CHAPITRE 6 PREVISION DE SEDIMENTATION FUTURE ET ANALYSE DES FLUX D'EAUX TURBIDES

6.1 Analyse unidimensionnelle de prévision de la sédimentation

6.1.1 Calcul de la reproduction

(1) Conditions de calcul

Les conditions de calcul de la reproduction sont indiquées dans le Tableau 6-1. Les données d'exploitation du barrage (niveau de la retenue, débit entrant et débit sortant) pendant la période de calcul sont indiquées dans la Figure 6-1.

La durée de la période de calcul est de trente-six (36) ans à partir de 1982, date de début de l'exploitation du barrage, jusqu'à 2017. Il manque des données pour environ 6,5 ans : Septembre 1988 – Aout 1989, Septembre 1990- Aout 1991, Septembre 1996 - Aout 1999, Septembre 2008- Aout 2009, et Mars 2005- Aout 2005.

Les données manquantes ont été compensées par le processus suivant.

- Estimer le débit entrant dans la retenue sur la base des données d'observation du débit à Bou Salem située en amont de la retenue du barrage.
- Estimer le niveau de l'eau de la retenue en utilisant le débit moyen de sortie du barrage dans le passé et la courbe H-V qui est créée avec la relation entre le niveau de l'eau de la retenue et le volume de stockage de l'eau.

Tableau 6-1 Conditions de calculs

Elément	Description	Remarques
Période de Calcul	1982 - 2017 (36 ans)	Depuis l'achèvement du barrage de Sidi Salem (1982)
Domaine de calcul	Retenue du barrage de Sidi Salem	
Terrain initial	Basé sur les données de mesure de 1972	
Conditions d'écoulement	Le débit réel du barrage a été fixé à l'extrémité amont *Les données manquantes ont été compensées par les données d'observation du débit de Bou Salem.	Utilisation des données quotidiennes (Les données temporelles ne sont pas disponibles)
Conditions relatives au niveau de l'eau	Le niveau d'eau réel de la retenue a été fixé à l'extrémité aval. *Les données manquantes ont été compensées en calculant le niveau d'eau de la retenue avec la courbe H-V et la moyenne du débit sortant.	
Volume de sédimentation entrant	En utilisant la formule Q-Qs créée à partir des données d'observation de la turbidité $Qs = {}^{\alpha}Q^{\beta}$ ($\alpha = 2{,}51\times10^{-5}$, $\beta = 1{,}80$)	Le coefficient α est corrigé par un calcul d'essai
Classification des grains	La taille représentative des grains a été fixée en divisant la fourchette de 0,1 μm - 75 μmen 4 sections.	
Coefficient de rugosité	0,020	
Autres	Porosité : 0,7, Densité de l'eau : 10^3 kg/m^3 Densité des sédiments : $2{,}65\times10^3$ kg/m^3	

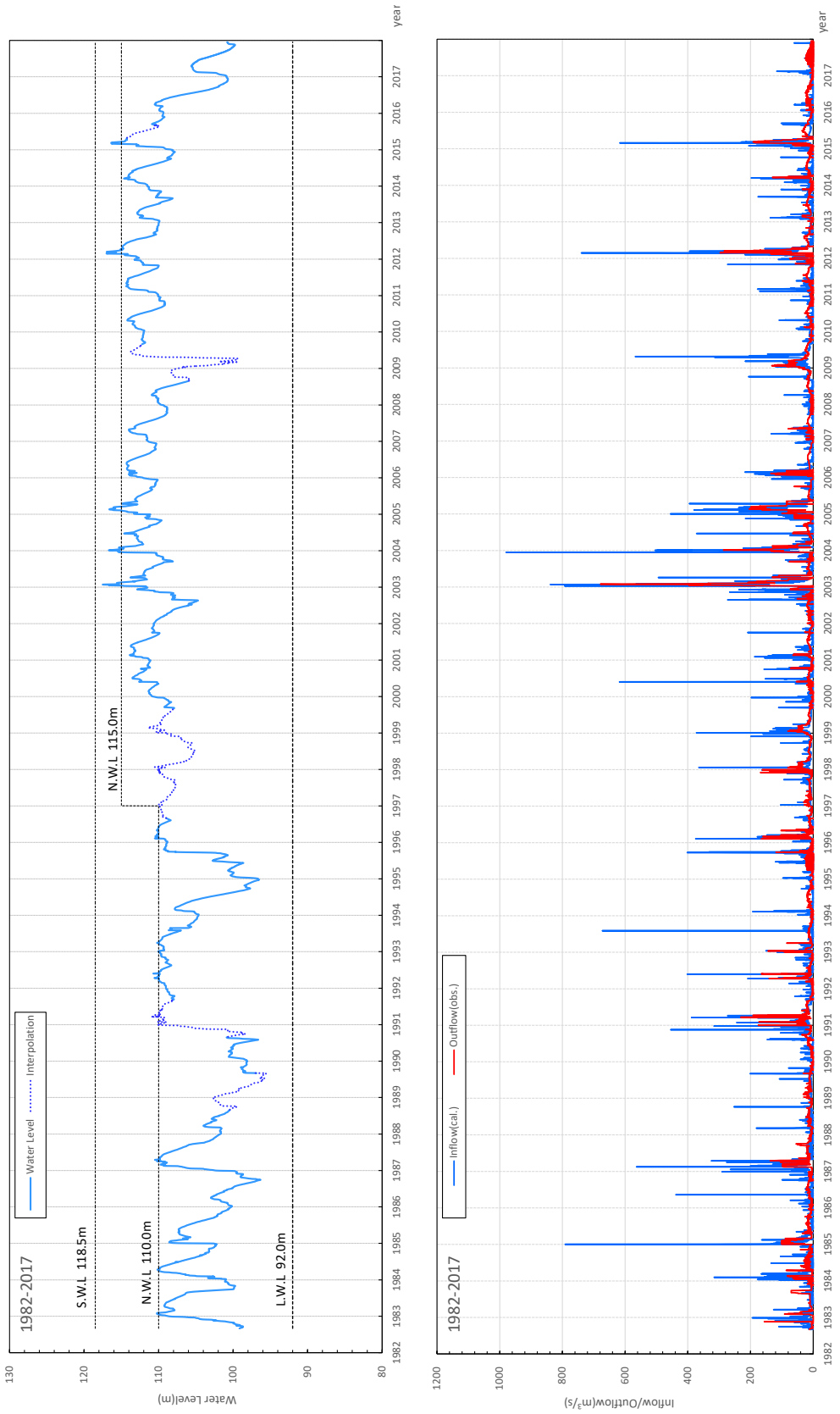


Figure 6-1 Niveau débit entrant/sortant au barrage de Sidi Salem (1982-2017)

(2) Reproductibilité de la forme et du volume de sédimentation

La reproductibilité du modèle analytique a été vérifiée en comparant les valeurs mesurées du volume de sédimentation dans chaque répartition de capacité de stockage d'eau avec celles des valeurs calculées. Cette vérification a également été effectuée sur la forme de la sédimentation. Les résultats de la reproduction de la forme de la sédimentation sont présentés à la Figure 6-2. La Figure 6-3 montre les résultats de la reproduction du volume de sédimentation dans chaque répartition de capacité de stockage d'eau. Les résultats des calculs sont résumés ci-dessous.

- La reproductibilité de la moyenne de la hauteur du lit de l'oued en 2017 était excellente.
- Le volume de sédimentation dans chaque répartition de capacité de stockage d'eau était bien reproduit.
- La valeur calculée du volume de sédimentation dans la zone de capacité de contrôle des inondations était légèrement faible. On suppose que l'erreur s'est produite dans la partie qui ne pouvait pas être reproduite par le modèle d'analyse unidimensionnelle de la variation du lit de l'oued. Cela est dû au fait que la sédimentation s'est produite dans la direction horizontale et qu'elle s'est poursuivie dans la partie courbée de la retenue.

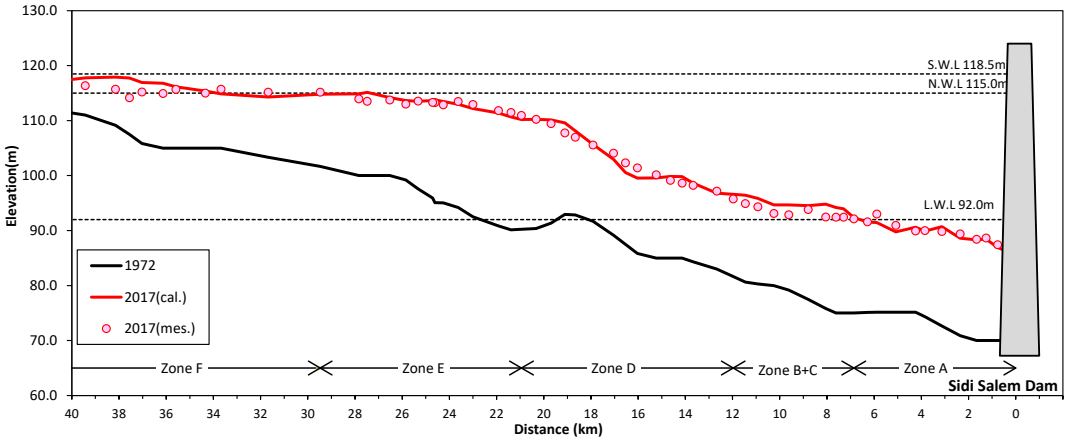


Figure 6-2 Résultats du calcul de la forme de la sédimentation

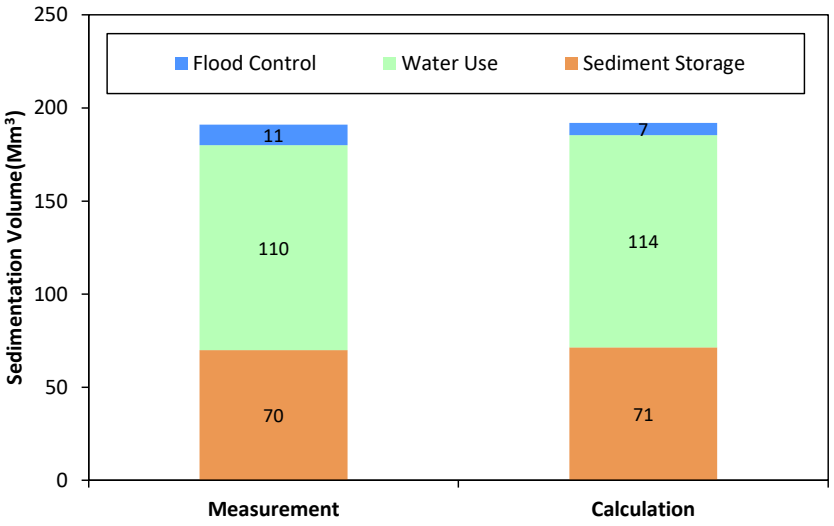


Figure 6-3 Résultats du calcul du volume de sédimentation par répartition de la capacité de stockage de l'eau

(3) Évolution historique du volume de sédimentation annuel et cumulé

L'évolution historique des données annuelles et les données cumulées du volume de sédimentation obtenues avec le calcul de reproduction sont présentés à la Figure 6-4. Les tendances de la sédimentation au barrage de Sidi Salem sont décrites ci-dessous.

- La sédimentation au barrage de Sidi Salem a progressé depuis l'achèvement du barrage en 1982.
- En 2003, environ 35 millions de m^3 de sédiments se sont produits à la suite de plusieurs inondations de grande ampleur.
- Après 2004, des inondations à grande échelle se sont produites fréquemment et la sédimentation a augmenté rapidement.

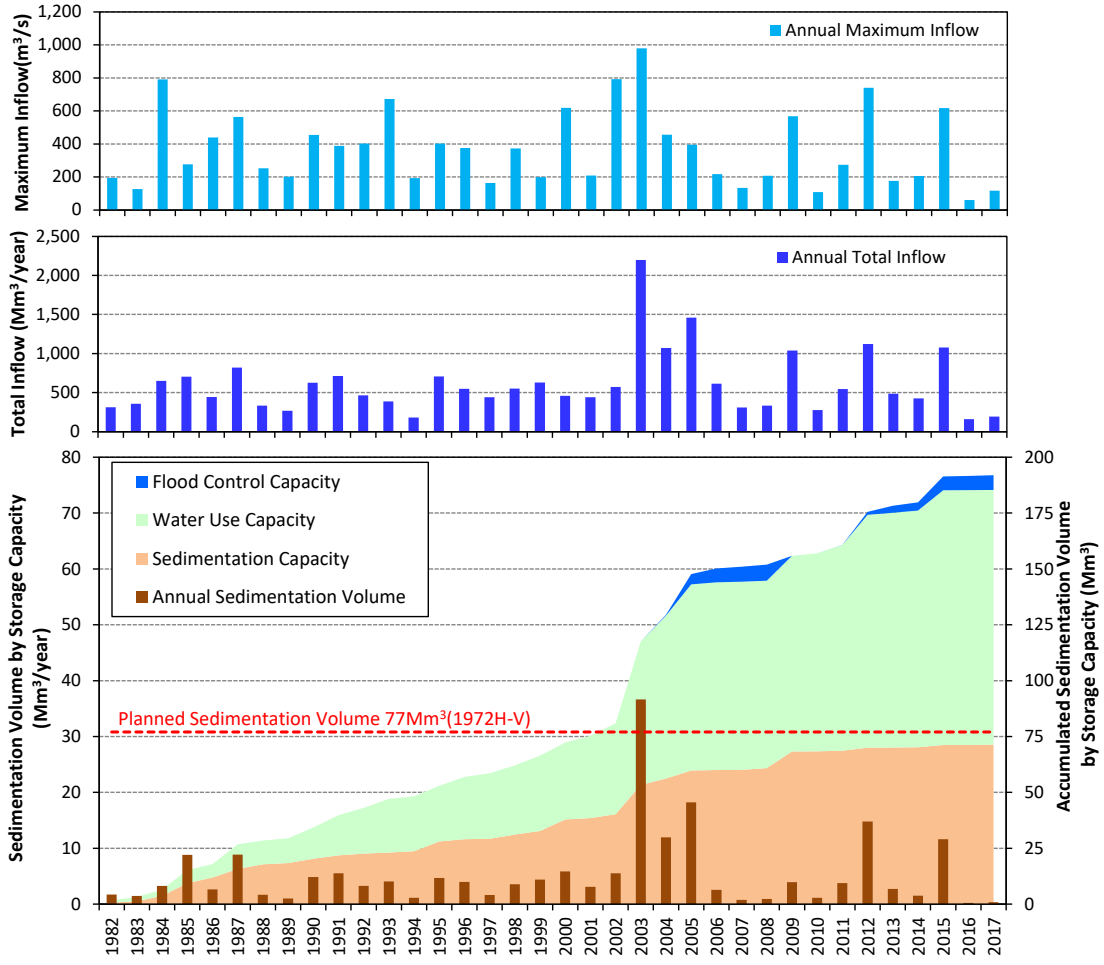


Figure 6-4 Évolution historique du volume de sédimentation annuel et cumulé au barrage de Sidi Salem

6.1.2 Évolution historique du bilan annuel de la sédimentation

(1) Période complète

Le bilan annuel de sédimentation estimé avec le calcul de la reproduction est décrit ci-dessous.

- Le volume annuel de sédimentation entrant fluctue entre 1 et 80 millions de m^3 en fonction du nombre d'inondations.
- Après une première inondation à grande échelle en 2003, la sédimentation à grande échelle de plus de 15 millions de m^3 s'est fréquemment produite en 2004, 2005, 2009, 2012 et 2015. La tendance des inondations a changé par rapport à la situation avant 2003.

- Le débit moyen de sédimentation sur toute la période est de 8,6 millions de m^3/an.
- Le volume moyen de sédimentation est de 5,4 millions de m^3/an.
- L'efficacité du piège de la sédimentation entrante est d'environ 60 %, et le taux de passage est d'environ 40 %.

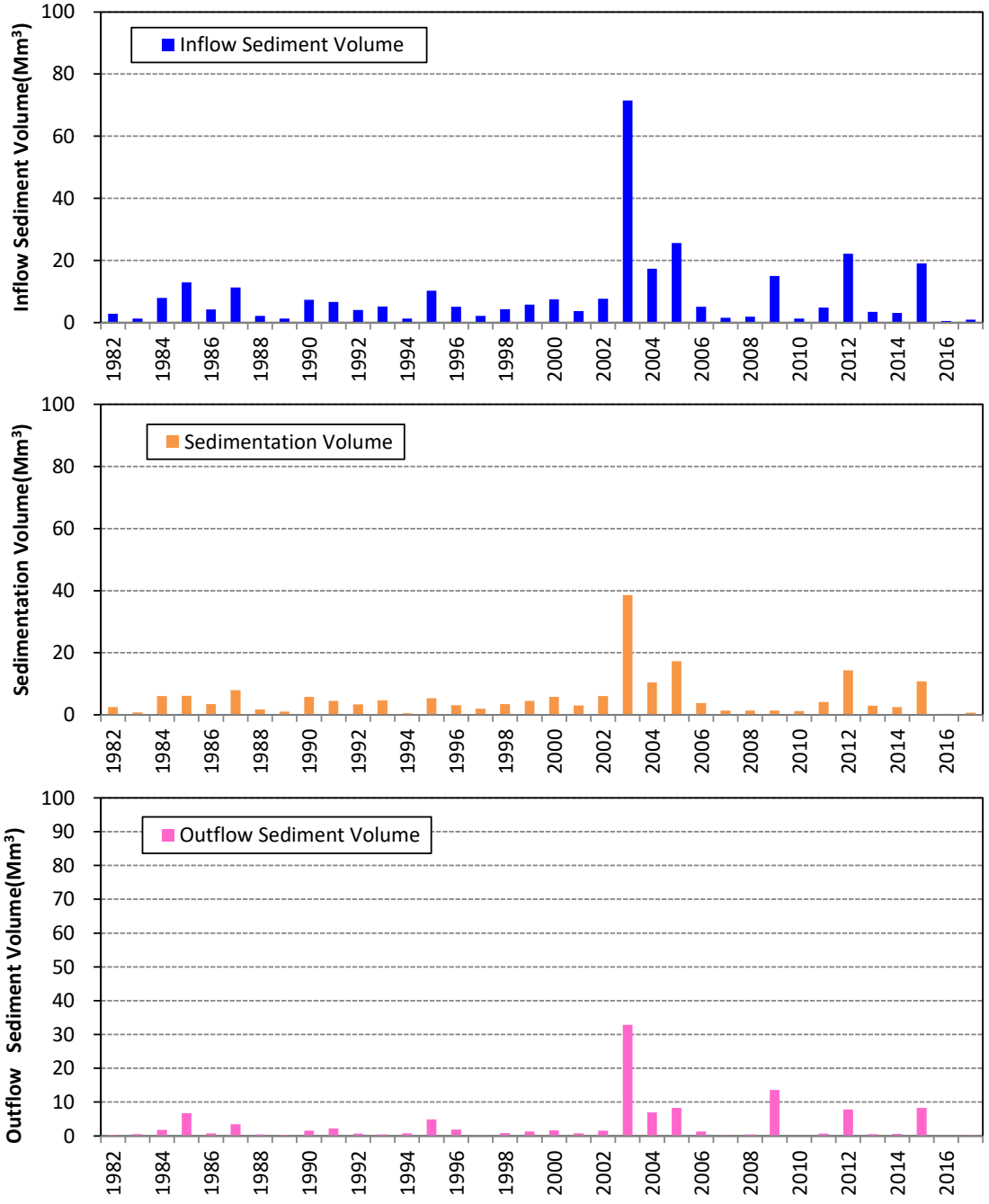


Figure 6-5 Évolution historique du bilan annuel de la sédimentation au barrage de Sidi Salem (période complète)

Tableau 6-2 Évolution historique du bilan annuel de la sédimentation au barrage de Sidi Salem (1982-2017)

Time Line	Year	Inflow Sediment Volume	Sediment Volume	Capture Ratio	Outflow Sediment Volume	Outflow Rate
		(Mm^3)	(Mm^3)	%	(Mm^3)	%
1	1982	2.80	2.50	89%	0.30	11%
2	1983	1.29	0.77	60%	0.51	40%
3	1984	7.89	6.08	77%	1.81	23%
4	1985	12.90	6.16	48%	6.74	52%
5	1986	4.22	3.47	82%	0.75	18%
6	1987	11.32	7.91	70%	3.41	30%
7	1988	2.12	1.71	80%	0.41	20%
8	1989	1.28	1.01	78%	0.28	22%
9	1990	7.33	5.81	79%	1.51	21%
10	1991	6.67	4.47	67%	2.20	33%
11	1992	4.03	3.36	83%	0.67	17%
12	1993	5.13	4.67	91%	0.46	9%
13	1994	1.31	0.53	41%	0.78	59%
14	1995	10.24	5.38	53%	4.86	47%
15	1996	5.03	3.14	62%	1.89	38%
16	1997	2.15	1.99	92%	0.16	8%
17	1998	4.31	3.46	80%	0.85	20%
18	1999	5.77	4.45	77%	1.32	23%
19	2000	7.45	5.79	78%	1.65	22%
20	2001	3.73	2.99	80%	0.74	20%
21	2002	7.66	6.08	79%	1.58	21%
22	2003	71.45	38.56	54%	32.89	46%
23	2004	17.33	10.42	60%	6.91	40%
24	2005	25.57	17.26	67%	8.31	33%
25	2006	5.10	3.82	75%	1.28	25%
26	2007	1.55	1.35	87%	0.20	13%
27	2008	1.85	1.40	76%	0.44	24%
28	2009	15.02	1.39	9%	13.63	91%
29	2010	1.31	1.19	91%	0.12	9%
30	2011	4.82	4.13	86%	0.69	14%
31	2012	22.14	14.35	65%	7.79	35%
32	2013	3.47	2.95	85%	0.53	15%
33	2014	3.12	2.51	80%	0.61	20%
34	2015	19.05	10.75	56%	8.30	44%
35	2016	0.46	0.37	80%	0.09	20%
36	2017	0.96	0.73	76%	0.23	24%
Mean Value		8.6	5.4	63%	3.2	37%

(2) Bilan historique de la sédimentation après la modification de l'exploitation du barrage (1997-2017)

Le bilan annuel de la sédimentation après 1997, lorsque le niveau normal des hautes eaux a été modifié en EL.115 m, est résumé comme suit.

- Le débit de sédimentation annuel fluctue entre 1 et 80 millions de m^3 en fonction du nombre d'inondations.
- Depuis 1997, le débit moyen de sédimentation entrant est de 10,7 millions de m^3/an, et le volume moyen de sédimentation est de 6,5 millions de m^3/an.
- Depuis 1997, l'efficacité du piège pour la sédimentation entrante est d'environ 60 %, et le taux de passage est d'environ 40 %.
- Depuis les inondations de moyenne ampleur de 500 à 800 m^3/s survenues en 2003, 2004, 2005, 2009, 2012 et 2015, la sédimentation a remarquablement progressé. En 2009, une crue de moyenne ampleur s'est produite en période de sécheresse, de sorte que les sédiments déposés dans la retenue ont été érodés et évacués vers l'aval du barrage.

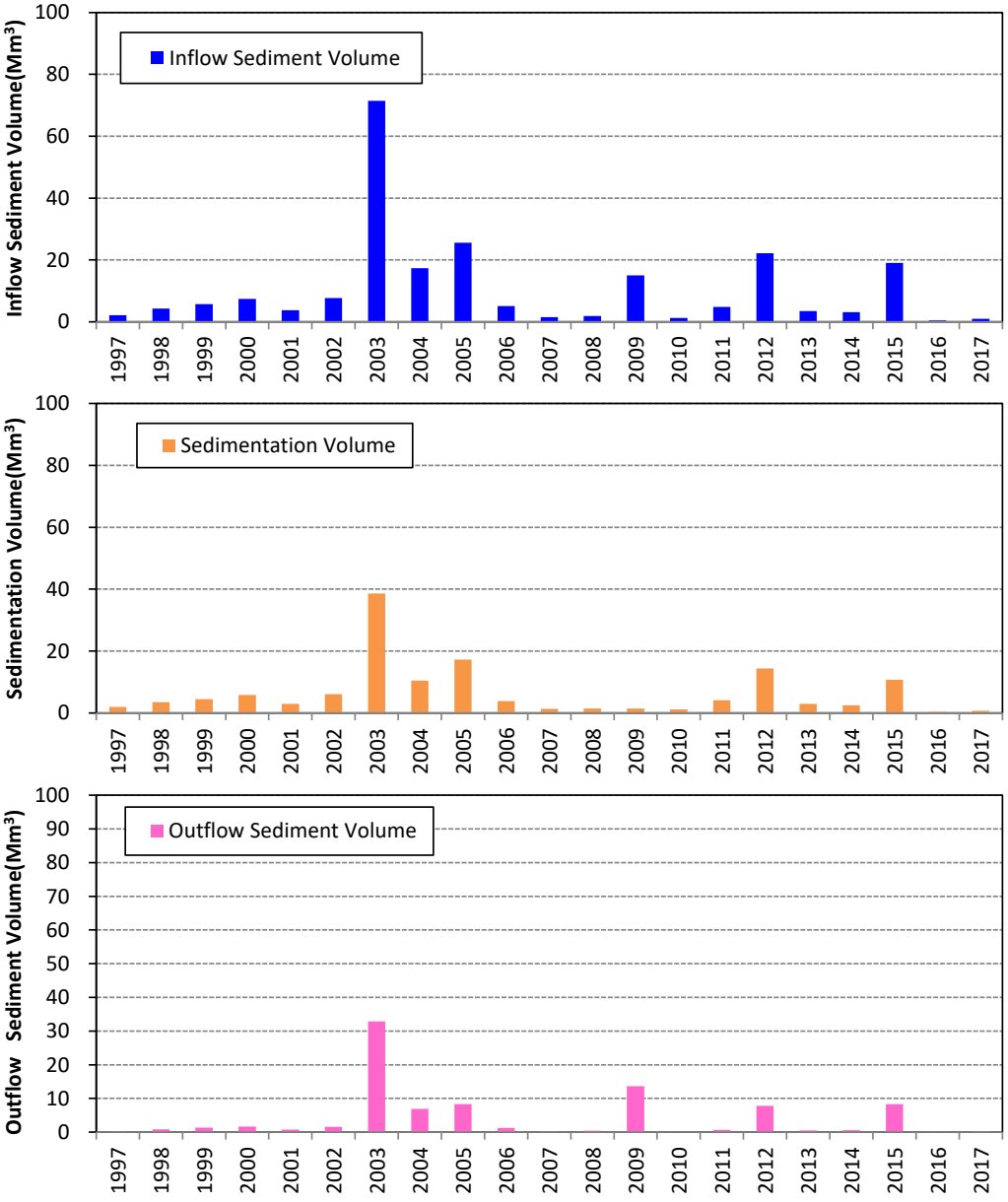


Figure 6-6 Évolution historique du bilan annuel de la sédimentation au barrage de Sidi Salem (1997-2017)

Tableau 6-3 Évolution historique du bilan annuel de la sédimentation au barrage de Sidi Salem (1997-2017)

Time Line	Year	Inflow Sediment (Mm^3)	Sediment Volume (Mm^3)	Capture Ratio %	Outflow Sediment (Mm^3)	Outflow Rate %
16	1997	2.15	1.99	92%	0.16	8%
17	1998	4.31	3.46	80%	0.85	20%
18	1999	5.77	4.45	77%	1.32	23%
19	2000	7.45	5.79	78%	1.65	22%
20	2001	3.73	2.99	80%	0.74	20%
21	2002	7.66	6.08	79%	1.58	21%
22	2003	71.45	38.56	54%	32.89	46%
23	2004	17.33	10.42	60%	6.91	40%
24	2005	25.57	17.26	67%	8.31	33%
25	2006	5.10	3.82	75%	1.28	25%
26	2007	1.55	1.35	87%	0.20	13%
27	2008	1.85	1.40	76%	0.44	24%
28	2009	15.02	1.39	9%	13.63	91%
29	2010	1.31	1.19	91%	0.12	9%
30	2011	4.82	4.13	86%	0.69	14%
31	2012	22.14	14.35	65%	7.79	35%
32	2013	3.47	2.95	85%	0.53	15%
33	2014	3.12	2.51	80%	0.61	20%
34	2015	19.05	10.75	56%	8.30	44%
35	2016	0.46	0.37	80%	0.09	20%
36	2017	0.96	0.73	76%	0.23	24%
Mean Value		10.7	6.5	61%	4.2	39%

6.1.3 Évolution historique du volume de sédimentation dans chaque zone

La Figure 6-7 montre l'évolution historique du volume de sédimentation dans chaque zone :

- Dans la zone E et la zone F en amont de la retenue, les volumes de sédimentation augmentent progressivement. En 2009, lorsque le niveau d'eau a baissé en raison de la sécheresse, le volume de sédimentation a été temporairement réduit car la crue a drainé les sédiments déposés.
- Dans la zone D et la zone B+C, au milieu de la retenue, un volume important de sédimentation s'est produit en raison de la grande inondation de 2003. En 2009, le volume de sédimentation a augmenté en raison de l'afflux de sédiments provenant de la zone amont par la crue.
- Dans la zone A, en aval de la retenue, le volume de sédimentation augmente progressivement sur toute la période.

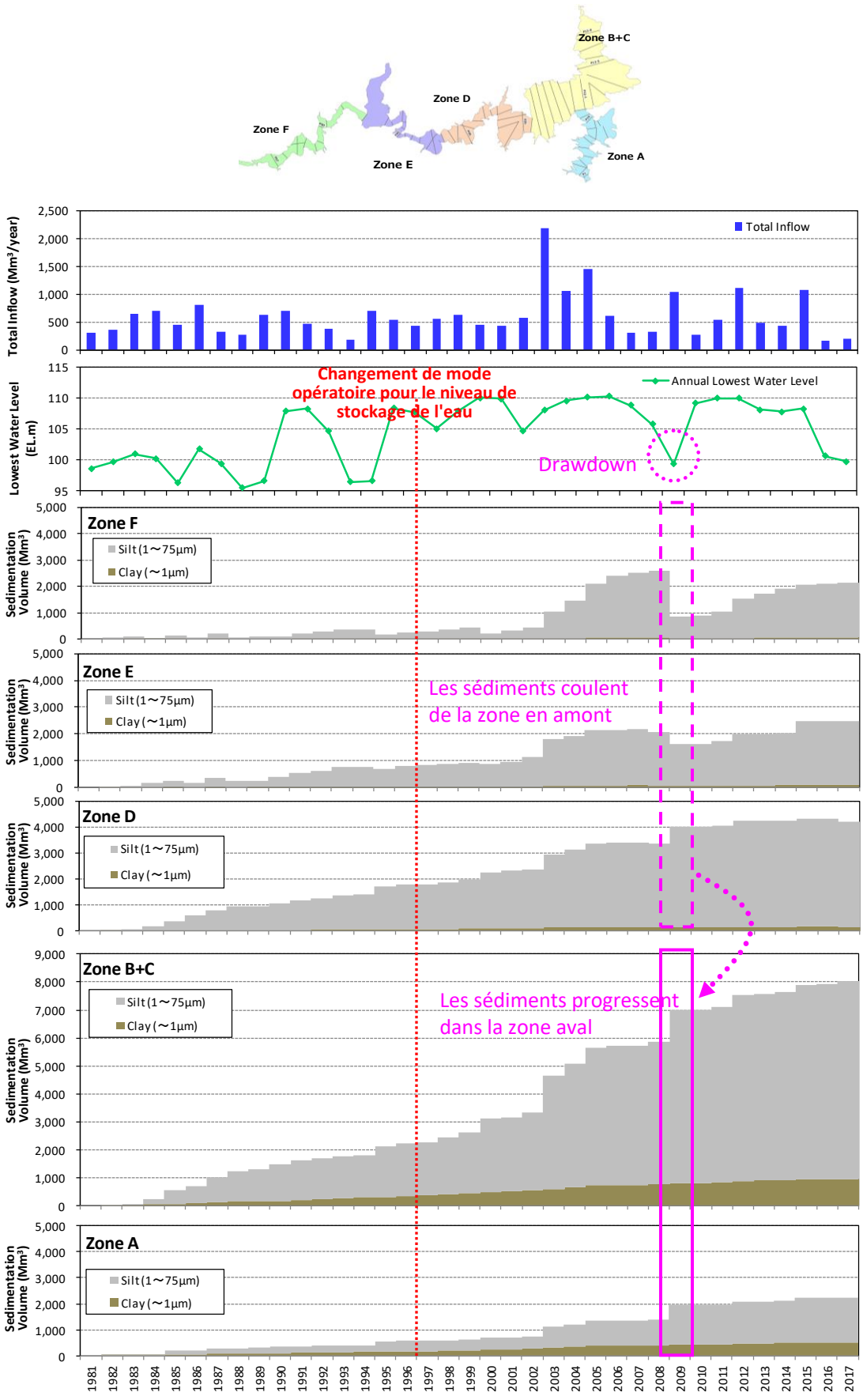


Figure 6-7 Évolution historique du volume cumulé de sédimentation dans chaque zone

6.1.4 Progression de la sédimentation lors des inondations représentatives

Afin de confirmer la progression de la sédimentation lors des crues représentatives, trois années types ont été relevées.

2003 : La plus grande inondation jamais survenue.

2009 : L'inondation à grande échelle qui s'est produite pendant la sécheresse.

2012 : L'inondation de moyenne ampleur produite alors que le niveau d'eau de la retenue était à la hauteur normale des hautes eaux

(1) Caractéristiques de la sédimentation en 2003

La Figure 6-8 montre l'hydrogramme, la forme de la sédimentation et le volume de sédimentation dans chaque zone en 2003. Ces caractéristiques sont résumées ci-dessous.

- En 2003, une inondation à grande échelle (Qp = 839 m^3/s) s'est produite entre janvier et février. Une autre inondation à grande échelle (Qp = 979 m^3/s) s'est produite en décembre.
- La forme des sédiments augmente dans chaque zone, en particulier dans la zone F, la zone E et la zone D.
- Le résultat du calcul de reproduction indique que 36,3 millions de m^3 de sédiments ont été générés.

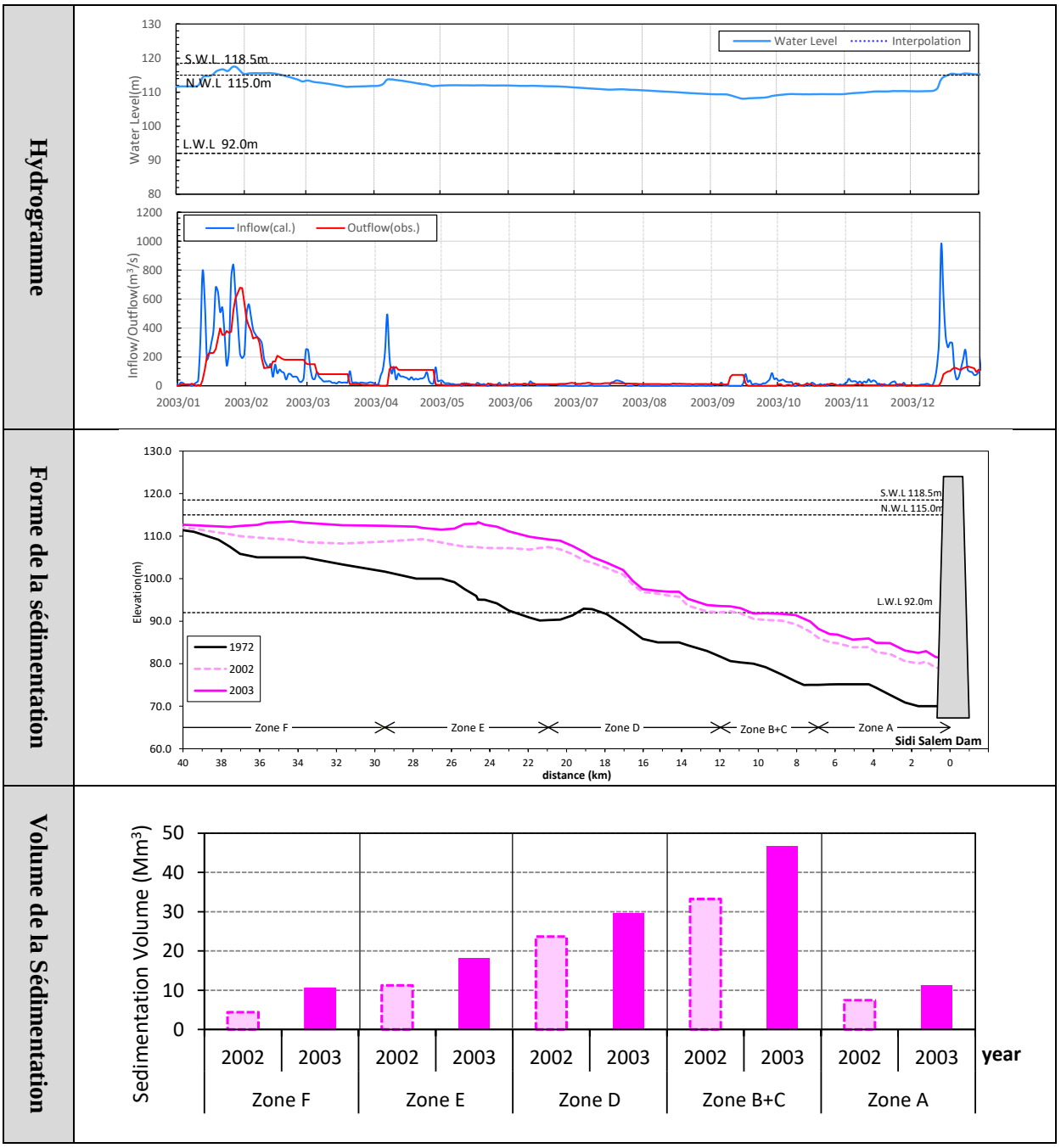


Figure 6-8 Hydrogramme/ Forme de sedimentation/ Volume de sédimentation (2003)

(2) Caractéristiques de la sédimentation en 2009

La Figure 6-9 montre l'hydrogramme, la forme de la sédimentation et le volume de sédimentation dans chaque zone en 2009. Leurs caractéristiques sont résumées ci-dessous.

- En 2009, le niveau de l'eau est descendu sous la barre de EL.100,0 m en avril. Par la suite, le niveau de l'eau a augmenté en raison de l'apparition de crues de moyenne ampleur.
- Dans la zone F - zone D, en amont de la retenue, les sédiments déposés se sont écoulés vers le bas pendant la crue. En conséquence, la sédimentation a progressé dans la zone B+C et la zone A dans les zones situées au milieu de l'aval de la retenue.
- Les résultats du calcul de reproduction indiquent que 1,4 million de m^3 de sédiments ont été générés. Étant donné que les inondations se sont produites pendant la saison de sécheresse, on suppose que la plupart des sédiments entrants (environ 15 millions de m^3) ne se sont pas déposés et sont acheminés en aval du réservoir.

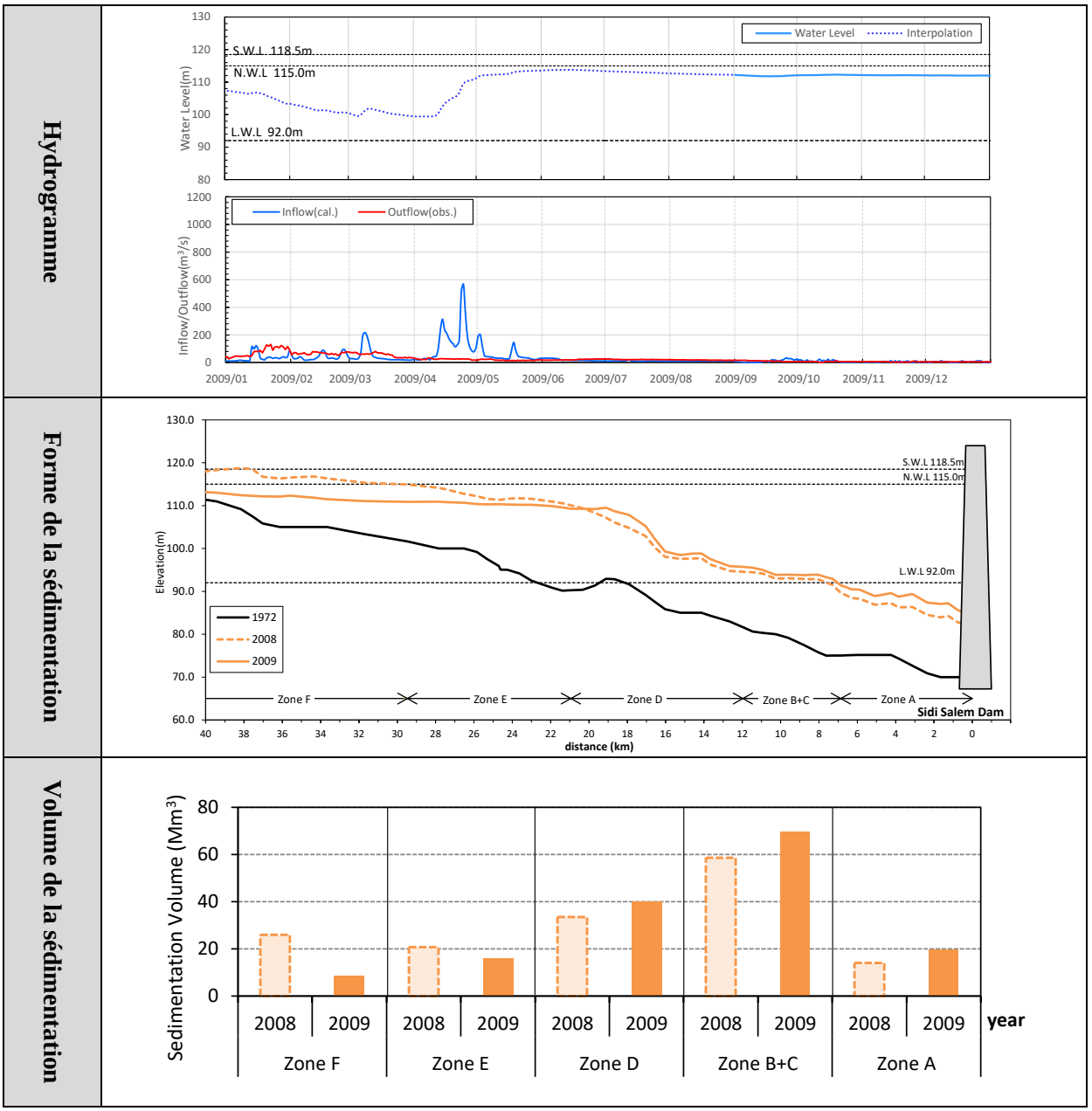


Figure 6-9 Hydrogramme/ forme de sédimentation/ volume de sédimentation (2009)

(3) Caractéristiques de la sédimentation en 2012

La Figure 6-10 montre l'hydrogramme, la forme de la sédimentation et le volume de sédimentation dans chaque zone en 2012. Ces caractéristiques sont résumées ci-dessous.

- En 2012, une inondation de moyenne ampleur s'est produite en février. Le niveau de l'eau était presque à la hauteur normale des hautes eaux, et il n'y a pas eu de baisse significative du niveau d'eau de la retenue
- La sédimentation a progressé dans chaque zone, de la zone F à la zone A, et il n'y a pas eu d'érosion significative.
- Les calculs de reproduction indiquent que 14,6 millions de m^3 de sédiments ont été générés.

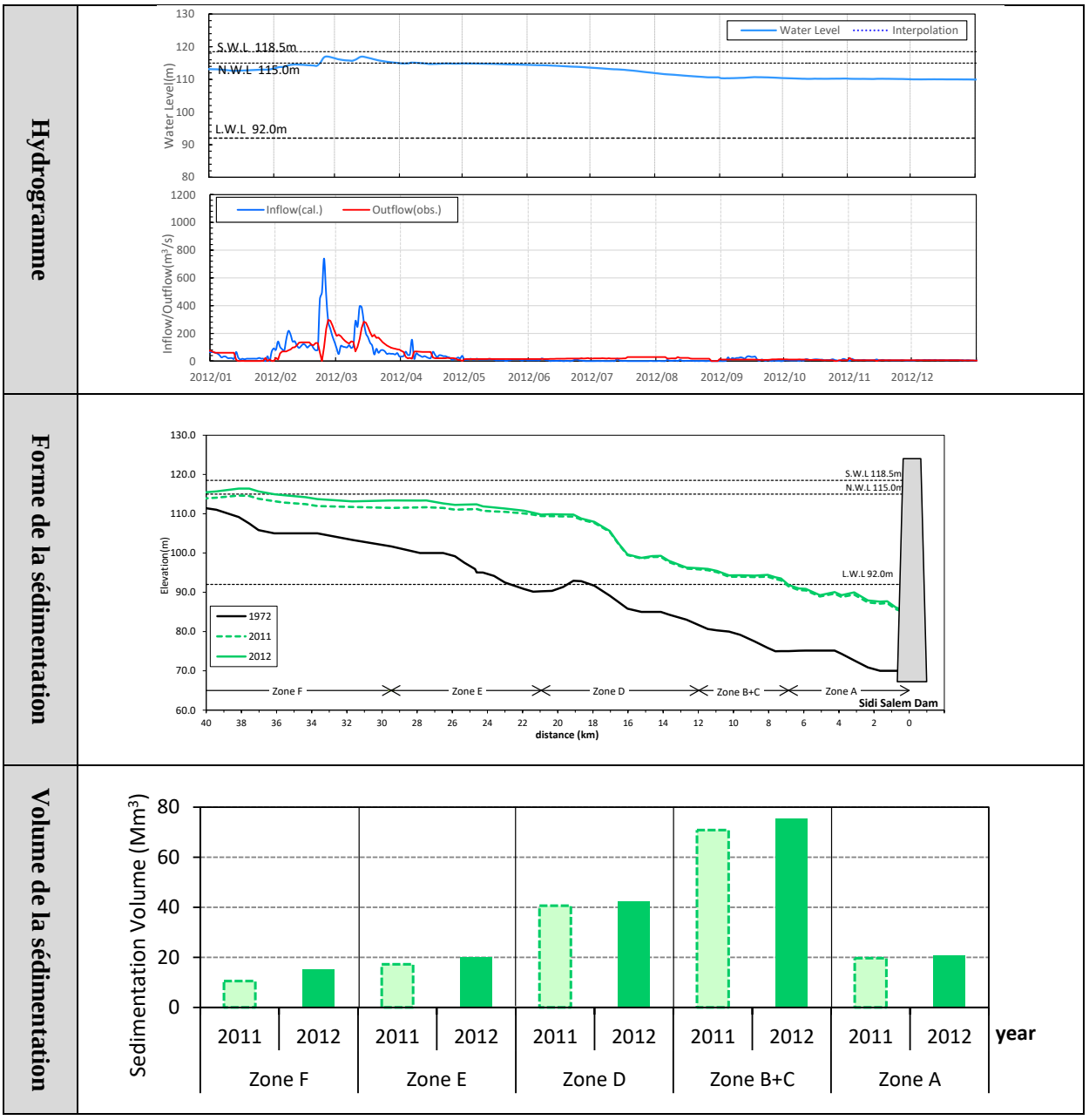


Figure 6-10 Hydrographe/ Forme de sédimentation/ Volume de sédimentation (2012)

(4) Relation entre l'échelle de l'inondation et le volume de sédimentation entrant

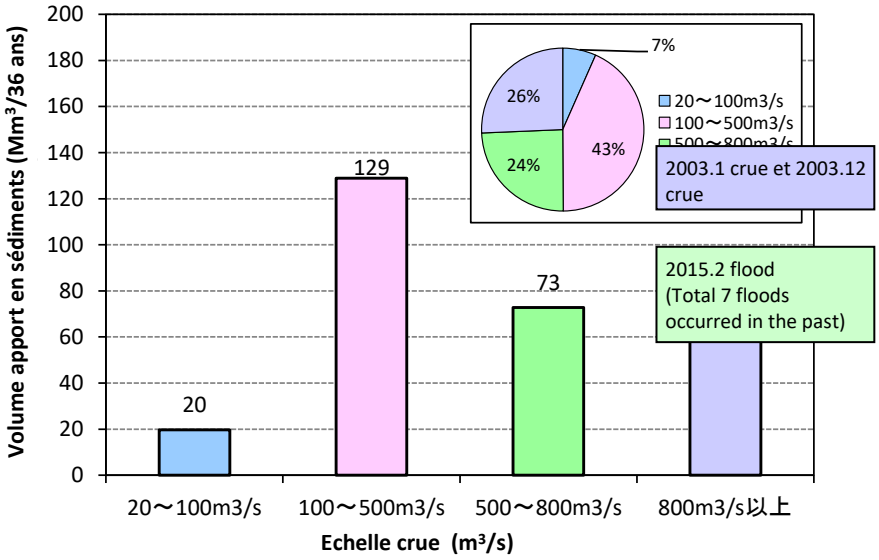
La distribution de fréquence du volume de sédimentation entrant par les échelles de crue a été créée (Figure 6-11) ; les échelles d'inondation sont classées comme suit.

- Inondation de faible ampleur : la fréquence est annuelle. Le débit journalier moyen des barrages est $Q \leq 100$ - 500 m^3/s.
- Inondation de moyenne ampleur : La fréquence d'occurrence est d'une fois tous les cinq (5) ans. $Q \leq 500$-800 m^3/s.
- Inondation à grande échelle : la fréquence d'occurrence est d'une fois tous les dix (10) ans. $Q > 800$ m^3/s.

La relation entre l'échelle des crues et le volume de sédimentation entrant au barrage de Sidi Salem est résumée ci-dessous :

- Inondation à petite échelle : le volume de sédimentation entrant représente environ 43% du total.
- Inondation de moyenne ampleur : le volume de sédimentation entrant représente environ 24% du total.
- Inondation à grande échelle le volume de sédimentation entrant représente environ 26% du total.

A partir des éléments ci-dessus, on suppose qu'un grand volume de sédiments s'est écoulé dans la retenue même s'il s'agissait d'une petite inondation. Il est donc nécessaire de prendre des contre-mesures contre la sédimentation correspondant à différentes échelles de crue.



※ Les apports d'inondations ont ete organises a partir de données quotidiennes.

Figure 6-11 Volume total et rapport de la sédimentation entrante par echelle d'inondation (1982-2017)

(5) Bilan de la sédimentation

Afin de déterminer le volume de sédimentation qui nécessite des contre-mesures, le bilan de sédimentation a été calculé sur la base des résultats de simulation de la reproduction des sédiments au barrage de Sidi Salem. La Figure 6-12 montre le bilan de sédimentation et le Tableau 6-4 indique le volume de sédimentation dans chaque zone. La période cible de sédimentation est postérieure à 1997, lorsque les caractéristiques de sédimentation de la retenue ont changé en raison du changement de règle d'exploitation pour le niveau de stockage de l'eau.

En conséquence, on estime qu'environ 60 % (6,4 millions de m^3/an) de l'apport total de sédiments (10,6 millions de m^3/an) se déposeront dans la retenue et que les 40 % restants (4,2 millions de m^3/an) s'écouleront.

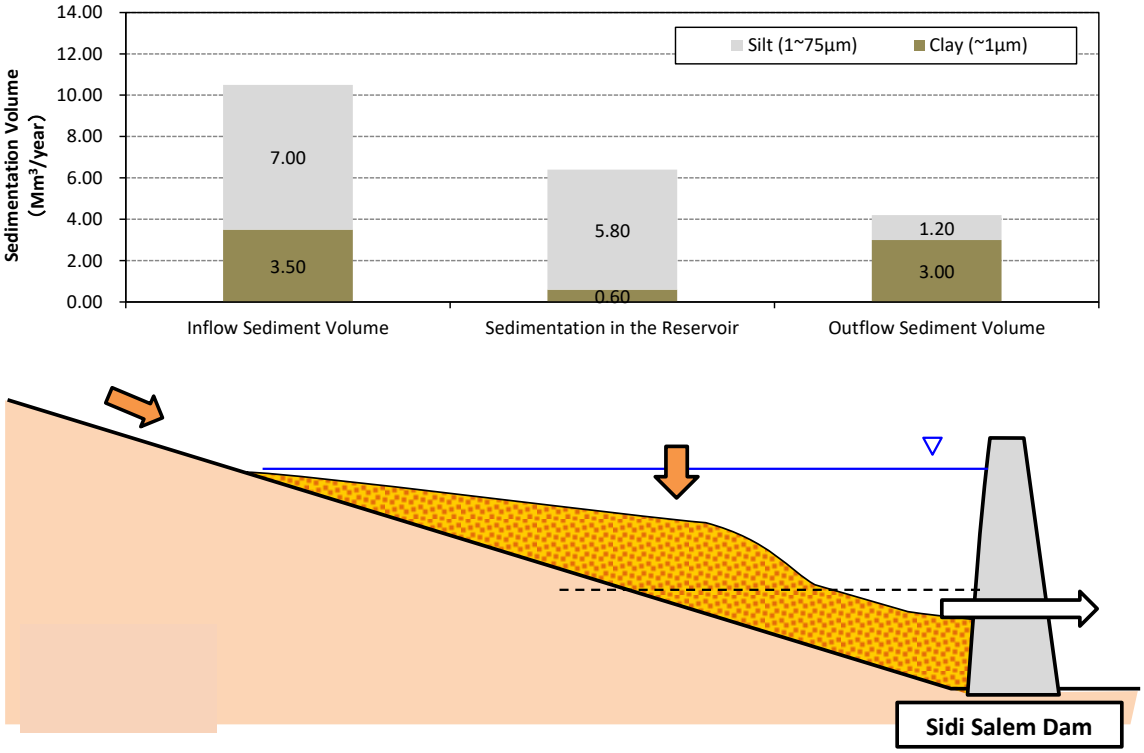


Figure 6-12 Bilan de la Sédimentation au Barrage de Sidi Salem (1997-2017)

Tableau 6-4 Volume de sédimentation dans chaque zone (1997-2017)

Zone	F	E	D	B+C	A	
Argile	0.03	0.04	0.04	0.29	0.16	0.6
Limon	0.87	0.77	1.11	2.46	0.63	5.8
Total	0.90	0.81	1.15	2.75	0.79	6.4

(Unité : 10^6 m^3)

6.2 Calcul des prévisions futures

6.2.1 Conditions de l'Analyse

(1) Estimation de l'apport en sédiments future par l'étude statistique

Le calcul du volume d'apport annuel de sédiments au barrage de Sidi Salem a été calculé par la méthode indiquée dans le « Dam Reservoir Sediment Management Guide (Draft), March 2018 » publié par le Ministère du Territoire, des Infrastructures, des Transports et du Tourisme (MLIT) du Japon. L'apport annuel prévu de sédiments a été calculée à l'aide du volume d'apport annuel précèdent obtenu par la formule L-Q (présentée au Tableau 7-2), qui a été utilisée dans le calcul de la reproduction, après avoir calculé l'apport de sédiments par période de retour (indiqué au Tableau 6-5) par la méthode de traitement statistique utilisée en statistique hydrologique.

D'après ce qui précède, l'apport annuel moyen de sédiments au barrage de Sidi Salem a été estimé à 8,3 Mm^3/an, comme indiqué sur le Tableau 6-6.

.

Tableau 6-5 Résultats de l'évaluation selon diverses méthodes statistiques

Article		Volume de sédiments entrants													
		Distribution exponentielle	Distribution de Gumbel	Distribution maximale de type SQRT-wxponentiel	Distribution généralisée des valeurs extrêmes	Distribution de type pearson log III.	Distribution de type pearson log III.	Distribution log-normale à 3 paramètres	Distribution log-normale à 3 paramètres	Distribution log-normale à 3 paramètres	Distribution log-normale à 3 paramètres	Distribution log-normale à 2 paramètres	Distribution log-normale à 2 paramètres	Distribution log-normale à 4 paramètres	Moyenne de SLSC<0,04
		Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM	
		Méthode des moments L	Méthode des moments L	Maximum likelihood method	Méthode des moments L	Méthode de l'espace réel	Méthode de l'espace logarithmique	Méthode Iwai	Méthode Ishihara/Takase	Méthode Quantile	Méthode des moments	Méthode des moments	Méthode des moments	Méthode des moments	
Echantillons (Excepté 0)		37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
Sédimentation probable	2	5	7	2	5	4	4	5	–	5	–	5	5	–	5
	3	9	11	5	7	8	7	7	–	7	–	7	7	–	7
	5	14	15	9	11	13	11	12	–	11	–	12	11	–	11
	10	21	20	16	17	21	19	19	–	19	–	19	18	–	18
	20	28	25	24	26	30	29	29	–	28	–	28	27	–	28
	30	32	28	29	32	36	37	36	–	34	–	34	33	–	34
	50	37	32	36	43	44	48	46	–	44	–	44	42	–	45
	80	41	35	43	56	51	61	57	–	54	–	54	52	–	56
	100	43	36	46	63	55	68	63	–	60	–	59	57	–	62
	150	47	39	52	78	61	82	75	–	71	–	69	67	–	74
	200	50	41	57	91	66	94	85	–	79	–	77	75	–	83
	400	57	46	70	130	77	127	110	–	102	–	99	96	–	111
	600	61	49	78	161	84	151	128	–	118	–	114	110	–	130
	800	63	51	83	186	89	169	142	–	131	–	126	121	–	146
	1000	65	53	88	209	93	185	153	–	141	–	135	130	–	159
SLSC		0.128	0.160	0.120	0.029	0.074	0.023	0.024	–	0.025	–	0.024	0.025	–	0.025
imée par jackknife (100)		14	12	9	28	31	33	24	–	31	–	20	19	–	26
Méthode choisie					○		○	○		○		○	○		◎

Unité : $m^3/km^2/an$

Tableau 6-6 Volume annuel moyen estimé de sédiments entrants au barrage de Sidi Salem

Modèle de distribution des probabilités :		**Mean value of Extracted Methods**					
No.	①Probabilité année	②Probabilité d'excès P_i	③Probabilité d'intervalle $P_{i-1}-P_i$	④Quantité annuelle de sédimentation correspondant à la période de retour	⑤Volume annuel moyen de sédiments par intervalle $(v_{i-1}+v_i)/2$	⑥Valeur attendue de la moyenne annuelle du volume sédimentaire de l'intervalle $\Delta v_i=③\times⑤$	⑦Valeur attendue du volume annuel moyen de sédiments $V_i=V_{i-1}+\Delta v_i$
1	1	1.0000	–	0	–	–	–
2	2	0.5000	0.5000	5	2	1.1	1.1
3	3	0.3333	0.1667	7	6	1.0	2.1
4	5	0.2000	0.1333	11	9	1.2	3.3
5	10	0.1000	0.1000	18	15	1.5	4.8
6	20	0.0500	0.0500	28	23	1.2	6.0
7	30	0.0333	0.0167	34	31	0.5	6.5
8	50	0.0200	0.0133	45	40	0.5	7.0
9	80	0.0125	0.0075	56	50	0.4	7.4
10	100	0.0100	0.0025	62	59	0.1	7.5
11	150	0.0067	0.0033	74	68	0.2	7.8
12	200	0.0050	0.0017	83	78	0.1	7.9
13	400	0.0025	0.0025	111	97	0.2	8.1
14	600	0.0017	0.0008	130	121	0.1	8.2
15	800	0.0013	0.0004	146	138	0.1	8.3
16	1000	0.0010	0.0003	159	152	0.0	8.3
					Estimation du volume moyen de sédiments entrants =		**8.3 (Mm3/year)**

(2) Conditions pour les Prévisions Futures

Le Tableau 6-7 présente les conditions d'une analyse prévisionnelle future. Les données d'apport entre 1997 et 2017, après le changement d'exploitation du barrage de Sidi Salem, ont été utilisées dans l'analyse par itération pour les 100 prochaines années à partir de l'année actuelle. En 2003, la quantité d'apport de sédiments par an est considérée comme équivalente à la probabilité de 150 à 200 ans, elle n'a donc été utilisée que dans la 55éme année au milieu du calcul.

Tableau 6-7 Conditions de Calcul

Eléments	Description	Remarques
Période de Calcul	100 Prochaines Années -1997-2017 les hydrogrammes sont appliqués itérativement -2003 l'hydrogramme n'a été utilisé que pour la 55e année	
Zone de Calcul	Retenue du Barrage de Sidi Salem	
Etat Initial du Sol	A la base des données des mesures de 2018	
Conditions de décharge	Débit entrant effective au Barrage est défini au bout de l'amont. *les données manquantes ont été compensées par les données d'observation des débits au niveau de Boussalem	Utilisation des données journalières (Données horaires ne sont pas disponibles)
Conditions du Niveau d'Eau	Niveau d'eau effective du réservoir est défini au bout de l'amont. *les données manquantes ont été compensées par le calcul du niveau d'eau dans le réservoir avec la courbe H-V et la décharge moyenne.	
Volume d'apport en Sédiments	Utilisation de l'équation Q-Qs développée à partir des données d'observation de la turbidité $Qs = \alpha Q^{\beta}$ ($\alpha = 2{,}51\times10^{-5}$, $\beta = 1{,}80$)	Le coefficient α est corrigé pour avoir la moyenne de l'apport annuel de sédiments égale à 8,3 Mm^3/an.
Granulométrie	La distribution granulométrique représentative a été définie par la subdivision de 0,1 µm - 75 µm en 4 sections.	
Coefficient de rugosité	0,020	
Autres	Porosité: 0,7, Poids spécifique de l'eau : 10^3 kg/m^3 Poids Volumique des sédiments : $2{,}65\times10^3$ kg/m^3	

En bleue : Différent du calcul de reproduction

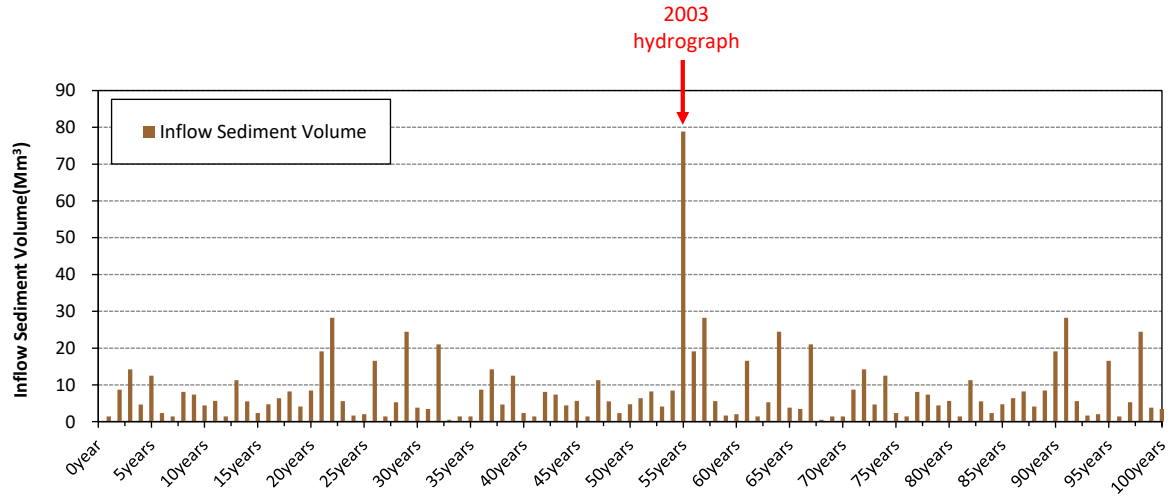


Figure 6-13 Conditions du Volume d'Apport en Sédiment pour l'Analyse de Prévisions Futures

6.2.2 Computation Results

(1) Future Sedimentation Volume and trends

Le calcul de prédiction du volume de sédimentation dans les 100 prochaines années sans contre-mesure des sédiments a été effectué à l'aide du modèle analytique construit.

La Figure 6-14 et la Figure 6-15 montrent les résultats de la prévision de la forme et du volume des sédiments, respectivement.

À l'avenir, le volume de sédimentation augmentera à la fois dans la zone de capacité de contrôle des inondations et dans la zone de capacité d'utilisation de l'eau. En particulier, l'accumulation dans la zone de capacité d'utilisation de l'eau est remarquable. Il est prévu que le volume de sédimentation dans les 100 prochaines années augmentera jusqu'à environ 510 millions de m^3. Et il s'ensuit qu'environ 50 % de la capacité totale de stockage de l'eau de 960 millions de m^3 sera enterrée avec des sédiments.

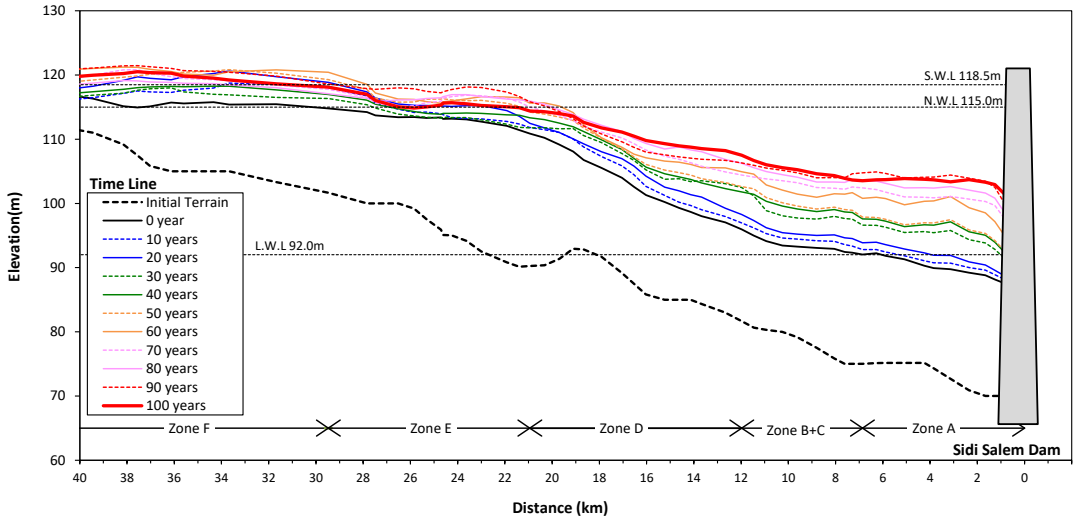
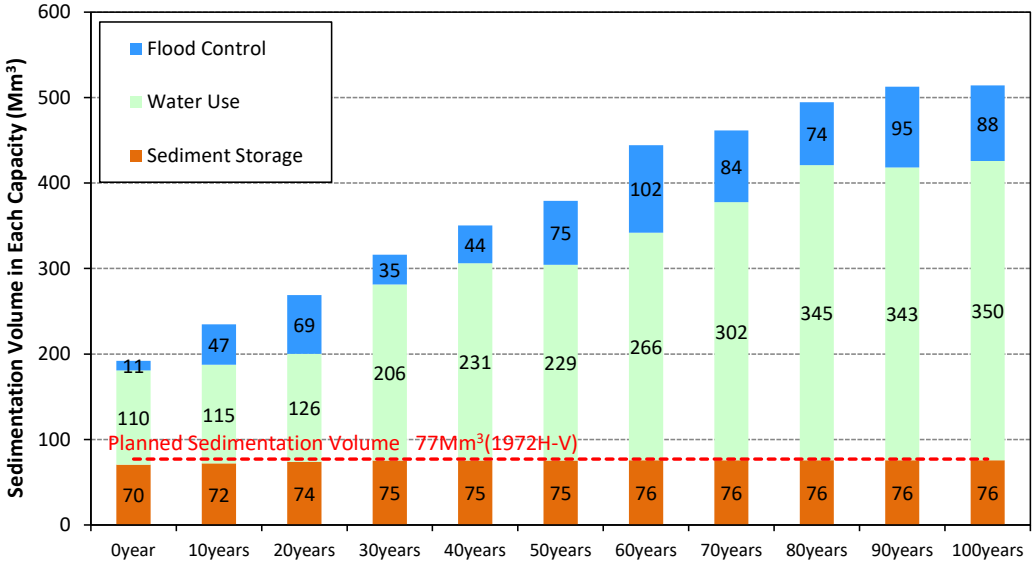


Figure 6-14 Résultat de la Simulation de Prévision de la Forme de la Sédimentation dans les 100 Prochaines Années



*Le volume de sédimentation dans la zone de capacité de contrôle des inondations a été corrigé sur la base de l'erreur avec le résultat du calcul de reproduction en tenant compte des effets des sédiments déposés dans la direction horizontale et des sédiments dans la partie courbée dans la retenue.

Figure 6-15 Résultat de la Simulation de Prévision du Volume de Sédimentation dans les 100 prochaines années (2018-2118)

(2) Modification de la répartition de la capacité de stockage de l'eau en fonction des objectifs

Les changements de l'allocation de la capacité de stockage de l'eau selon les objectifs et le volume de sédimentation sont indiqués dans la Figure 6-16 et la Figure 6-17.

- La sédimentation dans la capacité de stockage pour la lutte contre les inondations est affectée par le marnage pendant la sécheresse, de sorte qu'elle augmente progressivement tout en continuant à augmenter et à diminuer. La capacité de stockage d'eau pour la lutte contre les inondations peut diminuer jusqu'à 137 millions de m^3 au plus tôt après 20 ans. Étant donné que le volume de contrôle des inondations lors de la grande inondation de 2003 était d'environ 203 millions de m^3, il est important de prendre des contre-mesures pour la sédimentation dans les 20 prochaines années.
- La sédimentation évolue également progressivement dans la capacité de stockage de l'eau. On prévoit que la capacité diminuera considérablement, passant de 695 millions de m^3 à 345 millions de m^3.

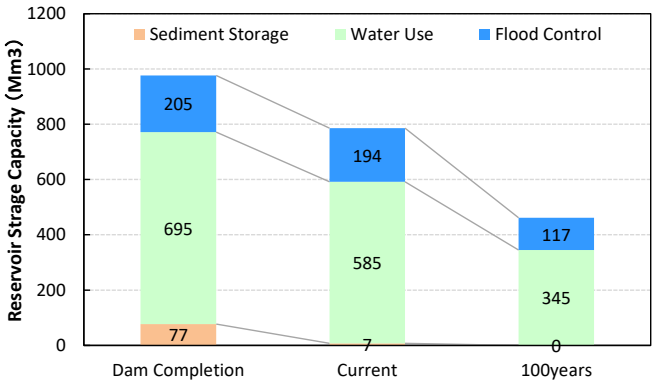


Figure 6-16 Modification de la répartition de la capacité de stockage de l'eau par objectif

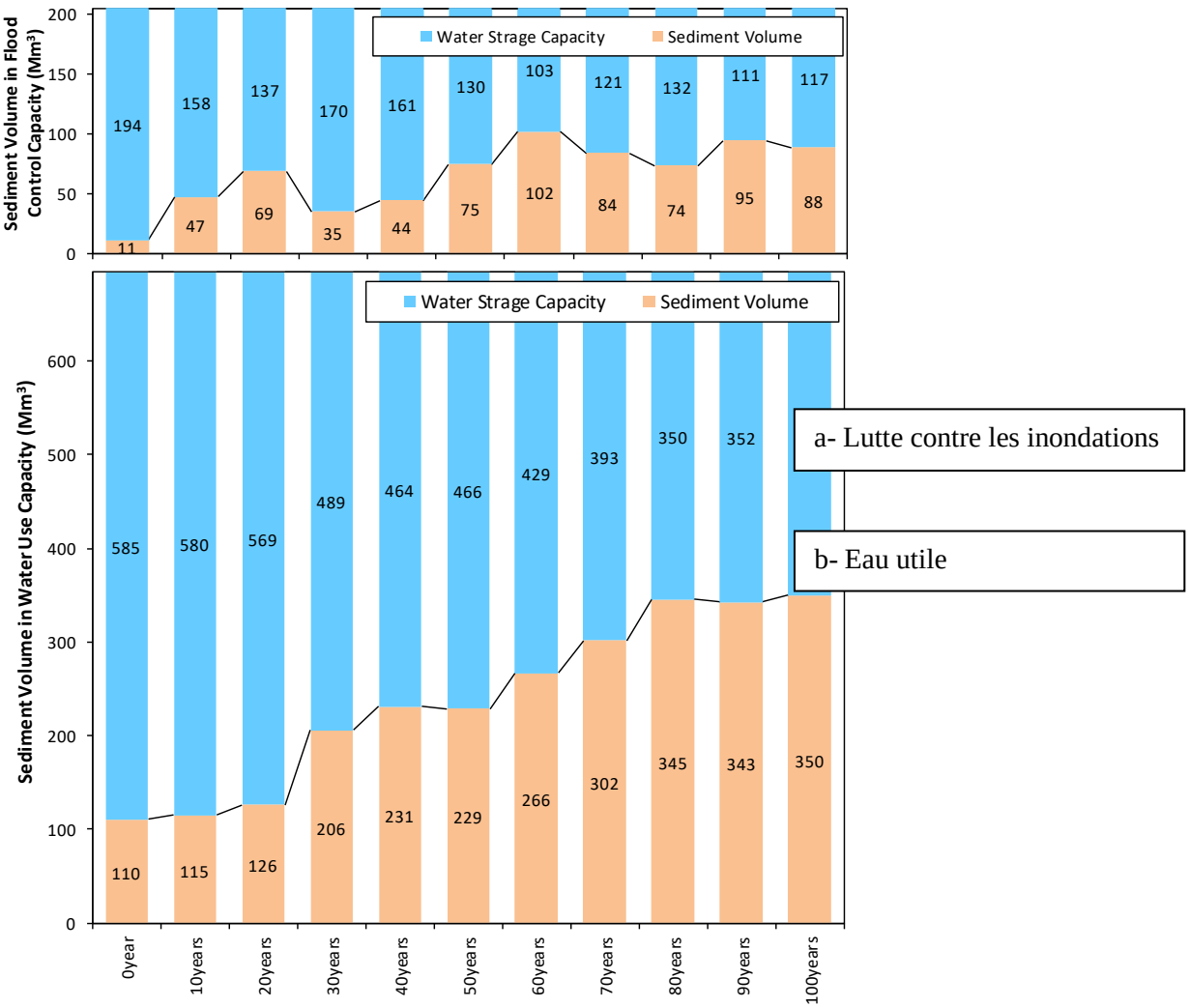


Figure 6-17 Évolution du volume de sédimentation et de l'allocation de la capacité de stockage de l'eau par objectif

(3) Tendances futures de la sédimentation dans chaque zone

La tendance future de la sédimentation dans chaque zone est indiquée à la Figure 6-18.

- Dans les zones E et F, la sédimentation a considérablement progressé jusqu'à présent. Par conséquent, le volume de sédimentation augmentera modérément mais n'augmentera pas de manière significative à l'avenir.
- Il est prévu qu'une sédimentation importante progressera dans les zones B, C et D du bassin central de la retenue.

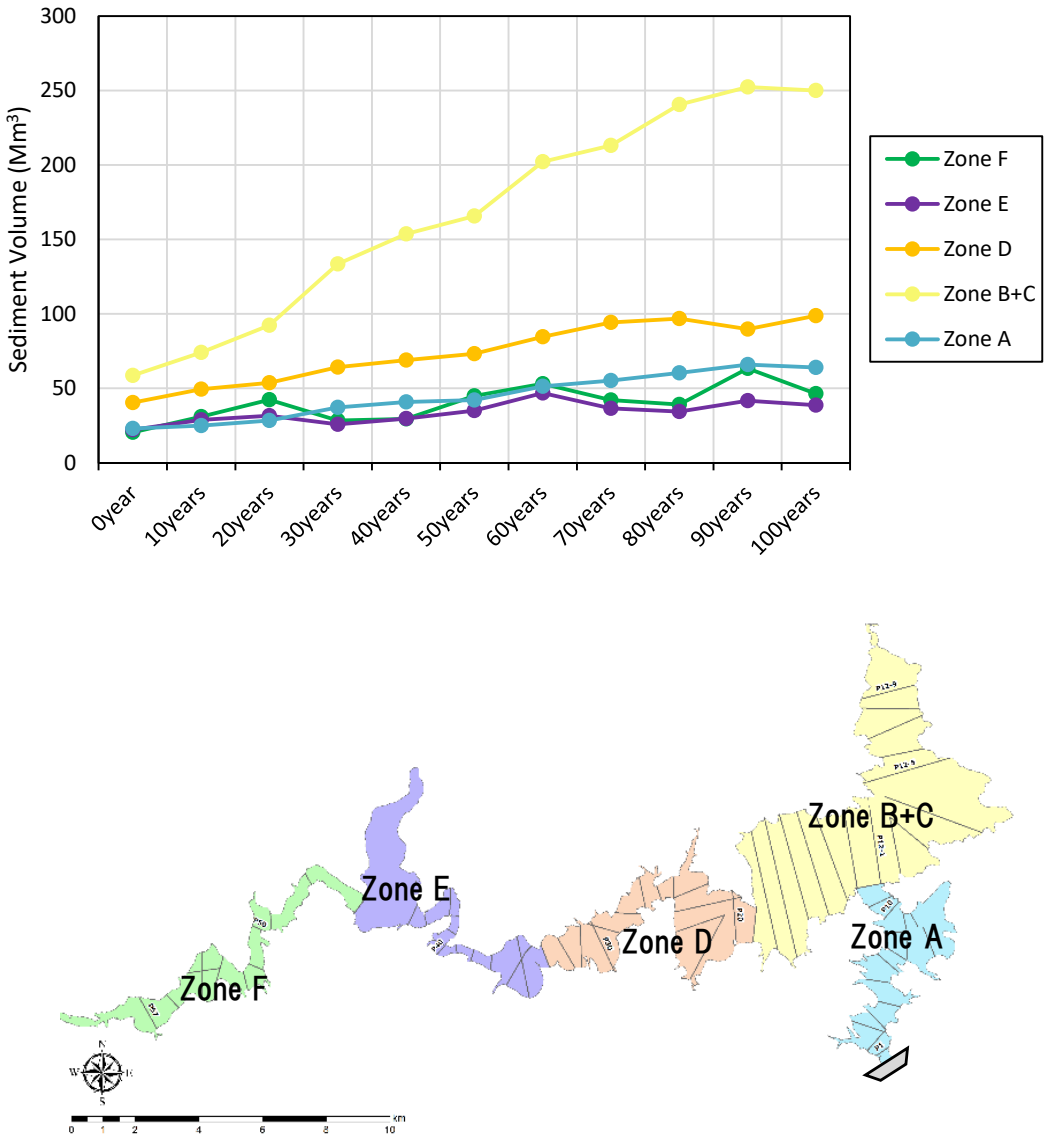


Figure 6-18 Évolution du volume de sédimentation dans chaque zone

6.3 Analyse de l'urgence des contre-mesures pour la sédimentation

La forme prévue des sédiments au barrage de Sidi Salem de l'époque actuelle jusqu'à 100 ans plus tard est décrite dans la section ci-dessus. Cependant, l'objectif est de prévoir la forme et le volume de la sédimentation dans 100 ans ; les variations détaillées du volume des sédiments au cours des années de transition ne sont pas incluses. D'autre part, étant donné les impacts du remplacement climatique de ces dernières années, il est à craindre que des événements graves tels que des inondations de la même ampleur que celles de 2003 et des sécheresses puissent se reproduire dans un avenir proche.

Dans cette section, une analyse des risques de sédimentation attribués à la fréquence des inondations et des sécheresses extrêmes présumées dues au changement climatique a été réalisée à l'aide des résultats des prévisions futures calculées dans la section 6.1.2.

6.3.1 Risques potentiels

(1) Crues extrêmes

Des inondations de grande ampleur, comme celle de 2003, peuvent se reproduire dans un avenir proche. Selon les prévisions futures des volumes de sédiments dans les zones A à C sans contre-mesures présentées dans la Figure 6-19, les volumes de sédiments auront augmenté de 50 Mm3 au cours des 20 à 30 prochaines années. Ceci est dû à la présence de l'inondation de 2003 dans l'hydrogramme utilisé dans le calcul des prévisions, ce qui suggère un risque de progression rapide de la sédimentation dans la capacité utile des zones A à C lorsqu'une inondation de la même ampleur se produira.

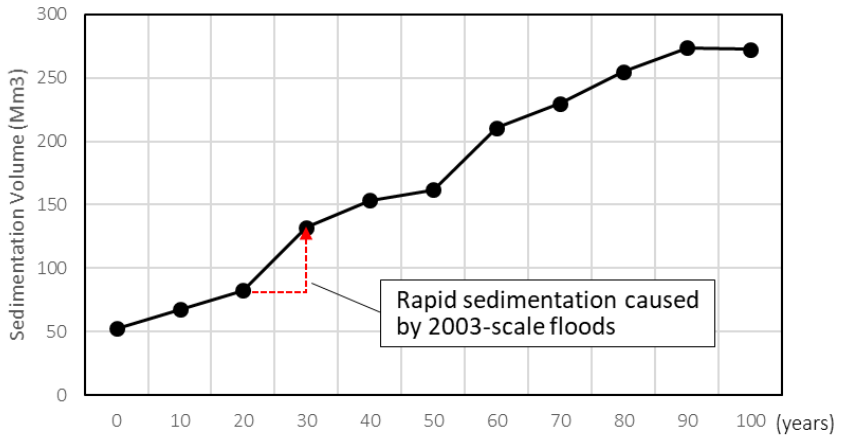


Figure 6-19 Variations prévisionnelles du volume de sédiments dans les zones A à C

(2) Événements de sécheresse fréquents

Un risque potentiel autre que l'événement de crue à grande échelle est l'impact de la sécheresse. La Figure 6-20 montre les résultats reproduits de la progression des sédiments au barrage de Sidi Salem en 2009. La sédimentation dans les zones E et F a diminué après la crue, tandis que celle des zones A à D a augmenté. Une sécheresse, qui a fait baisser le niveau d'eau à près de EL.100 m avant la crue, peut expliquer que les sédiments qui s'étaient déposés en amont aient été déplacés en aval de la retenue par la crue. Un tel déplacement de sédiments peut se reproduire en cas de sécheresse. Par conséquent, la sédimentation en amont de la retenue est considérée comme un facteur de risque de réduction de la capacité de l'eau utile en aval (zones A à C).

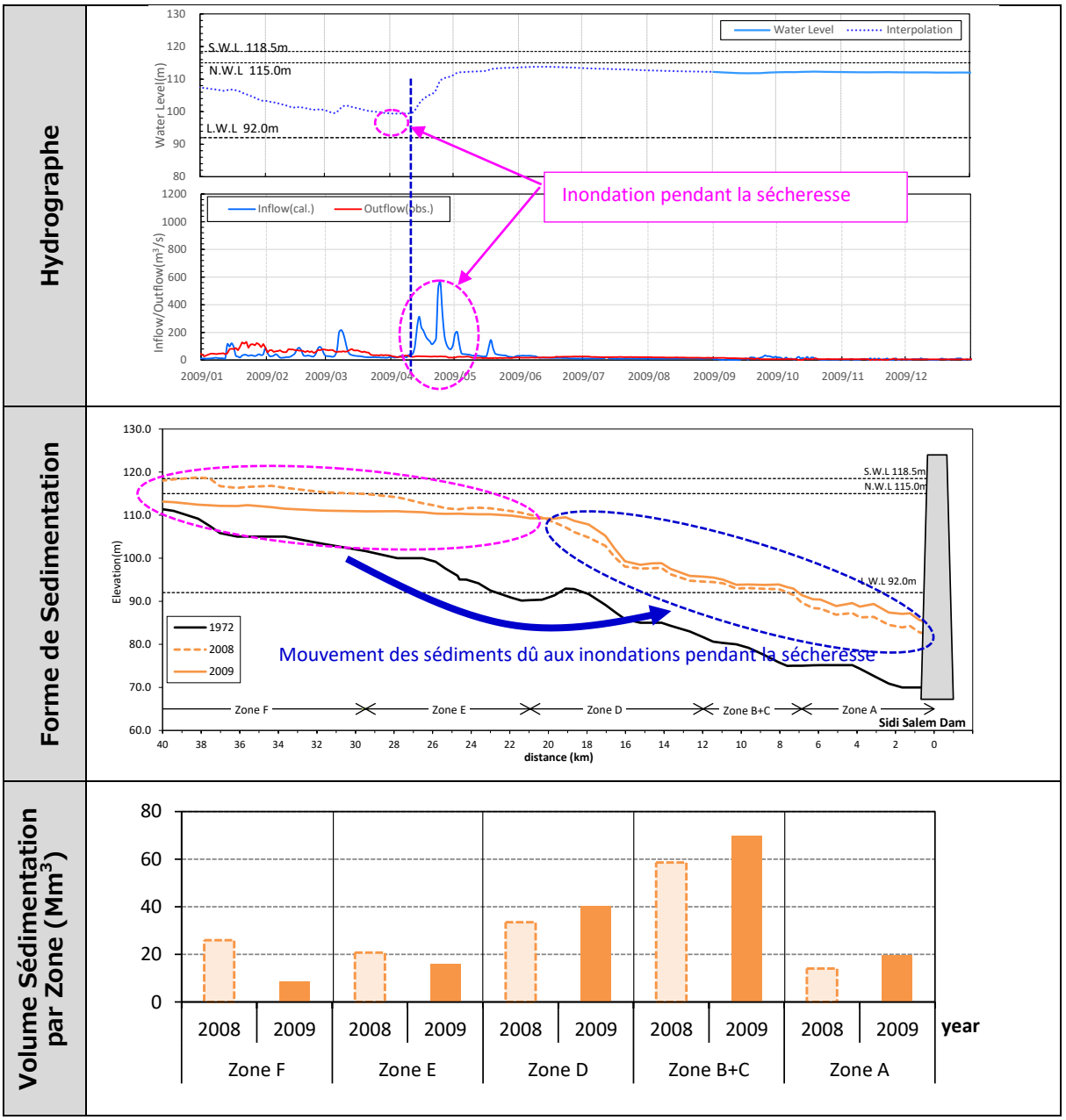


Figure 6-20 Variation de la forme des sédiments lors de l'inondation de 2009 (Résultats de reproduction)

6.3.2 Scénarios d'urgence de progression de sédimentation avec prise en compte des risques

La progression de sédimentation a été analysé, en tenant compte des facteurs de risque décrits ci-dessus. Deux hypothèses sont utilisées : pour les inondations extrêmes, on suppose que des inondations d'une ampleur similaire à celle de l'inondation de 2003 se produiront au cours des 10 prochaines années ; pour les sécheresses, on suppose que les sédiments déposés dans les zones D+E+F se déplaceront vers les zones A+B+C en raison des inondations pendant les périodes de sécheresse à partir du moment présent.

Sur la base de ce qui précède, le scénario d'urgence est le suivant ;

Le volume annuel moyen de sédiments dans les zones A+B+C sans contre-mesures jusqu'à 10 ans est supposé être de 5 Mm3/an, sous réserve d'événements de crue extrêmes ; après 10 ans, le volume est supposé être de 2,2 Mm3/an, ce qui est le volume moyen jusqu'à 100 ans dans le futur (voir Figure 6-21).

Comme le volume de sédiments se déplace des zones D+E+F vers A+B+C, le volume annuel moyen de sédiments dans les zones DEF jusqu'à 100 ans pour le futur est supposé être de 0,9 Mm3/an (voir Figure 6-21).

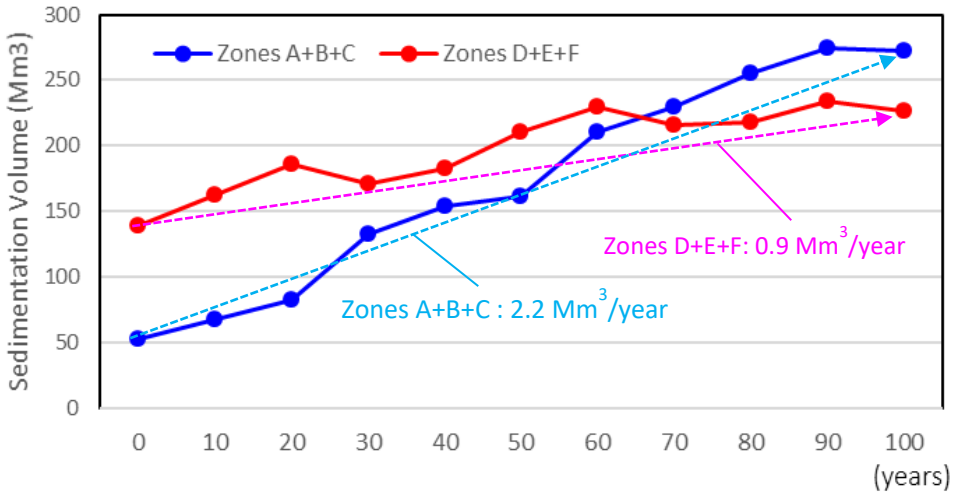


Figure 6-21 Résultats prévisionnels de la sédimentation par zone (sans contre-mesures)

Le volume de sédimentation futur dans les limites de la capacité d'utilisation de l'eau des zones A+B+C et l'impact sur l'utilisation de l'eau sont présentés dans les figures 6-22 à 6-26. Les figures comprennent également les résultats prévisionnels après les mesures de lutte contre la sédimentation, dont les détails sont décrits plus loin au chapitre 7.

- La consommation annuelle d'eau du barrage de Sidi Salem est estimée à 270-300 Mm3 sur la base des données historiques. Cependant, sans contre-mesures, il existe un risque que la capacité utile de l'eau diminue en dessous de la consommation annuelle d'eau en seulement 10 ans, affectant la fonction d'eau utile du barrage.
- Sans contre-mesures, il y a un risque de perdre 18 % (59 Mm3) de la capacité utile de l'eau après 10 ans, 42 % (138 Mm3) après 30 ans et 88 % (288 Mm3) après 100 ans dans le scénario d'urgence.

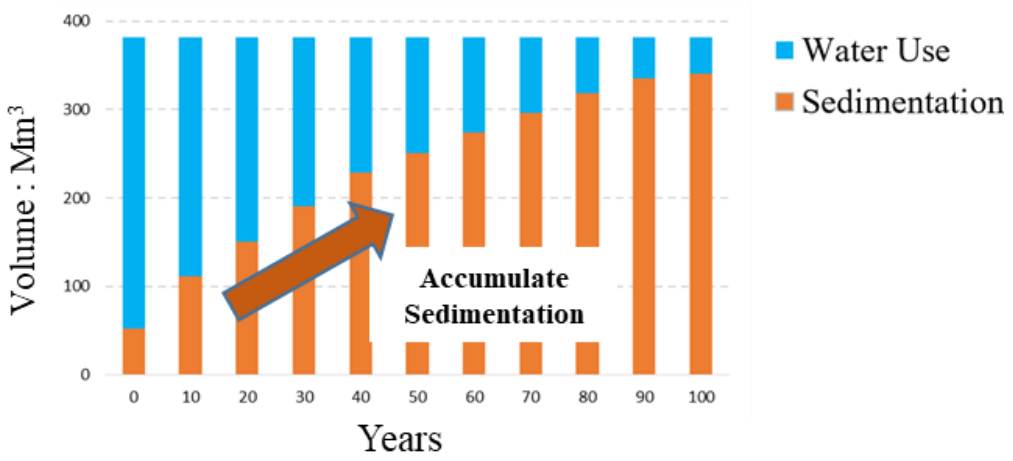


Figure 6-22 Scénario de progression urgente de la sédimentation avec prise en compte des risques (sans contre-mesures)

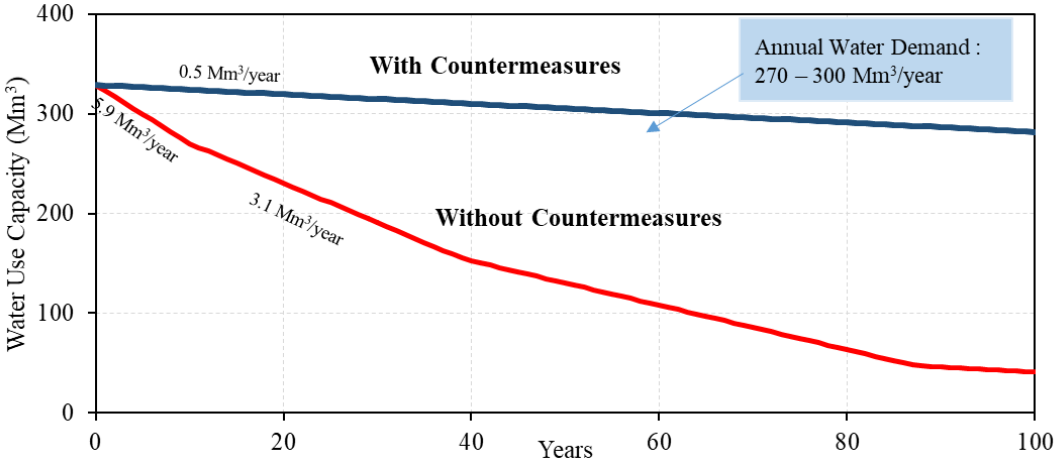


Figure 6-23 Changements du volume de sédimentation dans la capacité d'utilisation de l'eau en raison du scénario de progression de la sédimentation

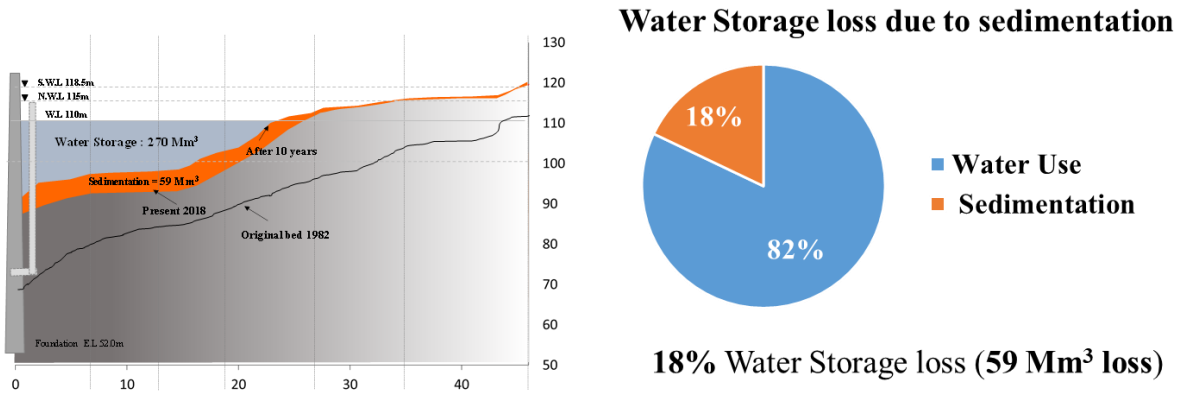


Figure 6-24 Scénario d'impact sur la capacité utile en raison de la progression des sédiments (sans contre-mesures : après 10 ans)

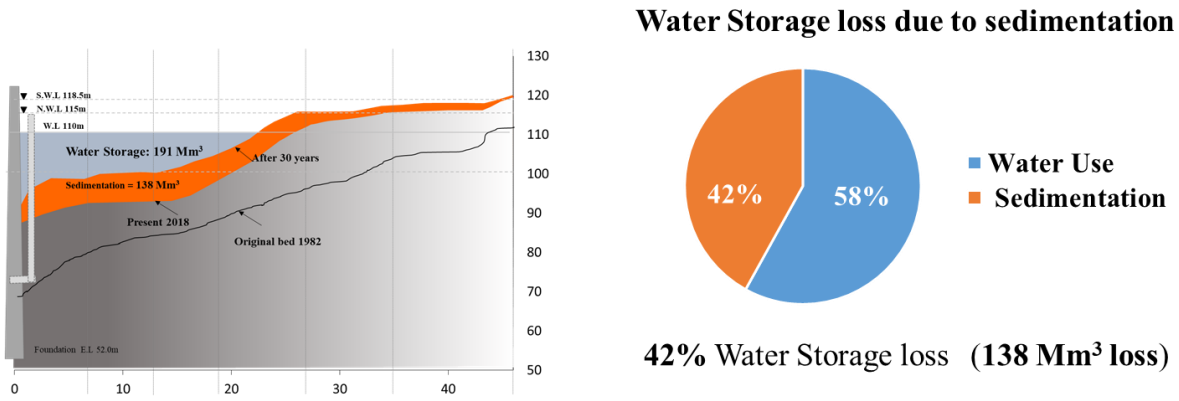


Figure 6-25 Scénario d'impact sur la capacité utile en raison de la progression des sédiments (sans contre-mesures : après 30 ans)

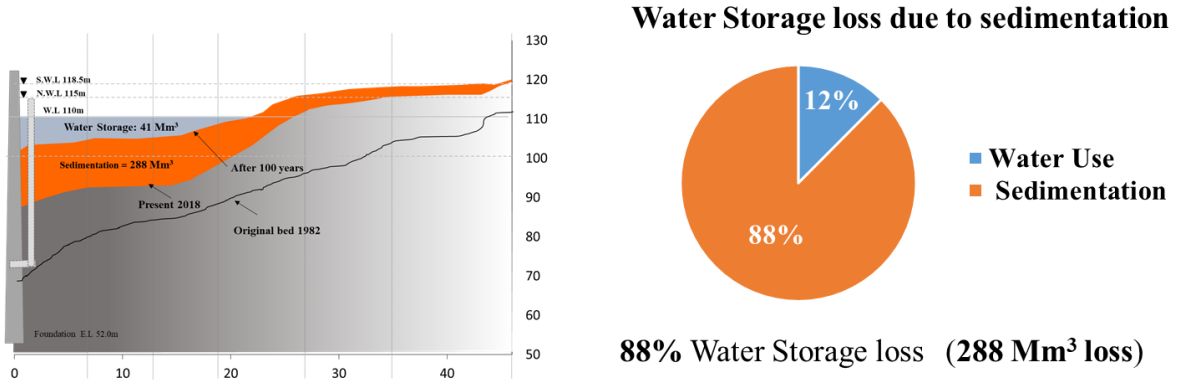


Figure 6-26 Scénario d'impact sur la capacité utile en raison de la progression des sédiments (sans contre-mesures : après 100 ans)

6.4 Analyse tridimensionnelle du débit d'eaux turbides

La plupart des sédiments qui arrivent à la retenue de Sidi Salem sont des eaux turbides très concentrées. Elles s'écoulent dans la retenue lors des inondations. Dans les zones où la géométrie de la retenue est étalée, comme les zones B+C, on suppose qu'un écoulement complexe d'eaux turbides à forte densité se diffuse de manière uniforme tout en se précipitant sur la couche inférieure. Dans ce cas, l'installation de clôtures pour contrôler l'entrée d'eaux turbides est très probablement une contre-mesure efficace contre la sédimentation de la retenue. Cependant, la situation réelle n'est pas bien comprise, car le phénomène d'écoulement d'eau turbide lors d'une inondation n'a jamais été étudié sur le terrain.

C'est pourquoi une analyse tridimensionnelle de l'écoulement turbide a été effectuée afin de prévoir son mouvement dans la retenue. En outre, au Chapitre 8, une analyse tridimensionnelle de l'écoulement turbide a également été réalisée afin de vérifier l'effet des barrières pour contrôler son entrée.

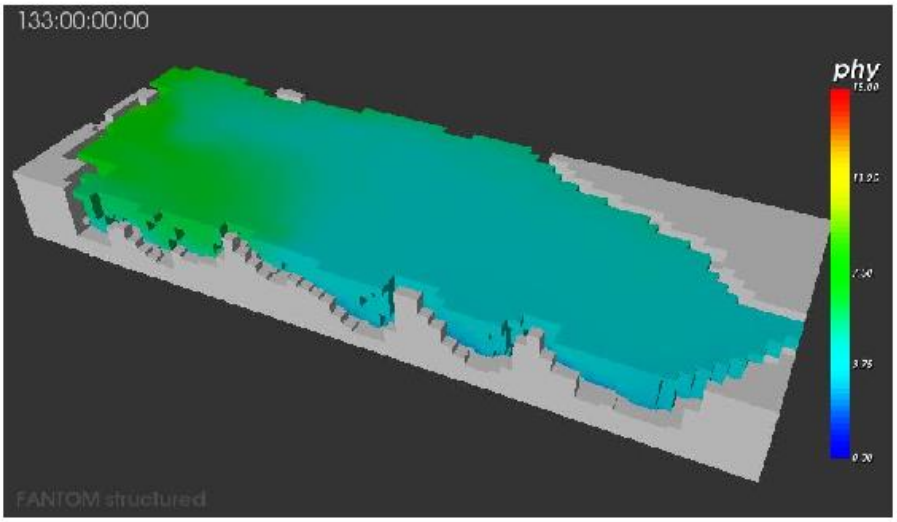
6.4.1 Méthodologie

(1) Sélection du modèle de simulation

Un modèle de simulation pour la prévision de la qualité de l'eau a été développé. Il peut reproduire les caractéristiques hydrologiques et de qualité de l'eau de la retenue du barrage de Sidi Salem. Le modèle 3D de flux environnemental (Fantom3D) développé par l'Université Métropolitaine de Tokyo a été adopté en raison de son haut niveau de performance dans les zones d'eau naturelles. Des exemples de calcul Fantom3D dans les eaux naturelles sont présentés ci-dessous.

