 1 m
- Hauteur d'eau comprises entre 1 à 1,5 m
- Hauteur d'eau supérieures à 1,5 m

TITRE DE L'AFFAIRE :
Etude de l'aléa d'inondation à Koné

DATE : 14/08/2009 VERSION : V01

AUTEUR : EW VERIFICATEUR : NS

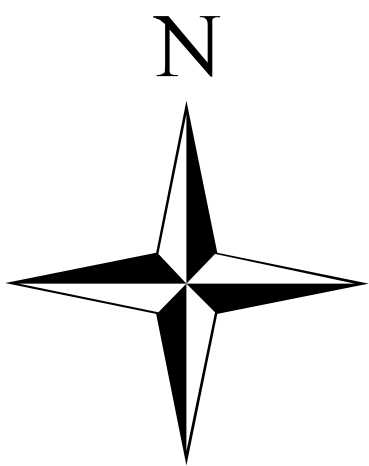
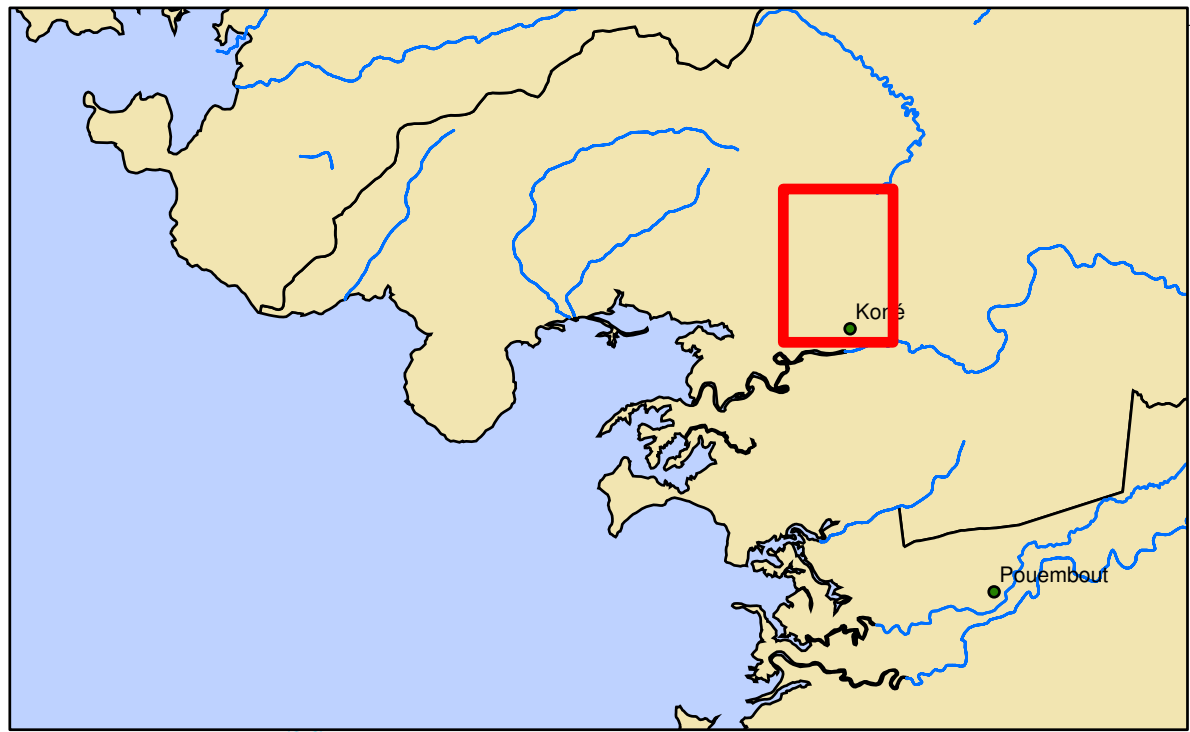
N° AFFAIRE : 059-08-O-H-NC

Cartographie des hauteurs d'eau
Crue centennale
Echelle 1:5 000

Sources :
Province Nord
modèle A2EP/SAFEGE

Sys. de coord. : RGNC 91 Lambert





Légende

- Zone de protection des talwegs (6 m)
- Alea moyen
- Alea fort
- Alea très fort
- Alea faible (hydrogeomorphologie - source DAVAR)

Hors zone d'étude

Hors zone d'étude

Hors zone d'étude