[Zone d'eau fermée : Lac Shinji (Préfecture de Shimane)]

Il s'agit d'une étude de cas d'un modèle d'écosystème pour un lac saumâtre d'une profondeur moyenne de 4,5 m. Le lac est situé dans la partie orientale de la préfecture de Shimane. Pour prédire la croissance du phytoplancton, la distribution de la température de l'eau planaire du lac et le flux tridimensionnel dû au vent ont été calculés. Ensuite, les augmentations / diminutions de la concentration en nutriments (azote, phosphore, etc.), qui sont des facteurs de production du phytoplancton, ont été prédites.



Source : Shigetomo Yamamoto, Hiroshi Yajima et Tetsuya Shintani, "Development and Validation of a 3-Dimensional Lake Ecosystem Model in Lake Shinji", Eco and Environmental hydraulics Division, Committee on Hydroscience and Hydraulic Engineering, Japan Society of Civil Engineers (JSCE), 2015

Figure 6-27 Calcul du phytoplancton dans le lac Shinji

[Rivière à marée : rivière Chikugo]

Il s'agit d'une étude de cas sur la simulation d'une montée d'eau salée dans la zone de marée de la rivière Chikugo, qui traverse la région de Kyushu. Cette étude de cas prédit l'intrusion d'eau de mer dans l'estuaire en raison des fluctuations de la marée dans l'estuaire. Dans cette étude, un écoulement complexe où l'eau de la rivière coule vers l'aval et l'eau de mer vers l'amont se heurtent est simulé.

Dans l'estuaire, le chenal secondaire et la rivière principale divergent.

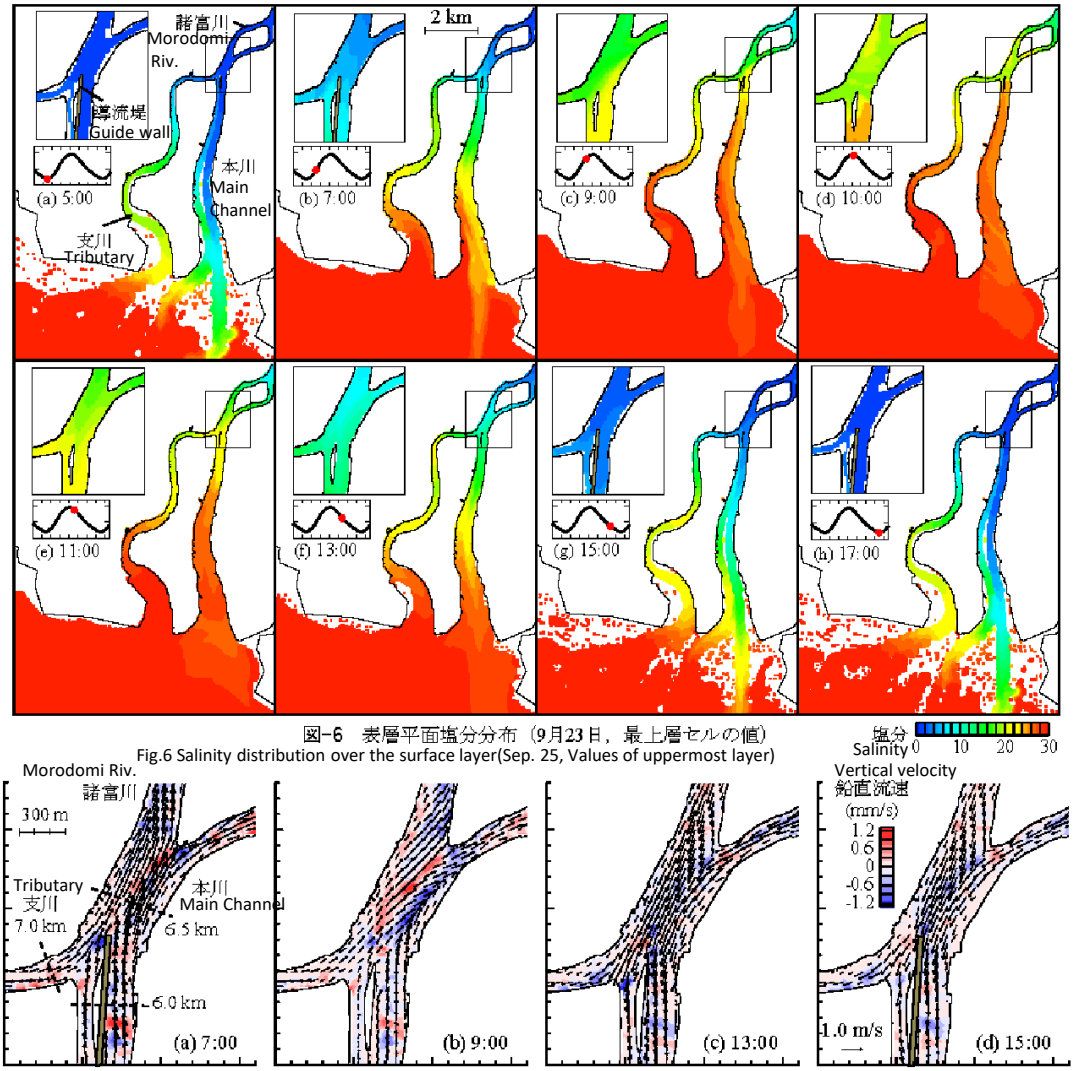


図-6　表層平面塩分分布（9月23日，最上層セルの値）
Fig.6 Salinity distribution over the surface layer(Sep. 25, Values of uppermost layer)

Source : Kenji Matsumura, Yu Morimura, Tetsuya Shintani, and Katsuhide Yokoyama, "3-Dimensional Numerical Simulation of Saline Intrusion in Chikugo River Estuary", Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering) Vol.73, No.4, 2017, p. I_1039-1044 Note : La traduction de la figure a été faite par l'Equipe d'étude.

Figure 6-28 Calcul de l'intrusion de la salinité dans la Rivière Chikugo

(2) Équations de base

Les équations de base sont l'équation tridimensionnelle de Navier-Stokes avec une approximation de Boussinesq incompressible et l'équation de continuité. Le modèle de turbulence est basé sur le modèle k-ε. L'équation de transport de la concentration en sédiments a été appliquée à la turbidité causée par les sédiments. SS is an abbreviation for "Suspended Solid", a common water quality indicator that refers to fine soil grains floating in water. L'équation de transport pour la température de l'eau a également été prise en compte car la distribution de la température dans la retenue peut affecter la turbidité du flux. Le Tableau 6-8 présente les équations utilisées dans le modèle.

Tableau 6-8 Équations de base du modèle

Objets du calcul	Équations de base
Vitesse d'écoulement	■ Équation de continuité $\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0$ ■ Équation de base : Équation Navier-Stokes 3-D $\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z}=F_x-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{\mu}{\rho}\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right)+\frac{\mu}{3\rho}\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}\right)$ $\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+w\frac{\partial v}{\partial z}=F_y-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}+\frac{\mu}{\rho}\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right)+\frac{\mu}{3\rho}\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}\right)$ $\frac{\partial w}{\partial t}+u\frac{\partial w}{\partial x}+v\frac{\partial w}{\partial y}+w\frac{\partial w}{\partial z}=F_z-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z}+\frac{\mu}{\rho}\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right)+\frac{\mu}{3\rho}\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}\right)$
Mélange de turbulence	■ Modèle de turbulence: k-ε $\frac{D(k)}{\mathrm{Dt}}-\frac{\partial}{\partial x}\left(v_L\frac{\partial k}{\partial x}\right)-\frac{\partial}{\partial y}\left(v_{Lk}\frac{\partial k}{\partial y}\right)-\frac{\partial}{\partial z}\left(v_{Tk}\frac{\partial k}{\partial z}\right)=P_r+G-\varepsilon$ $\frac{D\varepsilon}{Dt}-\frac{\partial}{\partial x}\left(v_{L\varepsilon}\frac{\partial \varepsilon}{\partial x}\right)-\frac{\partial}{\partial y}\left(v_{L\varepsilon}\frac{\partial \varepsilon}{\partial y}\right)-\frac{\partial}{\partial z}\left(v_{T\varepsilon}\frac{\partial \varepsilon}{\partial z}\right)=C_1\frac{\varepsilon}{k}P_r-C_1(1-C_3)\frac{\varepsilon}{k}G+C_2\frac{\varepsilon^2}{k}$ $\frac{D\delta}{Dt}-\frac{\partial}{\partial x}\left(v_{L\delta}\frac{\partial \delta}{\partial x}\right)-\frac{\partial}{\partial y}\left(v_{L\delta}\frac{\partial \delta}{\partial y}\right)-\frac{\partial}{\partial z}\left(v_{T\delta}\frac{\partial \delta}{\partial z}\right)=\mathrm{S}$
Température de l'eau	■ Équation de transport pour la température (contenu thermique) $\frac{\partial T}{\partial t}+u\frac{\partial T}{\partial x}+v\frac{\partial T}{\partial y}+w\frac{\partial T}{\partial z}=$ $\frac{\partial}{\partial x}\left\{\left(\frac{v}{S_c}+\frac{v_l}{\sigma_t}\right)\frac{\partial T}{\partial x}\right\}+\frac{\partial}{\partial y}\left\{\left(\frac{v}{S_c}+\frac{v_l}{\sigma_t}\right)\frac{\partial T}{\partial y}\right\}+\frac{\partial}{\partial z}\left\{\left(\frac{v}{S_c}+\frac{v_t}{\sigma_t}\right)\frac{\partial T}{\partial z}\right\}$
Sédiments solides et suspendus	■ Équation de transport des sédiments $\frac{\partial SS}{\partial x}+u\frac{\partial SS}{\partial x}+v\frac{\partial SS}{\partial y}+(w+w_0)\frac{\partial SS}{\partial z}=$ $\frac{\partial}{\partial x}\left\{\left(\frac{v}{S_c}+\frac{v_l}{\sigma_t}\right)\frac{\partial SS}{\partial x}\right\}+\frac{\partial}{\partial y}\left\{\left(\frac{v}{S_c}+\frac{v_l}{\sigma_t}\right)\frac{\partial SS}{\partial y}\right\}+\frac{\partial}{\partial z}\left\{\left(\frac{v}{S_c}+\frac{v_t}{\sigma_t}\right)\frac{\partial SS}{\partial z}\right\}$

u,v,w : vitesse d'écoulement Horizontale (x,y) et verticale (z) (m/s), p : Densité moyenne (kg/m^3: fonction de la température et de la salinité de l'eau), v : Viscosité cinématique, k : Énergie de turbulence, ε : Taux de dissipation visqueux, δ : Différence de densité relative (flottabilité), w_0 : Vitesse de sédimentation (m/s), T : Température de l'eau (°C), SS : SS concentration (mg/l)

6.4.2 Conditions de l'analyse

Les principales conditions d'analyse sont présentées dans le Tableau 6-9. Comme mentionné ci-dessus, l'un des objectifs de cette analyse est de clarifier le comportement des eaux turbides lors des inondations de la retenue de Sidi Salem. Dans cette étude, une enquête sur la turbidité a été menée périodiquement depuis janvier 2020 afin de comprendre le débit réel de turbidité pendant les inondations. Cependant, aucune donnée d'observation vérifiable n'a été obtenue pendant les inondations. Par conséquent, un modèle analytique a été développé sur la base des données de base disponibles à l'heure actuelle. Ensuite, l'analyse tridimensionnelle de l'eau turbide a été effectuée pour estimer le comportement de l'eau turbide générée dans la retenue.

Tableau 6-9 Définition des conditions de base pour l'analyse

Elément	Description	Remarques
Zone cible	Retenue de Sidi Salem (zone A-D)	
Inondation cible	Un hydrogramme virtuel de la crue de pointe unique est appliqué. Durée de l'inondation : 14 jours Débit de pointe : 500, 1 000 m^3/s	Les données d'observation vérifiables pendant les inondations n'ont pas été obtenues car aucune inondation n'a eu lieu depuis le début de l'enquête sur la turbidité.
Pas de temps	dt=20 sec.	
Conditions des apports	Oued Mejerda (canal principal) (débit de sédiment entrant)=$\alpha\times$(débit entrant de la retenue)$^{\beta}$ $\alpha=2.51\times10^{-5}$, $\beta=1.802$	Formule de calcul des apports en sédiments pour des calculs reproductibles en utilisant une simulation 1D de la sédimentation du barrage
Conditions topographiques	Basé sur les résultats de l'enquête de janvier 2018 Grille planaire (dx,dy) : maille de 100-400 m Grille verticale (dz) : maille de 2 m	Sur la base des résultats de l'enquête de 2017 (la plus récente)
Conditions Initiales	Vitesse d'écoulement : La vitesse d'écoulement initiale est nulle sur toute la surface. La température de l'eau : La distribution verticale de la température de l'eau au 28 février 2020 est (*). Le niveau de l'eau : EL.108 m	*Répartition de la température de l'eau pendant la saison des pluies sur la base des résultats de l'enquête sur la turbidité menée cette année
Conditions Météo	Données d'observation de la température, de l'humidité, du rayonnement solaire, de la vitesse du vent, de la direction du vent et de la pression atmosphérique	

(1) Définition des zones cibles

La surface à calculer est indiquée dans la Figure 6-29. La superficie couvre la partie de la zone A à la zone D. Dans les zones E et F, comme le montre la Figure 6-30 la profondeur de l'eau est faible et la largeur est étroite en raison de la progression de la sédimentation. Par conséquent, on suppose que l'eau trouble s'écoule uniformément dans les sections transversales. Par conséquent, dans cette analyse, il a été décidé de se concentrer sur les zones A à D, où le comportement des eaux turbides est plus compliqué car la profondeur de l'eau est profonde et la forme de la retenue est plane.

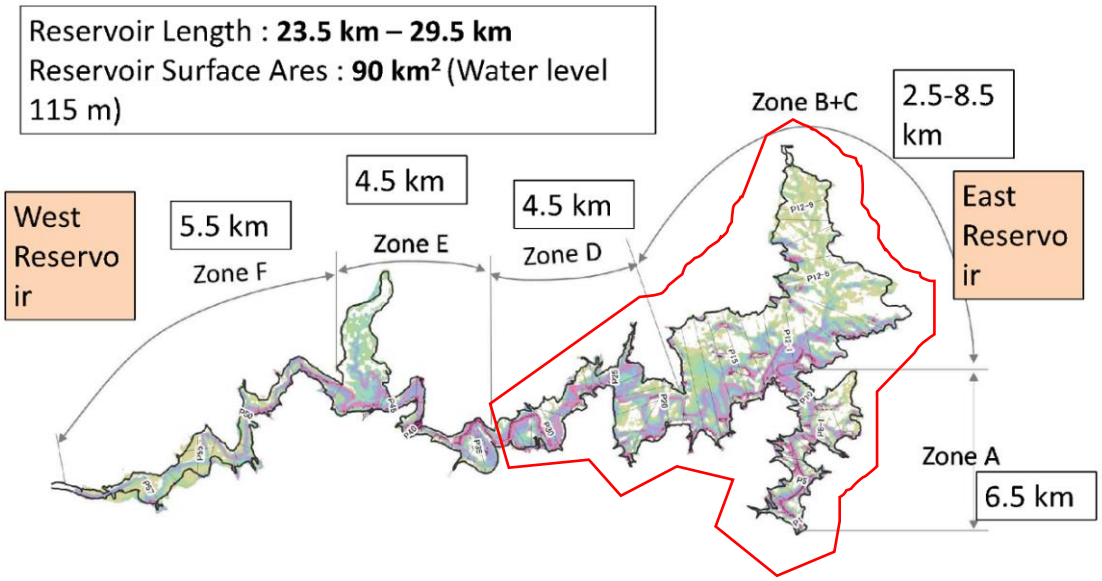


Figure 6-29 Zone cible pour l'analyse 3D du débit d'eau turbide

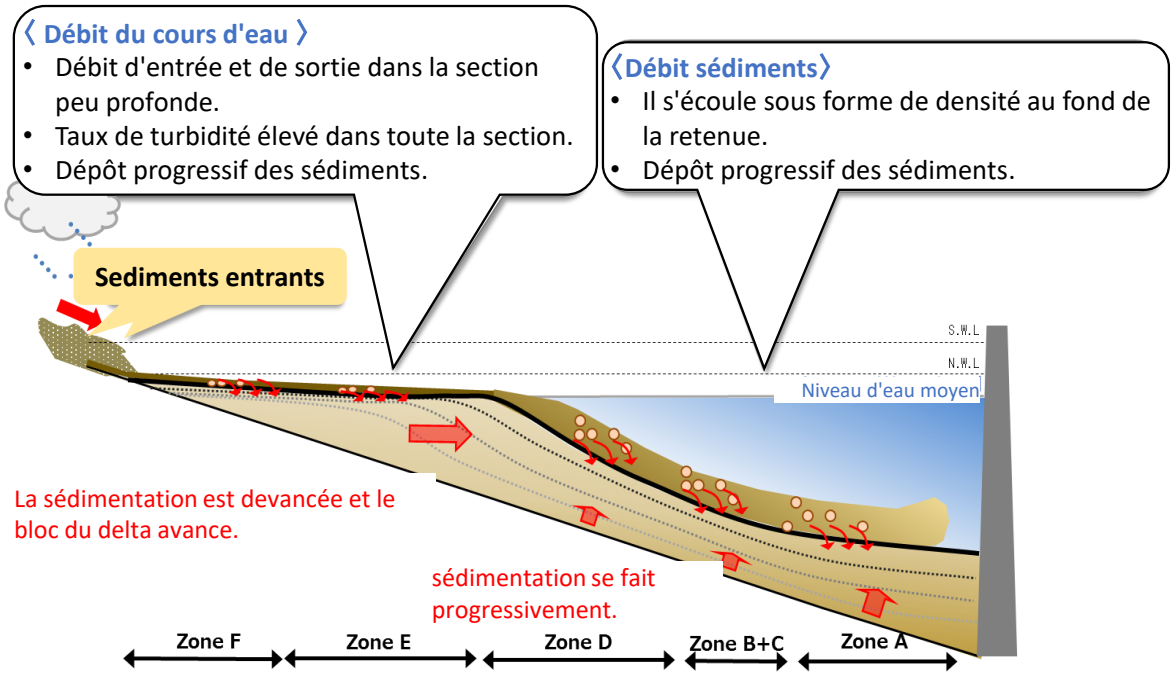


Figure 6-30 Comportement possible des apports en eaux turbides pendant l'inondation

La maille de calcul de la zone cible est illustrée à la Figure 6-31. Comme la plupart des apports d'eau pendant la crue proviennent du canal principal, la maille de calcul des zones A, C et D, qui se trouvent sur le canal principal, est subdivisée en 100 à 200 m. Cela permet de simuler l'écoulement planaire d'une eau turbide.

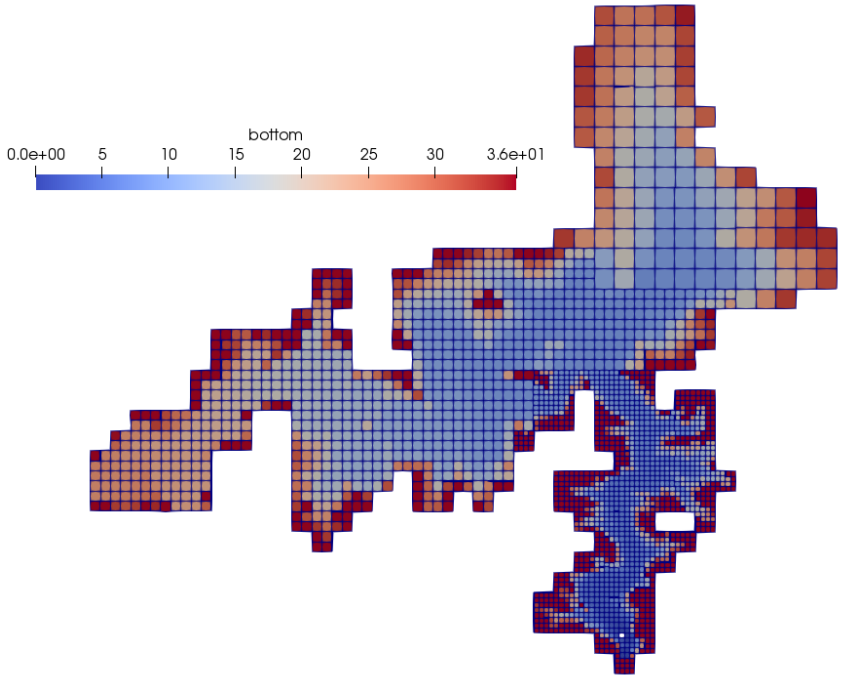


Figure 6-31 Maillage de calcul de l'analyse tridimensionnelle

(2) Réglage de l'hydrogramme des inondations

Des hydrogrammes de crues hypothétiques ont été établis pour confirmer le comportement des eaux turbides par le modèle analytique. Le débit de pointe de la crue a été fixé à 500 et 1 000 m^3/s. La probabilité d'occurrence de la crue est d'environ 5 ans et 20 ans selon les résultats de l'analyse hydrologique. La durée des inondations est supposée être de 14 jours.

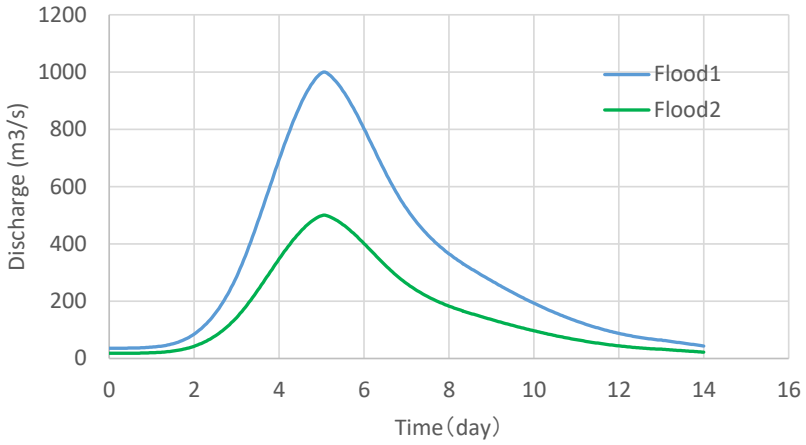
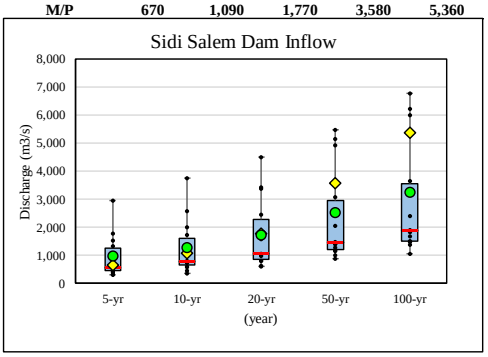


Figure 6-32 Hydrogrammes de crues utilisés dans l'analyse

Sidi Salem Dam Inflow

	5-yr	10-yr	20-yr	50-yr	100-yr
75%	1,250	1,610	2,270	2,950	3,550
median	550	790	1,050	1,450	1,870
25%	460	650	860	1,200	1,510
Rejected Max.	970	1,280	1,720	2,530	3,240
M/P	670	1,090	1,770	3,580	5,360



Sidi Salem Dam Outflow

	5-yr	10-yr	20-yr	50-yr	100-yr
75%	316	545	839	1,958	3,169
median	280	280	310	550	870
25%	80	280	280	400	660
Rejected Max.	280	400	820	2,270	3,460
M/P	170	410	700	2,090	3,400

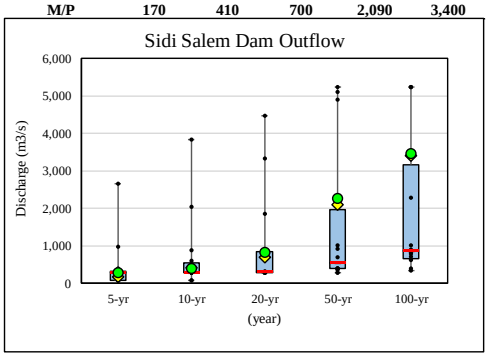


Figure 6-33 Probabilité d'inondation au barrage de Sidi Salem

(3) Traitement du tassement et de la remontée des sédiments

Le débit entrant dans la retenue de Sidi Salem est si dense qu'il peut se précipiter sur la couche inférieure de la retenue et se répandre sur le fond. Cependant, on ne sait pas exactement comment se produisent la sédimentation et la remontée des particules de sol dans l'eau trouble, car aucune donnée d'observation n'est disponible à l'heure actuelle. Par conséquent, dans cette analyse, la sédimentation et le flottement sont ignorés lors de la simulation des phénomènes.

Une fois que l'apport en l'eau turbide se diffuse sur la retenue, les particules se déposent progressivement et s'accumulent avec le temps. L'échelle de temps des phénomènes est de plus d'un mois en raison de la taille fine des particules. L'effet de la sédimentation est supposé être relativement faible pendant la période d'inondation (2 à 3 jours), qui a été utilisée comme durée de l'inondation dans cette analyse.

Dans cette analyse, l'état du flux de densité (échelle et condition de son arrivée à la retenue) a été mis en évidence. Des concentrations de sédiments dans les apports en eau turbide ont été observées au cours des années précédentes. Le modèle d'analyse peut être utilisé pour comprendre la tendance de l'occurrence de ce type de flux de densité.

6.4.3 Analyse du comportement des eaux turbides à l'aide d'hydrogramme de crues virtuelles

Les résultats de l'analyse des eaux turbides dans la retenue à l'aide d'hydrogramme de crues virtuelles sont présentés ci-dessous.

(1) Résultats d'une inondation hypothétique avec un pic de 1 000 m^3/s

Les phénomènes d'écoulement tridimensionnels des apports en eau turbide provenant d'une crue hypothétique avec un débit entrant de pointe de 1 000 m^3/s sont présentés dans le Tableau 6-10 . La carte de contour de turbidité longitudinale est présentée dans le Tableau 6-11.
Ces résultats permettent de conclure que ;

- L'eau turbide s'écoule progressivement de l'amont de la retenue.
- Lorsque l'eau turbide entre dans les zones B et C, elle se diffuse de manière planaire et entre également dans la zone A.
- Au final, l'eau turbide se répand dans toutes les régions.
- Sur la carte de contour longitudinal, on observe une eau turbide très concentrée s'écoulant le long du fond de la retenue jusqu'au point de barrage, ce qui indique la formation d'un écoulement de densité. Environ trois jours après l'arrivée de l'eau turbide, celle-ci a atteint le point du barrage.

(2) Résultats d'une inondation hypothétique avec un pic de 500 m^3/s

Les phénomènes d'écoulement tridimensionnel d'une eau turbide entrante provenant d'une crue hypothétique avec un débit de pointe de 500 m^3/s sont présentés dans le Tableau 6-12. La carte de contour de turbidité longitudinale est présentée dans le Tableau 6-13. Ces résultats permettent de conclure que ;

- Le comportement de base d'une eau turbide est similaire à celui d'une crue virtuelle de 1 000 m^3/s. Cependant, l'eau trouble n'est pas distribuée à toutes les zones, car le débit total de la crue est faible,
- La carte de contour longitudinale montre qu'un flux de densité similaire à la crue hypothétique de 1 000 m^3/s se forme même au débit de pointe de 500 m^3/s, bien que sa concentration soit relativement faible,
- Les eaux turbides ont atteint le site du barrage environ 4 jours après leur entrée dans la retenue. Par rapport au cas de 1 000 m^3/s, l'heure d'arrivée au site du barrage a tendance à être retardée.

Tableau 6-10 Résultats de l'analyse des eaux turbides (inondation 1 : Qp=1 000 m³/s)

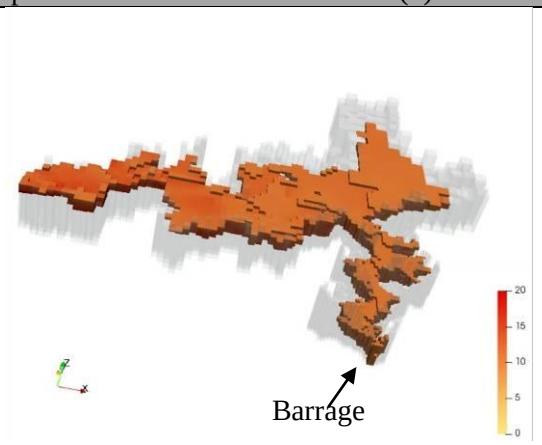
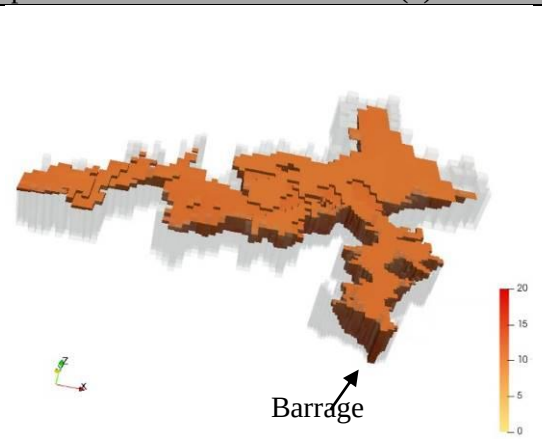
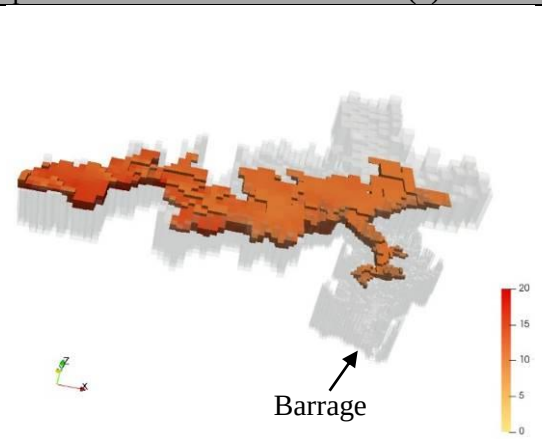
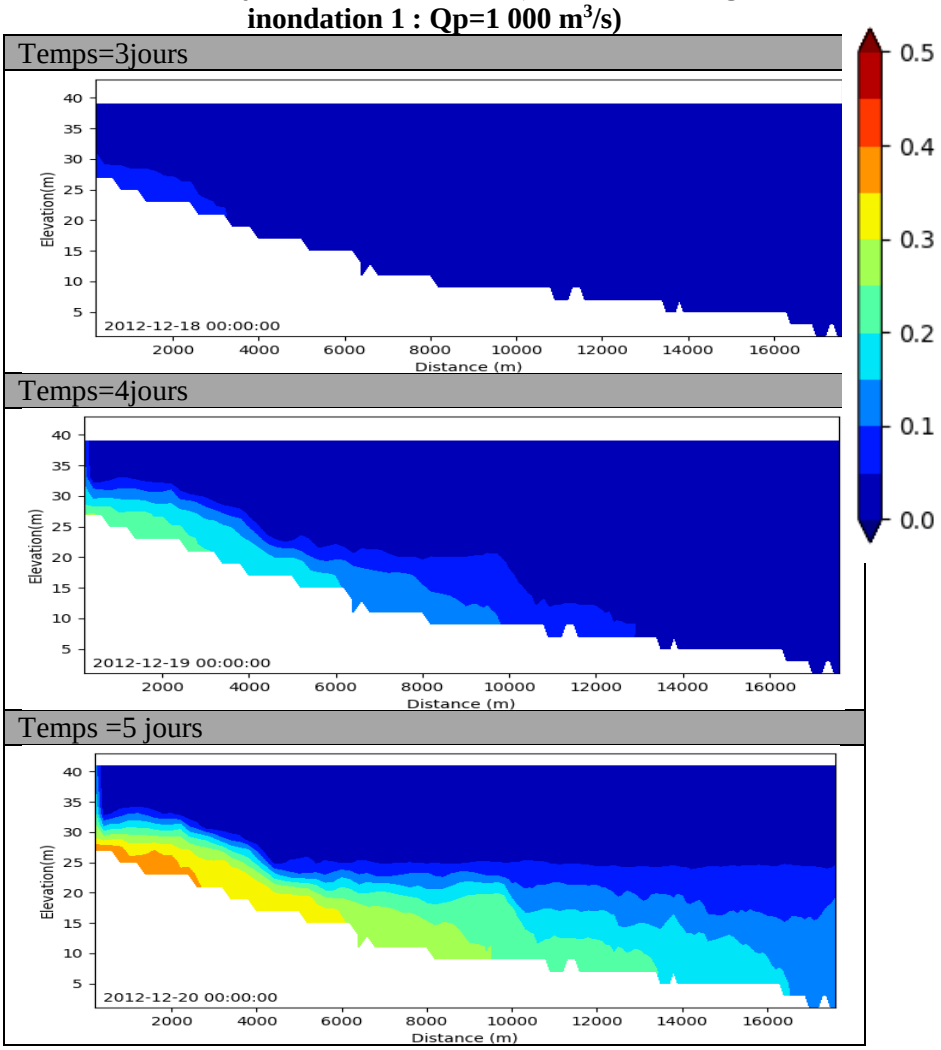
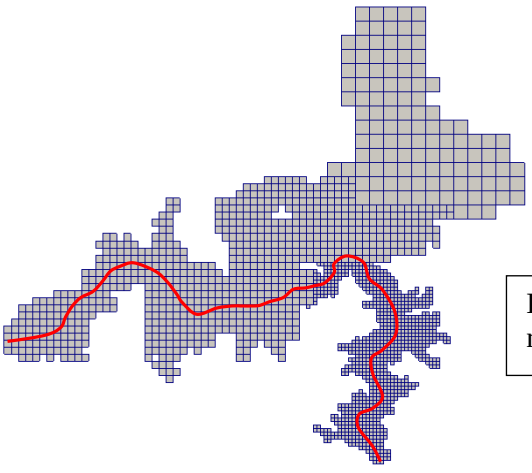
Etape.1 Début de crue	Etape.4 Niveau de l'eau : En baisse (1)
	
Etape.2 Niveau de l'eau : En hausse (1)	Etape.5 Niveau de l'eau : En baisse (2)
	
Etape.3 Niveau de l'eau : En hausse (2)	
	

Tableau 6-11 Résultats de l'analyse des eaux turbides (Distribution longitudinale de la densité : inondation 1 : Qp=1 000 m^3/s)





Le dessin du contour longitudinal est réalisé le long de la ligne rouge.

Tableau 6-12 Résultats de l'analyse des eaux turbides (inondation 2 : Qp=500 m^3/s)

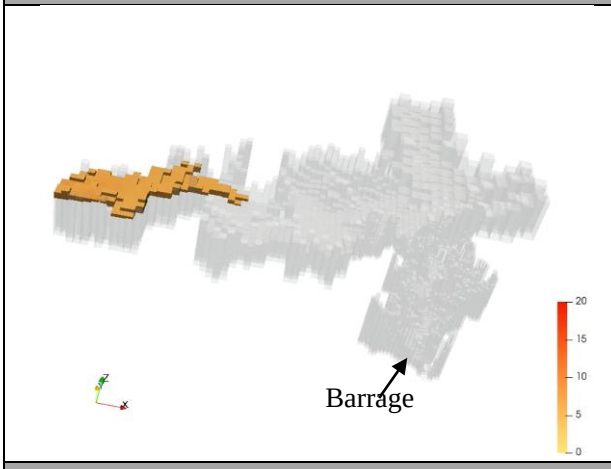
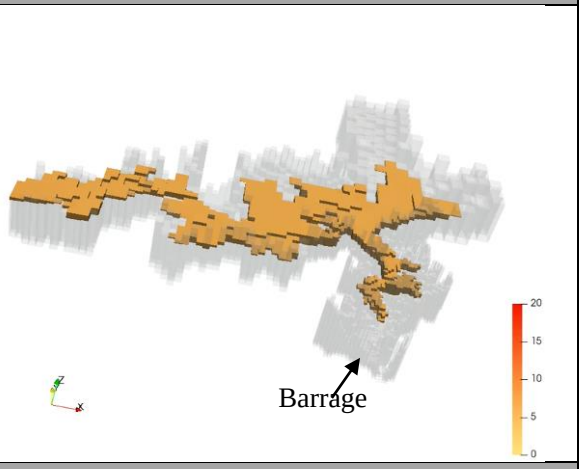
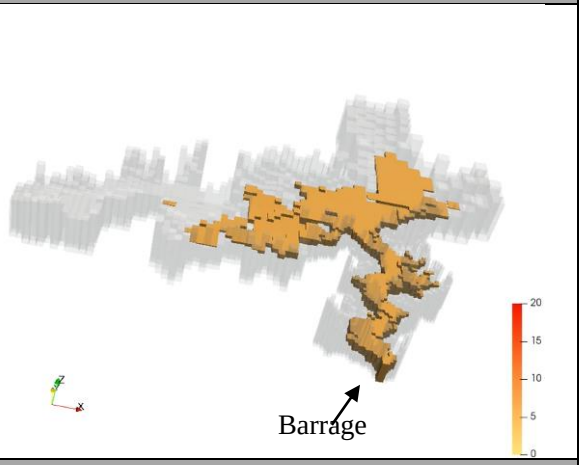
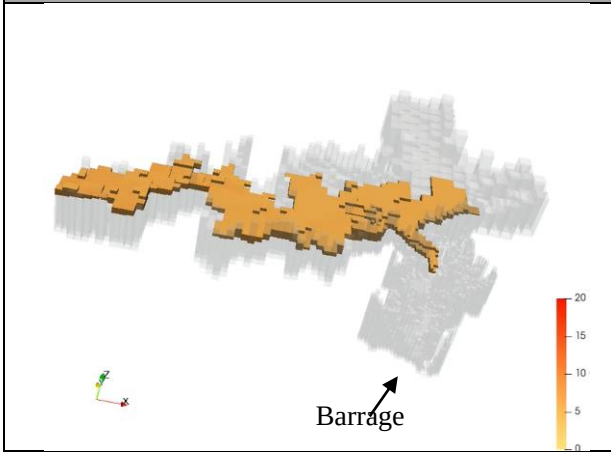
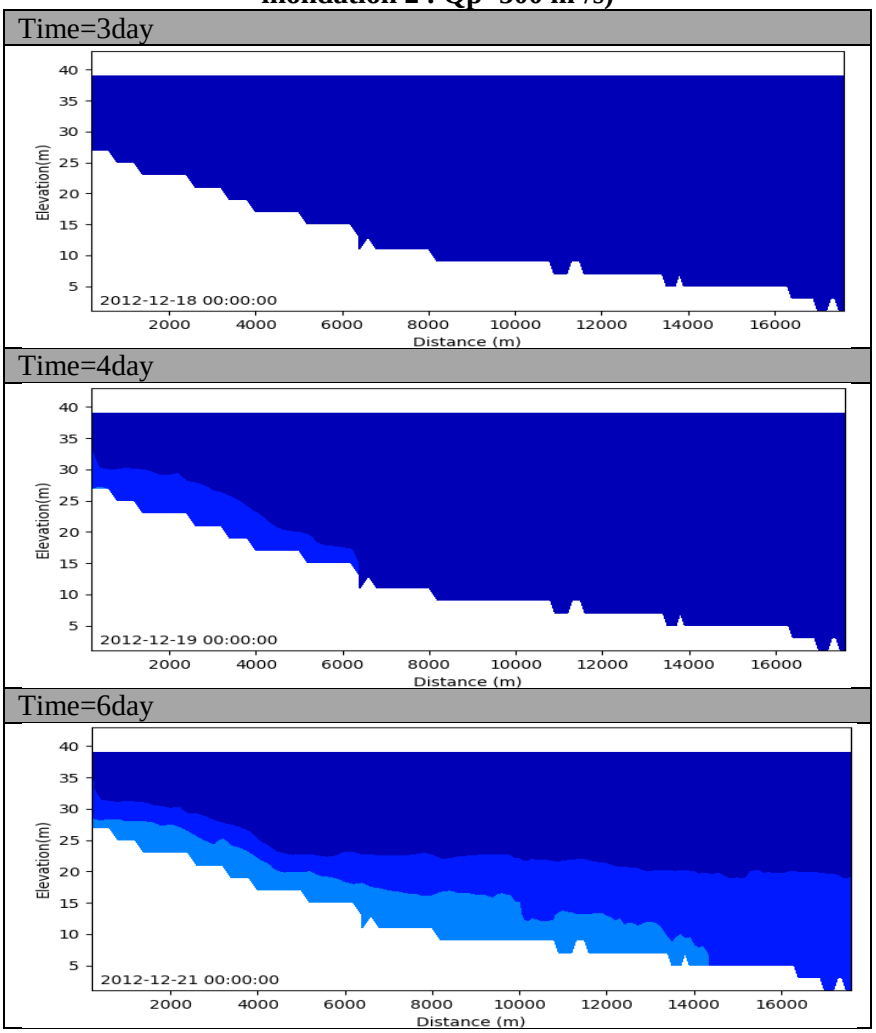
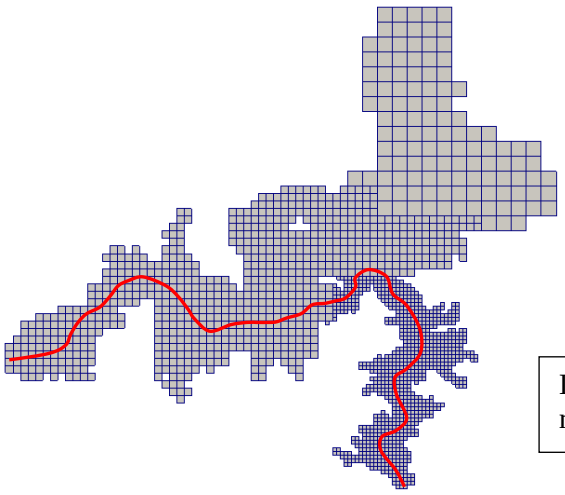
Etape.1 Début crue	Etape.4 Niveau de l'eau : En baisse (1)
	
Etape.2 Niveau de l'eau : En hausse (1)	Etape.5 Niveau de l'eau : En baisse (2)
	
Etape.3 Niveau de l'eau : En hausse (2)	
	

Tableau 6-13 Résultats de l'analyse des eaux turbides (Distribution longitudinale de la densité inondation 2 : Qp=500 m³/s)





Le dessin du contour longitudinal est réalisé le long de la ligne rouge.

6.4.4 Analyse des phénomènes d'écoulement des eaux turbides à l'aide d'hydrogrammes de crues réelles

Suite à l'analyse des tendances qualitatives de l'eau turbide entrante en utilisant un hydrogramme de crue hypothétique dans la section 7.3.3, il a été constaté qu'un écoulement de densité s'est formé dans l'hydrogramme de crue. L'écoulement de densité était approximativement de la même échelle que celui qui s'est réellement produit dans la retenue. L'écoulement s'est réparti sur l'ensemble de la retenue et a atteint le site du barrage.

C'est pourquoi le modèle a été réalisé en utilisant des hydrogrammes de crue réelles dans le passé, afin de simuler la dispersion des eaux turbides qui est supposée s'être produite au moment de l'inondation.

(1) Définition des conditions d'analyse

Les conditions de l'analyse sont présentées dans le Tableau 6-14:

Tableau 6-14 Établissement des conditions d'analyse à partir des hydrogrammes de crues réelles

Elément	Description	Remarque
Zone cible	Retenue de Sidi Salem (zone A-D)	
Inondation cible	No.1 : Inondation en janvier 2003 No.2 : Inondation en février 2015	Utilisation des apports observés
Pas de temps	dt=20 sec.	
Conditions des apports	Oued Medjerda (canal principal) (débit de sédiment entrant)=α×(débit entrant de la retenue)$^{\beta}$ $\alpha=2.51\times10^{-5}$, $\beta=1.802$	Formule de calcul des apports en sédiments pour des calculs reproductibles en utilisant une simulation 1D de la sédimentation du barrage
Conditions topographiques	Basé sur les résultats de l'enquête de janvier 2018 Grille planaire (dx,dy) : maille de 100-400 m Grille verticale (dz) : maille de 2 m	Sur la base des résultats de l'enquête de 2017 (la plus récente)
Opération de déversement	Règles d'exploitation existantes pour le barrage de Sidi Salem	Appliquer les règles de fonctionnement existantes, organisées dans l'analyse hydrologique et de l'hydrologie au Chapitre 3.
Conditions Initiales	Vitesse d'écoulement : La vitesse d'écoulement initiale est nulle sur toute la surface. La température de l'eau : La distribution verticale de la température de l'eau au 28 février 2020 est (*). Le niveau de l'eau : EL.108 m	*Répartition de la température de l'eau pendant la saison des pluies sur la base des résultats de l'enquête sur la turbidité menée cette année
Conditions Météo	Données d'observation de la température, de l'humidité, du rayonnement solaire, de la vitesse du vent, de la direction du vent et de la pression atmosphérique	

(2) Hydrogramme des inondations cibles

Les hydrogrammes de crues utilisés dans cette analyse sont présentés aux Figure 6-34 et Figure 6-35. Les deux grandes inondations, l'une en janvier 2003 et l'autre en février 2015, sont utilisées pour le calcul. La crue de 2003 a été très longue, puisqu'elle a duré environ 50 jours. Le volume des apports pendant la crue était d'environ 1,2 milliard de m^3. L'inondation de 2015 a duré environ 10 jours, ce qui est relativement courant dans la région.

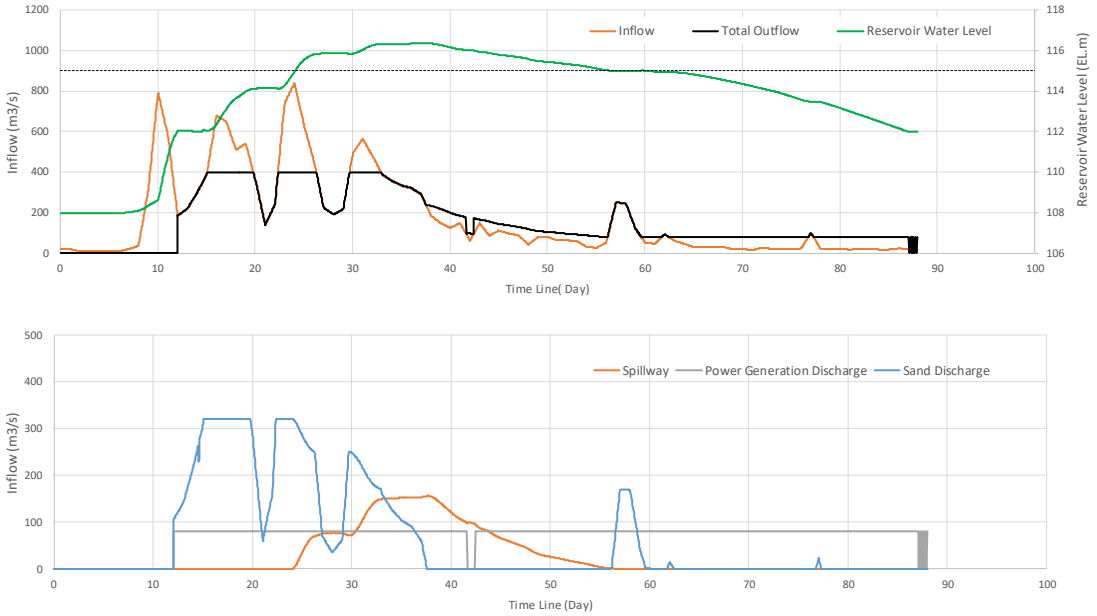


Figure 6-34 Hydrogrammes des inondations (janvier 2003)

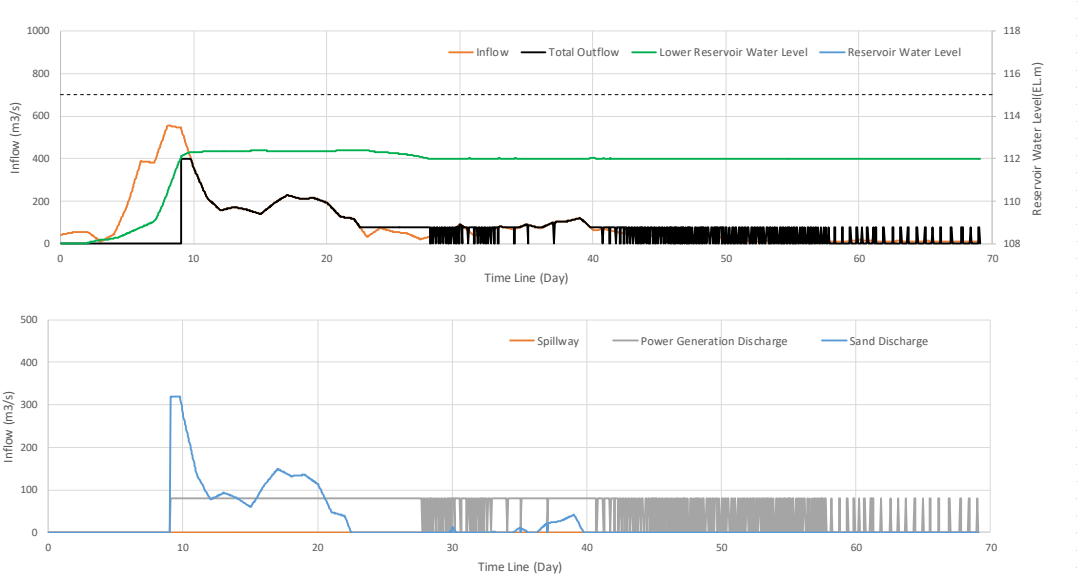


Figure 6-35 Hydrogrammes des inondations (février 2015)

(3) Résultats de l'analyse

Les résultats de l'analyse sont présentés dans Figure 6-36 à Figure 6-38.

1) Comportement des eaux turbides lors de l'inondation de janvier 2003

- Lors des inondations de janvier 2003, des eaux turbides se sont répandues sur l'ensemble de la retenue immédiatement après le premier pic de l'hydrogramme des inondations. Cela s'explique par le fait que le niveau initial de la retenue était un peu plus bas que le niveau total de l'eau au moment de l'inondation, et que l'eau turbide a donc été stockée dans la capacité d'utilisation de l'eau de la retenue au moment de l'inondation.
- L'opération de déversement a été effectuée au moyen de vannes de déversement de sable pendant la deuxième à la quatrième pointe de l'hydrogramme de crue. Cependant, il n'y a pas eu d'indication claire de réduction de l'eau turbide diffusée qui s'est répandue sur l'ensemble de la retenue.
- Le profil en long de la retenue montre que l'épaisseur de la couche d'eau turbide est de 10 à 15 m, alors que la profondeur de la retenue est généralement de 20 à 25 m.

2) Comportement des eaux turbides lors de l'inondation de février 2015

- Le comportement des eaux turbides lors de la crue de février 2005 a été similaire à celui de la crue de janvier 2003. Cependant, la concentration d'eau turbide était environ la moitié de celle de 2003. Il a été constaté que l'eau turbide a traversé la couche inférieure sous forme de flux de densité et a atteint le point du barrage.
- Même lors de crues avec des débits de pointe d'environ 500 m^3/s, on a vu de l'eau turbide s'écouler à travers la couche inférieure jusqu'au point du barrage tout en se répandant dans la retenue.

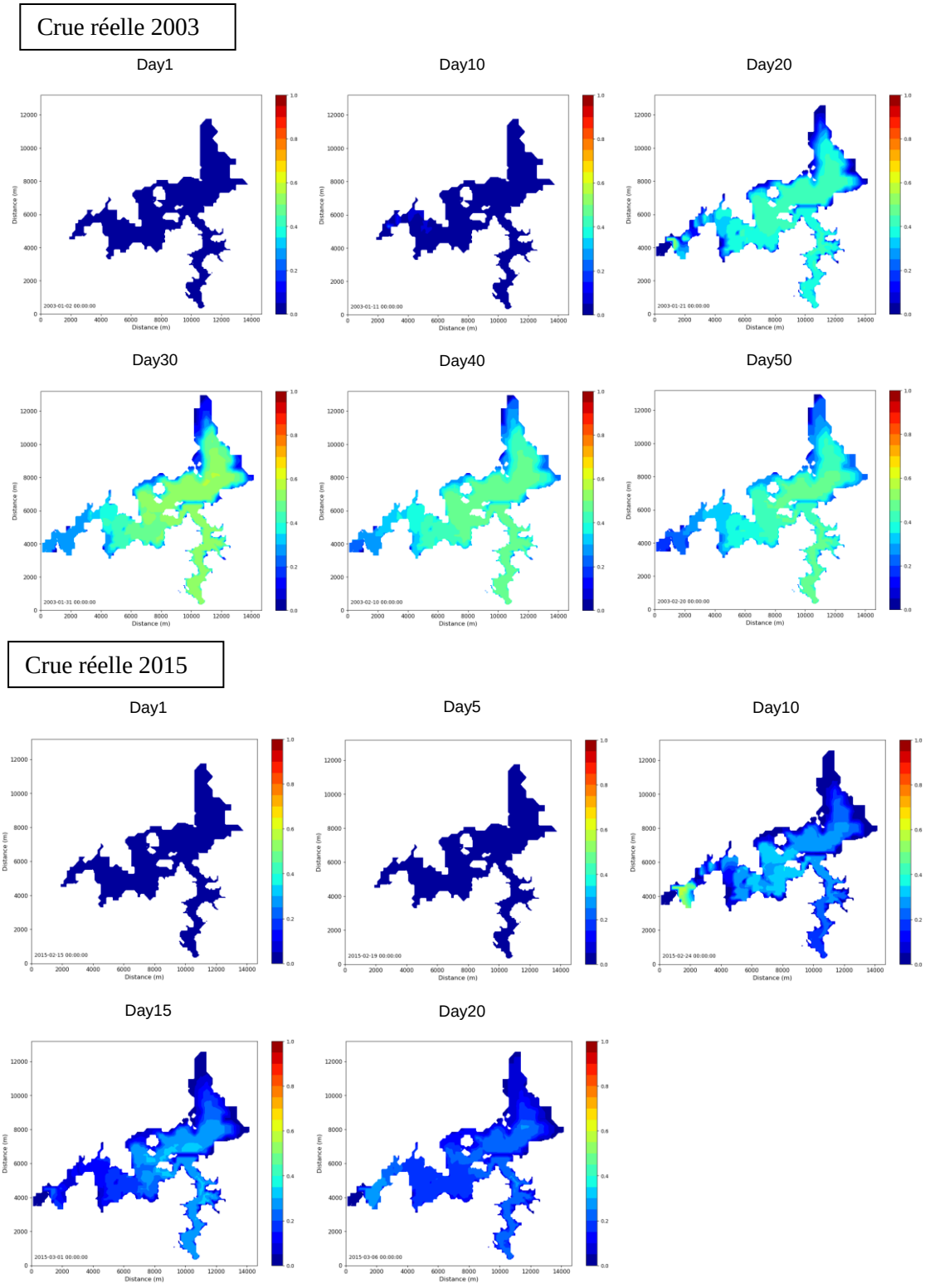


Figure 6-36 Distribution planaire de la turbidité dans la retenue (résultats de l'analyse) (concentration à 5,0 m au-dessus du fond du lac)

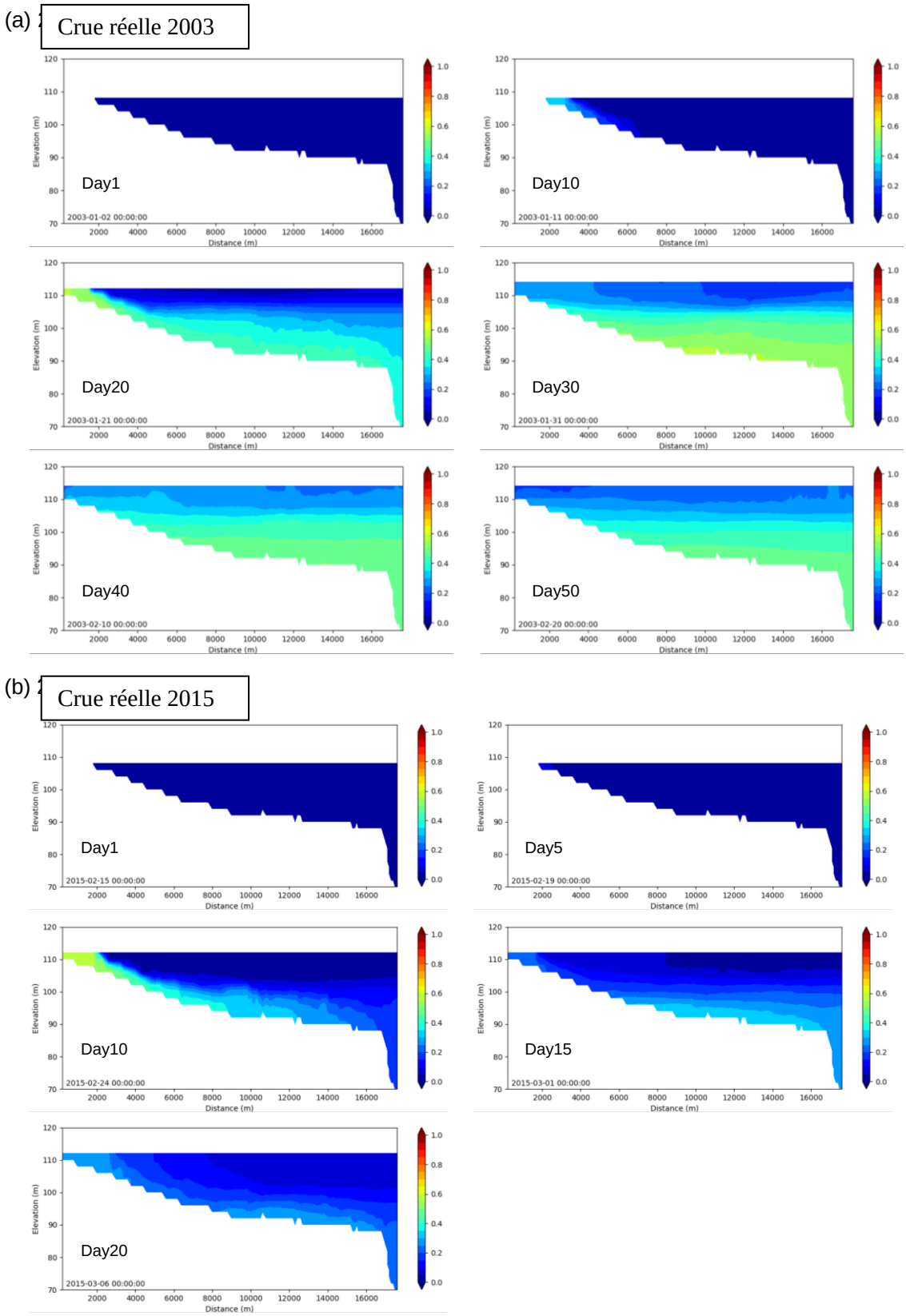


Figure 6-37 Distribution verticale de la turbidité dans la retenue (résultats de l'analyse)

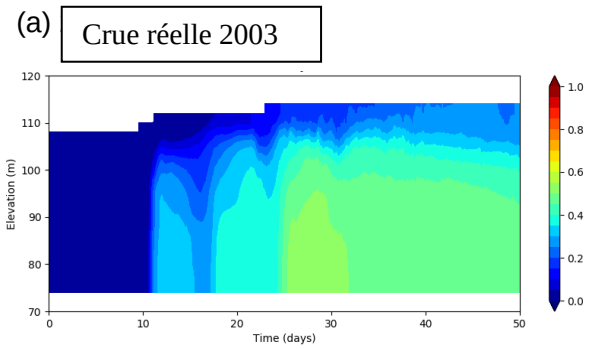


Figure 6-38 Distribution verticale de la turbidité dans la retenue (résultats de l'analyse)

6.4.5 Résumé de l'analyse tridimensionnelle du débit d'eau turbide

Un modèle tridimensionnel d'analyse des eaux turbides a été développé et le comportement des eaux turbides a été analysé en utilisant les hydrogrammes réels des inondations de 2003 et 2015. Ces inondations se sont produites à la retenue du barrage de Sidi Salem. On a ainsi pu observer que l'eau turbide descend au fond de la retenue dans les zones A à D où la profondeur de l'eau augmente fortement. Bien que les données sur la turbidité pendant les inondations dans la retenue ne soient pas disponibles à l'heure actuelle, il est suggéré qu'un écoulement de grande densité se forme dans la retenue et que l'eau turbide peut se diffuser dans toute la couche inférieure. On suppose qu'un tel mécanisme a provoqué le dépôt d'une grande quantité de sédiments dans la retenue.

D'autre part, il peut être possible de prendre des mesures contre la contamination des sédiments si la direction de l'écoulement de l'eau turbide dans la couche inférieure est contrôlée par des murs de soutènement, etc. en utilisant les caractéristiques de l'eau turbide qui s'écoule à travers la couche inférieure en raison de sa densité.

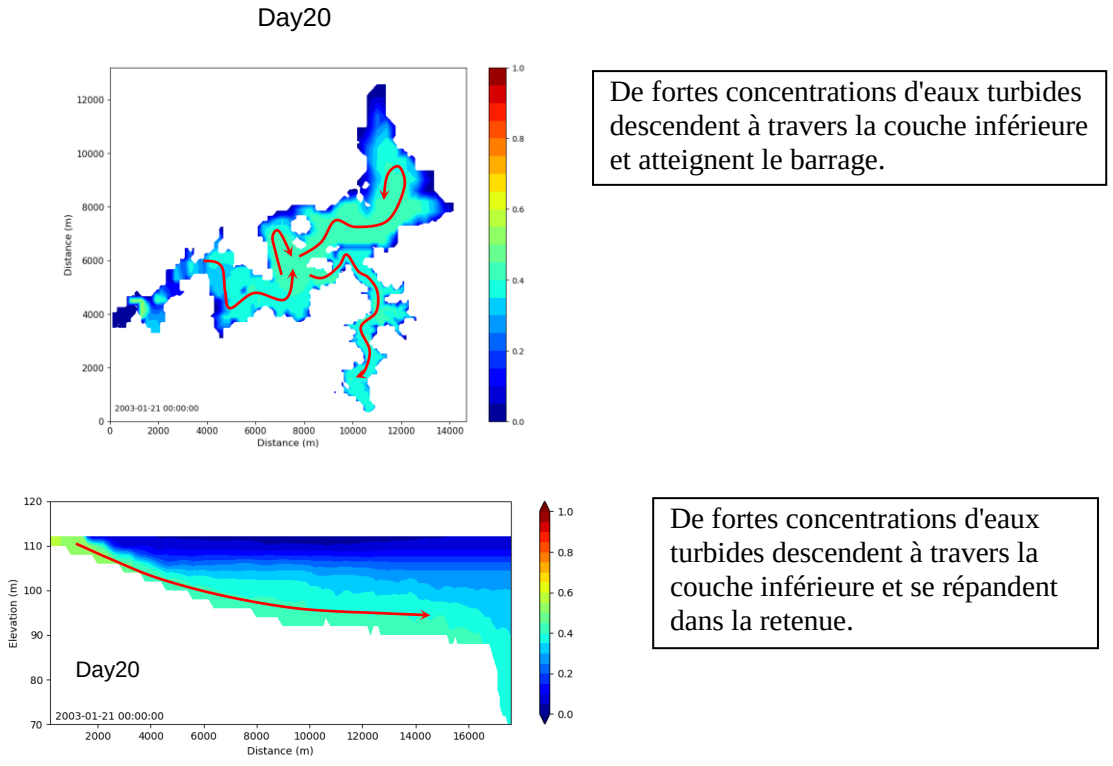


Figure 6-39 Estimation du mécanisme de turbidité des crues dans la retenue

CHAPITRE 7 INTRODUCTION AU PLAN DE GESTION DES SEDIMENTS DU BARRAGE DE SIDI SALEM

7.1 Exploitation optimale de la retenue

7.1.1 État actuel de l'exploitation de la retenue du barrage de Sidi Salem

(1) Exploitation de la retenue

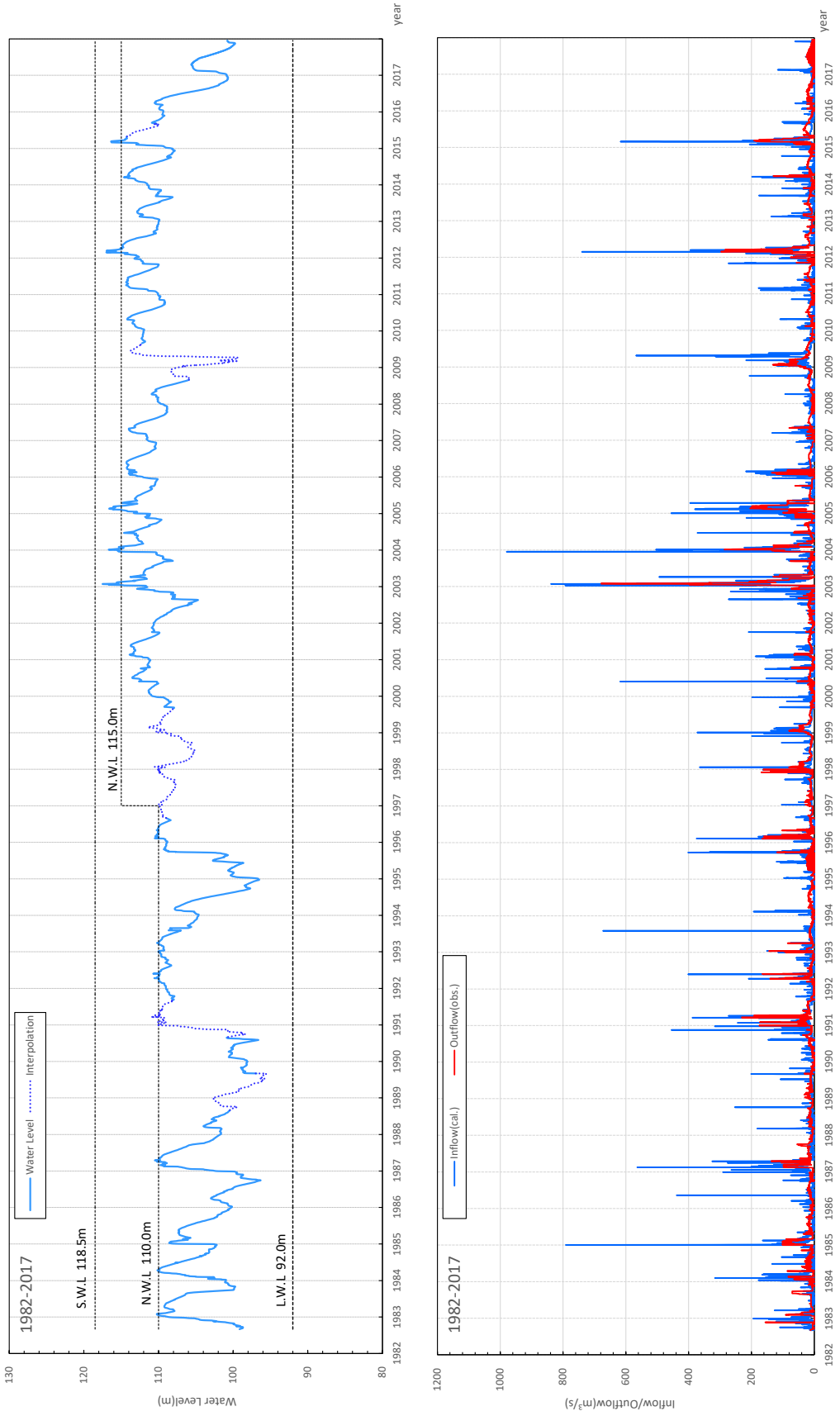
Le fonctionnement de la régulation du niveau d'eau du barrage de Sidi Salem de 1982 à 2017 est illustré dans la Figure 7-1. Comme mentionné dans le Chapitre 6, en raison de l'augmentation du niveau du déversoir (tour de prise d'eau) en 1997, le niveau d'eaux normales ou des plus hautes eaux a été modifié de 110 m à 115 m. De nombreuses données manquent dans l'enregistrement du niveau de la retenue. Au cours des périodes, le niveau de la retenue est estimé avec la relation entre le débit observé en amont du barrage de Sidi Salem et son débit réel.

- Principalement, la retenue est remplie par les inondations qui se produisent de janvier à mai. L'eau est utilisée pour l'irrigation en été.
- La sécheresse s'est produite plusieurs fois dans le passé. En 1986, 1995 et 2002, il n'y a pas eu d'inondations et le niveau d'eau de la retenue n'a pas retrouvé son niveau normal l'année suivante. Dans certains cas, comme en 1989-1990 et 1998-1990, la sécheresse s'est produite pendant deux années consécutives.
- Le niveau de l'eau est souvent rétabli par les inondations pendant la saison des pluies. Lorsqu'une inondation avec un débit journalier moyen de 400 m^3/s ou plus se produit, le niveau de l'eau est rétabli presque au niveau normal.

(2) Débit entrant et débit sortant annuels

Le Tableau 7-1 indique les volumes annuels réels de débits entrants et sortants et le taux de rotation des retenues au cours des dernières années. Le taux de rotation de la retenue est calculé sur la base de la capacité d'utilisation de l'eau de la retenue sous Cote EL.115 m (772 millions de m^3, au début de l'exploitation) et du volume des apports annuels. Si l'on compare le débit entrant annuel au débit sortant annuel, le débit sortant annuel dépasse le débit entrant annuel la plupart des années. Il s'agit du résultat du suivi obtenu auprès du Ministère de l'Agriculture, et la raison de cette différence est inconnue. La précision de l'observation du débit sortant est plus élevée que celle du débit entrant, c'est pourquoi on peut supposer ce qui suit en termes de débit sortant annuel.

- En ce qui concerne le débit annuel, l'année 2003 a été l'année qui a connu le meilleur régime de débit. Le volume du débit sortant était de 1,97 milliard de m^3 pour l'année. En revanche, les années où le régime d'écoulement était moins bon, le débit annuel était d'environ 200 millions de m^3.
- Si l'on examine le taux de rotation des retenues en fonction de la capacité d'utilisation de l'eau pour l'irrigation et l'énergie hydroélectrique, on constate qu'il n'y a que cinq (5) ans où le ratio est de 1,0 ou plus en 19 ans. En revanche, il y a quatre (4) années avec le ratio de 0,2 ~ 0,3. Cela signifie qu'il est nécessaire de stocker au maximum les apports d'eau apportés par les crues.



Source : Equipe d'Etude de la JICA et MoA

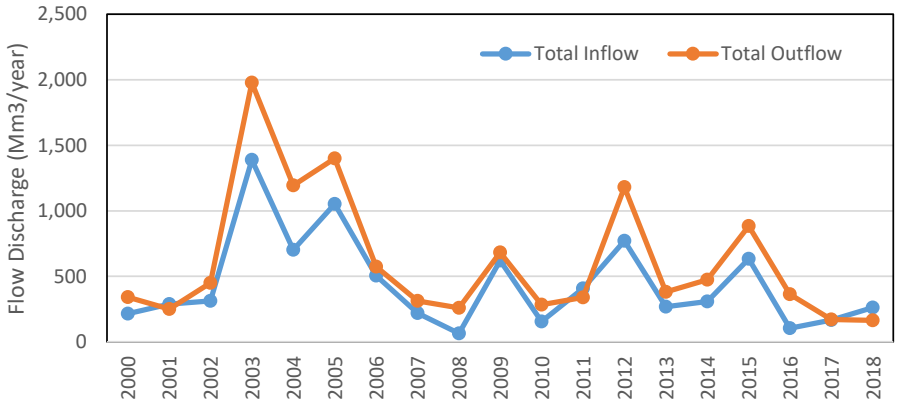
Figure 7-1 Exploitation réelle de la retenue du barrage de Sidi Salem (1982-2017)

Tableau 7-1 Volume annuel de débits entrants / sortants et ratio de rotation des retenues (2000-2018)

Year	Total Inflow (Mm^3)	Total Outflow (Mm^3)	Reservoir Rotation Ratio*
2000	215	341	0.4
2001	289	252	0.3
2002	312	451	0.6
2003	1,388	1,977	2.6
2004	701	1,193	1.5
2005	1,053	1,399	1.8
2006	506	573	0.7
2007	221	312	0.4
2008	64	260	0.3
2009	621	683	0.9
2010	155	283	0.4
2011	409	339	0.4
2012	772	1,181	1.5
2013	268	381	0.5
2014	308	474	0.6
2015	634	884	1.1
2016	106	363	0.5
2017	168	172	0.2
2018	262	164	0.2
Mean Value	445	615	0.8

Source : Rapport de rotation de la retenue = débit d'évacuation/capacité d'utilisation de l'eau (772 Mm^3)

Source : Équipe d'Etude de la JICA et MoA



Source : Équipe d'Etude de la JICA et MoA

Figure 7-2 Volume annuel de débit et de sortie du barrage de Sidi Salem (2000-2017)

7.1.2 Conditions réelles d'approvisionnement en eau

L'approvisionnement réel en eau est vérifié pour le fonctionnement de la retenue. L'approvisionnement en eau pour l'irrigation, l'usage domestique et la production d'énergie hydraulique est appréhendé sur la base des données obtenues au barrage de Sidi Salem.

(1) Plan d'utilisation de l'eau dans le barrage de Sidi Salem

La finalité de l'utilisation de l'eau du barrage de Sidi Salem est précisée dans les "Objectifs" indiqués ci-dessous. Le texte original est rédigé en français, et il a été traduit en anglais. Les faits suivants sont identifiés.

- La capacité de stockage annuelle de 450 millions de m^3 est assurée et fournie (80 % sont utilisés pour l'irrigation, 20 % pour l'eau potable).
- L'énergie électrique est produite pour répondre aux besoins quotidiens maximums (36 MW) et minimums (20 MW).

OBJECTIFS :
Trois grands rôles ont été attribués à ce grand ouvrage :

1) Fournir 450 Mm^3 par an pour répondre aux besoins agro-industriels et urbains dans plusieurs régions et agglomérations du pays pour :
   - 80 % pour l'irrigation (70 000 ha).
   - 20 % pour l'approvisionnement en eau potable (Grand Tunis, Nabeul, Sousse et Sfax).
2) Amortir les débits et minimiser les dommages causés par les inondations dans les régions en aval.
3) Produire de l'énergie électrique pour répondre aux besoins journaliers de pointe à 36 MW, dont le minimum garanti est de 20 MW.

Source: 「 BARRAGE DE SIDI SALEM SUR LA MEDJERDA 」 REPUBLIQUE TUNISIENNE MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DES RESSOURCES EN EAUX D.G/ B.G.T.H

Comme les informations ci-dessus sont les plus fondamentales, 450 Mm^3 par an est utilisé comme valeur de référence dans l'analyse suivante sur l'utilisation de l'eau.

(2) Modification de la capacité d'utilisation de l'eau en raison de la sédimentation

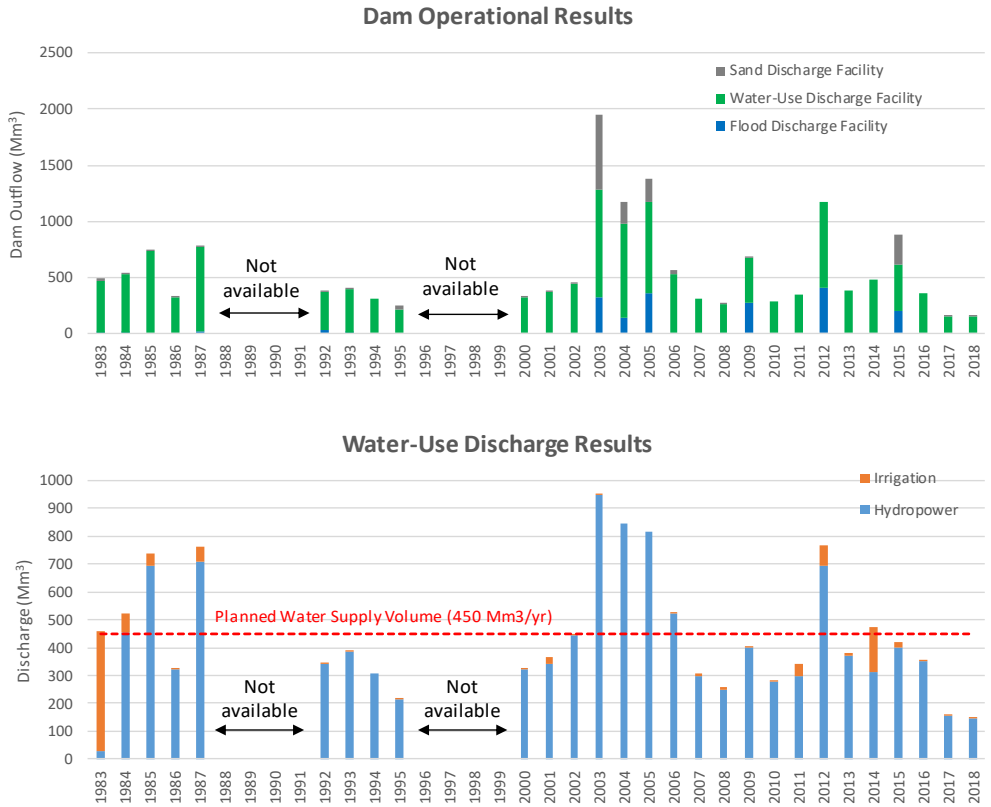
Sur la base des informations relatives à l'utilisation de l'eau ci-dessus, les modifications du volume d'utilisation de l'eau dues à la sédimentation sont identifiées et examinées.

- En 1981, la capacité d'utilisation de l'eau a été fixée à 533 Mm^3 à Cote EL.110 m.
- En 1997, le niveau normal de l'eau est passé de 110 m à 115 m et la capacité d'utilisation de l'eau a été portée à 772 Mm^3.
- En 2018, la capacité d'utilisation de l'eau a diminué à 592 Mm^3 en raison de l'évolution de la sédimentation, tandis que la capacité d'utilisation de l'eau (533 Mm^3) initialement prévue a été sécurisée. En outre, comme l'eau de la capacité de sédiments est également disponible pour l'eau utile, la capacité disponible de 7 millions de m^3 dans la capacité de sédiments a également été considérée comme une capacité d'eau utile.

(3) Débit d'évacuation réel des installations de sortie

La Figure 7-3 montre les résultats de l'exploitation de la retenue dans chaque installation d'évacuation du barrage de Sidi Salem. L'évacuation dans la figure ci-dessous montre le volume total de production d'énergie hydroélectrique et d'irrigation au niveau des installations de sortie.

- D'après les enregistrements d'exploitation du barrage, la majorité de l'évacuation provient des installations de sortie pour l'utilisation de l'eau. Depuis 2002, lors des inondations de grande ampleur, on a pratiqué l'évacuation à partir du déversoir et de la vanne de dévasement.
- En 37 ans, de la construction du barrage à 2018, il n'y a eu que 28 ans sans données manquantes. D'après l'enregistrement des évacuations par les installations de sortie au cours de ces 28 années, le nombre d'années où le volume d'eau de plus de 450 Mm^3/an a été déchargé pour l'utilisation de l'eau est de 11 ans. Étant donné que des inondations de grande ampleur se sont produites les années où l'évacuation d'eau pour l'utilisation a dépassé 450 Mm^3, on suppose que l'eau a également été évacuée à des fins de lutte contre les inondations.
- En 2017 et 2018, le volume total des évacuations a été le plus faible depuis le début de l'exploitation de la retenue. Le volume de l'évacuation pour l'utilisation de l'eau au cours de ces années était d'environ 150 Mm^3/an.



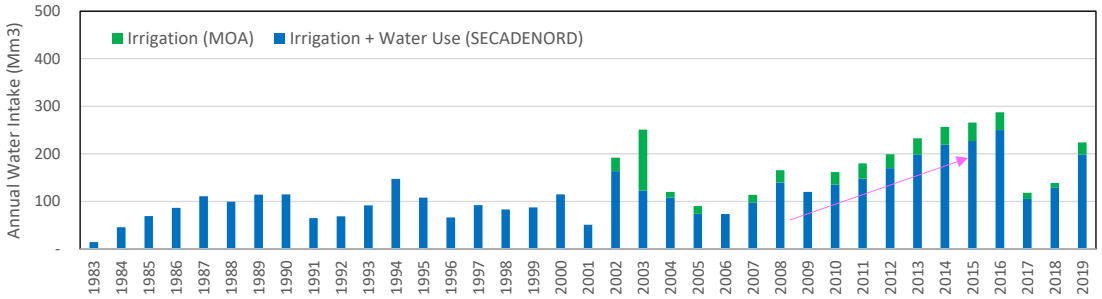
Source : Équipe d'Etude de la JICA et MoA

Figure 7-3 Résultats de l'exploitation réelle des installations de sortie du barrage de Sidi Salem (1983-2018)

(4) Conditions de prise d'eau pour l'irrigation et l'approvisionnement en eau potable en aval du barrage de Sidi Salem

La Figure 7-4 illustre la prise d'eau d'irrigation par le MoA en aval du barrage de Sidi Salem et la prise pour l'alimentation en eau d'irrigation / eau potable par une entreprise publique (SECADENORD) qui gère le barrage de Larrousia. Le volume de la prise d'eau du MoA constitue la valeur totale au niveau de sept (7) stations de pompage (Bejaoua, Douar El Bey, Mornaguia, Battan, Chewigui, Borj Ettoumi, Sidi Néji) situées en aval du barrage de Sidi Salem.

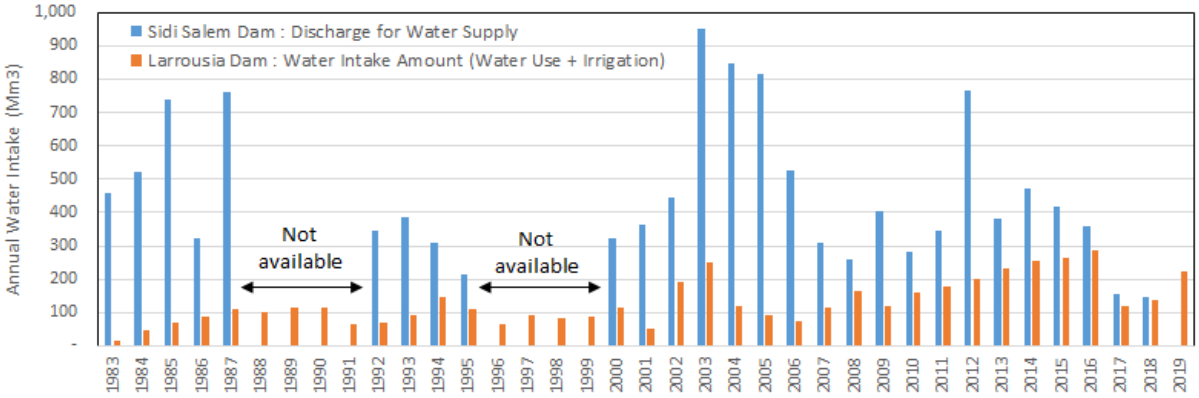
- La prise annuelle en eau était d'environ 100 Mm^3 jusqu'en 2008, mais elle a augmenté de 2009 à 2016, pour atteindre 287 Mm^3 en 2016.
- L'essentiel de la prise en eau est effectuée par SECADENORD.



Source : Équipe d'Etude de la JICA, MoA et SECADENORD

Figure 7-4 Tendance annuelle de la prise en eau au barrage Larrousia

La Figure 7-5 montre la relation entre la l'alimentation en eau d'irrigation / eau potable par le MdA et SECADENORD et l'évacuation du barrage de Sidi Salem. Il est confirmé que le volume de l'évacuation des installations de sortie du barrage de Sidi Salem est supérieur à celui de la prise d'eau pour l'alimentation en eau d'irrigation / eau potable au barrage de Laroussia, pendant la période où les données sont disponibles. En particulier en 2017 et 2018, lorsqu'il y a eu une sécheresse, le volume des évacuations du barrage de Sidi Salem était presque égal au volume des prises d'eau au barrage de Larrousia. Par conséquent, on peut estimer que l'évacuation du barrage de Sidi Salem était destinée à la prise d'eau pour l'alimentation en eau d'irrigation / eau potable au barrage de Laroussia.



Source : Équipe d'Etude de la JICA, MdA et SECADENORD

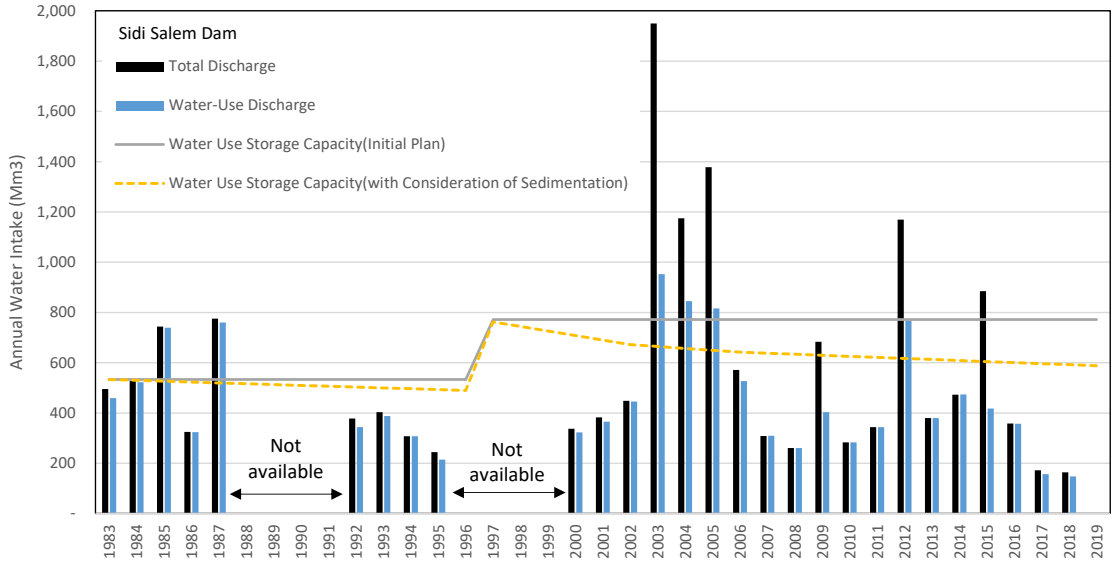
Figure 7-5 Evacuation annuelle du barrage de Sidi Salem et prise annuelle au barrage de Laroussia

(5) Capacité pour utilisation de l'eau à sécuriser en fonction des conditions actuelles

Sur la base de la relation entre le débit annuel et la capacité d'utilisation de l'eau du barrage de Sidi Salem, la capacité utile à garantir au barrage serait examinée comme suit.

- Au barrage de Sidi Salem, les années où le débit annuel total dépassait le débit des installations de l'eau affectée pour utilisation, le niveau d'eau dépassait 115 m et les évacuations du déversoir se produisaient en raison des inondations. L'évacuation par le déversoir s'est produite en six (6) ans sur une période de 19 ans depuis 2000. Sa probabilité est d'une fois sur 3 ans.
- La capacité utile n'a pas atteint 400 Mm^3 en dix (10) ans sur les 19 ans. Depuis 2000, à part les six (6) années avec débit pour la lutte contre les inondations, la seule année qui respecte l'approvisionnement annuel en eau prévu de 450 Mm^3 est 2006. D'autre part, à l'installation de prise d'eau en aval du barrage, comme le montre la Figure 8-7 le volume annuel de prise d'eau n'a jamais dépassé 300 Mm^3 par an.

- Sur la base de ce qui précède, on suppose que la capacité annuelle maximale d'approvisionnement en eau du barrage de Sidi Salem est actuellement de 400 Mm^3. Par conséquent, la fonction d'approvisionnement en eau du barrage ne se détériorera pas si sa capacité actuelle d'utilisation de l'eau, soit 590 Mm^3, est maintenue.



Source : Équipe d'Etude de la JICA, MdA et SECADENORD

Figure 7-6 Approvisionnement annuel en eau au barrage de Sidi Salem et prise annuelle au barrage de Larrousia

7.1.3 Fonctionnement de la lutte contre les inondations

(1) Résultats des entretiens sur l'exploitation actuelle des barrages

Le fonctionnement actuel du barrage de Sidi Salem est décrit en détail dans le Chapitre 3. Les parties importantes sont présentées ici.
Les consignes actuelles d'exploitation des barrages ont été revues par un consultant français (Coyne et Bellier) en 1999. Il est dit que l'exploitation actuelle des barrages est mise en œuvre conformément aux consignes.

【Déversements antérieurs】

- Le barrage de Sidi Salem est le seul barrage en Tunisie qui fonctionne sur la base de la simulation de prévision des crues.
- Un déversement préalable de 5 jours à l'avance est défini. Le déversement préalable est déterminé en fonction du taux de montée des niveaux d'eau de la retenue toutes les 2 heures.
- Suite à l'examen effectué par le consultant français en 1999, le déversement de la crue doit se faire avec le déversoir (type évacuateur en puit avec débordement naturel) jusqu'au niveau d'eau de 118 m, et avec le déversoir de secours pour un niveau d'eau supérieur à 118 m
- Le débit de pointe de la crue nominale a été révisé pour être de 1/10 ans = 1 680 m^3/s, 1/100 ans = 3 360 m^3/s, 1/10 000 ans = 7 720 m^3/s avec l'examen du consultant français. La durée de la crue nominale doit être de 72 heures (3 jours).

【Fonctionnement actuel de la lutte contre les inondations】

- Le manuel sur la lutte contre les inondations / l'exploitation de la retenue du barrage de Sidi Salem et le logiciel excel, tous deux préparés par le consultant français Coyne et Bellier en 1999, n'ont pas été utilisés au bureau de gestion du barrage depuis 1999.
- L'ingénieur du barrage fait fonctionner chaque vanne selon les instructions du siège du MdA à Tunis.
- L'exploitation du barrage est décidée par le Comité de Gestion des Inondations en réunion permanente au siège du MdA. La décision est communiquée au Bureau de Gestion du Barrage.
- Ce Comité est organisé par le Ministre du MdA (présidé par le Ministre) ou le Secrétaire d'État avec un personnel spécialisé de toutes les directions.
- Au moment de l'inondation, le bureau de gestion des barrages communique toutes les heures au Comité le niveau d'eau et l'état d'ouverture de chaque vanne. Le Comité dicte le débit du barrage en tenant compte des conditions en amont / en aval de la retenue, y compris la situation d'inondation de la Mejerda en aval
- Le Comité a décidé que le débit du canal aval de la Mejerda ne devrait pas dépasser 300 m^3/s au moment de la crue au lieu du plan initial de 1 300 m^3/s car la capacité de débit de l'oued a diminué par la sédimentation.
- Depuis 1999, le niveau d'eau de la retenue est exploité pour être maintenu à 112 m de hauteur. La raison en est que le niveau d'eau à 110 m de hauteur est trop bas par rapport à la capacité d'utilisation de l'eau et que 115 m de hauteur (PHE) est trop élevé pour le contrôle des inondations.
- Lors de l'inondation de janvier 2003, l'ouverture des vannes du site a été effectuée conformément aux instructions du Comité au siège du MdA. Pendant l'inondation, le contrôle du niveau de l'eau a commencé lorsqu'il a atteint 112 m, et a été rétabli à 112 m après l'inondation par instruction.
- Depuis les inondations de 2003, le niveau d'eau maximum est fixé à 112 m pendant les saisons des inondations.

(2) Opérations réelles de lutte contre les inondations dans le passé

Sur la base des données de contrôle des inondations, l'Equipe d'Etude a vérifié l'intégrité des consignes actuelles d'exploitation de la retenue et l'exploitation réelle de la retenue. Les informations ont été obtenues par le biais d'entretiens.
Les conditions réelles de fonctionnement des installations d'exploitation des inondations ont été identifiées en ce qui concerne les inondations suivantes qui se sont produites après l'inondation de janvier 2003.

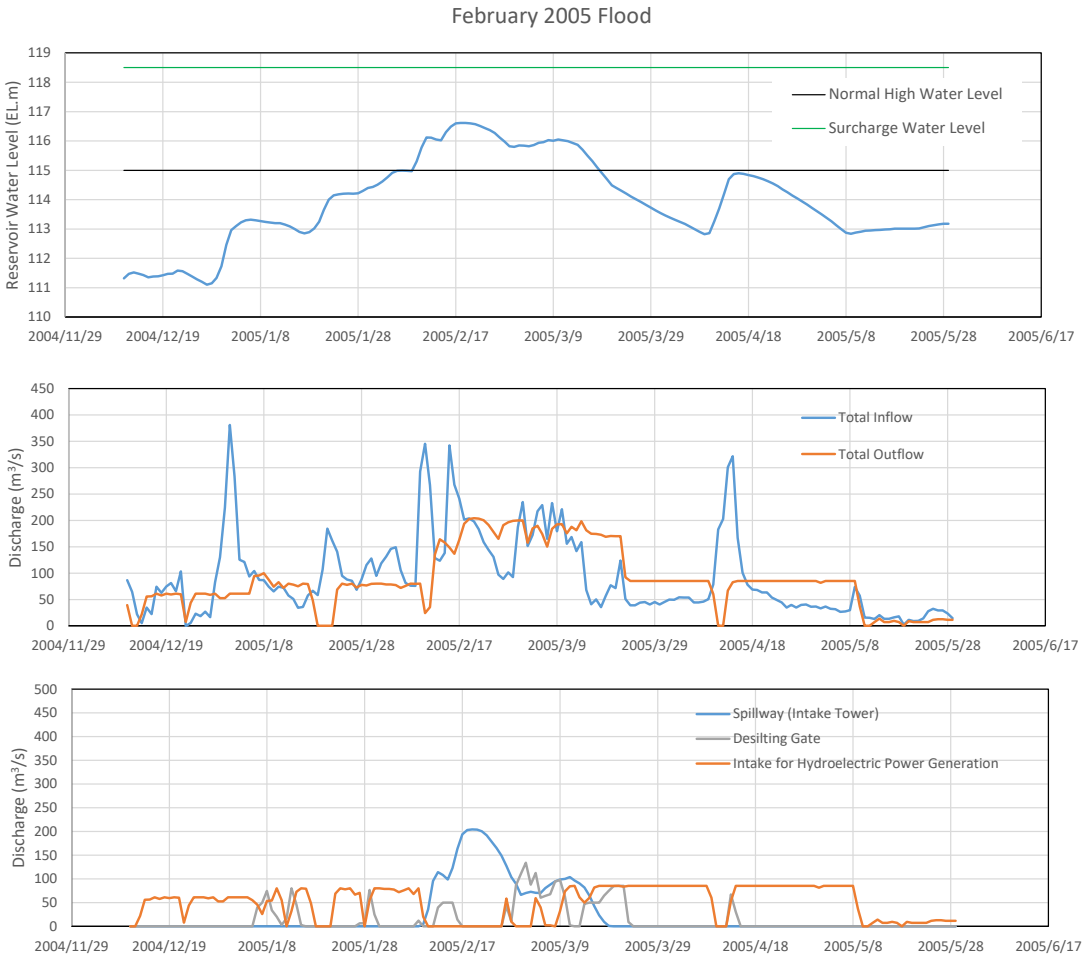
Tableau 7-2 Fonctionnement de la lutte contre les inondations au barrage de Sidi Salem

N°.	Crue	Débit de pointe entrant	Débit de pointe de l'évacuation	Niveau d'eau max.
1	Fév 10, 2005	345 m^3/s	204 m^3/s	cote 116.61 m
2	Fév 24, 2012	739 m^3/s	297 m^3/s	cote 117.00 m
3	Fév 28, 2015	557 m^3/s	192 m^3/s	cote 116.36 m

1) Inondation de février 2005

- ✓ Le niveau d'eau initial pour la lutte contre les inondations a été fixé à la Cote 111,5 m, ce qui est proche des résultats des entretiens.
- ✓ Le débit maximal devait être de 200 m^3/s, ajusté pour être inférieur à 300 m^3/s, ce qui correspond à la capacité de débit du canal de l'oued en aval.
- ✓ En ce qui concerne les installations de contrôle des inondations, le déversoir (tour de prise

d'eau), la vanne de dévasement et la vanne de prise d'eau pour la production d'énergie ont été exploités.

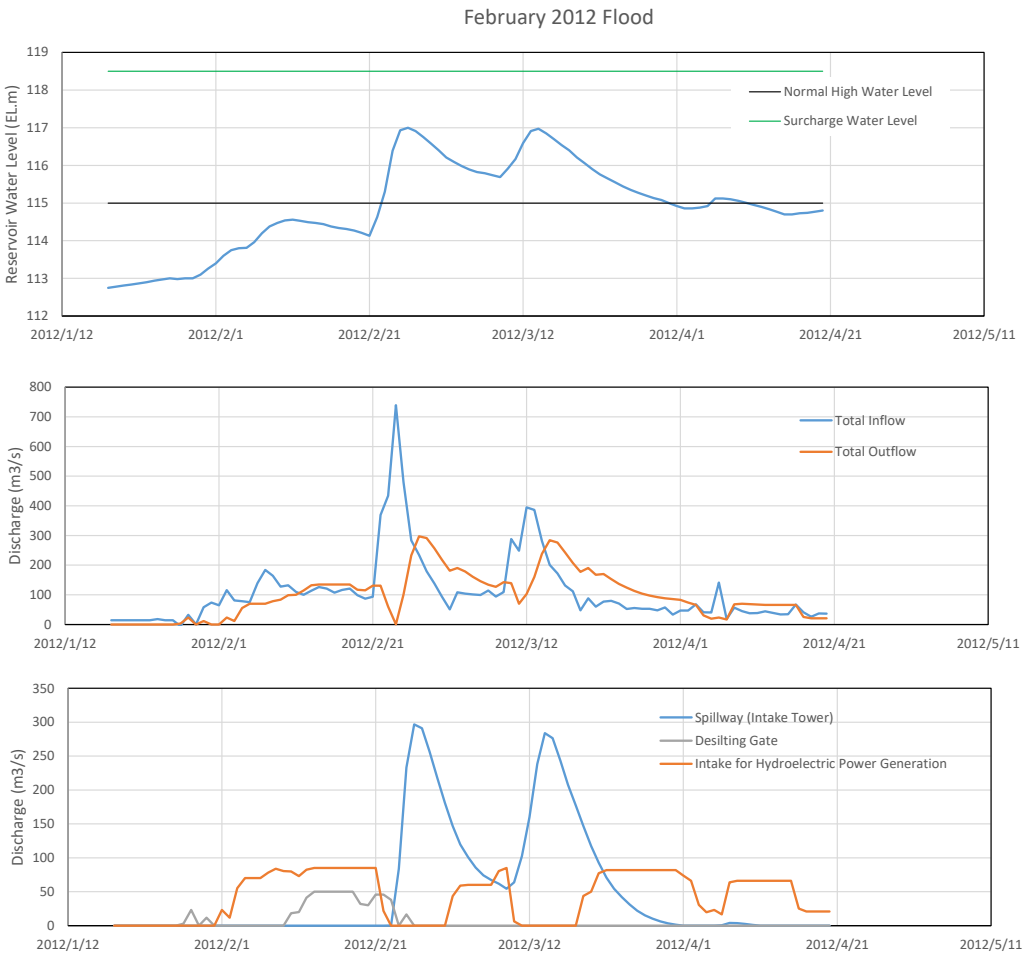


Source : Équipe d'Etude de la JICA et MdA

Figure 7-7 Résultats de l'exploitation du barrage de Sidi Salem (inondation de février 2005)

2) Inondation de février 2012

- ✓ Le niveau d'eau initial pour le contrôle des inondations était de 112,8 m, ce qui est proche des résultats des entretiens.
- ✓ Le débit maximal était de 300 m^3/s, soit la capacité de débit du canal de l'oued en aval. En ce qui concerne les installations de contrôle des inondations, seul le déversoir (tour de prise d'eau) a été utilisé. La vanne de dévasement et la vanne de prise d'eau pour la production d'énergie hydroélectrique n'ont pas été utilisées.

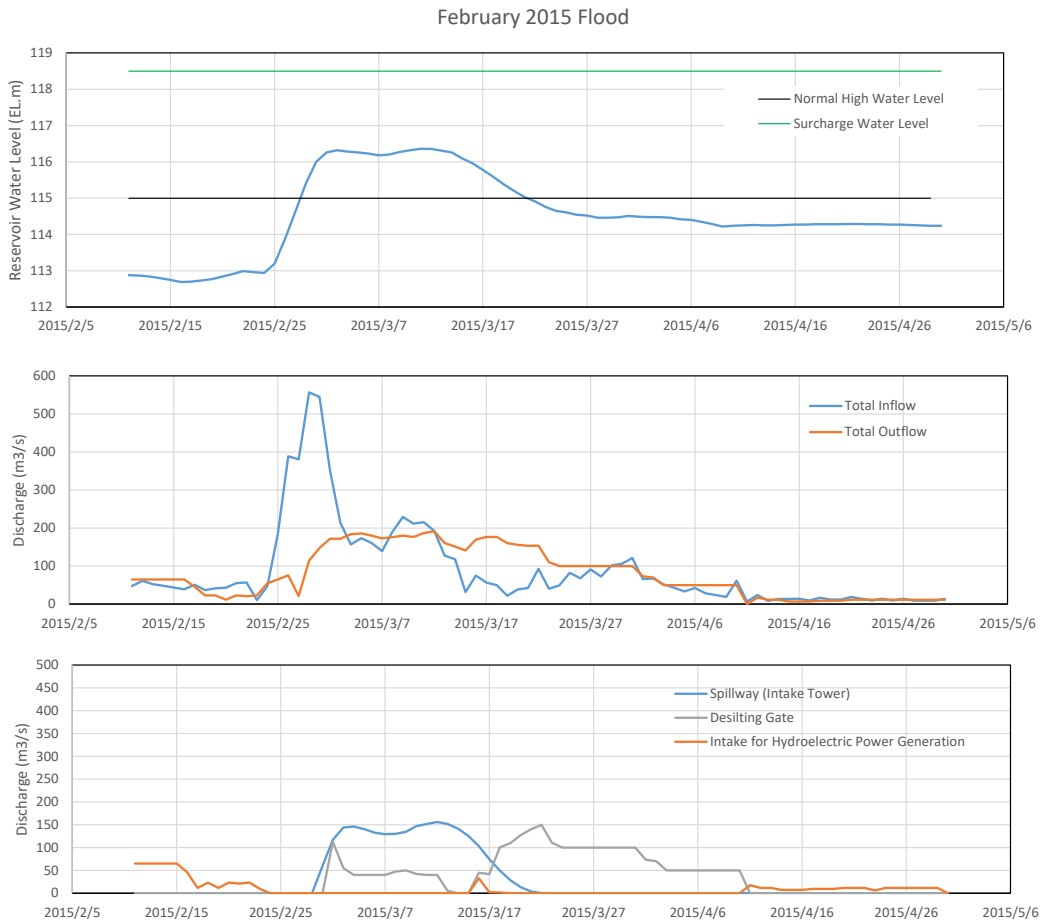


Source : Équipe d'Etude de la JICA et MdA

Figure 7-8 Résultats de l'exploitation du barrage de Sidi Salem (inondation de février 2012)

3) Inondation de février 2015

- ✓ Le niveau d'eau initial pour le contrôle des inondations était de 112,7 m, ce qui est proche des résultats des entretiens.
- ✓ Le débit maximal était de 190 m^3/s. Le débit a été ajusté pour être inférieur à 300 m^3/s, ce qui correspond à la capacité de débit du canal de l'oued en aval. Au moment du débit de pointe, le niveau de l'eau dépassait 115 m, et environ 150 m^3/s ont été libérés par le déversoir (tour de prise d'eau). En même temps, environ 50 m^3/s ont été libérés par la vanne de dévasement. Le débit total était d'environ 200 m^3/s.
- ✓ Lorsque le niveau de l'eau est descendu en dessous de 115 m, le débit de la vanne de dévasement a été augmenté à 100 m^3/s, et le niveau de l'eau est descendu à 114 m en conséquence.



Source : Équipe d'Etude de la JICA et MdA

Figure 7-9 Résultats de l'exploitation du barrage de Sidi Salem (inondation de février 2015)

7.1.4 Fonctionnement futur de la lutte contre les inondations au barrage de Sidi Salem

Sur la base des résultats de la vérification de la récente opération de lutte contre les inondations, il a été confirmé que le fonctionnement a été mené d'une manière presque conforme aux résultats des entretiens avec le MdA.

Pendant la saison des inondations, l'opération de contrôle des inondations commence lorsque le niveau de l'eau est de 112 ~ 113 m, donc, une plus grande capacité est utilisée pour le contrôle des inondations que celle conçue dans le manuel d'opération. La vanne de dessablement est utilisée pour l'évacuation des eaux de crue. L'utilisation de la vanne de dessablement pour la lutte contre les inondations est efficace pour l'élimination des sédiments.

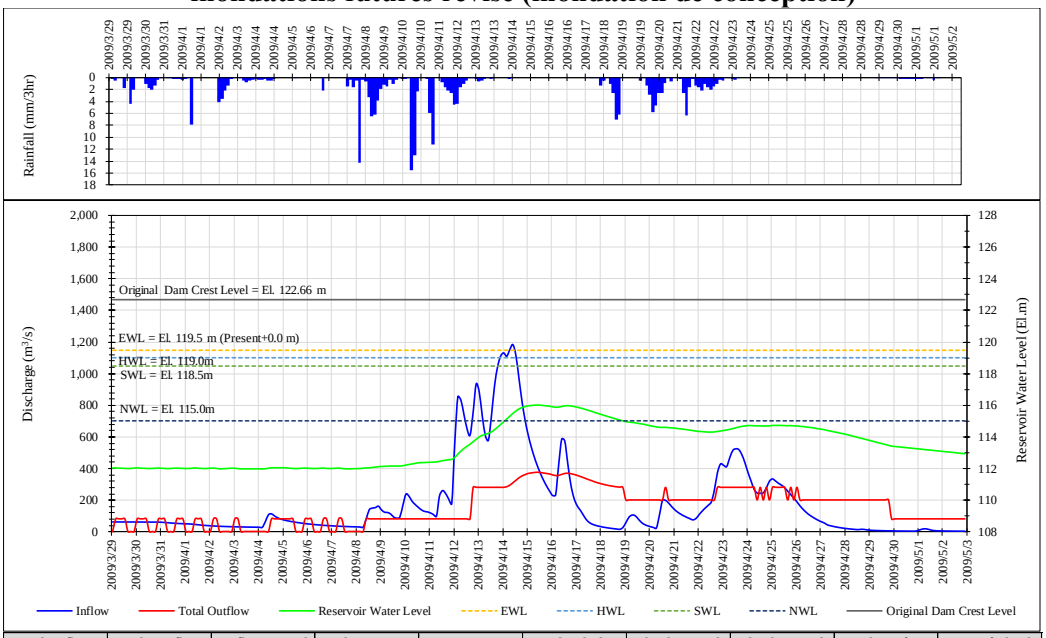
La méthode optimale de lutte contre les inondations, basée sur les points de vue ci-dessus, est examinée au Chapitre 3. La méthode de gestion optimale des crues proposée dans la présente étude, la simulation de la lutte contre les inondations lors de l'inondation de janvier 2003 et la simulation de la lutte contre l'inondation de référence basée sur l'inondation d'avril 2009 sont présentées dans le Tableau 8-3 et les Tableau 7-4 et Tableau 7-5.

Tableau 7-3 Mesures de lutte contre la sédimentation et les inondations après amélioration de la Zone D1 (révision préliminaire)

Point	Fonctionnement actuel	Opération future (projet de révision)
Niveau d'eau initial pour la lutte contre les inondations	Cote 112 ~ 113 m (réel)	Cote 112 m (niveau d'eau de réserve pour les inondations)
Débit sortant maximal de conception	200 ~ 300 m^3/s (réel)	400 m^3/s
Débit entrant maximal de conception	Qp=1 680 m^3/s (probabilité sur 10 ans) Qp=3 360 m^3/s (probabilité sur 100 ans)	1 280 m^3/s (Inondation d'avril 2009) ※ Inondation avec 10 ans de période de retour 1 130 m^3/s (Inondation de janvier 2003) ※ Inondation avec 10 ans de période de retour
Consigne de fonctionnement du débit de l'évacuation	Niveau de l'eau à Cote 112 ~ 115 m : La prise d'eau pour la production d'énergie hydraulique et la vanne de dévasement sont utilisées. Niveau de l'eau à la Cote 115 m ou plus : le déversoir est principalement utilisé, la vanne de dévasement est utilisée pour ajuster le débit de sortie	Niveau de l'eau à la Cote 112 ~ 115 m : Utilisation d'une vanne de production d'énergie hydraulique Niveau de l'eau à la Cote 113,5 m : La vanne de production d'énergie hydraulique et la vanne de dévasement sont utilisées Niveau de l'eau à Cote 115 m ou plus : Le déversoir et la vanne de dévasement sont utilisés

Source : Équipe d'Etude de la JICA

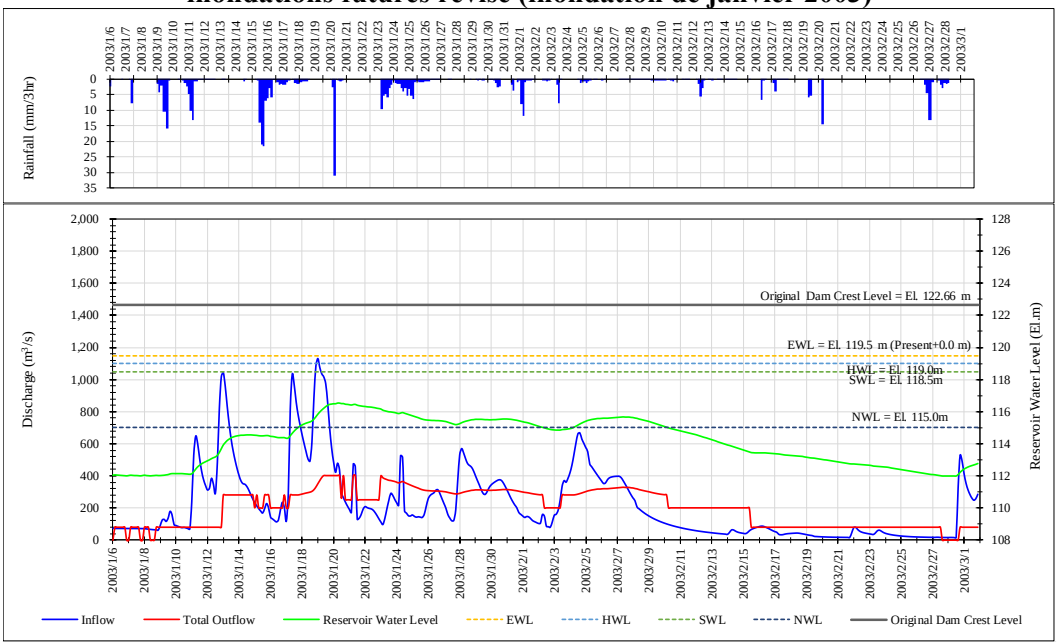
Tableau 7-4 Plan de lutte contre les inondations dans le cadre du plan d'exploitation des inondations futures révisé (inondation de conception)



Peak Inflow (m^3/s)	Peak Outflow (m^3/s)	Outflow at Peak Inflow (m^3/s)	Highest Water Level (El.m)	(Dam Crest Elevation) - (Highest WL) (m)	Regulated Flow (m^3/s)	Flood Control Volume (A) (million m^3)	Flood Control Starting W.L (El.m)	Volume for Flood Control (B) (million m^3)	Rate of Flood Volume for Flood Control A/B (%)
1,185	375	308	116.00	-6.66	877	187.22	112.00	336.9	56%
				OK					

Source : Équipe d'Etude de la JICA

Tableau 7-5 Plan de lutte contre les inondations dans le cadre du plan d'exploitation des inondations futures révisé (inondation de janvier 2003)



Peak Inflow (m^3/s)	Peak Outflow (m^3/s)	Outflow at Peak Inflow (m^3/s)	Highest Water Level (El.m)	(Dam Crest Elevation) - (Highest WL) (m)	Regulated Flow (m^3/s)	Flood Control Volume (A) (million m^3)	Flood Control Starting W.L (El.m)	Volume for Flood Control (B) (million m^3)	Rate of Flood Volume for Flood Control A/B (%)
1,131	400	349	116.51	-6.15	782	216.09	112.00	336.9	64%
				OK					

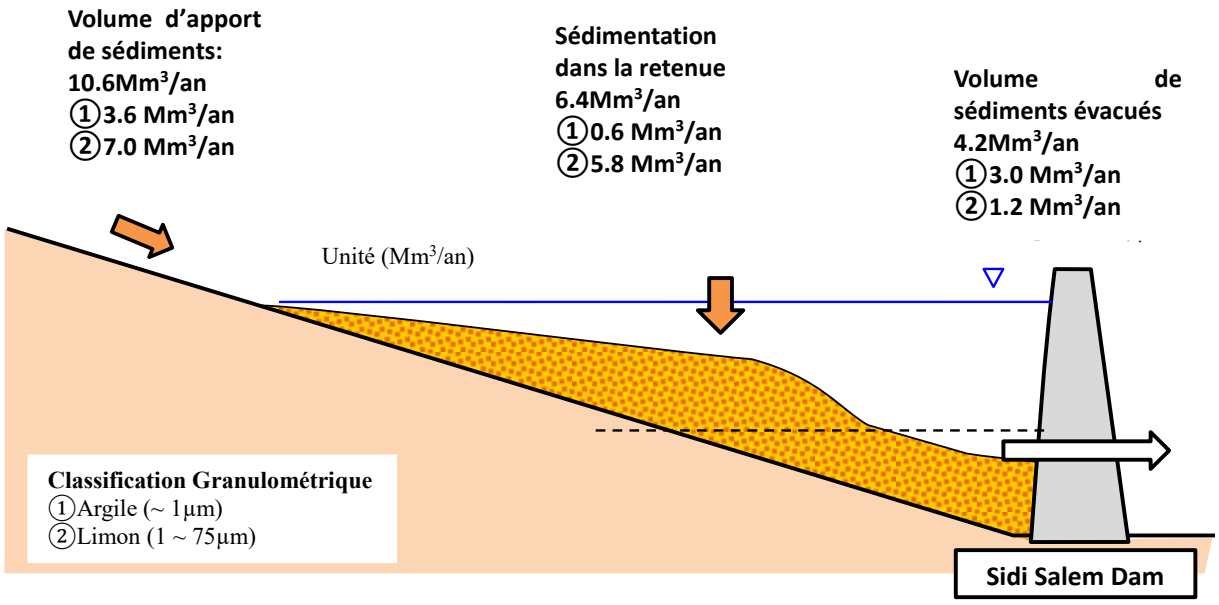
Source : Équipe d'Etude de la JICA

7.2 Politique de base pour la gestion des sédiments dans le barrage de Sidi Salem

7.2.1 Bilan de la sédimentation dans la retenue

Sur la base de la simulation de sédimentation présentée au Chapitre 6, le bilan sédimentaire a été calculé afin d'établir le volume sédimentaire de référence pour les mesures à prendre contre la sédimentation dans la retenue.

Le bilan sédimentaire annuel moyen après 1997, lorsque le fonctionnement du niveau d'eau a été modifié, est illustré dans la Figure 7-10. Le volume de sédiments par zone est indiqué dans le Tableau 7-6. On estime que sur un apport de 10,6 millions de m^3 de sédiments par an, 6,4 millions de m^3 par an (60 %) sont déposés dans la retenue et 4,2 millions de m^3 par an (40 %) sont évacués par le barrage de Sidi Salem.



Source : Équipe d'Etude de la JICA

Figure 7-10 Simulation du bilan sédimentaire du barrage de Sidi Salem (1997 - 2017)

Tableau 7-6 Volumes de sédiments avec classification des matériaux par zone (1997 - 2017)

Matière/ Zone	F	E	D	B+C	A	Total
① Argile	0.02	0.03	0.04	0.29	0.17	0.6
② Limon	0.77	0.72	1.09	2.78	0.63	6.0
Total	0.80	0.75	1.13	3.07	0.80	6.6

Source : Équipe d'Etude de la JICA

7.2.2 Selection of Countermeasure for Sedimentation

Les mesures de lutte contre la sédimentation sont choisies en tenant compte de la topographie et des conditions de sédimentation dans le barrage. Les mesures sont classées selon les trois (3) types suivants :

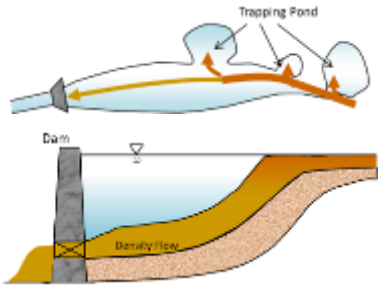
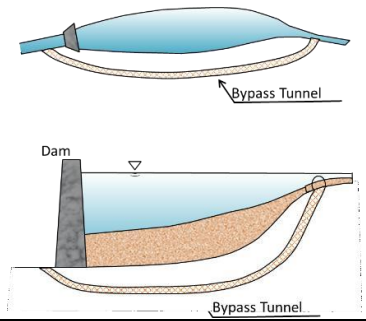
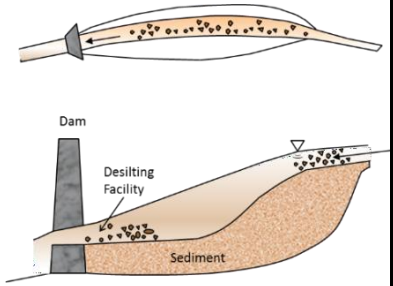
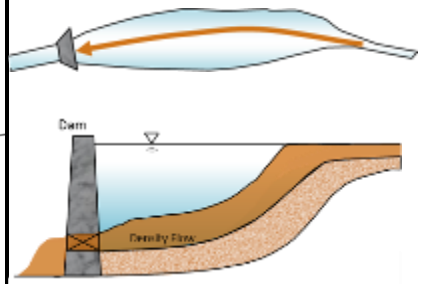
(A) Contre-mesures relatives aux apports en sédiments:	Mesures visant à réduire l'entrée de sédiments dans la retenue
(B) Mesures contre le dépôt de sédiments :	Mesures visant à réduire les dépôts de sédiments dans la retenue
(C) Mesures d'accélération des déversements de sédiments:	Mesures visant à accélérer le déversement de sédiments

Les mesures de lutte contre la sédimentation par type et l'évaluation de leur applicabilité au barrage sont examinées dans les Tableau 7-7 ~Tableau 7-9. Sur la base de la comparaison, les contre-mesures applicables sont résumées dans le Tableau 7-10.

Type	Méthode
(A) Contre-mesures relatives aux apports en sédiments	・Bassin de piégeage des sédiments ・Tunnel de dérivation ・Rinçage de l'eau turbide du courant de densité
(B) Mesures contre le dépôt de sédiments	・Excavation à sec ・Dragage mécanique
(C) Mesures d'accélération du rejet de sédiments	・Déviation dans la retenue ・Contrôle des débits avec des murs rideaux, etc.

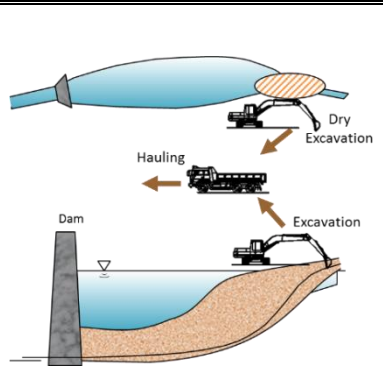
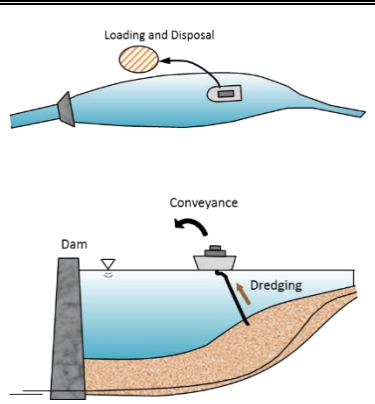
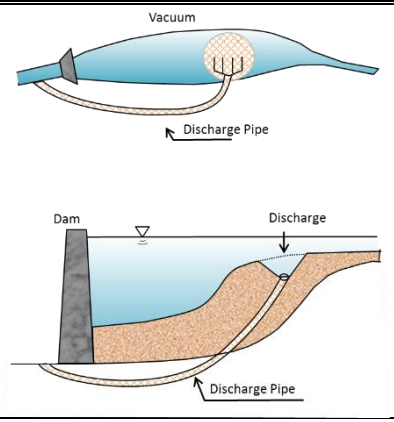
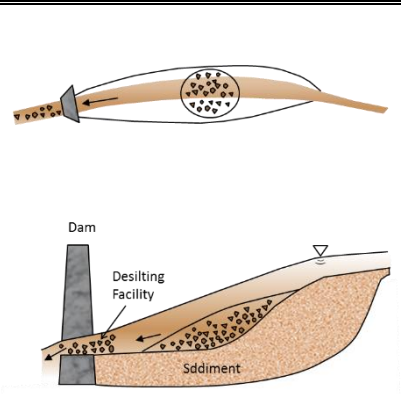
Source : Équipe d'Etude de la JICA

Tableau 7-7 (A) Contre-mesures relatives aux apports en sédiments

Mesures		Bassin de piégeage	Déviation des sédiments	Evacuation	Dévasement/Décanttion
Illustrations					
Résumé		● Les sédiments sont piégés dans un bassin de piégeage situé dans la retenue ou en amont. ● Les sédiments piégés doivent être enlevés périodiquement.	● Les eaux fortement turbides sont contournées et évacuées vers l'aval.	● En abaissant le niveau de l'eau de la retenue pendant la crue, l'eau fortement turbide est évacuée vers l'aval.	● Le débit à haute densité de turbidité est évacué vers l'aval pendant la crue.
sédim※1	Limon/Argile	○APPLICABLE	○APPLICABLE	○APPLICABLE	○APPLICABLE
	Sable	△Modéré			×INAPPLICABLE
	Roche	×INAPPLICABLE			×INAPPLICABLE
Efficacité Économique※2		CI＝Moyen CF=Moyen	CI＝Large CF =Moyen	CI＝Moyen à Large CF =Moyen	CI＝Réduit CF =Réduit
Impact sur l'environnement		● Pas d'impact négatif.	● Il est possible que les contre-mesures affectent l'environnement et l'utilisation de l'eau en aval du barrage.	● Il est possible que les contre-mesures affectent l'environnement et l'utilisation de l'eau en aval du barrage.	● Aucun impact négatif puisque les eaux turbides ne sont évacuées qu'au moment de l'inondation.
Questions		● Il y a un risque que l'effet de piégeage soit faible en raison de la faible vitesse de dépôt du limon et de l'argile.	● Un grand tunnel est nécessaire lorsque la pente du lit du tunnel est faible.	● L'utilisation de l'eau est affectée par la baisse du niveau de la retenue.	● Une structure de vidange est nécessaire.
Applicabilité		○APPLICABLE ● Il existe des endroits appropriés.	○APPLICABLE ～ △MODERE ● De grandes quantités de sédiments peuvent être déversées sans perturber l'utilisation de l'eau.	×INAPPLICABLE ● Non applicable car l'utilisation de l'eau est très importante.	○APPLICABLE ● Il existe une vanne de dévasement.
Évaluation		**○APPLICABLE**	**○APPLICABLE ~ △MODERE**	**×INAPPLICABLE**	**○APPLICABLE**

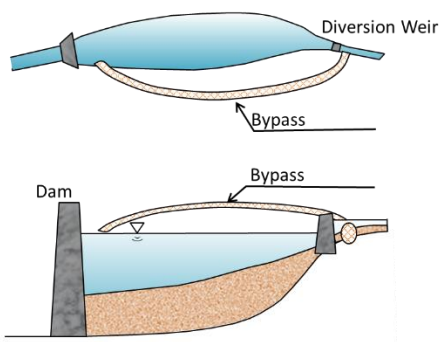
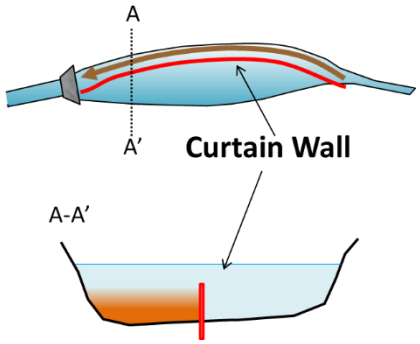
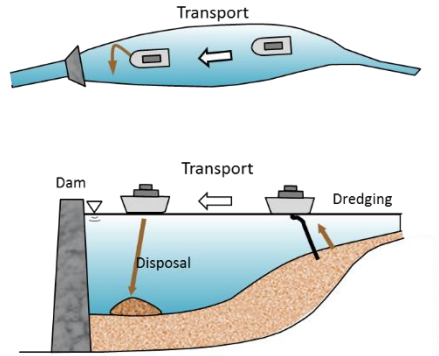
※1 Taille des grains Limon/argile : ~0,075 mm, Sable : 0,075 mm~2,0 mm, Rocher : 2,0 mm~ ※2 CI : Coût initial CF : Coût de fonctionnement, Source : Équipe d'étude de la JICA

Tableau 7-8 (B) Mesures contre le dépôt de sédiments

Mesures		Excavation à Sec	Dragage Mécanique	Aspiration Hydraulique	Evacuation
Illustrations					
Résumé		● Les sédiments situés à faible profondeur sont excavés et enlevés.	● Les sédiments dans la retenue sont dragués et retirés à l'aide de pompes, etc.	● Les sédiments dans la retenue sont aspirés avec une différence de hauteur entre la retenue et les tronçons en aval.	● Les sédiments sont rincés par les eaux de crue. Le niveau d'eau de la retenue est abaissé avant la saison des pluies
Sediment※1	Limon/ Argile	○APPLICABLE	○APPLICABLE	×INAPPLICABLE	○APPLICABLE
	Sable			○APPLICABLE	
	Roche			△MODERE	
Efficacité Économique※2		CI＝Réduit CF=Large	CI＝Moyen CF =Large	CI＝Large CF = Réduit	CI＝Moyen CF = Réduit
Impact sur l'environnement		● Pas d'impact négatif.	● Pas d'impact négatif.	● Il est possible que les contre-mesures affectent l'environnement et l'utilisation de l'eau en aval du barrage.	● Il est possible que les contre-mesures affectent l'environnement et l'utilisation de l'eau en aval du barrage.
Questions		● Un site de dépôt est nécessaire. ● La zone excavée est limitée à une zone peu profonde.	● Un site de dépôt est nécessaire. ● Des pompes de réserve pourraient être nécessaires.	● L'effet peut être limité pour les sols cohésifs puisque l'aspiration est possible autour d'une certaine zone.	● Une installation d'évacuation au fond du barrage est nécessaire. ● L'utilisation de l'eau est affectée par la baisse du niveau.
Applicabilité		○APPLICABLE ● La zone en amont de la retenue devient sèche pendant la saison sèche.	○APPLICABLE ● Les sols cohésifs peuvent être efficacement dragués.	×INAPPLICABLE ● Non applicable puisque le limon et l'argile hautement cohésifs sont dominants.	×INAPPLICABLE ● Non applicable car l'utilisation de l'eau est très importante.
Evaluation		**○APPLICABLE**	**○APPLICABLE**	**×INAPPLICABLE**	**×INAPPLICABLE**

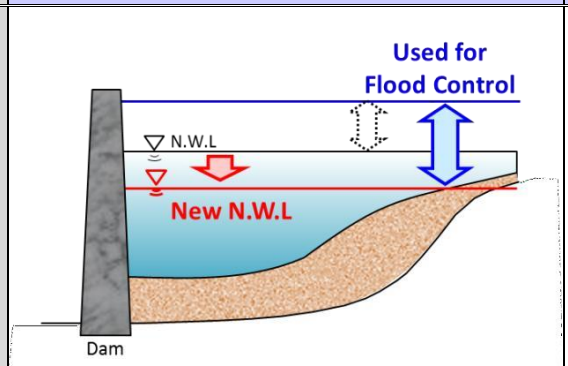
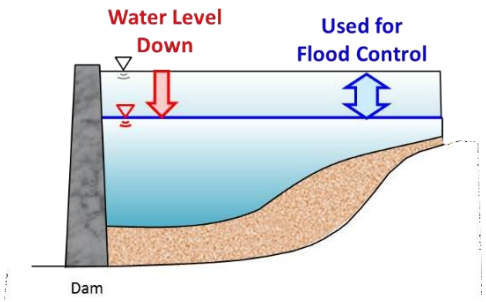
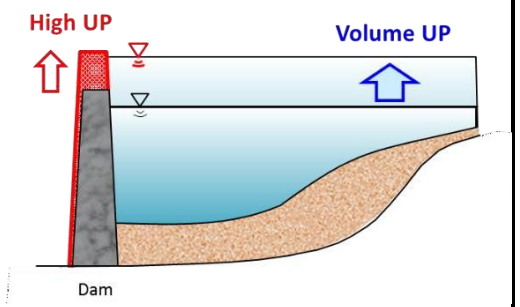
※1 Taille des grains Limon/argile : ~0,075 mm, Sable : 0,075 mm~2,0 mm, Rocher : 2,0 mm~ ※2 CI : Coût initial CF : Coût de fonctionnement, Source : Equipe d'Etude de la JICA

Tableau 7-9 (C) Mesures d'accélération du rejet de sédiments

Mesures		Dérivation dans la retenue	Contrôle Débit	Acheminement dans la retenue
Illustrations				
Résumé		● Grâce à un déversoir et à un tunnel de dérivation, les eaux turbides sont dérivées vers l'aval du barrage afin d'atténuer la sédimentation dans les tronçons intermédiaires de la retenue..	● Un mur rideau dans la retenue permet de limiter la propagation des eaux turbides. Les sédiments atteignent facilement le site du barrage.	● Les sédiments dragués sont transportés et déposés dans la zone de la retenue située près du barrage. Cela accélérera le dévasement par la vanne de dévasement existante.
Sediment※1	Limon/ Argile	○APPLICABLE	○APPLICABLE	○APPLICABLE
	Sable	×INAPPLICABLE	×INAPPLICABLE	
	Roche	×INAPPLICABLE	×INAPPLICABLE	
Efficacité Économique※2		IC＝Large CF=Réduit	IC＝Moyen CF =Réduit	CI＝Moyen CF =Large
Impact sur l'environnement		● Pas d'impact négatif	● Pas d'impact négatif	● Pas d'impact négatif
Questions		● Un déversoir de dérivation est nécessaire. ● Il y a un risque de sédimentation à l'intérieur du tunnel de dérivation.	● Le mur-rideau doit être placé de manière à ce que l'eau turbide soit efficacement guidée vers la zone A	● Les sols cohésifs peuvent ne pas être évacués efficacement.
Applicabilité		△MODERE ● La différence de niveau d'eau (pression de l'eau) entre l'entrée et la sortie du tunnel peut ne pas être suffisante pour transporter le volume de sédiments déversés comme il se doit.	○APPLICABLE ● La vanne de dévasement existe au fond du barrage.	×INAPPLICABLE ● Non applicable puisque le limon et l'argile sont dominants.
Evaluation		**△MODERE-～○APPLICABLE**	**○APPLICABLE**	**×INAPPLICABLE**

※1 Taille des grains Limon/argile : ~0,075 mm, Sable : 0,075 mm~2,0 mm, Rocher : 2,0 mm~ ※2 CI : Coût initial CF : Coût de fonctionnement, Source : Équipe d'Etude de la JICA

Tableau 7-10 Mesures visant à accroître la capacité de lutte contre les inondations

Mesures	Examen des capacités de la retenue	Evacuation préalable	Renforcement des barrages
Illustrations			
Résumé	● La capacité de contrôle des inondations est augmentée en remplaçant la capacité d'utilisation de l'eau.	● L'eau des barrages est évacuée avant les inondations. Une partie de la capacité d'utilisation de l'eau est évacuée pour la lutte contre les inondations.	● Augmenter la capacité de contrôle des inondations par la surélévation des barrages,
Efficacité Économique ※2	CI=Rien. CF =Rien.	CI =Rien CF =Rien	CI＝Large CF = Rien
Impact sur l'environnement	● Pas d'impact négatif.	● Nécessité d'évacuer l'eau avant l'inondation et mise en garde des utilisateurs de l'oued en aval du barrage	● Il peut y avoir un certain impact sur l'environnement en raison de l'augmentation de la surface d'eau de la retenue
Questions	● Elle n'est applicable que lorsque la capacité d'utilisation de l'eau est abondante. ● La répartition du droit à l'eau entre les parties prenantes doit être discutée.	● Une prévision précise des débits entrants est nécessaire pour récupérer la capacité d'utilisation de l'eau. ● La responsabilité de l'administrateur est grande lorsqu'il prend la décision.	● Un coût initial important est nécessaire. ● La relocalisation ou la rénovation d'installations ou de bâtiments existants sont nécessaires. ● Le plan de lutte contre les inondations doit être revu/révisé.

※1 Taille des grains Limon/argile : ~0,075 mm, Sable : 0,075 mm~2,0 mm, Rocher : 2,0 mm~ ※2 CI : Coût initial CF : Coût de fonctionnement, Source : Équipe d'Etude de la JICA

7.2.3 Politique de base pour le plan de gestion des sédiments

1) Objectifs du plan de gestion des sédiments

Sur la base de la situation actuelle de la sédimentation, les objectifs des mesures de lutte contre sédimentation pour le barrage de Sidi Salem sont résumés dans le Tableau 7-11.

- En ce qui concerne la capacité de contrôle des inondations, 6 % de la capacité a été perdue. La fonction de contrôle des inondations au moment d'une inondation à grande échelle serait affectée. Cependant, le fonctionnement actuel du barrage fait que le niveau d'eau est inférieur à celui du niveau normal de l'eau pendant les saisons des inondations, et la capacité de contrôle des inondations (205 Mm^3) a été assurée. Pour l'instant, l'objectif serait de maintenir la situation actuelle. En outre, la vanne de a été enterrée de 7 m, et il y a un risque que la porte ne puisse pas être actionnée. Il est également nécessaire de rétablir la fonction de l'installation d'évacuation des sédiments.
- Environ 20 % de la capacité d'utilisation de l'eau a été perdue en raison de la sédimentation, alors que la capacité actuelle d'approvisionnement en eau (592 Mm^3) est suffisante pour fournir le volume requis actuellement. Pour l'instant, l'objectif serait de contrôler l'accumulation de sédiments entrants pour maintenir la capacité d'utilisation de l'eau actuelle. La restauration de la capacité d'utilisation de l'eau sera l'objectif pour le futur.
- En ce qui concerne les autres problèmes, la vanne de désensablement est enterrée à environ 7,0 m de profondeur et pourrait être bloquée à tout moment. Les objectifs immédiats sont de restaurer la fonction de l'installation de vidange et de réduire le risque d'inondation dans la zone urbaine en amont en raison du remous du sable.

Tableau 7-11 Objectifs du plan de gestion des sédiments

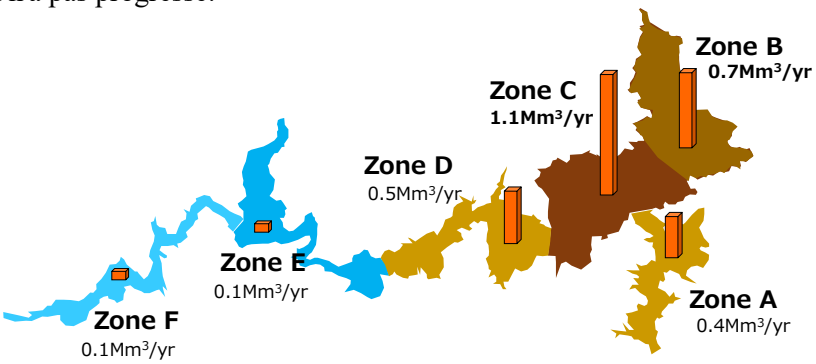
Objectif	Volume actuel (Plan)	Volume actuel des sédiments	Objectif à court terme	Objectif futur
Lutte contre les inondations	194 Mm^3 (205 Mm^3)	11 Mm^3 (6 % en baisse)	▪ Maîtriser le dépôt des sédiments entrants ▪ Réhabilitation des installations d'évacuation des eaux de crue	Restauration des capacités de contrôle des inondations et d'utilisation de l'eau
Utilisation de l'eau	592Mm^3 (772 Mm^3)	181 Mm^3 (23 % en baisse)		
Autre	-	-	- Restauration de la fonction des installations de vidange. -Réduction des risques d'inondation dus au remous du sable.	

Source : Equipe d'Etude de la JICA

Sur la base de la discussion ci-dessus, le plan de gestion des sédiments du barrage de Sidi Salem sera mis en œuvre en se concentrant sur des "contre-mesures immédiates pour un objectif à court terme" avec une grande urgence. Comme sédiment de référence, on prend le volume moyen de sédiments de 6,4 millions de m^3/an au cours des 20 dernières années à partir de 1997. En 1997, les consignes d'exploitation de la retenue ont été modifiées.

2) Perspectives de l'avancement futur de la sédimentation dans la retenue

Afin de définir la stratégie de base des contre-mesures, le taux de sédimentation dans chaque zone du barrage a été étudié avec une simulation de la sédimentation future. Il est clair qu'au barrage de Sidi Salem, la sédimentation progressera de manière significative dans les zones B, C et D.
La plupart des sédiments entrants passent par les zones E et F car la sédimentation a déjà progressé dans ces zones et la profondeur de l'eau est faible. La plupart des sédiments entrants atteignent la zone D, où la sédimentation n'a pas progressé.



Note : Le diagramme à barres indique le taux de sédimentation futur

Source : Equipe d'Etude de la JICA

Figure 7-11 Taux de sédimentation dans chaque zone d'après la simulation des sédiments

3) Politiques de base pour les contre-mesures basées sur l'avancement futur de la sédimentation

Les politiques de base suivantes pour le plan de gestion des sédiments ont été établies sur la base de l'avancement futur de la sédimentation par zone mentionnés ci-dessus.

- Contrôler la progression du dépôt de sédiments dans la zone D
- Contrôler la diffusion des sédiments dans les zones B et C

[Contrôler la progression du dépôt de sédiments dans la zone D]

Actuellement, la plupart des sédiments entrants passent par la zone en amont et s'écoulent dans la zone D puisque la progression de sédimentation se dirige vers la zone E. À l'avenir, si la sédimentation dans la zone D progresse et si les sédiments entrants se déposent dans les zones B et C, la gamme de contre-mesures s'élargira et les travaux d'enlèvement des sédiments seront difficiles. Il convient donc d'empêcher la progression de la sédimentation dans la zone D, où la topographie est relativement étroite et où il est relativement facile de contrôler la sédimentation.

[Contrôle de la diffusion des sédiments dans les zones B et C]

Le but premier est d'empêcher la progression de la sédimentation dans la zone D. Cependant, la quantité de sédiments entrants est énorme et la plupart d'entre eux sont en suspension sous forme de grains fins. Il est pratiquement difficile de stopper son afflux dans les zones B et C. Les mesures sont axées sur le contrôle de la diffusion des grains suspendus à l'intérieur des zones B et C.

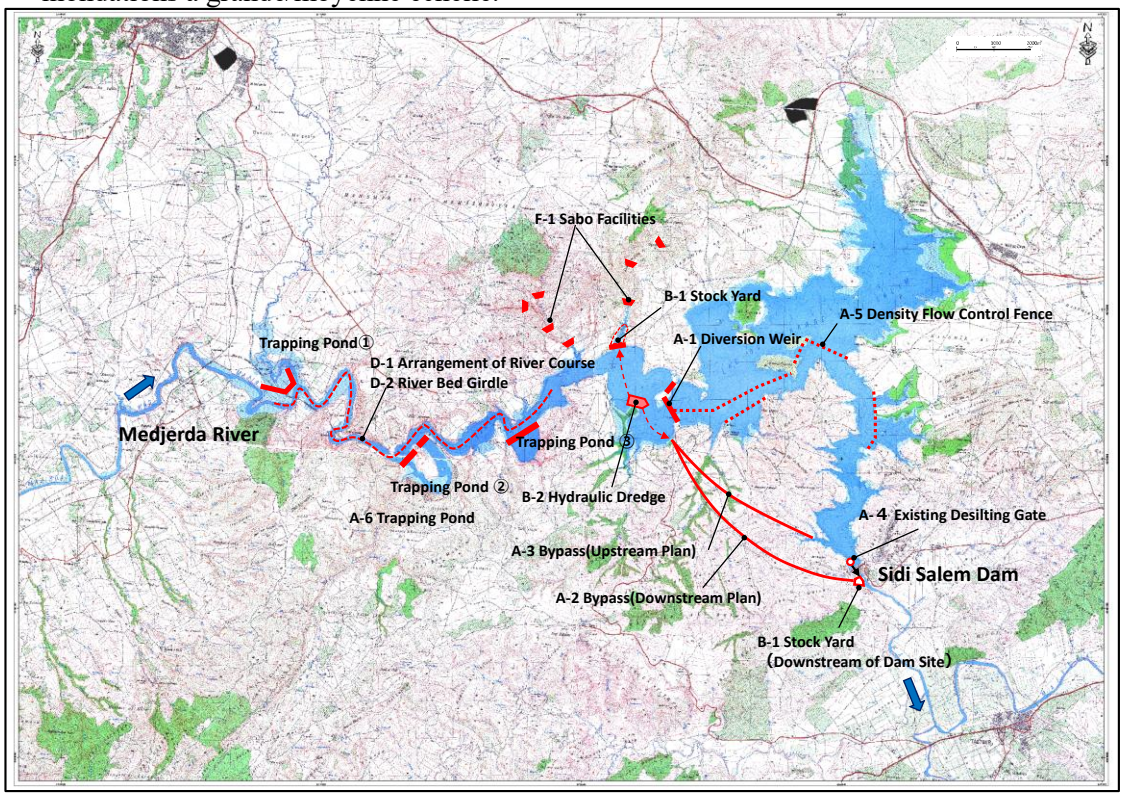
4) Contre-mesures basées sur la politique de base

Sur la base de la stratégie susmentionnée, le résumé des contre-mesures est présenté ci-dessous. Il s'agit de la combinaison des alternatives examinées au point Figure 7-12.

- Diverses contre-mesures (contournement des sédiments, clôture de contrôle du courant de densité, bassin de piégeage des sédiments, utilisation des vannes existantes et dragage) seraient appliquées à chaque site en fonction des caractéristiques topographiques.
- En particulier, si une dérivation de sédiments est installée dans la zone D, il est possible qu'une grande quantité de sédiments entrants lors de crues à grande échelle puisse être déchargée en

aval du barrage avant de se diffuser dans les zones B et C.

- Pour les inondations de petite et moyenne ampleur, des installations de contrôle du débit, telles que des murs-rideaux, seraient installées dans la zone C pour guider les sédiments entrants dans la zone A.
- La sédimentation guidée vers la zone A doit être évacuée vers l'aval du barrage en actionnant correctement la vanne de chasse des sédiments existante. Actuellement, cette porte est enfouie sous les sédiments. La zone autour de l'installation doit être draguée pour restaurer sa fonction.
- La simulation montre qu'il est important de contrôler le courant de sédiments lors des inondations à grande/moyenne échelle.



Source : Équipe d'Etude de la JICA

Figure 7-12 Illustration des mesures de lutte contre la sédimentation dans le barrage de Sidi Salem

7.3 Examen des mesures visant à réduire l'entrée de sédiments

La fonction, l'emplacement et les méthodes d'exploitation des installations destinées à réduire les apports de sédiments sont examinés.

7.3.1 Déversoir de dérivation

(1) Concept de base

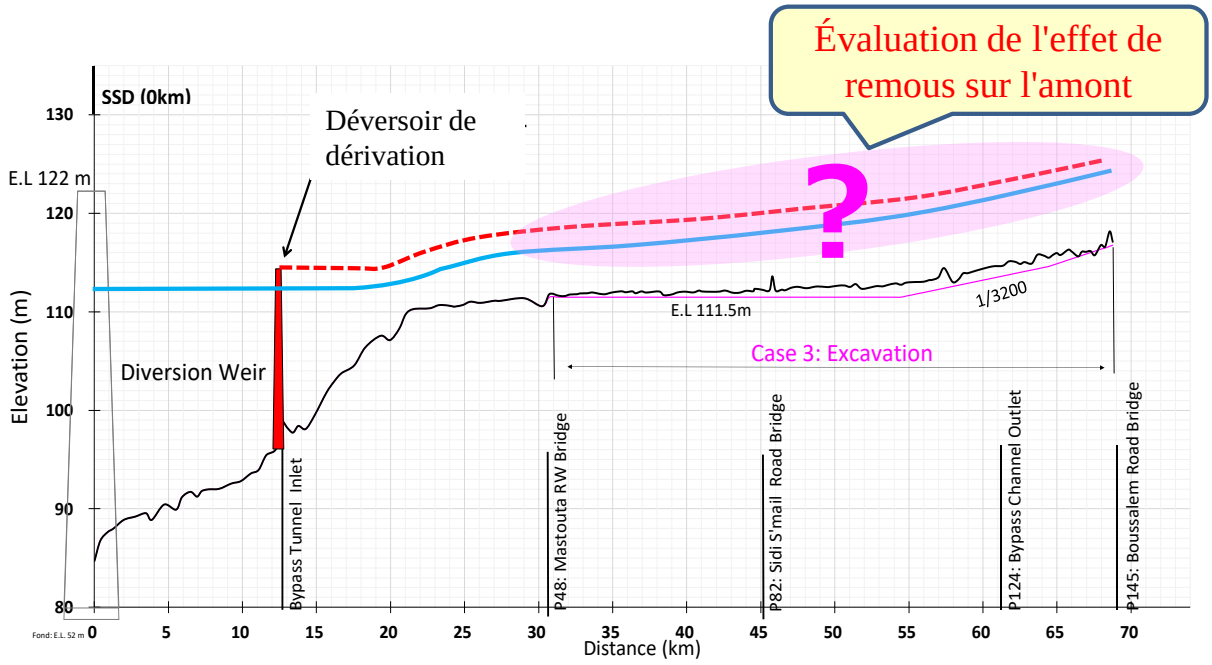
Le tunnel de dérivation des sédiments est l'une des installations importantes pour "contrôler la progression sédimentaires de la zone D". Le contrôle de la progression des deltas sédimentaires dans la zone D est l'une des stratégies de base. Afin d'évacuer les sédiments par la dérivation de manière stable, un déversoir sera installé pour contrôler le niveau de l'eau à l'entrée du dérivateur des sédiments.
Le déversoir de dérivation a pour fonction de capturer les sédiments entrants. En installant le déversoir, la partie amont du déversoir serait considérée comme la principale zone de contrôle des sédiments.

(2) Emplacement et hauteur

Le déversoir est installé dans la zone D. Sa section transversale doit être aussi courte que possible. L'élévation de la crête du déversoir doit être telle que le retour de l'eau n'affecte pas les parties amont de la retenue. Le niveau de la crête doit être inférieur au niveau d'eau normal actuel à la cote EL.115 m.

(3) Évaluation de l'impact du remous du déversoir de dérivation

Étant donné que l'installation d'un déversoir de dérivation peut entraîner l'influence du remous dû à la structure, le remous du déversoir de dérivation a été calculé par une analyse unidimensionnelle d'écoulement inégal. Les résultats de l'analyse sont présentés pour le cas d'une élévation supérieure de EL.114 m au niveau de la section de débordement, qui a été déterminée comme l'échelle optimale du tunnel de dérivation des sédiments et du déversoir de dérivation qui sera décrit plus tard.



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 7-13 Analyse de l'impact des eaux de remous du déversoir de dérivation

(4) Conditions de calcul

Les cas de calcul pour le traitement des débits inégaux sont présentés ci-dessous.

Tableau 7-12 Cas de calcul pour le calcul du remous

Eléments	Cas	Conditions		
Condition du débit d'écoulement	2	1 380 m ^{3}/s 1/10	1 780 m ^{3}/s 1/10	-
Condition de Topographie	2	Actuel	Excavé	-
État des installations	2	avec Déversoir de dérivation	sans Déversoir de dérivation	-
Niveau d'eau de départ	3	EL.112 m (Niveau d'inondation)	EL.115 m(Niveau d'eau normal)	EL.112 m(Niveau d'eau de départ)
Hauteur du lit du déversoir (déversoir de dérivation)	1	EL.114 m	-	-

Source: Equipe d'Etude de la JICA

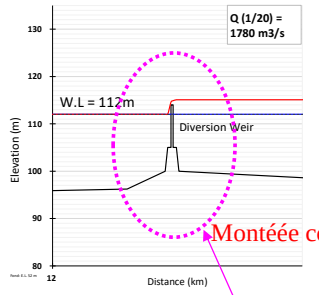
(5) Résultats des calculs

Les résultats des calculs de débit non uniforme sont présentés à la Tableau 7-13 et à la Tableau 7-14. Les résultats sont décrits comme suit.

- Dans le cas où le niveau d'eau de départ sur le site du barrage est le niveau de crue (EL.112 m), le rehaussement du déversoir se produit dans la zone amont du déversoir de dérivation. Cependant, la distance était de 10 km au maximum en amont du déversoir de dérivation (au confluent de oued Beja), ce qui était bien dans les limites de la retenue.
- Dans le cas où le niveau d'eau de départ était le niveau de crue le plus élevé de la retenue (EL.118.5 m), le déversoir de dérivation était complètement submergé. Même lors d'une crue de probabilité de 20 ans, il n'y a pas d'élévation du niveau d'eau due au déversoir en amont du déversoir de dérivation.

Les résultats des calculs pour toutes les combinaisons et l'impact de l'élévation du niveau d'eau ont été confirmés et il a été précisé **que l'impact ne se produirait pas dans tous les cas** (Tableau 7-15).

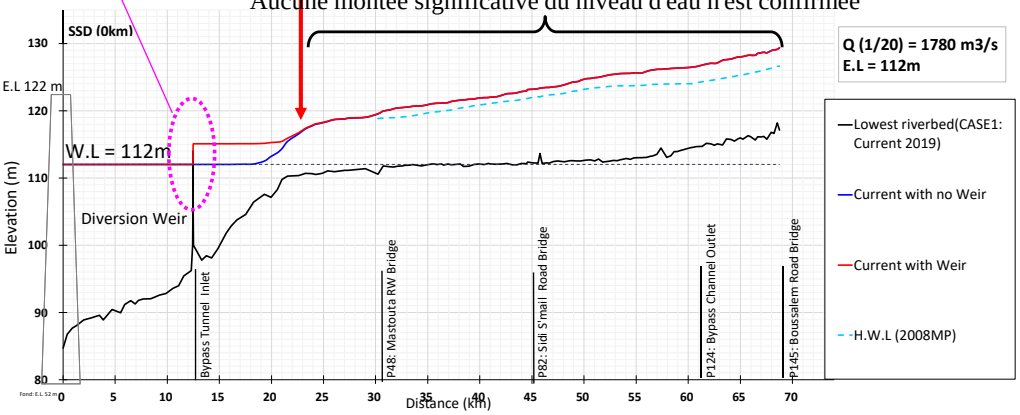
Tableau 7-13 Résultats du calcul du remous (partie 1)

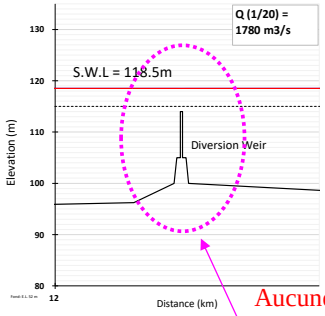


Articles	Les conditions	
Période de retour du rejet	1780m^3/s 1/20	
Conditions lit oued	Actuel (cas1)	
Construction	Sans déversoir de dérivation	Déversoir de dérivatio
Niveau d'eau	112m	

Montéée confirmés jusqu'à 10km du déversoir de déviation
（confluent de oued Béja）

Aucune montée significative du niveau d'eau n'est confirmée





Articles	Conditions	
Période de retour du rejet	1780m^3/s 1/20	
Conditions lit oued	Actuel (cas1)	
Construction	Sans déversoir de dérivation	Déversoir de dérivatio
Niveau d'eau	CMU 118.5m	

Aucune montée significative du niveau d'eau n'est confirmée

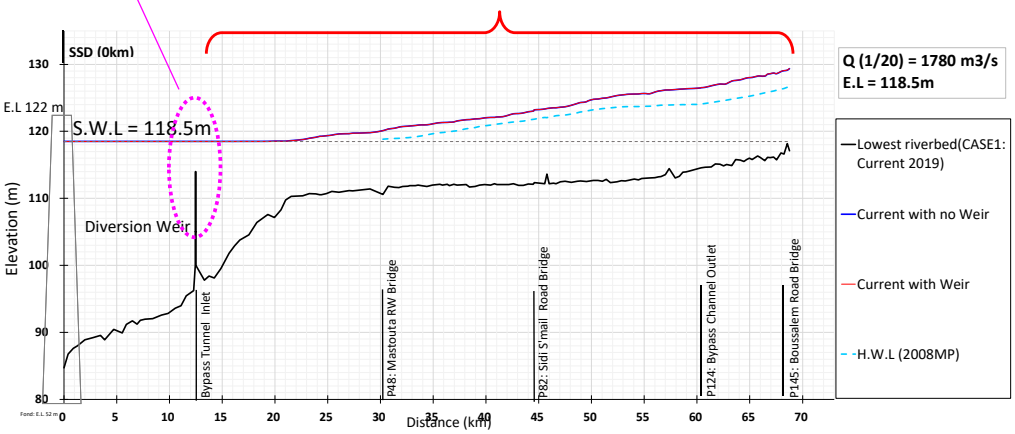
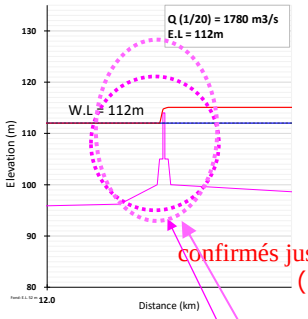


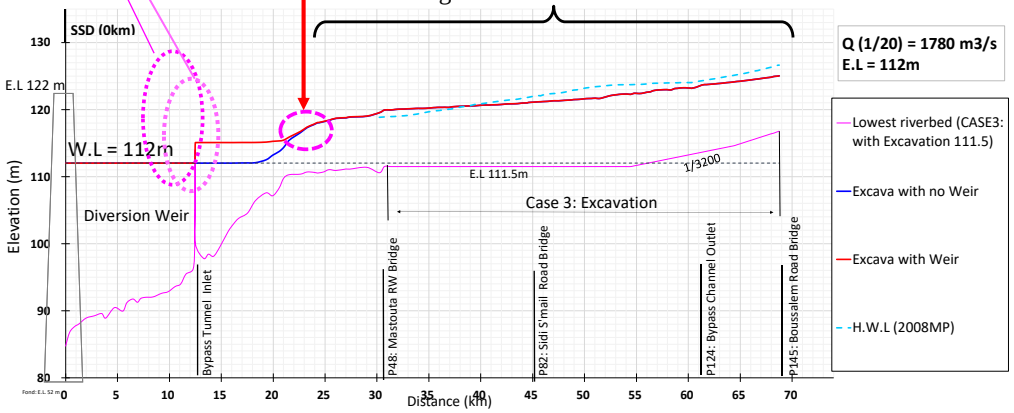
Tableau 7-14 Résultats du calcul du remous (partie 2)

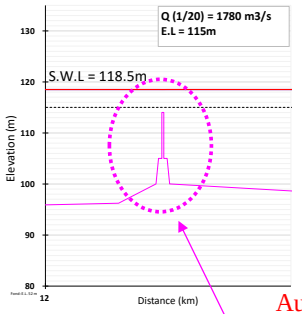


Articles	Les conditions	
Période de retour du rejet	1780m^3/s 1/20	
Conditions lit oued	Excavtions (Cas3)	
Construction	Sans déversoir de dérivation	Déversoir de dérivatio
Niveau d'eau	112m	

confirmés jusqu'à 10km du déversoir de déviation
（confluent de oued Béja）

Aucune montée significative du niveau d'eau n'est confirmée





Articles	Les conditions	
Période de retour du rejet	1780m^3/s 1/20	
Conditions lit oued	Excavations (Cas3)	
Construction	nonfil de déviation	fil de déviation
Niveau d'eau	118.5m	

Aucune montée significative du niveau d'eau n'est confirmée

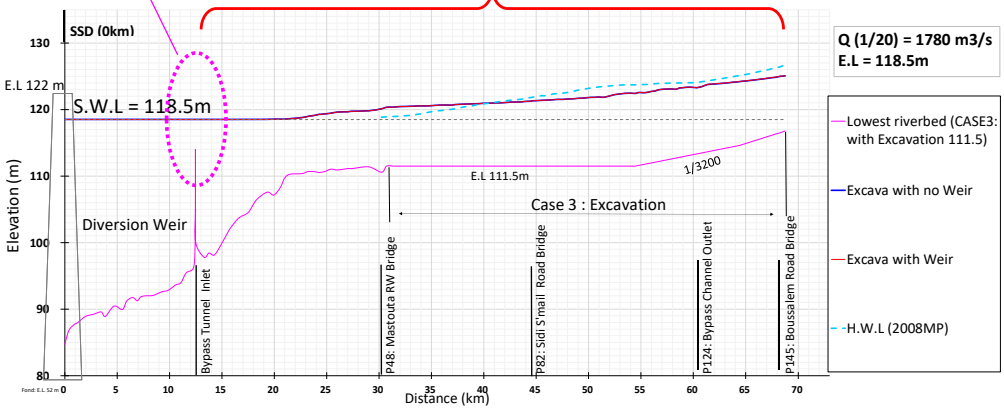


Tableau 7-15 Évaluation de l'impact des résultats du remous de l'eau

Conditions de calcul				Résultats
Échelle de décharge de débit	Niveau d'eau de départ	Canal de la rivière Terrain	Facilité de mesures	
1 380 m^3/s 1/10	EL.112 m	Courant	Déversoir de dérivation	Aucun impact sur les zones en amont Montée du niveau d'eau dans le tronçon 10 km en amont du seuil de dérivation
	EL.115 m			Aucun impact sur les zones en amont Montée du niveau d'eau dans le tronçon 10 km en amont du seuil de dérivation
	EL.118.5 m			Aucun impact sur les zones en amont
	EL.112 m	Fouillé	Déversoir de dérivation	Aucun impact sur les zones en amont Montée du niveau d'eau dans le tronçon 10 km en amont du seuil de dérivation
	EL.115 m			Aucun impact sur les zones en amont Montée du niveau d'eau dans le tronçon 10 km en amont du seuil de dérivation
	EL.118.5 m			Aucun impact sur les zones en amont
1 780 m^3/s 1/10	EL.112 m	Courant	Déversoir de dérivation	Aucun impact sur les zones en amont Montée du niveau d'eau dans le tronçon 10 km en amont du seuil de dérivation
	EL.115 m			Aucun impact sur les zones en amont Montée du niveau d'eau dans le tronçon 10 km en amont du seuil de dérivation
	EL.118.5 m			Aucun impact sur les zones en amont
	EL.112 m	Fouillé	Déversoir de dérivation	Aucun impact sur les zones en amont Montée du niveau d'eau dans le tronçon 10 km en amont du seuil de dérivation
	EL.115 m			Aucun impact sur les zones en amont Montée du niveau d'eau dans le tronçon 10 km en amont du seuil de dérivation
	EL.118.5 m			Aucun impact sur les zones en amont

7.3.2 Etude de la vanne pour le déversoir de dérivation

(1) Objectif et nécessité

Le déversoir de dérivation est une installation conçue pour "contrôler le niveau d'eau à l'entrée du tunnel de dérivation des sédiments" et "capturer les sédiments entrants" pendant les crues. Dans des conditions normales, l'existence du déversoir entraîne le stockage d'une certaine quantité des apports d'eau, et il est donc possible que les apports d'eau du barrage ne soient pas entièrement utilisés.

En guise de contre-mesure, une installation à vanne sera installée dans une partie du déversoir de dérivation pour permettre à l'eau de s'écouler à travers elle. Cette vanne permettra à la capacité de stockage de l'eau en amont du déversoir d'être utilisée comme capacité utile dans des conditions normales.

(2) Examen de l'emplacement de l'installation à vanne

L'installation à vanne déverse le débit entrant normal vers l'aval du déversoir de dérivation, de sorte que le débit cible devrait être d'environ 80 m3/s au maximum, en considérant que le débit de départ du tunnel de dérivation des sédiments est de 100 m3/s ou moins.

- L'emplacement de l'installation à vanne devrait être sur la rive droite où la chute est petite ou sur la rive gauche du déversoir où se trouve la partie rocheuse. Les raisons de l'installation sur la rive droite sont les suivantes.
- Si l'installation à vanne est installée au centre du déversoir, la chute maximale entre la sortie de décharge et le sol en aval du déversoir pourrait atteindre 10 m, et il y a un risque que la chute d'eau érode le remblai directement en dessous du déversoir de dérivation.
- Afin d'améliorer l'effet de décharge des sédiments du tunnel de dérivation, le côté de la rive droite du déversoir de dérivation est choisi comme emplacement de l'installation (voir Figure 7 14). Comme l'entrée du tunnel de dérivation est située du côté de la rive droite, l'installation de la section de la vanne du même côté créera un passage d'écoulement normal du côté de l'entrée du tunnel de dérivation. Cela permettra un écoulement régulier de l'eau turbide entrante pendant l'inondation dans le tunnel de drainage.

La taille de la section de la vanne sera de 2 vannes (B10m x H3m x 2) compte tenu de la taille des vannes de barrage existantes sur le site, de la sécurité, de la réparation et de l'inspection, etc.

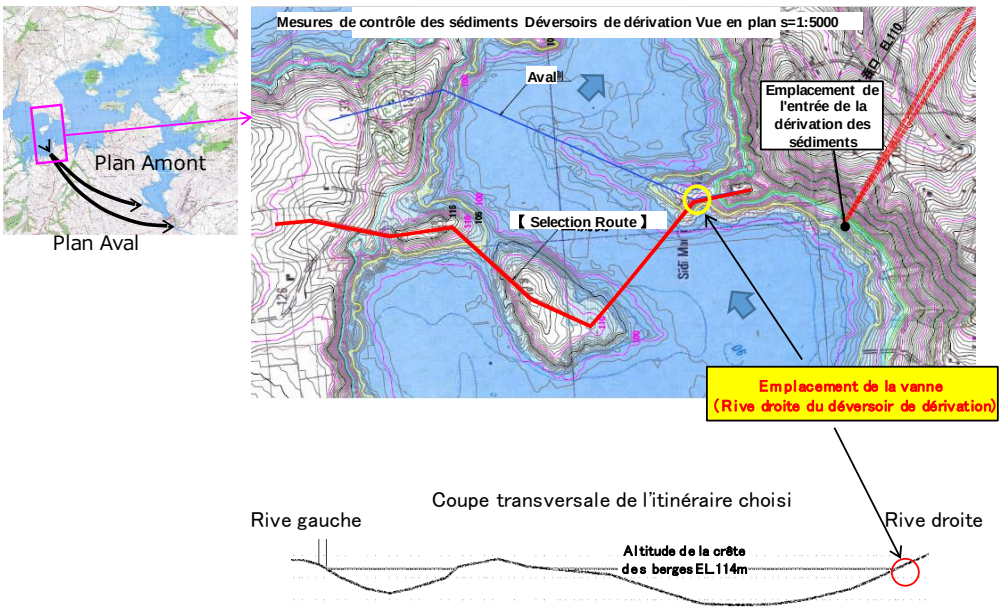


Figure 7-14 Emplacement de l'installation à vanne pour le déversoir de dérivation (proposition)

(3) Sélection du type de la vanne

Pour choisir le type de vanne, il convient de confirmer le but de l'installation et les fonctions hydrauliques requises.

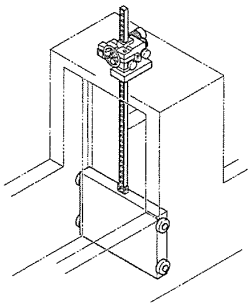
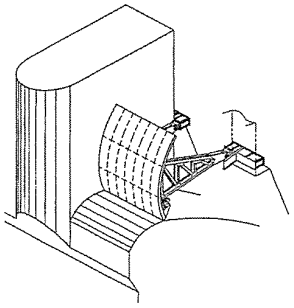
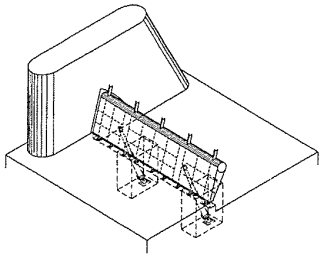
Comme mentionné ci-dessus, le but de l'installation est de décharger l'eau pour l'utiliser en aval du déversoir de dérivation dans des conditions normales. Comme il n'y a pas d'installation de prise d'eau en amont du déversoir dans la retenue, il n'est pas nécessaire de contrôler la décharge de l'eau. La fonction consiste essentiellement à maintenir la vanne entièrement ouverte en temps normal et entièrement fermée uniquement en cas de crue.

Par conséquent, la vanne doit avoir une fonction d'étanchéité. Pour choisir le type de vanne le plus approprié, nous comparons les vannes à rouleaux, les vannes radiales et les vannes à clapet qui sont standard au Japon. Ces types de vannes sont également installées en Tunisie à l'embouchure des barrages et des prises d'eau d'irrigation.

Le tableau 7-16 résume les résultats de la comparaison de trois types de vannes : les vannes à rouleaux, les vannes radiales et les vannes à clapets. Le choix s'est porté sur la vanne à rouleaux, qui présente des avantages par rapport aux autres types de vannes en termes de maintenance, d'utilisation en conditions submergées et de facilité de fonctionnement.

Les conditions topographiques et géologiques détaillées du site n'ont pas été entièrement analysées lors de cette étude. Il est souhaitable de réexaminer le type de vanne au moment de la conception détaillée après ce travail, y compris l'étude géologique, la topographie environnante et le système de gestion de la maintenance.

Tableau 7-16 Choix comparatif du type de vanne (conditions considérées : B10m x H3m x 2 vannes)

	vanne à rouleaux	vanne radiale	vanne à clapets
Illustration du concept			
Charactéristiques	Les rouleaux principaux et les rouleaux de guidage sont fixés aux poutres longitudinales d'extrémité des deux côtés du corps de la vanne. Elle est capable de se déplacer sur les rails à rouleaux dans le passage de la porte et d'effectuer des opérations d'ouverture et de fermeture sous l'action de la pleine pression de l'eau. Elle est utilisée dans une large gamme d'applications, des plus petites aux plus grandes.	Elle tourne autour de la charnière et s'ouvre et se ferme verticalement. La vanne radiale se caractérise par une très faible charge d'ouverture et de fermeture due à la charge hydraulique, car cette dernière est soutenue sur un seul point.	Il existe deux types de charnières, la charnière d'extrémité inférieure et la charnière d'extrémité supérieure, selon la position. En général, la vanne est soutenue par un vérin hydraulique noyé dans le béton de la fondation en aval du corps de la vanne.
Versatilité locale	○ : Adopté dans les installations de prise d'eau d'irrigation, etc.	○ : Cas multiples qui ont été adoptés dans des installations de barrage existantes.	○ : Adopté dans les installations de prise d'eau d'irrigation, etc.
Applicabilité en fonction des dimensions du corps de la vanne	○ : Les dimensions du corps de la vanne sont comprises dans la plage applicable.	× : Non applicable en raison de la faible hauteur de la vanne.	○ : Les dimensions du corps de la vanne sont dans la plage applicable.
Mise en œuvre dans des conditions sous l'eau	○ : Le produit a été utilisé (au Japon) dans des vannes de cours d'eau dans des conditions où les côtés avant et arrière sont submergés.	△ : Aucun exemple d'utilisation au Japon n'a été trouvé dans des environnements où les côtés avant et arrière sont submergés. La charnière, qui est le centre de rotation de la vanne, est généralement placée en l'air.	△ : Le produit a été utilisé (au Japon) dans des déversoirs de débordement de cours d'eau dans des conditions où les côtés frontal et arrière sont submergés.
Facilité	○ : Dans le cas d'une	○ : Il n'y a pas de	○ : Il n'y a pas de

d'utilisation	construction sèche, il n'y a pas de différence significative par rapport aux autres propositions. Cependant, si les piliers de la vanne sont plus hauts, la période de construction peut être plus longue.	différence significative par rapport aux autres propositions en construction sèche.	différence significative par rapport aux autres propositions en construction sèche.
Exploitabilité	○ : Le même modèle que le tunnel de drainage qui permet un fonctionnement uniforme de la vanne.	- : Pas d'avantage particulier.	- : Pas d'avantage particulier.
Maintenance	◎ : Puisque tout le corps de la vanne peut être tiré vers le haut au-dessus de la surface de l'eau, il est facile de l'entretenir dans les conditions de l'aménagement actuel.	△ : Bien que le corps de la vanne puisse être tiré vers le haut, si le niveau d'eau en aval est élevé, la charnière, qui est le centre de rotation du corps de la vanne, sera submergée, de sorte qu'une vanne de rechange est nécessaire pour la maintenance. En outre, il existe des zones où les inspections ne peuvent être effectuées que lorsque le niveau d'eau en aval est bas.	✕ : Comme le corps de la vanne ne peut pas être tiré vers le haut, une vanne de rechange est nécessaire pour l'entretien, et il y a des zones où les inspections ne peuvent être effectuées que lorsque le niveau d'eau en aval est bas.
Efficacité économique	◯ : L'efficacité économique est équivalente à celle des vannes à clapet.	✕ : Non applicable en raison de la faible hauteur de la vanne.	◯ : L'efficacité économique est équivalente à celle des vannes à rouleaux.
Évaluation	◯ : Par rapport aux autres types de vannes, elle présente des avantages en termes d'utilisation dans des conditions immergées, de maintenance et d'opérabilité.	✕ : Bien qu'il existe de nombreux exemples de son utilisation sur le terrain, elle n'est pas réalisable car la taille du corps de la vanneest en dehors de la gamme standard et il n'existe aucun exemple de son utilisation lorsque la vanne est complètement immergée.	△ : Bien qu'il y ait des problèmes en termes de maintenance et de gestion, le niveau de la retenue est souvent bas pendant la saison hors crue. Pour faire face à ce problème, une vanne de rechange peut être installée pour permettre les inspections.

7.3.3 Tunnel de dérivation des sédiments

Du point de vue de la sécurisation des ressources en eau, de l'exploitabilité, des installations existantes, concernant les tracés du tunnel de dérivation des sédiments, il existe deux alternatives : « le contournement de sédiments en aval» qui évacue les sédiments directement en aval du corps du barrage et « le contournement de sédiments en amont », qui évacue les sédiments immédiatement en amont du corps du barrage.

(1) Tunnel de dérivation des sédiments en aval

1) Concept de base

Une grande quantité de sédiments (eaux turbides à forte concentration) qui atteint la zone D est déversée directement en aval du corps du barrage. Cette opération empêche la sédimentation dans les zones B et C. Le moment de l'enlèvement des sédiments est contrôlé par le fonctionnement des vannes.
L'inconvénient de la dérivation des sédiments en aval est que l'eau s'écoule directement vers l'aval du corps du barrage au moment de l'inondation, ce qui entraîne une perte de volume d'eau. Comme la plupart des sédiments entrants sont constitués d'argile et de limon, on suppose que l'érosion sur la surface intérieure du tunnel ne se produira pas.

2) Spécifications de base pour la conception des installations

La spécification de base de l'alternative optimale pour la dérivation des sédiments en aval est présentée comme suit, à la suite d'une simulation de la dérivation des sédiments en utilisant les événements de crue réels.

Point	Spécifications
Débit maximal d'évacuation	200 m^3/s
Élévation à l'entrée du tunnel	EL.112 m
Élévation à la sortie du tunnel	EL.105 m
Niveau d'eau de conception	EL.118,5 m
Rayon de l'intérieur du tunnel	3,4 m (diam. 6,8 m)
Gradient	1/148
Élévation de la crête du déversoir de dérivation	EL.114 m

Source : Equipe d'Etude de la JICA

Le raisonnement est expliqué ci-dessous.

- Plus le débit maximal est important, plus le contrôle des sédiments est efficace. D'autre part, selon le plan de contrôle des inondations, le débit maximal est de 400 m^3/s, dont 100 m^3/s (valeur arrondie de 80 m^3/s) doivent être garantis pour la production d'énergie hydroélectrique. En outre, des eaux turbides peuvent s'écouler par le déversoir, selon l'ampleur des inondations. Il est nécessaire d'évacuer les sédiments au barrage. Par conséquent, 100 m^3/s seront évacués par la vanne de dévasement existante. Par conséquent, le débit maximal attribué à la dérivation de sédiments en aval est de 200 m^3/s.
- La différence de l'hauteur de la crête du déversoir n'affecte pas l'effet d'enlèvement des sédiments, lorsque des inondations à grande échelle se produisent. Dans le cas de petites et moyennes inondations, il y a des cas où son effet est maximisé lorsque l'élévation de la crête est fixée à Cote EL.114 m ou plus. Afin d'éviter l'influence du retour de l'eau vers la zone urbaine en amont (Bou Salem, etc.), elle est fixée à Cote EL.114 m, soit 1,0 m de moins que le niveau normal de l'eau (Cote EL.115 m). Le 1,0 m est la tolérance pour le débordement.
- La dérivation des sédiments est exploitée avec le débit nominal de 200 m^3/s pendant la maîtrise

des crues. Comme cette opération aura une incidence sur la maîtrise des crues, l'élévation du fond de la prise d'eau serait conçue à la cote EL.112 m. À cette altitude, le maximum de débit est evacué au niveau de la cote d'eau maximal de conception (SWL).

(2) Tunnel de contournement des sédiments en amont

1) Concept de base

Les sédiments (eaux turbides à forte concentration) qui atteignent la zone D sont contournés en amont du barrage sans diffusion dans les zones B et C. Les sédiments (eaux turbides) évacués en amont du barrage sont évacués en aval du barrage par la vanne de dévasement existante. L'avantage de ce système est qu'il fonctionne sans aucune exploitation, puisque le contrôle de l'installation est de type naturel. De plus, il n'y a pas de perte d'eau. D'autre part, il y a un risque que des sédiments se déposent pas à l'intérieur du tunnel, puisque la pente du tunnel est relativement douce.

2) Spécifications de base pour la conception des installations

Suite à la simulation du fonctionnement de la dérivation des sédiments en utilisant les événements de crue réels, les spécifications de l'alternative optimale pour le tunnel de contournement des sédiments en amont est présentées comme suit.

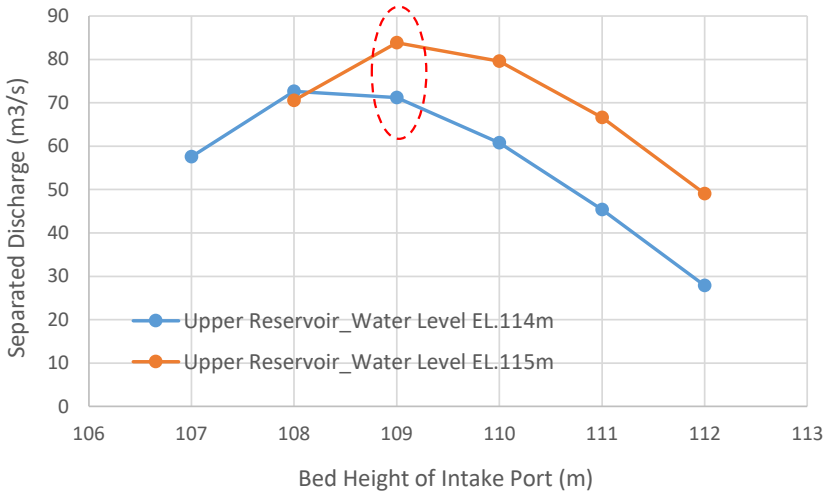
Point	Spécifications
Max. Débit de sortie	80 m^3/s
Élévation à l'entrée du tunnel	Cote 109 m
Élévation à la sortie du tunnel	Cote 105 m
Conception du niveau d'eau	Cote 118,5 m
Rayon du tunnel intérieur	3,4 m (6,8 m de diamètre)
Gradient	1/1,150
Élévation de la crête du déversoir de dérivation	Cote 114 m

Source : Equipe d'Etude de la JICA

Le raisonnement est expliqué ci-dessous.

- En tant que débit maximal du tunnel, 400 m^3/s est la valeur la plus idéale du point de vue de l'effet de transport des sédiments. Toutefois, du point de vue de l'effet économique, on adopte 80 m^3/s, car il s'agit du débit maximal pour le débit d'un canal ouvert dans un tunnel d'un rayon de 3,5 m.
- L'élévation du niveau de l'entrée du contournement est déterminée de manière à ce que le débit puisse être dévié le plus efficacement possible autour du niveau d'eau total du déversoir de dérivation. L'élévation de 109 m est déterminée comme étant celle qui maximise le débit du tunnel lorsque le niveau d'eau du bassin supérieur est de 114-115 m.
- Afin d'augmenter le débit dans le tunnel de contournement, il est souhaitable que l'élévation de la sortie soit aussi faible que possible. En revanche, si elle est trop basse, elle sera immergée dans l'eau au stade initial. Il en résulte un écoulement dans la canalisation, ce qui réduit la capacité d'écoulement. Par conséquent, l'élévation de la sortie est conçue à 105 m, ce qui est plus élevé que le lit de l'affluent à la sortie. Cela permet de sécuriser le débit du canal ouvert en cas d'inondation.
- L'élévation de la crête du déversoir de dérivation doit être conçue de manière à ce que l'eau turbide soit déviée vers le tunnel, tout en réduisant au minimum le débordement de l'eau. En même temps, il faut éviter l'influence du retour de l'eau vers la zone urbaine en amont (Bou Salem.etc.). En conséquence, il est fixé à Cote 114 m, soit 1,0 m de moins que le nouveau niveau de l'eau (Cote 115 m). La différence de 1,0 m constitue la tolérance de débordement.

La relation entre la hauteur d'entrée du tunnel de contournement et l'évacuation de la dérivation est illustrée à la Figure 7-15.



Source : Équipe d'Etude de la JICA

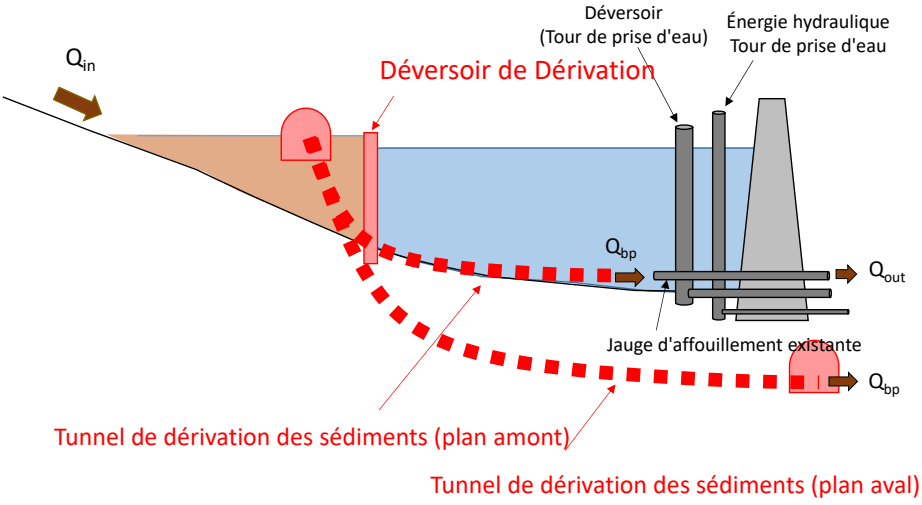
Figure 7-15 Relation entre l'élévation de l'entrée du tunnel de contournement et le débit de dérivation

(3) Étude comparative sur les effets des tunnels de dérivation des sédiments

Des simulations opérationnelles ont été réalisées pour comparer et évaluer l'efficacité des tunnels de dérivation des sédiments proposés en amont et en aval dans l'étude de conception. La Figure 7-16 montre le schéma de l'ouvrage.

Le concept de base du fonctionnement de l'ouvrage est le suivant.

- Le déversoir de dérivation retiendra les sédiments entrants (eaux turbides à forte concentration) et les empêchera de se répandre dans les zones B et C.
- Les eaux turbides retenues seront transportées et déversées en aval par un tunnel de dérivation. Le plan en aval consiste à évacuer l'eau turbide directement en aval, tandis que le plan en amont consiste à évacuer l'eau turbide avec l'ouvrage de vidange de sable existant.
- Deux plans seront comparés : l'un pour évacuer l'eau en aval du barrage et l'autre pour contourner la retenue.



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 7-16 Opération de déversement des sédiments dans le tunnel de dérivation des sédiments

1) Conditions de calcul

- Afin de déterminer la taille du tunnel de dérivation des sédiments, un calcul de l'opération de dérivation a été effectué à l'aide d'un modèle d'équilibre des sédiments et de l'eau.
- Trois cas, l'installation actuelle et un nouveau ouvrage de dérivation (en amont ou en aval du barrage), ont été examinés pour comparer l'effet de la réduction des sédiments en modifiant le débit maximal.
- Plus la hauteur du déversoir de dérivation est élevée, plus les sédiments peuvent être transportés en aval. Cependant, la hauteur a été fixée à 1m (EL.114 m) en raison du risque accru d'inondation dans la zone urbaine en amont à cause de l'effet de remous.

Tableau 7-17 Conditions de calcul des effets de la dérivation des sédiments

Cas		(Ouvrage) Tunnel de dérivation des sédiments		(Ouvrage) Déversoir de dérivation	Déversoir* (Existant)	(Existant) Vanne de désensablement
		Déversement Maximum	Emplacement Sortie	Hauteur de crête		
Cas 1	Actuel	-		-	Actuel	Actuel
Cas 2	Dérivation des sédiments	100-300	En aval du barrage	EL. 114 m	Actuel	Changer fonctionnement
Cas 3	Dérivation des sédiments	100-200	En amont du barrage	EL. 114 m	Actuel	Actuel

Source: Equipe d'Etude de la JICA *évacuateur: type evacuateur en puits

2) Définition des règles de fonctionnement de base

Pour le tunnel de dérivation prévu en aval, le moment du fonctionnement de chaque vanne doit être fixé à l'avance. Étant donné que la dérivation des sédiments fonctionnera pendant la période de crue, les opérations de base pour le tunnel de dérivation (plan en aval), la vanne de la production d'énergie et la vanne de désensablement existante ont également été établies.

(a) Règles de base d'exploitation du tunnel de dérivation (plan aval) (projet)

Le projet des règles d'exploitation du tunnel de dérivation (plan aval) est décrit ci-dessous.

- Compte tenu de l'importance de l'utilisation de l'eau, le stockage de la capacité d'utilisation de l'eau est prioritaire lorsque le niveau de stockage de l'eau au début de la phase de crue est inférieur au niveau dedécharge préliminaire (EL.112 m). D'autre part, une fois que le niveau de stockage atteint EL.112 m, l'exploitation du tunnel de dérivation sera lancée.
- Lorsque le débit entrant pendant une crue atteint 100 m^3/s ou plus, les opérations de décharge de sable sont lancées. (*Un débit entrant inférieur à 100 m^3/s est d'une grande importance pour l'utilisation de l'eau).
- Même avec l'ouvrage du tunnel de dérivation, il n'y aura pas plus d'eau utilisée que celle rejetée par les opérations actuelles.
- Pour que le fonctionnement reste simple, il n'y a que deux façons d'actionner la vanne : complètement ouverte (au début) et complètement fermée (à la fin).

(b) Règles de base d'exploitation des ouvrages de décharge existantes (projet)

Le projet de règles opérationnelles pour les ouvrages de décharge existantes est décrit ci-dessous.

- Le volume de décharge (degré d'ouverture de la vanne) sera ajusté de manière à ce que le débit total des ouvrages de décharge existantes (ouvrage de prise d'eau pour la production d'électricité et vanne de désensablement) et du tunnel de dérivation des sédiments soit inférieur au débit maximal prévu (400 m ^{3}/s) du barrage de Sidi Salem.

3) Sélection des inondations à étudier

Afin de comparer et d'évaluer l'efficacité de l'ouvrage de dérivation, trois hydrogrammes de crue cibles ont été sélectionnés sur la base des débits de pointe et des apports totaux des grandes crues passées.

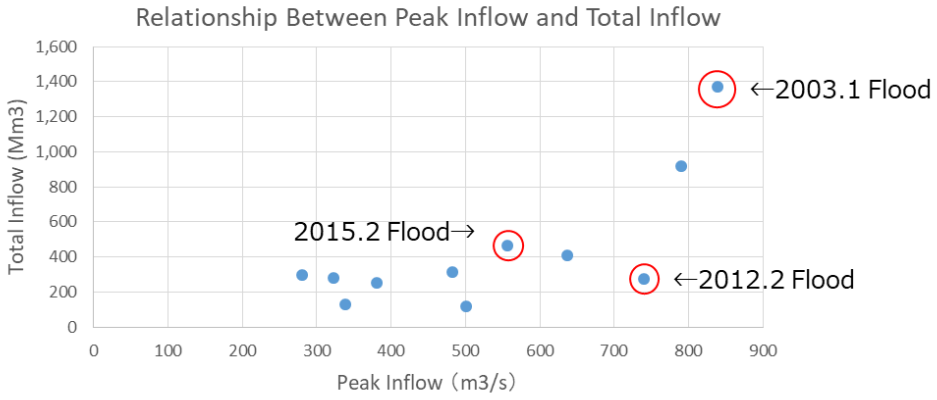
Les hydrogrammes de crue sélectionnés sont présentés dans le Tableau 7-18.

Au total, trois hydrogrammes de crues ont été sélectionnés, dont la crue de janvier 2003, la plus importante depuis le début des opérations, et deux crues relativement récentes de grande et moyenne ampleur.

Tableau 7-18 Inondations majeures dans le passé et hydrogrammes de crues sélectionnés

No	Date d'occurrence de la crue maximale	Niveau maximal de stockage de l'eau (EL.m)	Volume d'apports de pointe (m^3/s)	Débit de pointe (m^3/s)	Volume total du débit entrant (Mm^3)	Volume total des déversements (Mm^3)
1	1985/1/1	108.58	637	102	409	286
2	1987/2/15	109.76	483	98	314	241
3	1995/9/24	109.30	322	119	279	73
4	1996/2/10	110.51	338	165	127	87
5	2000/5/27	112.63	501	54	120	36
6	2003/1/26	117.51	839	679	1,369	1,354
7	2003/12/14	116.69	791	286	919	838
8	2005/1/1	116.61	381	204	254	188
9	2012/2/24	117.00	739	297	275	180
10	2015/2/28	116.36	557	192	467	367
11	2019/2/8	114.40	280	147	298	84

Source: Equipe d'Etude de la JICA *La crue jaune : Hydrogrammes de crues sélectionnés



Source: Equide d'Etude de la JICA

Figure 7-17 Ampleur des inondations sélectionnées par rapport aux inondations majeures du passé

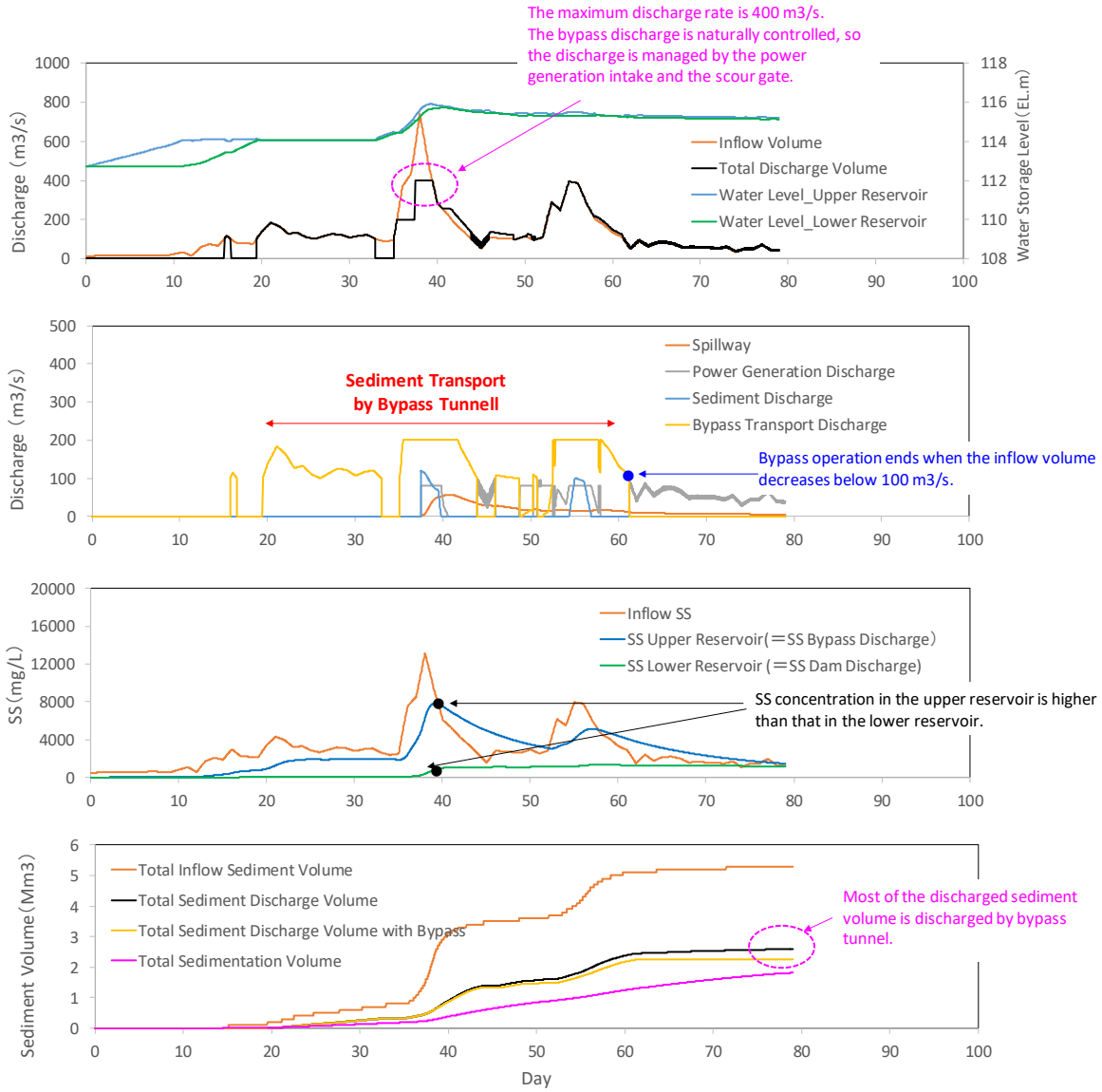
4) Résultats des calculs

À titre d'exemple des résultats de la simulation opérationnelle, la Figure 7-18 et la Figure 7-19 montrent les résultats du calcul du plan du tunnel de dérivation des sédiments (en amont et en aval) dans le cas de la crue de février 2012.

Les conditions sont les suivantes

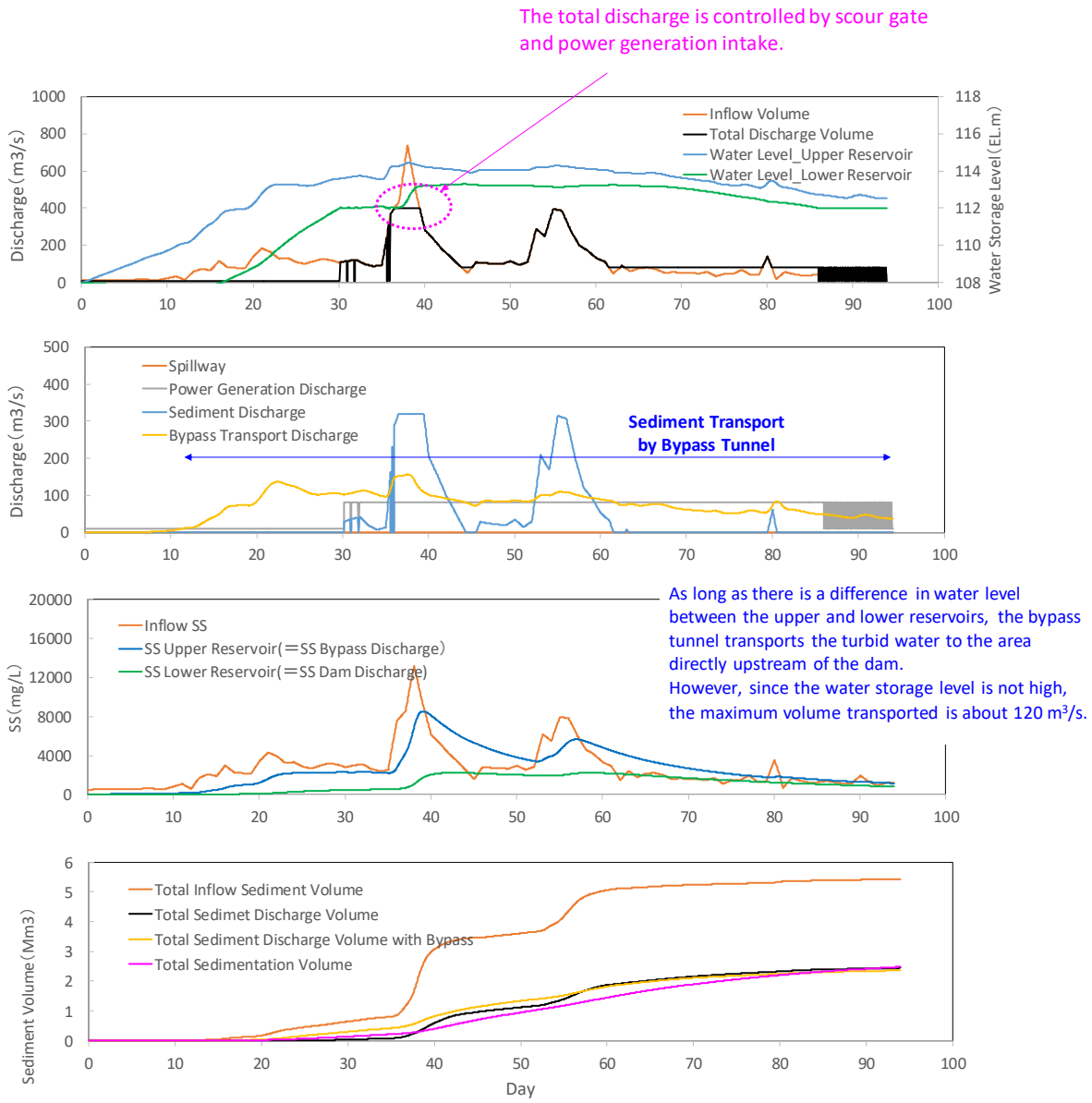
- Plan aval : Débit maximum 200 m ^{3}/s, Débit de départ de la dérivation 100 m ^{3}/s.
- Plan amont : Débit maximal de 200 m ^{3}/s, pas de vanne d'entrée.

Afin de confirmer l'effet maximal, le niveau initial de stockage de l'eau a été fixé à EL.108 m
On suppose que l'eau turbide dérivée directement en amont du barrage est évacuée vers l'aval du barrage par la vanne de désensablement existante ou la prise d'eau de la centrale électrique.



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 7-18 Résultat de la simulation opérationnelle - Tunnel de dérivation des sédiments (plan aval)



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 7-19 Résultat de la simulation opérationnelle - Tunnel de dérivation des sédiments (plan amont)

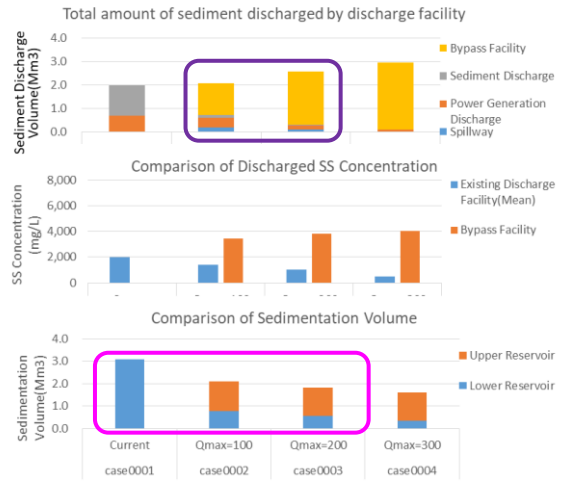
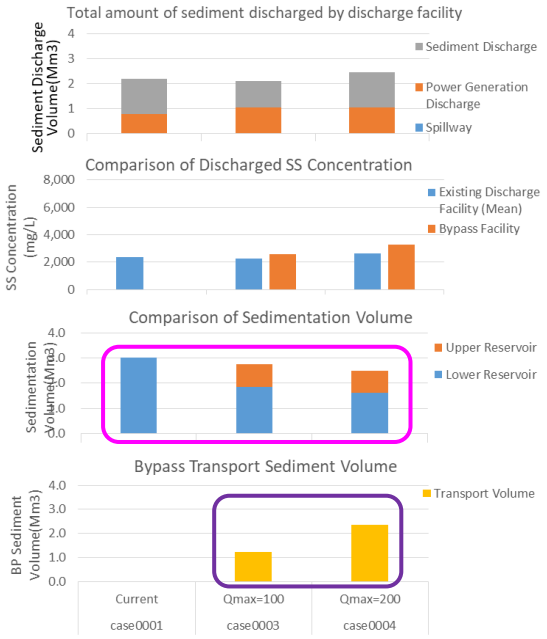
5) Comparaison des effets de l'ouvrage de la dérivation des sédiments

Une comparaison a été faite entre l'efficacité des contre-mesures du "plan aval" et du "plan amont" sur la base des résultats des calculs de l'opération de dérivation des sédiments pour le cas de la crue de février 2012.

- La quantité de sédiments transportés par le tunnel de dérivation (graphique à barres bleues du Tableau 7-19) était à peu près la même pour les solutions amont et aval. La concentration de sédiments déversés en aval du barrage était deux fois plus élevée dans le plan aval que dans le plan amont, ce qui indique que le plan aval est plus efficace.
- Les résultats de la comparaison pour les trois cas de crue sont présentés à la Figure 7-20. Les résultats montrent que le débit maximal plus important pour les plans amont et aval peut réduire la quantité de sédiments dans la retenue du barrage. Cependant, en termes d'efficacité de réduction des sédiments,la proposition amont est de 10-15 % même dans la condition de niveau de stockage où l'effet maximal est supposé, tandis que la proposition aval a une efficacité

d'atténuation généralement plus élevée de 20-50 % dans tous les hydrogrammes de crue.
En conséquence de la comparaison ci-dessus, le tunnel de dérivation des sédiments est considéré comme plus efficace dans les mesures de contrôle des sédiments dans le plan aval que dans le plan amont.

Tableau 7-19 Résultats comparatifs des effets des simulations opérationnelles

Plan Aval	Plan Amont
	

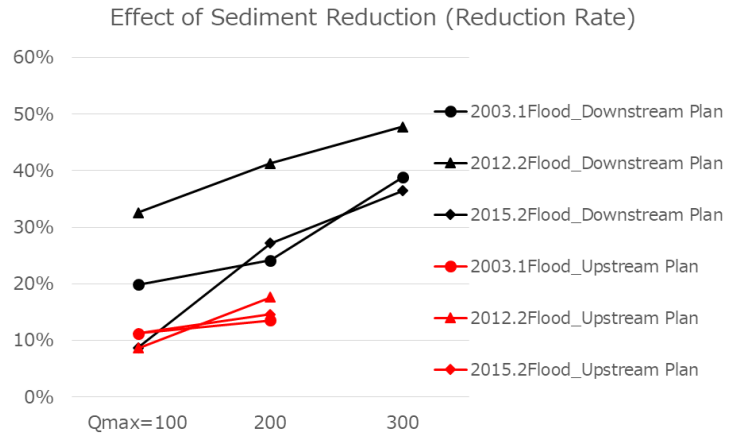
Source: Equipe d'Etude de la JICA

Tableau 7-20 Variation du volume de sédiments par simulation opérationnelle (par crue)

Measure Case		2003.1 Flood	2012.2 Flood	2015.2 Flood
Current		**7.0**	**3.1**	**2.1**
Qmax=100	Upstream Plan	6.3	2.8	1.8
	Downstream Plan	5.5	2.1	1.9
Qmax=200	Upstream Plan	6.1	2.5	1.8
	Downstream Plan	5.2	1.8	1.5
Qmax=300	Upstream Plan	-	-	-
	Downstream Plan	4.2	1.6	1.3

(Unit : Mm^3)

Source: Equipe d'Etude de la JICA



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 7-20 Taux de réduction du volume de sédiments à partir de la simulation opérationnelle

7.3.4 Utilisation de la vanne de dévasement existante

(1) Concept de base

La vanne de dévasement existante a été utilisée dans le cadre de travaux de lutte contre les inondations ces dernières années, mais pas comme installation de dévasement. La vanne n'est pas utilisée fréquemment. Cependant, elle est utilisée pour contrôler les évacuations à grande échelle. Il est donc recommandé de l'utiliser à l'avenir comme une installation pour éliminer les sédiments.
Lorsque la vanne est utilisée de manière conventionnelle, elle est moins efficace. Il est nécessaire de guider l'eau turbide à forte concentration vers le voisinage de la vanne de dévasement à l'aide de barrières de contrôle du débit pour une élimination efficace du sable. La méthode recommandée est expliquée dans la section suivante.

(2) Conditions de sédimentation autour de la vanne de dévasement

La vanne de dévasement existante est inspectée régulièrement chaque année pour s'assurer de son bon fonctionnement. Pour l'utilisation de la vanne existante, la sédimentation autour de la vanne a été étudiée juste en amont du corps du barrage. Le résultat est illustré à la Figure 5-7, 5.2.2.

- La vanne de dévasement est située à côté du déversoir (type évacuateur en puit) et se trouve sous la surface de l'eau. L'élévation du fond de la vanne est de 72,6 m et celle des sédiments au-dessus de la vanne est de 80,0 m. La vanne est enterrée sous les sédiments.
- Les vannes de la tour de prise d'eau sont situées aux altitudes de 89,0 m et 97,5 m. L'altitude maximale des sédiments autour des vannes est de 89.0 m.

D'après les coupes transversales, les sédiments peuvent être évacués par l'ouverture située dans la partie supérieure de la vanne si le débit est faible. Cependant, une évacuation importante entraînerait un colmatage ou un mauvais fonctionnement de l'ouverture de la vanne, car les sédiments se sont déposés jusqu'à la partie supérieure de l'entrée de la vanne.
Il est nécessaire de retirer les sédiments dès que possible. Cette question est décrite en détail plus loin dans la sous-section sur les contre-mesures de dragage. La prise d'eau pour la production d'énergie hydraulique n'est pas enterrée à l'heure actuelle. Le risque de défaillance fonctionnelle due à la sédimentation est moindre tant que l'opération de prise d'eau est poursuivie.

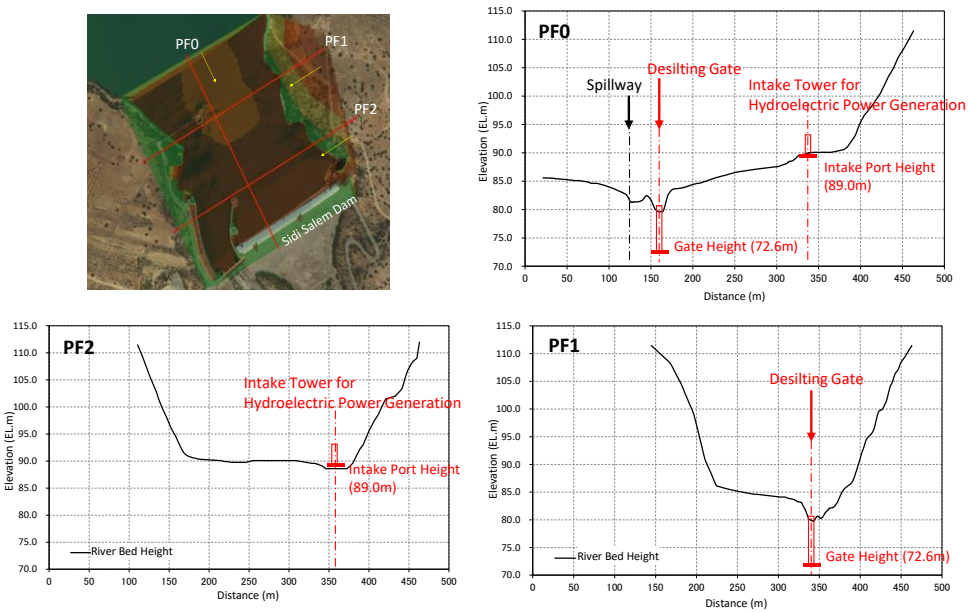
(3) Mise en œuvre opérationnelle de la lutte contre les inondations et de la décharge des sédiments

Pour utiliser l'actuelle vanne de désenvasement, la période d'inondation est optimale car une grande quantité d'eau turbide entre dans la retenue. Au cours des périodes d'inondation précédentes, dans la plupart des cas, la décharge d'eau est divisée entre le déversoir et la décharge de l'installation de prise d'eau de la production d'énergie. La décharge de l'évacuateur de crues a pour but d'absorber l'eau propre à la surface de la retenue. D'autre part, la sédimentation autour de l'entrée de la centrale électrique au fond de la retenue est renforcée.

Il est recommandé d'utiliser à l'avenir les vannes de désenvasement existantes, dotées d'une grande capacité de décharge de sédiments, et de les utiliser activement au lieu de la décharge naturelle de l'évacuateur de crues.

En guise de contre-mesure, la première étape consiste à relever partiellement la prise d'eau du déversoir et à prévoir une ouverture pour réduire le débit naturel, et à utiliser les vannes de désenvasement existantes pour réguler le débit pendant les inondations. Cela permettra d'augmenter l'efficacité de l'évacuation des sédiments tout en contrôlant les inondations.

De plus, lorsque la décharge est effectuée à partir du tunnel de dérivation des sédiments, la décharge de la vanne de désenvasement existante (dans la limite de la décharge maximale (400 m3/s)) devrait être ajustée en fonction de la décharge du tunnel de dérivation des sédiments.



Source : Équipe d'Etude de la JICA

Figure 7-21 Relation entre l'altitude et la sédimentation

(4) Examen des effets sur les installations par simulation

La vanne de dévasement existante sera efficace si elle est utilisée en combinaison avec la clôture de contrôle de la densité et du débit dont il sera question plus loin. La quantité de sédiments évacuée par la vanne de dévasement existante a été simulée sur la base des données d'entrée et de sortie d'eau lors des inondations. Les quatre (4) cas suivants ont été simulés.

Tableau 7-21 Cas de simulation pour l'utilisation de la vanne de dévasement

Cas 1-1	Lors de l'évacuation par le déversoir, on utilise la vanne de dévasement (jusqu'à 100 m^3/s)
Cas 1-2	En plus du cas 1-1, l'évacuation pour la production d'énergie hydroélectrique est ajoutée pour l'enlèvement des sédiments
Cas 1-3	Lors de l'évacuation par le déversoir, on utilise une vanne de dévasement (jusqu'à 200 m^3/s)
Cas 1-4	En plus des cas 1 à 3, le débit pour la production d'énergie hydroélectrique est ajouté pour l'élimination des sédiments

Les résultats de la simulation sont présentés dans le Tableau 8-21. Lorsque l'eau turbide est guidée par des barrières de contrôle du courant de densité, on s'attend à ce qu'environ 1,0 Mm^3 de sédiments soient évacués chaque année par la vanne de dévasement. En outre, si l'évacuation quotidienne de la production d'énergie hydroélectrique est également utilisée pour l'évacuation de sédiments, on s'attend à ce que l'évacuation annuelle de sédiments soit de 1,3 à 1,4 Mm^3.

Tableau 7-22 Résultat de la simulation pour l'utilisation de la vanne de dévasement existante

Cas	Période cible	Evacuations présumées (m^3/s)	Transport d'évacuation maximal (m^3/s)	Consommation de l'eau	Quantité de sédiments évacués (y compris porosité)			
	1997-2017			Total (Mm^3)	Jours de fonctionnement annuels	Total (Mm^3)	Moyenne Annuelle (Mm^3)	Concentration en volume
1-1	20	0.0	100.0	6,834	318	26	1.3	0.4%
1-2	20	50.0	100.0	2,156	34	20	1.0	0.9%
1-3	20	0.0	200.0	6,971	318	27	1.4	0.4%
1-4	20	50.0	200.0	2,178	34	21	1.0	0.9%

Source : Équipe d'Etude de la JICA

7.3.5 Clôture de contrôle du courant de densité

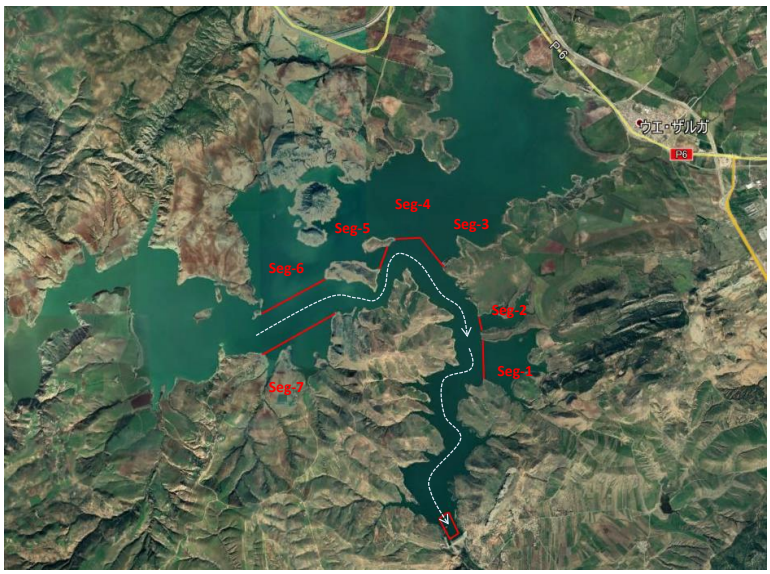
(1) Concept de base

Cette installation est l'une des stratégies de base pour «contrôler la propagation des sédiments dans les zones B et C». La plupart des sédiments entrants sont transportés dans des eaux turbides à très forte concentration. Ils s'installent sur le fond et se répandent sur la retenue. Des clôtures sont surélevées à partir du fond de la retenue et un canal est mis en place pour permettre à l'eau turbide de s'écouler.

Il s'agit d'une cloison le long des couches inférieures de la retenue, et sa structure est conçue de manière simple.

(2) Spécification de base

Le plan d'implantation et la hauteur des clôtures ont été examinés selon le débit maximal de 600 m^3/s de la vanne de dévasement existante. La vitesse de l'écoulement de densité de l'eau turbide est d'environ 0,1m/s à la suite d'une simulation par analyse tridimensionnelle de l'eau turbide. Sur la base du résultat, le plan d'aménagement et la hauteur des clôtures sont décidés, de sorte qu'une surface de section transversale suffisante pour une évacuation de 600 m^3/s soit assurée avec la vitesse simulée. La disposition et la hauteur des clôtures sont indiquées dans la Figure 7-22 et le Tableau 7-23.



Source: Équipe d'Etude de la JICA

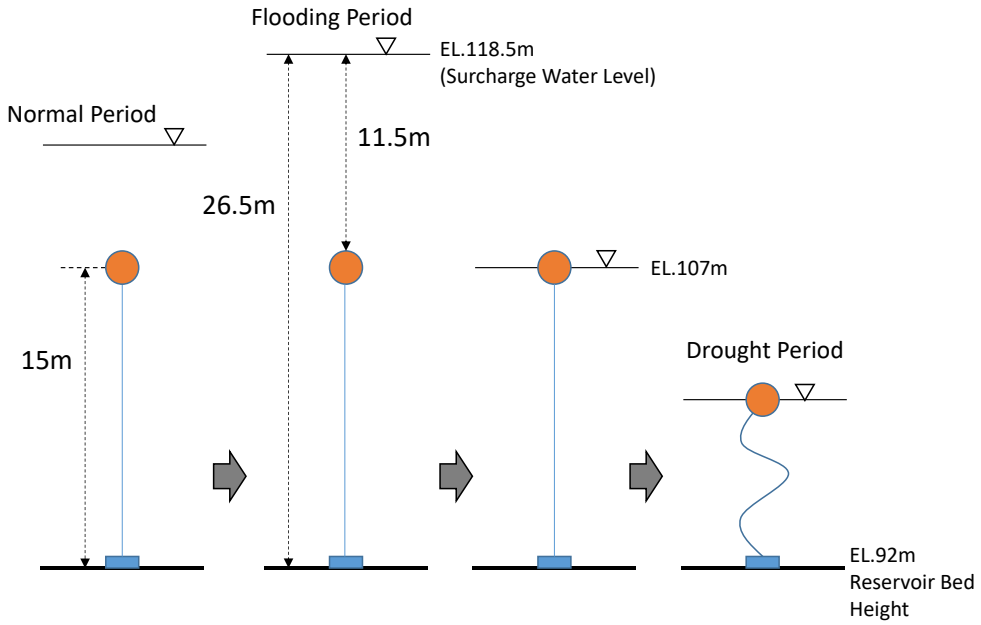
Figure 7-22 Plan d'implantation des clôtures de contrôle du courant de densité

Tableau 7-23 Spécifications pour les clôtures de contrôle du courant de densité

Segment	Block Distance (m)	Height (m)	Reservoir Bed (EL.m)	Water Depth 1 (m)	Water Depth 2 (m)
1	850	15	92	11.5	26.5
2	300	15	92	11.5	26.5
3	800	15	92	11.5	26.5
4	500	15	92	11.5	26.5
5	500	15	92	11.5	26.5
6	1,500	15	92	11.5	26.5
7	1,700	15	92	11.5	26.5
Total	**6,150**				

*1 Surcharge Water Level : EL.118.5 m
*2 Water Depth 1 = from Floot to Maximum Water Level
*3 Water Depth 2 = from Reservoir Bed to Maximum Water Level

Source: Équipe d'Etude de la JICA



Source: Équipe d'Etude de la JICA

Figure 7-23 Conception des clôtures de contrôle du courant de densité en fonction du niveau d'eau de la retenue

(3) Effets des clôtures par simulation

Afin de confirmer les effets des clôtures de contrôle du courant de densité, le transport de l'eau turbide lors des crues a été simulé avec une analyse tridimensionnelle de l'eau turbide. L'hypothèse de la simulation est présentée dans le Tableau 7-24 et les résultats sont affichés dans les Tableau 7-25 et Tableau 7-26.

Pour les crues de janvier 2003 et février 2015, qui représentant des crues à petite et moyenne échelle dans le passé, l'eau turbide est acheminée vers la zone A avec les clôtures. La simulation montre que la combinaison du contournement des sédiments et des clôtures sera efficace pour les crues à petite et moyenne échelle.

En plus des clôtures de contrôle de la densité, un déversoir de dérivation avec un tunnel de contournement des sédiments est également installé. Le but des clôtures de contrôle du courant de

densité est de contrôler l'eau turbide qui déborde du déversoir de dérivation. Le débordement dépasse la capacité d'élimination des sédiments de la dérivation de sédiments. Les résultats de cette simulation ne sont pas basés sur les données observées lors des crues réelles et doivent être vérifiés plus avant.

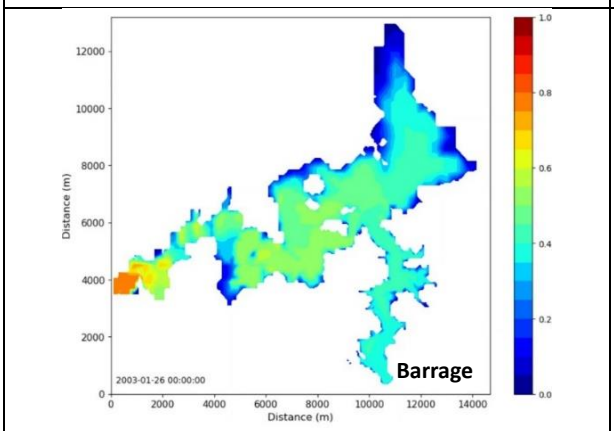
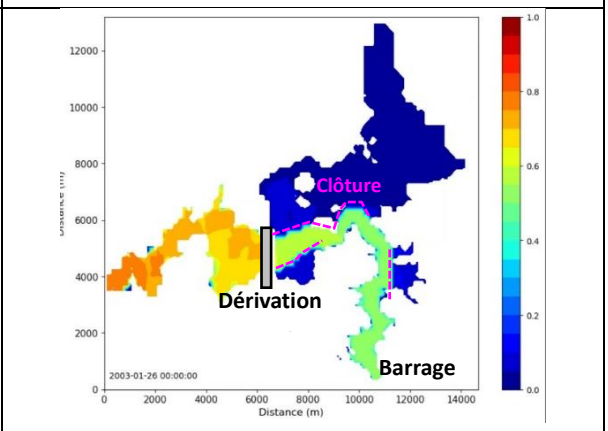
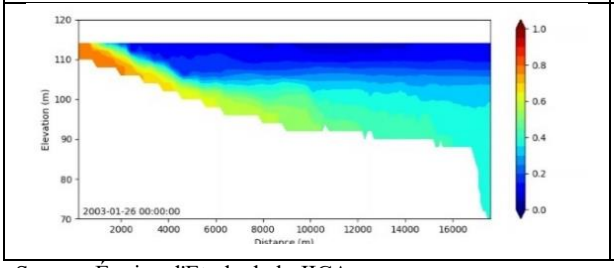
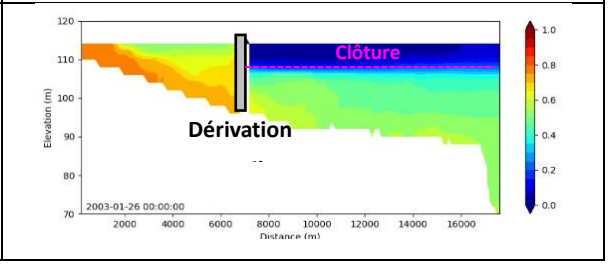
Tableau 7-24 Hypothèse de simulation des clôtures de contrôle du courant de densité

Elément	Conditions	Remarques
Zone cible	Retenue du barrage de Sidi Salem (zones A à D)	
Inondations de la simulation	N°1 : Crue de janvier 2003 N°2 : Crue de février 2015	Le taux d'entrée surveillé est utilisé
Intervalle de temps de calcul	dt = 20 s	
Evacuation du débit entant	Oued Medjerda (canal principal) (Débit entrant SS) = α × (évacuation débit entrant) β α = 2,51 × 10-5 、 β = 1,802	La formule de sédiments est adoptée sur la base d'une simulation de sédiments unidimensionnelle
Conditions Topographique	Oued Medjerda (canal principal) (sédiments entrants)=α×(débit entrant)$^{\beta}$ α=2.51×10^{-5}、β=1.802	Basé sur la dernière enquête topographique de janvier 2018
Opération d'évacuation	En vertu de les consignes actuelles d'exploitation de la retenue du barrage SS	Basé sur les résultats l'hydrauliques et l'hydrologiques discutés au Chapitre 3
Conditions pour les contre-mesures	Installation d'un déversoir de dérivation et d'un tunnel de contournement des sédiments Installation de clôtures de contrôle du courant de densité (※)	※ Transmettre le débordement d'eau turbide au déversoir de dérivation
Conditions initiales	Vitesse initiale : 0 (zéro) La température de l'eau : Distribution verticale de la température de l'eau le 28 février 2020 (※) Niveau d'eau dans la retenue : Cote 108 m	※ La distribution de la température de l'eau pendant la saison des pluies est établie sur la base du résultat de l'enquête de turbidité réalisée en 2020,
Données météorologiques	Surveillance des données sur la température, l'humidité, le rayonnement solaire, la vitesse du vent, la direction du vent et la pression atmosphérique	

Remarque: les caractères bleus indiquent les différentes conditions des conditions d'entrée de la simulation

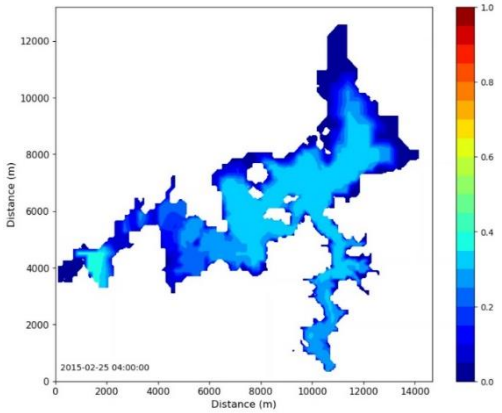
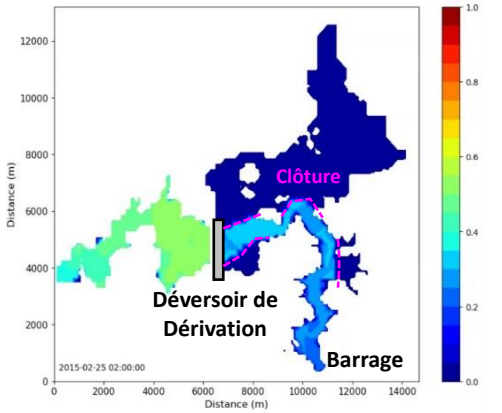
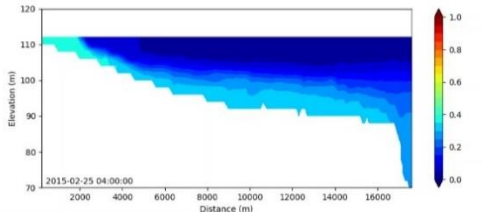
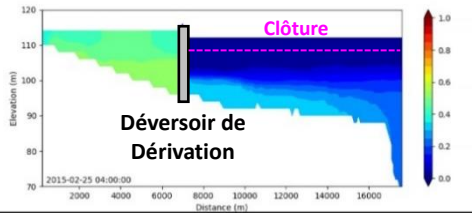
Source: Équipe d'Etude de la JICA

Tableau 7-25 Résultat de la simulation tridimensionnelle de l'eau turbide sur les clôtures de contrôle du courant de densité (Inondation de janvier 2003)

Crue: janvier 2003 (pic de débit entrant: 840 m^3 / s)	
Aucune mesure	Les mesures (Barrage de dérivation et clôtures de contrôle de courant de densité)
Vue en plan	Vue en plan
	
Distribution longitudinale	Distribution longitudinale
	

Source: Équipe d'Etude de la JICA

Tableau 7-26 Résultat de la simulation tridimensionnelle de l'eau turbide sur les clôtures de contrôle du courant de densité (Inondation de février 2015)

Inondation : Janvier 2015 (Débit entrant de pointe: 840 m^3 / s)	
Aucune mesure	Les mesures (Déversoir de dérivation et clôtures de contrôle du courant de densité)
Vue en plan	Vue en plan
	
Distribution longitudinale	Distribution longitudinale
	

Source: Equipe d'Etude de la JICA

7.3.6 Bassin de Piégeage de Sédiments

(1) Concept de Base

Le bassin de piégeage est construit en utilisant les bassins de retardement naturels situés dans la zone E en amont du réservoir. Un temps de rétention est nécessaire pour la sédimentation vu que les sédiments entrants sont composés d'argile et de limon en suspension dans l'eau. Une grande quantité d'eau trouble à forte concentration est capturée pendant les inondations et retenue pendant un certain temps pour la stabilisation et le dépôt.

Deux sections en méandre dans la Zone D / E et une confluence d'un affluent sont des emplacements appropriés à cet effet. Parmi ceux-ci, deux zones de la Zone E sont sélectionnées. Dans Ces zones, pendant les saisons sèches, la surface des sédiments est exposée et une excavation du sol est possible.

En adoptant les mesures, le débit d'entrée vers les Zones A, B et C est réduit. L'installation empêche le dépôt de sédiments en amont du réservoir lors des crues et conduit l'eau trouble vers le tunnel de dérivation des sédiments en peu de temps.

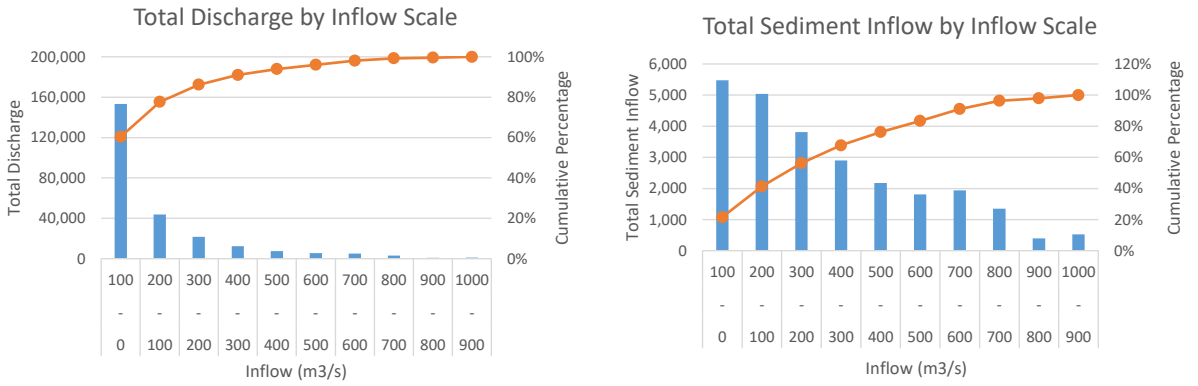
(2) Caractéristiques de Base pour la Conception des Installations

Avec les bassins de piégeage des sédiments, des déversoirs ou des remblais sont installés pour capturer l'eau trouble. Le temps du démarrage du stockage de l'eau trouble lors des crues est examiné

1) Fréquence d'Occurrence de Débits Entrants et d'Apport en Sédiments

Afin de décider du taux de débit entrant dans le bassin de piégeage des sédiments, la fréquence d'occurrence du débit entrant et des sédiments entrants est examinée à l'aide des données des débits entrant journalières précédentes au barrage de Sidi Salem. Pour les sédiments entrants, le coefficient est corrigé en fonction du résultat de la simulation de sédimentation. Les résultats sont comme suit :

- Sur une base journalière, les débits de 100 m^3/s ou moins représentent 60% des débits entrants total, alors qu'il représente environ 20% par rapport à l'apport total de sédiments.
- Le débit de 100 à 200 m^3/s représente 20% des débits entrants total, alors qu'il représente 20% par rapport à l'apport total de sédiments. La concentration de sédiments est assez élevée dans la gamme des débits d'environ 100 m^3/s ou plus.



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 7-24 Relation Entre le Débit Entrant et l'Apport en Sédiments dans le Barrage de Sidi Salem

2) Condition de Stockage dans le Bassin de Piegeage de Sediments Storage

Compte tenu de la condition du débit entrant et des sédiments entrants discutée ci-dessus, il est souhaitable de piéger les débits de 100 m^3/s ou plus dans le bassin de piégeage des sédiments. D'autre part, le tunnel de dérivation des sédiments peut recevoir des débits jusqu'à environ 200 m^3/s, puisque le tunnel de dérivation des sédiments a une capacité d'écoulement de 100 à 200 m^3/s. Un bassin de piégeage des sédiments sera utilisé pour les débits de 200 m^3/s ou plus qui dépassent la capacité du tunnel de dérivation.

Sur la base de ce qui précède, le bassin de piégeage des sédiments stocke de l'eau trouble avec un débit de 200 m^3/s ou plus.

3) Capacité et Durée de Stockage

Afin de stocker les sédiments, l'élévation de la crête du déversoir de débordement est décidée à chaque bassin en fonction du niveau d'eau pour un débit de 200 m^3/s. En ce qui concerne le niveau d'eau, la formule H (niveau d'eau) - Q (débit) (courbe de tarage) pour chaque section transversale est préparée en utilisant le modèle d'écoulement non uniforme unidimensionnel dans la retenue, et le niveau d'eau à Q = 200 m^3/s est calculé. Les résultats de l'étude sont présentés sur le Tableau 7-27.

À la suite du calcul du niveau d'eau pour le débit de 200 m^3/s avec la courbe de tarage, la profondeur de l'eau indique environ 2 m à chaque point. Par conséquent, des déversoirs de trop-plein avec des structures permettant un débordement latéral à une profondeur d'eau de 2 m ou plus sont installés. Dans les bassins, il est nécessaire de garantir le temps de sédimentation de l'argile et du limon en eau trouble. La sortie est une structure à fente à travers laquelle l'eau stockée est progressivement drainée. Le temps de sédimentation est de cinq (5) jours.

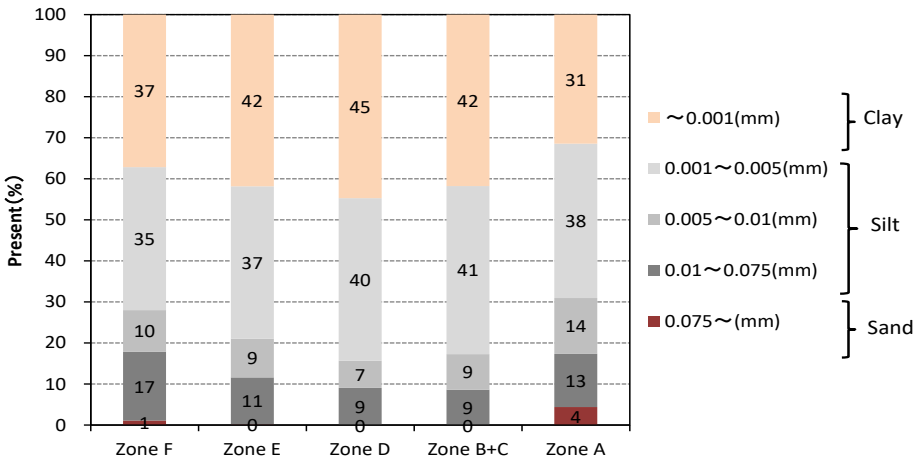
Dans le barrage de Sidi Salem, le limon et le sable d'une granulométrie de 1µm ou plus représentent 60% du total des sédiments. La vitesse de précipitation des grains de 1 µm de diamètre est d'environ 8 cm/jour et celle des grains de 5 µm est de 2 m/jour. On suppose qu'en 5 jours environ, 50% des sédiments sont capturés dans le bassin.

Tableau 7-27 Caractéristiques du Bassin de Piégeage des Sédiments (STP)

Eléments	STP ① (Amont)	STP ② (Aval)	Remarques
Courbe de Tarage (H-Q Formula)※	29,020 km a=0,1303、b=113,9493	21,550 km a=0,1056、b=111,4316	Modèle d'Ecoulement Non-uniforme
Élévation du sol (Valeurs approximatives)	EL.114,0 m	EL.112,0 m	
Niveau d'Eau à 200 m^3/s	EL.115,8 m	EL.113,8 m	A partir de la courbe de tarage
Élévation de la crête du déversoir de trop-plein latéral (Volume de stockage)	EL.116 m ($V=3,0\times10^6$ m^3)	EL.114 m ($V=1,4\times10^6$ m^3)	
Largeur de débordement	150 m	60 m	
Largeur de la Sortie	3 m	1,5 m	
Elévation du Niveau de la Sortie	EL.114 m	EL.112 m	

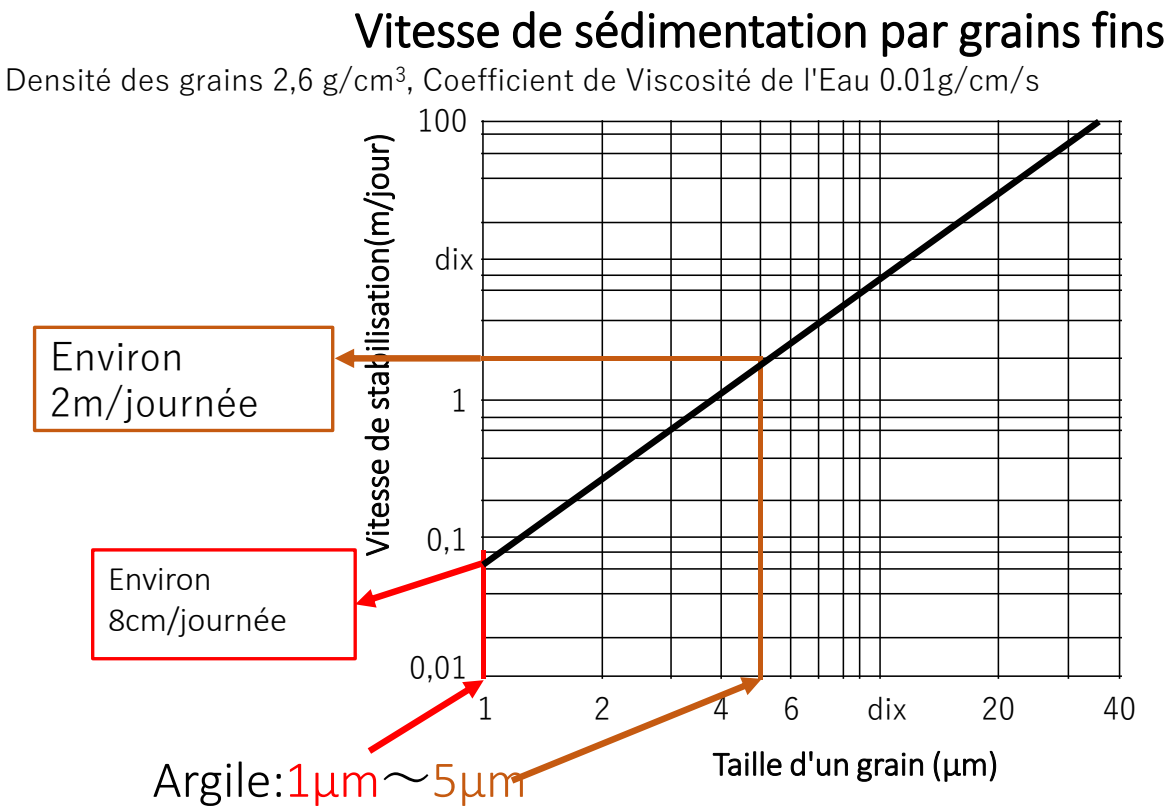
※Courbe de Tarage (H-Q Formula) : H-Q Formule pour chaque section transversale ($H=a\times\sqrt{Q}+b$)

Source: Equipe d'Etude de la JICA



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 7-25 Granulométrie des Sédiments dans le Barrage de Sidi Salem



Source: http://dam-net.jp/backnumber/012/contents/gijyutsu.html

Figure 7-26 Vitesse de Sédimentation selon la Formule de Stokes

4) Impacts des Installations

La quantité de sédiments qui peut être capturée dans les bassins de piégeage de sédiments est estimée à 0,5 million de m^3/an, sur la base de l'enquête précédente sur la sédimentation aux emplacements adaptés. Ceci sera vérifié et les effets des bassins de piégeage seront examinés de manière plus approfondie, après avoir obtenu les données du relevé des eaux troubles au moment des crues.

7.3.7 Régularisation de l'Oued

La régularisation de l'oued a pour but d'éviter les inondations et les dépôts d'eaux troubles sur les tronçons amont (Zones E et F). On souhaite conduire l'eau trouble à forte concentration vers l'entrée de dérivation et évacuer ses sédiments vers l'aval du barrage. À cette fin, il est important de prévenir les inondations sur les sections en méandres et les plaines inondables des affluents, en particulier dans la zone E.

Comme mesures contre la sédimentation, des bassins de piégeage de sédiments sont proposés au niveau du tronçon en méandres et d'une plaine inondable d'un affluent. Afin d'équiper les bassins de la fonction de piégeage des sédiments, des digues sont construites le long de l'oued. Les digues éliminent les inondations dans les sections en méandres et, par conséquent, les bassins de piégeage de sédiments jouent également un rôle de régularisation de l'oued.

Outre ce qui précède, un canal d'écoulement sera construit dans la section des zones D à F pour empêcher le remous et la sédimentation (décrits en détail ultérieurement). Traditionnellement, la sédimentation progresse lors des crues et les eaux turbides inondent la partie élargie de la retenue. En installant un canal d'écoulement, il est possible d'acheminer rapidement l'eau turbide jusqu'au point de dérivation sans inondation en amont. Cela est efficace non seulement pour la retenue mais aussi pour abaisser le

niveau d'eau dans la zone U2 en amont, et peut être une contre-mesure à la fois pour le remous et la sédimentation.

L'échelle et la structure du canal d'écoulement seront décrites en détail dans la section sur les mesures contre le remous de sable.

7.4 Prévision des effets à long terme de l'atténuation des sédiments par des mesures de contrôle dessédiments

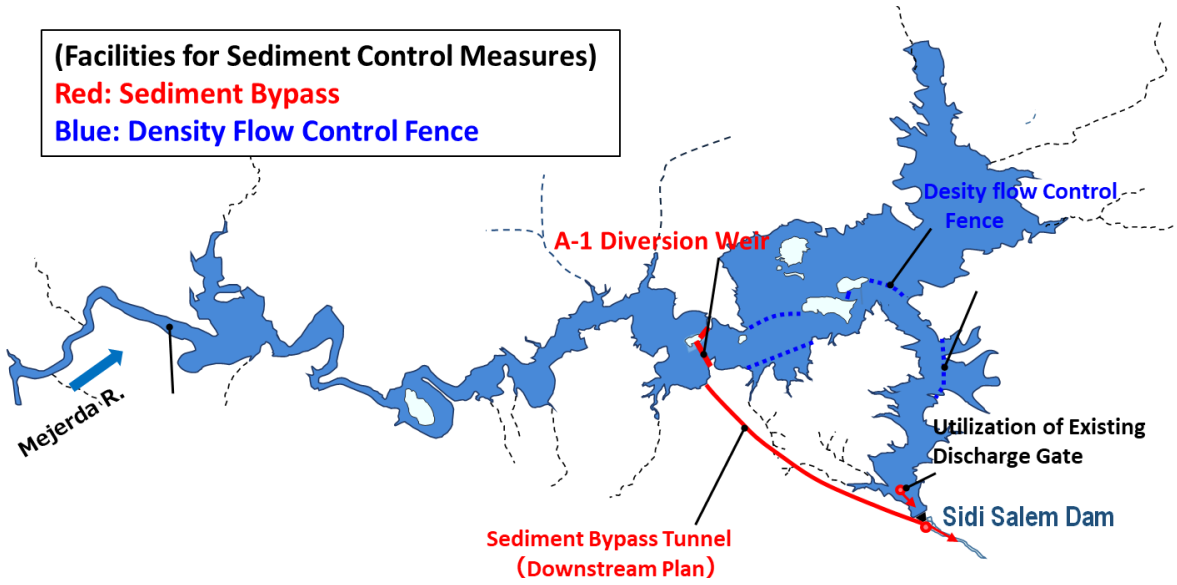
7.4.1 Conditions des prévisions

Les principales conditions permettant de prévoir les effets des mesures de lutte contre la sédimentation sont présentées dans le Tableau 7-28 et le schéma des installations de contrôle des sédiments pour la prévision des impacts est présenté dans la Figure 7-27.
Dans ce calcul, les impacts ont été étudiés pour trois propositions : ① un plan de tunnel de dérivation des sédiments, ②un plan de barrière de contrôle du courant de densité ③une combinaison de dérivation des sédiments + barrière de contrôle des courants de densité. Il est à noter que les effets d'autres contre-mesures telles que les bassins de sédimentation, le dragage et l'excavation ne sont pas considérés ici.

Tableau 7-28 Conditions de calcul pourla prévision des impacts

	Eléments	Remarques
Période	Les 100 prochaines années	Similaire aux projections futures Tableau77
Zone	Retenue du barrage de Sidi Salem	
Topographie	Données de l'enquête 2018	
Débit	Régler le débit réel du barrage à l'extrémité amont	
Niveau d'eau	Définir le niveau réel d'eau du barrage à l'extrémité aval	
Apports en sédiments	Défini à partir de l'équation Q-Qs créée à partir des données d'observation de la turbidité $Qs=\alpha Q^{\beta}$ （α=2,51×10 、β=1,80）	
Taille du grain	La taille des particules représentatives est fixée en quatre catégories allant de 0,1μm à 75μm.	
Coefficient de rugosité	0,020	
Dispositifs	① Dérivation des sédiments ② Barrière de contrôle du courant de densité. ※ ③ Dérivation des sédiments + Barrière de contrôle du courant de densité.	※L'exploitation dela vanne de désensablement existante est également incluse.
Autre	Porosité de l'air 0,7, Densité de l'eau 10 kg/m^3, Densité des sédiments 2 650 kg/m^3	

Source: Equipe d'Etude de la JICA



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 7-27 Aperçu des mesures decontrôle des sédiments

(1) Tunnel de dérivation des sédiments

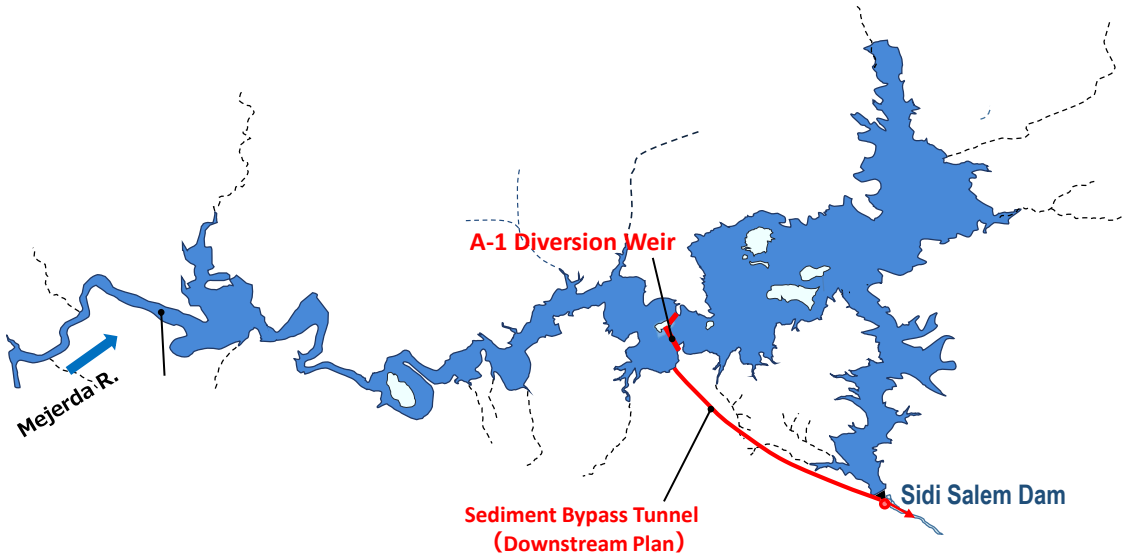
Une carte de localisation de la dérivation des sédiments et du déversoir de dérivation est présentée à la Figure 7-28, vu qu'ils ont été applique dans le calcul des installations de contre-mesures.

Un tunnel de dérivation des sédiments avec un débit maximal de 200 m^3/s a été sélectionné comme la meilleure solution en fonction des contraintes de l'effet de lutte contre la sédimentation et les inondations. La période d'exploitation a été limitée à la saison des pluies (décembre à mai) lorsque les inondations sont fréquentes. En effet, la saison sèche est la saison d'irrigation, et si de fortes concentrations d'eau riche en sédimentation sont libérées en raison de l'évacuation du sable, cela risque d'interférer avec la prise d'eau pour l'irrigation.

Tableau 7-29 Conditions de calcul pourla dérivation des sédiments

Article	Eléments	Remarques
Installations à prendre en compte	Dérivation des sédiments (proposée en aval), déversoir de dérivation	
Conditions de dérivation des sédiments	Débit de départ du déversoir : 30m ^{3}/sec Evacuation maximale de la dérivation : 200m^3/sec. Niveau de stockage de la retenue principale (en aval du déversoir de dérivation) : Plus de EL.112 m Période de fonctionnement : Décembre - Mai (saison des pluies)	
Déversoir de distribution	Crête de l'élévation de débordement : EL114,0 m Ordre de débordement : 700m	

Source: Equipe d'Etude de la JICA



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 7-28 Emplacement du tunnelde dérivation des sédiments et du déversoir de dérivation

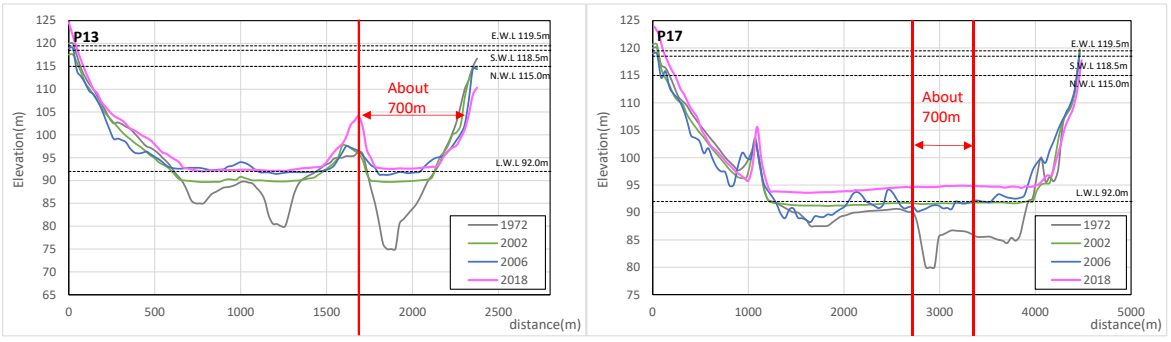
(2) Plan de la barrière de contrôle du courant de densité

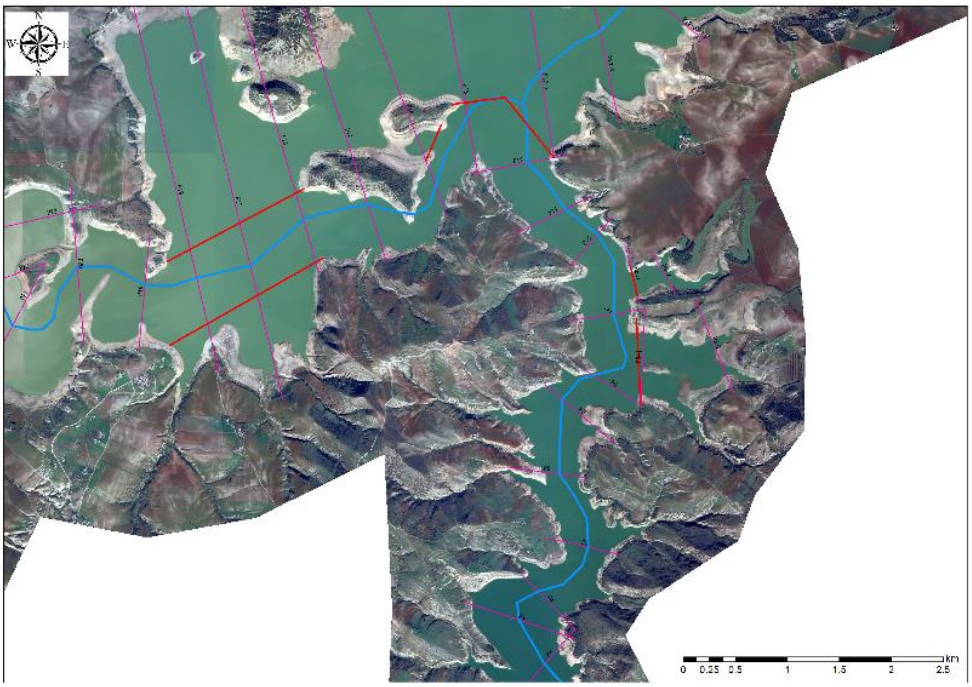
La barrière de contrôle du courant de densité est une installation qui dirige l'eau sédimentée entrante vers le barrage sans la diffuser dans toute la retenue, et l'évacue en aval en conservant un état de turbidité élevé.

Afin de refléter cet effet dans le modèle unidimensionnel de fluctuation du lit de l'oued, la section avec la barrière (Figure 7-29) a été calculée en supposant que les sédiments s'écoulent uniquement à l'intérieur de la barrière.

Sur le site du barrage, la vanne de désensablement existante a été actionnée pour le courant de densité.

Actuellement, la vanne de désensablement existante est rarement utilisée, mais ce projet vise à restaurer la fonction des vannes par un dragage localisé.





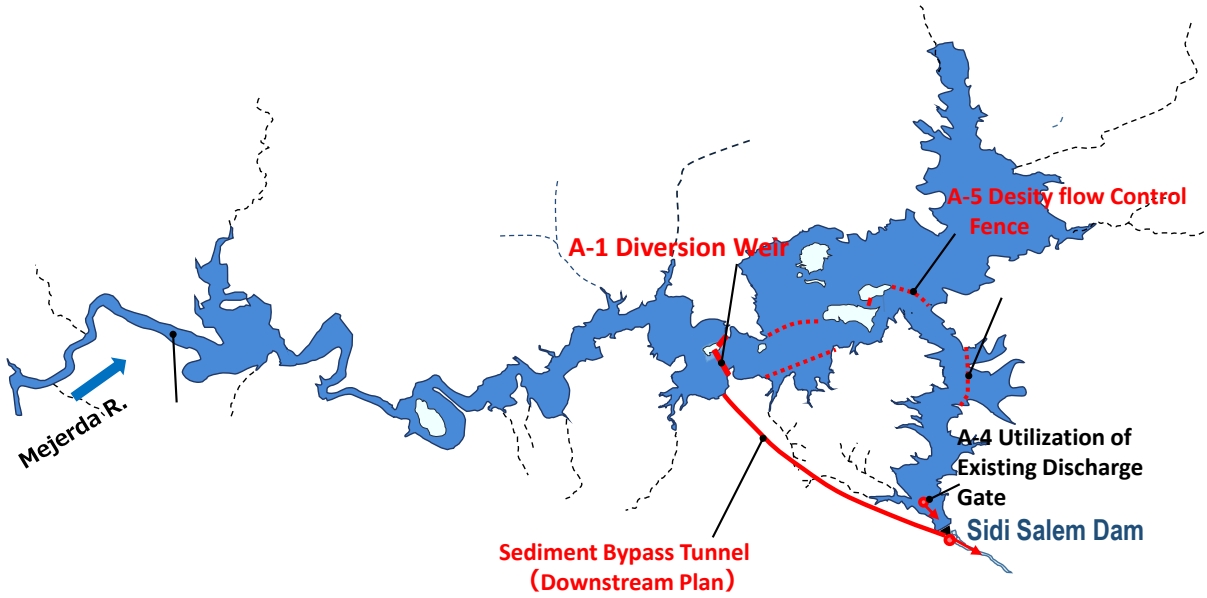
Ligne rouge : Clôture de contrôle du courant de la densité

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 7-29 Disposition de la barrière de contrôle du courant de densité et répercussion sur la section transversale

(3) Proposition combinée de dérivation des sédiments + barrière de contrôle du courant de densité

L'effet de la proposition combinée du tunnel de dérivation des sédiments et de la barrière de contrôle du courant de densité a été étudié.
Dans cette proposition, l'utilisation de la vanne de désensablement existante a également été envisagée.



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 7-30 Emplacement de la déviation des sédiments + de la barrière de contrôle du courant de densité proposés

7.4.2 Résultats des simulations

(1) Changement du profil de la sédimentation

Les modifications du profil longitudinal des sédiments dues à la mise en œuvre des mesures de lutte contre les sédiments sont illustrées dans le Tableau 7-30, et les changements dans le profil des sédiments pendant la mise en œuvre de chaque mesure sont résumés ci-dessous.

① Tunnel de dérivation des sédiments

- La dérivation des sédiments semble avoir abaisser le niveau du lit de l'oued dans la retenue en aval du déversoir de dérivation par rapport à l'absence de mesures ou de contrôle du courant de densité.
- Le niveau du lit de l'oued a également diminué en amont du déversoir de dérivation, ce qui confirme l'effet d'évacuation des sédiments par dérivation de sédiments.
- En outre, si les sédiments entrants débordent du déversoir de dérivation sous forme d'eau hautement concentrée en sédiments pendant les inondations, l'eau sédimentée s'accumulera dans une large zone dans les zones B et C de la retenue.

② Barrière de contrôle de courant de densité

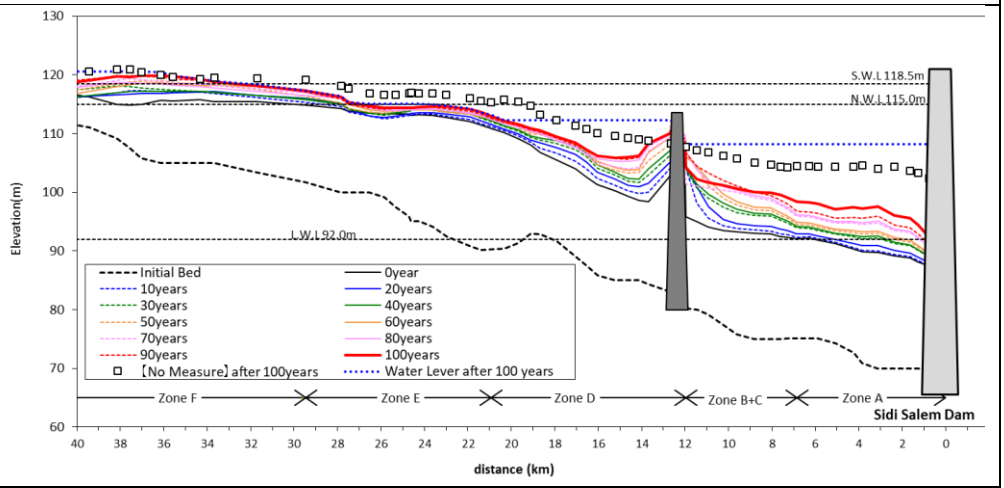
- La barrière de contrôle du courant de densité semble abaisser le niveau du lit de l'oued dans la zone clôturée et en amont de la barrière par rapport au cas sans barrière.
- Dans le cas de la barrière de contrôle du débit, le niveau du lit de l'oued près du barrage a tendance à s'élever parce qu'une grande quantité de sédiments entrants atteint le point du barrage. Par conséquent, il est fort probable qu'un dragage périodique soit nécessaire pour maintenir le fonctionnement des installations d'évacuation de sable et des installations de production d'électricité existantes. Il existe également un risque de sédimentation progressive à l'intérieur de la clôture.

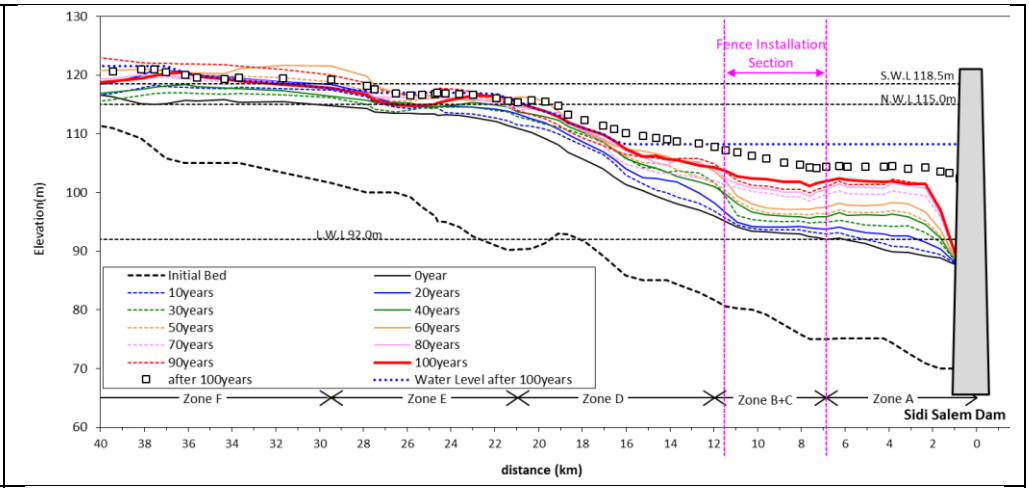
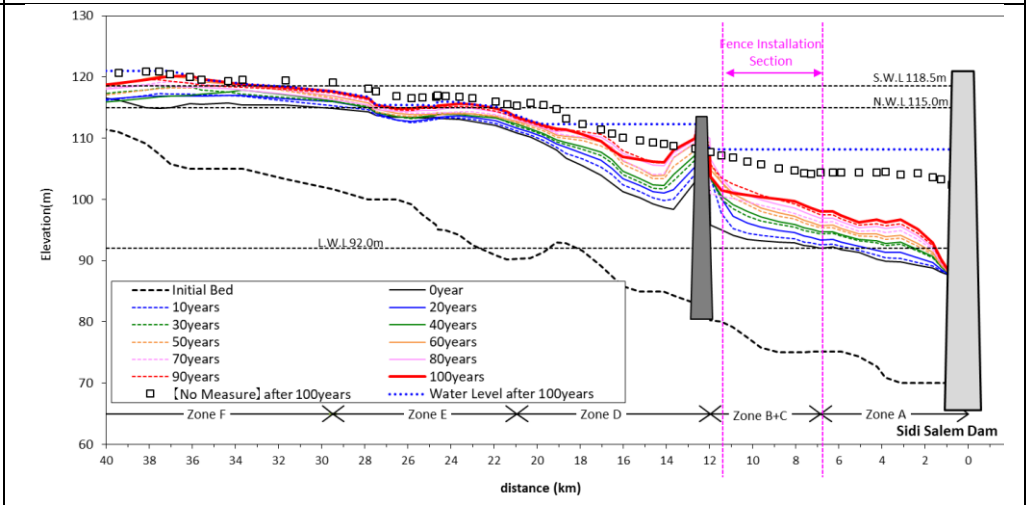
③ Déviation des sédiments + barrière de contrôle du courant de densité combinés

- Ce plan a arrêté l'élévation du niveau du lit de l'oued dans la retenue en aval du déversoir de dérivation par rapport à (1) et (2).
- Dans ce cas, le risque de rehaussement du lit de l'oued à l'emplacement du barrage est réduit car l'évacuation des sédiments entrants peut être répartie entre le tunnel de dérivation et la vanne de désensablement existante.

En outre, la forte concentration d'eau sédimentée débordant du déversoir de dérivation sera guidée vers le point de barrage par la barrière de contrôle du courant de densité, réduisant ainsi le risque de propagation des sédiments vers les zones B et C.

Tableau 7-30 Changements du profildes sédiments dus à la mise en œuvre de mesures de contrôle des sédiments

Mesures	Changement du profile des sediments
1) Tunnel de dérivation des sédiments	

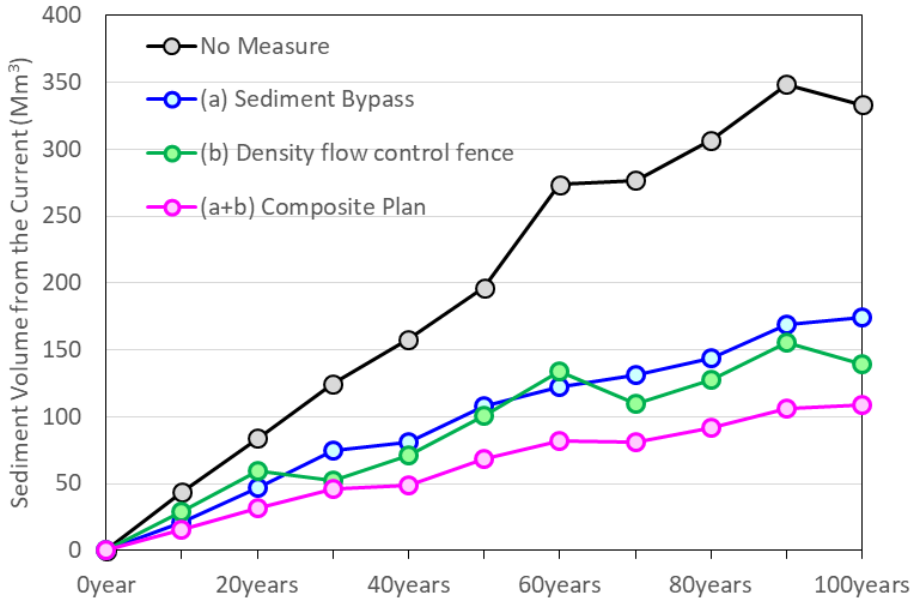
2) Barrière de contrôle de débits	
3) Dérivation des sédiments + barrière de contrôle du débit	

Source: Equide d'Etude de la JICA

(2) Changement Future du Volume de Sédiments

Le changement du volume de sédiments par rapport à la situation actuelle au moment de la mise en œuvre de chaque contre-mesure est présenté dans la Figure 7-31.

- (1) et (2) devraient atténuer l'augmentation du volume de sédiments d'environ la moitié par rapport au cas sans mesures.
- En outre, ces propositions combinées (3) devraient permettre de réduire la sédimentation de 30 % à 40 %.



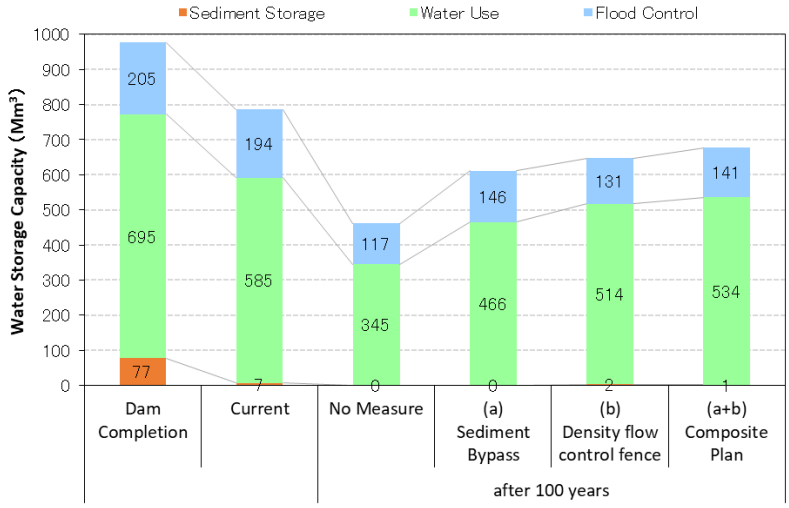
Source: Equide d'Etude de la JICA

Figure 7-31 Changement dans le temps du volume de sédiments par rapport à la situation actuelle au moment de la mise en œuvre de chaque contre-mesure (dans 100 ans, y compris en dehors de la capacité de stockage)

(3) Changement de la capacité par objectif

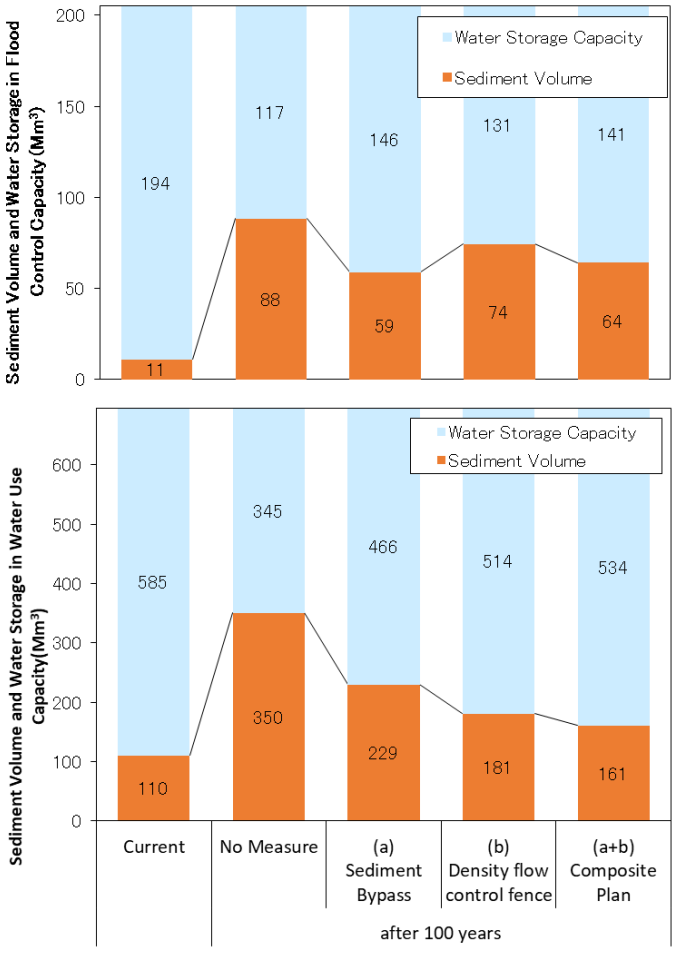
La modification de la capacité de stockage dans 100 ans, lorsque chaque mesure est mise en œuvre, est présentée dans les Figure 7-32 et Figure 7-33

- Si aucune mesure n'est prise, la capacité diminuera à environ 460 Mm^3, soit moins de la moitié de la capacité prévue de 977 Mm^3 dans 100 ans. D'autre part, la capacité d'environ 610 Mm^3 était prévue pour (1), environ 650 Mm^3 pour (2), et environ 680 Mm^3 pour proposition (3) combinée.
- Par rapport à la proposition unique de (1) et (2), la proposition combinée de (3) est la plus efficace en termes de sécurisation de la capacité de stockage de l'eau. En outre, (3) peut réduire le risque d'élévation du lit de l'oued dans les zones B et C, qui sont importantes pour la capacité de stockage de l'eau, et sur le site du barrage.
- Si l'on considère les points de sécurisation de la capacité par des contre-mesures et de réduction des risques mentionnés ci-dessus, la proposition combinée (3) est meilleure



Source: Equide d'Etude de la JICA

Figure 7-32 Variation de la capacitéde stockage par objectif dans 100 ans lorsque chaque mesure est mise en œuvre (1)



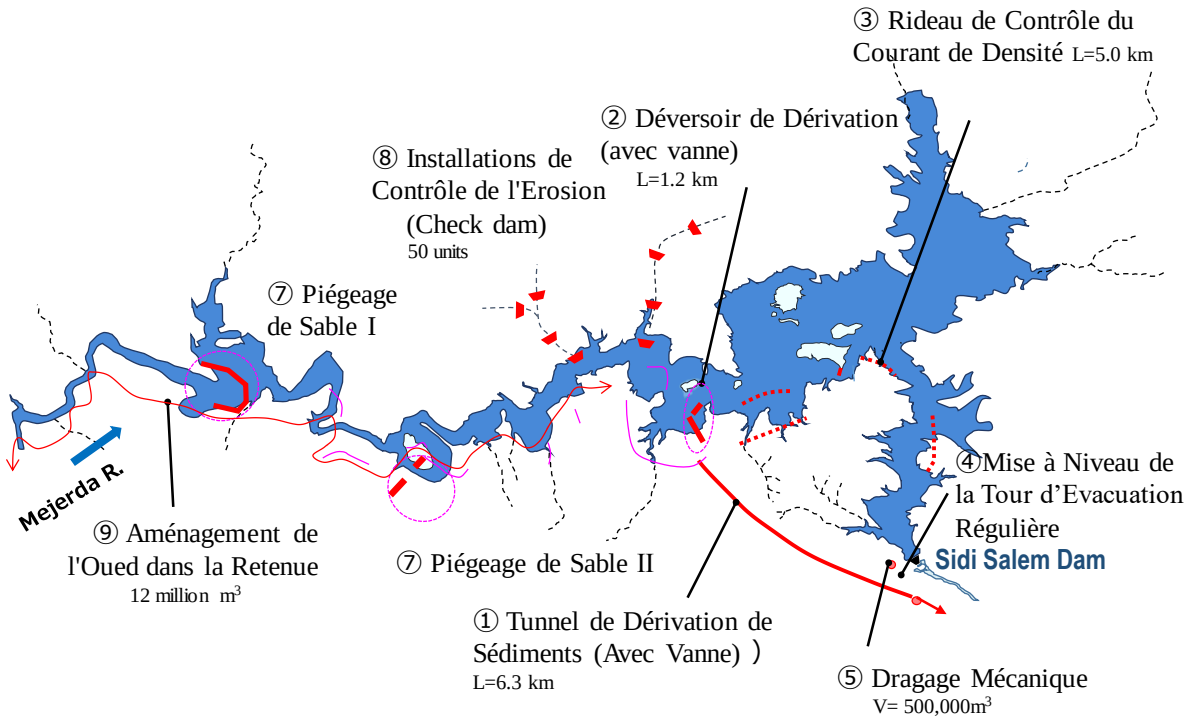
Source: Equide d'Etude de la JICA

Figure 7-33 Changement de la capacité de stockage de l'eau 100 ans dans le futur (lorsque chaque contre-mesure est mise en œuvre (2))

7.5 Examen de la liste des priorités

7.5.1 Liste complète de contre-mesures

Les résultats de l'étude présentés dans les sections 7.2 à 7.4 ont permis de clarifier les fonctions spécifiques, la disposition, l'échelle et les autres spécifications des contre-mesures dans la retenue. La liste complète des contre-mesures permettant d'obtenir une efficacité maximale à long terme est présentée dans la figure 7 33 et le tableau 7 30 ci-dessous.



Source : Équipe d'étude de la JICA

Figure 7-34 Aperçu des contre-mesures de sédimentation (menu complet)

Tableau 7-30 Résumé des contre-mesures de sédimentation de la retenue (menu complet)

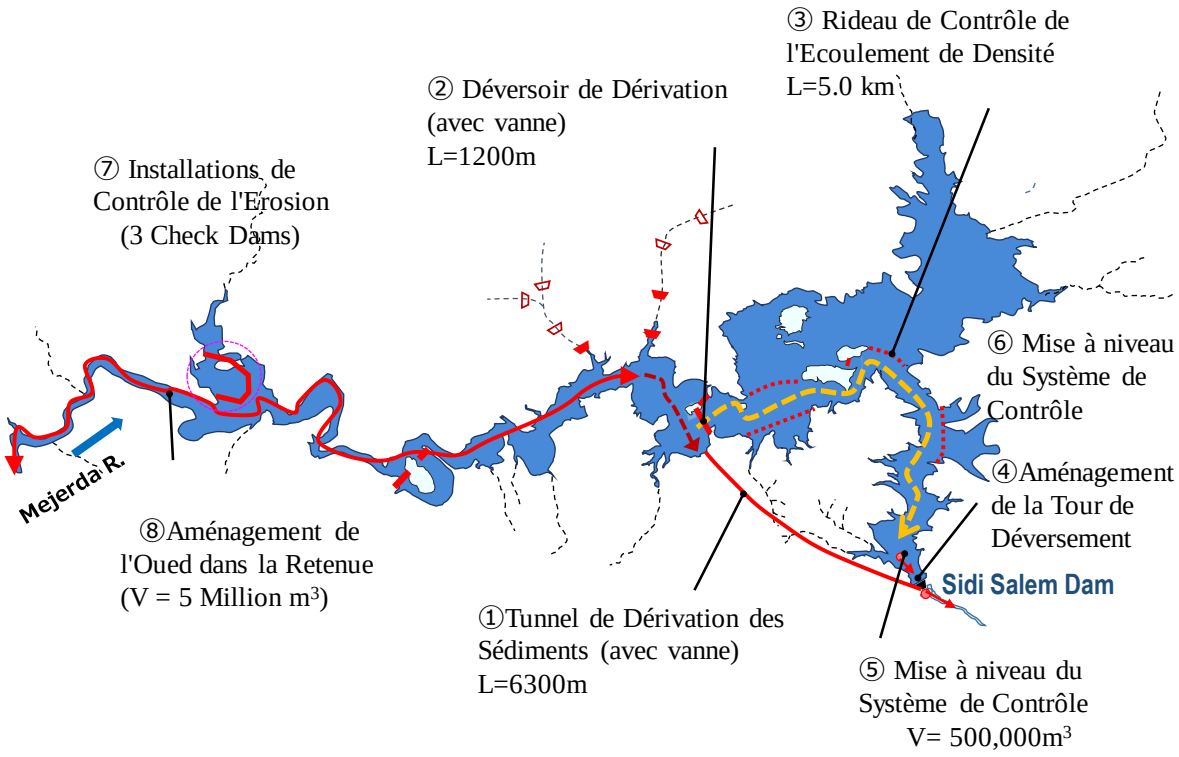
Cible	Description des travaux	Menu entier
Contre-mesures de sédimentation de la retenue	Contrôle du débit de densité	1. Tunnel de dérivation des sédiments (avec porte)
		2. Déversoir de dérivation
		3. Clôture de contrôle de débit de densité
		4. Amélioration de la tour du déversoir (tour)
		5. Dragage mécanique
		6. Mise à niveau des installations du système de contrôle

	Mesure contre l'effet de remous pour l'amont du barrage	7. Piège à sable
		8. Installation de contrôle de l'érosion (50 barrages de contrôle)
		9. Amélioration du canal dans la retenue (V = 12 Millions de m3)
	Système de contrôle des inondations de l'oued (option)	10. Mesures non structurelles pour l'ensemble du bassin fluvial

7.5.2 Contre-mesures du menu prioritaire

En fonction de l'efficacité et des enjeux de chaque contre-mesure, nous avons identifié les mesures les plus urgentes et prioritaires pour mettre en œuvre le projet.

Les résultats de l'étude sont résumés dans la Figure 7-35 et le Tableau 7-31. Les raisons de choix du menu prioritaire sont décrites ci-dessous.



Source : Équipe d'étude de la JICA

Figure 7-35 Aperçu des contre-mesures de sédimentation (menu prioritaire)

Tableau 7-31 Résumé des mesures de lutte contre la sédimentation de la retenue (menu prioritaire)

Description des travaux	**Menu complet**	**Menu prioritaire**
Contrôle du débit de densité	1. Tunnel de dérivation des sédiments (avec vanne)	1. Tunnel de dérivation des sédiments (avec vanne)
	2. Déversoir de dérivation	2. Déversoir de dérivation
	3. Clôture de contrôle de débit de densité	3. Clôture de contrôle de débit de densité
	4. Réhabilitation de la tour du déversoir (tour)	4. Réhabilitation de la tour du déversoir (tour)
	5. Dragage mécanique	5. Dragage mécanique
	6. Mise à niveau des installations du système de contrôle	6. Mise à niveau des installations du système de contrôle
Mesures contre l'effet de remous pour l'amont du barrage	7. Piège à sable	
	8. Installations de contrôle de l'érosion (50 barrages de contrôle)	7. Installations de contrôle de l'érosion **(3 barrages de contrôle dans le courant principal)**
	9. Amélioration du canal dans la retenue (V = 12 Millions de m3)	8. Amélioration du canal dans la retenue **(V = 5 millions de m3)**
Système de contrôle des inondations de l'oued (option)	10. Mesures non structurelles pour l'ensemble du bassin fluvial	9. Mesures non structurelles pour contrôle du débit de densité

(1) Piège à sable

- Les Pièges à sable I et II sont situés dans les zones E et F, respectivement, où on utilise la topographie naturelle du bassin de retardement. Le piège à sable en amont I est une grande plaine inondable au confluent des affluents de oued Beja, et les sédiments sont toujours déposés et piégés dans cette zone. Le pige à sable II du côté aval est situé dans la section sinueuse du cnal de l'oued et a une forme de fer à cheval, où les sédiments sont déposés et piégés lors des inondations. Ces deux zones ont des formes actuelles où les crues sont naturellement retenues et le dépôt de sédiments.
- Afin d'augmenter encore l'effet de captage de ces pièges à sable, le menu complet propose une installation qui capture efficacement les sédiments en ajustant le moment et le temps de rétention des eaux de crue s'écoulant dans le piège à sable prévu par remblai.
- Cependant, la fréquence et la portée de l'efficacité du piège à sable prévu sont faibles par rapport aux contre-mesures de débit de densité. Les sédiments piégés dans le piège à sable prévu sont également difficiles à évacuer en aval du barrage par le tunnel de dérivation des sédiments, et l'excavation d'entretien futur entraîne des coûts d'entretien importants, de sorte qu'il existe une grande incertitude quant à l'efficacité des mesures. Par conséquent, les pièges à sable I et II ont été exclus du menu prioritaire.

(2) Installations de contrôle de l'érosion

- Dans le menu complet, un total de 50 barrages de contrôle sont proposés selon le profil en long du cours d'eau. Le bassin cible sélectionné est prévu pour être mis en œuvre en tant que projet pilote en termes de gestion des sédiments du bassin versant dans le cadre du projet. Étant donné que ce projet pilote vise à contrôler l'érosion des terres agricoles du bassin en collaboration avec les agriculteurs locaux, il sera mis en œuvre sur une période de temps considérable, il est donc difficile de vérifier son efficacité dans un court laps de temps.
- Il faudrait construire un barrage de contrôle d'environ 10 mètres en aval, là où l'efficacité de capture des sédiments est la plus grande, afin de capturer rapidement les sédiments de la zone en amont. Le nombre de barrages de contrôle doit être de trois et peut être construit pendant la saison sèche.
- Dans le projet pilote, il est proposé de construire un petit barrage de retenue en forme d'escalier dans la zone amont du cours d'eau. La structure des petits barrages de retenue sera décidée pendant le projet pilote, par exemple en utilisant des cages en treillis métallique et des graviers générés localement, qui peuvent être construits manuellement et peuvent être achetés localement.

(3) Aménagement du canal dans la retenue

- Dans le menu complet, la largeur du canal a été fixée à 100 m afin de protéger la zone urbaine en amont de l'effet de remous et de permettre à l'eau très turbide dans les premiers stades de l'inondation de s'écouler en aval sans se diffuser dans l'embouchure de la dérivation. Dans ce cas, la quantité d'excavation serait d'environ 12 M m3, et on prévoit qu'il est difficile de sécuriser l'emplacement et la route d'accès au site de déversement des sols (y compris la réduction des terres agricoles) près du canal de l'oued. Par conséquent, sur la base de la végétation actuelle et des conditions du canal bas, il a été décidé de réduire la largeur du canal à 50 mètres.

Lorsque la largeur du canal est réduite à 50 m, l'effet d'abaissement du niveau de l'eau contre l'effet de remous est plus faible que dans le cas du menu complet, mais l'objectif est satisfait car le niveau de l'eau à la crue prévue à Bousalem, une zone urbaine en amont, est inférieur au PHE. La quantité d'excavation dans le menu prioritaire était d'environ 5 M m3

(4) Mesures non structurelles

- Des mesures non structurelles sont prévues pour le suivi de la distribution des précipitations, du niveau d'eau et du fonctionnement du barrage en temps réel et pour le contrôle systématique du stockage de l'eau dans la retenue du barrage et de l'écoulement du barrage dans tous les barrages qui existent dans le bassin de la Medjerda.
- Dans le cadre de ces contre-mesures, il est prévu d'installer un radar à bande X pour les précipitations afin de recueillir la large distribution des précipitations relatives à l'hydrologie. Actuellement, un radar à bande X sera installé en amont du même bassin fluvial grâce à une subvention du gouvernement français. Les composants du radar à bande X (portée d'observation, précision de mesure, etc.) ne sont pas encore connus, tout comme le coût et le calendrier d'installation.
- Enfin, dans ce projet, la mise à niveau de l'exploitation du barrage et le système de surveillance du niveau d'eau et de la turbidité dans la retenue et le barrage sont choisis comme menu prioritaire dans le cadre des mesures de lutte contre la sédimentation (contrôle du débit de densité) et de la mise en œuvre d'un fonctionnement optimal.

(5) Efficacité des contre-mesures du menu prioritaire

Les effets des contre-mesures (effets de réduction des sédiments) du menu prioritaire et du menu complet ont été comparés. Le menu prioritaire représente environ 80 % de l'effet de contre-mesure du menu complet, ce qui indique que l'effet de contre-mesure par le contrôle du débit de densité est significatif

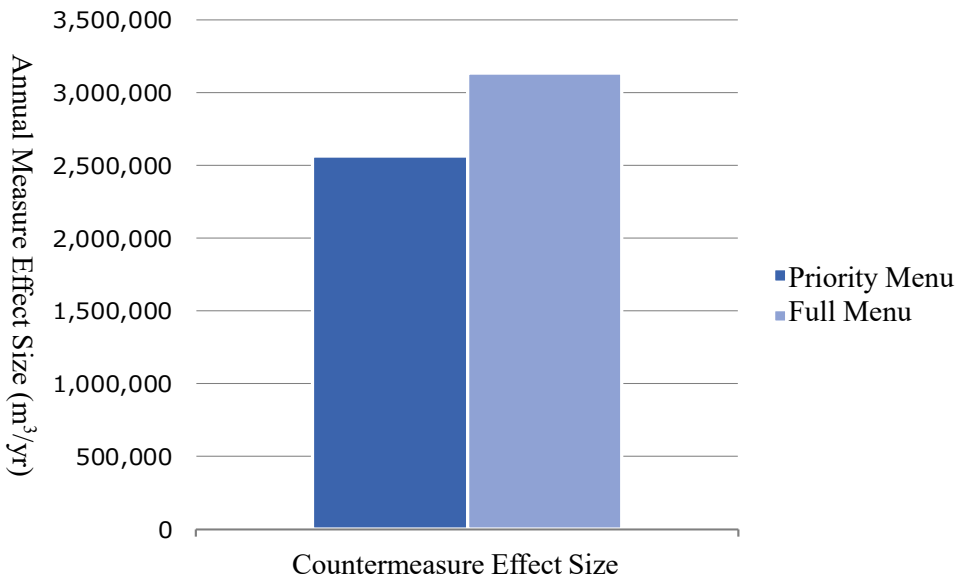


Figure 7-36 Comparaison de l'efficacité des contre-mesures du menu prioritaire et du menu complet

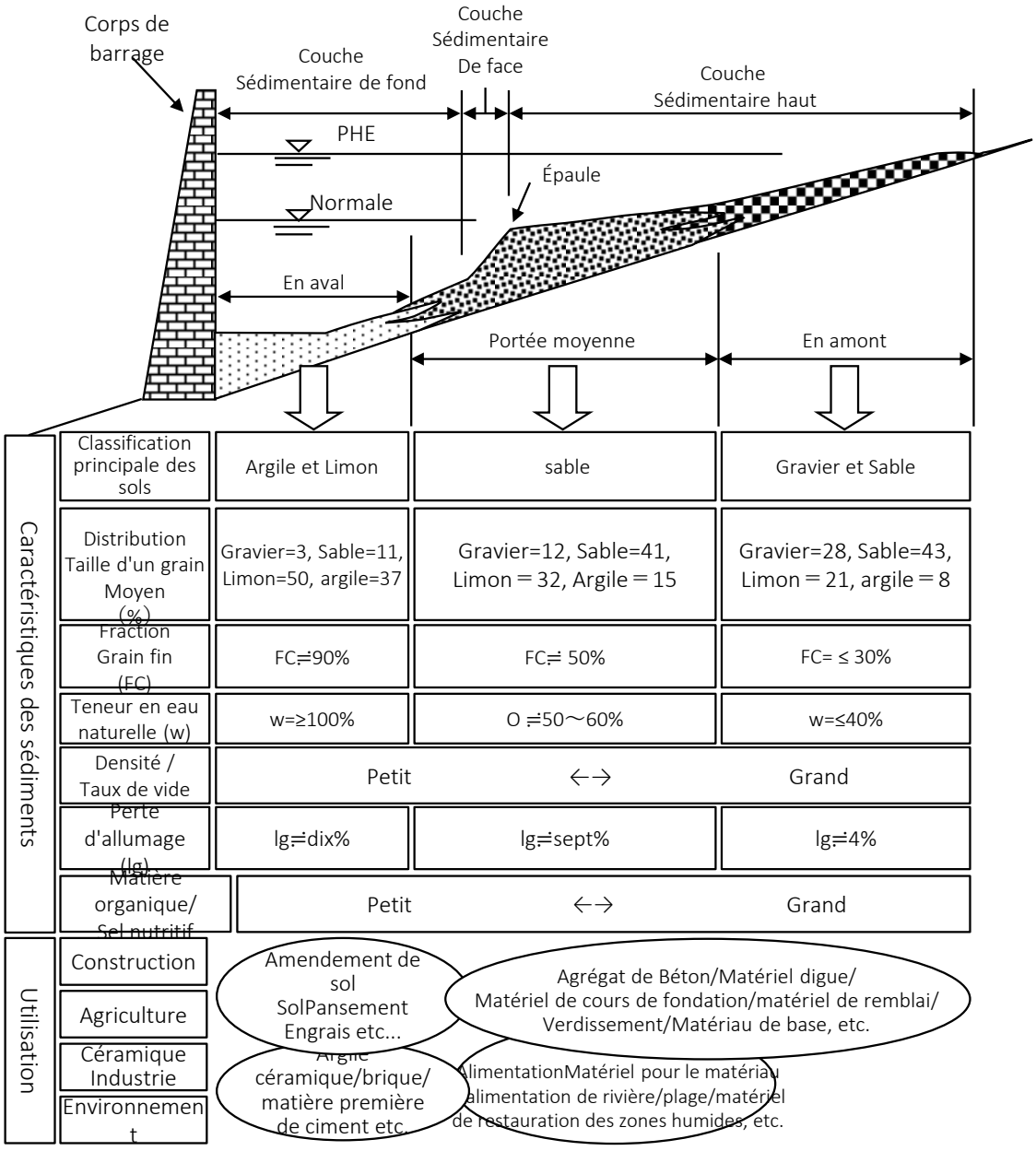
7.6 Utilisation des Sédiments Excavés

L'utilisation des sédiments excavés de la retenue a été examinée. Les sédiments du barrage de Sidi Salem sont essentiellement constitués de grains fins. Bien que l'utilisation de grains fins soit difficile, des méthodes potentielles sont présentées.

7.6.1 Menu pour l'Utilisation Générale

En général, les sédiments du barrage peuvent être utilisés dans les domaines proposés dans la figure ci-dessous. Pour les composants argileux et limoneux du barrage de Sidi Salem, les utilisations suivantes sont recommandées.

- Matériaux d'Amélioration du Sol, Habillage de Sol, Engrais.
- Céramique Argile, Briques, Matériaux en Ciment, etc.



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 7-37 Utilisation des Sédiments

7.6.2 Essais In Situ pour l'Utilisation des Sédiments du Barrage de Sidi Salem

(1) Sélection des Matériaux

L'utilisation des matériaux est examinée en se concentrant sur les industries, les bâtiments et autres produits typiques en Tunisie.

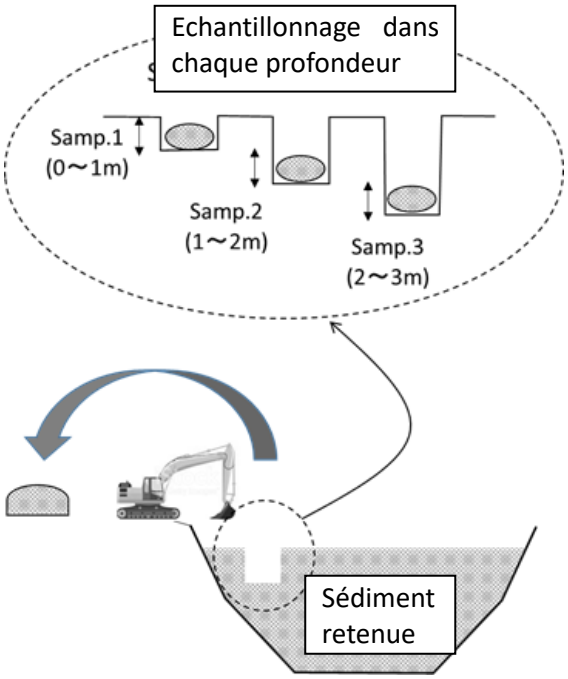
Tableau 7-32 Produits par Utilisation de Sédiments

No	Produits	Eléments à Evaluation
1	Sol - Ciments	・Essai de Matériaux ・Préparation des échantillons d'essai ・Essai de conformité : Résistance à la compression…
2	Briques	・Prototypes ・Examen de la qualité (comparaison aux Normes)
3	Carrelage	・Prototypes ・Examen de la qualité (comparaison aux Normes)
4	Tuile	・Prototypes ・Examen de la qualité (comparaison aux Normes)
5	Utilisation dans les terres agricoles	・Analyse chimique du sol, y compris les nutriments, les substances nocives, etc. ・Comparaison avec les terres agricoles autour du réservoir

Source: Equipe d'Etude de la JICA

(2) Echantillonnage

Des échantillons ont été collectés à partir du réservoir pour essai. Dans la Zone E, le dépôt d'argile et de limon a atteint plus de 3 m sur les berges de l'oued. Il n'y avait aucune apparence de lessivage des eaux souterraines de la surface excavée. Le sol boueux n'a pas beaucoup adhéré au godet de l'appareil d'excavation pendant les travaux d'excavation. Il n'y a pas eu de problème de maniabilité lors de l'excavation du sol.



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 7-38 Echantillonnage de Sédiments

Tableau 7-33 Échantillonnage de la composition des sédiments

Site d'échantillonnage à proximité du réservoir	Excavation 1
Excavation 2	Sédiments Excavés
Site après Excavation	Section Verticale après Excavation

Source: Equipe d'Etude de la JICA

(3) Stockage des sédiments excavés

Les sédiments excavés ont été séchés sur place, puis emballés dans des sacs de sable et transportés vers le site de stockage.

Tableau 7-34 Conditions de stockage des sédiments excavés

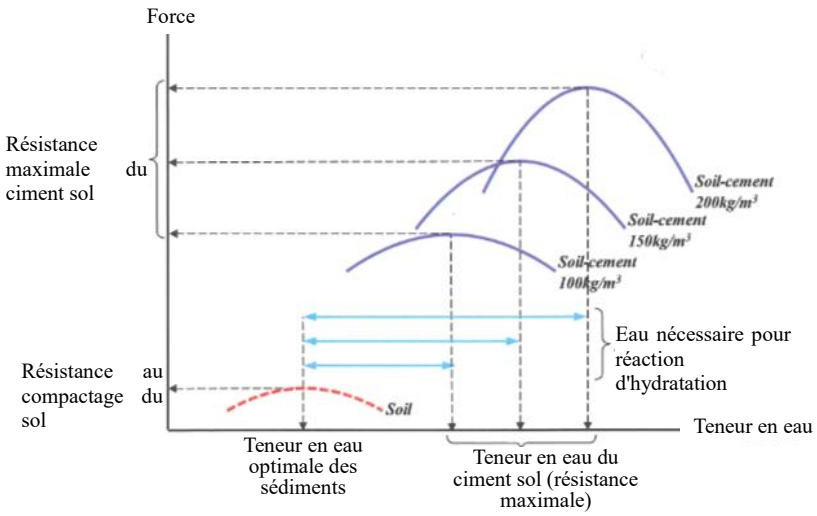
Source: Equide d'Etude de la JICA

(4) Essais pour le Sol-Ciment

Le sol-ciment est un matériau durci par la réaction d'hydratation du ciment mélangé aux sédiments. Comme les sites du projet de contrôle des sédiments sont situés dans des zones montagneuses, le coût des méthodes de construction conventionnelles, comme l'élimination des terres excavées, augmente. Cela entrave également le transport des matériaux de construction tels que le béton vers les sites. Il en résulte une faible efficacité de la construction.

D'un autre côté, le sable et les graviers déposés sur les lits des cours d'eau des sites du projet de contrôle des sédiments sont souvent de bonne qualité pour les matériaux de construction. "le sol ciment " utilise de tels matériaux déposés sur les sites. Il s'agit d'une méthode d'ingénierie efficace et importante non seulement en termes de conservation de l'environnement mais aussi de réduction des coûts.

Dans cette étude, afin d'examiner la possibilité d'utiliser les sédiments déposés dans la retenue pour fabriquer une énorme quantité de "sol-ciment", du ciment et de l'eau sont mélangés à des sédiments prélevés sur le site, et la résistance du prototype est testée.



Source: Manuel sur la méthode de construction par le ciment sol (2016)

Figure 7-39 Relation entre la teneur en eau et la résistance à la compression

1) Préparation des prototypes et méthode d'essai

Des prototypes ont été préparés pour mesurer la résistance du sol-ciment. Les Tableau 7-41 ~ Tableau 7-38 illustrent l'état de la préparation des prototypes à l'aide de matériaux locaux. Une certaine quantité de sédiments produits localement est collectée et un test de distribution de la taille des particules est effectué. Ensuite, une quantité prédéterminée de ciment et d'eau a été mélangée et malaxée à l'aide d'un mélangeur afin de préparer un prototype pour un test de résistance à la compression uniaxiale.

Tableau 7-35 Essai de sol ciment à l'aide de sol généré localement (partie 1)

Figure 11. Weighting the amount of water

Figure 11. Spraying sediment layers

Figure 13. Preservation of wet sediment in airtight bags

Source : Equide d'Etude de la JICA

Tableau 7-36 Essais de sol ciment à l'aide de sol généré localement (partie 2)

Figure 14. Proctor mould: preparation and introduction of layers into the mould

Figure 15. Running the Proctor test (compacting and arasing of the test tubes)

Figure 16. Weighting the amount of cement

Figure 17. Introducing cement into the tank at the time of kneading

Figure 18. Introducing lime into the tank when kneading

Source: Equide d'Etude de la JICA

Tableau 7-37 Essais de sol ciment à l'aide de sol généré localement (partie 3)

Figure 20. Weighting a test specimen after demoulding

Figure 21. Texture of specimens after demoulding

Figure 22. Referencing of specimens

Figure 23. Curing of specimens

Source: Equide d'Etude de la JICA

Tableau 7-38 Essais de sol ciment à l'aide de sol généré localement (partie 4)

Figure 24. Compressive test, evolution of strength as function as strain

Figure 25. Break after compressive test

Source: Equide d'Etude de la JICA

2) Résultat des essais des prototypes

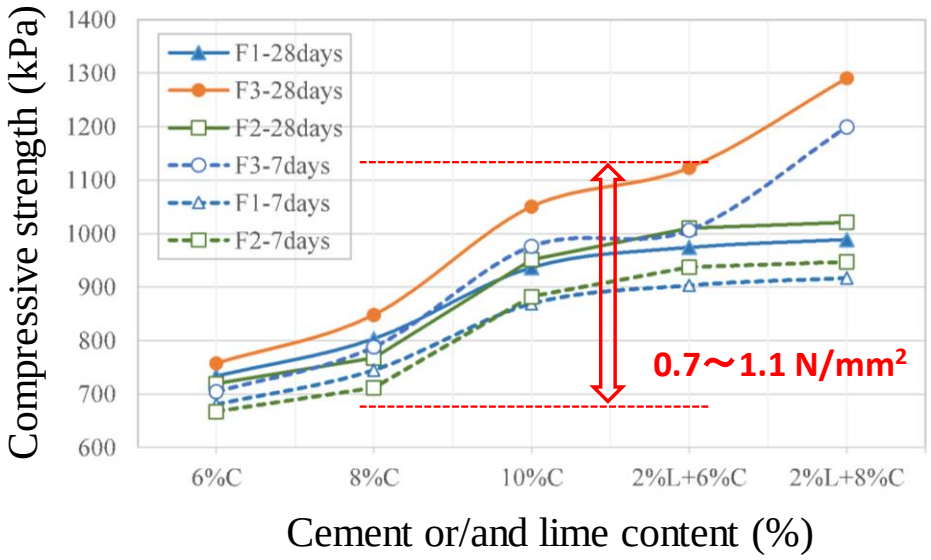
Des prototypes de sol-ciment ont été préparés à partir de sédiments recueillis à trois endroits de la retenue, et des essais de résistance ont été effectués. Les cinq types de sol-ciment suivants ont été préparés.

Tableau 7-39 Prototypes de sol ciments préparés

Specimen	Profondeur	Additif
1	3 m de profondeur	6 % de ciment ajouté
2	2 m de profondeur	8 % de ciment ajouté
3	3 m de profondeur	10 % de ciment ajouté
4	3 m de profondeur	6 % de ciment + 2 % chaux rapide ajoutée
5	2 m de profondeur	8 % de ciment + 2 % chaux rapide ajoutée

Source: Equide d'Etude de la JICA

Les résultats de l'essai du sol ciment en utilisant le sol excavé sont montrés dans la Figure 7-40. Il a été précisé qu'une résistance d'environ 700 à 1100 kPa (0.7 à 1.1 N/mm^2) peut être obtenue en ajoutant 6 à 10 % de ciment.



Source: Equide d'Etude de la JICA

Figure 7-40 Résumé des résultats des essais du sol ciment

Selon la norme japonaise du sol ciment (Tableau 7-40), cela correspond au niveau I de résistance cible, mais on peut dire que les caractéristiques de résistance avec une qualité de sol améliorée ont été obtenues.

De ce fait, on peut s'attendre à ce que les sédiments excavés soient utilisés comme sol ciment, pour une utilisation efficace en tant que matériau d'amélioration du sol, du revêtement des routes et des digues.

Tableau 7-40 Norme de résistance du sol ciment

Niveau de résistance cible I (0.5~1.5 *N*/mm^2)	Caractéristiques de résistance pour l'amélioration des sols (~2.0 *N*/mm^2)
Niveau de résistance cible II (1.5~3.0 *N*/mm^2)	Caractéristiques de résistance pour le béton (2.0 *N*/mm^2 ~)
Niveau de résistance cible III (3.0 *N*/mm^2~)	

Source: Sabo Soil Cement Construction Handbook (2016)

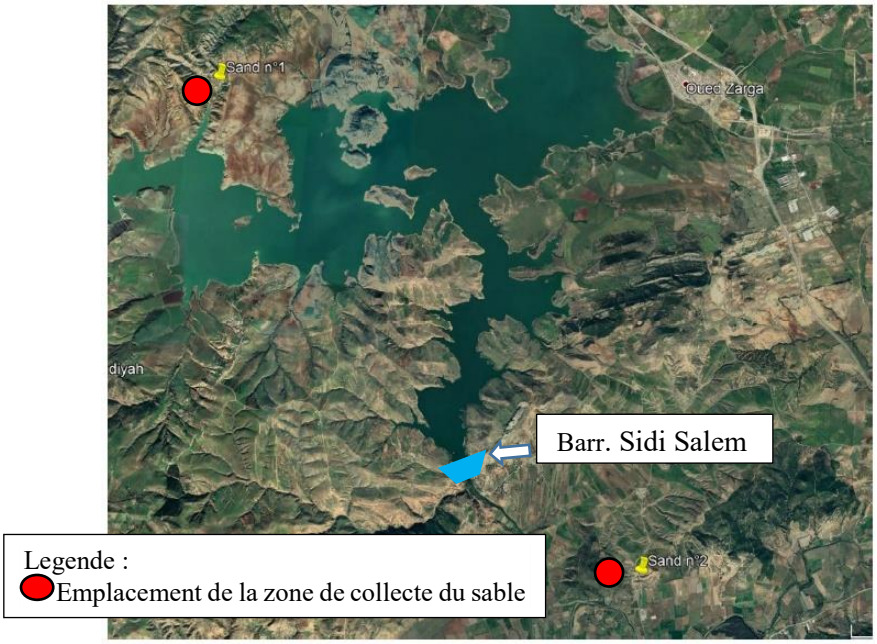
(5) Prototypes de briques et de tuiles

Comme pour le sol ciment, (1) des essais de production de briques et (2) de tuiles ont été réalisés dans le but d'examiner les sédiments disponibles (dépôts d'argile) dans la retenue. En ce qui concerne les tuiles de toit, il est apparu clairement en Tunisie qu'il n'y a pas de distinction entre les tuiles de toit et les spécifications des tuiles ordinaires. Par conséquent, n'importe quelle tuile peut être utilisée tant qu'il n'y a pas de problème concernant la qualité qui doit être satisfaisante au niveau des résultats des tests.

1) Essai de fabrication de briques

(a) Aperçu général

Le matériau d'essai (dépôt d'argile) est collecté sur le même site que l'essai de sol ciment, mais dans l'essai de fabrication de briques, des échantillons de sable sont collectés à proximité de la retenue illustrés dans la Figure 7-41, et ceux-ci sont mélangés pour fabriquer des briques.



Source: Equide d'Etude de la JICA

Figure 7-41 Emplacement du point de prélèvement du sable

En outre, les matériaux de test collectés et le sable ont été soumis à une analyse aux rayons X et à des tests chimiques de la même manière que le sol ciment. Ces analyses ont révélé que les dépôts d'argile et le sable, qui sont les échantillons cibles, contenaient une grande quantité de calcium ($CaCO_3$) et d'acide silicique (SiO_2).

(b) Essais de production de briques

Dans les essais de production de briques, la température de cuisson des briques a été fixée selon les conditions du tableau ci-dessous pour les matériaux dans lesquels le sable a été mélangé aux dépôts d'argile, et les essais indiqués dans le tableau ont été effectués dans chaque condition, et les résultats ont été comparés.

Tableau 7-41 Conditions de température de cuisson des briques et éléments comparatifs des essais

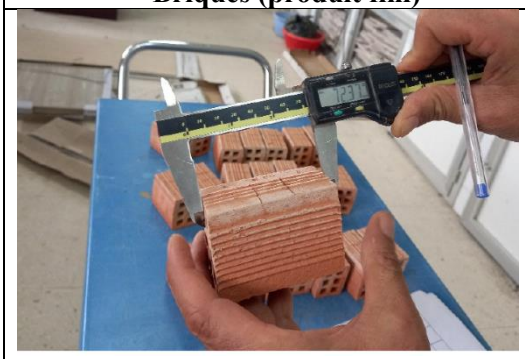
Température de cuisson des briques	Éléments des essais
Trois conditions: 850 ℃, 900 ℃, 950 ℃	① Rétrécissement au séchage (en %) ② Rétrécissement à la cuisson (en %) ③ Porosité (en %) ④ Résistance à la compression uniaxiale (Mpa)

Source: Equide d'Etude de la JICA

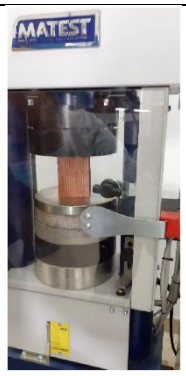
Selon les résultats des essais de production de briques réalisés dans le cadre de cette étude, les briques cuites à une température de 900°C ont la plus grande résistance (résistance à la compression uniaxiale : 7,1 MPa en moyenne). Cette résistance et la composition chimique des dépôts d'argile du matériau de la brique peuvent répondre aux normes des briques couramment utilisées comme matériaux de construction en Tunisie. Par conséquent, il a été constaté que les dépôts d'argile collectés dans la retenue peuvent être réutilisés comme briques en les mélangeant avec du sable collecté dans le voisinage.

Briques (produit fini)

Machine à cuire au four



Mesure des briques



Essai de compression uniaxiale

Source: Equide d'Etude de la JICA

Figure 7-42 État des essais de production de briques

2) Essais de production des tuiles

(a) Aperçu général

Comme pour les briques, des dépôts d'argile ont été collectés sur le même site que pour les essais de sol-ciment en (1), et comme pour les briques, du sable collecté à proximité de la retenue a été mélangé pour créer des tuiles. Par conséquent, les résultats de l'analyse aux rayons X et des essais chimiques sont les mêmes que ceux de l'analyse du matériau des tuiles.

(b) Essais de production des tuiles

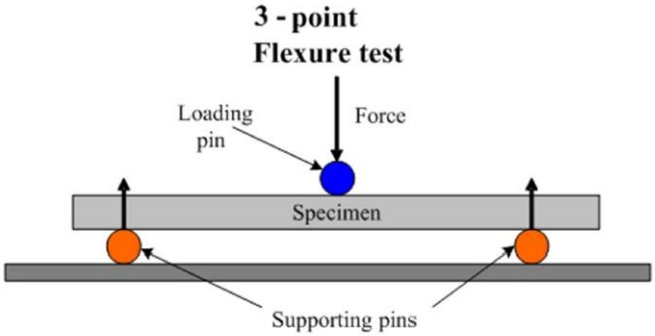
Dans les essais de préparation des tuiles, la température de cuisson des tuiles a été fixée selon les conditions du tableau ci-dessous pour le matériau dans lequel du sable a été mélangé au dépôt d'argile, et les essais indiqués dans le tableau ont été effectués dans chaque condition, et les résultats ont été comparés.

Tableau 7-42 Conditions de température de cuisson des tuiles et éléments comparatifs des essais

Température de cuisson	Test Items
Quatre conditions: 1,000℃, 1,050℃, 1,110℃ and 1,150℃	① Rétrécissement au séchage (en %) ② Rétrécissement à la cuisson (en %) ③ Porosité (en %) ④ Essai de flexion (Mpa)

Source: Equide d'Etude de la JICA

Dans Tableau 7-42, (4) L'essai de flexion mesure la résistance limite de la déformation des tuiles créée par les équipements et méthodes d'essai suivants.



Source: Equide d'Etude de la JICA

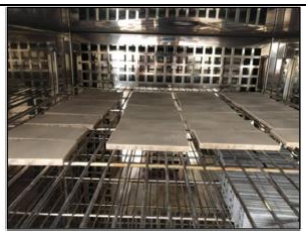
Figure 7-43 Aperçu de l'essai de flexion

D'après les résultats des essais de production de tuiles réalisés dans le cadre de l'enquête, les tuiles cuites à une température de 1 050 °C présentaient la plus grande résistance (résistance limite à la flexion : 1,73 MPa en moyenne). A l'heure actuelle, la Tunisie ne dispose pas de normes claires pour la fabrication des tuiles. Cependant, les tuiles cuites à 1 050 ° C sont aussi solides selon les résultats des tests, donc si la résistance des résultats des tests est acceptable, les dépôts d'argile recueillis dans la retenue seront mélangés avec du sable recueilli dans le voisinage. Ce faisant, il est possible qu'ils puissent être réutilisés comme matériau pour les tuiles.

Tuiles (après cuisson)

Test de flexion

Tuiles (avant cuisson)



Séchage des tuiles et machine à sécher

Source: Equide d'Etude de la JICA

Figure 7-44 Aperçu des essais de production de tuiles

CHAPITRE 8 CONSIDERATIONS DE MESURES DE DRAGAGE/EXCAVATION DES SEDIMENTS

8.1 Etat Actuel du Dragage en Tunisie et dans les Pays Voisins

A ce jour, il n'y a pas de travaux de dragage proprement dit effectués dans les réservoirs de barrage en Tunisie. Auparavant, la marine tunisienne possédait d'une drague hollandaise, mais elle n'est pas actuellement en service. L'entreprise de construction belge a réalisé les travaux de dragage sur le golfe de Tunisie[1]. Les grandes entreprises de construction (ponts et routes) disposent de SOROUBAT, CHABANE & CO, ETEP, SBF, etc., et ont une expérience dans les travaux d'aménagement fluviaux comme le curage d'oued, mais aucune d'entre elles ne dispose de matériel de dragage.

Selon une discussion avec une agence nationale tunisienne d'un fabricant de machines de dragage, bien qu'il y ait peu d'informations publiques, il existe plusieurs (4-5) entreprises de dragage militaires du gouvernement algérien. Cependant, en raison des différences dans le système politique et des problèmes territoriaux avec la Tunisie, il est difficile pour la société de dragage Algérienne d'entreprendre des travaux de dragage, y compris la collecte d'informations. Nous avons estimé qu'il serait souhaitable de sous-traiter[2]. Selon le Ministère des Travaux Publics et des Transports de l'Algérie, d'ici 2017, il était prévu de réaliser des opérations telles que des travaux de dragage[3]. Dans le cas des travaux de dragage et des travaux de quai, où l'investissement privé est peu susceptible d'augmenter les profits, il est prémisse que le gouvernement algérien utilisera l'autofinancement ou l'emprunt extérieur.

Hydrodragage Spa., L'une des sociétés nationales de dragage algériennes, possède trois équipements de dragage par aspiration à coupe de fabrication néerlandaise et, depuis 1988, effectue des travaux de dragage d'entretien pour restaurer la retenue à l'intérieur des terres algériennes[4]. Étant donné que le dragage du réservoir peut être difficile pour le transport intérieur, y compris le carburant, le module de l'équipement de dragage peut être démonté. L'équipement de dragage est en opération depuis longtemps dans un réservoir en Algérie et le moteur est fréquemment démonté et inspecté. L'équipement périphérique de dragage comprend un dispositif d'aspiration à coupe, une station de surpression à distance et un tuyau de décharge de sable flottant d'une longueur totale d'environ 4 km et d'un diamètre de 650 mm, un tuyau de décharge de sable de décharge à terre, une installation d'hébergement, une navigation lumière, et une grue de pont. La retenue étant relativement profond, une échelle de coupe plus longue est installée pour une profondeur de dragage de -18 m fonctionnant à 45° (voir Figure 8-1).

Source: Damen

Figure 8-1 CSD500 avec X-mas tree Mise en Place et en Opération

[1] World Bank, Tunisia - Second Port Projec

[2] https://www.environmental-expert.com/companies/keyword-dredging-308/serving-tunisia (Final circulation: 15th of July, 2020)

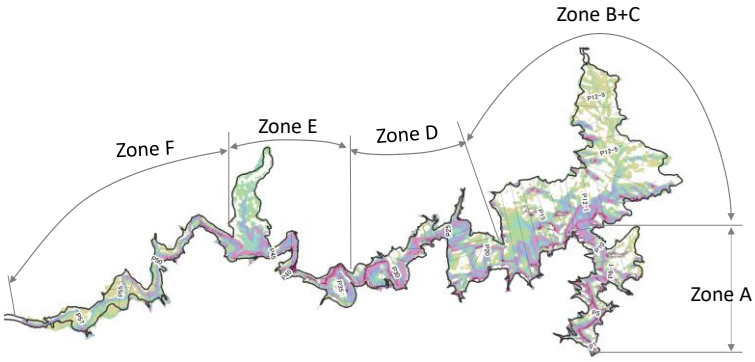
[3] Algeria country investment environment status information collection and verification survey Final Report 2018. February (2018) Japan International Cooperation Agency (JICA), New Japan limited liability audit corporation, Ltd. International Development Center

[4] https://www.dredgepoint.org/dredging-database/owners/hydrodragage-spa (Final circulation: 10th of July, 2020)

8.2 Etat de Base

8.2.1 Définition des Zones

La plupart des sédiments qui s'écoulent dans la retenue de Sidi Salem sont des sédiments causés par l'apport de sédiments produits en amont du réservoir du barrage. La retenue du barrage de Sidi Salem est divisée en zones comme indiqué sur la Figure 8-2.



Longueur des Zones :

Zone A: 6.5 km

Zone B+C: 2.5-8.5 km

Zone D: 4.5 km

Zone E: 4.5 km

Zone F: 5.5 km

Source: Equipe d'Etude de la JICA

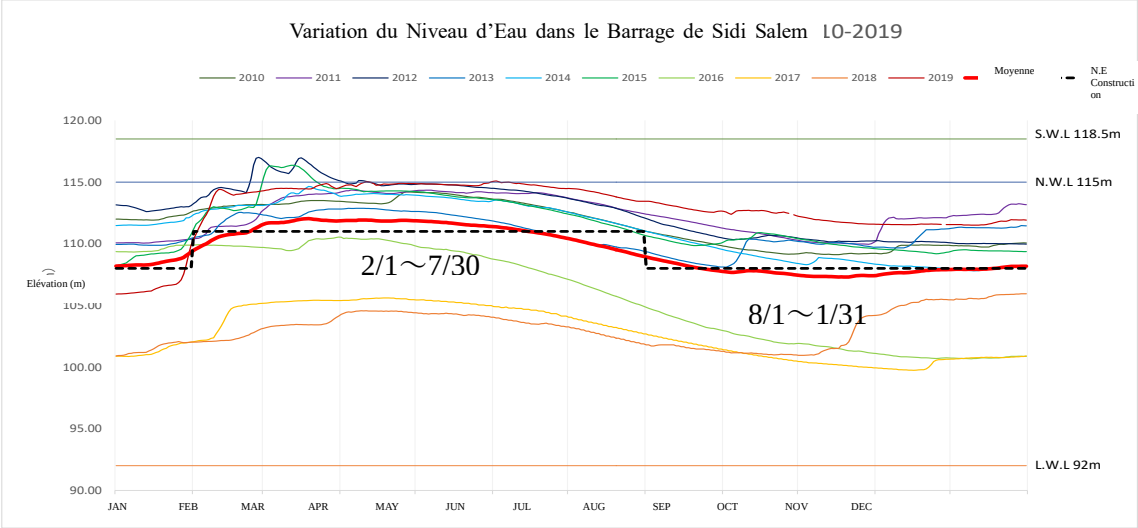
Figure 8-2 Zonage du Réservoir du Barrage de Sidi Salem

8.2.2 Conditions de Construction pour Dragage et Excavation

Afin de maintenir les activités du réservoir de Sidi Salem et de promouvoir de manière appropriée la gestion des sédiments du réservoir, il est nécessaire de saisir les caractéristiques des sédiments, puis d'estimer le volume annuel moyen de sédiments, le volume annuel moyen de sédiments restant et les mesures annuelles, et calculer la quantité requise de mesures en tenant compte de la quantité éventuellement requise d'excavation d'entretien.

(1) Condition du Niveau d'Eau

La Figure 8-3 montre la fluctuation du niveau de stockage moyen calculé à partir des niveaux de stockage des 10 dernières années. Sur la base des niveaux d'eau des saisons sèches et pluvieuses précédentes, le niveau d'eau moyen des saisons sèches et pluvieuses sera défini comme condition de construction.



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 8-3 Variation des Niveau D'eau dans le Barrage de Sidi Salem

8.2.3 Disposition des Sédiments d'Etude

Un bilan sédimentaire entre 1997 et 2017 (depuis le changement du niveau de stockage) est réalisé en 2018. On estime que 6,4 millions de m^3/an (environ 60%) seront déposés dans la retenue et 4,2 millions de m^3/an (environ 40 %) traverseront, tandis que la quantité de sédiments entrants est de 10,6 millions de m^3/an.

Le Tableau 8-1 montre la quantité de sédimentation par zone.

Tableau 8-1 Quantité de Sédiments par Zone

Zone	F	E	D	B+C	A	A~F
① Argile	30,000	40,000	40,000	290,000	160,000	600,000
② Limon	870,000	770,000	1,110,000	2,460,000	630,000	5,800,000
Total	900,000	810,000	1,150,000	2,750,000	790,000	6,400,000

Source: Equipe d'Etude de la JICA (Unité: m^3/an)

8.2.4 Nécessité d'évacuation des sédiments dans chaque zone

Sur la base des conditions ci-dessus, la méthode et la nécessité de l'évacuation des sédiments dans chaque zone sont indiquées. Les zones où l'évacuation est hautement nécessaire sont les zones A, D et E.

Tableau 8-2 Nécessité d'évacuation des sédiments

Zone	Profondeur de l'eau (sous travaux d'évacuation)		Volume de sédimentation (millions de m^3)	Capacité en eau (millions de m^3)		Methode principale	Necessité
	Saison sèche	Saison des pluies		Capacité utile	Contrôle des inondations		
A	36 m	39 m	32.9	106	24	Dragage	Maintenir la fonction des installations existantes de prise et de rejet d'eau
B+C	15 m	18 m	19.6	377	102		Cette zone a la plus grande capacité d'au utile retenue parmi toutes les zones. Il est prévu d'installer un tunnel de dérivation des sédiments et des clôtures de contrôle du courant de densité pour contrôler la sédimentation dans cette zone.
D	11 m	14 m	54.0	101	35		L'entrée de dérivation des sédiments et le déversoir de dérivation prévus sont situés à cet endroit. La fonction de ces installations devrait être maintenue.
E	0 m	0 m	61.9	7	23	Excavation	Un bassin de piégeage sera installé dans cette zone et les sédiments capturés devront être enlevés.
F	0 m	0 m	22.8	1	10		L'apport de sédiments devrait être réduit en raison de la construction du canal fluvial.

Non publique

CHAPITRE 9 FONCTIONNEMENT ET ENTRETIEN DU BARRAGE

9.1 Aperçu de l'operation fonctionnement du contrôle du courant de densité à travers le tunnel de dérivation des sédiments

9.1.1 Hypothèses

(1) Aménagements contre la sédimentation et débit de pointe

Dans ce paragraphe, un aperçu de l'opération du contrôle du courant de densité moyennant le tunnel de dérivation de sédiments et donné. Cette opération a pour but de contrôler le débit entrant des eaux turbides ayant une concentration élevée en matière solide en suspension induite par les inondations.
Les hypothèses adoptées dans ce contexte sont détaillées ci-dessous.

- Les structures concernées par l'opération du contrôle de sédimentation sont le tunnel de dérivation de sédiments, le déversoir, la valve de désensablement existante et l'installation de production d'électricité.

- La crue de projet adopté dans cette étude est caractérisée par un débit entrant maximal de 400 m^3/s ce qui reste inférieur à la capacité maximale de la décharge de barrage Sidi Salem. Le débit sortant visé correspond à des crues d'une probabilité d'occurrence relativement élevée et résultant en un débit sortant inferieur la capacité de la rivière en aval.

- On prévoit que les autres installations de contrôle des sédiments installées comprennent un rideau de contrôle du débit de densité comme contre-mesure à la sédimentation. Par conséquent, on suppose que les eaux troubles qui débordent du déversoir de dérivation atteindront rapidement le site du barrage sans s'étendre aux réservoirs des zones B et C. Les crues en Tunisie durent habituellement plus de dix jours. Par conséquent, même s'il faut plus d'un jour pour que l'eau turbide atteigne le réservoir, il est toujours possible de décharger les sédiments du barrage avec la vanne de décharge existante pendant la période de crue.

- Pour le déversoir de dérivation, on prévoit l'aménagement d'une entaille au niveau de la vanne pour assurer la prise d'eau du réservoir au-dessous du côté EL. 114 m. Des spécifications des installations de dérivation de l'eau doit être prises en compte au moment de l'étude détaillée du projet.

- Pour le déversoir de dérivation, on suppose qu'une entaille sera installée avec la vanne. En plaçant l'encoche dans la partie du déversoir de dérivation, la capacité en inférieure à 114 m peut être utilisée pour assurer la prise d'eau de la retenue. Les spécifications des installations de dérivation de l'eau doivent être prises en compte au moment de la conception détaillée.

Pour le contrôle du débit de densité (décharge de sédiments), moyennant les différentes installations mentionnées ci-dessus, telles que le tunnel de dérivation, le déversoir, etc., les vannes de ces installations vont être contrôlées et actionnées de manière à réduire l'entrée d'eau très turbide dans le réservoir principal (zones A, B et C).

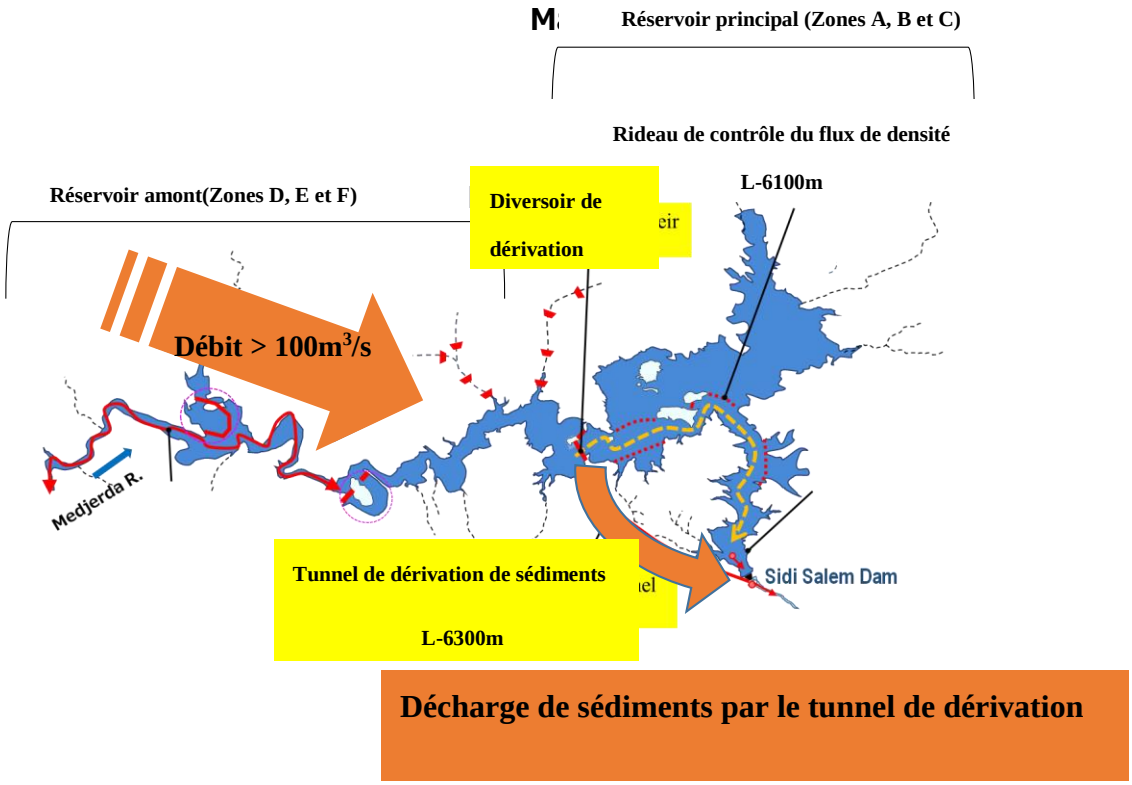


Figure 9-1 Aperçu du contrôle du débit de densité moyennant le tunnel de dérivation des sédiments

(2) Seuil de débit pour le déclenchement de l'opération de contrôle du débit de densité

L'évacuation des eaux turbides par le tunnel de dérivation des sédiments devrait être déclenchée lorsque le débit d'eau atteint 100 m3/s. On estime que, sous cette condition, la concentration en MES de l'eau est très élevée.

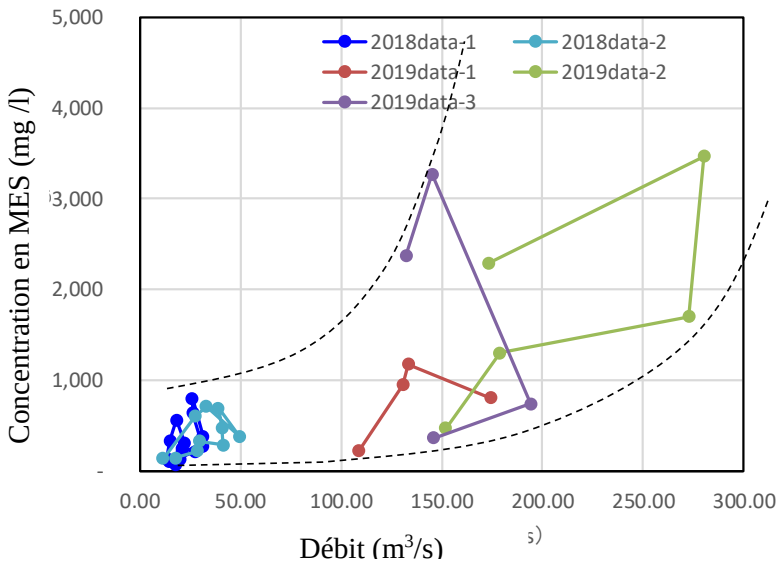


Figure 9-2 Corrélation entre le débit entrant et la concentration en MES

9.1.2 Résultats de l'étude sur le contrôle du débit de densité

Compte tenu des hypothèses mentionnées ci-dessus, le statu de chaque installation y inclus l'ouverture/fermeture des vannes est examiné ainsi que les caractéristiques du flux d'eau entrant (débit et turbidité) tout au long de l'opération de contrôle du débit de densité. Ceci a été réalisé par rapport aux différents stages d'un événement de crue. Ces étapes sont détaillées ci-dessous et illustrées dans les Tableau 9-1 à Tableau 9-4.

(1) Étape❶

- Le débit entrant est inférieur à 100 m^3/s et la turbidité est faible.
- La vanne de prise d'eau du tunnel de dérivation des sédiments est complètement fermée.
- Lorsque le niveau d'eau au réservoir principal est inférieur à EL.112 m, la vanne du déversoir sera ouverte entièrement, permettant à l'eau claire de passer en aval du déversoir, donnant la priorité à la prise d'eau pour l'irrigation.

(2) Étape ❷

- Le débit entrant est inférieur à 100 m^3/s et la turbidité est faible.
- La vanne de prise d'eau du tunnel de dérivation des sédiments est complètement fermée.
- Lorsque le niveau d'eau dans le réservoir principal atteint la cote EL.112m, la prise d'eau pour l'irrigation sera arrêtée et la vanne du déversoir de dérivation sera entièrement fermée.

(3) Étape ❸

- Le débit entrant augmente et va bientôt atteindre 100 m^3/s et l'eau du réservoir amont commence à

devenir turbide. Etant donné que la vanne du déversoir de dérivation est complètement fermée, le niveau d'eau dans le réservoir amont commence à augmenter au-dessus de EL.112m.

- La vanne du tunnel de dérivation des sédiments est entièrement ouverte en préparation pour le commencement de l'opération de décharge des sédiments.

(4) Étape ❹

- Le débit entrant dépasse 100 m^3/s et l'eau du réservoir amont devient turbide.
- La vanne du tunnel de dérivation des sédiments est complètement ouverte ce qui permet l'évacuation directe des eaux turbides.
- La priorité est accordée à l'évacuation des sédiments par le tunnel de dérivation jusqu'à ce que le niveau d'eau dans le réservoir amont atteigne EL.114m, ce qui correspond au débordement de l'eau dans le réservoir principal (aval).

(5) Étape ❺

- Le débit entrant est supérieur à 100 m^3/s et l'eau du réservoir supérieur devient encore plus trouble.
- Le niveau d'eau dans le réservoir supérieur dépasse EL.114m, et l'eau déborde du déversoir de dérivation dans le réservoir principal.
- La vanne du tunnel de dérivation des sédiments est laissée complètement ouverte et l'opération de décharge des sédiments se poursuit.
- Étant donné que de l'eau turbide s'écoule également dans le réservoir principal, une prise d'eau de production d'énergie sera mise en œuvre pour maintenir le niveau d'eau dans le réservoir principal à EL.112m dans le but de maintenir la capacité par rapport aux risques potentiels d'inondation induits par une augmentation inattendue des débits.

(6) Étape ❻

- Le débit entrant a passé son pic et commence à diminuer. Cependant, la turbidité est toujours élevée.
- Le niveau d'eau dans le réservoir amont est supérieur à EL.114 m, et l'eau turbide déborde toujours dans le réservoir principal.
- La vanne de prise d'eau du tunnel de dérivation des sédiments est laissée complètement ouverte et l'opération de décharge des sédiments se poursuit.
- Lorsque l'eau déversée du déversoir dépasse la capacité maximale de la tour de prise d'eau de la production d'électricité, la vanne de décharge existante est utilisée pour évacuer l'eau turbide fortement concentrée en MES qui a atteint le barrage. Le niveau d'eau dans le réservoir principal doit être maintenu à EL.112m pour se préparer aux augmentations brusques des débits.

(7) Étape ❼

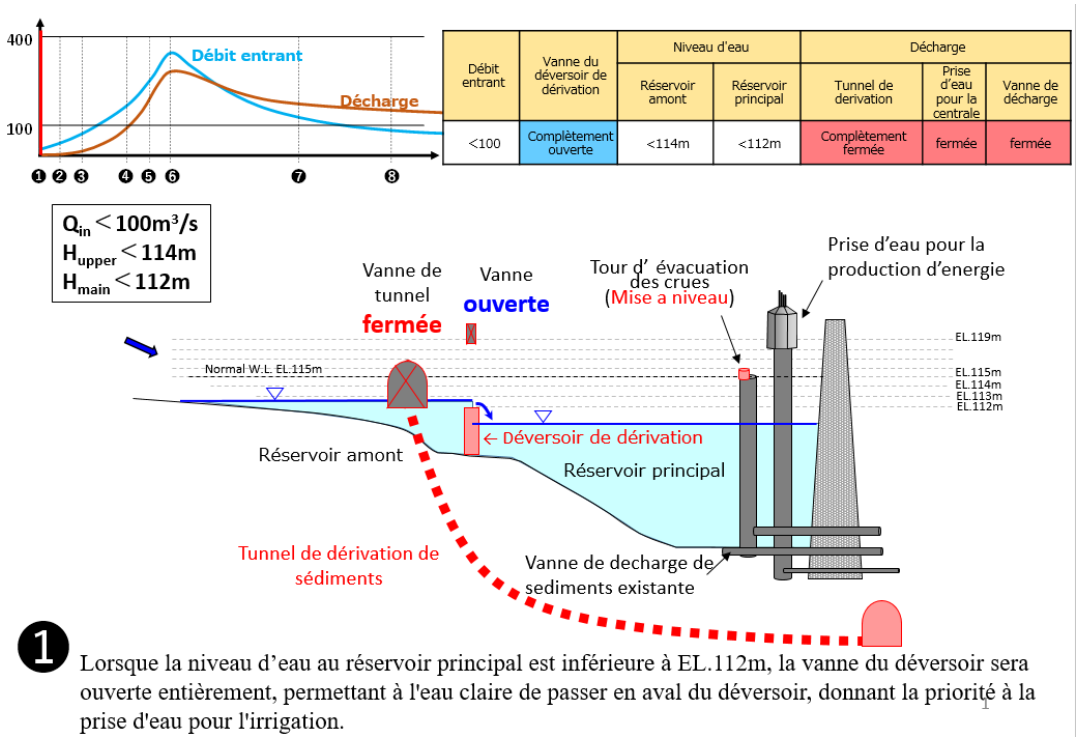
- Le débit entrant diminue continuellement mais reste supérieur à 100m^3/s à ce stade. La turbidité dans le réservoir amont, d'autre part, commence à diminuer.
- Le niveau d'eau dans le réservoir amont est supérieur à EL.114m, et l'eau turbide déborde toujours dans le réservoir principal.
- La vanne de prise d'eau du tunnel de dérivation des sédiments est laissée complètement ouverte et le décharge des sédiments se poursuit.
- Le débit d'entrée de pointe est maintenu et le niveau d'eau dans le réservoir principal est abaissé à EL.112m.

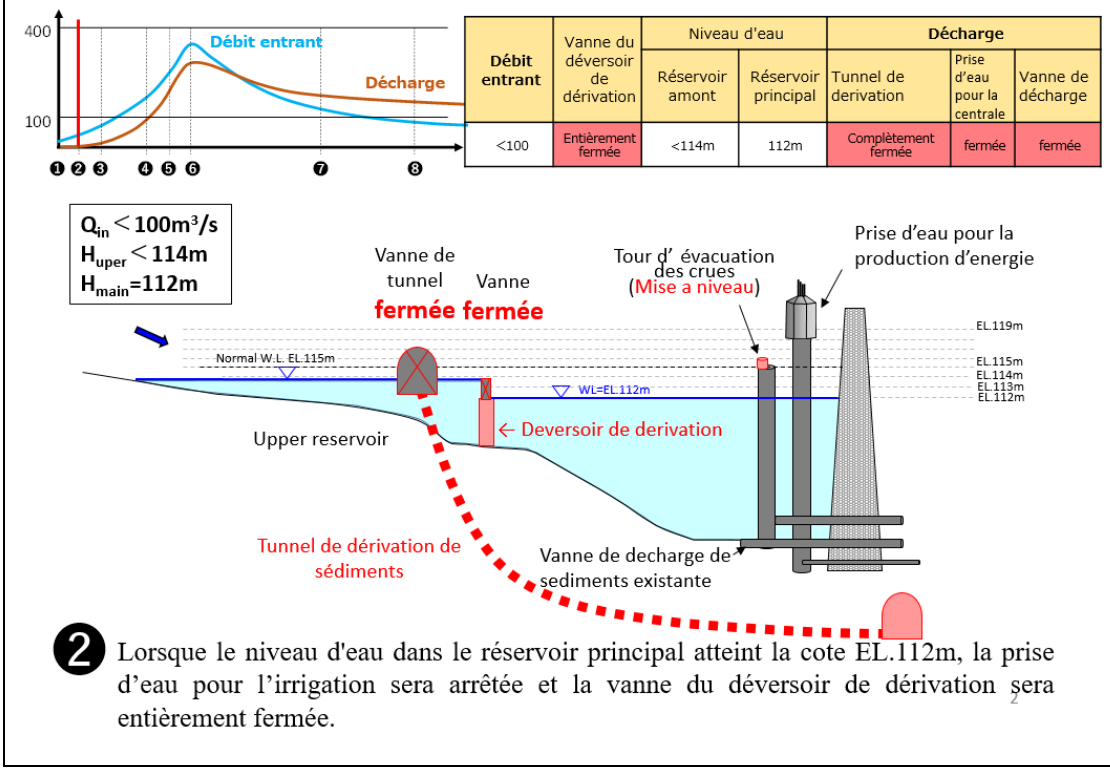
(8) Étape ❽

- Le débit entrant est d'environ 100 m^3/s, et la turbidité dans le réservoir amont diminue.
- La turbidité au niveau de la prise d'eau du tunnel de dérivation des sédiments et au niveau de la vanne de désensablement existante est examinée. Lorsque l'on juge que la turbidité a diminué, les deux vannes seront complètement fermées et le décharge des sédiments est arrêté. Il est important de noter, dans ce contexte, que le moment auquel l'opération de décharge est arrêtée est déterminé uniquement tenant en compte la turbidité à chaque point plutôt que le volume d'eau entrant. Comme ce paramètre diminue rapidement après le pic de crue, l'eau claire peut être utilisée efficacement si l'opération de décharge est arrêtée à un stade précoce.

La procédure expliquée ci-dessus pour l'opération de décharge des sédiments est applicable dans le cas des crues ayant un débit qui ne dépasse pas la capacité de décharge maximale du barrage de Sidi Salem qui correspond à 400 m^3/s. Au-delà de cette valeur, les différentes installations du barrage, y compris le tunnel de dérivation des sédiments, l'installation de production d'énergie et la vanne de décharge des sédiments existante sont sollicitées afin de maintenir le débit du barrage à 400 m^3/s pour le contrôle des inondations. Dans ces cas extrêmes, l'inondation est principalement contrôlée en utilisant la vanne de désensablement existante. Cela permettrait une exécution simultanée du contrôle des inondations et de décharge des sédiments moyennant la vanne de décharge existante.

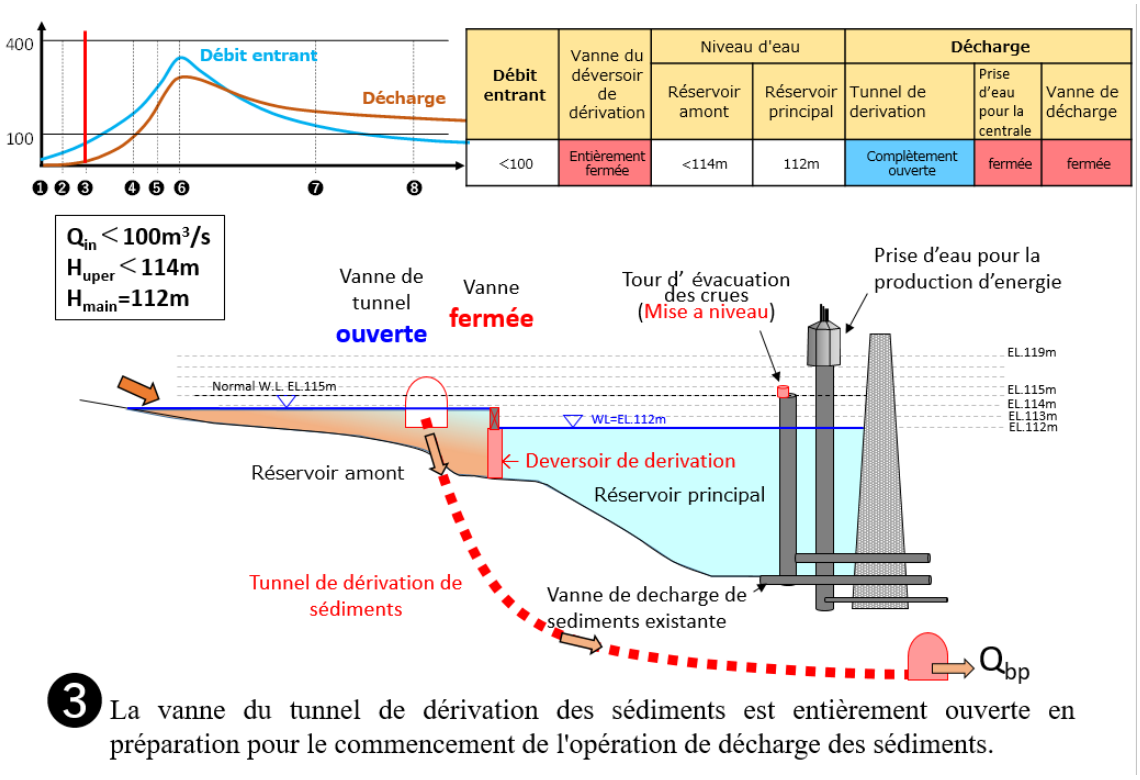
Tableau 9-1 Illustration de la procédure de contrôle du débit de densité (partie 1)





Source: JICA Study Team

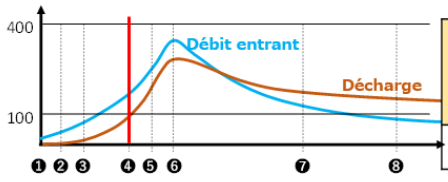
Tableau 9-2 Illustration de la procédure de contrôle du débit de densité (partie 2)



Débit entrant	Vanne du déversoir de dérivation	Niveau d'eau		Décharge		
		Réservoir amont	Réservoir principal	Tunnel de derivation	Prise d'eau pour la centrale	Vanne de décharge
<100	Entièrement fermée	<114m	112m	Complètement ouverte	fermée	fermée

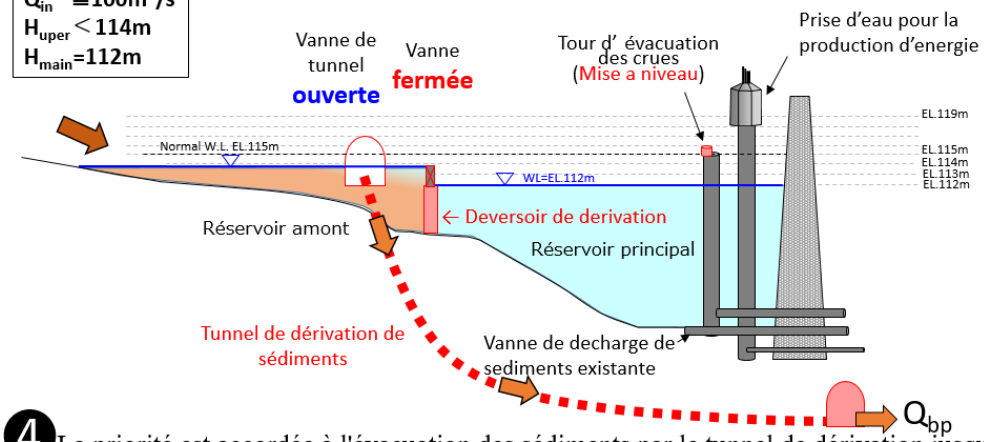
Q_{in} < 100m³/s
H_{uper} < 114m
H_{main}=112m

❸ La vanne du tunnel de dérivation des sédiments est entièrement ouverte en préparation pour le commencement de l'opération de décharge des sédiments.



Débit entrant	Vanne du déversoir de dérivation	Niveau d'eau		Décharge		
		Réservoir amont	Réservoir principal	Tunnel de derivation	Prise d'eau pour la centrale	Vanne de décharge
≧100	Entièrement fermée	<114m	112m	Complètement ouverte	fermée	fermée

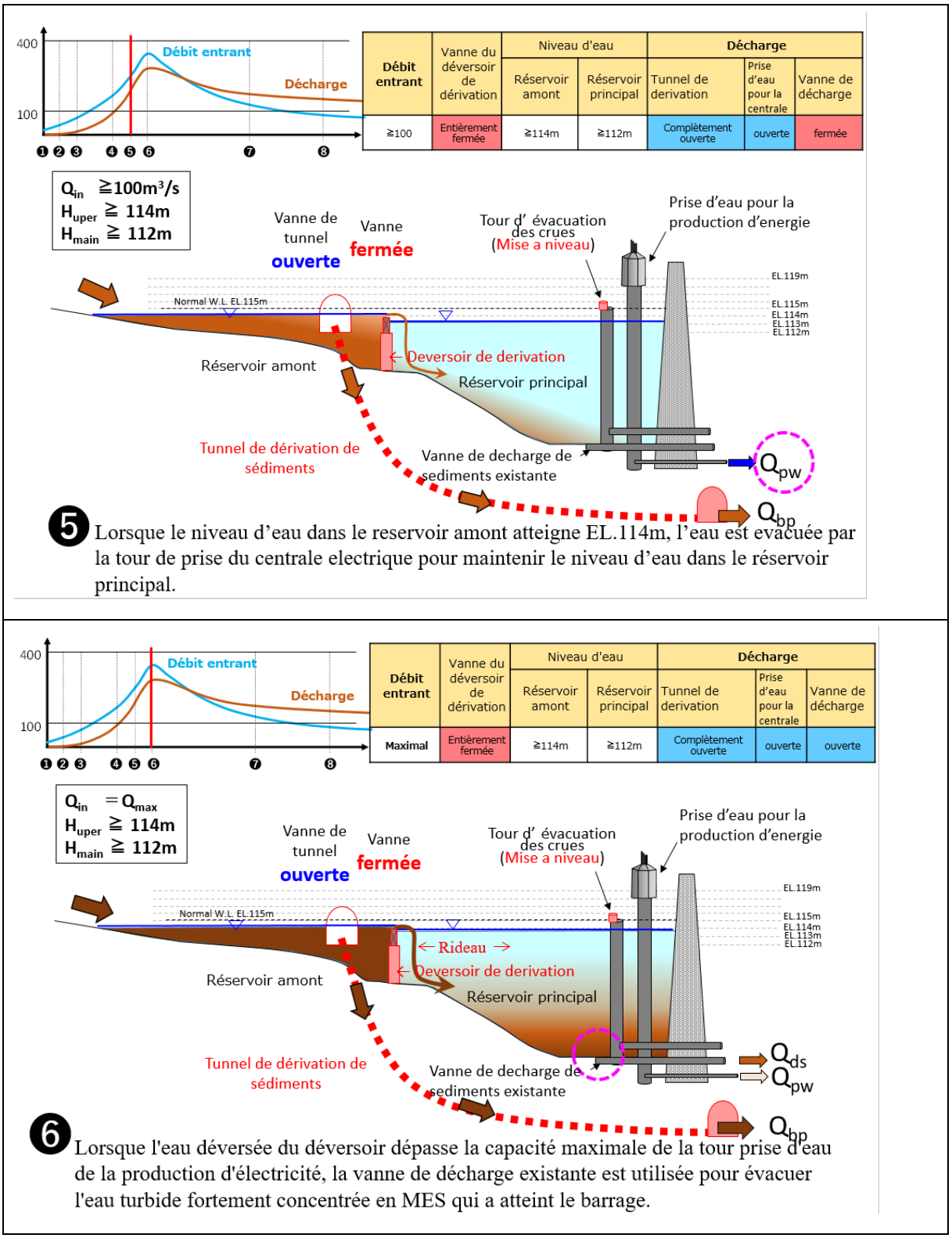
Q_{in} ≧100m³/s
H_{uper} < 114m
H_{main}=112m



❹ La priorité est accordée à l'évacuation des sédiments par le tunnel de dérivation jusqu'à ce que le niveau d'eau dans le réservoir amont atteigne EL.114m. La tour de prise de la cenrtale electrique ne fait pas partie de cette opération de décharge.

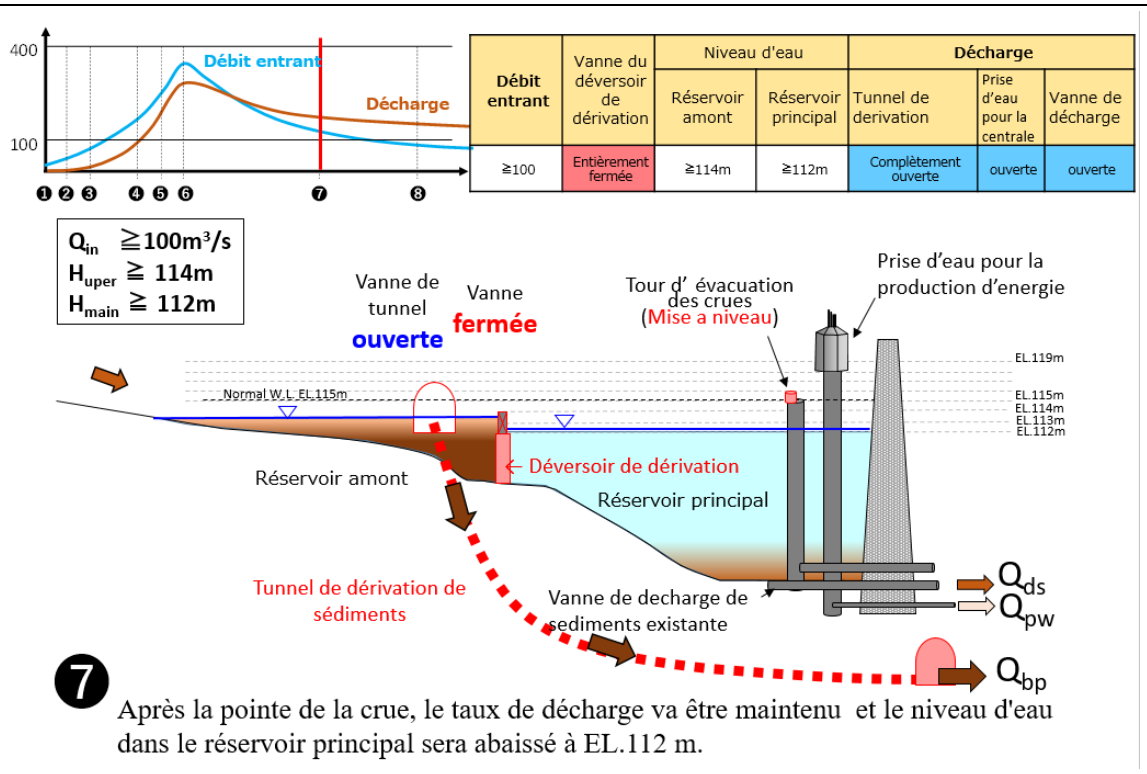
Source: JICA Study Team

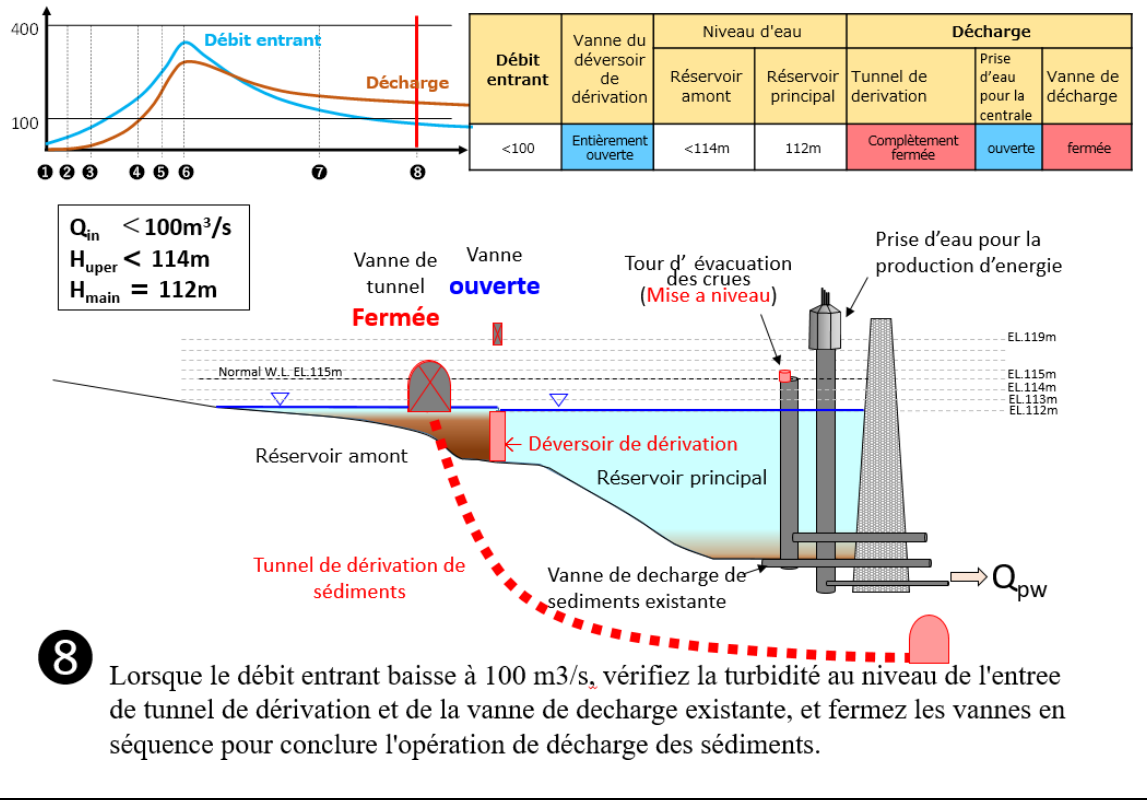
Tableau 9-3 Illustration de la procédure de contrôle du débit de densité (partie 3)



Source: JICA Study Team

Tableau 9-4 Illustration de la procédure de contrôle du débit de densité (partie 4)





Source: JICA Study Team

9.1.3 Méthodes de surveillance des dispositifs de contrôle de la densité d'écoulement

Comme indiqué ci-dessus, l'ouverture et la fermeture des vannes du tunnel de dérivation des sédiments, de la vanne de décharge existante et de la vanne de prise d'eau de la centrale électrique doivent être contrôlées et évaluées en fonction du débit entrant du barrage, du niveau d'eau dans le réservoir principal et du niveau de turbidité d'eau entrante. En particulier, comme le niveau d'eau varie entre l'amont et l'aval du déversoir, il est nécessaire de surveiller la fluctuation de ce paramètre ainsi que celle de la turbidité en temps réel pour évacuer efficacement les eaux très turbides par le tunnel de dérivation. La turbidité doit également être surveillée dans la rivière en aval du barrage pour évaluer l'efficacité des opérations de décharge des sédiments et pour prévoir la fin de ces opérations avec plus de précision.
Ce paragraphe décrit les systèmes de gestion nécessaires pour assurer le contrôle du débit de densité.

(1) Aperçu du système de gestion requis

Les différents systèmes nécessaires pour réaliser le contrôle du débit de densité proposé sont notamment le système d'observation, le système de gestion du barrage et le système de transmission des informations. Le développement de ces systèmes est nécessaire pour améliorer les fonctions des bureaux de gestion des barrages, etc.

Cependant, comme le développement de l'ensemble de ces systèmes prend du temps, au moment de l'installation du tunnel de dérivation des sédiments, la priorité est attribuée au système d'observation des niveaux d'eau et de turbidité et au système de contrôle du barrage qui sont hautement critiques pour l'opération en question (les systèmes hachurés en jaune dans le Tableau 9-5). Un schéma conceptuel du système est présenté à la Figure 9-3. Pour le système de contrôle du barrage, la vanne de décharge des sédiments existante et d'autres systèmes seront améliorés, et un nouveau système associé à l'exploitation du tunnel de dérivation des sédiments qui affiche les informations nécessaires à l'opération de contrôle du densité sera installé.

Tableau 9-5 Liste des systèmes nécessitant un entretien

	Remarques
(1) Système d'observation hydrologique et de turbidité	
- Système de télémétrie du niveau d'eau pour l'amont du barrage	
- Système de télémétrie de la turbidité pour l'amont du barrage	
- Système de télémétrie de la turbidité (pour 3 profondeurs) pour l'amont du barrage	
- Système de télémétrie du niveau d'eau et de la turbidité (pour 3 profondeurs) pour l'amant du barrage	Haute priorité
- Système de télémétrie de la turbidité pour l'aval du barrage	

- Système de télémétrie dans la station centrale	
- Système de télémétrie dans la station répétitrice	
- Liaison radio par micro-ondes	
- Liaison radio VHF de télémétrie	y compris le système de télémétrie
(2) Système de gestion du barrage	
- Système de contrôle du barrage	Haute priorité
(3) Système de communication d'informations (divulgation publique)	
- Système de distribution de données (Web) avec sécurité du réseau	

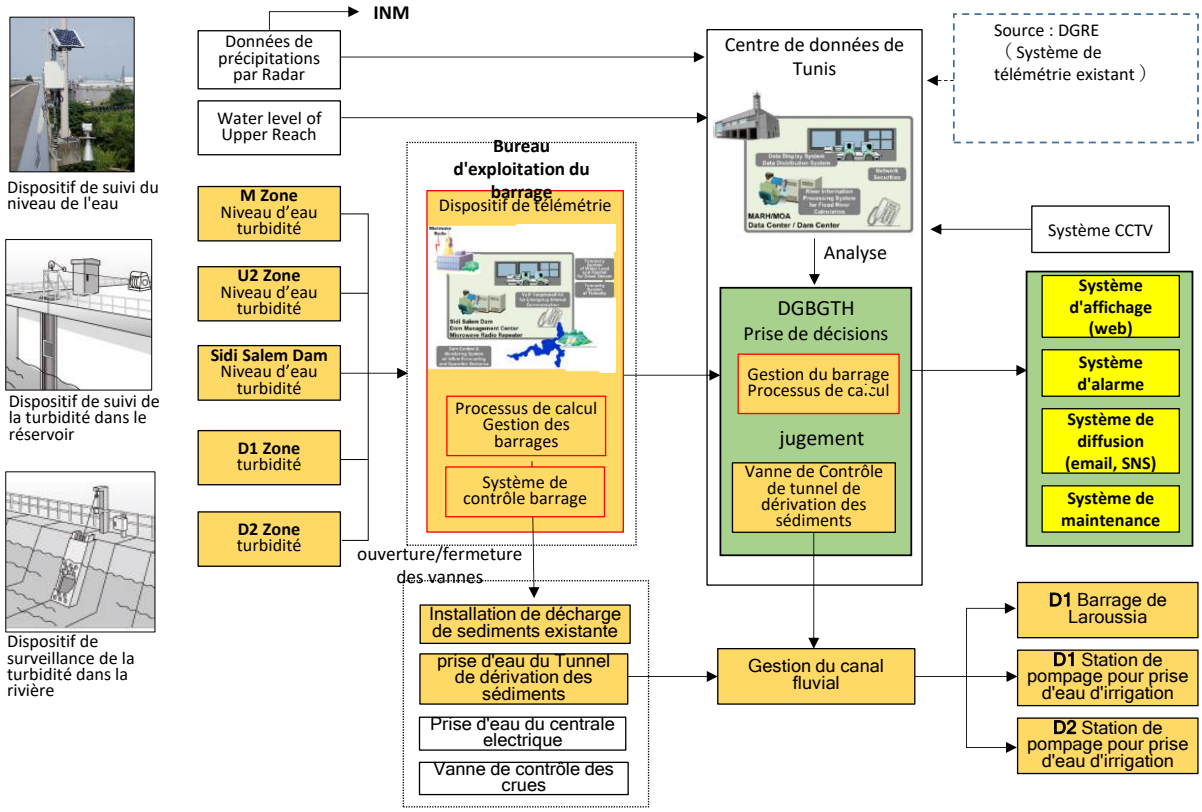


Figure 9-3 Diagramme conceptuel du système de gestion du barrage requis pour le contrôle du débit de densité

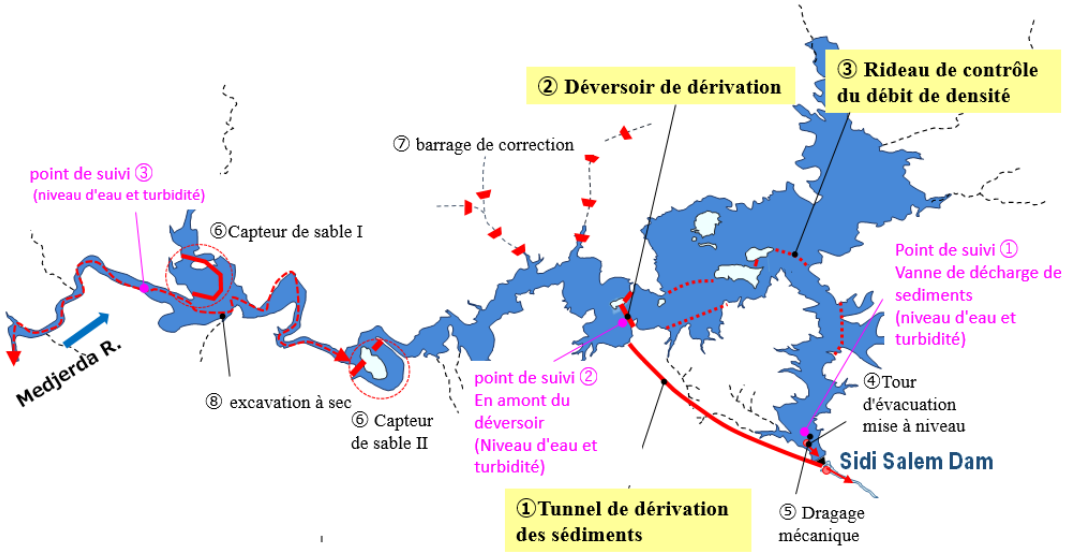
(2) Suivi

Les différents instruments de suivi jugés nécessaires pour le contrôle des installations projetées dans le cadre de cette étude ainsi que le plan implantations correspondant sont précisés dans ce paragraphe.

Pour le réservoir, il est d'abord nécessaire de suivre en temps réel le niveau d'eau dans le réservoir principal en aval du déversoir, le débit entrant du barrage, le débit sortant de chaque installation de décharge et la turbidité au niveau de la prise d'eau de l'installation existante de décharge des sédiments. En outre, le niveau d'eau dans le réservoir amont ainsi que la turbidité à ce même endroit doivent être suivis. Il est également nécessaire de surveiller la turbidité au niveau de la vanne du tunnel de dérivation.

Il est important de souligner dans ce contexte que l'estimation du débit de décharge moyennant les méthodes conventionnelles qui reposent sur la corrélation entre le niveau d'eau et le débit peut être trompeuse dans ce cas. En effet, la discontinuité du milieu induite par la présence du déversoir de dérivation affecte l'uniformité de ce paramètre dans les régions amont et aval. Cela créerait plus de difficultés pour juger le niveau d'eau à adopter pour les calculs. Par conséquent, il est recommandé de développer une nouvelle méthodologie pour l'estimation du débit correspondant à la fluctuation du niveau d'eau.

Vue en plan



Section longitudinale

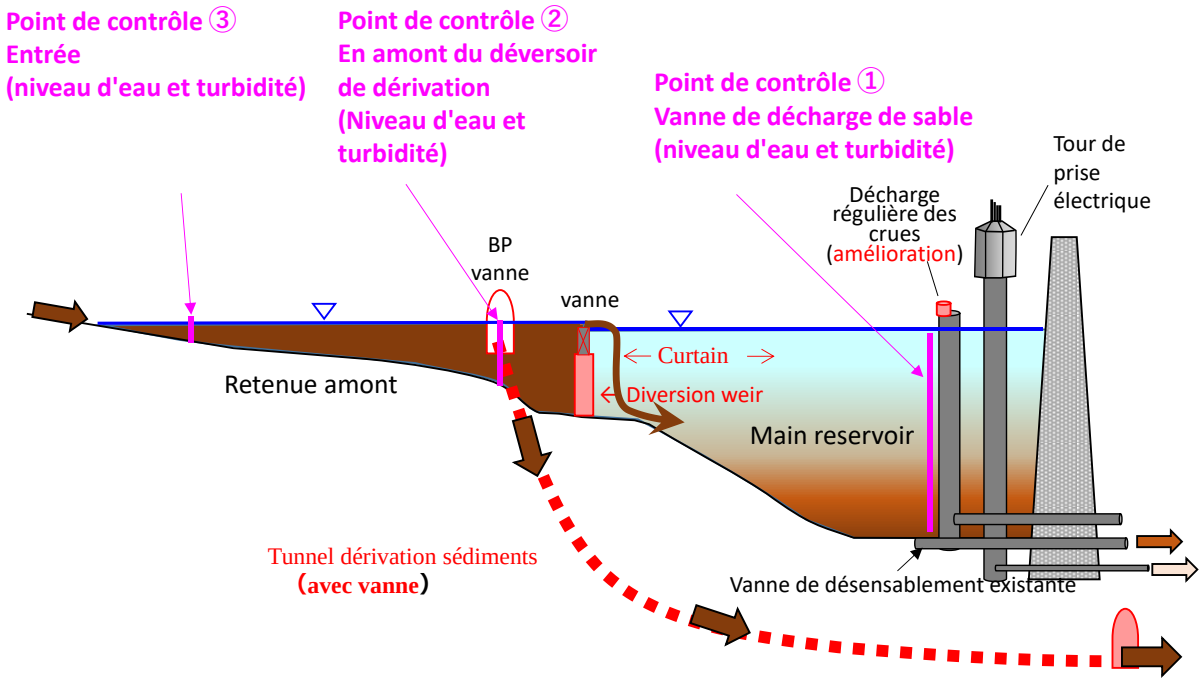


Figure 9-4 Suivi nécessaire pour le contrôle du débit de densité (dans le réservoir)

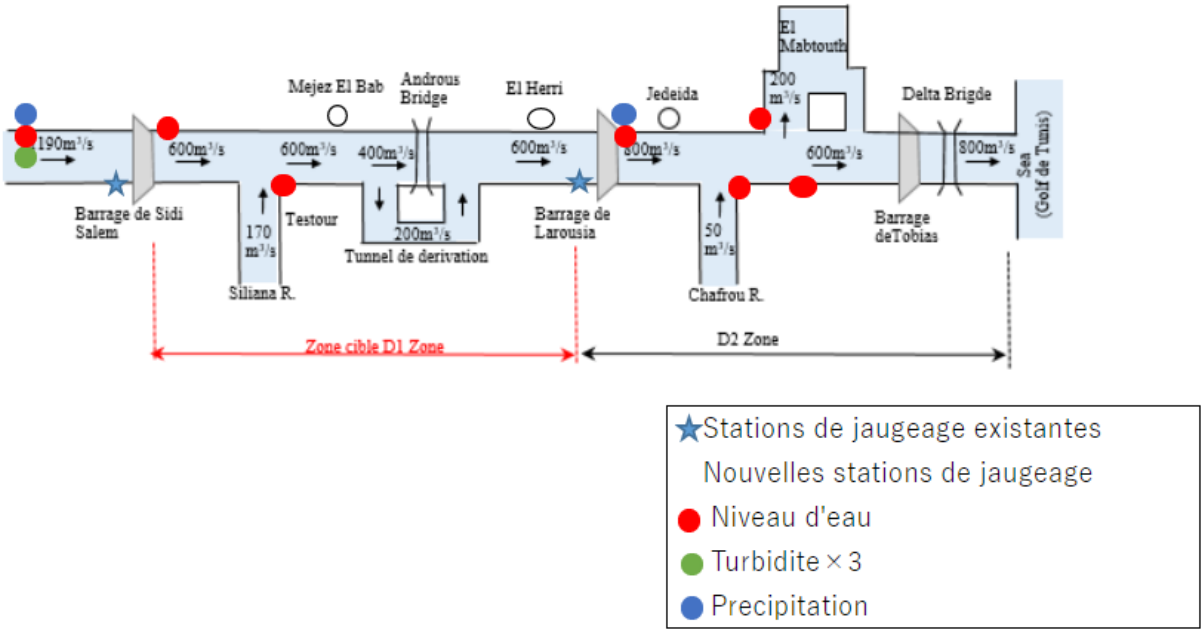


Figure 9-5 Surveillance nécessaire pour le contrôle du débit de densité (SSD dans la rivière en aval)

9.2 Vérification de l'efficacité de l'opération d'évacuation des sédiments par le tunnel de dérivation en cas de crues

Pour vérifier le fonctionnement du tunnel de dérivation des sédiments lors d'une crue, des simulations ont été effectuées en adoptant les caractéristiques des ondes de crue de janvier 2003. Pour ces calculs, l'élévation du déversoir du barrage a été portée de EL.115 m à EL.118 m pour prendre en compte les travaux d'amélioration visant cette structure qui sont proposés dans cette étude de faisabilité.

Les résultats de l'analyse sont présentés à la Figure 9-6. On peut voir que dans le cas des installations de décharge actuelles, lorsque le niveau d'eau dépasse EL.115m dans le réservoir, l'eau est déchargée du déversoir à un débit maximal de 700m^3/s. À ce débit, le canal de la rivière en aval est exposé à des risques d'inondation.

D'autre part, après les mesures de contrôle des sédiments, aucune décharge ne se produira à partir de la tour jusqu'à ce que le niveau d'eau dans le réservoir atteigne EL.118m. De plus, le débit du barrage peut être ajusté au niveau de la vanne de désensablement existante à un maximum d'environ 400 m^3/s pour la crue en question, ce qui limite les risques d'inondation en aval du barrage.
Sur la base des résultats obtenus, dans le cas de l'occurrence d'une crue pareille, les installations de contrôle de sédimentation peuvent être exploitées à l'échelle maximale pour limiter les risques d'inondation.

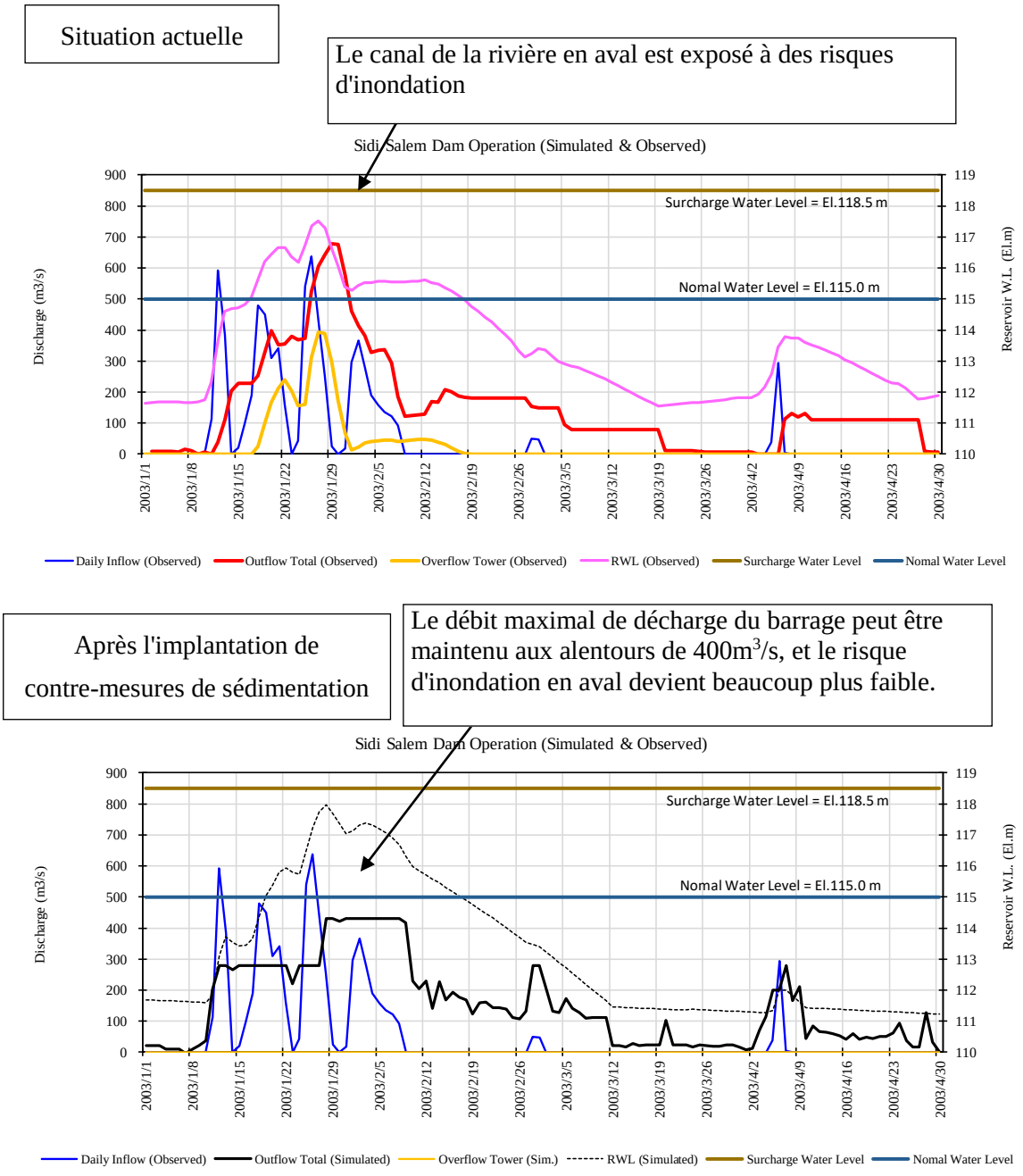


Figure 9-6 Résultats de simulations d'inondations en tenant compte des installations de contrôle des sédiments (crue cible est celle de janvier 2003)

9.3 Entretien de l'installation de contrôle des sédiments

9.3.1 Installation existante de décharge des sédiments

Actuellement, la vanne de désensablement existante est presque entièrement recouverte de sédiments. Ainsi, des travaux de dragage sont prévus dans le cadre de ce projet afin de restaurer le fonctionnement normal de cette installation. En cas d'inondations futures, le tunnel de dérivation des sédiments et l'installation de désilage existante seront utilisés ensemble pour assurer l'évacuation des sédiments. Par conséquent, il est important de maintenir la fonction de l'installation en question.

Bien qu'il soit prévu de mettre en œuvre des travaux de réparation autour de l'installation de décharge de sédiments existante, on craint que les vannes soient à nouveau enterrées en raison de la sédimentation et que les tuyaux de décharge soient usés en raison du déversement de sédiments.

(a) Vanne de décharge enterrée à cause des sédiments

Il est prévu que le fonctionnement normal du système d'évacuation des sédiments existant sera rétabli. Cependant, si l'eau turbide stagne pendant une longue période, elle durcira et deviendra difficile à évacuer. Il est donc nécessaire d'ouvrir périodiquement la vanne pour évacuer cette eau. En cas de crue, le rinçage n'est pas nécessaire. Par contre, en période de sécheresse qui fait que l'installation reste inopérante pendant une longue période, le rinçage périodique devient une nécessité. Par exemple, il peut être effectué une fois par an en suspendant temporairement la prise d'eau pour la station hydroélectrique.

(b) Abrasion à l'intérieur du tunnel due à la décharge de sédiments

Lorsqu'un dispositif de contrôle de la décharge des sédiments est mis en place dans un barrage au Japon, on s'inquiète généralement de l'abrasion du dispositif en raison de la friction avec les sédiments déversés. Cependant, dans le cas du barrage en question, la plupart des sédiments déversés sont de l'argile et du limon ayant une granulométrie maximale de 10 µm, on estime donc qu'aucune abrasion ne se produira. En fait, une inspection de l'intérieur de l'installation d'évacuation de sédiments existante a révélé que même si l'installation avait opéré dans le passé, il n'y avait presque aucun signe d'abrasion sur la surface en béton de la galerie (voir Figure 9-7).

Figure 9-7 Inspection visuelle de la galerie de décharge des sédiments existante en 2017

9.3.2 Déversoir

Le déversoir de dérivation reçoit les eaux turbides pendant les crues au point de déversement, contrôle le niveau d'eau en amont et fournit un flux stable d'eaux turbides au tunnel de dérivation. L'un des problèmes d'entretien et de gestion est la possibilité que la sédimentation en amont du déversoir réduira le volume des sédiments déchargé par le tunnel.

La Figure 9-8 montre l'évolution prévue de la sédimentation en amont du déversoir de dérivation (zone D) lorsque les mesures de contrôle des sédiments seront mises en œuvre. Si le tunnel de dérivation des sédiments est exploité correctement à l'avenir, la progression de la sédimentation sera lente, et les installations de dérivation des sédiments ne devrait pas être largement affectée en termes de capacité de décharge. Comme la situation est affectée par la sédimentation locale et la croissance de la végétation, il est nécessaire de continuer à surveiller la capacité globale de stockage de l'eau en effectuant des relevés bathymétriques périodiques du bassin versant en amont des déversoirs de dérivation.

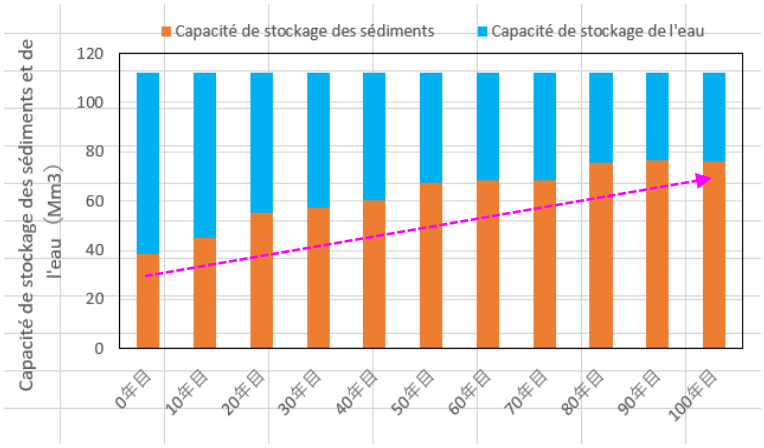


Figure 9-8 Evolution prévue de la sédimentation en amont du déversoir de dérivation (zone D)

9.3.3 Tunnel de dérivation des sédiments

Le tunnel de dérivation des sédiments est une installation importante dans ce projet de contrôle des sédiments, et il est nécessaire de maintenir son bon fonctionnement à long terme. Pour ce faire, des inspections périodiques visant le tunnel doivent être menées pour garantir son bon fonctionnement.

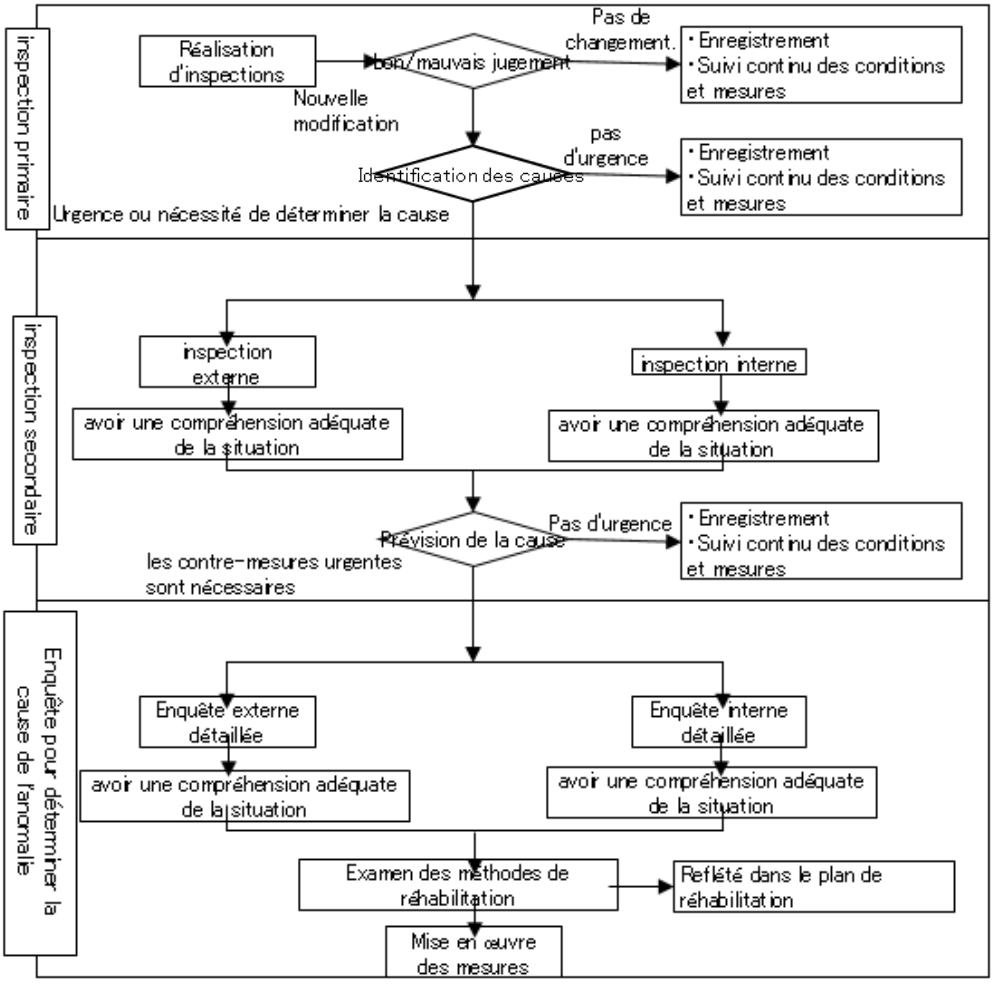
Au Japon, des manuels d'inspection des tunnels routiers et fluviaux sont déjà élaborés et des inspections périodiques sont effectuées. Mais puisque c'est la première fois qu'un tunnel fluvial aussi long sera construit en Tunisie, il sera nécessaire de développer des normes de gestion et des manuels pour les installations de tunnels fluviaux afin d'introduire des techniques d'inspection et de réparation.

(a) Processus de base d'inspection périodique

L'inspection périodique est menée pour déterminer l'état actuel du tunnel. Ces inspections sert aussi a obtenir les conclusions techniques permettant de déterminer les action nécessaires avant la prochaine inspection périodique. La figure 9-9 et le tableau 9-6 montrent le flux d'entretien et les détails de l'inspection des tunnels de la voie maritime tels que définis par les producteurs d'électricité japonais.

La procédure d'inspection est divisée en inspection primaire et secondaire. Lors de l'inspection primaire, la présence ou l'absence de défauts et l'avancement du revêtement du tunnel sont vérifiés périodiquement afin de maintenir et de rétablir la fonctionnalité du tunnel et de prévenir les accidents.

L'inspection secondaire est menée pour déterminer la cause de tout problème ou déformation urgente qui nécessite une enquête sur la base des résultats de l'inspection primaire. Ce type d'inspection permet également de recueillir des informations de base pour évaluer en détail la nécessité de prendre certaines mesures et envisager des méthodes de réparation.



Source : Technologie de renouvellement des installations de génie civil de l'énergie hydroélectrique [édition révisée et augmentée] : Japan Federation of Construction Contractors, septembre 2015.

Figure 9-9 Exemple de flux d'entretien de tunnels fluviaux au Japon

Tableau 9-6 Guide de l'inspection des tunnels fluviaux au Japon

	Item	Contents
Inspection primaire	Nom	inspection
	Objectif	Évaluer l'apparition et la progression des anomalies afin de maintenir la fonctionnalité de la conduite d'eau pour la production d'électricité et de prévenir les accidents avant qu'ils ne se produisent.
	fréquence	1 fois / 3 ans
	methodologie	Visuel, percussion, observation et mesure
	critères applicables	Guide d'inspection des tunnels, etc.
	liste de vérification	Fissures, écaillage, anomalies, joints défectueux, détérioration des matériaux, déformation, fuites, etc.
	critères	Aspect fonctionnel ; évaluation qualitative à 3 niveaux Importance de l'installation, dommages causés par des tiers ; évaluation des besoins de réparation urgents
Inspection secondaire	Nom	Sondage
	Objectif	Pour les anomalies confirmées, il faut en rechercher la cause, déterminer en détail si des contre-mesures sont nécessaires ou non, et recueillir des informations de base pour envisager des méthodes de réparation, etc.
	fréquence	Mis en œuvre en fonction des résultats de l'inspection
	methodologie	Essais non destructifs (locaux), mesure des fissures, mesure des déplacements internes, sondage, essais de résistance (revêtement/ sol), essais de détérioration, etc.
	critères applicables	－
	liste de vérification	Vitesse de déplacement, présence d'une cavité, épaisseur du rouleau, conditions de fissuration, résistance du béton du revêtement, conditions du sol environnant.
	critères	Sur la base de cette évaluation, une analyse détaillée est menée individuellement et un jugement est porté sur la nature progressive de la déformation, la topographie et la géologie environnantes, et l'état de détérioration de l'enrobage.

Source : Technologie de renouvellement des installations de génie civil de l'énergie hydroélectrique [édition révisée et augmentée] : Japan Federation of Construction Contractors, septembre 2015.

9.3.4 Capteur de sable

Cette installation vise à réduire le volume des sédiments pénètrant le tunnel de dérivation en capturant une partie des sédiments qui s'y écoulent. Cet ouvrage est conçu pour des scénarios de crues majeures. Dans de tels cas, des enquêtes seront menées pour inspecter visuellement l'état de sédimentation dans le bassin. Les sédiments piégés seront excavés et éliminés à l'aide d'équipements lourds pour être utilisés ultérieurement dans la réduction des terres agricoles et la fabrication de matériaux de construction tels que des briques et des tuiles, etc.

CHAPITRE 10 EXAMEN DE L'IMPACT DE LA SÉDIMENTATION EN AMONT ET EN AVAL DU BARRAGE

10.1 Prise en compte des mesures relatives au remous

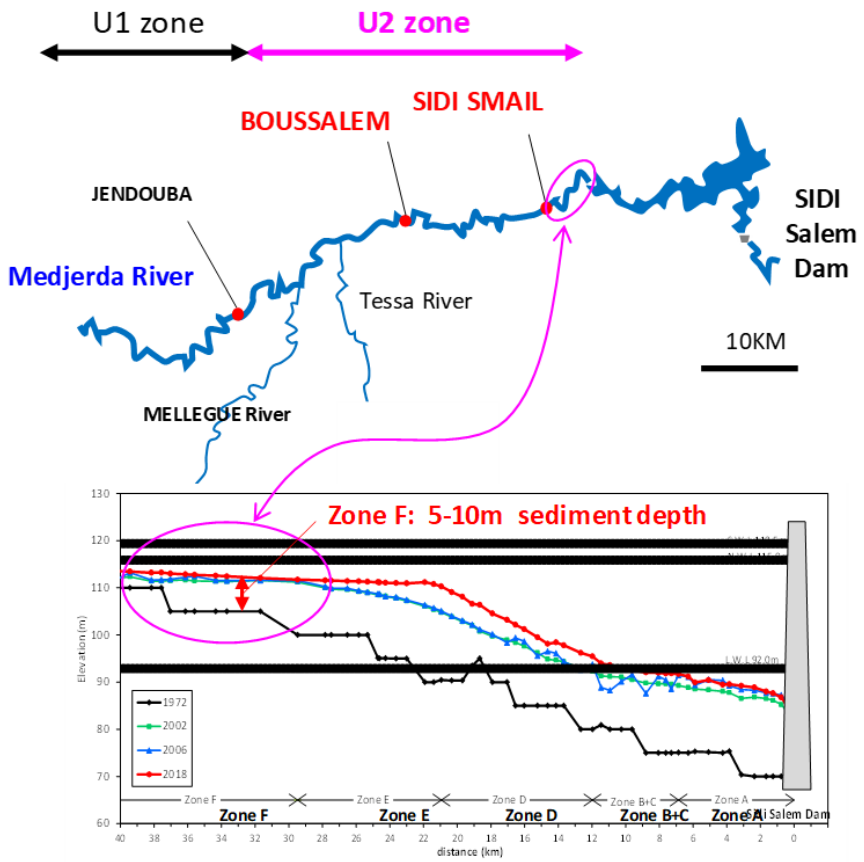
Cette étude propose des mesures relatives au remous (plan d'excavation des sédiments) dans la section de la retenue pour le plan d'aménagement du canal de l'oued qui est examiné séparément par la KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau) dans la Zone U2.

10.1.1 État actuel du phénomène de remous dans le barrage de Sidi Salem

La Figure 10-1 montre l'emplacement du barrage de Sidi Salem et de la zone en amont. La zone urbaine de Sidi Smail est directement en amont du barrage de Sidi Salem, et la zone urbaine de Bou Salem se trouve à environ 30 km en amont.
D'autre part, le lit de l'oued dans la zone F, dans la partie supérieure de la retenue du barrage de Sidi Salem, s'est élevé de 5 à 10 mètres par rapport à la situation avant la construction du barrage, ce qui est considéré comme une augmentation du risque d'inondation dans ces zones urbaines.

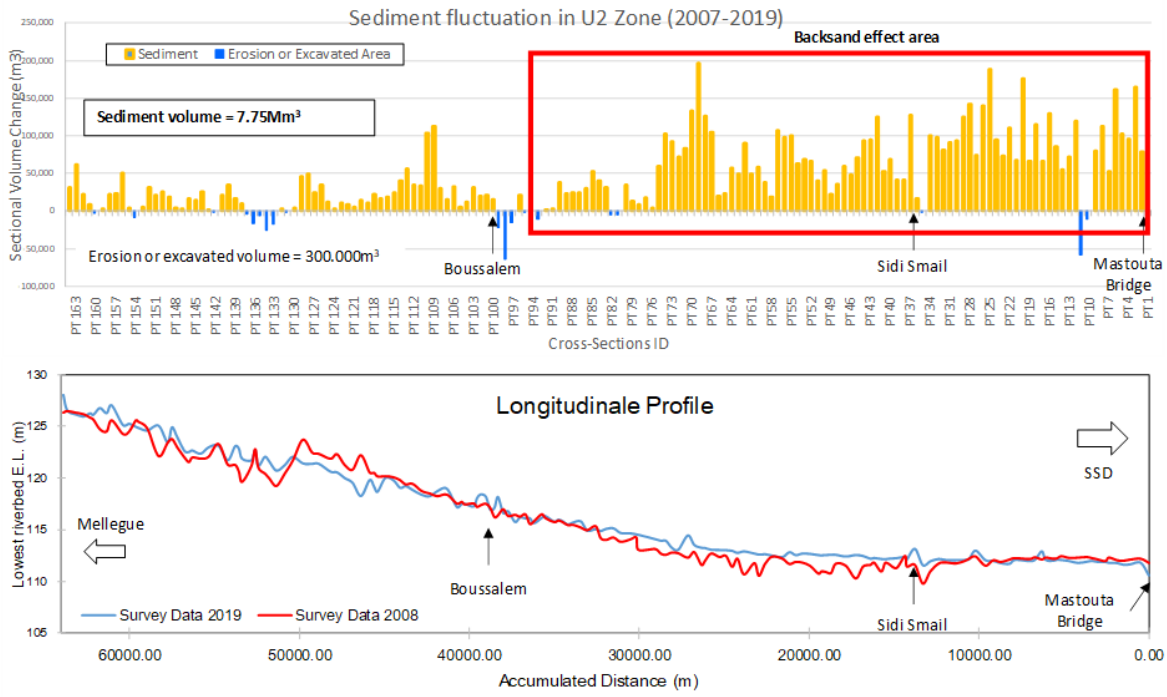
Comme mentionné ci-dessus, la KfW étudie actuellement le plan d'aménagement du canal pour la zone U2, mais il est souhaitable de prendre en compte l'effet des sédiments dans la retenue sur la montée du niveau d'eau dans la zone amont.

Dans cette étude, on considère que la forme de l'excavation des sédiments dans la retenue permet d'abaisser le niveau d'eau dans la zone U2.



Source: Equide d'Etude de la JICA

Figure 10-1 Impact de la sédimentation du barrage de Sidi Salem sur la zone urbaine située en amont



- Sediment Volume in U2 Zone (2007-2019)= **approximately 8 Mm³.**
- **Backsand Effect Area can be seen from Mastousta Bridge to Boussalem** in U2 Zone.

Source: Equide d'Etude de la JICA

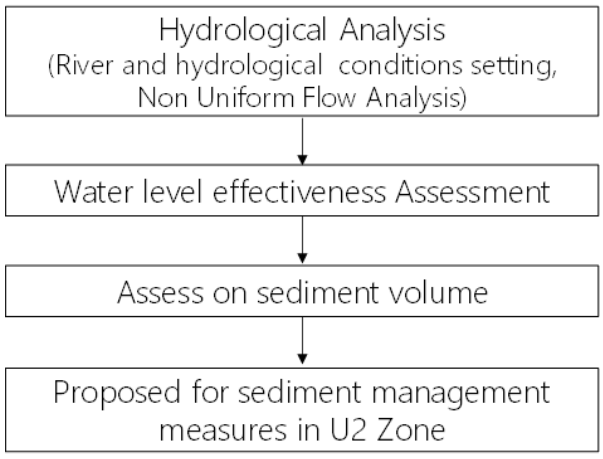
Figure 10-2 Accumulation de sédiments dans le cours supérieur du barrage de Sidi Salem

10.1.2 Méthode d'analyse

(1) Déroulement de l'analyse

Le déroulement de l'analyse est présenté à la Figure 10-3.

L'analyse de l'écoulement non uniforme unidimensionnel a été utilisée pour l'analyse, et la forme de l'excavation et la quantité de sédiments excavés dans la retenue qui serait inférieure au PHE de la zone urbaine en amont ont été étudiées.



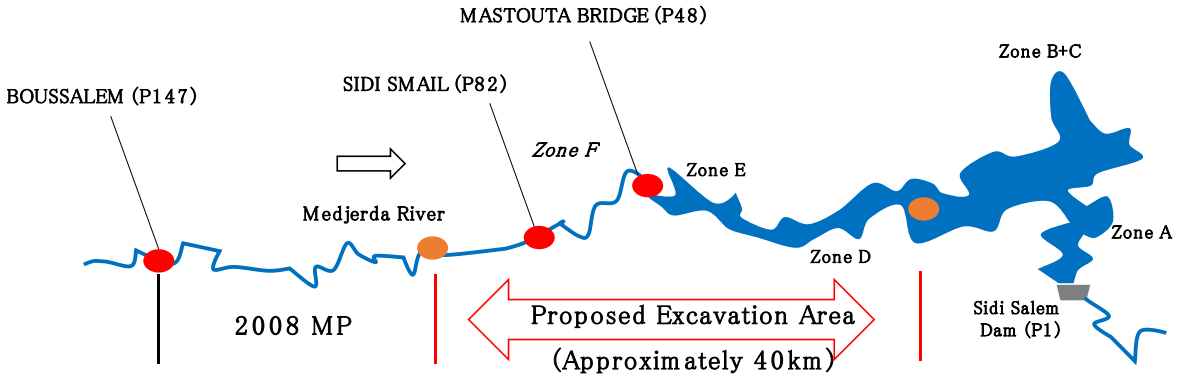
Source: Equide d'Etude de la JICA

Figure 10-3 Déroulement de l'étude des contre-mesures relatives au remous de sable

(2) Géométrie des excavations

Pour préciser la géométrie optimale de l'excavation, les conditions pour cinq cas sont présentées dans la Figure 10-4. Le profil longitudinal de chaque cas a été défini sur la base de la section transversale actuelle. Cependant, pour la section amont, ce projet a défini la section transversale de conception du plan directeur en 2008. Lagéométrie d'excavation a été définie pour les zones D, E et F.

La forme de la section transversale de l'excavation était une forme de canal avec une largeur de canal de 100 m.
Cela devrait permettre de guider rapidement l'eau sédimentée entrante vers la prise d'eau des tunnels de dérivation.



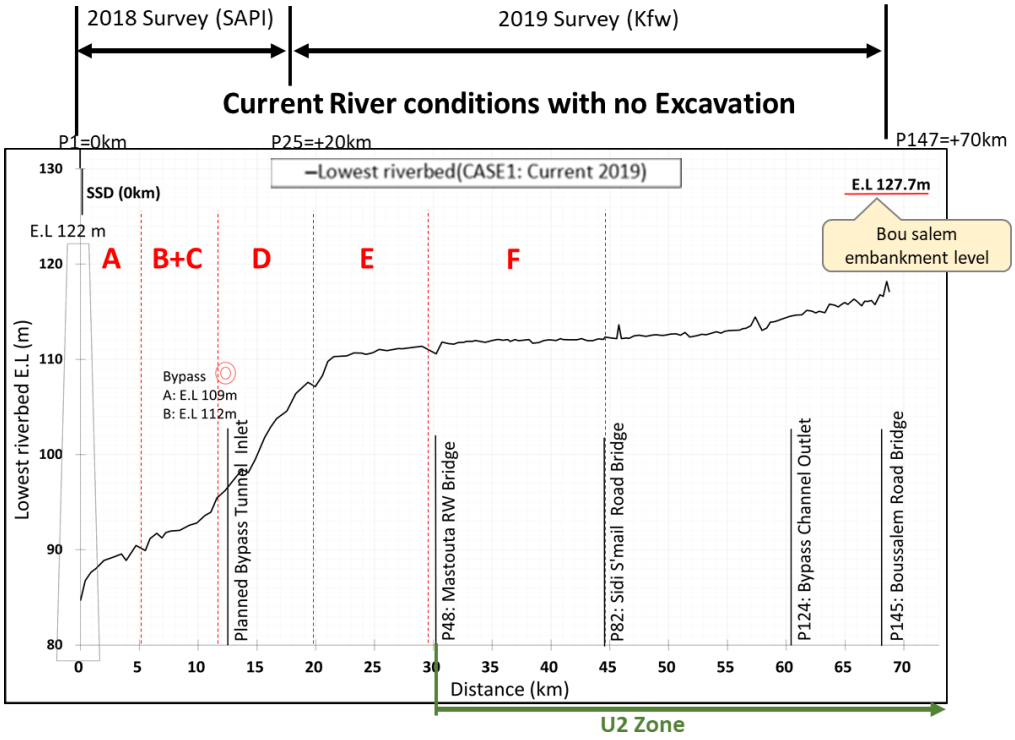
Cross Section ID	P147	P106 P100	P48	P33	P25	P1
Case 1	Current Topography (Non-Excavation)					
Case 2	2008MP Planned Section	Current Topography (Non-Excavation)				
Case 3	2008MP Planned Section	Examining Section Zone F	Current Topography (Non-Excavation)			
Case 4	2008MP Planned Section	Examining Section Zone E,F		Current Topography (Non-Excavation)		
Case 5	2008MP Planned Section	Examining Section Zone E,F,D			Current Topography (Non-Excavation)	

Source: Equide d'Etude de la JICA

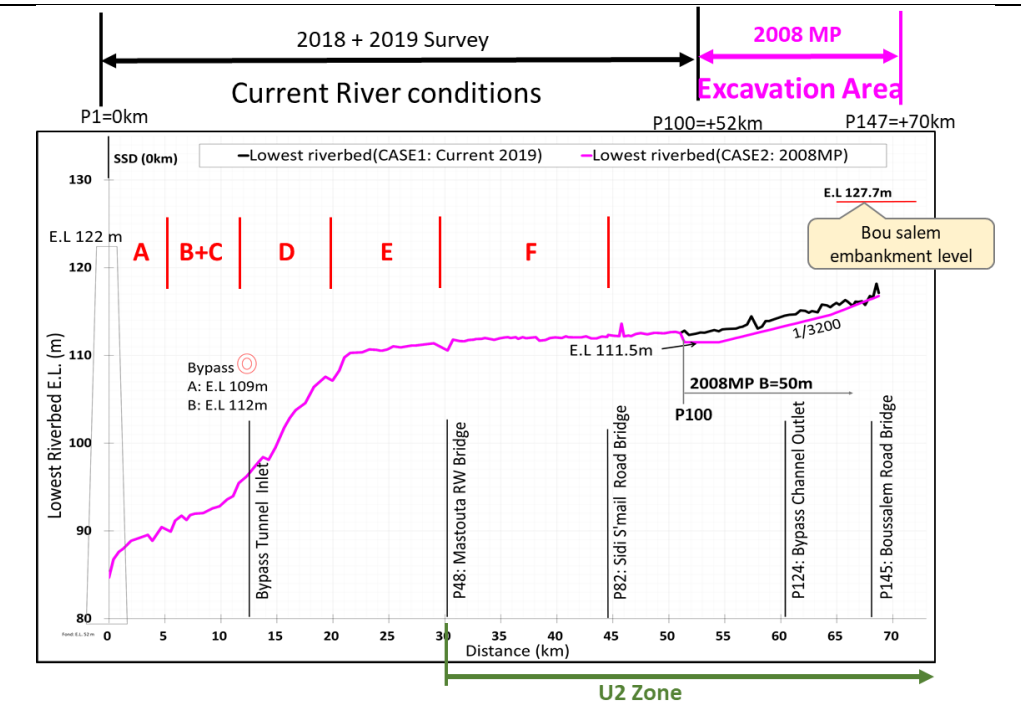
Figure 10-4 Liste des cas d'excavation pour les mesures relatives à l'effet de remous

Tableau 10-1 Géométrie de l'excavation du sable de remous (cas 1 et 2)

Cas 1 : Section transversale la plus récente (canal actuel de l'oued)



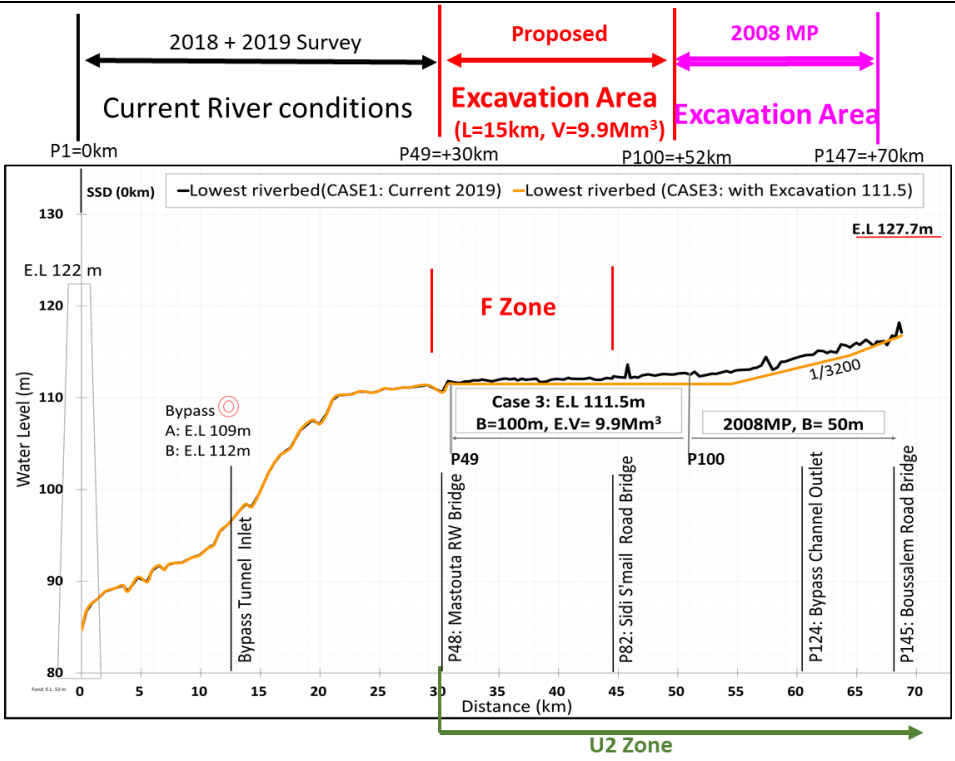
Cas 2 : Section transversale la plus récente dans la retenue. La zone amont est la section transversale de conception du Plan Directeur 2008.



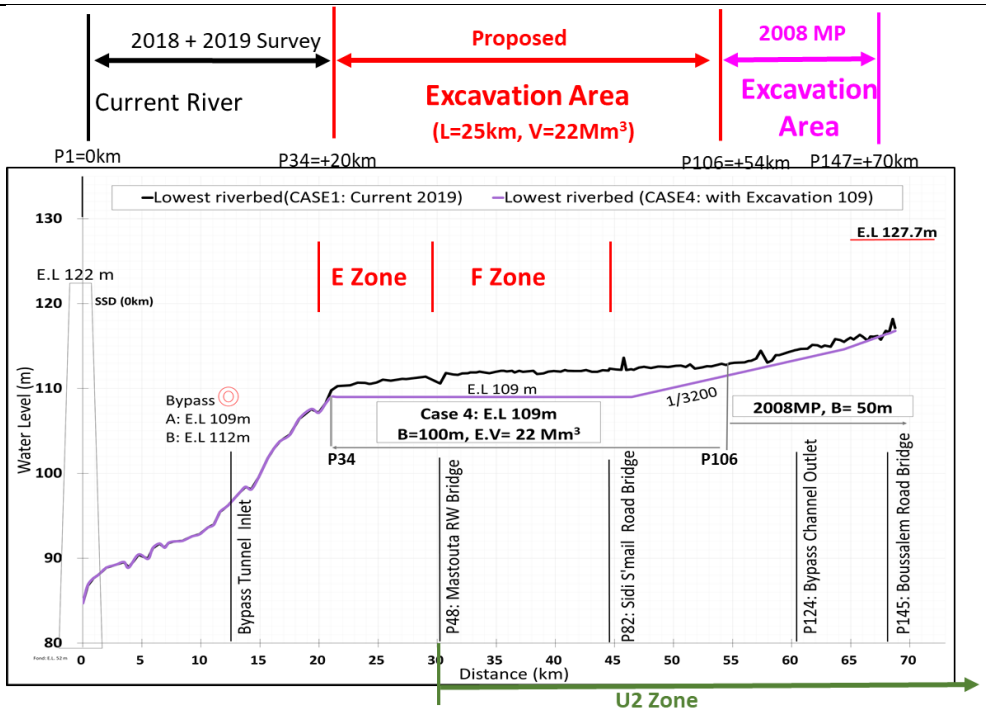
Source: Equide d'Etude de la JICA

Tableau 10-2 Géométrie de l'excavation de sable de remous (cas 3 et 4)

Cas 3 : Extension du canal fluvial de conception du PD de 2008 vers la zone F (élévation de l'excavation : EL.111.5 m)

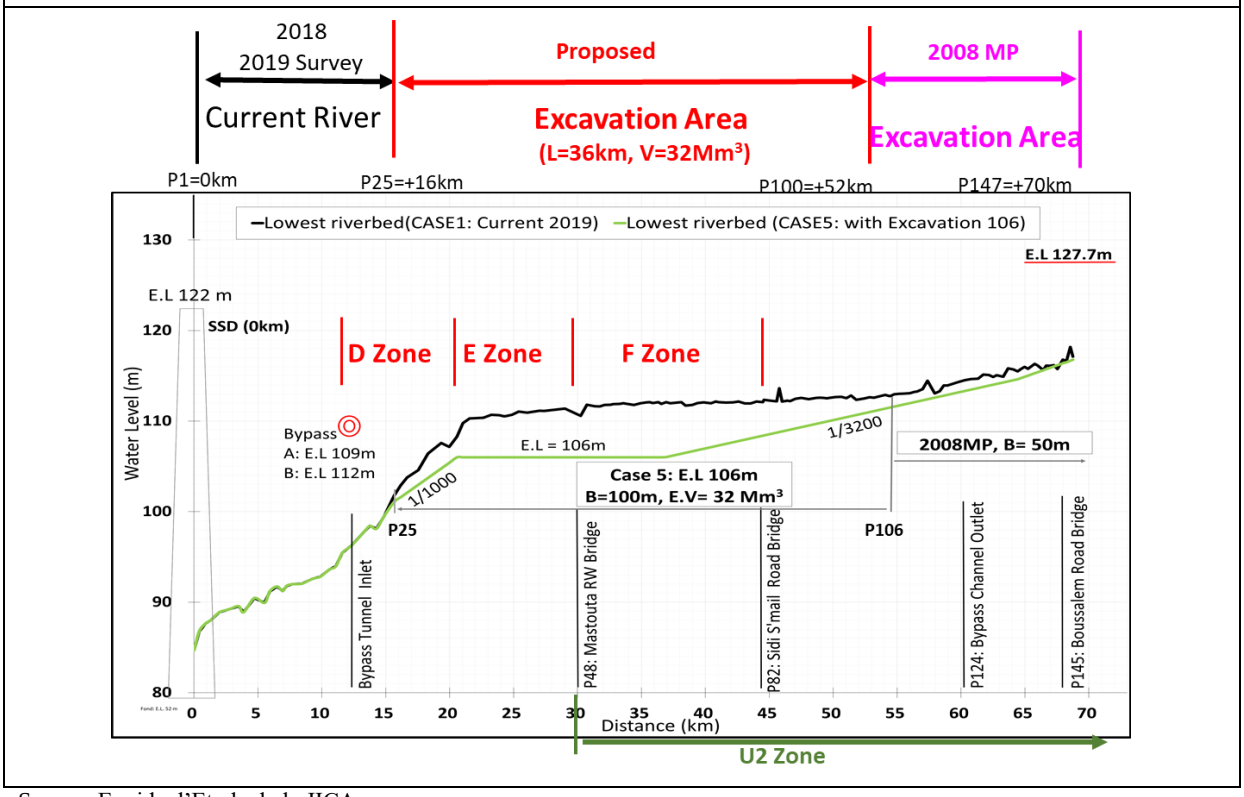


Cas 4 : Excavation jusqu'à une élévation (EL.109 m) où les sédiments peuvent rapidement atteindre la prise d'eau de la dérivation des sédiments



Source: Equide d'Etude de la JICA

Tableau 10-3 Géométrie de l'excavation du sable de remous (cas 5)

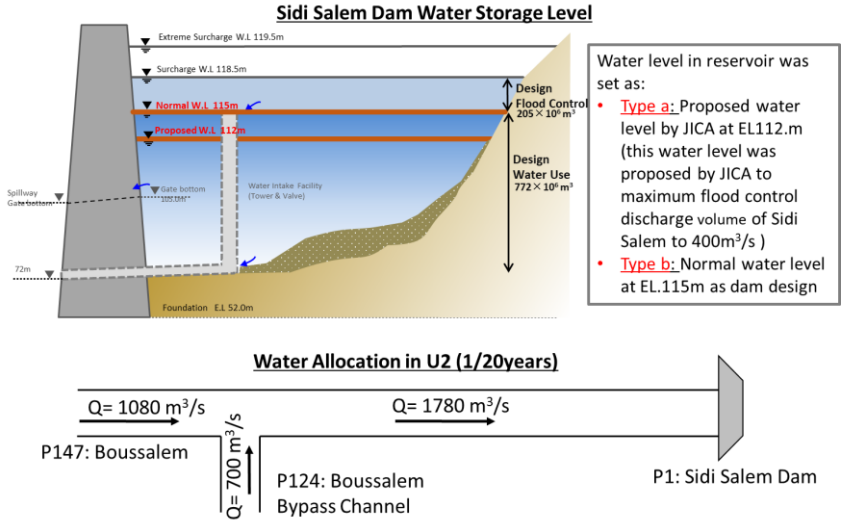
Cas 5 : Excavation pour réduire la sédimentation en amont de la retenue en plus du contrôle du sable de remous (élévation de l'excavation : E.L 106 m)


Source: Equide d'Etude de la JICA

(3) Définition du niveau d'eau et des conditions d'écoulement

Les conditions de définition du niveau d'eau et du débit sont indiquées à la Figure 10-5.

Pour le calcul, EL.115 m et EL.112 m ont été fixés comme niveaux de stockage d'eau standard, et le débit stochastique de 20 ans a été fixé comme force externe.



Source: Equide d'Etude de la JICA

Figure 10-5 Niveau d'eau et conditions d'écoulement pour les mesures relatives à l'effet de remous

10.1.3 Examen des résultats

(1) Calcul de l'effet d'abaissement du niveau de l'eau

Les Tableau 10-5~Tableau 10-7 illustrent les résultats des calculs de débit non uniforme basés sur les paramètres des conditions ci-dessus. Chaque résultat de calcul est résumé dans le Tableau 10-4.

Tableau 10-4 Résultats des calculs de l'effet de l'excavation des sédiments sur l'abaissement du niveau d'eau

Cas	Conditions	Résultats des calculs
1	Topographie	Le niveau d'eau dans toute la zone en amont du niveau de stockage a dépassé le P.H.E. d'environ 1 à 3 mètres.
2	Topographie + 2008PD	Lorsque la section du canal amont a été remplacée par le PD 2008 (canal de conception), le niveau d'eau a diminué. Le niveau de l'eau à Bou Salem (zone urbaine) a baissé jusqu'au PHE, en dessous du sommet de la digue. Cependant, le niveau de l'eau à Sidi Smail, une autre zone urbaine, est toujours élevé.
3	Excavation (EL.111,5 m)	Pour la première proposition d'excavation, la géométrie de l'excavation a été réglée de manière à adhérer à la section d'extrémité aval du tronçon PD 2008. En conséquence, les niveaux d'eau dans les deux zones urbaines de Bou Salem et Sidi Smail ont baissé en dessous du niveau d'eau maximal.
4	Excavation	La deuxième proposition d'excavation consiste à creuser plus

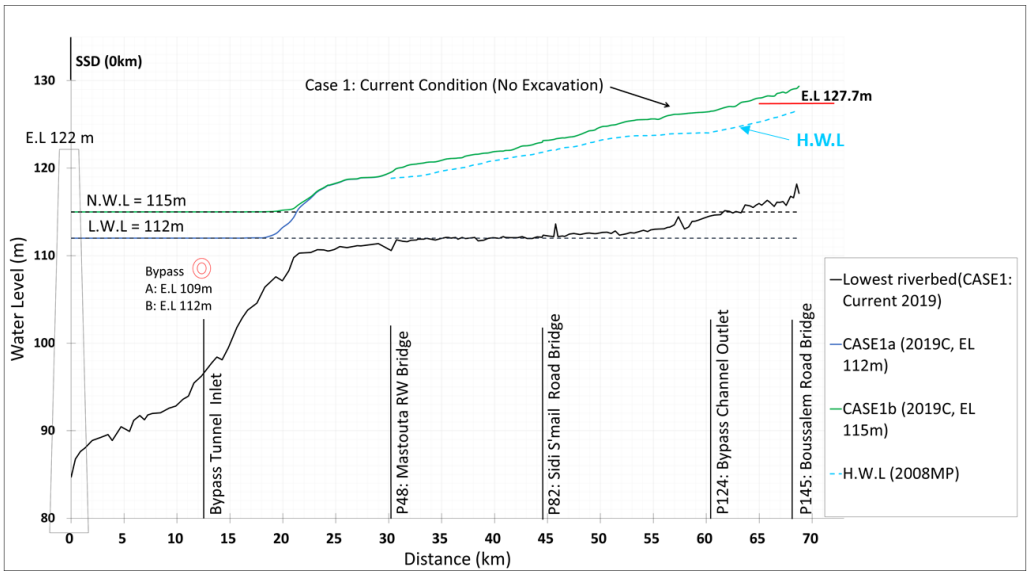
Source: Equide d'Etude de la JICA

Tableau 10-5 Géométrie de l'excavation relative au sable de remous (cas 1 et 2)

Cas 1 : Section transversale la plus récente (canal actuel de l'oued)

	Excavation Plan	
	Reservoir	U2 Zone
CASE 1a **CASE 1b**	**No Excavation**	

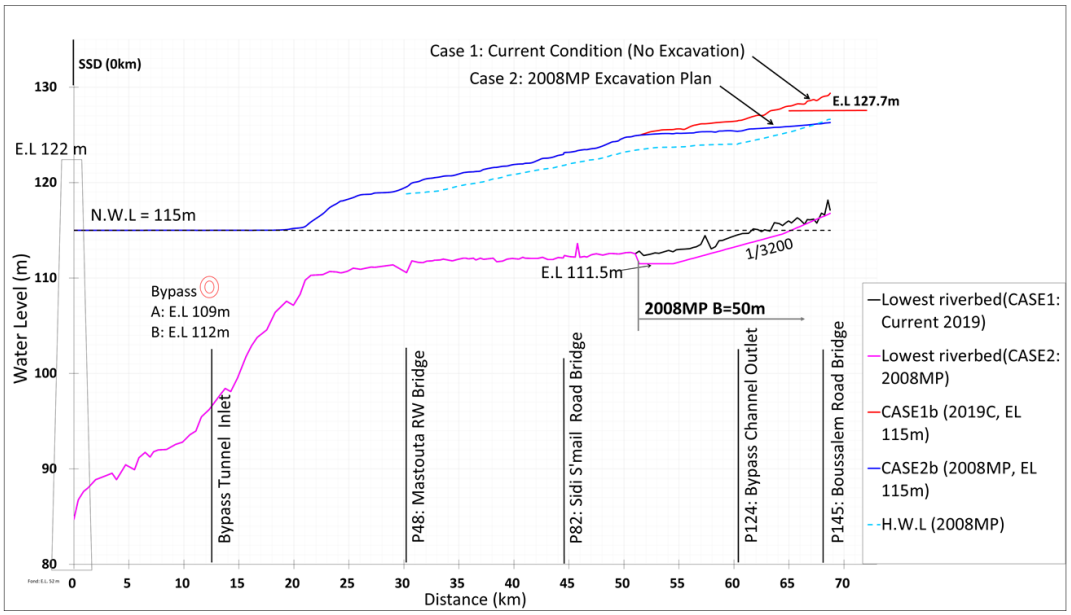
	Water Levels (m)		
	H.W.L (2008MP)	**CASE 1a**	**CASE 1b**
Bousalem	126.6	**129.4**	**129.4**
Sidi Smail	121.8	**123.1**	**123.1**



Cas 2 : Section transversale la plus récente dans la retenue, section transversale de conception du PD de 2008 dans la zone amont.

	Excavation Plan	
	Reservoir	U2 Zone
CASE 2b	No Excavation	**2008MP**

	Water Levels (m)	
	CASE 2b	Decrease
Bousalem	**126.3**	**3.1**
Sidi Smail	**123.1**	0



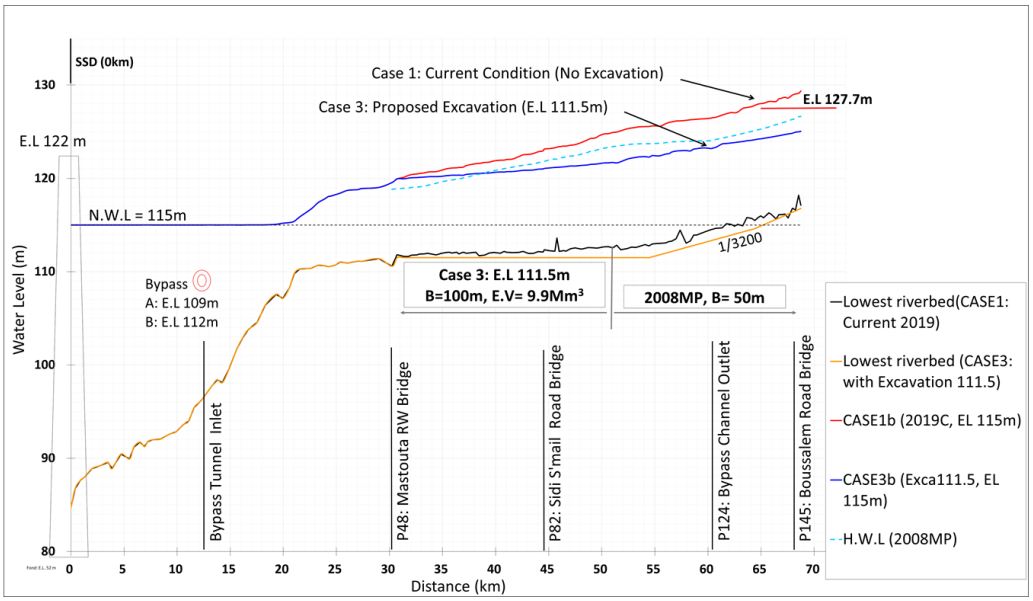
Source: Equide d'Etude de la JICA

Tableau 10-6 Géométrie de l'excavation relative au sable de remous (Case 3 and 4)

Cas 3 : Extension du canal de l'oued de conception de 2008 (PD) vers la zone F (élévation de l'excavation : EL.111,5 m)

	Excavation Plan	
	Reservoir (F Zone)	U2 Zone
CASE 3b	Target E.L 111.5m	2008MP

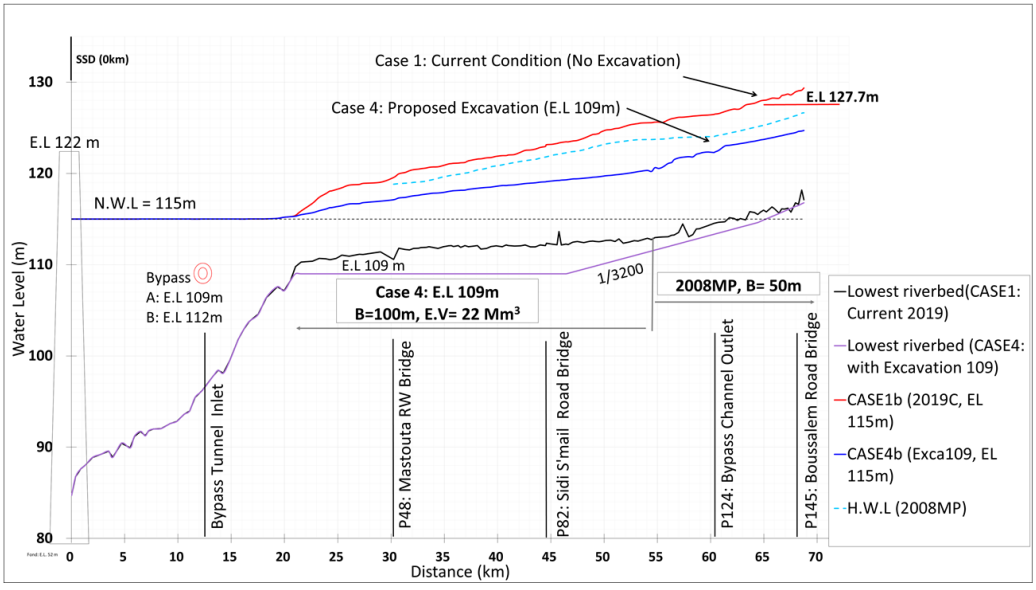
	Water Levels (m)	
	CASE 3b	Decrease
Bousalem	125.0	4.4
Sidi Smail	121.1	2.0



Cas 4 : Excavation jusqu'à une élévation (EL.109 m) où les sédiments peuvent rapidement atteindre la prise d'eau de la dérivation des sédiments.

	Excavation Plan	
	Reservoir (E and F Zones)	U2 Zone
CASE 4b	Target E.L 109m	2008MP

	Water Levels (m)	
	CASE 4b	Decrease
Bousalem	124.7	4.7
Sidi Smail	119.1	4



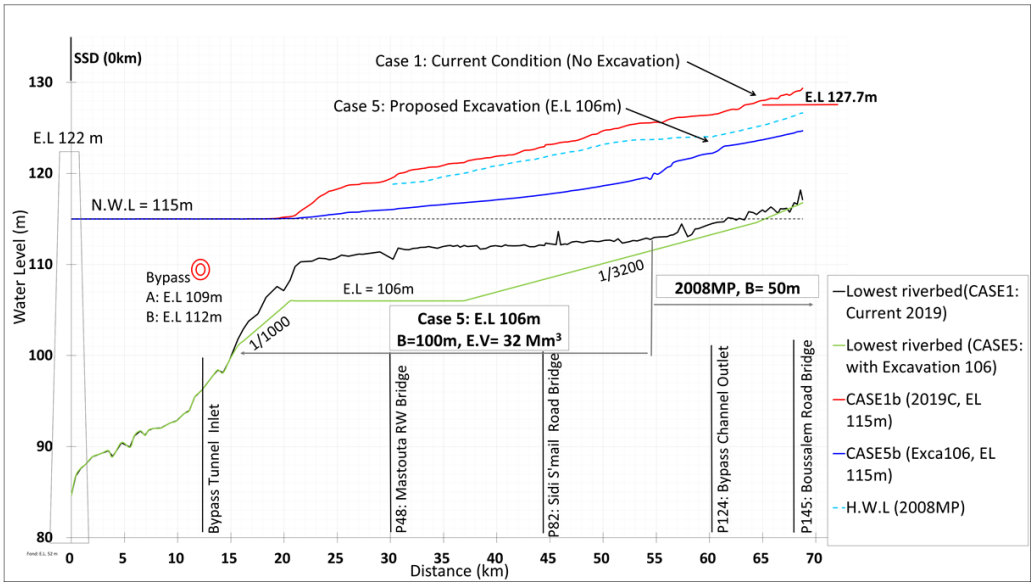
Source: Equide d'Etude de la JICA

Tableau 10-7 Géométrie de l'excavation relative au sable de remous (cas 5)

Cas 5 : Excavation pour réduire la sédimentation en amont de la retenue en plus du contrôle de l'effet de remous (élévation de l'excavation : EL 106 m)

	Excavation Plan	
	Reservoir (D, E, F Zones)	U2 Zone
CASE 5b	Target E.L 106m	2008MP

	Water Levels (m)	
	CASE 5b	Decrease
Bousalem	124.7	4.7
Sidi Smail	117.7	5.7



Source: Equide d'Etude de la JICA

(2) Calcul du volume de l'excavation

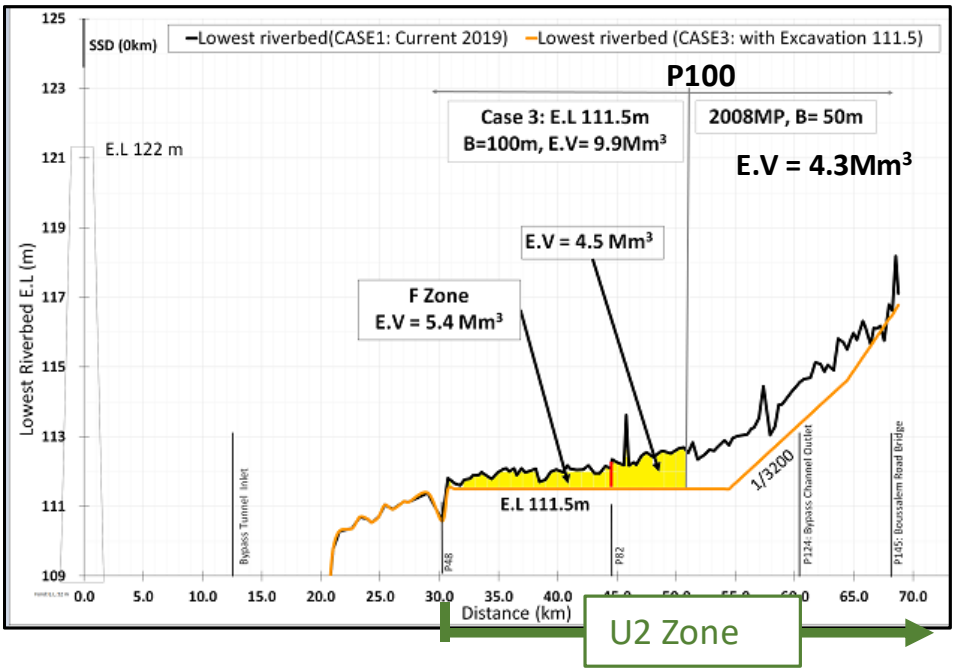
Les résultats du calcul du volume d'excavation pour chaque cas sont présentés dans le Tableau 10-8.

La géométrie de l'excavation a été calculée pour les cas 3 à 5.

Tableau 10-8 Volume d'excavation pour les mesures relatives au sable de remous

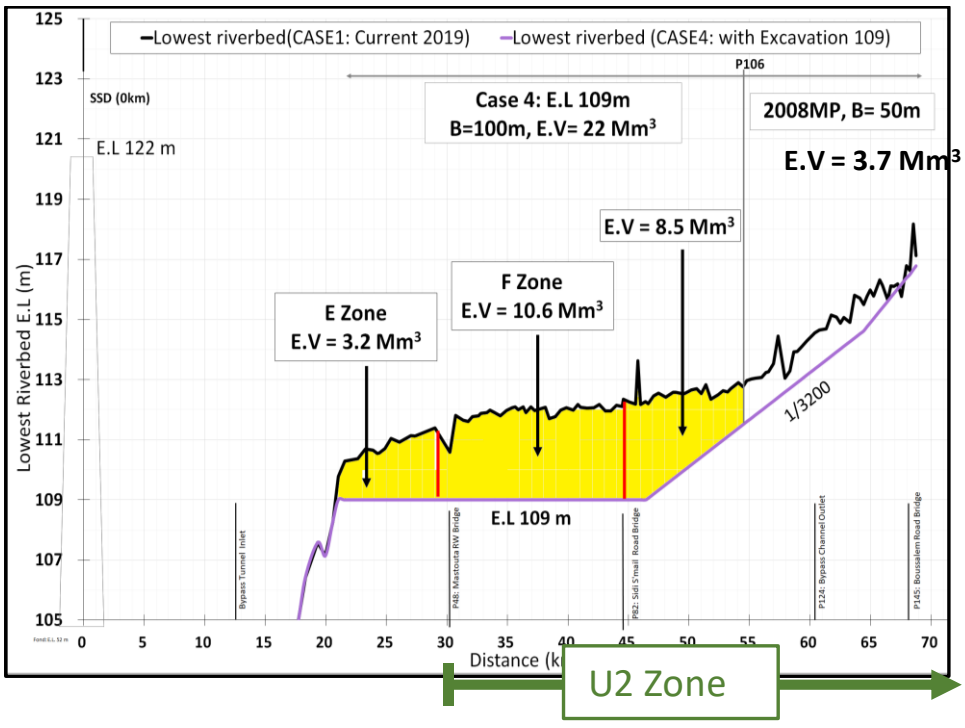
Cas	Élévation	Largeur du canal	Volume d'excavation
Cas 3	EL.111,5 m	B=100m	V=9,9 Mm^3
Cas 4	EL.109,0 m		V=22 Mm^3
Cas 5	EL.106,0 m		V=32 Mm^3

Source: Equide d'Etude de la JICA



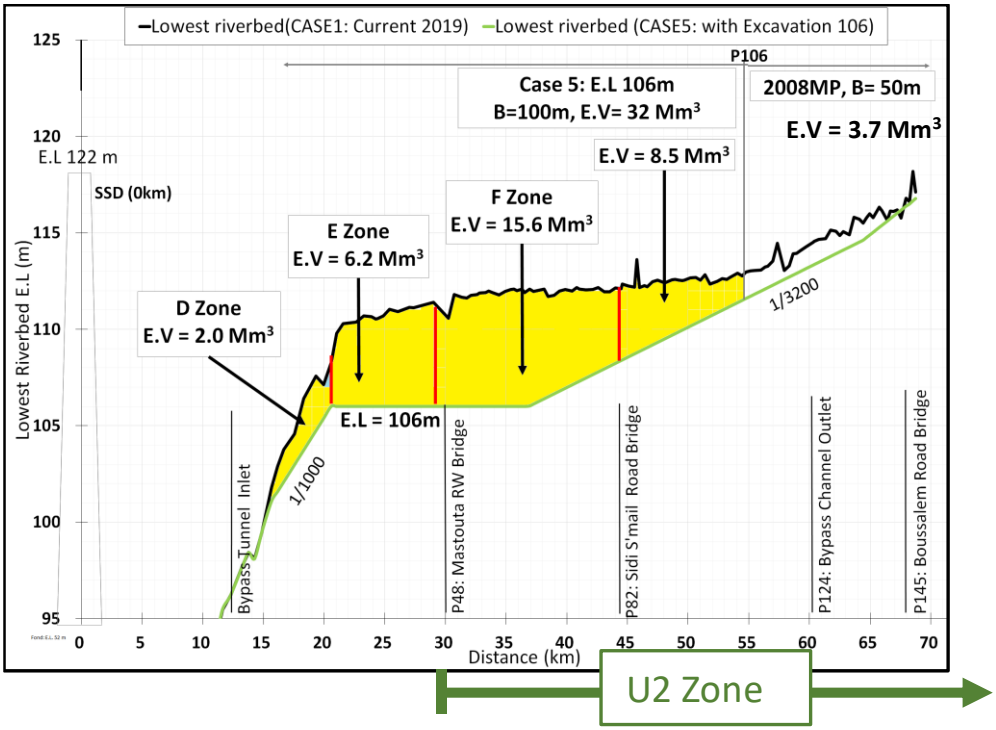
Source: Equide d'Etude de la JICA

Figure 10-6 Calcul du volume de sédiments excavés pour les mesures relatives au sable de remous (cas 3)



Source: Equide d'Etude de la JICA

Figure 10-7 Calcul du volume de sédiments excavés pour les mesures relatives au sable de remous (cas 4)



Source: Equide d'Etude de la JICA

Figure 10-8 Calcul du volume de sédiments excavés pour les mesures de sable de remous (cas 5)

10.1.4 Géométrie de forage optimale

(1) Résultats de la comparaison

Les résultats de l'évaluation comparative des formes d'excavation pour les mesures contre l'effet de remous sont présentés dans le Tableau 10-9.

Les cas 4 et 5 sont efficaces pour prévenir à la fois l'élévation du niveau d'eau dans la zone urbaine en amont et la sédimentation dans la retenue. Cependant, une grande quantité d'excavation initiale est nécessaire, et le coût reste un problème.

Par conséquent, le CAS 3 est considéré comme le plan optimal, qui a un petit volume d'excavation mais un effet contre l'effet de remous.

Tableau 10-9 Évaluation comparative de la géométrie de l'excavation pour le contrôle de l'effet de remous

CAS	Appréciation				Explication
	Mesures sable de remous	Zone B+C Traitement des sédiments	Excavation (Mm^3)	Tous	
CAS1	×	×	0	×	Les zones urbaines en amont (Bousalem, Sidi Smail) seront affectées (aucun effet).

CAS	Appréciation				Explication
	Mesures sable de remous	**Zone B+C Traitement des sédiments**	**Excavation (Mm^3)**	**Tous**	
CAS2	×	×	0	×	La zone urbaine en amont (Sidi Smail) sera affectée (aucun effet).
CAS3	○	○ (Ajouter des travaux auxiliaires de contre-mesure.)	10	○	L'effet peut être obtenu dans la zone urbaine en amont. En termes de contrôle des sédiments, l'installation d'ouvrages de canalisation pour faciliter l'écoulement des eaux turbides dans la zone D réduira le dépôt de sédiments dans la zone en amont.
CAS4	○	○	22	△	Bien qu'elle soit efficace en termes de protection de la zone urbaine en amont et de contrôle des sédiments, elle nécessite une grande quantité d'excavation initiale dans la zone de stockage de l'eau.
CAS5	○	○	32	△	

Source: Equide d'Etude de la JICA

(2) Largeur d'excavation et volume d'excavation optimaux

Dans l'analyse ci-dessus, la comparaison des cas a été faite pour l'excavation du canal avec une largeur de 100 m. Dans le cas d'une largeur de canal de 100 m, la construction est possible près de la zone D de la retenue car la retenue est suffisamment large. Cependant, dans les zones E et F, il y a de nombreuses sections étroites et la topographie de la vallée rend difficile la sécurisation d'une route d'accès et d'un espace pour la construction. De plus, l'espace pour déverser les terres excavées est également limité. Par conséquent, la largeur minimale optimale d'excavation a été considérée ci-dessous.

La largeur optimale de l'excavation a été considérée comme étant de 50 m, ce qui est accessible par des machines lourdes depuis les deux rives dans la zone rétrécie et cette largeur peut permettre un débit de 100 à 200 m3/sec.

Les résultats de l'analyse ont montré que l'effet d'abaissement du niveau d'eau était plus faible que dans le cas d'une largeur de canal de 100 m, mais qu'il était inférieur au niveau d'eau maximal dans la zone urbaine en amont de la ville de Bousalem.

En outre, le volume d'excavation pour la largeur d'excavation de 50 m est d'environ 5,1 M m3, soit environ la moitié de celui du cas de 100 m, ce qui facilite la sécurisation d'un site de déversement. Bien que cette largeur d'excavation soit une largeur uniforme pour les besoins du calcul, il est recommandé d'effectuer des relevés topographiques au stade de la conception détaillée afin de s'assurer que la largeur du canal est de 50 m ou plus.

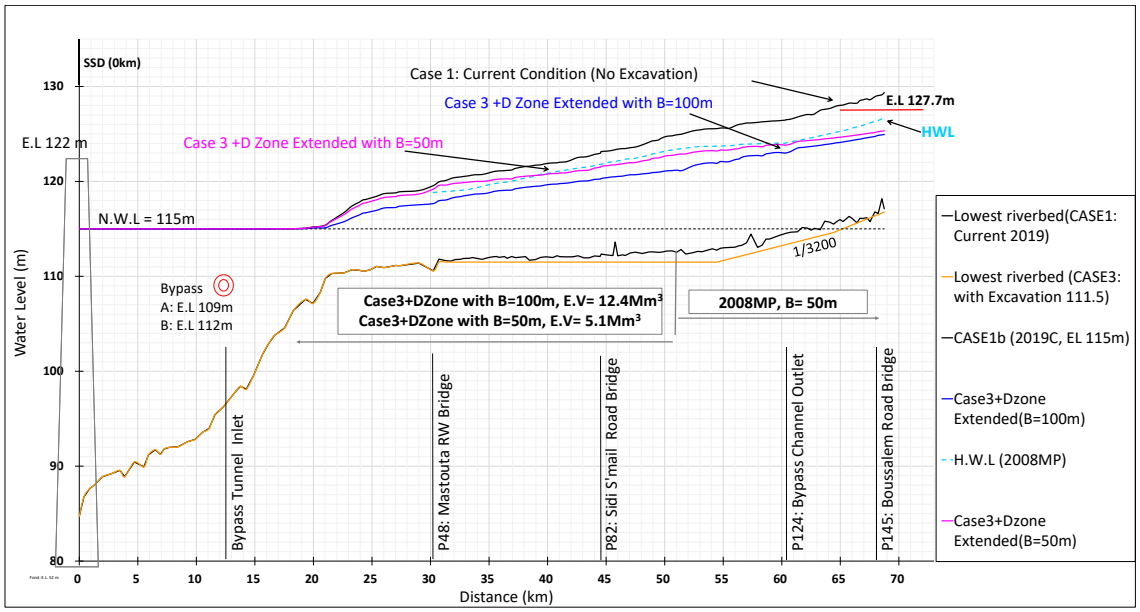


Figure 10-9 Largeur optimale de l'excavation (B = 50 m)

10.2 Evacuation des Sédiments en Aval

Dans le cas où la quantité de sédiments évacuée vers l'aval du barrage augmente en raison de diverses mesures adoptées, la capacité d'écoulement de l'aval ou le fonctionnement des installations de prise le long de l'Oued peuvent être affectés. Le risque est évalué par simulation unidimensionnelle de la variation du lit de l'Oued. Le résumé des résultats de la simulation est décrit ci-dessous. Les détails de la simulation sont présentés au Chapitre 13.

10.2.1 Hypothèses de la Simulation

L'hypothèse d'analyse de sensibilité pour les mesures proposées contre la sédimentation est présentée dans le Tableau. Une analyse de sensibilité a été réalisée pour le cas où le débit de sédiments augmente de +1,0 Mm^3/an en raison des mesures de lutte contre la sédimentation au barrage de Sidi Salem, par rapport aux conditions actuelles utilisées dans le calcul des prévisions futures.

Tableau 10-10 Hypothèse d'Analyse de Sensibilité pour la Décharge Progressive de Sédiments

Eléments	Conditions de Simulation	Remarques
Méthodologie d'analyse	Ecoulement d'eau : Analyse d'Ecoulement non-uniforme Ecoulement des Sédiments : Analyse de la Fluctuation du Lit de l'Oued Unidimensionnelle	
Période d'analyse	Des crues recurrentes de 2004 à 2018 pendant 100 ans sont appliquées. La crue de 2003 est appliquée 2 fois pendant 100 ans.	
Etendue de l'analyse	Oued Medjerda : Embouchure ~ Barrage de Sidi Salem	0,0 k ~ 148,54 k
Conditions initiales de l'Oued	Section D1(148.54 k ~ 67.3 k) : Résultats de l'Etude Topographiques de 2008 Section D2 (65.0 k ~ 0.0 k) : Profiles en Travers Proposées	Les sections dans la retenue du Barrage de Laroussia : Interpolation des Profiles en Travers est appliquée.
Granulométrie	Section D1 : Utiliser la granulométrie moyenne de la section D1-1 à D-3	

Eléments	Conditions de Simulation	Remarques
	Section D2 : Utiliser la granulométrie moyenne de la D2-3 à D2-6	
Classification de la granulométrie représentative	9 classifications : Argile (0,0005 mm) ~ Gravier (10 mm)	
Condition d'apport	＜Débits＞ ・-L'extrémité amont est le débit du barrage de Sidi Salem, et oued Siliana et les tronçons restants des zones D1 et D2 sont considérés comme des affluents. -Le débit d'oued Siliana a été obtenu en ajoutant le débit du barrage existant de Siliana et le débit sortant de la zone résiduelle en aval du barrage au débit entrant du barrage de Siliana, divisé proportionnellement par la superficie du bassin versant. < Sédiments entrants > -Pour la quantité de sédiments relâchés par le barrage de Sidi Salem, on utilise les résultats de la simulation unidimensionnelle des sédiments. ※1 -La quantité de sédiments entrant dans chaque affluent a été fixée sur la base du bilan sédimentaire qui a été établi précédemment. La distribution granulométrique a été fixée en fonction des résultats de l'étude des matériaux du lit de l'oued.※2	Données journalières sont utilisées ※16,0 Mm^3/an ※2 Quantité d'apport de sédiments par tronçon de cours d'eau. Oued Siliana :2,1Mm^3/an Oued Lahmar : 0,5 Mm^3/an Oued Chafrou : 0,5 Mm^3/an
Conditions pour les mesures contre la sédimentation	- Une augmentation de l'évacuation de sédiments après les mesures de lutte contre la sédimentation au barrage de Sidi Salem (+1,0 Mm^3/an) a été fixée comme la condition de débit entrant pour le canal de l'oued. － On suppose que l'argile et le limon sont contenus dans les sédiments évacués	Conditions de la simulation
Niveau d'eau à l'extrémité aval	- Le niveau d'eau d'exploitation est appliqué au barrage de Laroussia. (Le niveau d'eau à écoulement uniforme est adopté lorsque la porte est complètement ouverte,) - Niveau de la mer au niveau de l'embouchure est pris égale à EL.0,0 m.	
Porosité	0,4	
Rugosité	0,030	
Autres	Lit de l'Oued fixe ＝ le mouvement du lit ou l'érosion ne sont pas considérés	

Source: Equipe d'Etude de la JICA

10.2.2 Impacts de l'Evacuation des Sédiments en Aval

(1) Changement du Lit de l'Oued

Une simulation de la variation de la sédimentation dans le lit de l'oued le long du profile de la Medjerda pour les 100 prochaines années a été effectuée. La Figure 10-11 indique la hauteur de fluctuation du lit de l'oued pour une année représentative (91 ans dans le futur) avec un dépôt significatif de sédiments.

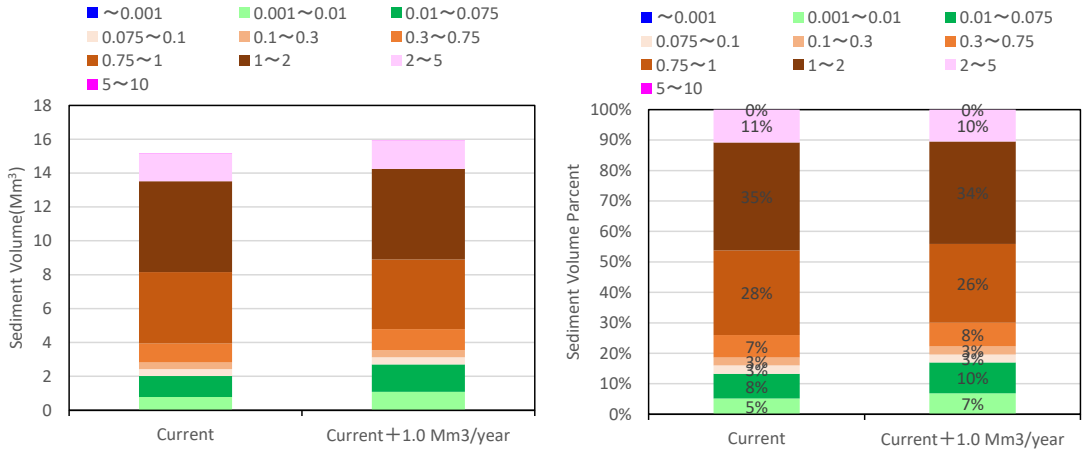
- La comparaison de la situation actuelle et du cas actuel +1.0Mm3/an montre que les deux cas entraînent une élévation du lit de l'oued en aval, bien que le cas actuel +1,0Mm3/an puisse légèrement augmenter le lit de l'oued. La granulométrie des sédiments rejetés par le barrage est de type limon-argile, et sa composante granulométrique est de 0,075 mm ou moins. Par conséquent, les sédiments s'accumulent peu et ne parviennent pas à l'embouchure de l'oued.

- Le lit de l'oued a tendance à s'élever en aval du barrage. On suppose que cela résulte de l'apport de sédiments d'oued Siliana, un affluent droit qui rejoint le cours d'eau principal immédiatement en aval du barrage. On a observé que des sédiments à grain relativement gros se déposent près de la confluence de la Siliana et du cours d'eau principal.

(2) Granulométrie des Matériaux du Lit de l'Oued

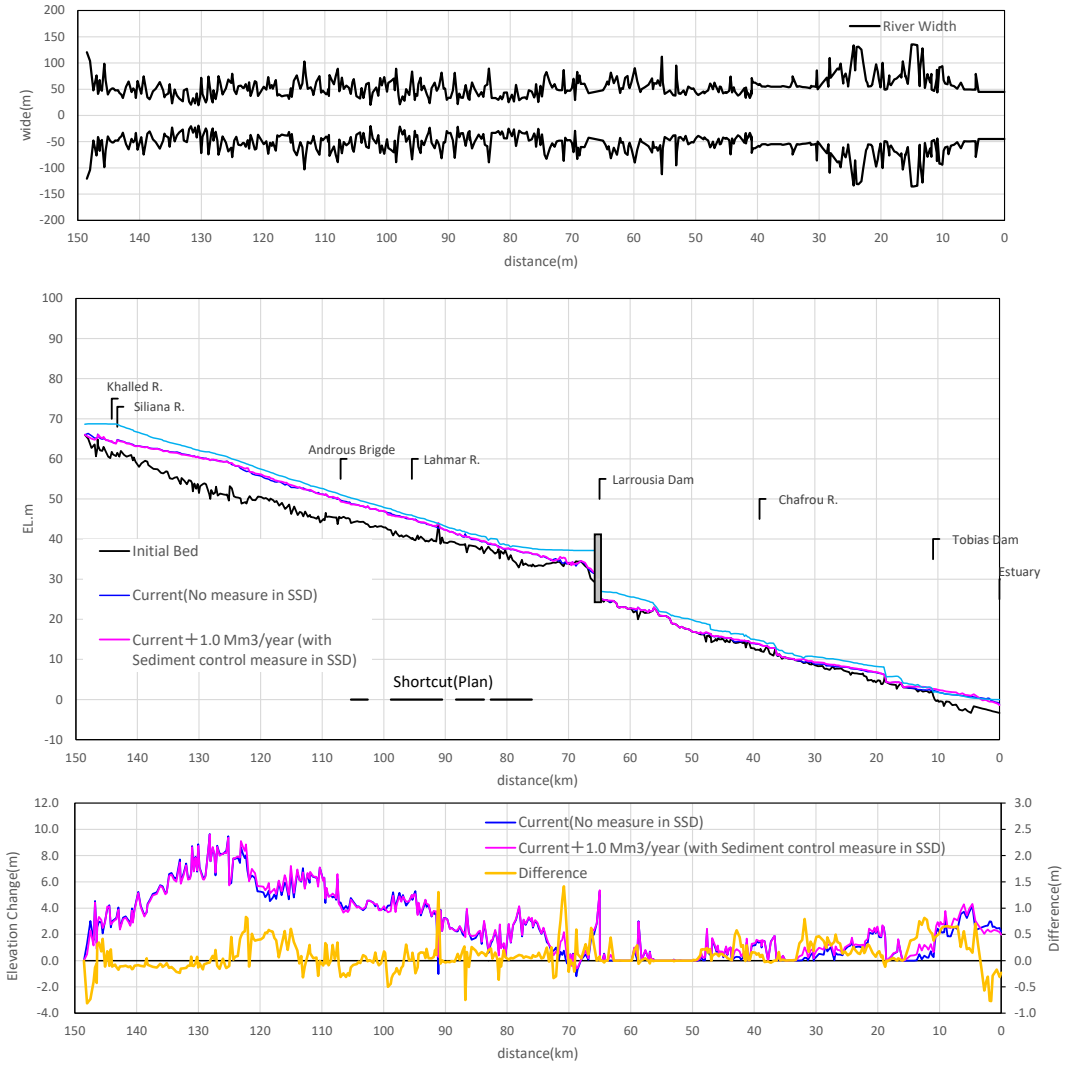
La Figure 10-10 illustre la comparaison du volume de sédiments par granulométrie. Le résultat est résumé ci-dessous.

- L'augmentation des sédiments évacués par le barrage de Sidi Salem favorise le dépôt de grains de 0,001 à 0,075 mm de composant limoneux sur le lit de l'oued.
- Il y a peu de changement dans la distribution granulométrique sur le lit de l'oued avec l'augmentation des sédiments évacués par le barrage de Sidi Salem.



Source: Equide d'Etude de la JICA

Figure 10-10 Comparaison du volume de sédiments par taille de grain dans la Medjerda (Après 91 ans dans le futur)



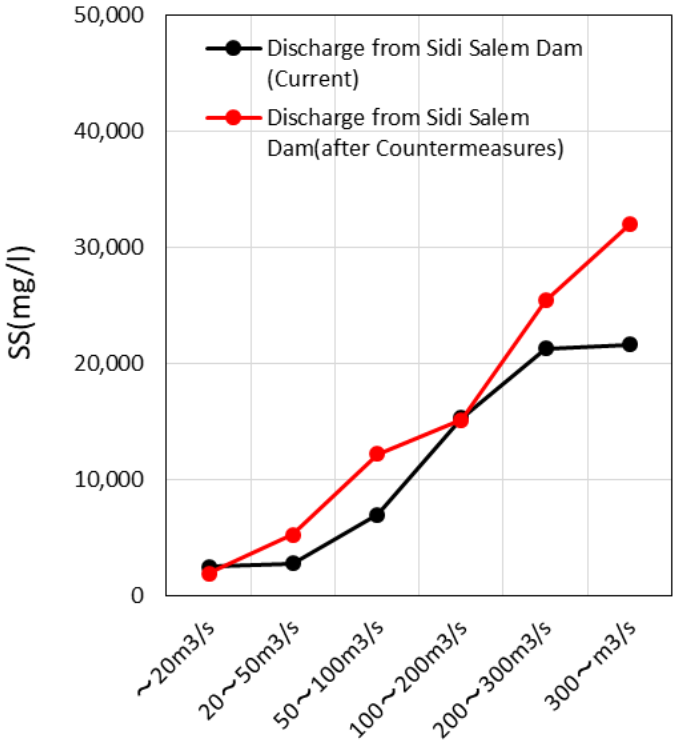
Source: Equide d'Etude de la JICA

Figure 10-11 Comparaison des résultats de la simulation des variations du lit de l'oued (Après 91 ans dans le futur)

(3) Concentration sédimentaire

Les résultats de la relation entre le débit du barrage et la concentration de sédiments en aval dans les conditions actuelles et après la mise en œuvre des mesures de lutte contre la sédimentation sont présentés ci-dessous.

En raison des mesures de lutte contre la sédimentation du barrage de Sidi Salem, la concentration de sédiments dans l'évacuation devrait augmenter d'un maximum d'environ deux fois la concentration actuelle de sédiments.



Source: Equide d'Etude de la JICA

Figure 10-12 Relation entre le volume d'évacuation et la concentration de sédiments au barrage de Sidi Salem

10.2.3 Impacts d'Amélioration de l'Oued par Gestion des Sédiments et par Mesures contre la Sédimentation

Le résumé de l'impact des travaux d'amélioration de l'oued / de contrôle des sédiments dans les sections D1 / D2, et les mesures contre la sédimentation sont présentés ci-dessous basé sur les résultats de simulation.

L'impact après l'amélioration de l'oued n'ayant pas été clarifié à l'heure actuelle, l'impact de l'augmentation des sédiments évacués due aux travaux de contrôle de la sédimentation du barrage de Sidi Salem est examiné et des mesures sont proposées.

Tableau 10-11 Impacts et Mesures (Provisoires) dus aux Changements Projetées du Lit de l'Oued dans les Sections D1 et D2

Section	Changement du Lit	Impacts Présumés	Mesures Contre la Sédimentation
D1	Augmentation de l'aggradation du lit de l'oued.	Diminution de la capacité d'écoulement due à la diminution de la section transversale de l'oued.	Excavation de l'Oued Aménagement de l'oued (amélioration de la capacité d'écoulement des sédiments par l'élimination des obstacles)
	Augmentation de débit (concentration SS) et de sédimentation composée d'argile et de limons	Augmentation du boisement et diminution de la capacité d'écoulement	Abattage périodique des arbres Installation de poches de sable
		Détérioration de la capacité de prise du déversoir	Excavation/dragage aux alentours du déversoir Construction de bassin de piégé de sable
Barrage	Augmentation de la	Détérioration de la fonction	Contrôle de sédimentation

Section	Changement du Lit	Impacts Présumés	Mesures Contre la Sédimentation
Laroussia	sédimentation dans la retenue	du réservoir Diminution de la capacité d'écoulement due à la sédimentation en amont du réservoir	dans la retenue par drainage
D2	Augmentation de la sédimentation le long de l'oued et au niveau de l'embouchure※1	Diminution de la capacité d'écoulement due à la diminution de la section transversale de l'oued.	Excavation de l'Oued
	Augmentation du débit de sédiments (Concentration SS) composé d'argile/limon et de sédimentation※2	Augmentation du boisement et diminution de la capacité d'écoulement	Abattage périodique des arbres Installation de poches de sable
		Détérioration de la capacité de prise du déversoir	Excavation/dragage aux alentours des déversoirs

Source: Equipe d'Etude de la JICA

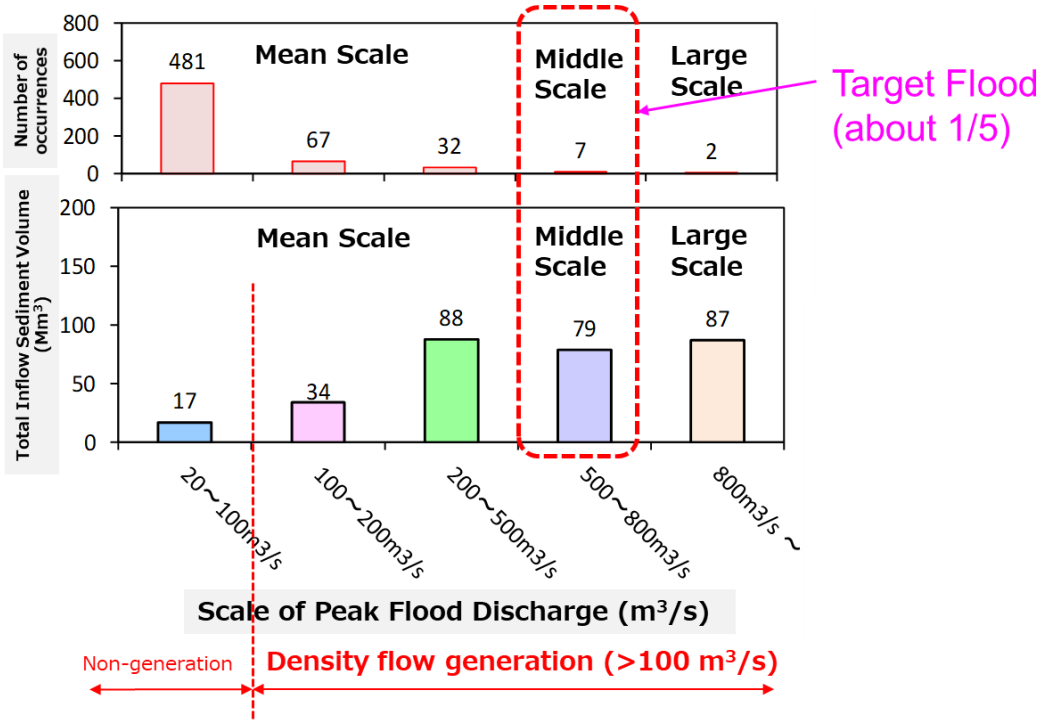
※1 La sédimentation du lit de l'oued dans les zones D1 et D2 est considéré comme étant principalement dû à l'apport de sédiments de oued Siliana.

※2 Augmentation estimée du déversement de sédiments en raison des mesures de lutte contre la sédimentation au barrage de Sidi Salem.

10.2.4 Étude de cas sur l'effet et l'impact d'une inondation de 500 m³/s

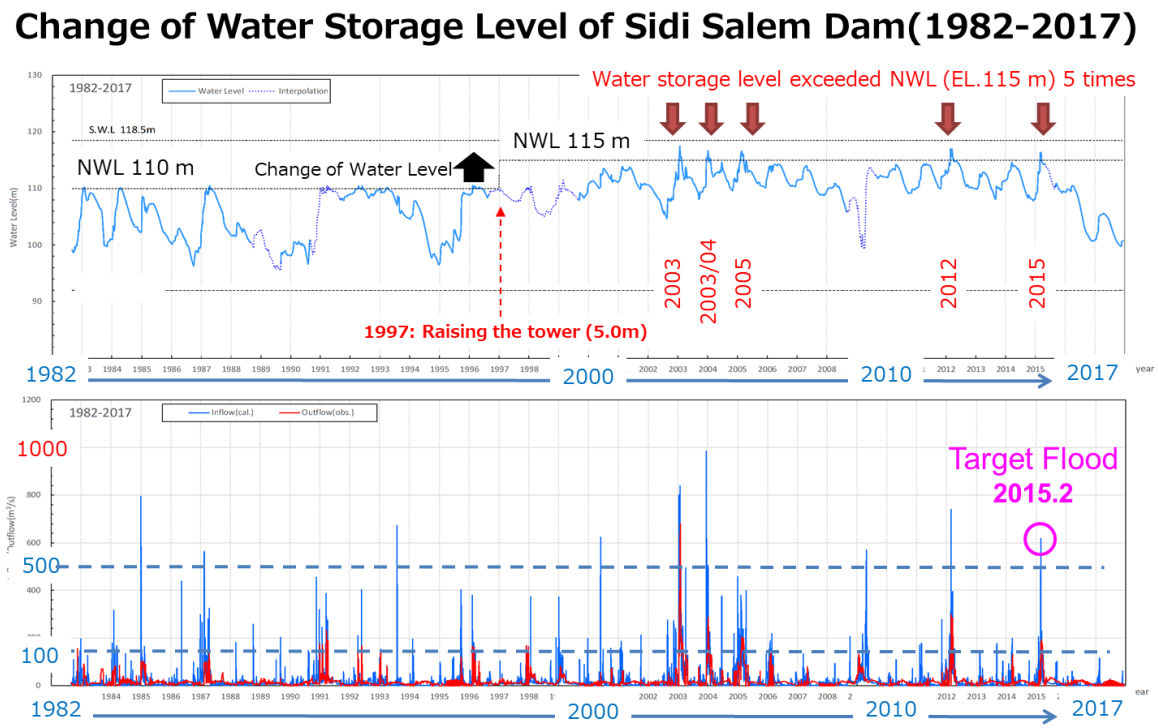
(1) Définition de la crue de référence

Afin de démontrer concrètement les impacts de ce projet, nous avons effectué un résumé de l'évolution des sédiments et de l'eau dans le barrage de Sidi Salem et en aval du barrage lors d'une crue modérée avec un débit de pointe moyen journalier d'environ 500 m³/s. Par conséquent, la crue de février 2015 a été sélectionnée pour l'étude.



Source: Equide d'Etude de la JICA

Figure 10-13 Débit total de sédiments entrants et nombre d'occurrences de débits par taille de crue (1982-2017)



Source: Equide d'Etude de la JICA

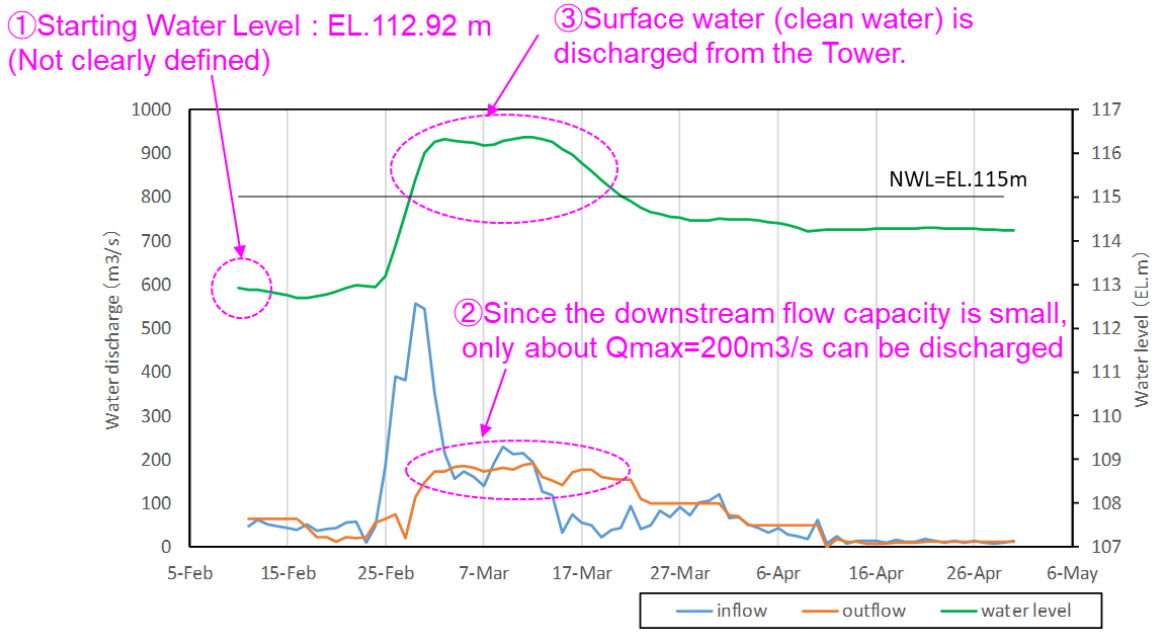
Figure 10-14 Définition des inondations à étudier (1982-2017)

(2) Fonctionnement des vannes pendant l'inondation

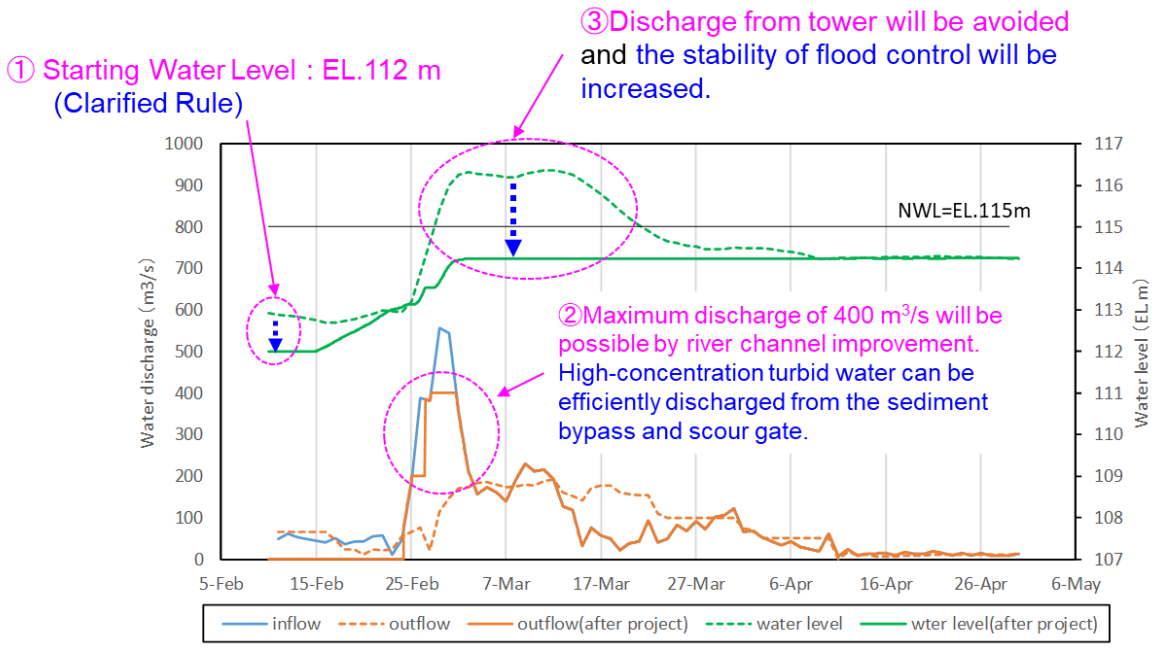
Les crues de février 2015 ont été considérées pour l'étude (Qp=557 m^3/s : valeur moyenne journalière). On a procédé à des calculs relatifs à la lutte contre les inondations.

Avec un niveau de crue de intercepté à EL.112 m, une forte augmentation du niveau de stockage de l'eau et une évacuation rapide de la tour peuvent être évitées en utilisant des vannes de dérivation et les vannes d'évacuation des sédiments.

Avant le projet (fonctionnement actuel)



Après projet (nouveau fonctionnement)



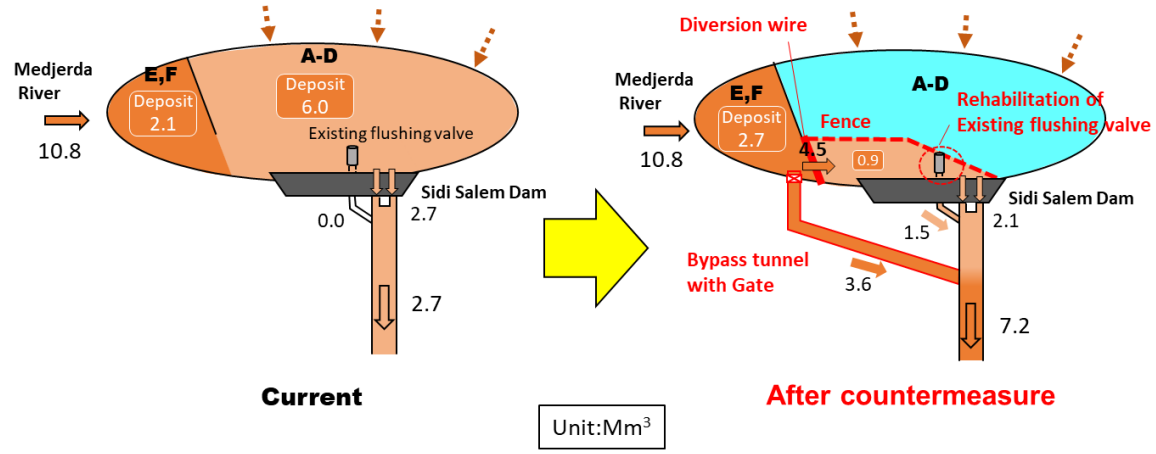
Source: Equide d'Etude de la JICA

Figure 10-15 Impact du fonctionnement des vannes pendant les crues

(3) Changement du bilan sédimentaire du barrage de Sidi Salem

Les résultats du calcul du bilan sédimentaire basé sur les résultats de la simulation opérationnelle sont présentés à la Figure 10-16.

- Après les mesures de lutte contre la sédimentation, 3,6 Mm^3 des sédiments qui s'écoulaient dans la retenue sont évacués directement en aval du barrage par le tunnel de dérivation des sédiments.
- En conséquence, la sédimentation dans la retenue est fortement réduite de 8,1 Mm^3 à 3,6 Mm^3.



Target Flood : 2015.2 Flood (Qp = 557 m³/s)

Source: Equide d'Etude de la JICA

Figure 10-16 Modification du bilan sédimentaire après le projet

(4) Modification du bilan hydrique et sédimentaire de la retenue suite à la crue de février 2015

Sur la base des résultats de la simulation du fonctionnement de la retenue, le bilan calculé de l'eau et des sédiments de la retenue avant et après le projet est présenté. Il en résulte que la quantité de sédiments sera réduite à moins de la moitié de l'opération actuelle après le projet.

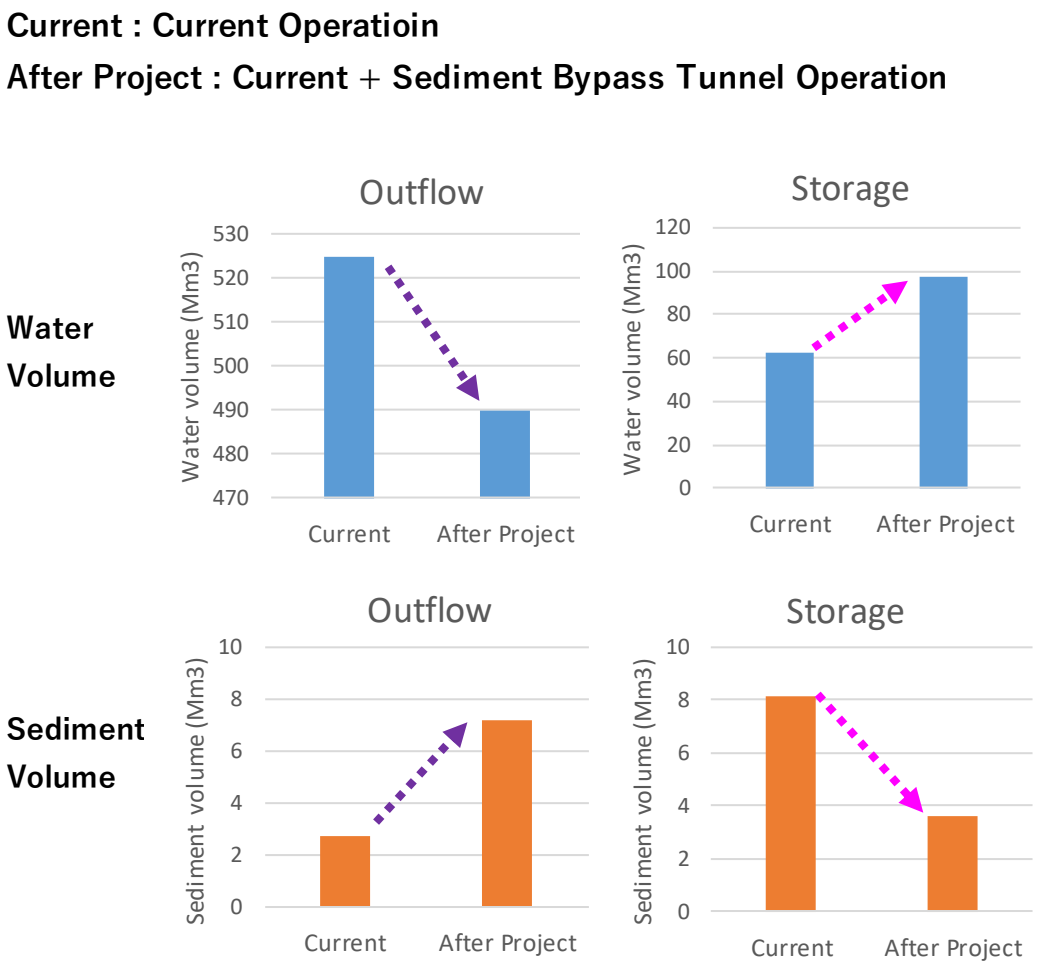
Il a également été montré que le bilan hydrique était presque le même avant et après le projet.

Tableau 10-12 Modification du bilan hydrique et du bilan sédimentaire suite à la crue de février 2015

Operation	Water Balance			Sediment Balance		
	Inflow	Outflow	Storage	Inflow	Outflow	Storage
Current	587	525	62	10.8	2.7	8.1
After Project		490	97		7.2	3.6

Source: JICA Study Team

Unit : Mm3



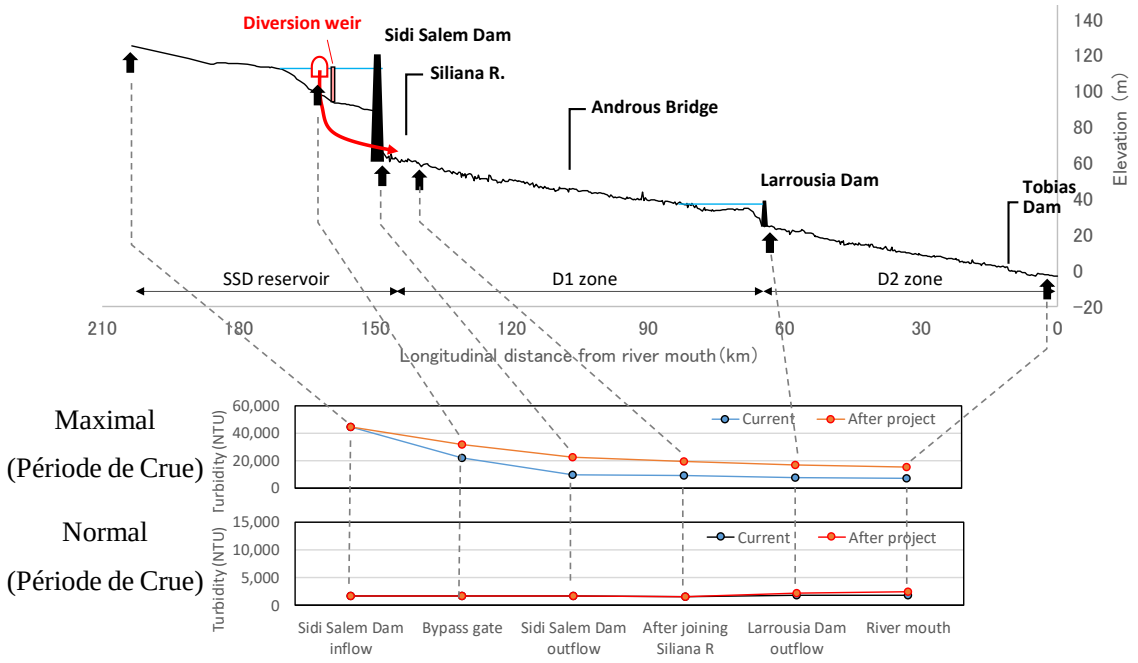
Source: Equide d'Etude de la JICA

Figure 10-17 Modification du bilan sédimentaire après le projet

(5) Changements longitudinaux de la turbidité en aval du barrage

Ce projet a permis de déterminer la turbidité de l'oued en aval du barrage de Sidi Salem suite à la crue de février 2015. Les résultats ont révélé ce qui suit .

- La composition des sédiments déversés lors des crues est principalement argileuse. Par conséquent, ils atteignent l'embouchure de l'oued en flottant dans l'eau au lieu de se déposer dans le canal de l'oued.
- La turbidité des rejets pendant les crues augmentera au maximum d'environ deux fois par rapport au fonctionnement actuel. Il y a peu d'affluents qui se rejoignent dans les zones D1 et D2, donc la turbidité change à peine jusqu'à l'embouchure de l'oued.
- Étant donné qu'aucune opération de désensablement n'est effectuée dans des conditions normales, on observe une faible augmentation de la turbidité.



Source: Equide d'Etude de la JICA

Figure 10-18 Changement de la turbidité dans l'oued en aval après le projet

CHAPTER 11 PLAN D'AMENAGEMENT DE L'OUED DANS LA ZONE D1

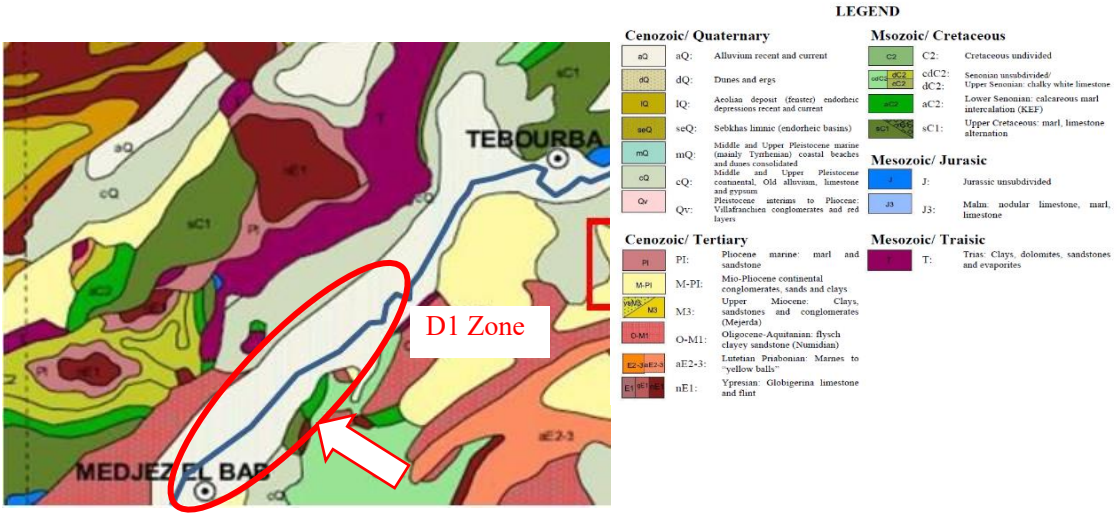
11.1 Géomorphologie et Géologie de la Zone D1

(1) Aperçu de la géomorphologie

La topographie du bassin se compose de zones montagneuses et de petites plaines alluviales formées entre ces montagnes depuis les sources jusqu'à la confluence avec oued Siliana en aval du barrage de Sidi Salem. Les villes moyennes telles que Boussalem et Jandouba sont situées sur cette plaine alluviale. La Zone D1, en aval du barrage de Sidi Salem, a une topographie vallonnée. De l'aval à l'embouchure de l'oued, la zone se compose de ce qu'on appelle la plaine alluviale.

(2) Schéma Géologique

La Figure 11-1 montre le schéma géologique de la zone d'étude dans la Zone D1. La géologie de la zone d'étude est constituée d'alluvions le long d'Oued Medjerda. Oued Medjerda érode les formations (néogène, paléogène et un peu mésozoïque) d'avant le Pléistocène du Cénozoïque, et les alluvions se déposent pour enterrer la vallée.



Source: Rapport de l'Etude Préparatoire Précèdent, Origine: Carte Géologique de la Tunisie 1/500,000（Office National des Mines (ONM), Révisée dans le Présent Rapport

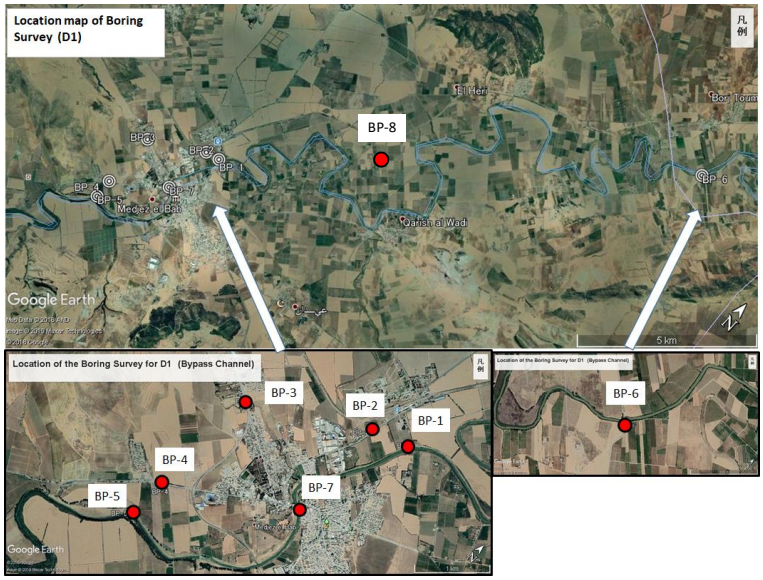
Figure 11-1 Schéma Géologique de la Zone d'Etude

11.2 Etude Géologique

11.2.1 Objectif de l'enquête

Cette enquête a été réalisée dans le but d'obtenir les données/informations de base de l'ingénierie pour examiner l'aménagement de l'oued (aménagement de l'oued, excavations, etc.) de la Mejerda dans la zone D1 et la reconstruction du pont.

11.2.2 Emplacement des sondages

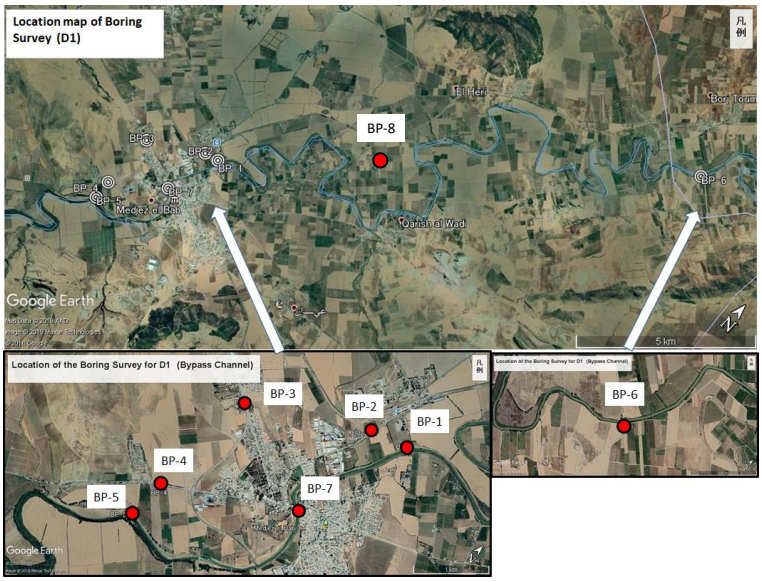


La Figure 11-2 et le

Source : Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-2 Emplacement des Forages dans la Zone D1

Tableau 11-1 montrent les emplacements des sondages par forage réalisés dans la zone D1 dans le cadre de cette étude. Les sondages de cette étude ont été réalisés dans le but de comprendre l'état et les caractéristiques de la géologie et du sol le long du canal prévu et du site de raccourci dans la partie inférieure de la zone D1 de la Mejerda.



Source : Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-2 Emplacement des Forages dans la Zone D1

Tableau 11-1 Liste des Forages

No. du Forage	Longueur Totale (m)	Coordonnées (UTM 32S)		Elévation	Note
		X	Y	EL. m	
BP-1	22.0	554719.61	4057777.3	53.529	Sortie du tunnel
BP-2	15.0	554199.01	4057545.2	52.473	idem (fondation du pont de remplacement)
BP-3	20.0	552745.72	4056577.3	57.756	idem
BP-4	15.0	552826.26	4055022.5	56.633	idem
BP-5	15.0	552826.11	4054484.8	51.985	Entrée du canal
BP-6	20.0	564891.46	4066590.1	41.094	Fondation du Pont Routier
BP-7	15.0	554190.70	4055991.2	51.632	Entrée du canal du tunnel
BP-8	10.0	558127.15	4060870.9	48.000	Section de la coupure
Total	132.0				

Source : Equipe d'Etude de la JICA

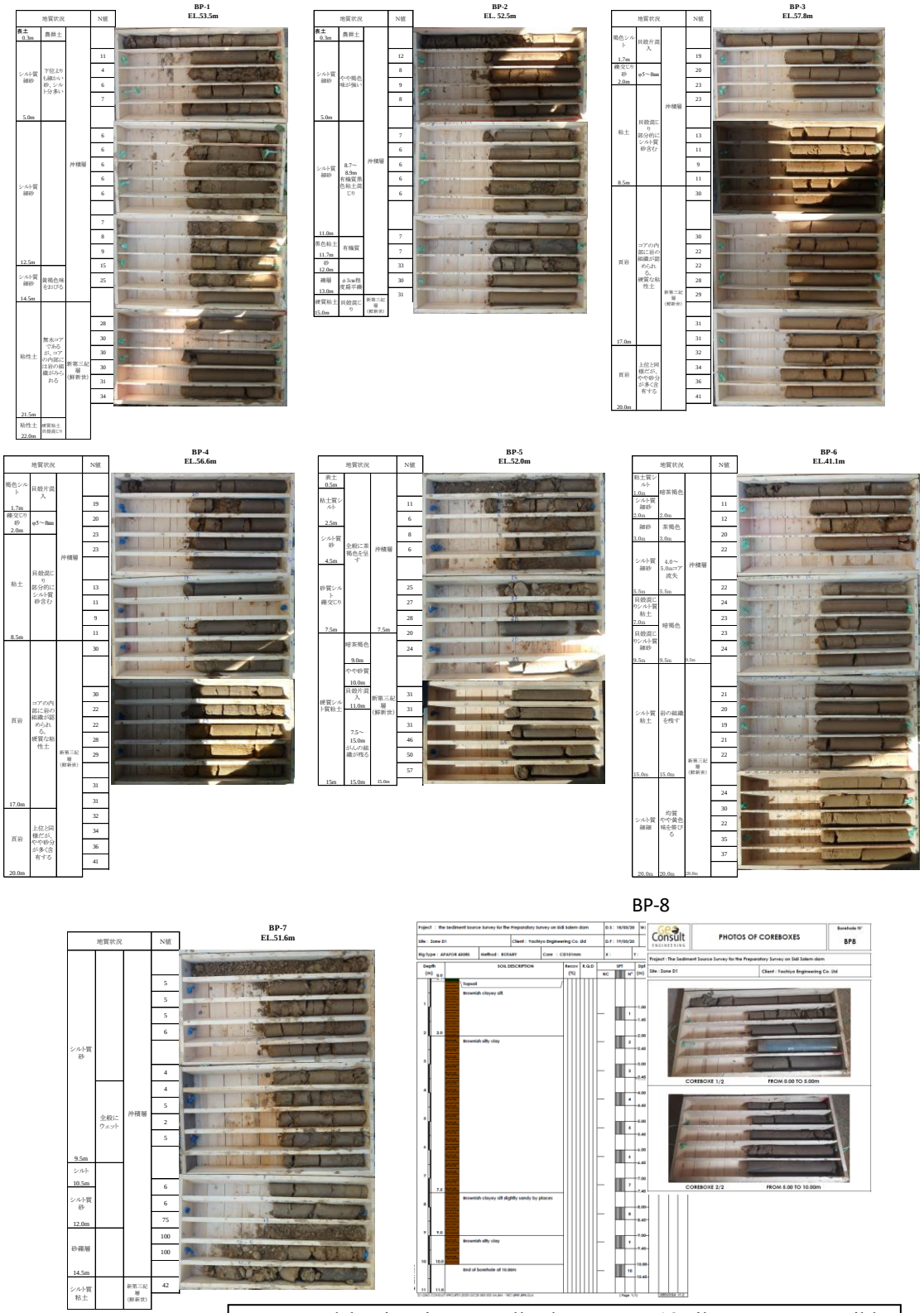
11.2.3 Distribution géologique

La Figure 11-3montre les conditions géologiques/sol sur la base de carottes de forage et de leurs résultats d'observation, et la Figure 11-5 montre la coupe géologique estimée sur la base des résultats de l'étude de forage.

Dans la géologie de la zone D1, la couche Quaternaire est distribuée dans la couche de surface et la couche Néogène est formée dans la couche inférieure.

La couche Quaternaire est principalement composée d'une couche de sol cohésive constituée de sable limoneux et de limon ou d'argile. Le sondage en amont BP-5, 4, 3 est principalement constitué d'une couche de sol cohésif, et le sondage en aval BP-7, 2, 1, 8, 6 est principalement constitué de sable limoneux.

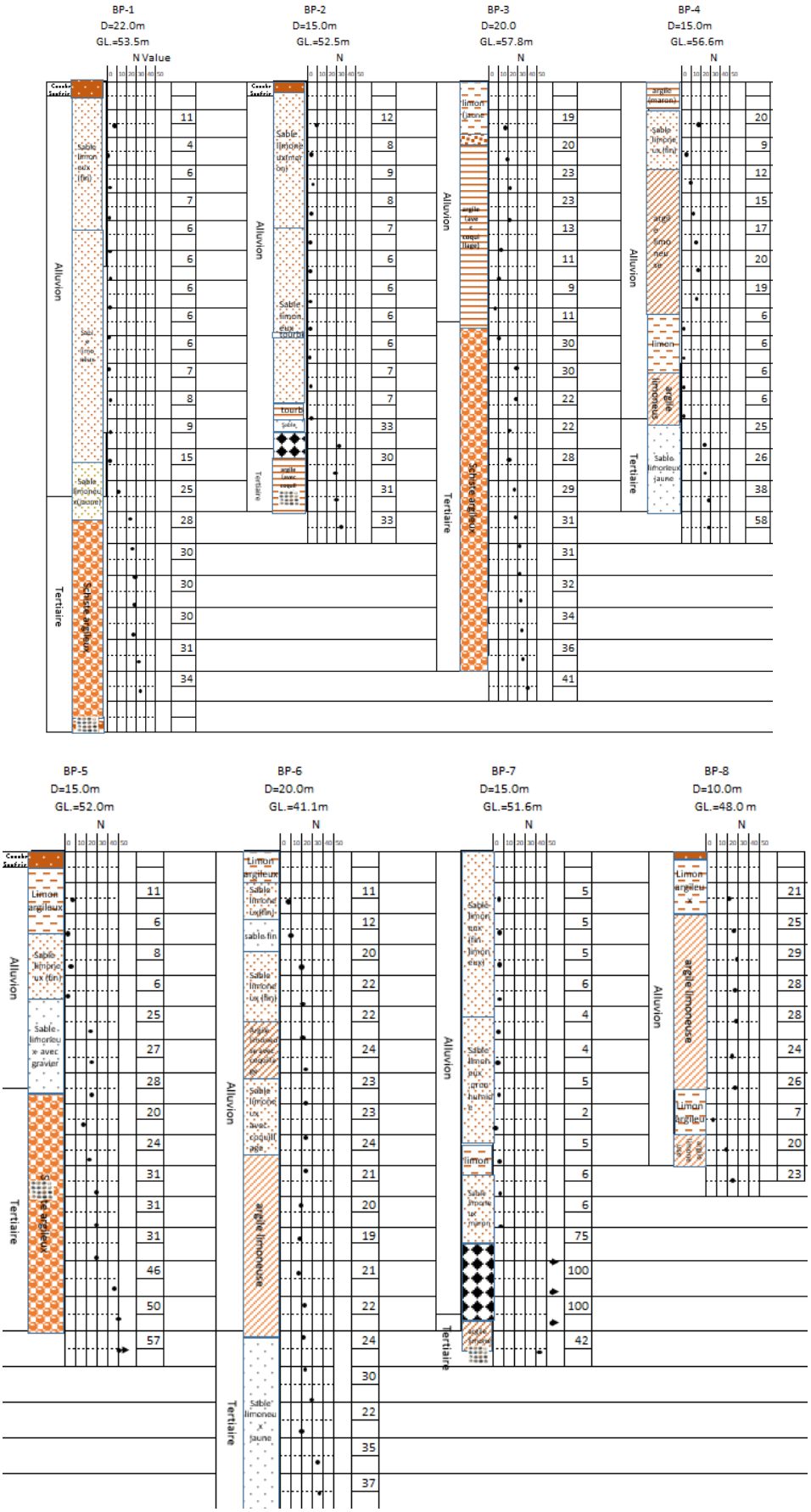
La couche néogène distribuée dans la partie inférieure est principalement composée de sable limoneux hautement consolidé et de schiste argileux.



A cause d la situation actuelle de COVID-19, il n'est pas possible d'effectuer une visite des lieux et de vérifier le forage BP-8. Ainsi, la description du consultant locale est utilisée telle quelle.

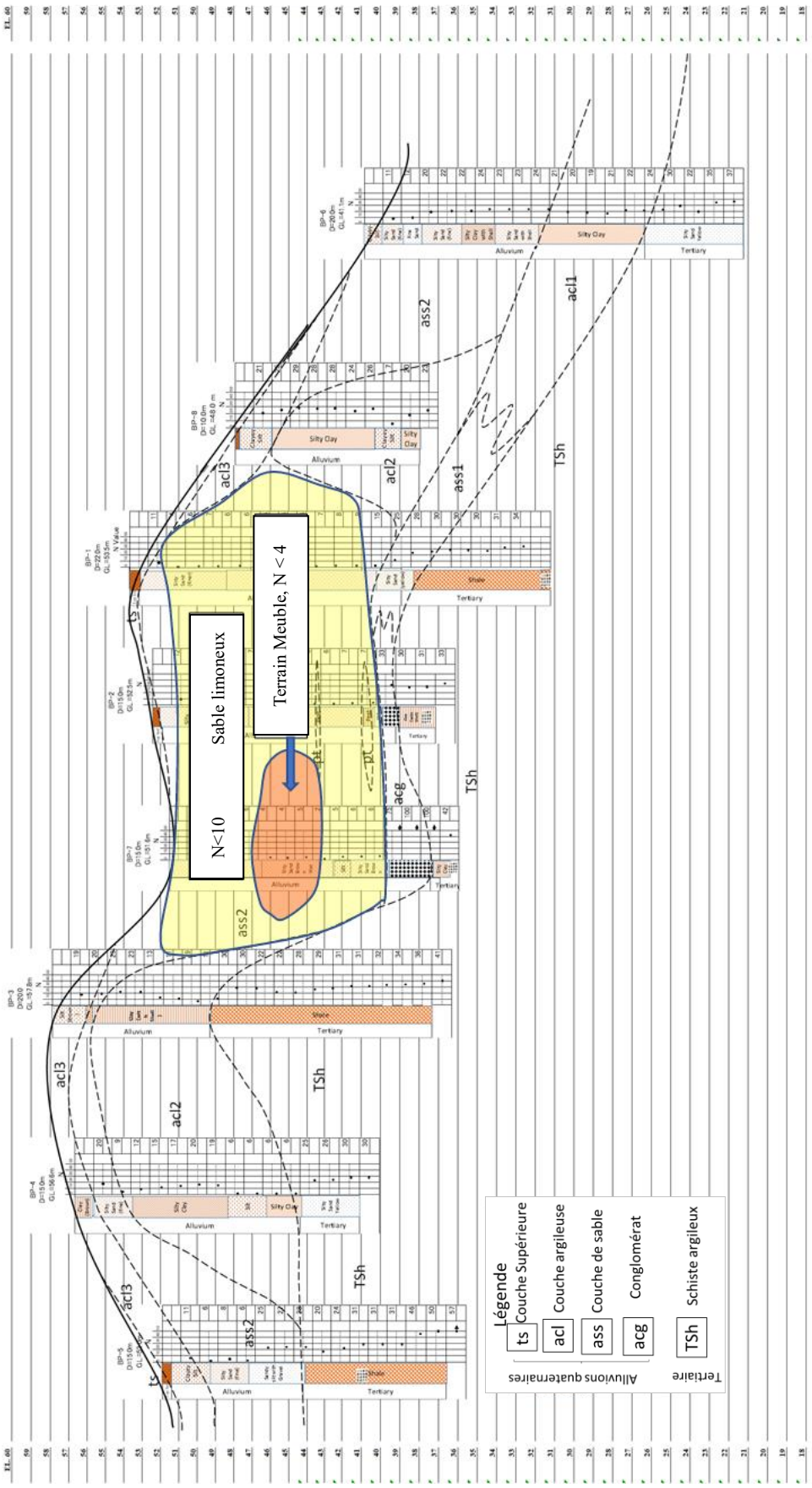
Source : Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-3 Photos du Noyaux de Forage et du Rapport Simple de Forage



Source : Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-4 Rapport Simplifié des Forages



Source : Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-5 Coupe Transversale Géologique Schématique Estimée

11.2.4 Résultats de l'Essai au Pénétromètre Standard

Les résultats de l'essai au pénétromètre standard (SPT) sont également indiqués dans le rapport de forage simplifié et la coupe géologique susmentionnés. Le Tableau 11-2 présente une liste de résultats de SPT. La Figure 11-6 montre la profondeur et la valeur N pour les strates de sédiments quaternaires (ad) et néogènes (Td).

Dans le Tableau 11-2, les valeurs de N de 79 et 100 entre 12 et 14 m pour BP-7 sont considérées comme valeurs N de la couche de gravier basale de la formation quaternaire. La colonne verte du tableau est la valeur N de la formation néogène.

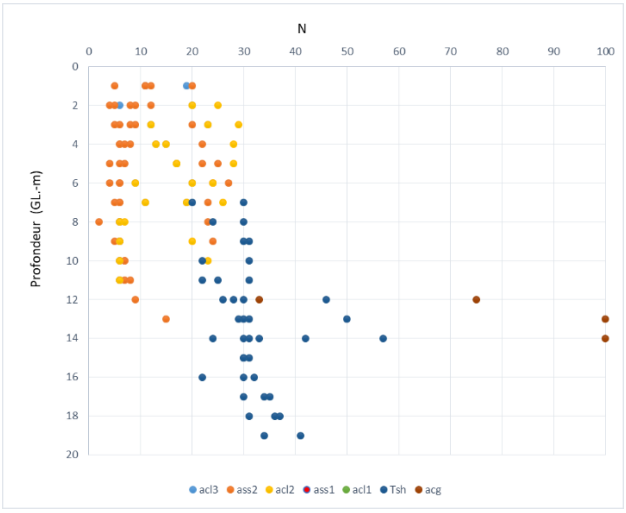
Tableau 11-2 Résultats du SPT (Zone D1)

No.	Depth	Boring No.							
	GL.-m	BP-1	BP-2	BP-3	BP-4	BP-5	BP-6	BP-7	BP-8
1	1.45	11	12	19	20	11	11	5	21
2	2.45	4	8	20	9	6	12	5	25
3	3.45	6	9	23	12	8	20	5	29
4	4.45	7	8	23	15	6	22	6	28
5	5.45	6	7	13	17	25	22	4	28
6	6.45	6	6	11	20	27	24	4	24
7	7.45	6	6	9	19	28	23	5	28
8	8.45	6	6	11	6	20	23	2	7
9	9.45	6	6	30	6	24	24	5	20
10	10.45	7	7	30	6	31	21	8	23
11	11.45	8	7	22	6	31	20	5	
12	12.45	9	33	22	25	31	19	79	
13	13.45	15	30	28	26	46	21	100	
14	14.45	25	31	29	38	50	22	100	
15	15.45	28	33	31	58	57	24	42	
16	16.45	30					30		
17	17.45	30					22		
18	18.45	30					35		
19	19.45	31					37		
20	20.45	34					39		

Source : Equipe d'Etude de la JICA

La tendance générale est

- La couche quaternaire est répartie jusqu'à environ 12 m de la surface, mais la valeur N est inférieure à 30 dans chaque cas.
- La couche tertiaire (Tsh) est distribuée à une profondeur d'environ 7 m ou plus de la surface du sol, et la valeur N est de 30 ou plus à plus de 12 m sous la surface du sol.



Note) voir Tableau 11-9 Géostratigraphie pour la classification des sols
Source : Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-6 Relation entre la Profondeur et la Valeur de N (Quaternaire et Tertiaire)

11.2.5 Niveau des eaux souterraines

Vu que ces travaux de forages vont jusqu'à 15 à 20 m de profondeur par forage, la durée pour chaque forage a été courte et le niveau de la nappe phréatique n'a pas pu être confirmé pendant le forage. Par conséquent, le niveau de la nappe pour chaque forage a été estimé par référence à la différence de hauteur entre le niveau du sol au point de forage et l'eau de l'oued de Medjerda près de ce dernier.

Le niveau d'eau souterraine considéré pour chaque forage est indiqué sur le Tableau 11-3.

Tableau 11-3 Niveau des eaux souterraine estimés

N. du forage	BP-1	BP-2	BP-3	BP-4	BP-5	BP-6	BP-7	BP-8
Niveau d'eaux souterraines (GL.-m)	2	2	3	2	2	1	2	3

Source : Equipe d'Etude de la JICA

11.2.6 Résultats d'Essai de Laboratoire

(1) Eléments et Nombres d'Essais

Le Tableau 11-4 présente les éléments et les normes des essais de laboratoire suivis dans cette étude, et le Tableau 11-5 présente les éléments et la quantité de chaque élément d'essai.

Tableau 11-4 Eléments et Normes d'Essai de Laboratoire

Elément	Norme
Masse Volumique	NF P94 054
Analyse granulométrique - Par tamisage	NF P94-056
Analyse granulométrique des sols - Par sédimentation.	NF P94-057
Essai de Consolidation	XP P90-01

Source : Equipe d'Etude de la JICA

Tableau 11-5 Eléments et Quantité des Essais

Essai	BP-1	BP-2	BP-3	BP-4	BP-5	BP-6	BP-7	BP-8	Total
Masse Volumique	22	15	20	15	15	20	15	10	132
Analyse Granulométrique	idem	idem	idem	idem	idem	idem	idem	idem	idem
Essai de Consolidation	1	0	1	1	1	1	0	1	6

Source : Equipe d'Etude de la JICA

(2) Analyse Granulométrique

Les résultats de l'analyse granulométrique menée dans le cadre de cette étude sont présentés sur le Tableau 11-8 avec les résultats de l'essai de la masse volumique et de l'USCS (The Unified Soil Classification System).

Selon la classification de l'USCS (voir Tableau 11-6) basée sur les résultats de l'analyse granulométrique, le sol du site de forage étudié est principalement constitué de sable limoneux et de limon.

Tableau 11-6 USCS (Système unifié de classification des sols)

Major divisions			Group symbol	Group name
Coarse grained soils more than 50% retained on or above No.200 (0.075 mm) sieve	gravel > 50% of coarse fraction retained on No.4 (4.75 mm) sieve	clean gravel <5% smaller than No.200 Sieve	GW	well-graded gravel, fine to coarse gravel
			GP	poorly graded gravel
		gravel with >12% fines	GM	silty gravel
			GC	clayey gravel
	sand ≥ 50% of coarse fraction passes No.4 (4.75 mm) sieve	clean sand	SW	well-graded sand, fine to coarse sand
			SP	poorly graded sand
		sand with >12% fines	SM	silty sand
			SC	clayey sand
Fine grained soils 50% or more passing the No.200 (0.075 mm) sieve	silt and clay liquid limit < 50	inorganic	ML	silt
			CL	clay of low plasticity, lean clay
		organic	OL	organic silt, organic clay
	silt and clay liquid limit ≥ 50	inorganic	MH	silt of high plasticity, elastic silt
			CH	clay of high plasticity, fat clay
		organic	OH	organic clay, organic silt
Highly organic soils			Pt	peat

Source: USCS

Tableau 11-7 Résultats de l'Analyse Granulométrique

No. of Bor	Profondeur (GL.-m)			Classification du Sol (USCS)					N	Geologie/Sol	Poids Spécifique
				Distribution			Wn	Classification			
				%< 2mm	%<0.08mm	%:2-0.08mm	%	USCS			
BP-1	1.00	-	1.45	100	63	37	13.62	ML	11	ass2	2.43
	2.00	-	2.45	100	72	28	24.41	ML	4	ass2	2.42
	3.00	-	3.45	100	75	25	22.48	ML	6	ass2	2.63
	4.00	-	4.45	100	67	33	20.69	ML	7	ass2	2.66
	5.00	-	5.45	97	39	58	21.91	SM	6	ass2	2.59
	6.00	-	6.45	99	49	50	20.32	SM	6	ass2	2.68
	7.00	-	7.45	97	30	67	21.10	SM	6	ass2	2.88
	8.00	-	8.45	99	29	70	22.69	SM	6	ass2	2.65
	9.00	-	9.45	99	21	78	23.37	SM	6	ass2	2.56
	10.00	-	10.45	100	32	68	20.35	SM	7	ass2	2.47
	11.00	-	11.45	99	24	75	20.18	SM	8	ass2	2.44
	12.00	-	12.45	99	33	66	21.37	SM	9	ass2	2.51
	13.00	-	13.45	100	23	77	17.55	SM	15	ass2	2.16
	14.00	-	14.45	100	80	20	19.86	ML	25	ass1	2.36
	15.00	-	15.45	100	87	13	21.63	ML	28	ass1	2.63
	16.00	-	16.45	100	91	9	20.81	ML	30	Tsh	2.60
	17.00	-	17.45	100	91	9	23.49	ML	30	Tsh	2.79
	18.00	-	18.45	100	96	4	24.36	ML	30	Tsh	2.79
	19.00	-	19.45	100	89	11	20.98	ML	31	Tsh	2.59
	20.00	-	20.45	99	88	11	20.04	ML	34	Tsh	2.71
	21.00	-	21.45	100	92	8	20.98	ML	-	Tsh	2.60
	22.00	-	22.45	100	91	9	21.21	ML	-	Tsh	2.23
BP-2	1.00	-	1.45	99	93	6	16.05	ML	12	ass2	2.46
	2.00	-	2.45	100	91	9	17.42	ML	8	ass2	2.59
	3.00	-	3.45	100	87	13	16.58	ML	9	ass2	2.72
	4.00	-	4.45	100	82	18	18.75	ML	8	ass2	2.75
	5.00	-	5.45	100	75	25	17.39	ML	7	ass2	2.74
	6.00	-	6.45	99	58	41	26.33	ML	6	ass2	2.68
	7.00	-	7.45	99	62	37	26.81	ML	6	ass2	2.71
	8.00	-	8.45	100	65	35	27.34	ML	6	ass2	2.70
	9.00	-	9.45	100	62	38	28.06	ML	6	ass2	2.77
	10.00	-	10.45	100	55	45	29.52	ML	7	ass2	2.80
	11.00	-	11.45	100	58	42	23.58	ML	7	ass2	2.43
	12.00	-	12.45	94	32	62	24.66	SM	33	acg	2.61
	13.00	-	13.45	100	92	8	43.99	ML	30	Tsh	2.69
	14.00	-	14.45	100	93	7	20.93	ML	31	Tsh	2.71
	15.00	-	15.45	100	90	10	22.71	ML	33	Tsh	2.72
BP-3	1.00	-	1.45	93	53	40	13.20	ML	19	acl3	2.45
	2.00	-	2.45	95	61	34	10.96	ML	20	acl2	2.64
	3.00	-	3.45	97	67	30	11.91	ML	23	acl2	2.60
	4.00	-	4.45	99	70	29	12.98	ML	23	acl2	2.64
	5.00	-	5.45	99	67	32	13.22	ML	13	acl2	2.54
	6.00	-	6.45	98	70	28	14.50	ML	11	acl2	2.50
	7.00	-	7.45	98	60	38	12.96	ML	9	acl2	2.50
	8.00	-	8.45	98	58	40	14.43	ML	11	Tsh	2.51
	9.00	-	9.45	95	77	18	13.70	ML	30	Tsh	2.45
	10.00	-	10.45	95	75	20	14.58	ML	30	Tsh	2.66
	11.00	-	11.45	96	73	23	15.35	ML	22	Tsh	2.67
	12.00	-	12.45	98	72	26	16.71	ML	22	Tsh	2.76
	13.00	-	13.45	99	77	22	15.88	ML	28	Tsh	2.75
	14.00	-	14.45	97	73	24	12.72	ML	29	Tsh	2.65
	15.00	-	15.45	95	64	31	13.28	ML	31	Tsh	2.70
	16.00	-	16.45	93	54	39	12.72	ML		Tsh	2.60
	17.00	-	17.45	97	57	40	14.67	ML		Tsh	2.77
	18.00	-	18.45	94	59	35	17.94	ML		Tsh	2.62
	19.00	-	19.45	95	61	34	17.35	ML		Tsh	2.45
	20.00	-	20.45	98	65	33	18.57	ML		Tsh	2.66
BP-4	1.00	-	1.45	98	87	11	22.48	ML	20	ass2	2.08
	2.00	-	2.45	100	90	10	23.15	ML	9	ass2	2.36
	3.00	-	3.45	100	88	12	17.06	ML	12	acl2	2.77
	4.00	-	4.45	100	88	12	16.80	ML	15	acl2	2.70
	5.00	-	5.45	100	88	12	15.44	ML	17	acl2	2.73
	6.00	-	6.45	100	93	7	21.95	ML	20	acl2	2.62
	7.00	-	7.45	100	93	7	23.60	ML	19	acl2	2.45
	8.00	-	8.45	100	97	3	24.51	ML	6	acl2	2.61
	9.00	-	9.45	100	86	14	25.67	ML	6	acl2	2.60
	10.00	-	10.45	100	82	18	28.07	ML	6	acl2	2.50
	11.00	-	11.45	100	66	34	25.54	ML	6	acl2	2.61
	12.00	-	12.45	100	75	25	19.73	ML	25	Tsh	2.63
	13.00	-	13.45	98	63	35	17.62	ML	26	Tsh	2.67
	14.00	-	14.45	98	68	30	18.47	ML	38	Tsh	2.66
	15.00	-	15.45	96	66	30	16.38	ML	58	Tsh	2.59

No. of Bor	Profondeur (GL.-m)			Classification du Sol (USCS)					N	Geologie/Sol	Poids Spécifique
				Distribution			Wn	Classification			
				%< 2mm	%<0.08mm	%:2-0.08mm	%	USCS			
BP-5	1.00	-	1.45	98	34	64		SM	11	acl3	2.41
	2.00	-	2.45	100	30	70		SM	6	acl3	2.79
	3.00	-	3.45	99	33	66	16.31	SM	8	ass2	2.23
	4.00	-	4.45	100	36	64	14.02	SM	6	ass2	2.67
	5.00	-	5.45	100	38	62	13.78	SM	25	ass2	2.69
	6.00	-	6.45	78	22	56	6.36	SM	27	ass2	2.65
	7.00	-	7.45	75	16	59	10.30	SM	28	Tsh	2.74
	8.00	-	8.45	99	38	61	17.66	SM	20	Tsh	2.68
	9.00	-	9.45	100	35	65	19.53	SM	24	Tsh	2.76
	10.00	-	10.45	100	32	68	18.29	SM	31	Tsh	2.72
	11.00	-	11.45	96	50	46	18.24	SM	31	Tsh	2.73
	12.00	-	12.45	95	40	55	16.73	SM	31	Tsh	2.61
	13.00	-	13.45	96	49	47	17.90	SM	46	Tsh	2.76
	14.00	-	14.45	95	37	58	17.22	SM	50	Tsh	2.72
	15.00	-	15.45	92	42	50	16.81	SM	57	Tsh	2.63
BP-6	1.00	-	1.45	100	49	51	10.81	SM	11	ass2	2.58
	2.00	-	2.45	99	57	42	13.46	ML	12	ass2	2.33
	3.00	-	3.45	96	89	7	16.06	ML	20	ass2	2.45
	4.00	-	4.45	98	81	17	11.80	ML	22	ass2	2.65
	5.00	-	5.45	95	76	19	14.73	ML	22	ass2	2.70
	6.00	-	6.45	99	86	13	15.17	ML	24	ass2	2.70
	7.00	-	7.45	97	88	9		ML	23	ass2	2.71
	8.00	-	8.45	99	85	14	16.32	ML	23	ass2	2.69
	9.00	-	9.45	100	88	12	18.55	ML	24	ass2	2.60
	10.00	-	10.45	100	91	9	17.73	ML	21	acl1	2.63
	11.00	-	11.45	100	92	8	18.56	ML	20	acl1	2.74
	12.00	-	12.45	97	86	11	16.81	ML	19	acl1	2.66
	13.00	-	13.45	99	84	15	14.75	ML	21	acl1	2.61
	14.00	-	14.45	100	91	9	15.12	ML	22	acl1	2.67
	15.00	-	15.45	98	94	4	16.21	ML	24	Tsh	2.65
	16.00	-	16.45	100	93	7	16.75	ML	30	Tsh	2.76
	17.00	-	17.45	100	95	5	18.39	ML	32	Tsh	2.56
	18.00	-	18.45	100	87	13	16.65	ML	35	Tsh	2.65
	19.00	-	19.45	100	92	8	17.35	ML	37	Tsh	2.63
	20.00	-	20.45	100	91	9	18.58	ML	39	Tsh	2.65
BP-7	1.00	-	1.45	100	59	41	10.20	ML	5	ass2	2.33
	2.00	-	2.45	100	63	37	8.09	ML	5	ass2	2.71
	3.00	-	3.45	100	66	34	9.72	ML	5	ass2	2.71
	4.00	-	4.45	100	67	33	9.68	ML	6	ass2	2.57
	5.00	-	5.45	100	73	27	10.46	ML	4	ass2	2.74
	6.00	-	6.45	100	67	33	16.44	ML	4	ass2	2.56
	7.00	-	7.45	100	60	40	18.65	ML	5	ass2	2.75
	8.00	-	8.45	100	73	27	22.51	ML	2	ass2	2.69
	9.00	-	9.45	100	75	25	20.49	ML	5	ass2	2.30
	10.00	-	10.45	100	75	25	21.77	ML	8	ass2	2.62
	11.00	-	11.45	100	76	24	25.31	ML	6	ass2	2.63
	12.00	-	12.45	100	70	30	24.80	ML	79	acg	2.70
	13.00	-	13.45	72	46	26	4.20	GM	100	acg	2.74
	14.00	-	14.45	93	43	50	13.22	SM	100	acg	2.70
	15.00	-	15.45	99	57	42	16.71	ML	42	Tsh	2.59
BP-8	1.00	-	1.45	100	90	10	23.05	ML	21	acl3	2.75
	2.00	-	2.45	100	94	6	22.83	ML	25	acl2	2.65
	3.00	-	3.45	100	96	4	23.67	ML	29	acl2	2.44
	4.00	-	4.45	100	98	2	23.19	ML	28	acl2	2.57
	5.00	-	5.45	100	96	4	22.64	ML	28	acl2	2.48
	6.00	-	6.45	100	91	9	20.86	ML	24	acl2	2.54
	7.00	-	7.45	100	90	10	19.26	ML	26	acl2	2.48
	8.00	-	8.45	100	59	41	20.24	ML	7	acl2	2.48
	9.00	-	9.45	100	98	2	23.61	ML	20	acl2	2.72
	10.00	-	10.45	100	98	2	23.96	ML	23	acl2	2.64

Source : Equipe d'Etude de la JICA

(3) Essai de Consolidation

Les résultats de l'essai de consolidation sont présentés sur le Tableau 11-8. Aux points d'échantillonnage, étant donné que la contrainte de pré-consolidation est supérieure à la surcharge du sol actuelle en tous points, on estime que tous les points sont en zones de sur-consolidation.

Tableau 11-8 Résultats des Essais de Consolidation

Bor. No.	Profondeur échantillon			Teneur en Eau		Densité		Résultat de l'essai de consolidation						
	GL.- m	-	GL.-m	Wi (%)	Wf (%)	γdi (g/cm2)	γdf (g/cm3)	e0	ei	Cc	Cs	Pc/σ'g (kpa)	σ'vo (kpa)	σg (kpa)
BP-2	16.45	-	17.00	17.6	19.4	1.40	1.82	0.522	0.538	0.177	0.038	379.5	301.0	56.9
BP-3	4.50	-	5.00	19.2	20.6	1.75	1.88	0.388	0.398	0.108	0.017	164.6	85.5	14.2
BP-4	6.45	-	7.00	13.3	14.3	1.74	1.92	0.372	0.383	0.169	0.024	216.2	121.0	43.0
BP-5	8.45	-	9.00	26.8	28.2	1.57	1.64	0.637	0.643	0.154	0.030	347.9	157.0	84.3
BP-6	4.55	-	5.00	14.5	15.2	1.79	1.90	0.435	0.452	0.089	0.012	184.3	261.2	-
BP-7	3.45	-	5.00	23.7	24.3	1.60	1.71	0.660	0.658	0.192	0.028	331.7	76.0	50.6

Wi, Wf: Teneur en eau initiale et finale
γdi,γdf: Densité apparente initiale et finale
e0: indice des vides in situ
ei: indice des vides initial
Cc: Indice de compression
Cs: Indice de Gonflement - Expansion
Pc/σ'g: Contrainte de préconsolidation
σ'vo: Contrainte verticale effective
σg:Contrainte de gonflement - Expansion

Source : Equipe d'Etude de la JICA

Aux points d'échantillonnage, la limite d'élasticité de consolidation est plus élevée que la pression actuelle du sol couvert à tous les points, il est donc jugé que tous les points sont dans la région de surconsolidation

11.3 Analyse Géotechnique

11.3.1 Distribution Géologique

La distribution de chaque strate dans la zone d'étude est illustrée sur la Tableau 11-9.

Les couches néogènes sont déposées à plus de 8 à 12 m environ de la surface du sol et des couches quaternaires sont déposées au-dessus d'elles. Les strates quaternaires sont composées de dépôts diluviaux et alluviaux, et les dépôts diluviaux ont tendance à être répartis en aval de BP-7 sur les strates néogènes. Du côté amont, les alluvions se déposent directement sur la couche néogène.

Les alluvions de la zone d'étude sont constituées de ass2 qui est un sédiment sableux, acl2, qui est un gisement à base d'argile, et acl3 qui est également un gisement à base d'argile, et est principalement composé de couches ass2 et acl2. Un sol mou avec une valeur N de 4 ou moins est pris en sandwich dans une partie de la couche ass2.

Le gisement diluvial est constitué de ass1 qui est composé principalement de sédiments sableux, acl1 qui est composé principalement de sol cohésif, et acg1 qui est une couche de gravier. La couche acg1 est considérée comme le lit de gravier basal du quaternaire.

L'épaisseur des alluvions est d'environ 8 à 12 m en moyenne.

Tableau 11-9 Stratigraphie géologique de la zone d'étude dans la Zone D1

Age Géologique			Désignation	Nom	Description	Caractéristiques Géotechniques
Cénozoïque	Quaternaire	Alluvial	ts	Couche Supérieure	Strates modifiées artificiellement telles que les sols agricoles et les remblais	
			acl3	Couche argileuse 3	Sol cohésif réparti sur la couche de surface dans les zones amont et aval de la zone d'étude. Des morceaux de coquillages sont mélangés.	N est presque égal à 13 en moyenne.
			ass2	Couche Sableuse 2	Couche de sable principalement composée de sable limoneux réparti de la zone amont vers la zone aval de la zone d'étude. L'épaisseur est de 5 à 10 m, mais elle s'amincit dans la zone de distribution acl2 inférieure. Autour de la partie centrale de Medjez el Bab, le degré de consolidation est légèrement faible et un sol meuble est en partie pris en sandwich.	La valeur N est d'environ 10 en moyenne. Cependant, une couche meuble (valeur N d'environ 4) est distribuée à certains endroits.
			acl2	Couche argileuse 2	Sol cohésif partiellement réparti dans les zones amont et aval de la zone d'étude. Des morceaux de coquillages sont mélangés.	La valeur N est d'environ 17 en moyenne.
		Diluvial	acg1 ass1 acl1	Gravier 1 Sableux 1 Argileux 1	Dépôt au-dessus du schiste et du grès du Néogène inférieur dans les tronçons moyens à inférieurs de la zone d'étude. La couche de gravier, la couche de sable et la couche de sol cohésive sont passées du cours moyen au cours inférieur, et on estime que les sédiments se sont formés dans la même phase.	La valeur N de l'acg est d'environ 77 en moyenne. La valeur N de ass1 est d'environ 27 en moyenne. La valeur N de acl1 est d'environ 21 en moyenne. La valeur N est supérieure à celle des alluvions.
	Néogène		Tsh	Schiste Argileux Grès	Schiste argileux (mudstone) et grès bien consolidé. Dans le noyau de forage, la texture de la roche est présente.	La valeur N est d'environ 32 en moyenne. Bien qu'il existe des variations, la valeur N est généralement de 30 ou plus à une profondeur de 12 m ou plus.

Source : Equipe d'Etude de la JICA

11.3.2 Caractéristiques Techniques pour Chaque Type de Sol

(1) Schéma pour Chaque Type de Sol

Les caractéristiques de chaque couche de sol autres que la valeur de la résistance sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 11-10 Caractéristiques Techniques pour Chaque Type de Sol

Type de Sol	Valeur moyenne de N	Caractéristiques Techniques
acl3	13	Sol cohésif à consistance classée comme «dure».
ass2	10	Bien qu'il s'agisse d'un sol sableux, la densité relative est classée «faible à moyenne» et l'étanchéité globale est médiocre. En outre, selon l'emplacement, une section très meuble avec une valeur N de 4 ou moins est également confirmée.
acl2	17	Sol cohésif à consistance classée comme « très dure».
acg	77	Il s'agit d'une couche de gravier de couche diluviale, et on considère que les résultats des tests sont affectés par la présence de gravier. Cependant, on considère que le confinement global est bon. Cependant, jusqu'à présent, l'emplacement et la zone de distribution sont limités.
ass1	27	Il est considéré comme sol sableux formé au Pléistocène, et la densité relative est classée comme «moyenne». Il est plus consolidé que la couche de sable (ass2) formée dans les alluvions. Le sol est réparti en aval de Medjez El Bab.
acl1	21	Sol cohésif à consistance classée comme « très dure» comme acl2.
Tsh	32	On présume qu'il s'est formé au néogène pliocène. C'est une roche meuble composée de schiste et de grès.

Source : Equipe d'Etude de la JICA

(2) Constantes du Sol à partir de la Valeur de N

Les constantes de sol estimées à partir de la valeur N sont résumées ci-dessous.

① Angle de frottement interne (φ) de sol sableux

La relation entre la valeur N et l'angle de frottement interne (φ) du sol sableux est donnée empiriquement comme indiqué sur le Tableau 11-11.

Tableau 11-11 Valeur N et l'Angle de Frottement Interne (φ) pour Sol Sableux

N (Densité relative)	Angle de frottement (ϕ)		
	Terzaghi, Peck	Meyerhof	Oosaki
0-4 (très lâche)	28.5 >	30 >	$\sqrt{}$12N+15
4-10 (lâche)	28.5 - 30	30 - 35	
10-30 (compact)	30 - 36	35 - 40	
30-50 (dense)	36 - 41	40 - 45	
>50 (trés dense)	> 41	> 45	

Source : Equipe d'Etude de la JICA

② Résistance à la Compression Simple (qu) pour les Sols Cohésifs

La relation entre la valeur N et la résistance à la compression simple est illustrée sur le Tableau 11-12. La résistance à la compression simple de l'acl avec sol cohésif comme couche principale est la suivante lorsqu'il est estimé à partir du tableau et de la valeur N moyenne de chaque couche.

acl1 : N value≒21 Résistance à la Compression Simple : environ 250 kN/m^2

acl2 : N value≒17 Résistance à la Compression Simple : environ 200 kN/m^2 (près du minimum de 196,2～392,4kN/m^2)

acl3 : N value≒13 Résistance à la Compression Simple : environ 140 kN/m^2 (près du milieu de 98,1～196,2kN/m^2)

Tableau 11-12 Relation entre N, Consistance et Résistance à la Compression Simple de Sol Cohésif

N Value	qu (kN/m^2)	Consistance
0 - 2	0.0 - 24.5	très mou
2 - 4	24.5 - 49.1	mou
4 - 8	49.1 - 98.1	moyen
8 - 15	98.1 - 196.2	dur
15 - 30	196.2 - 392.4	très dur
30 -	392.4 -	consolidé

Source : Terzaghi, Peck

③ Coefficient de déformation (E)

Le tableau ci-dessous montre les résultats de l'estimation du coefficient de déformation à partir de la valeur N par la formule : E = 700N, qui est largement utilisée comme valeur équivalente à E50 (Ep) au Japon.

En Tunisie, l'expression relationnelle japonaise ci-dessus est également utilisée, mais l'expression relationnelle utilisée en France peut être utilisée.

Tableau 11-13 Relation entre la Valeur N et le Coefficient de Déformation (E)

Nom	Type de Sol	Moyenne N	Coefficient de Déformation Ep (kN/m2) 700*N
acl3	**Argileux**	13	9,100
ass2	**Sableux**	10	7,000
acl2	**Argileux**	17	11,900
acg	**Gravier**	77	53,900
ass1	**Sableux**	27	18,900
acl1	**Argileux**	21	14,700
Tsh	**Argile (dur)**	32	22,400

Source : Equipe d'Etude de la JICA

(3) Récapitulatif

Les résultats de 1) et 2) ci-dessus sont résumés dans le Tableau 11-14.

Tableau 11-14 Propriété Mécanique pour Chaque Type de Sol

Nom	Type de Sol	Moyenne N	Résistance au Cisaillement		qu	Coefficient de déformation
			C	φ	Sol cohérent	Ep (kN/m2)
			kN/m^2	°	kN/m^2	700*N
acl3	**Argileux**	13	70		140	9,100
ass2	**Sableux**	10		35		7,000
acl2	**Argileux**	17	100		200	11,900
acg	**Gravier**	77		42		53,900
ass1	**Sableux**	27		38	250	18,900
acl1	**Argileux**	21	150			14,700
Tsh	**Argile (dur)**	32	290	30	10,000	22,400

Source : Equipe d'Etude de la JICA

(4) Profondeur de la Couche de Support pour chaque Forage

Le Tableau 11-15 montre la profondeur de la couche de support à chaque point de forage et la profondeur de distribution et l'épaisseur de la couche de sol cohésive prise en sandwich jusqu'à la couche de support.

Tableau 11-15 Profondeur de la Couche de Support pour chaque Forage

No.	Profondeur de la couche porteuse	Sol cohérent distribué au-dessus de la couche porteuse				Échantillonnage de l'essai de consolidation	Note
		GL.-m			Epaisseur	GL.m	
	GL. - m	m	-	m	m	m	
BP-1	**14.0**	0.0	-	5.0	5.0	-	
BP-2	**12.0**	0.0	-	6.0	6.0	16.45-17.0	75% > 75 μ
BP-3	**8.5**	0.0	-	8.5	8.5	4.5-5.0	La couche porteuse est le schiste
BP-4	**12.0**	0.0	-	1.0	1.0	6.45-7.0	Limon
		3.0	-	8.0	5.0		Argile limoneuse au niveau inférieur
		10.0	-	11.9	1.9		Argileau niveau inférieur
BP-5	**10.0**	0.5	-	2.5	2.0	8.45-9.0	Limon argileux
		7.5	-	10.0	2.5		Argile limoneuse au niveau inférieur
BP-6	**5.5**	0.0	-	1.0	1.0	4.55-5.0	
BP-7	**12.0**	9.0	-	10.5	1.5	-	
BP-8	**1.0**	0.0	-	1.0	1.0	3.45-4.0	

Source : Equipe d'Etude de la JICA

11.4 Plan d'amélioration de la zone D1

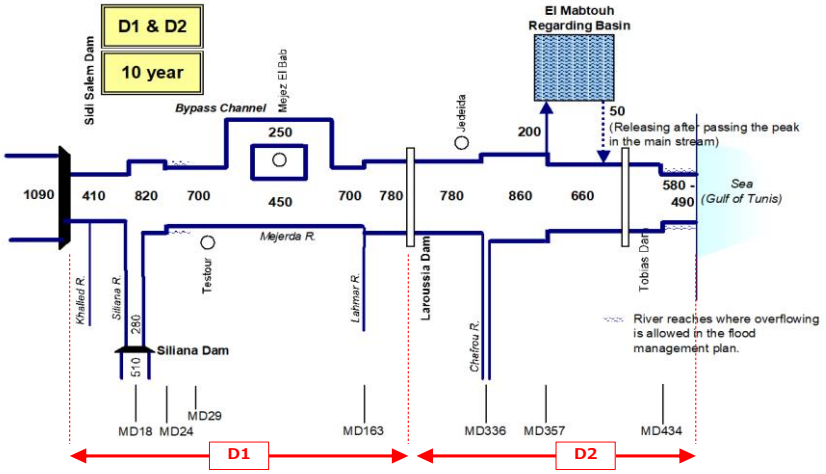
11.4.1 Conditions de base du plan d'aménagementde l'oued

(1) Débit de crue de conception

1) Résultats des Etudes précédentes

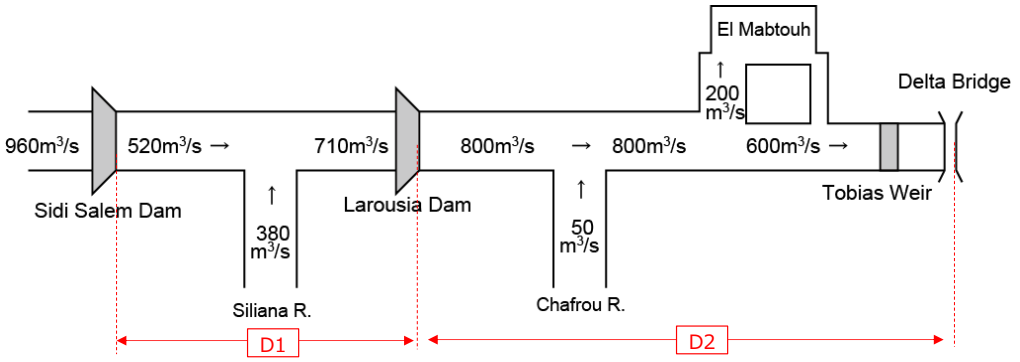
Le débit de pointe de conception pour le cours inférieur du barrage de Sidi Salem a été formulé dans le Plan Directeur de 2008 (voir la Figure 11-7). Par la suite, entre 2010 et 2012, ce débit a été réexaminé par les études préliminaires, «Enquête globale sur la gestion du bassin et la lutte contre les inondations en tenant compte de l'impact du changement climatique sur oued Medjerda» (JICA) et «Évaluation de l'impact du changement climatique sur oued Medjerda »(JICA) (tous les deux appelés F/S) (Figure 11-8). La distribution des débits de pointes de conception réexaminée par F/S a été légèrement modifiée par rapport au Plan Directeur. Actuellement, le projet d'aménagement de l'oued dans la Zone D2, la plus en aval, est en cours d'exploitation sur la base du débit de pointe de conception réexaminé par la F/S.

Les débits de pointe de conception de la Zone D2 utilisés dans F/S sont présentés sur la Figure 11-8. Le débit de pointe au niveau du barrage de Laroussia est de 710 m^3/s, cependant dans la Zone D2, faisant objet de cette étude, il est pris égale à 800 m^3/s en tenant compte du ruissellement résiduel du bassin (y compris le débit d'oued Chefrou) en aval du barrage de Laroussia.



Source: Etude sur la gestion intégrée du bassin axée sur la prévention des inondations dans la Medjerda (P/D), JICA (2008)

Figure 11-7 Distribution des Débits de Pointes de Conception pour les Zones D1 et D2 dans le M/P (Période de retour 1/10)

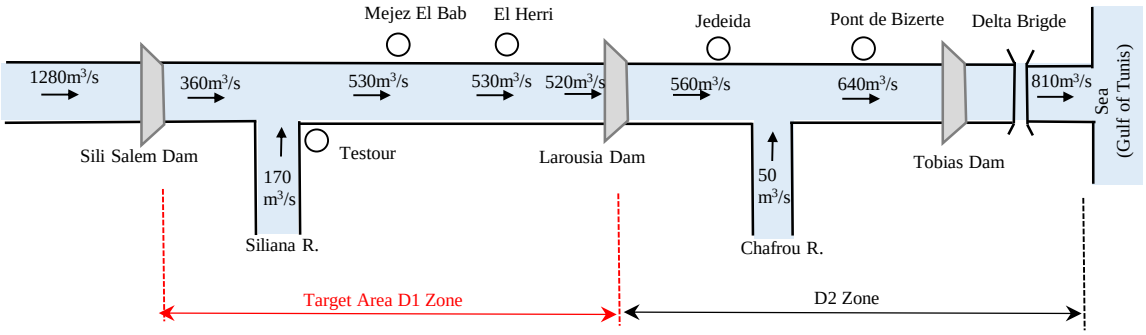


Source : Etude de gestion globale du bassin et de lutte contre les inondations en tenant compte de l'impact du changement climatique sur la Medjerda (F/S), JICA (2012)

Figure 11-8 Distribution Proposée des Débits de Pointes de Conception pour la Zones D2 dans la F/S (Période de retour 1/10)

(2) Résultats de la Présente Etude

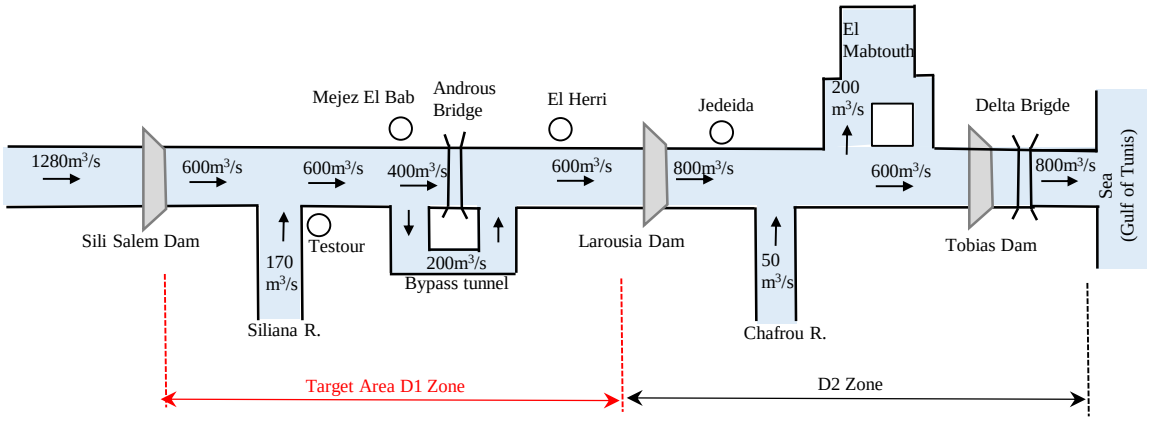
Comme décrit au chapitre 3, sur la base du M/P, du F/S et du SAPI, cette étude a examiné la distribution probable du débit en mettant à jour les données et en reconstruisant le modèle de ruissellement pour l'ensemble du bassin. Sur la base du débit probable, le résultat de cette étude est plus raisonnable. Le résultat de l'examen du débit probable de laZone D1 est illustré sur la Figure 11-9. Selon les résultats, le débit probable de la crue de période de retour décennale dans la Zone D1 est de 520 m^3/s au barrage de Larrousia et de 530 m^3/s au Pont historique d'Andalou, compte tenu du débit résiduel de l'oued Siliana.



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-9 Distribution du Débit Probable pour la Zone D1 dans la Présente Etude (Période de retour 1/10)

Le niveau de sécurité du contrôle des inondations projeté dans la zone D1 suit fondamentalement le plan directeur. Son débit de crue de conception est l'échelle de l'inondation de période de retour de 10 ans. Le débit de crue de conception de l'échelle de 10 ans dans la zone D1 est fixé à environ 600 m3/s, qui est la valeur arrondie basée sur le résultat du calcul présenté dans la Figure 11-10 et le Tableau 11-15. Le débit de crue de conception dans la zone D1 est presque le même pour toutes les zones, étant donné que l'échelle de conception n'est pas aussi grande que la crue décennale, la capacité d'écoulement de la zone D1, le débit de conception a été fixé à une valeur uniforme de 600 m3/s pour l'ensemble de la zone D1. Dans cette figure, la zone D2 est la distribution de débit de conception précédente de la F/S.



Note) Aux environs du pont Andalous, un tunnel de dérivation sur la rive droite sera étudié comme alternative du canal de dérivation sur la rive gauche proposé par M/P, en tenant compte de la topographie et de l'occupation du sol actuel.

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-10 Distribution du débit de crue de conception adopté dans D1 dans cette enquête (période de retour de 10 ans)

11.4.2 Caractéristiques du canal actuel

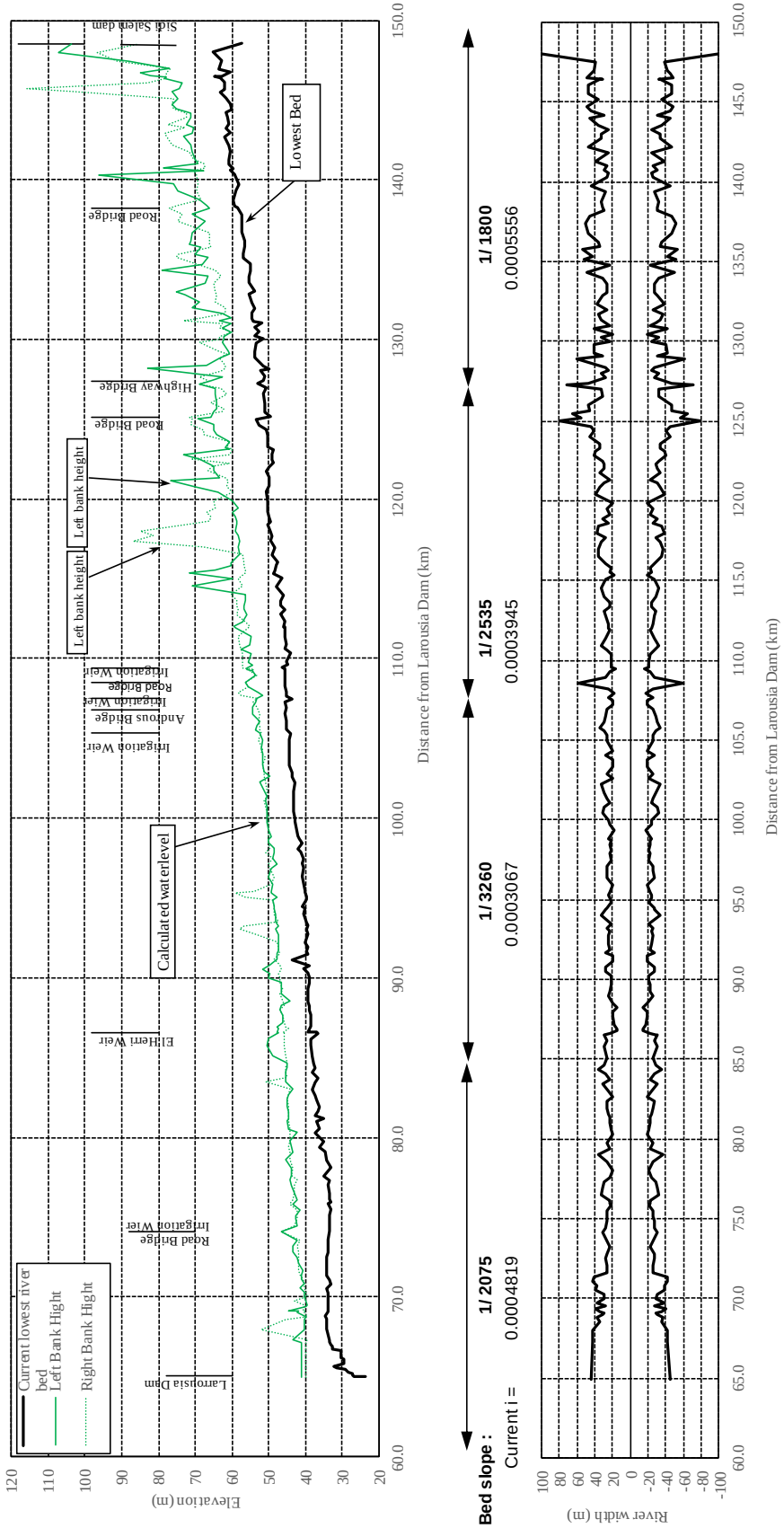
(1) Coupes transversales et profils en long

Le profil en long et la section transversale de l'oued existante ont été étudiés à l'aide de l'étude de l'oued de 2020 ; le profil en long de l'oued de la zone D1 est illustré à la Figure 11-11 et une section transversale typique est illustrée à la Figure 11-12. Les emplacements des principales structures de franchissement et des villes le long de l'oued sont également présentés dans la Figure 11-12. Les caractéristiques de la section transversale et longitudinale de l'oued sont les suivantes

- Le gradient actuel du lit de l'oued est d'environ 1/1 900 à 1/3 000, et est relativement faible. Au barrage de Larousia, l'effet de remous du barrage a provoqué une sédimentation, ce qui a entraîné un point d'inflexion dans la hauteur du lit de l'oued, indiquant que le lit de l'oued est plus élevé dans le tronçon du canal en amont du barrage.
- La section transversale de l'oued est presque un canal naturel sans remblai, avec quelques sections qui ont été remblayées sur la rive par un canal d'excavation. Il y a également un certain nombre de sections de méandres où la rive a été fortement érodée.
- La zone derrière le canal est principalement constituée de terres agricoles, mais il y a des villes telles que Tastour et Sloughia sur la rive droite, et le pont historique enjambe la ville de Merdjez elBab, rendant les deux rives urbaines.
- Les principaux ouvrages de franchissement de l'oued dans la zone D1, le barrage de Larousia à l'extrémité aval de la zone D1, le barrage de prise d'eau d'El Heri dans la partie centrale, le pont historique Andalou, le barrage de prise d'eau d'EL Bab et le barrage de prise d'eau de Tastour dans la partie amont sont présentés ci-dessous. (les informations détaillées sur les ponts et autres structures seront expliquées plus tard dans le chapitre 11).

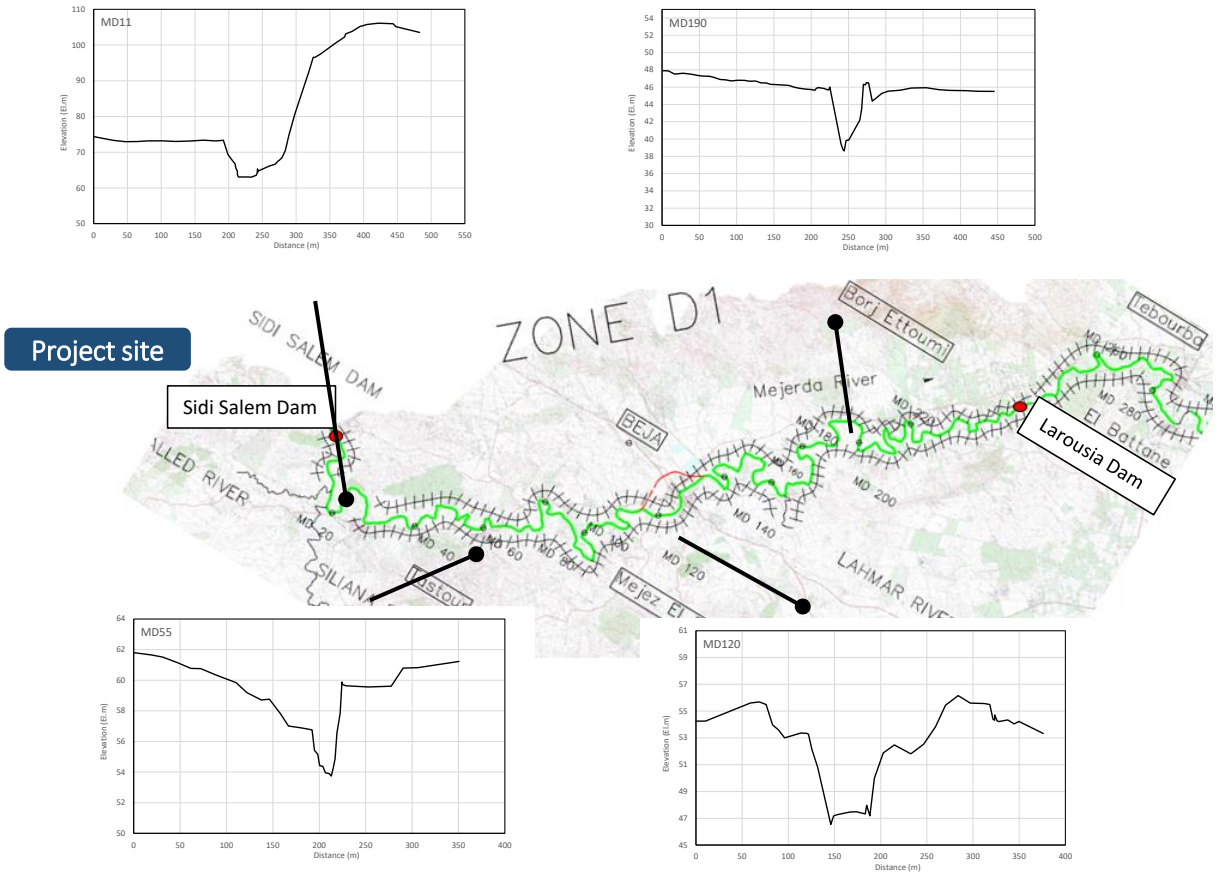
Source : Équipe d'Etude de la JICA

Figure 11-11 Ouvrages de franchissement de l'oued dans la zone D1



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-12 Gradient et largeur du canal dans la zone D1 à partir de 2020



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-13 Coupes transversales types de la zone D1

(2) Situation de la sédimentation dans le canal de l'oued de la zone D1

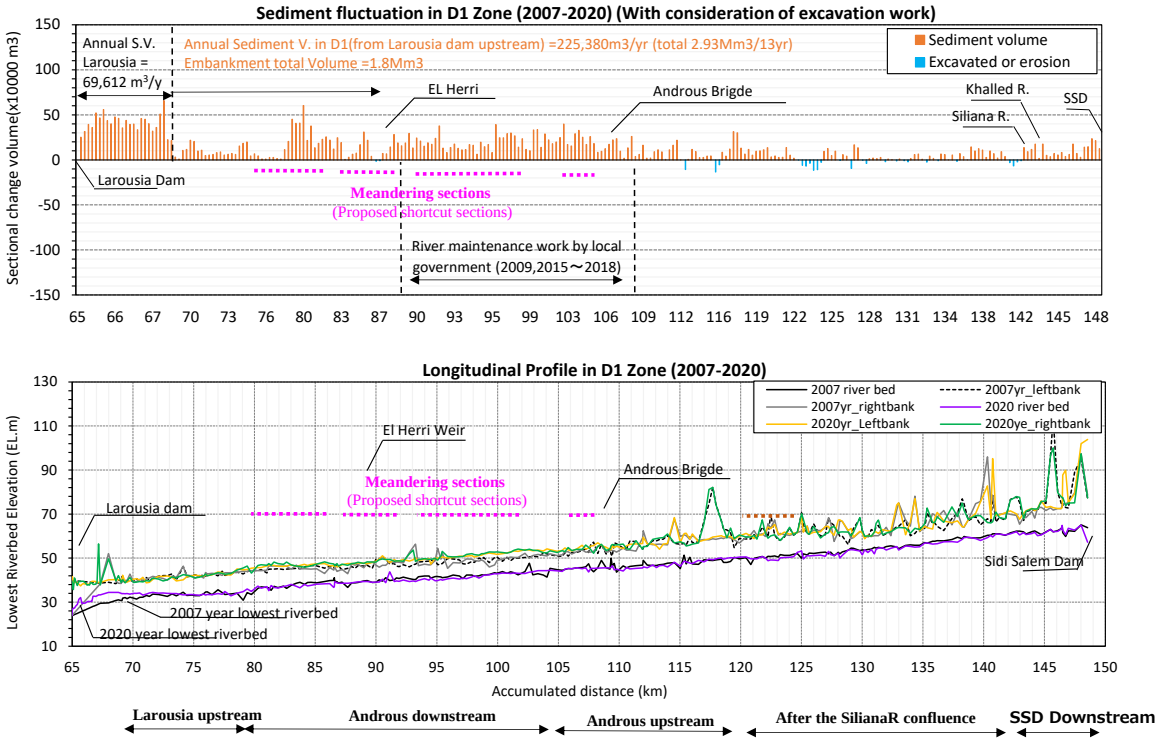
Les changements du lit de l'oued dans la zone D1 pour la période 2007-2020 sont montrés dans la Figure 11-14 et une comparaison des sections transversales des cours d'eau dans la zone D1 (levées 2007-2020) est montrée dans la Figure 11-16. Il convient de noter que la quantité d'excavation au cours de la période a également été prise en compte dans le changement fluvial de la zone D1, et le changement fluvial a été estimé sur la base du lit de l'oued d'origine dans la section de la retenue du barrage de Larousia. Les estimations suggèrent que l'ensemble du canal de la zone D1 a déposé 2,9 Mm^3 de sédiments entre 2007 et 2020, avec une moyenne annuelle potentielle de 0,2 Mm^3/an. Pour la section de la retenue de Larousia, 0,9 Mm3 de sédiments ont été déposés entre 2007 et 2020, suggérant qu'une moyenne de 0,1 Mm^3/an de sédiments pourrait être déposée.

Nous avons également effectué une étude des matériaux du lit de l'oued dans la zone D1. La figure 11 16 illustre les points d'étude des matériaux du lit de l'oued dans la zone D1, et la figure 11 15 illustre les résultats de l'étude. En comparant les résultats de l'étude des matériaux du lit de l'oued avec l'état de sédimentation de l'oued, la confirmation de l'état de sédimentation de la zone D1 a permis de clarifier les points suivants.

Aucune sédimentation significative n'a été observée dans la section du canal fluvial immédiatement après la confluence de oued Siliana, qui est la principale source de sédiments, et on suppose qu'un canal fluvial stable a été formé.

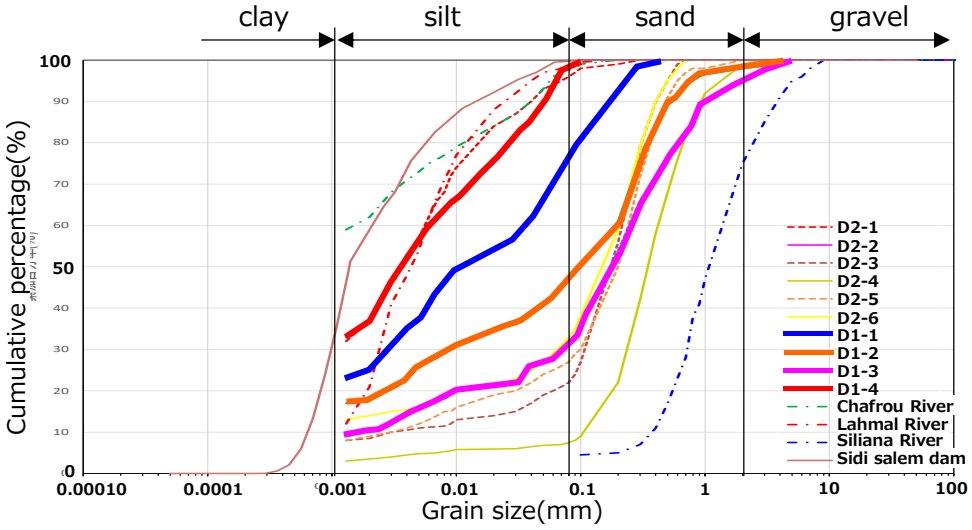
D'autre part, des méandres se sont développés en aval du pont Andalus, et une sédimentation plus importante a été observée dans le lit de l'oued que dans la berge. On suppose qu'il s'agit principalement de dépôts de sable et de limon d'après les résultats du relevé des matériaux du lit de l'oued.

L'amont immédiat du barrage de Larousia a également été affecté par l'effet de remous du barrage, et une sédimentation du lit de l'oued a été remarquée.



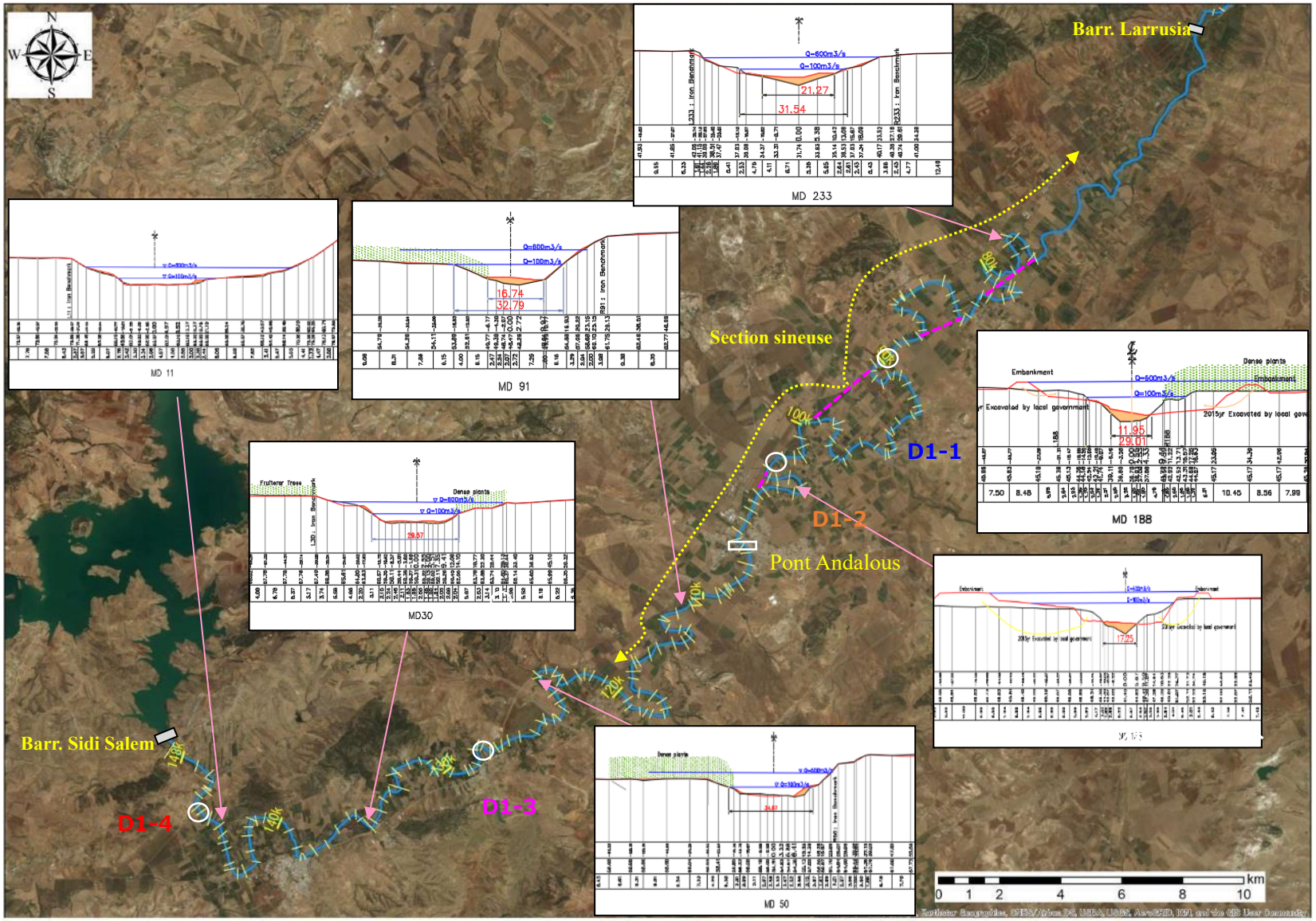
Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-14 Fluctuation des sédiments dans la zone D1 (2007-2020)



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-15 Distribution granulométrique des matériaux du lit de l'oued de la zone D1

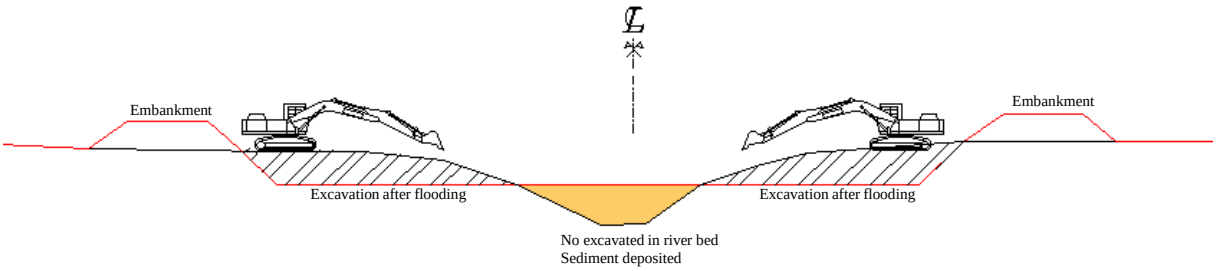


Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-16 Section transversale représentative de l'oued dans la zone D1 (2007-2020)

(3) Excavation d'entretien par le gouvernement local

Une méthode d'excavation d'entretien dans la zone D1 par le gouvernement local est présentée dans la Figure 11-17. Selon les résultats des entretiens avec les agences du gouvernement local, au cours de la période 2015-2018, l'excavation d'entretien a été réalisée par le gouvernement local (Département régional de l'agriculture et du développement rural) dans les 20 km autour et en aval de la zone urbaine de Merdjez elBab. Le volume et le coût de l'excavation pendant cette période seront respectivement d'environ 5,7 millions de m^3 et 9,3 millions de DT. L'excavation d'entretien par le gouvernement local n'est pas basée sur une étude du canal fluvial et un plan d'entretien. L'excavation d'entretien est juste effectuée dans la zone de dépôt de sédiments dans le canal de l'oued après l'inondation. Il a également été observé que les sédiments n'ont pas été excavé dans le canal bas (lit de l'oued), mais dans les terre-plein du canal et qu'ils ont été déplacés sur les côtés des deux rives pour former un remblai. Par conséquent, comme décrit dans la section (2) "Sédimentation dans le canal de l'oued de la zone D1", le dépôt de sédiments dans le lit de l'oued a encore été observé à proximité de la zone urbaine de Merdjez elBab et dans la section en aval. En outre, sur la base des résultats de l'évaluation de la capacité de décharge actuelle dans la section 9.4.3 ci-dessous, la digue avec remblai a une capacité de décharge insuffisante pour le débit de crue de conception.

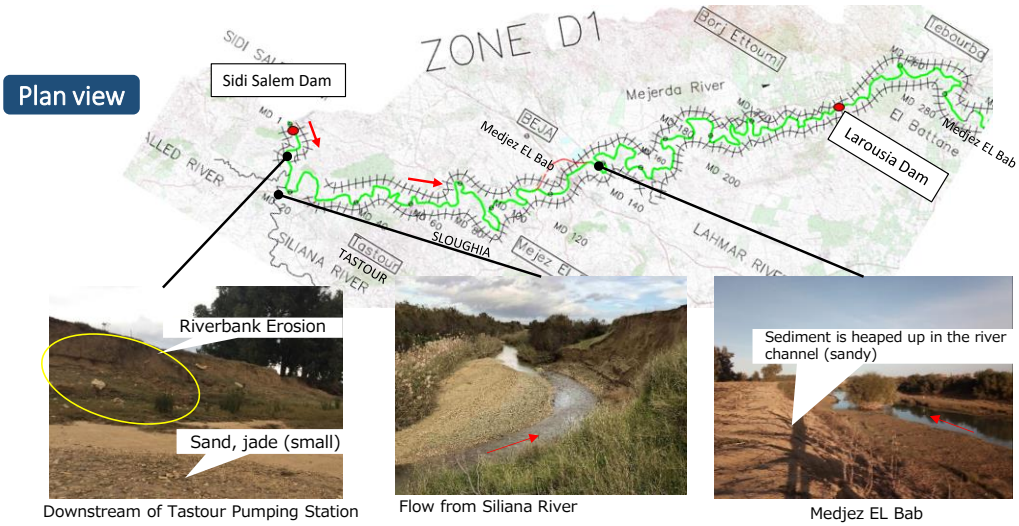


Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-17 Méthode d'entretien Excavation dans la zone D1 (Comparaison entre avant et après l'excavation)

(4) Coefficient de rugosité

La Figure 11-18 illustre une photographie prise pendant l'enquête de terrain. Le lit de l'oued est généralement sableux/partiellement constitué de blocs rocheux (petits). Par conséquent, n = 0,04 est choisi pour l'ensemble de la zone.



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-18 Enquête sur terrain dans la Zone D1

11.4.3 Examen de la capacité de débit actuel

(1) Méthode de calcul de la capacité d'écoulement

Afin d'appréhender la capacité d'écoulement actuelle du canal de l'oued, un calcul d'écoulement non uniforme est effectué. Les résultats des études fluviales (planaires, longitudinales et transversales) réalisées pendant le PPM 2020 ont été utilisés. Le débit de pleine eau de chaque section transversale a été calculé, et la valeur minimale de chaque section est considérée comme sa capacité d'écoulement.

Tableau 11-16 Condition de calcul hydraulique

No	Contenu	Condition
1	Méthode	Débit non uniforme
2	Section	Canal principal de l'oued Medjerda à la zone D1 (83,563 km)
3	Objectif	État actuel (enquête 2020)
4	Débit	6 cas : 20%～120% de W=1／10 an (600m^3/s)
5	Coefficient de rugosité	0,040
6	Niveau d'eau initial	Niveau d'eau prévu dans le P/D au barrage de Larousia, l'extrémité en aval de la section en question EL 33,01.m
7	Structure	7 ponts
8	Pente du lit	État actuel

Source: Equipe d'Etude de la JICA

(a) Section d'étude

La section d'étude pour la capacité d'écoulement est celle du barrage de Larousia au barrage de Sidi Salem (64,974~148,537km).

(b) Canal cible

La section transversale de calcul est basée sur le canal de l'oued actuel et sur l'étude de la section transversale de l'oued de 2020.

(c) Débit cible

le débit cible est basé sur une période de retour de 10 ans et calculé pour 6 cas : 20~120% dudébit normal.

(d) Niveau d'eau initial

Le niveau d'eau initial est fixé à 33,01EL. m, qui est le niveau d'eau prévu dans le Plan Directeur au barrage de Larousia, l'extrémité aval de la section concernée.

(e) Ouvrages

L'influence des ouvrages qui agissent comme des obstacles dans le calcul du niveau d'eau est prise en compte. Le tableau suivant illustre leurs details:

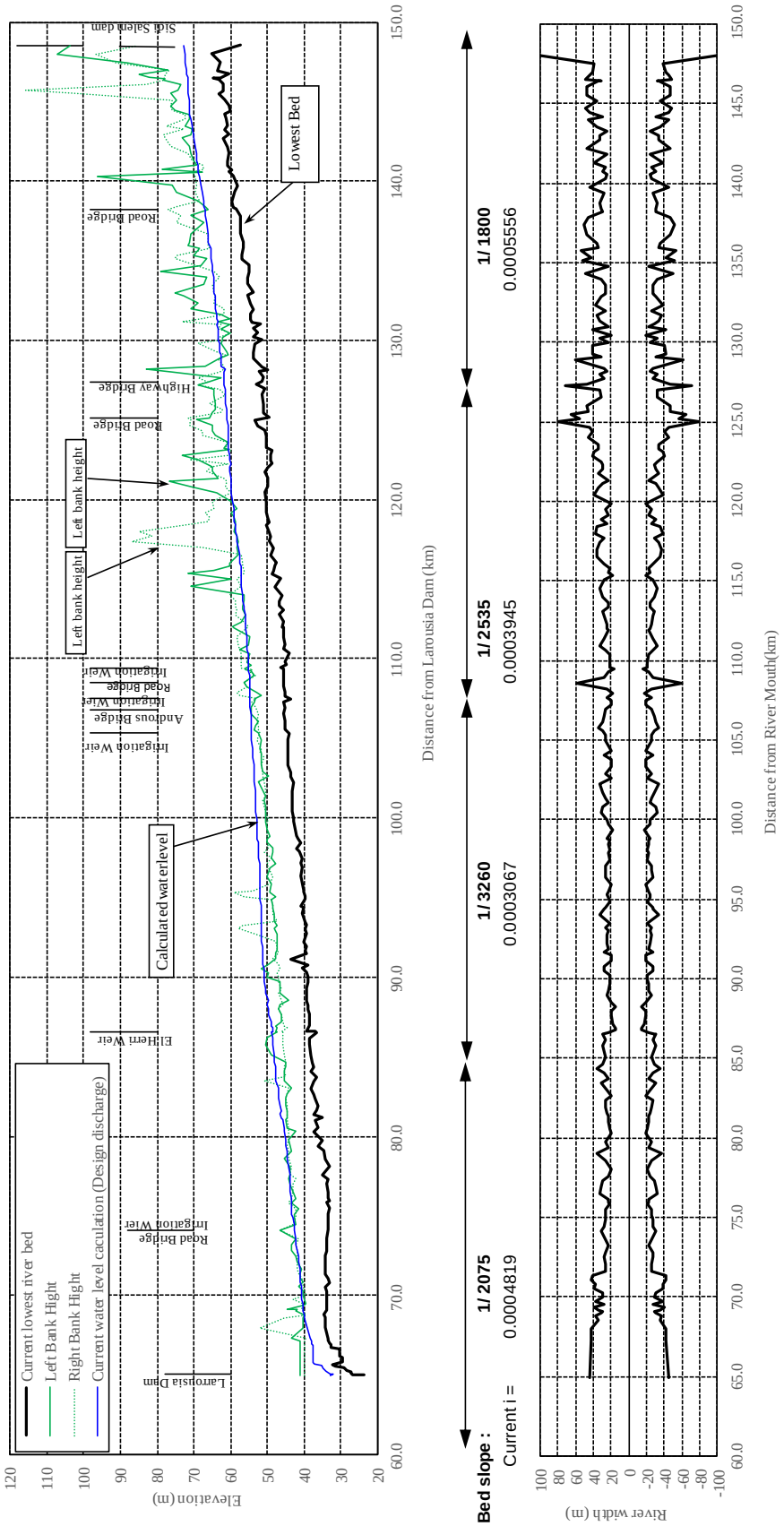
Tableau 11-17 Spécifications des ouvrages

No.	Structure	Chainage (km)	Epaisseur des Piles (m)	Nombre de Piles
1	Pont route existant	74.131	2.75	6
2	Conduite d'eau potable	105.317	1	4
3	Pont Andalou	107.493	7.57	6
4	Pont route existant	108.544	2.76	2
5	Pont autoroute existant	125.155	0.94	3
6	Pont route existant (GP5)	127.399	1.32	4
7	Pont autoroute existant	138.232	2.15	2

(2) Examen du résultat du calcul sur la capacité de débit

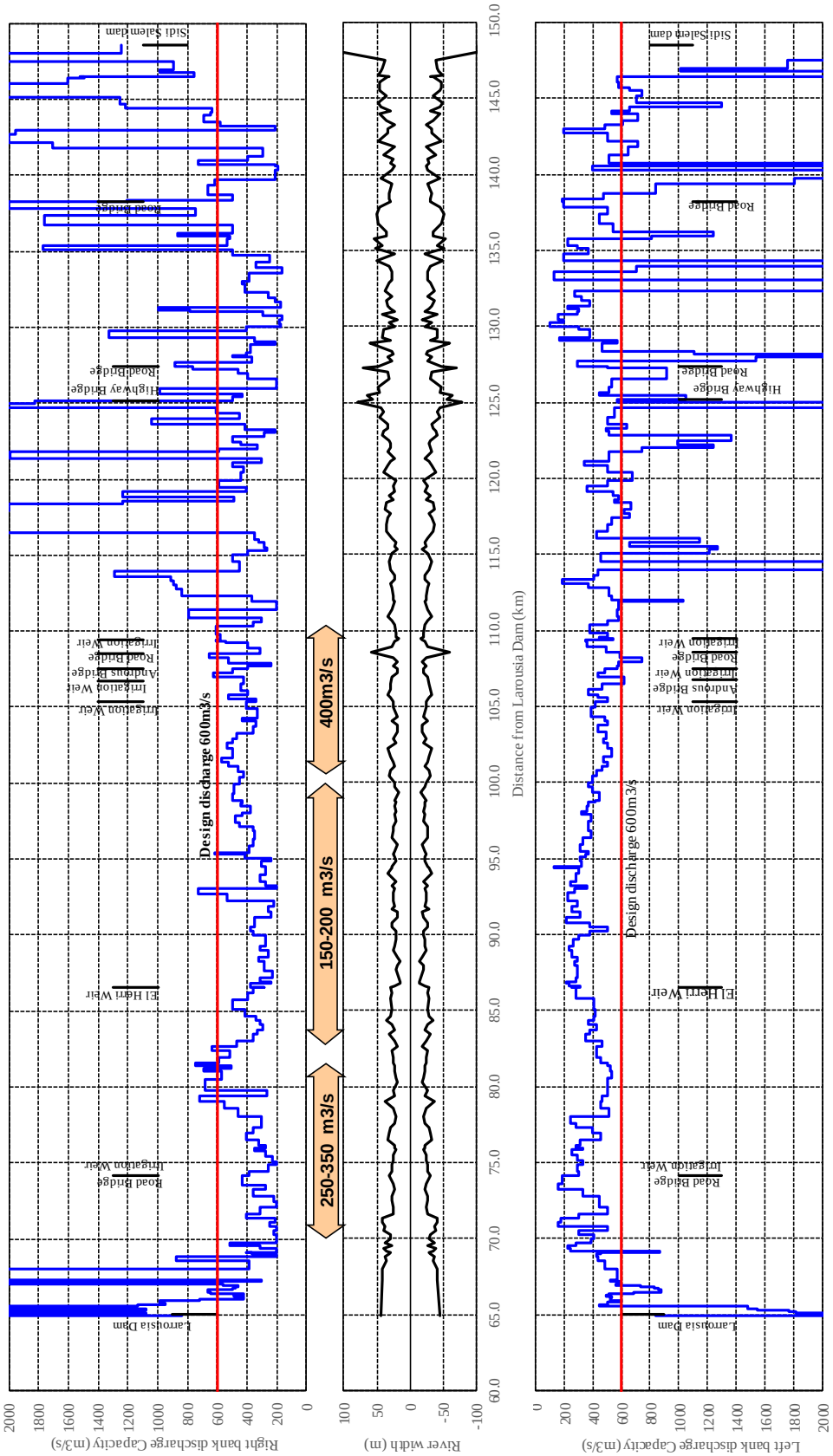
La Figure 9-31 illustre le résultat du calcul de la capacité d'écoulement au moment du Plan Directeur. La capacité d'écoulement varie en fonction de la section. La capacité de débit en aval de la Zone D1 est de 150 à 400 m^3/s. La capacité de débit en aval de la Zone D1 est la suivante.

- Déversoir La Lucia~Déversoir EL.Herri (250-300m^3/s)
- Déversoir EL.Herri~Pont historique (y compris la ville de Mejez Elbab) (150-200m^3/s)
- Pont historique~En amont du pont historique + 10km (400m^3/s)



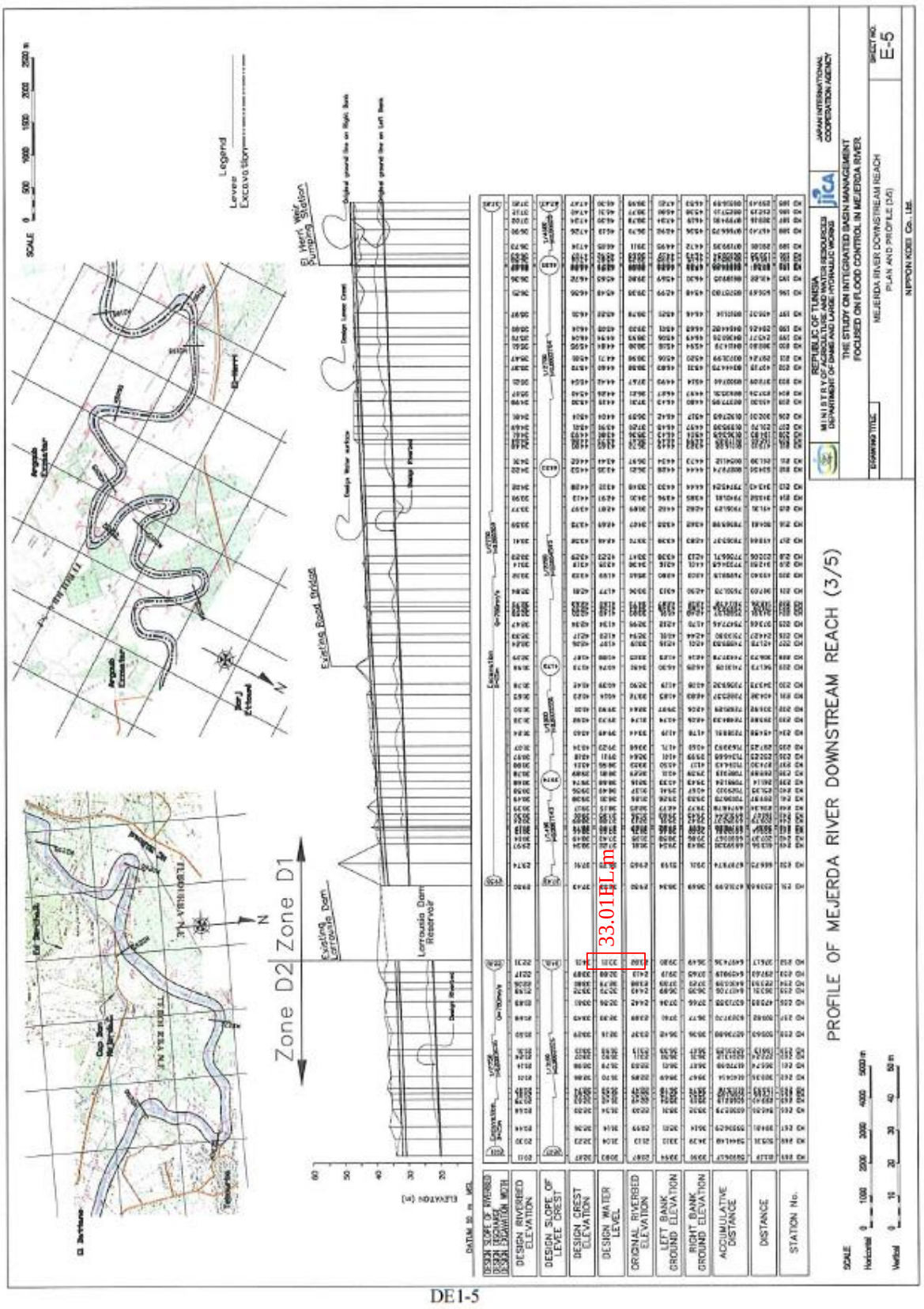
Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-19 Profil en long et résultat du calcul du niveau d'eau (Zone D1)



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-20 Capacité de débit à l'état actuel de la zone D1 à partir de 2020



Source: L'étude sur la gestion intégrée du bassin basée sur la prévention des inondations dans la Mejerda (P/D), JICA (2008)

Figure 11-21 Capacité de débit à l'état actuel de la zone D1 en 2020 (Oued Medjerda, en aval du barrage de Sidi Salem)

11.4.4 Politique de base de la planification du cours d'eau

(1) Situation actuelle et problèmes relatifs aux mesures de contrôle des inondations dans la zone D1

L'aval du barrage de Sidi Salem a été divisé en zones D1 et D2 àl'oued Mejerda, avec le barrage de Lalousia comme limite, et des travaux de lutte contre les inondations ont été réalisés dans chaque zone. Dans un avenir proche, les mesures de lutte contre les inondations de la zone D2 seront améliorées. En revanche, les mesures de contrôle des inondations dans la zone D1 n'ont pas progressé, et il est urgent d'améliorer le niveau de sécurité contre les inondations dans la zone D1 dès que possible en raison du risque élevé d'inondation et de la nécessité de mettre en œuvre des mesures de contrôle des inondations en tant que contrôle intégré des inondations du bassin. L'état actuel et les problèmes des mesures de contrôle des inondations dans la zone D1 peuvent être résumés comme suit

- La zone D1 a une capacité d'écoulement suffisante en amont de Merdjez elBab, mais la capacité d'écoulement à proximité de Merdjez elBab et dans la section de méandres en aval est faible, environ 150-400m^3/s. Cela signifie que dans la zone de Merdjez elBab et dans la section de méandres en aval, la capacité de débit est insuffisante pour le débit de crue de conception de 600m^3/s. Le défi pour le plan d'aménagement de l'oued est de protéger la zone urbaine de Medjez elBab et de planifier un aménagement de l'oued qui peut transporter le débit de conception dans la section de méandre en aval de la ville.
- Comme mentionné ci-dessus, la sédimentation dans l'oued de la zone D1 est élevée dans la section de méandres juste en amont et en aval du pont historique Andalou dans la ville de Merdjez elBab. Cela a conduit à une réduction significative de la surface d'écoulement de la section transversale et a réduit la capacité de l'oued à transporter le débit de crue. Malgré les travaux d'excavation d'entretien effectués par le gouvernement local, il y a encore beaucoup de sédimentation dans le canal de l'oued. Par conséquent, il est nécessaire d'étudier la section transversale pour éviter la sédimentation dans le canal afin d'améliorer la capacité d'écoulement de l'oued et de réduire les coûts d'entretien.
- Le pont historique Andalou est un goulot d'étranglement pendant les inondations en raison de la réduction de la zone de passage causée par le grand nombre de piliers, qui causent souvent d'importants dégâts dus aux inondations dans cette zone. Dans le P/D, le canal de dérivation de Medjez EL Bab est proposé, mais en raison du coût élevé de la construction, de l'acquisition de terrains et des problèmes environnementaux, des alternatives doivent être envisagées.
- Dans le plan d'aménagement de l'oued de la zone D1, dans la perspective du développement d'un plan intégré de contrôle des inondations dans l'ensemble du bassin, il est nécessaire de développer un plan pour que le plan de l'oued de la zone D1 n'ait pas d'impact négatif sur la zone D2 en aval. Dans le cas d'une inondation dépassant le débit de crue de conception, il faut veiller à ce que la zone D2 soit aussi peu affectée que possible.

(2) Politique de base du plan d'aménagement de l'oued

Les mesures de lute contre les inondations dans la zone D1 suivent fondamentalement le niveau de sécurité et les mesures de contrôle des inondations proposées dans le plan directeur. Cependant, sur la base des problèmes actuels des mesures de contrôle des inondations et des changements des conditions naturelles mentionnés ci-dessus, des alternatives au plan d'aménagement de l'oued (élargissement du canal de l'oued, excavation du canal de l'oued et installations de dérivation) et des mesures structurelles telles que le bassin de retardement et les raccourcis seront considérées dans ce plan. Les éléments suivants constitueront la politique de base:

i) Utiliser la topographie actuelle (formation des cours d'eau).
ii) Les lits de l'oued actuels les plus profonds sont préservés.
iii) Le pont historique sera conservé. Un canal de dérivation ou un tunnel de dérivation alternatif est examiné en raison du manque de capacité d'écoulement au niveau du pont.
iv) Pour les crues excessives, le côté de la rive gauche, qui a moins d'atouts, est utilisé.
v) Du point de vue de la gestion des sédiments (réduction de l'afflux de sédiments vers l'aval, utilisation efficace des sédiments), un bassin de retardement est examiné.
vi) La réhabilitation des digues et des canaux sera réalisée au cours des cinq premières années du projet. Après cela, leur entretien sera effectué. Il est nécessaire d'avoir des sections transversales pour que les sédiments ne s'accumulent pas dans le canal rehabilitee de l'oued. Il est nécessaire d'éviter que les sédiments ne s'accumulent au-dessus des canaux de crue afin d'éviter la prolifération de la végétation.
vii) Dans la section sinueuse à faible capacité d'écoulement, le plan optimal est sélectionné après avoir comparé l'élargissement du canal de l'oued, les raccourcis, etc.

Une liste d'aménagements d'installations avec diverses contre-mesures dans la zone D1 est présentée ci-dessous.

Tableau 11-18 Liste des mesures de lutte contre les inondations

les mesures		Contenu
Plan Directeur	Plans proposés par le Plan Directeur	- La réhabilitation de l'oued consiste essentiellement en l'excavation du lit de l'oued, la digue et l'élargissement du canal. - Le canal de dérivation de Medjez El Bab a été proposé près du pont historique
Plan-1	Réhabilitation de l'oued + canal de dérivation ou tunnel de dérivation	- La réhabilitation de l'oued consiste essentiellement en l'excavation du lit de l'oued, le remblaiement et l'élargissement du cours d'eau. - Le canal de dérivation de Medjez EL Bab et le tunnel de dérivation de Medjez EL Bab seront comparés près du pont historique.
Plan-2	Plan-1 + seuil	- En plus du Plan-1, une pente est proposée directement en aval du Pont Historique pour protéger le Pont et assurer la capacité d'écoulement du Tunnel de dérivation de Medjez EL Bab.
Plan-3	Plan-2 + raccourci	- En plus du Plan-2, un raccourci dans la section aval de la zone D1 est proposé. - Des raccourcis sont proposés pour 4 tronçons, qui sont des tronçons en méandre à faible débit.
Plan-4	Plan-3 + bassin de retardement	- Ce plan concerne les inondations dépassant le débit de crue de conception. Un plan de bassin de retardement est proposé pour réduire l'impact sur le canal de l'oued en aval (zone D2) lorsque le débit dépasse la crue nominale après la réhabilitation du canal de l'oued dans la zone D1. -La section où les contre-mesures seront mises en œuvre est choisie en fonction de la cohérence avec le raccourci du plan 3 et les mesures à la confluence.

Source : Équipe d'Etude de la JICA

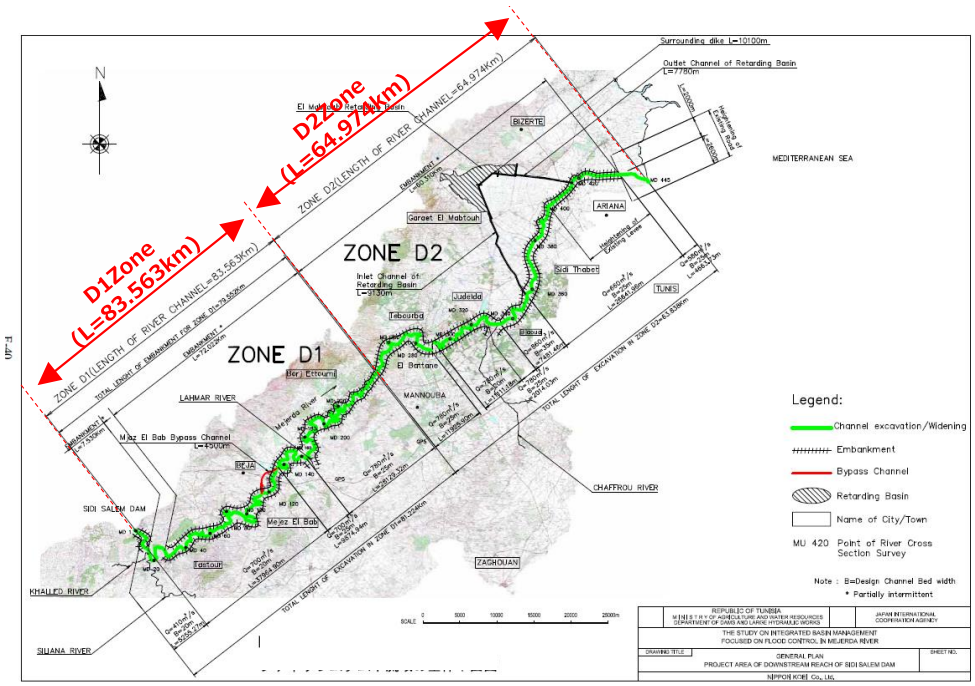
11.4.5 Conception en plan

La forme plane du cours d'eau est déterminée en tenant compte de manière globale des caractéristiques hydrauliques du cours d'eau et de l'utilisation des terres le long de l'oued. Ce qui suit est un aperçu des alternatives à la Medjerda.

(1) Conception en plan du Plan Directeur

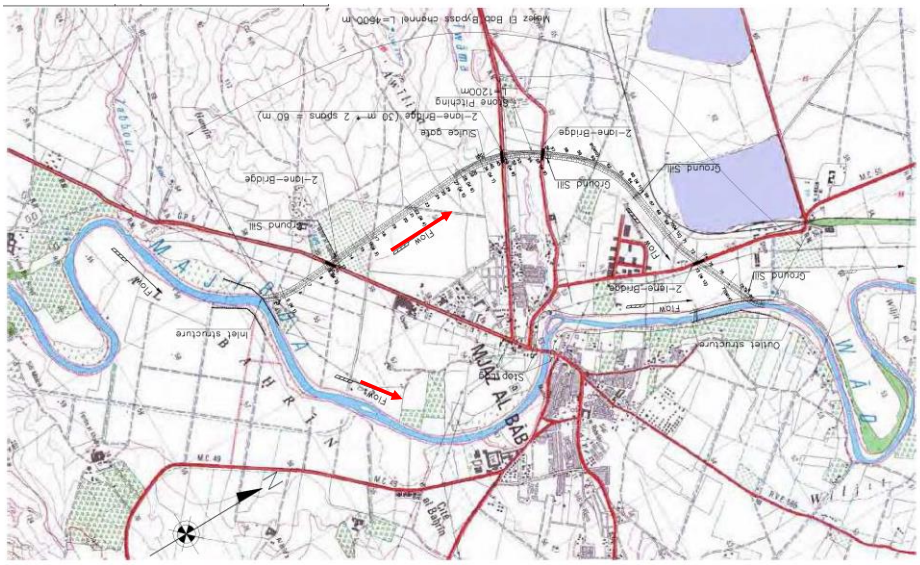
Le plan de la zone D1 du Plan Directeur est présenté dans Figure 11-22. Dans le Plan Directeur, la conception en plan est faite sur la base de la forme actuelle du canal de l'oued (relevé du canal de l'oued 2007). A proximité du pont historique, un canal de dérivation de Medjez El Bab avec une longueur de canal de 50,0 km et une largeur de canal de 80,0 m a été proposé. Une vue en plan du canal de dérivation est illustrée dans Figure 11-23.

Dans cette étude, il est nécessaire d'étudier la conception en plan après avoir saisi les caractéristiques du canal actuel en utilisant les derniers résultats de l'étude de l'oued. Le tunnel de dérivation de Medjez El Bab sera étudié comme alternative au canal de dérivation de Medjez El Bab, qui devrait avoir des changements dans l'utilisation du sol et les caractéristiques topographiques. Le plan le plus efficace et le plus réalisable doit être sélectionné.



Source : L'étude sur la gestion intégrée des bassins axée sur la prévention des inondations dans la Mejerda (Plan Directeur), JICA (2008)

Figure 11-22 Conception en plan du Plan Directeur

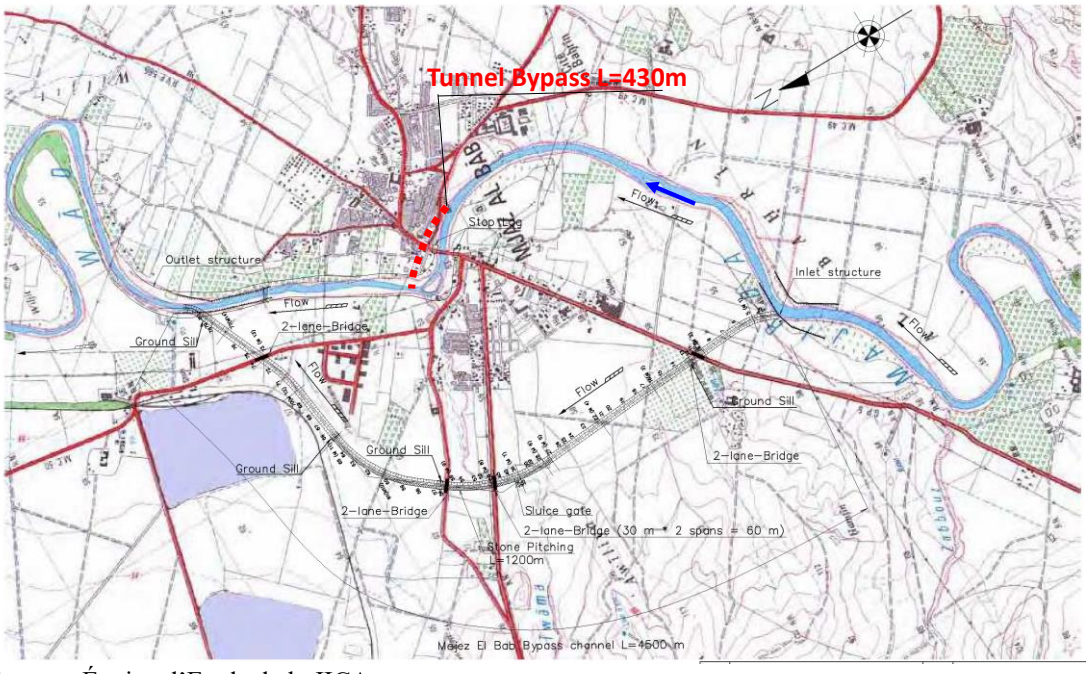


Source : L'étude sur la gestion intégrée des bassins axée sur la prévention des inondations dans la Mejerda (Plan Directeur), JICA (2008)

Figure 11-23 Vue en plan du canal de dérivation du Plan Directeur

(2) Conception en plan du Plan 1

La conception en plan est illustrée dans Figure 11-24. Le Plan-1 propose l'excavation du lit de l'oued, le remblai, l'élargissement du canal de l'oued, etc., sur la base de la forme actuelle du canal de l'oued comme dans le Plan Directeur. Une structure de dérivation dans le but de protéger le pont historique andalou est examinée. Dans le canal de dérivation de Medjez El Bab proposé par le Plan Directeur, il y a des inquiétudes concernant les changements dans l'utilisation des terres et les problèmes de caractéristiques topographiques. Pour cette raison, le tunnel de dérivation de Medjez EL Bab sera étudié comme alternative.

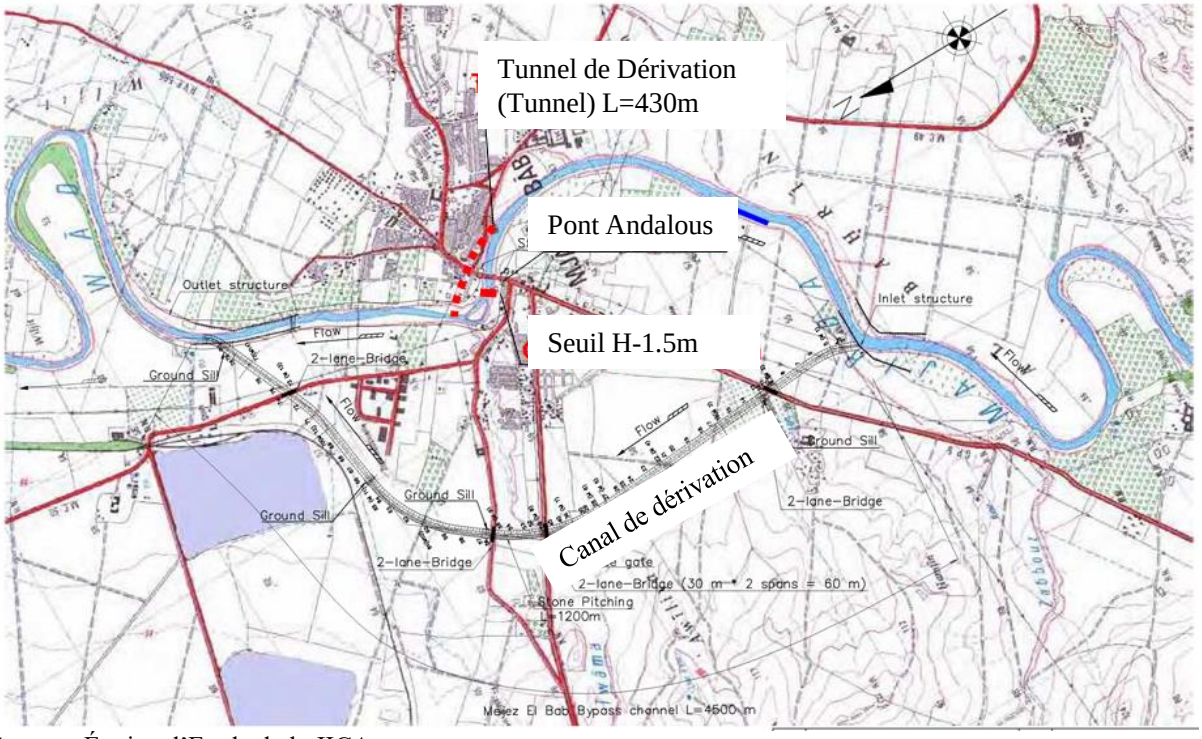


Source : Équipe d'Etude de la JICA

Figure 11-24 Vue en plan de Plan-1

(3) Conception en plan du plan-2

Concernant le Plan-2, comme indiqué dans la Figure 11-25, en plus du Plan-1, une chute est ajoutée directement en aval du pont historique andalou pour sa protection et pour sécuriser la capacité d'écoulement du tunnel de dérivation de Medjez El Bab.



Source : Équipe d'Etude de la JICA

Figure 11-25 Vue en plan de Plan-2

(4) Conception en plan du plan-3

1) Besoins de raccourcis dans les sections sinueuses

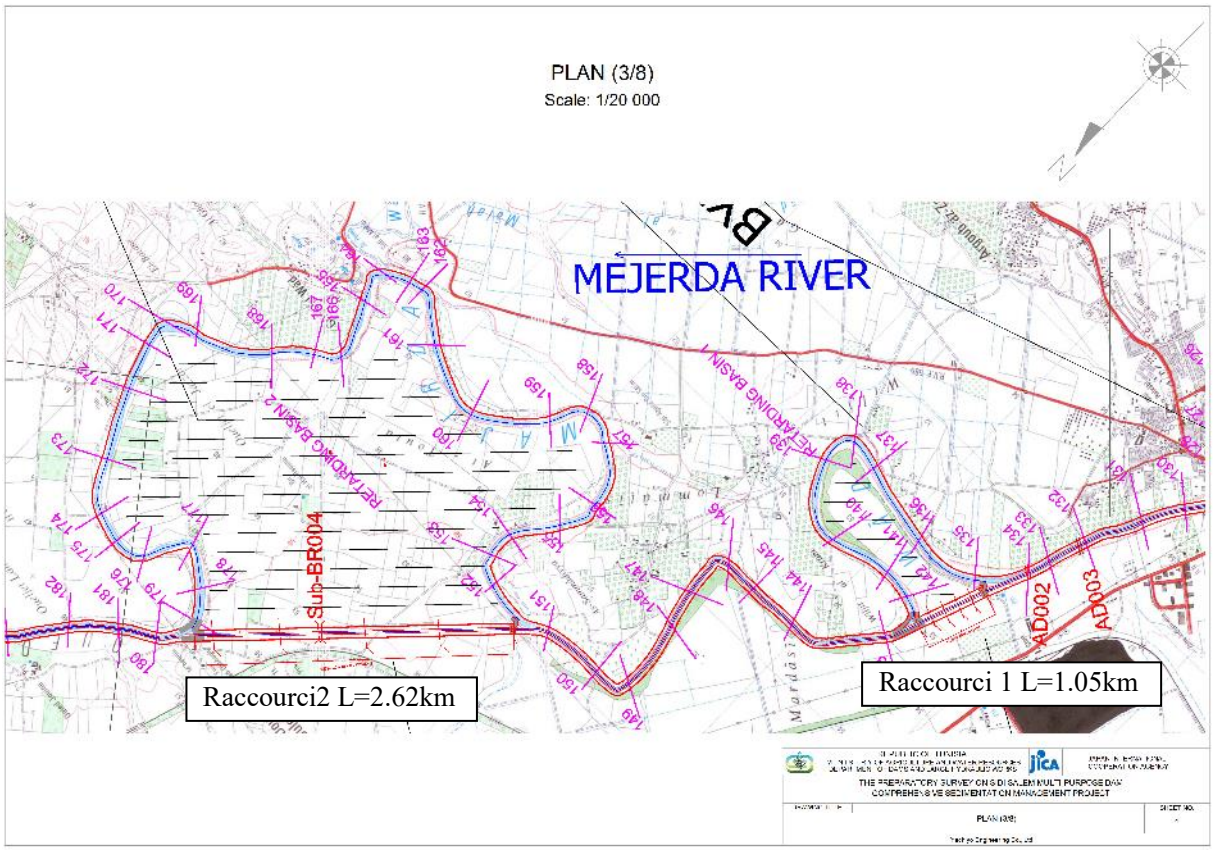
Dans la zone D1 de la Medjerda, il existe de nombreuses parties courbes. En redressant ces sections sinueuses, le débit de crue peut s'écouler en douceur vers l'aval. Un plan d'excavation d'un nouveau canal pour un débit d'eau élevé de 600 m^3/s et un plan d'excavation du canal de l'oued existant pour sécuriser la capacité d'écoulement ont été comparés. En raison de la faible capacité d'écoulement du canal de l'oued actuel (la section transversale du canal de l'oued est petite, en particulier en aval du pont historique andalou, le volume d'excavation est important. Par conséquent, on constate que la quantité d'excavation ne diffère pas beaucoup de creuser un nouveau canal.

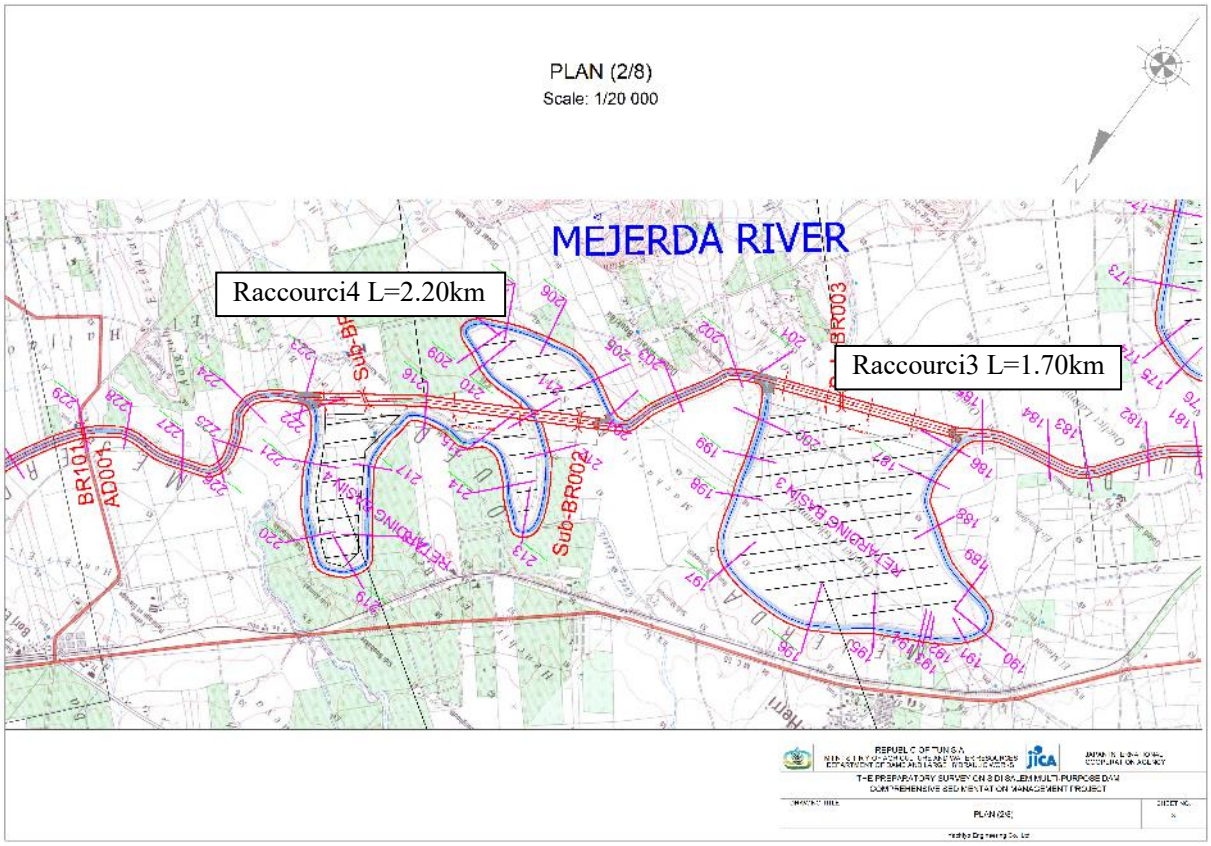
Ainsi, dans la zone D1, la construction d'un raccourci est examinée car ses effets ont été clarifiés. Le contour et la disposition des raccourcis dans la section sinueuse sont indiqués ci-dessous.

Tableau 11-19 Résumé des raccourcis

Coupe courte	Portée (km)	Longueur (km)
Raccourci	102,259 km～105,544 km	0.925
Raccourci	92,267 km～99,308 km	2.408
Raccourci	83,44 km 5～88,517 km	1.616
Raccourci	75,821 km～83,008 km	2.462

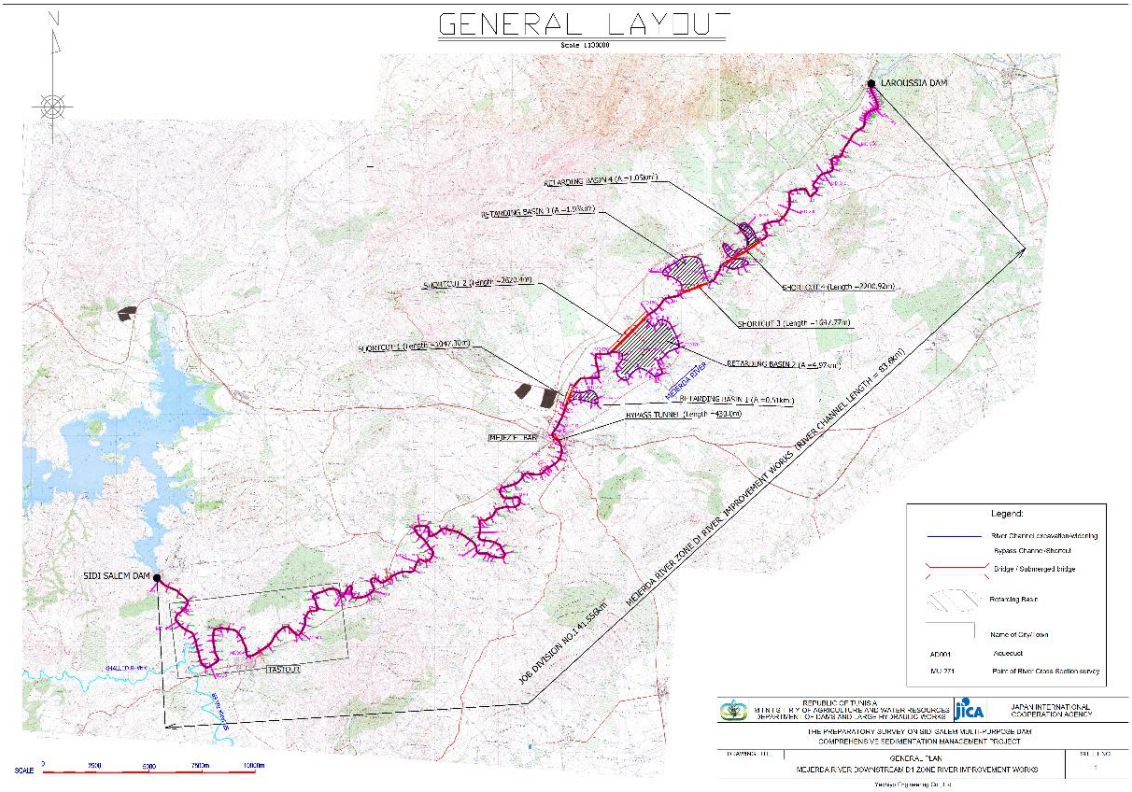
Source : Équipe d'Etude de la JICA





Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-26 Configuration des raccourcis dans les parcours sinueux

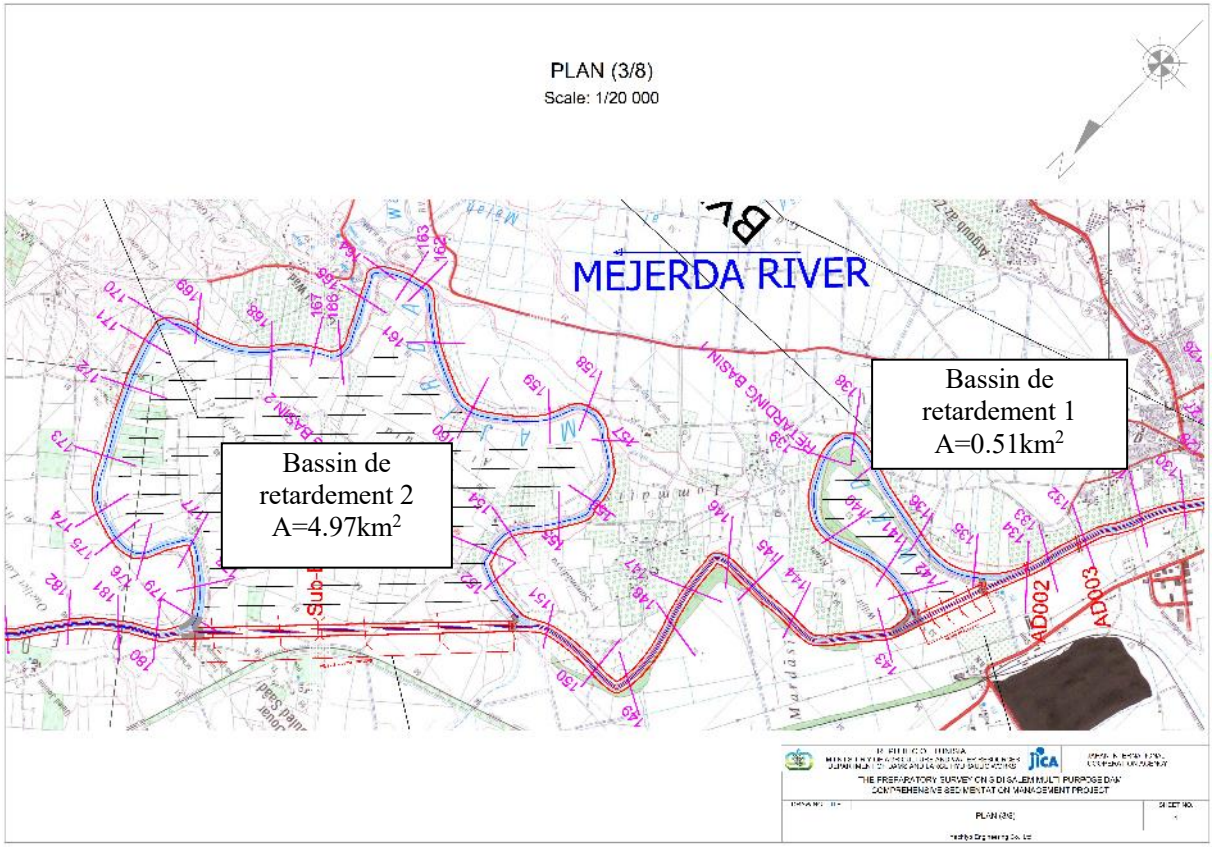


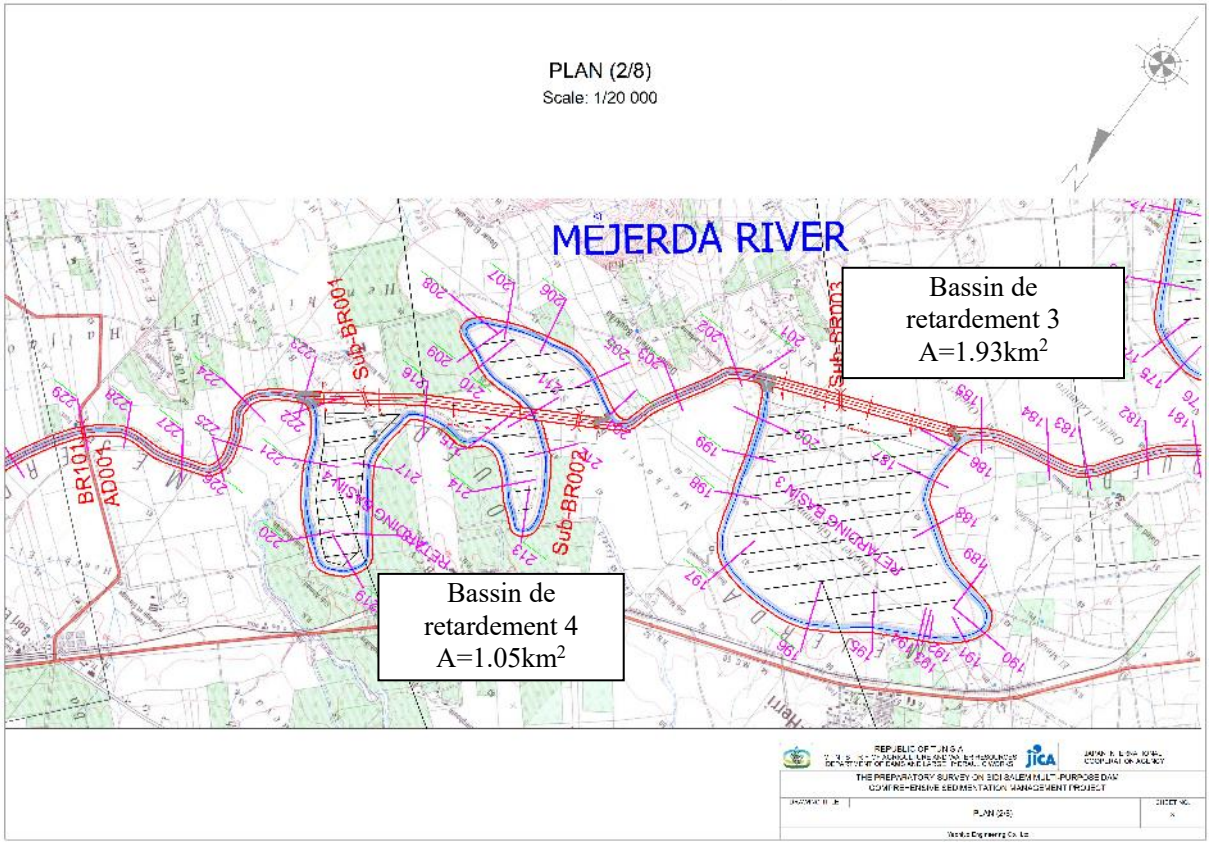
Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-27 Vue en plan du Plan-3

(5) Conception en plan du plan-4

Dans le but de réduire l'impact sur le canal aval de la zone D2, après la réalisation de la réhabilitation du canal de la zone D1, la construction d'un bassin de retardement (1-4) est proposée afin de minimiser l'impact négatif sur le Zone D2 lorsqu'un débit dépassant le niveau des hautes eaux de conception se produit dans la zone D1. Cette section est cohérente avec l'endroit où les raccourcis du canal de l'oued sont mis en œuvre. Au confluent où l'oued Siliana coule directement sous le barrage de Sidi Salem, la construction d'un bassin retardant (5) est proposée afin de répondre à l'augmentation du débit d'oued Siliana à mesure que l'échelle de probabilité augmente. Le bassin de retardement (5) sera construit juste en dessous du barrage de Sidi Salem au confluent d'oued Siliana. L'emplacement du bassin de retardement (1-5) est indiqué ci-dessous.





Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-28 Sites proposés pour les raccourcis et les bassins de retardement

11.4.6 Planification longitudinale

Pour le plan longitudinal, il est souhaitable que le niveau des hautes eaux de conception soit inférieur au niveau du sol le long de l'oued. La conception du niveau des hautes eaux et de l'élévation du lit de l'oued est décidée en fonction du concept suivant.

- Le niveau des hautes eaux prévu est fixé à un niveau inférieur au niveau du sol le long de l'oued.
- L'élévation du lit de l'oued de conception est déterminée en fonction de l'élévation actuelle du lit de l'oued.
- La pente prévue du lit de l'oued est ajustée à partir du barrage de Larousia, du pont Andalou et du point de méandre où les sédiments se déposent immédiatement en amont du barrage de Larousia, tout en maintenant la pente actuelle du lit de l'oued afin d'assurer la stabilité du lit de l'oued.

Les résultats du relevé fluvial effectué en 2020 ont été utilisés pour examiner les plans longitudinaux de chacun des plans proposés. Un aperçu des calculs hydrauliques pour la conception longitudinale et les profils en long pour chacun des plans proposés sont présentés ci-dessous.

(1) Calculs hydrauliques

Afin d'étudier le niveau d'eau de conception de chaque plan, des calculs de débit non uniformes ont été effectués. Les conditions hydrologiques utilisées pour les calculs sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 11-20 Conditions pour les calculs hydrauliques

Non	éléments	conditions
1	Méthode de calcul	calcul de flux non uniforme
2	zone d'étude	la section D1 de oued Mejerda (barrage de Sidi Salem au barrage de Larousia : 83,563 km)
3	canal projeté	Cours d'eau actuel (relevé en 2020) et le cours d'eau dans chaque plan
4	débit	W=1／10 ans (600m^3/s)
5	coefficient de rugosité	0,030
6	niveau d'eau de départ	33.01EL.m niveau d'eau de conception du barrage de Larousia à l'extrémité aval de la section d'étude, déterminé dans le Plan Directeur
7	structure	7 ponts
8	Dénivelé du lit de l'oued	Pente du lit de l'oued actuelle, pente du lit de l'oued pour chaque plan

Source : Équipe d'Etude de la JICA

(a) Zone d'étude

La section pour le calcul de la capacité d'écoulement se situe entre le barrage de Larousia et le barrage de Sidi Salem (64,974 à 148,537 km).

(b) Canal de l'oued sous étude

En utilisant le canal fluvial projeté et la section transversale du canal existant en 2020.

(c) Débit

Débit de crue de 600 m^3/s avec une échelle de probabilité de 1/10 ans.

(d) Niveau d'eau de départ

Le niveau d'eau de départ a été fixé au niveau d'eau de conception de 33,01 EL.m, déterminé par le Plan Directeur, au barrage de Larousia, l'extrémité en aval de la zone du projet.

(e) Structures

Les impacts sont pris en compte pour les ouvrages susceptibles d'entraver le débit de l'oued dans les calculs de niveau d'eau. Tableau 11-21 montre les spécificités des structures considérées.

Tableau 11-21 Spécifications des structures

No	Structure	distance du barrage de Laroussia (km)	largeur des piles (m)	Nombre de piles
1	Pont routier existant	74.131	2,75	6
2	Conduite d'eau potable	105.317	1	4
3	Pont Andalou	107.493	7.57	6
4	Pont routier existant	108.544	2,76	2
5	Pont autoroute existant	125.155	0,94	3
6	Pont routier existant (GP5)	127.399	1,32	4
7	Pont autoroute existant (en cours de renouvellement)	138.232	2.15	2

(2) Une conception longitudinale pour chaque plan

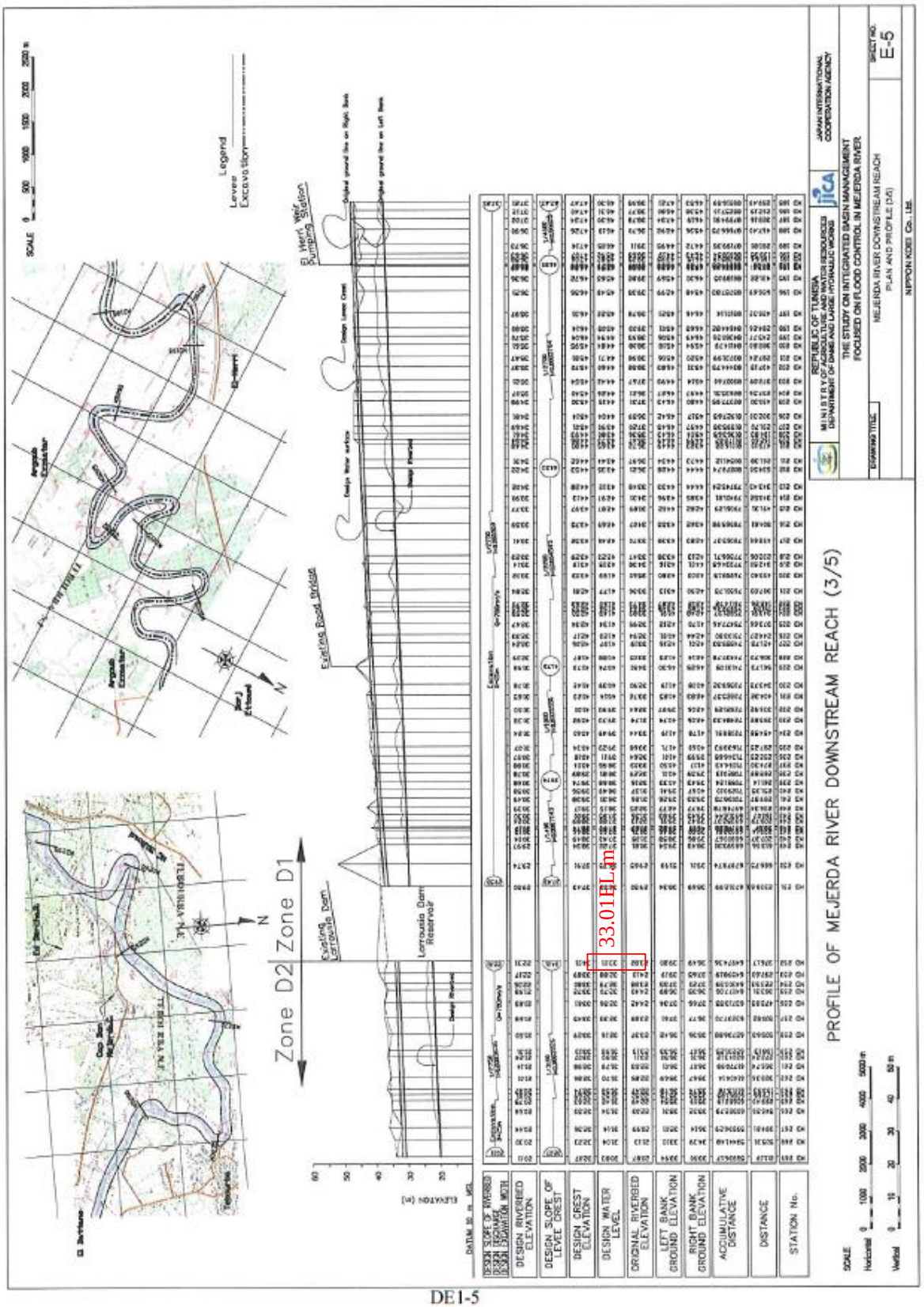
La conception longitudinale du Plan Directeur et les conceptions longitudinales pour Plan-1, Plan-2, Plan-3 et Plan-4 sont présentées dans Figure 11-30 à travers Figure 11-34. Un résumé du profil en long de chaque plan est résumé ci-dessous.

- Profil en long du Plan Directeur: la pente du lit de l'oued la plus profonde est de 1/2750 pour la section 5 km en amont du barrage de Larousia (méandre) jusqu'au pont historique andalou. Il est au 1/2250 pour la section en amont du pont historique andalou. (Voir Figure 11-30)

- Profil en long du Plan-1 : La pente du lit de l'oued la plus profonde est de 1/2750 entre 5 km en amont du barrage de Larousia (méandre) et du pont historique andalou ; 1/2300 dans la section 134 km en amont du pont historique andalou (virage); 1/1900 pour la section entre 134 km et le barrage de Sidi Salem. Il y a peu d'endroits où le niveau des hautes eaux de conception dépasse le niveau du sol le long de l'oued. (Voir Figure 11-31.)

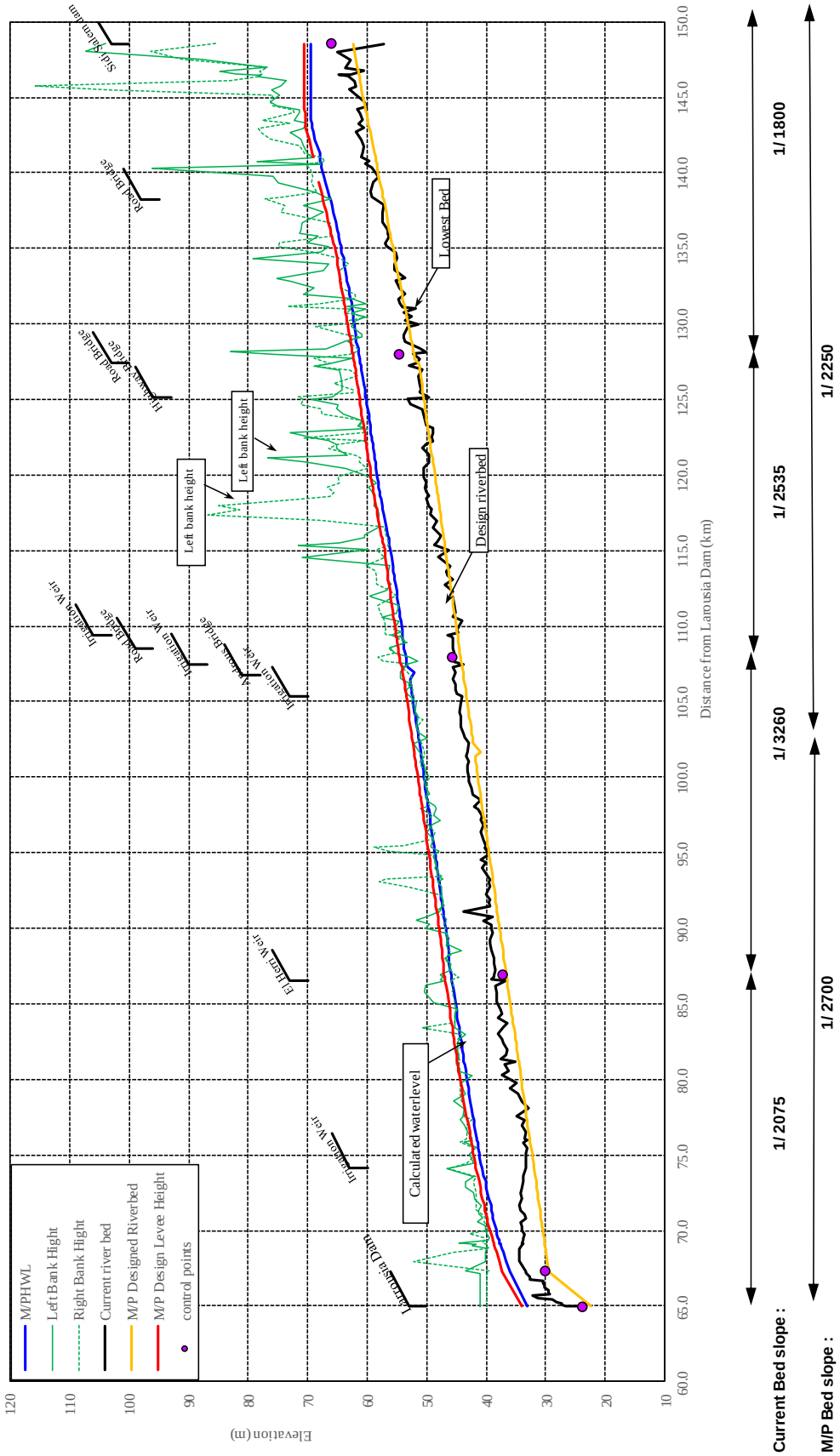
- Profil en long proposé du Plan-2 : En plus du Plan-1, l'installation d'une structure de chute de 1 mètre de haut directement en aval du pont historique est examinée dans le but de protéger le pont. En présence de la structure de chute, la différence de niveaux d'eau en amont et en aval du tunnel de dérivation alternatif EL Bab serait d'environ 0,5 m. Par rapport au Plan-1, la pente du lit de l'oued la plus profonde entre les 5 km en amont du barrage de Larousia et le pont historique andalou serait plus douce de 1/2750 à 1/2950.

- Profil en long de conception du Plan-3 et du Plan-4 : En plus du Plan-2, la combinaison de raccourcis dans la section en aval des méandres de l'oued est examinée. Les raccourcis dans la section sinueuse ont augmenté la pente du lit de l'oued la plus profonde entre 5 km en amont du barrage de Larousia et le pont historique andalou par rapport au Plan-2. Cela a augmenté la capacité d'écoulement en aval. Une différence de niveau d'eau d'environ 1 m entre l'amont et l'aval de l'ouvrage de chute est identifiée (voir Figure 11-32 à Figure 11-34).



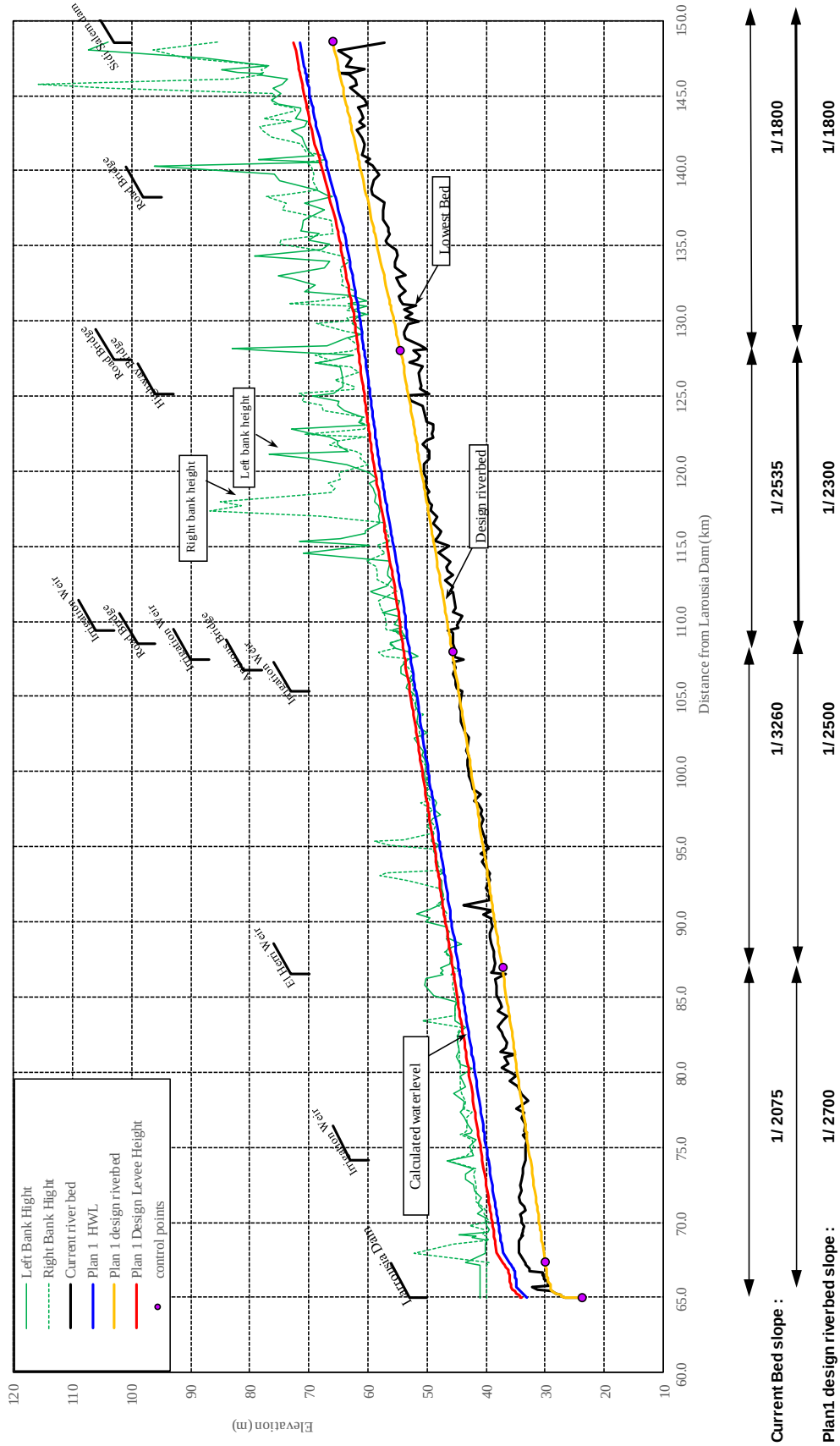
Source : L'étude sur la gestion intégrée des bassins axée sur la prévention des inondations dans la Mejerda (Plan Directeur), JICA (2008)

Figure 11-29 Conception du profil en long en Plan Directeur



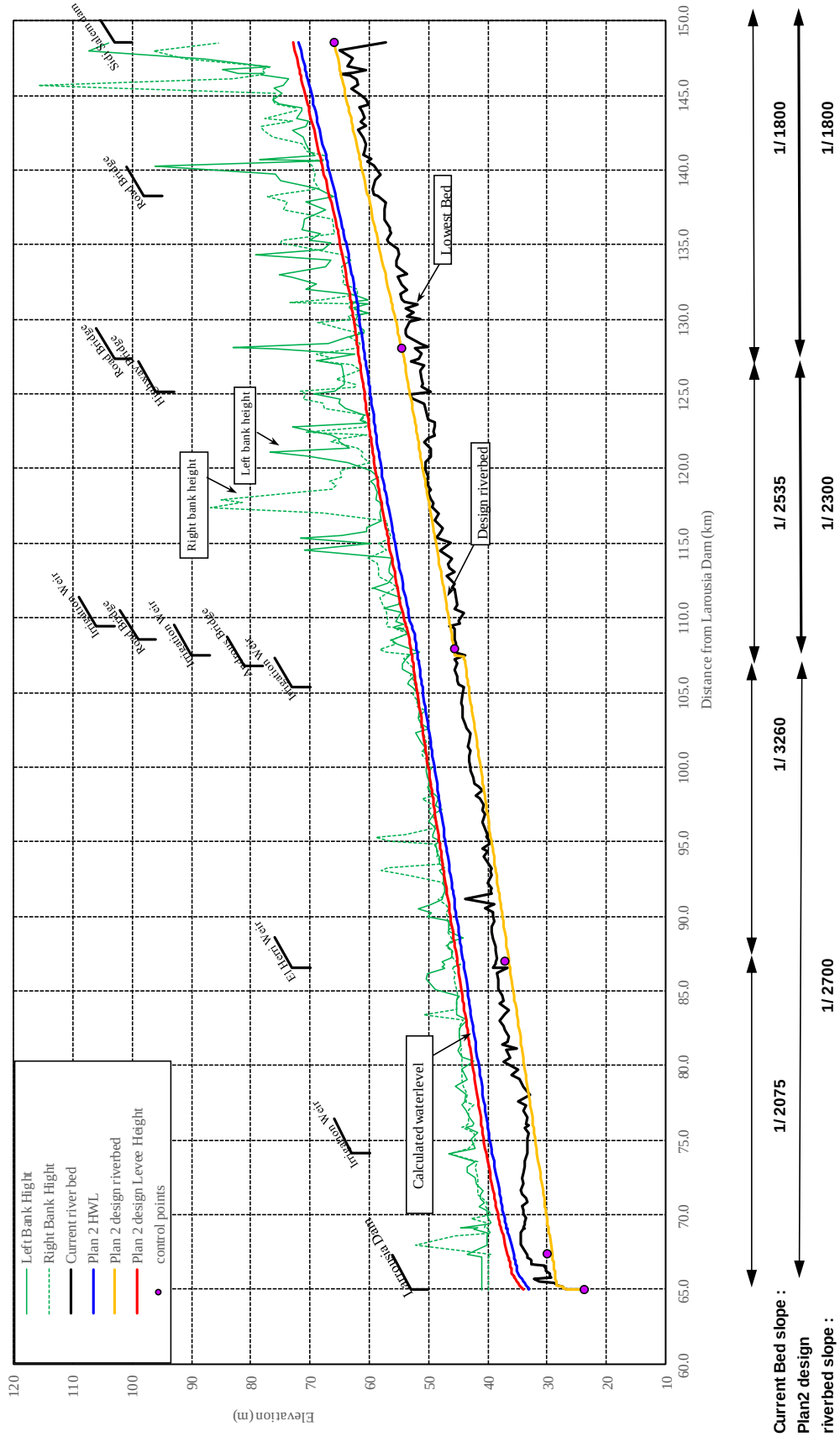
Source: L'étude sur la gestion intégrée du bassin s'est concentrée sur la prévention des inondations dans le fleuve Mejerda (M/P), JICA (2008).

Figure 11-30 Profil en long et de calcul des niveaux d'eau prévus dans le P/D (zone D1)



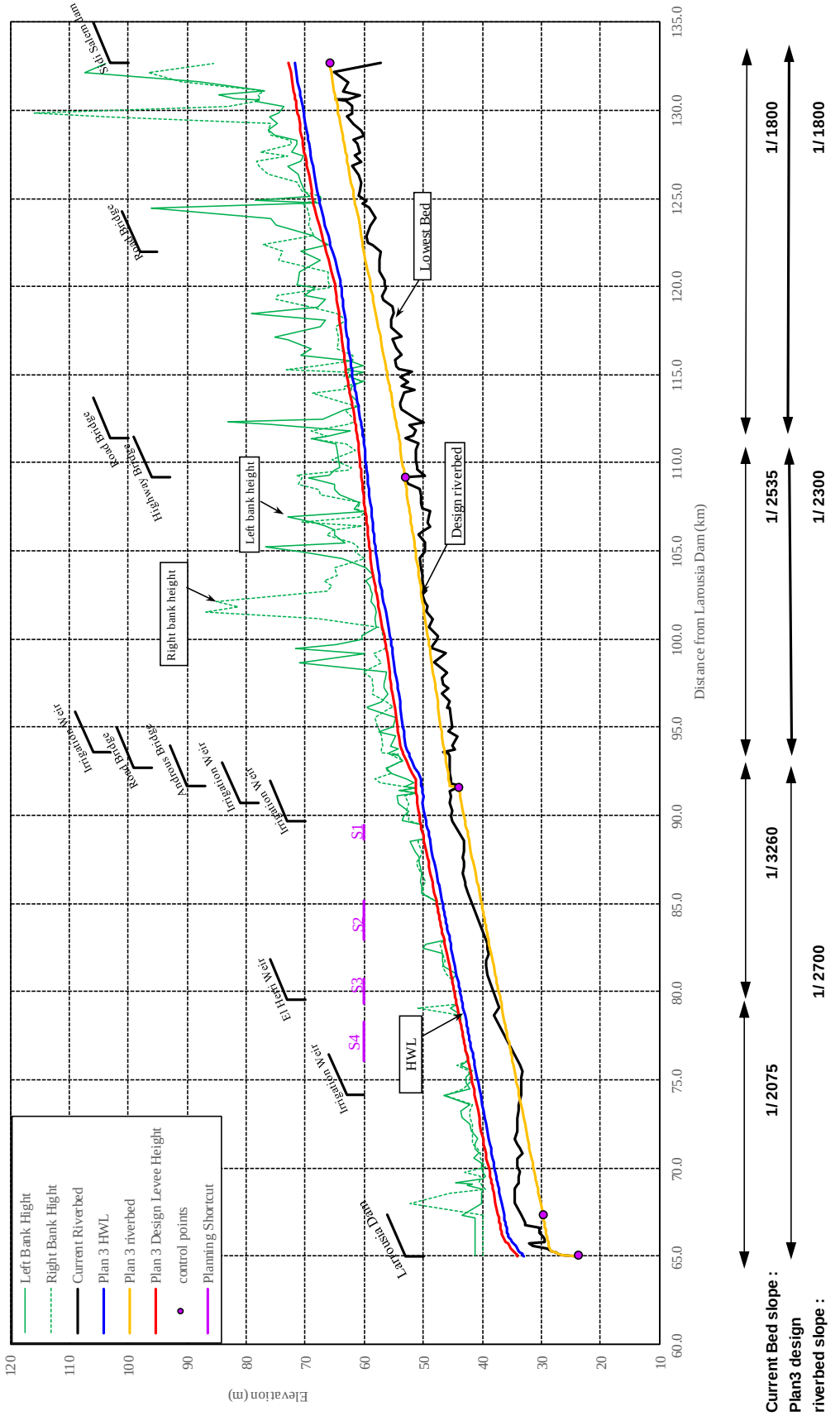
Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-31 Profil en long et calcul du niveau d'eau projetés du plan-1



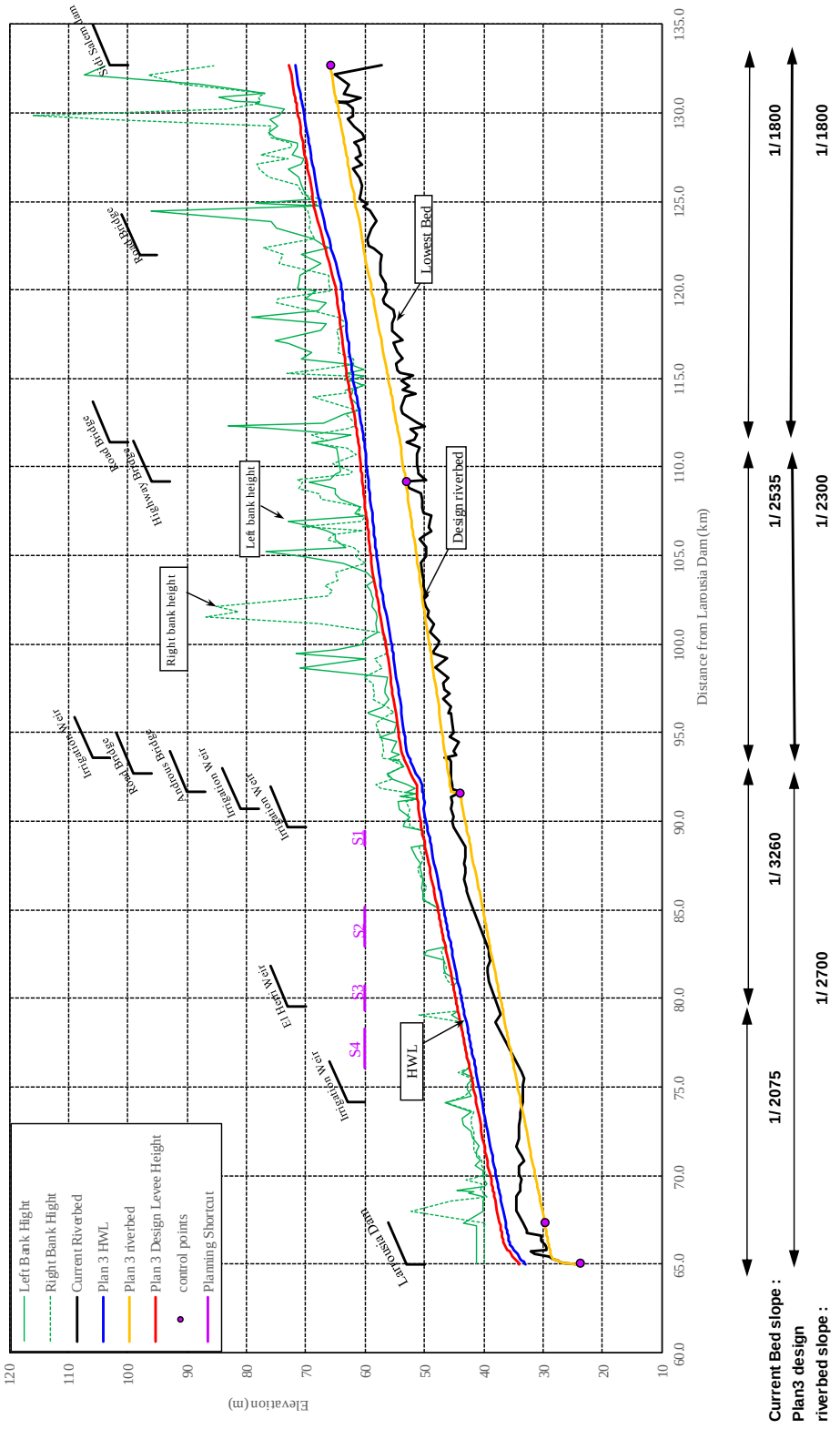
Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-32 Profil en long et calcul du niveau d'eau projetés du plan-2 (Plan-1 + structure de chute)



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-33 Profil en long et calcul du niveau d'eau projetés du plan-3 (Plan-2 + Raccourcis)



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-34 Profil en long et calcul du niveau d'eau projetés du plan-4 (Plan-3+ bassin de retardement)

11.4.7 Planification des sections transversales

(1) Conception

Dans la planification des sections transversales, la surface de section transversale suffisante est assurée pour permettre le taux de conception de suivi. Il est nécessaire de déterminer des sections transversales appropriées, en tenant compte de l'utilisation des terres le long du canal de l'oued et de l'environnement naturel environnant. Voici les concepts de base.

i) Les sections transversales sont conçues pour permettre le débit de conception d'environ 600 m^3/s.

ii) Les formes transversales doivent empêcher le dépôt de sédiments dans le cours d'eau afin de ne pas permettre aux plantes de devenir plus humides.

iii) La pente de la berge est déterminée à 1:2, puisqu'elle est actuellement d'environ 1:2.

iv) Le front de collision d'eau et le remblai élargi du côté de l'oued devraient être revêtus si nécessaire.

v) La berge à élargir est déterminée en fonction du tracé de la canalisation et de l'impact de la réhabilitation de l'oued sur le déplacement et l'utilisation des terres.

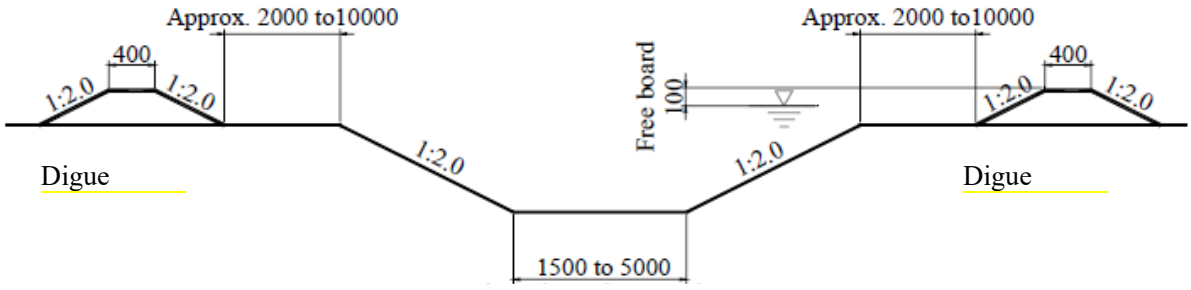
vi) Les berges sont conçues pour avoir un coefficient de rugosité d'environ 0,03 après réhabilitation de l'oued.

(2) Sections transversales proposées dans le Plan Directeur

La vue en plan et les spécifications des sections transversales standard du cours d'eau Medjez El-Bab proposé dans le Plan Directeur sont les suivantes. Ceux-ci sont illustrés dans la Figure 11-35.

- Largeur de la crête : 4,0 m
- Planche libre : 1,0 m
- Gradient de pente : 1 (vertical) : 2,0 (horizontal)

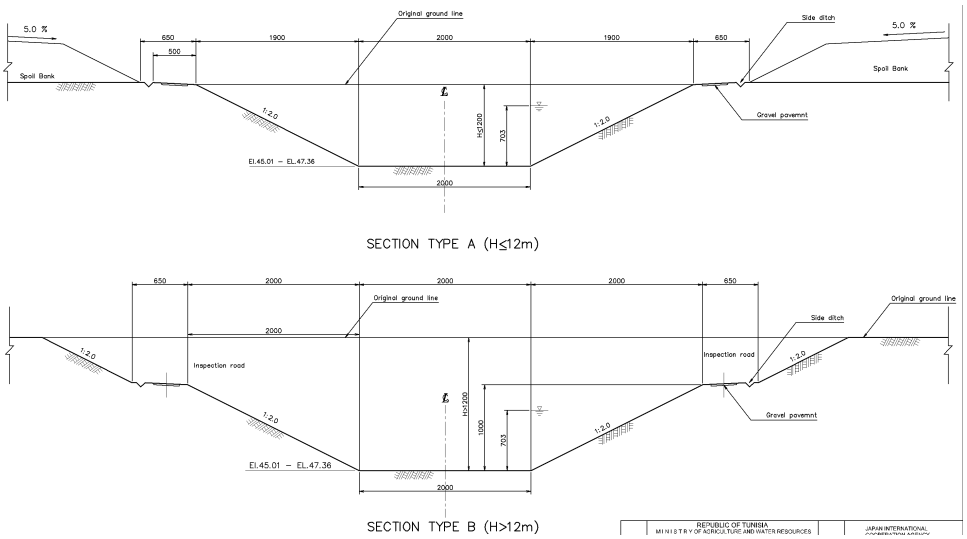
La section transversale type dans le plandirecteur est illustrée dans la Figure 11-35. La coupe transversale typique du cours d'eau Medjez Elbab est illustrée dans Figure 11-36. Le cours d'eau Medjez Elbab est un canal ouvert avec une longueur de canal de 5 km, une largeur de canal d'environ 80 m et une pente de canal de 1/3000.



Excavation du canal de l'oued

Source : L'étude sur la gestion intégrée des bassins axée sur la prévention des inondations dans la Mejerda (Plan Directeur), JICA (2008)

Figure 11-35 Coupe transversale typique du canal de dérivation proposée dans le Plan Directeur



Source : L'étude sur la gestion intégrée des bassins axée sur la prévention des inondations dans la Mejerda (Plan Directeur), JICA (2008)

Figure 11-36 Coupe typique du canal de dérivation proposé dans le Plan Directeur

(3) Sections transversales proposées dans cette étude

1) Caractéristiques de la section transversale se basant sur la forme stable

Comme décrit dans la section 9.4.2, la sédimentation dans la zone D1 montre que, par rapport aux autres sections, il y a eu peu ou pas de sédimentation significative sur la terrasse et le lit de l'oued en dessous du niveau d'eau de 100m^3/s dans la section de l'oued après la confluence de l'oued Siliana (120km-140km). Cela suggère que la forme du canal de cette section est une forme transversale stable qui empêche l'accumulation du flux de sédiments. Une section transversale typique (MD30) a été sélectionnée comme référence pour la planification de la section transversale, et ses caractéristiques transversales ont été confirmées. Les caractéristiques de la section transversale représentative sont les suivantes : aucune sédimentation significative n'a été observée entre 2007 et 2020, et la forme de la section transversale sous le niveau d'eau de 100m^3/s a été confirmée comme ayant environ 30m de largeur et 3m de profondeur. Après avoir confirmé d'autres formes de section transversale dans la section, il a été constaté que la forme stable était similaire à la section transversale typique. Sur la base de cette caractéristique, la validité de la section transversale prévue est examinée dans la section suivante.

2) Planification de la Section transversale

La planification de la Section transversale de la zone D1 sera considérée sur la base de la politique de base susmentionnée et des caractéristiques d'une forme transversale stable, tout en tirant parti de la forme actuelle du canal de l'oued pour créer une forme transversale appropriée. Les caractéristiques de la section transversale projetée sont les suivantes:

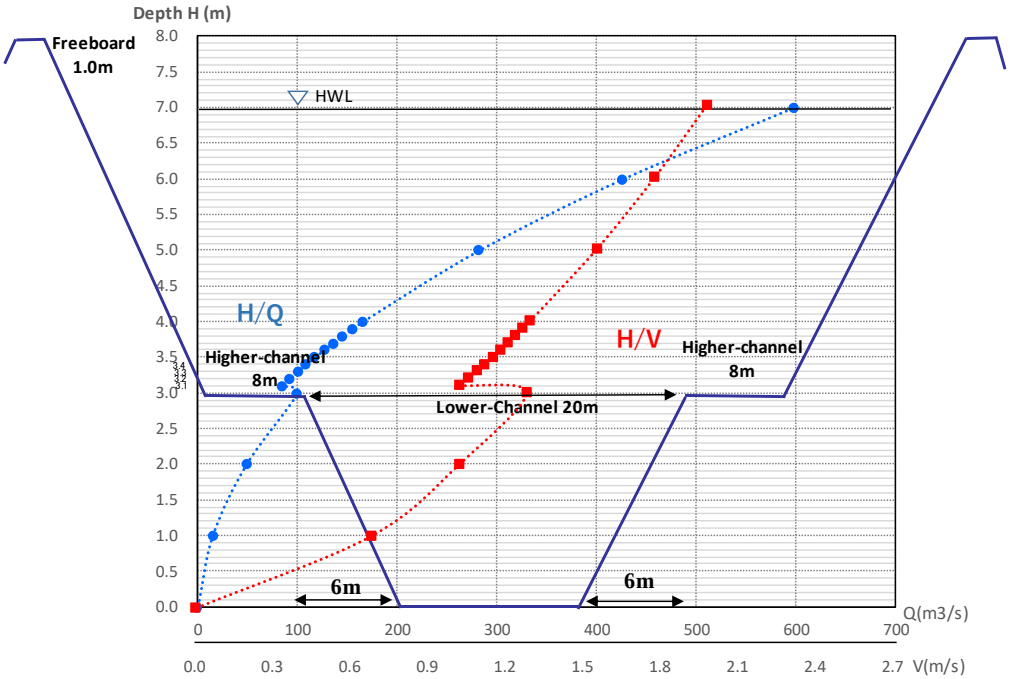
- La section transversale est conçue pour être capable de supporter la crue de conception de 600m^3/s. La capacité d'écoulement du canal bas est fixée à environ Q=100m^3/s.

- La section transversale du canal bas a été conçue pour permettre à l'oued de couler à tout moment, car le débit moyen inférieur à 100m^3/s est d'environ 355 jours/365 jours, sur la base du débit annuel du barrage de Sidi Salem. (Voir Figure 9-52, Figure 9-51). La Figure 9-53 présente un diagramme de la relation entre la turbidité et le débit de l'oued à l'entrée du barrage de Sidi Salem. Comme la turbidité diminue à des débits inférieurs à 100 m^3/s, cela signifie que la sédimentation dans le canal de l'oued commence et que la turbidité diminue. Par conséquent, il est approprié que si le canal supérieur est aménagé avec des débits supérieurs à 100 m^3/s pour éviter le dépôt de sédiments, et que les débits inférieurs à cette valeur passent par le canal inférieur.

- La section transversale du canal bas est prévue pour être de 32m de large et 3m de profondeur, ce qui est presque la même que la section transversale de la forme stable (environ 30m de large et

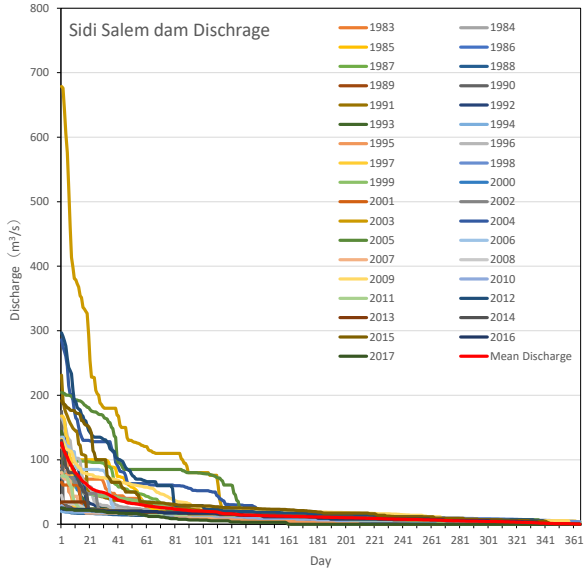
3m de profondeur) dans la section transversale étudiée, comme mentionné ci-dessus.

- En considération de l'entretien du canal de l'oued, une largeur de canal supérieure d'environ 8m a été fixée.



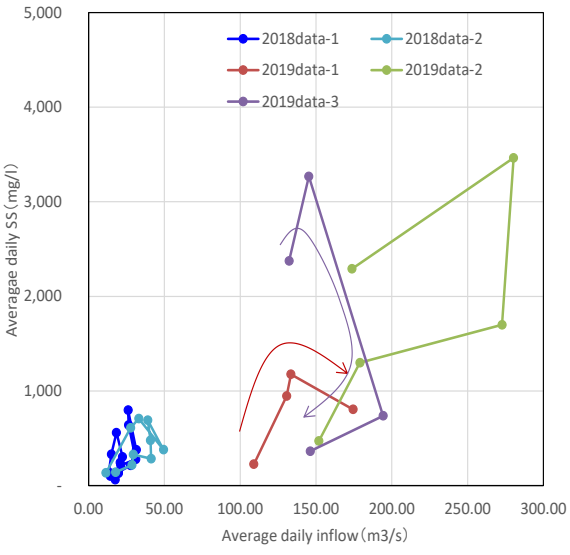
Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-37 Section transversale prévue dans la zone D1



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-38 Débit d'évacuation du barrage de Sidi Salem



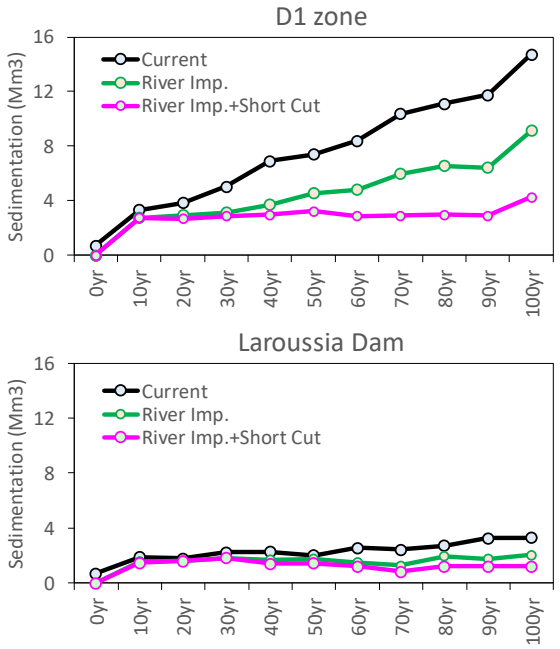
Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-39 Relation entre la turbidité et le débit de l'oued à l'entrée du barrage de Sidi Salem

(4) Fluctuation du lit de l'oued de la section transversale prévue dans la zone D1

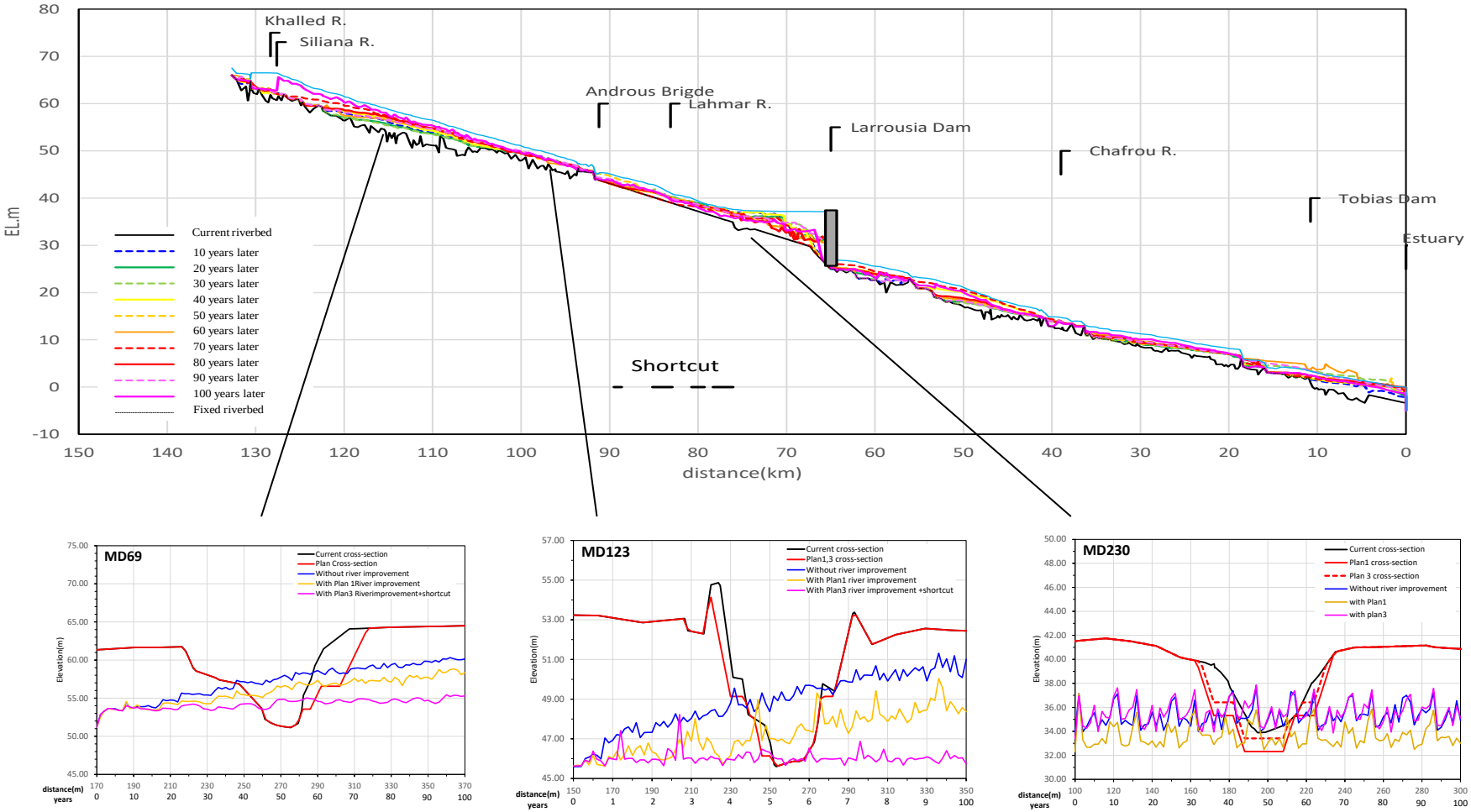
Afin d'examiner la pertinence de la forme de la section transversale du plan, une analyse des inondations et une analyse de la fluctuation du lit de l'oued ont été utilisées pour confirmer l'efficacité de l'aménagement de l'oued dans la réduction des dommages causés par les inondations et des changements de sédimentation de l'oued. Les détails sont expliqués dans la section suivante.

Dans cette section, nous comparons brièvement les conditions de sédimentation dans le plan actuel et le plan d'aménagement de l'oued sur la base des résultats de la prédiction des changements futurs de sédimentation après 100 ans, comme décrit ci-dessous. La Figure 9-54 montre le dépôt de sédiments après 100 ans et la comparaison de l'oued actuel et du plan d'aménagement de l'oued après 100 ans de prévisions de sédiments à la section transversale typique (Figure 9-55). Les résultats confirment que la mise en œuvre de l'aménagement de l'oued stabilisera le canal de l'oued en réduisant l'élévation du lit de l'oued. Dans le cas du raccourci, la puissance de traction du canal fluvial est augmentée, ce qui réduit davantage l'élévation du lit de l'oued et le dépôt de sédiments dans le canal fluvial.



Source: Equipe d'Etude de la JICA

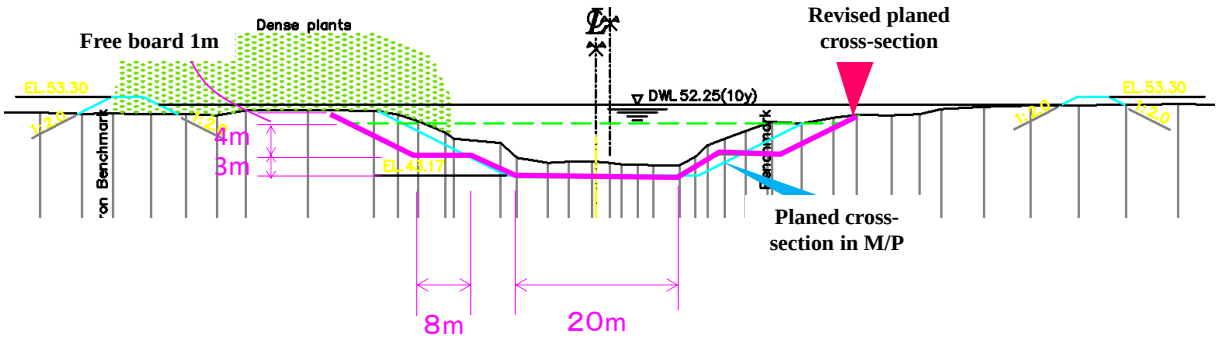
Figure 11-40 Estimation de la sédimentation future dans la zone D1



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-41 Comparaison de la section transversale actuelle de l'oued et celle prévue après 100 ans de prévisions de sédimentation

Les sections transversales typiques prévues sont les suivantes. La pente de la digue est de 20% (1 (vertical):2 (horizontal)) pour les pentes avant et arrière comme dans le plan directeur (M/P). La largeur du sommet de la digue est de 4,0 m, conformément à l'article 21 de l'ordonnance gouvernementale relative à la norme structurelle des installations d'administration fluviale au Japon. La hauteur prévue de la digue est fixée au niveau de la haute mer prévue plus la revanche. Sur la base des résultats de l'étude comparative décrite au point 11.7, le plan 3 est adopté pour le niveau des hautes eaux prévu. La hauteur de la revanche est de 1,0 m, ce qui correspond au débit de conception prévu de 500 m3/s à 2000 m3/s, conformément au même article 20.



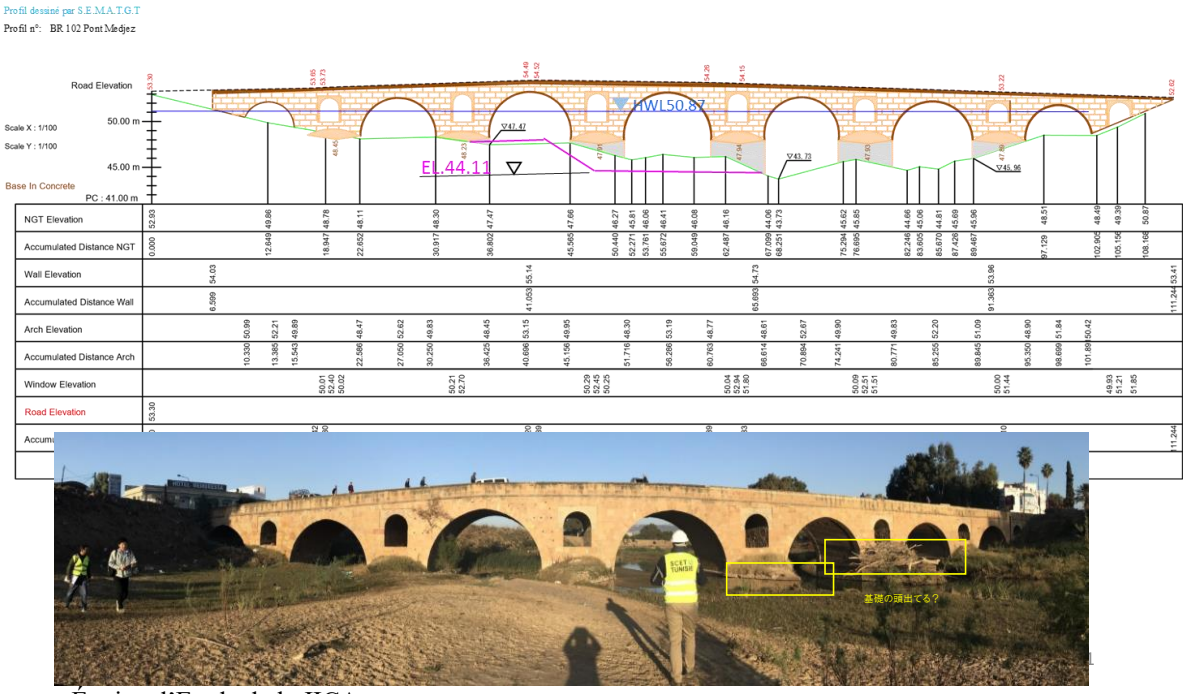
Source: Équipe d'étude de la JICA

Figure 11-42 Coupe transversale type projetée dans cette étude

11.5 Ouvrage de dérivation au pont Andalou

Dans les environs de Medjez EL Bab, l'étranglement est le pont Andalou en tant que patrimoine historique. A la demande de la partie tunisienne, ce pont historique doit être conservé dans son emplacement d'origine.

Le canal de dérivation Medjez EL Bab proposé a été proposé dans le Plan Directeur pour réduire le risque d'inondation dû au manque de capacité d'écoulement au pont historique. Cependant, cette proposition présente un certain nombre de défis liés aux coûts de construction, à l'acquisition de terrains et aux aspects environnementaux. Les défis du canal de dérivation Medjez EL Bab proposé en ce qui concerne l'utilisation actuelle des terres et la topographie sont identifiés et des alternatives sont étudiées.



Source : Équipe d'Etude de la JICA

Figure 11-43 Pont historique andalou (vu de l'amont)

11.5.1 Enjeux du projet de canal de dérivation Mejez EL Bab

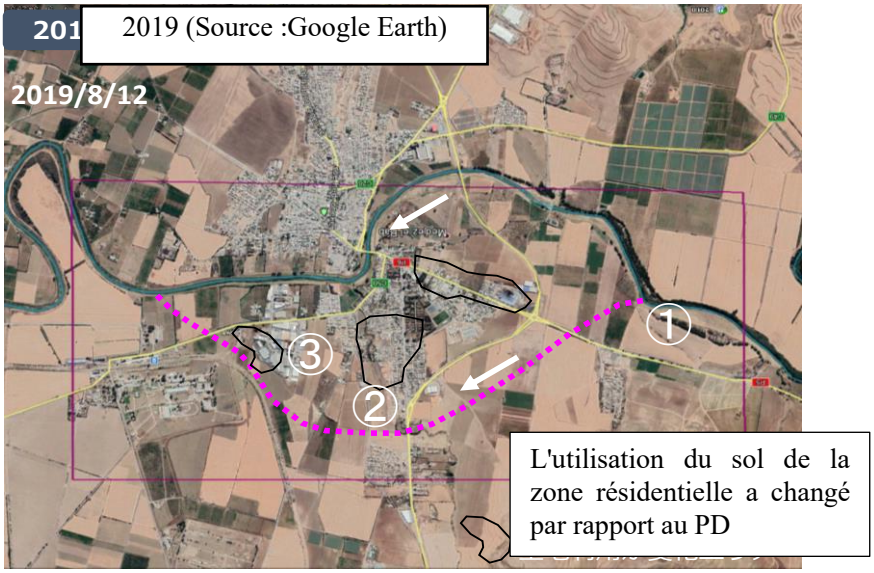
Le canal de dérivation Mejez EL Bab proposé dans le Plan Directeur est un canal à ciel ouvert d'une longueur d'environ 5 km pour éviter la zone urbaine et d'une largeur de 80 m. Les problèmes suivants peuvent être résumés pour cette proposition en raison des changements d'utilisation des terres et des caractéristiques topographiques.

- Le coût d'acquisition du site est important en raison des changements d'affectation des terres. L'état actuel de l'utilisation des terres est indiqué dans Figure 11-44. Les ponts nécessaires à la construction du canal de dérivation sont indiqués dans Figure 11-46. Les bâtiments et l'utilisation des terres ont changé depuis la création du Plan Directeur. Cela entraînerait des coûts importants pour l'acquisition du site pour le projet de canal de dérivation Mejez EL Bab.
- Dans le Plan Directeur, une grande partie du canal de dérivation Mejez EL Bab longe le flanc de la montagne. Par conséquent, il est supposé qu'un grand volume d'excavation sera nécessaire. (Voir Figure 11-45.)
- La différence d'élévation entre l'entrée et la sortie du canal de dérivation Mejez EL Bab est faible. La pente du lit de l'oued est de 1/3000. Par conséquent, la largeur de la section transversale du canal doit être augmentée pour assurer une capacité d'écoulement suffisante. Une largeur transversale d'environ 70,0 m ou plus est requise.

Vue autour de l'entrée du canal de dérivation

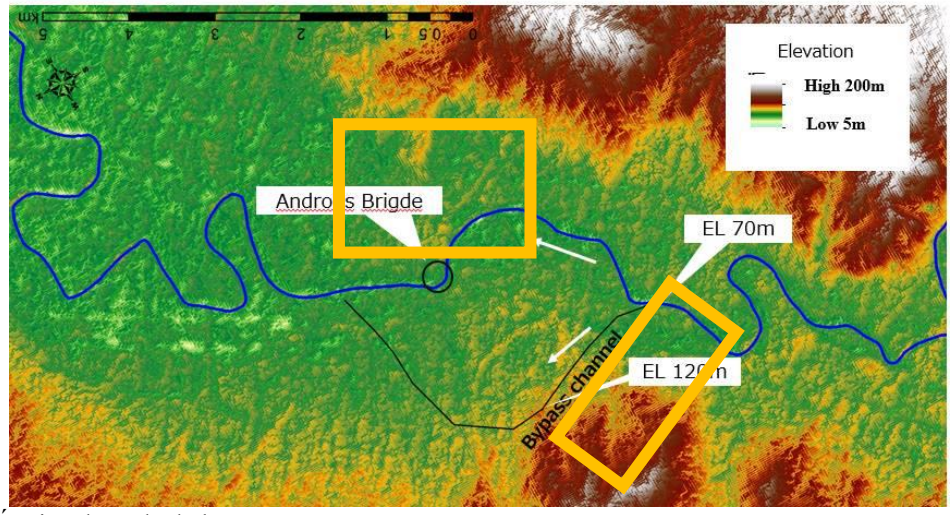
Vue du dalot existant

Vue sur l'oliveraie



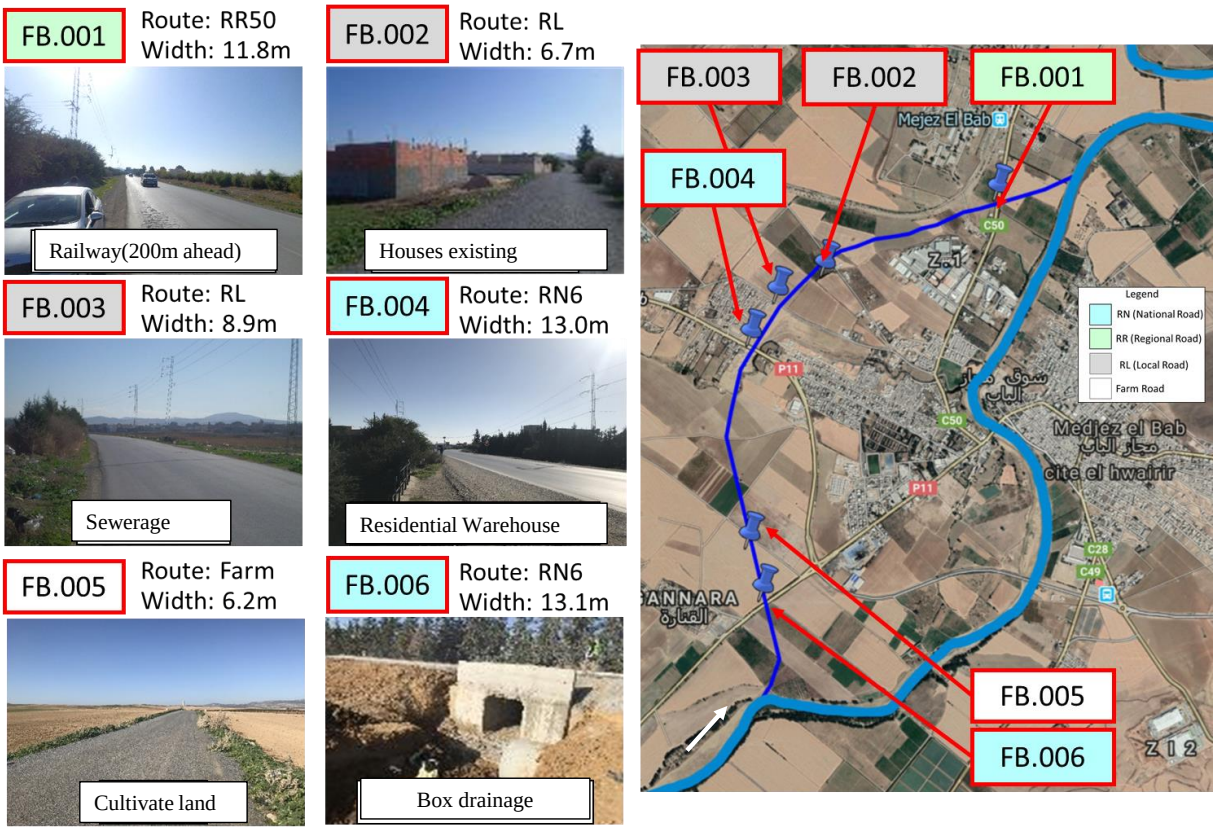
Source : Équipe d'Etude de la JICA

Figure 11-44 Photographie de l'utilisation actuelle des terres



Source : Équipe d'Etude de la JICA

Figure 11-45 Terrain actuel (ASTER DEM)



Source : Équipe d'Etude de la JICA

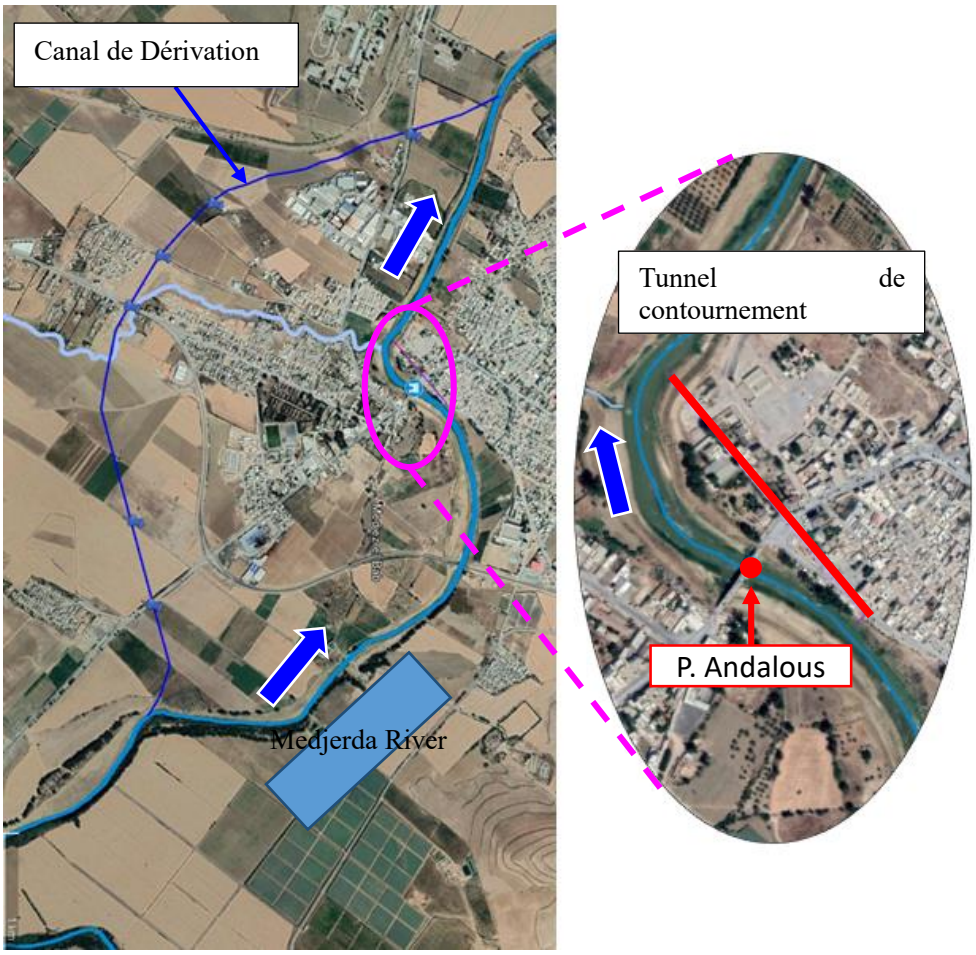
Figure 11-46 Ponts requis pour la construction d'un canal de dérivation par le Plan Directeur

11.5.2 Cannal de dérivation Mejez EL Bab comme alternative

(1) Mesures considérées

Les directives du Plan Directeur, établi précédemment, ont proposé la mise en œuvre d'un canal de dérivation à ciel ouvert, hors zone urbaine, comme mesure de réduction des risques d'inondation causé par l'insuffisance de la capacité hydraulique due au pont existant (Figure 11-47, Figure gauche). Le Plan Directeur prévoit un canal d'environ 5km de longueur et 70m de largeur pour niveler le lit de l'oued à 1/3000 en raison de la topographie plate. Cependant, la construction du canal fait face à de nombreux problèmes, notamment en termes de coûts de construction, d'acquisition de terrain et d'impact environnemental.

Ainsi, dans le cadre de cette étude, un plan alternatif est examiné, consistant à la construction d'un tunnel, ci-après dénommé Tunnel de Dérivation, sous la route existante en rive droite pour satisfaire le débit insuffisant (Figure 11-47, Figure droite ci-après dénommé "canal de dérivation du Mejez (tunnel)").



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-47 Comparaison du Canal de Dérivation et du Cannal de contournement

(2) Examen de la solution 1 ; dérivation en canal ouvert

La conception du canal de dérivation a été déterminée de sorte à compenser le manque de la capacité d'écoulement dans la section transversale de l'oued autour du pont-route N° 102.

Débit de conception : Q=250m^3/sec (période de retour de 10 ans)

Largeur du Canal : 71 m (Figure 11-14)

Nombre de pont : 6 (Figure 11-15)

Pente de canal : 1/3000

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-48 Emplacement des Ponts pour la Proposition 1 – Canal de Dérivation

(3) Conditions de conception du tunnel de dérivation Mejez EL Bab

Pour l'état hydraulique du tunnel de dérivation Mejez EL Bab, l'échelle du débit d'eau élevé de conception est de 1/10 ans. Sur la base de l'échelle de l'installation de dérivation, le débit au pont historique andalou est de Q=400m^3/s et le débit de dérivation en amont du pont est de Q=200m^3/s.

Pour que le tunnel de dérivation de Mejez EL Bab puisse fournir le débit requis de 200m^3/s, un gradient de niveau d'eau de 1,0m est nécessaire en amont et en aval du tunnel de dérivation. A cet effet, un seuil de terre comme structure de chute est prévu en aval du pont historique sur le cours d'eau principal. De plus, afin d'atteindre un débit de 400m^3/s dans l'oued principal, il est nécessaire d'élargir la section transversale dans la section en aval du pont historique ou de raccourcir le canal en aval pour augmenter la pente du lit de l'oued prévue dans la section en aval. Dans cette étude, l'installation d'un seuil et un raccourci dans le canal aval pour augmenter la pente du lit prévue dans la section aval ont été proposés. Une vue d'ensemble de la variante proposée du tunnel de dérivation de Mejez EL Bab est présentée à la Figure 9-65.

- Le tunnel de contournement de Medjez EL Bab sera construit sous la route existante, sur la rive droite du pont historique.
- Capacité d'écoulement du tunnel : Q=200m^3/s ; longueur du canal du tunnel : L=428,5m ; largeur du tunnel : B=10m ; hauteur du tunnel : H=7m.
- Largeur du tunnel : B=10m ; Hauteur du tunnel : H=7m ; Gradient du canal du tunnel : 1/480.

(4) Examen de la solution 2 : Tunnel de Dérivation

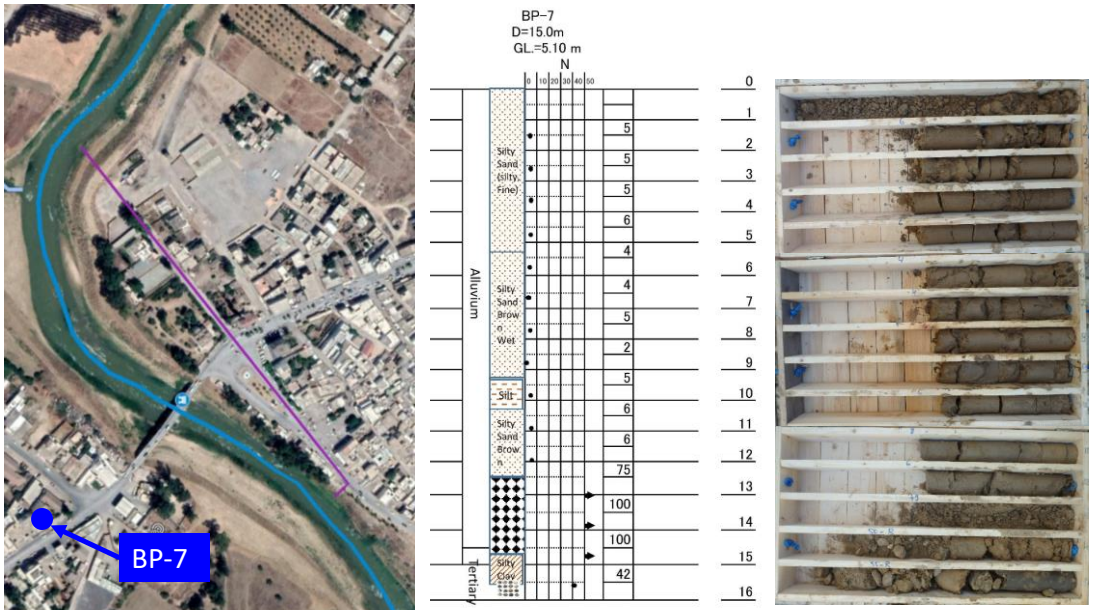
1) Caractéristiques de la section interne

Puisque le canal de dérivation a été planifié dans un endroit peu profond de la surface du sol, directement sous la route existante, le tunnel de dérivation prévoit une section transversale en caisson au lieu de la section transversale circulaire de tunnel blindé. La section intérieure a été déterminée de sorte à avoir la même capacité d'écoulement que celle du canal de dérivation proposé dans le Plan Directeur et la largeur intérieure a été définie en tenant compte de la largeur de la route existante. La pente du tunnel a été définie en tenant compte de la surélévation du niveau d'eau en amont lors de crues.

- Débit de conception: Q=200m^3/sec (Crue décennale)
- Largeur interne: 10m (Définie à partir de la largeur de la route existante)
- Hauteur interne: 7m
- Pente longitudinal: 1/480

2) Conditions Géologiques

Les résultats des forages, menés sur les sols se trouvant à 100m du site du canal prévu pour le tunnel de dérivation, sont présentés sur la Figure 11-49. La structure géologique se compose d'alluvionnaires (sable à limon) avec une valeur N inférieure à 10 à partir de la surface jusqu'à la profondeur de 12m, Les couches de plus de 12 m de profondeur sont constituées de dépôt tertiaire avec des valeurs N de plus de 40.

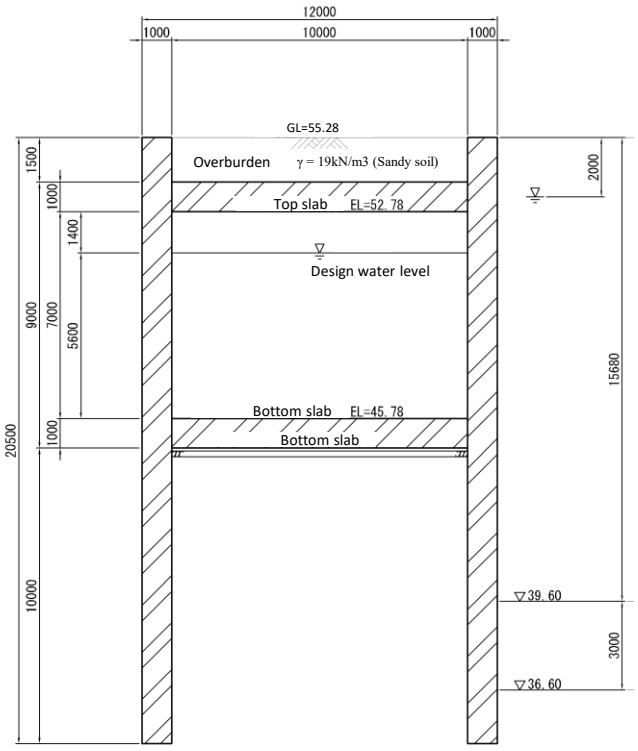


Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-49 Résultats Géologiques dans le Périmètre du Projet de Canal Tunnel

3) Section Type

La section Type du canal de dérivation déterminée par une étude de structure approximative est présentée sur la Figure 11-50.



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-50 Section Type du canal de Dérivation

4) Politique de Sélection de la Technique de Construction

Lors de la construction d'un tunnel de dérivation situé dans un quartier résidentiel, il est souhaitable de favoriser l'utilisation un mode de construction n'affectant pas les structures existantes le long de la route, y compris les équipements publics. Une liste de conditions à prendre en compte lors de la sélection de la méthode de construction est donnée dans ce qui suit :

- Il est nécessaire de sécuriser un chantier sur la route actuelle pour la construction dans la zone étroite du centre-ville.
- Compte tenu de l'impact sur les structures existantes le long de la route, y compris les équipements publics pendant la construction, il est difficile de réaliser la construction par excavation ordinaire à ciel ouvert, et des soutènements sont nécessaires.
- Le soutènement par palplanches en acier ne convient pas pour les raisons suivantes :
  - En Tunisie, les palplanches en acier sont généralement enfoncées par des méthodes d'impact ou de vibro-marteau, ce qui peut provoquer des vibrations et du bruit lors du battage et de l'arrachage, et des déplacements du terrain environnant pouvant nuire aux structures existantes.
  - La rigidité des palplanches en acier étant faible, des pieux supports et intermédiaires sont nécessaires lorsque la profondeur d'excavation est de 7 à 8 m avec une largeur de 10 m. Par conséquent, la maniabilité pendant la construction de caisson est plus faible.
  - On suppose que le niveau de la nappe phréatique se situe à 2-3 m sous la surface du sol et est lié au niveau de l'oued. Il est difficile d'assurer les performances d'étanchéité des palplanches en acier uniquement, et des méthodes supplémentaires pour abaisser le niveau des eaux souterraines, telles que la méthode des puits profonds, seront nécessaires.
- La méthode de construction à appliquer sera déterminée en tenant compte de l'adoption de la technologie japonaise ainsi que des méthodes conventionnelles locales. Les éléments à comparer comprennent l'efficacité économique, la maniabilité et la qualité.

5) Comparaison des Méthodes de Construction

Les quatre méthodes suivantes sont comparées selon les critères de sélection mentionnés ci-dessus.

- Plan A : Méthode de bouclier ouvert (technologie japonaise)

Il s'agit d'une méthode d'implémentation de ponceau rectangulaire dans le sol en utilisant une machine spéciale à bouclier ouvert et en répétant le processus d'excavation, d'installation du ponceau rectangulaire et de remblayage de la partie supérieure du ponceau rectangulaire.

- Plan B : Méthode des pieux en BP de section en H (technologie japonaise)

Un mur de soutènement en terre est construit par battage d'une série de pieux en PC de section en H à l'aide d'une excavatrice à tarière. Le mur de soutènement est utilisé comme paroi latérale du caisson, et après avoir excavé l'intérieur, les dalles supérieure et inférieure sont rigidement reliées aux parois latérales pour former la section du caisson.

- Plan C : Méthode de coupe par rotation pressante (technologie japonaise)

Il s'agit d'une méthode de construction d'un mur de soutènement en terre par battage rotatif continu de pieux tubulaires en acier à l'aide d'une machine spéciale de battage. Le mur de soutènement est utilisé comme paroi latérale du caisson, et après avoir excavé l'intérieur, les dalles supérieure et inférieure sont rigidement reliées aux parois latérales pour former la section du caisson.

- Plan D : Méthode de paroi moulée coulée en place (méthode conventionnelle en Tunisie)

Le mur de soutènement est construit en creusant une tranchée avec une excavatrice spéciale, en insérant des barres d'acier assemblées en forme de cage, puis en coulant du béton. Le mur de soutènement est utilisé comme paroi latérale du caisson, et après avoir excavé l'intérieur, les dalles supérieure et inférieure sont rigidement reliées aux parois latérales pour former la section du caisson.

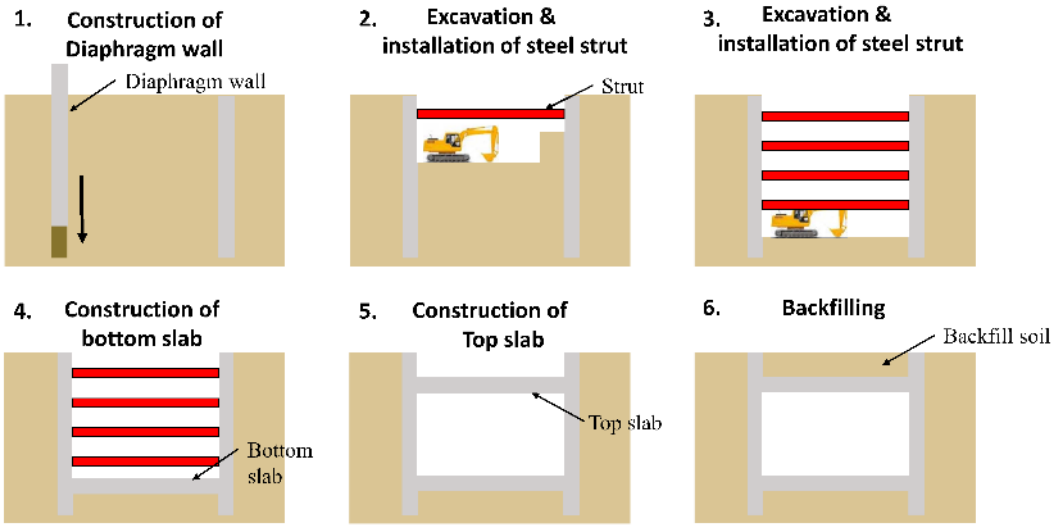
Les résultats de l'étude comparative sont présentés sur le Tableau 11-22.

Tableau 11-22 Comparaison des Méthodes de Construction du Canal Tunnel

Plan	Technologie Japonaise			Méthode conventionnelle en Tunisie
	Plan A : méthode du bouclier ouvert	Plan B : Méthode des pieux béton précontraint en forme de H	Plan C : méthode d'insertion par coupe rotative	Plan D : Méthode de paroi moulée coulée sur place
Vue générale				
Quantité principale	Dalots : env. 430m	Piles en béton précontraint en forme de H : Environ : 1000 Dalle en béton renforcé (haut et bas) : env. 10m x 430m	Pieu en tube d'acier : env. : 1500 Dalle en béton renforcé (haut et bas) : env. 10m x 430m	CasParoi moulée in situ : env. 860m Dalle en béton renforcé (haut et bas) : env. 10m x 430m
Qqualité	Les dalots sont des produits préfabriqués, on peut donc s'attendre à une qualité élevée.	Les parois latérales sont préfabriquées, on peut donc s'attendre à une haute qualité.	Les parois latérales sont des tuyaux en acier, donc une haute qualité est attendue.	Étant donné que tous les travaux doivent être effectués sur place, une plus grande certitude dans la supervision de la construction est requise que dans d'autres plans.
Maniabilité	La machine à bouclier ouvert a une plaque inférieure et une cloison, de sorte que l'impact sur le sol à proximité est faible. ● Un chantier de construction plus long est nécessaire	Les pieux en béton précontraint en forme de H ont une grande rigidité et moins d'impact sur le sol environnant ● Grande machine d'installation	Haute rigidité des pieux tubulaires en acier et faible impact sur le sol environnant. ● Peut être construit dans une cour compacte.	Concernant l'effet sur le sol à proximité jusqu'au développement de la résistance après le coulage. ● Engins de chantier plus gros
Maintenance	Étant donné que le dalot est fait de béton préfabriqué, l'effet de détérioration au fil du temps est minime.	Le coût de maintenance des dalles coulées sur place est plus élevé en cas de défaillance initiale.	Les parois latérales nécessitent plus d'entretien que les autres plans car l'acier est exposé.	Étant donné que tous les éléments de la structure sont coulés sur place, toute défaillance initiale entraînera des coûts de maintenance élevés.
Économie	2.15	1.30	1.28	1.00
Évaluation	Pas économique Moins avantageux à adopter en raison de la disponibilité d'itinéraires alternatifs à proximité	Pas économique Les gros engins de chantier rendent la construction dans des espaces étroits inadaptée.	Pas économique	<Adopter> Excellente efficacité économique Les méthodes de construction conventionnelles en Tunisie garantissent la qualité sous une supervision de construction appropriée.

Source: Equipe d'Etude de la JICA

L'équipe de la JICA a recommandé le « Plan D : méthode de paroi moulée coulée sur place (méthode conventionnelle en Tunisie) » vue son aspect économique et la présence de plusieurs entrepreneurs locaux avec une expérience avérée et pouvant garantir la qualité sous une supervision de construction appropriée. Le MoA a accepté ce résultat lors de la consultation avec l'équipe d'étude de la JICA. La procédure de construction du plan adopté est illustrée sur la Figure 11-51.



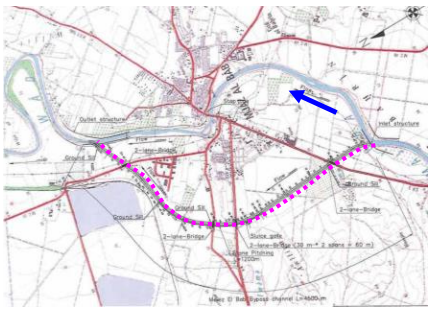
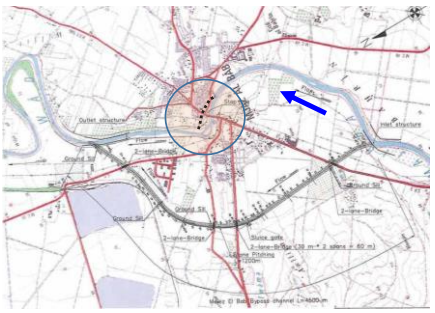
Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-51 Etape de construction par la méthode de paroi moulée coulée sur place

(5) Comparaison entre le Canal de contournement et le Canal de dérivation (Tunnel)

Les résultats de la comparaison économique sont présentés sur le Tableau 11-23. A la suite de l'étude, l'équipe d'étude de la JICA a recommandé « Alternative-2 : Tunnel , qui ne nécessite pas d'acquisition de terrain et est plus économique, et elle a été approuvée par consultation avec le MOA.

Tableau 11-23 Comparaison entre le canal de dérivation et le tunnel

	Alternative-1; Canal de contournement ouvert	Alternative-2; Canal de dérivation (Tunnel)
Vue en plan		
Travaux de construction majeurs	Canal ouvert : Environ 5 km 6 nouveaux ponts	Mur-diaphragme en béton armé (des deux côtés) : 430m Dalle en béton armé (haut et bas) : 430m
Avantages	・Le manque de capacité de débit près du déversoir de la prise d'eau en amont du pont historique sera résolu. ・Comparativement facile à construire en raison du canal ouvert. ・Relativement facile à entretenir	・Une longueur de canal plus courte ・La partie supérieure du tunnel peut être utilisée.
Défis	・L'acquisition de terrains privés sera nécessaire. ・De nouveaux ponts et ponceaux seront nécessaires aux croisements de routes.	・Des méthodes de construction appropriées doivent être examinées ・Le tunnel doit être bien entretenu ・Il est nécessaire de sécuriser la pente de la surface de l'eau entre les extrémités amont et aval.
Efficacité économique (coût de construction initial)	4,300M JPY 109M TND	1,800M JPY 45M TND
Evaluation	● Pas économique ● De nombreux problèmes doivent être résolus, non seulement le coût de la construction, mais aussi l'acquisition de terrains et l'impact environnemental.	<Adoption> ● Supérieur sur le plan économique ● Ne nécessite pas l'acquisition de terres

**: 1 JPY = 0.025 TND*

Source: Equipe d'Etude de la JICA

(6) Examen hydraulique du tunnel de dérivation de Mejez EL Bab

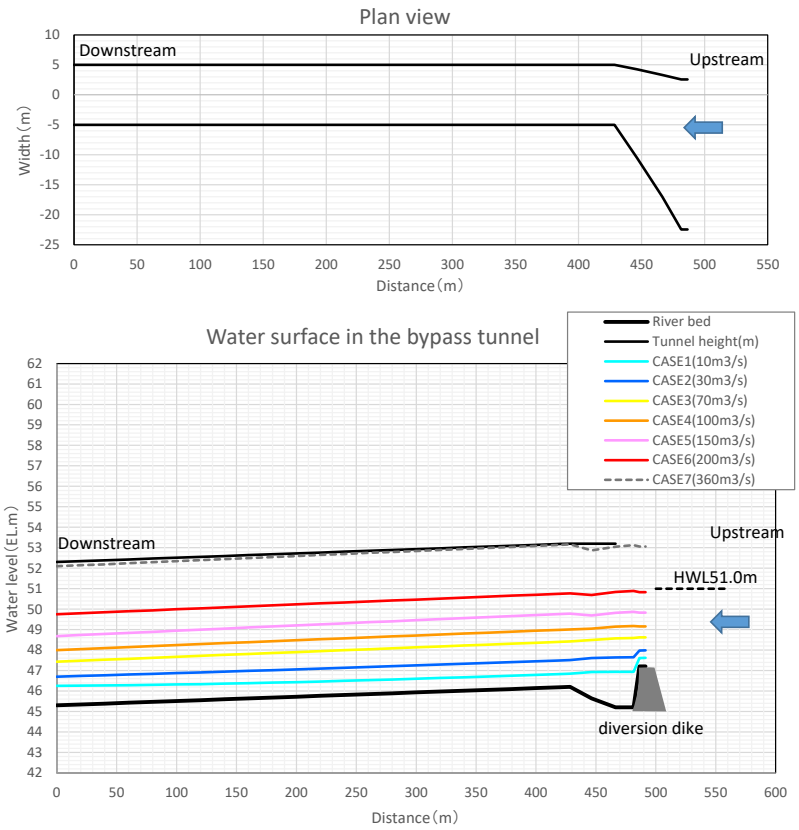
Le calcul hydraulique est mis en œuvre dans le tunnel de dérivation de Mejez EL Bab. Les conditions hydrauliques sont indiquées ci-dessous. Les conditions de niveau d'eau calculées sont déterminées avec les calculs de débit non uniforme dans le Plan-3. Le résultat permet une différence de niveau d'eau d'environ 1,0 m entre les extrémités supérieure et inférieure du tunnel. Afin de confirmer avec certitude les conditions d'écoulement dans le tunnel de dérivation de Medjez EL Bab, une analyse tridimensionnelle de l'écoulement sera effectuée.

Tableau 11-24 Hypothèses pour les calculs hydrauliques dans le tunnel de dérivation

No	Elément	Hypothèses
1	Méthode de calcul	Calcul de débit non uniforme
2	Section calculée	Installation du tunnel de dérivation de Medjez EL Bab
3	Canal projeté	Structure proposée de l'installation de dérivation du tunnel de dérivation de Medjez EL Bab
4	Débit	W=1／10 ans (200m^3/s)（10,30,70,100,150,200,360）
5	Coefficient de rugosité	0,020
6	Calcul du niveau d'eau initial du débit non uniforme	Le niveau d'eau du canal principal à l'extrémité aval de la section d'étude (tel que déterminé par les calculs de débit non uniforme dans le Plan-3)
8	Pente du lit de l'oued	Tunnel de dérivation : 1/480

Source : Équipe d'Etude de la JICA

Les résultats du calcul hydraulique et de la conception du tunnel dans le tunnel de dérivation de Mejez EL Bab sont présentés ci-dessous. Un débit de 200 m^3/s dans la dérivation peut être assuré.



Source : Équipe d'Etude de la JICA

Figure 11-52 Résultat des calculs hydrauliques pour le tunnel de dérivation Mejez EL Bab

Les résultats de l'analyse tridimensionnelle de l'écoulement près du pont historique et dans le canal de dérivation (tunnel) sont présentés ci-dessous. Les résultats des calculs confirment que la dérivation de la rivière principale peut être réalisée.

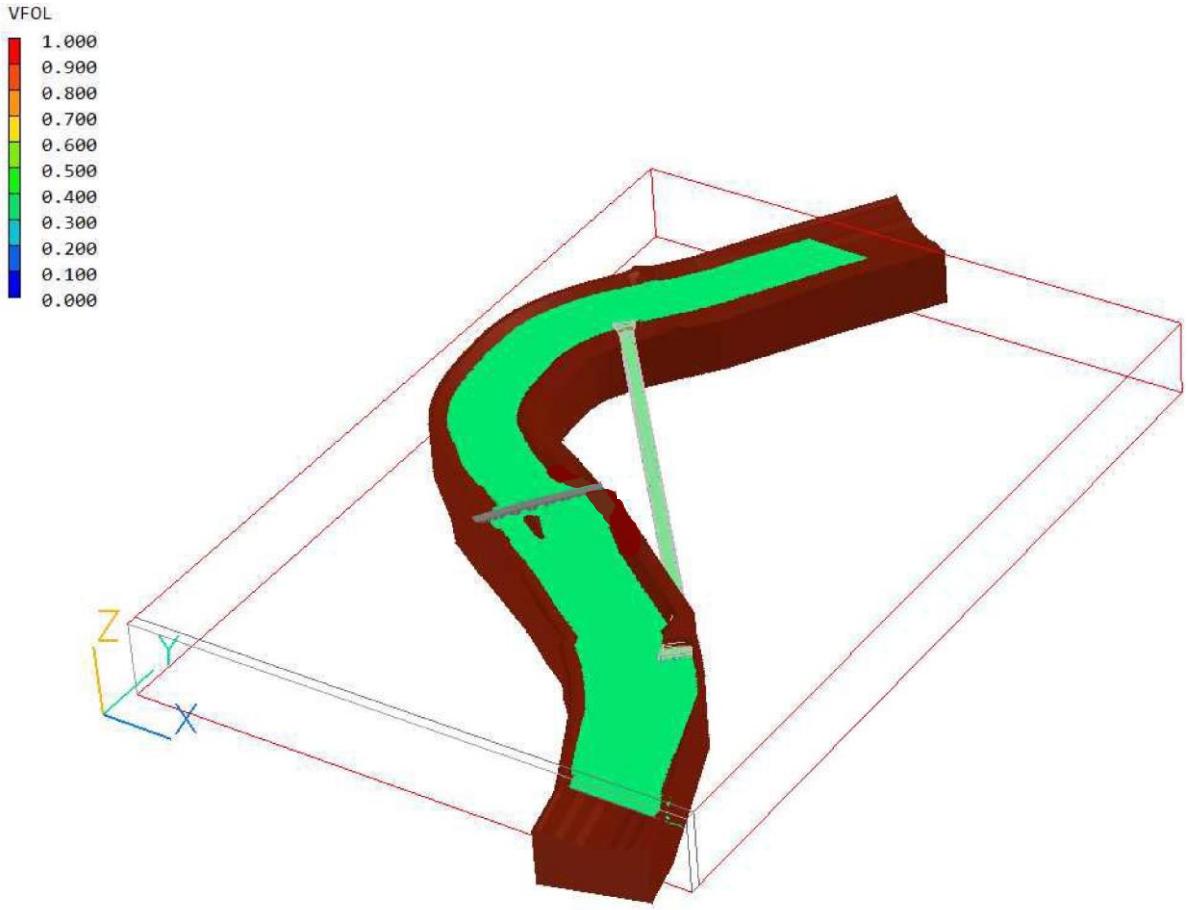
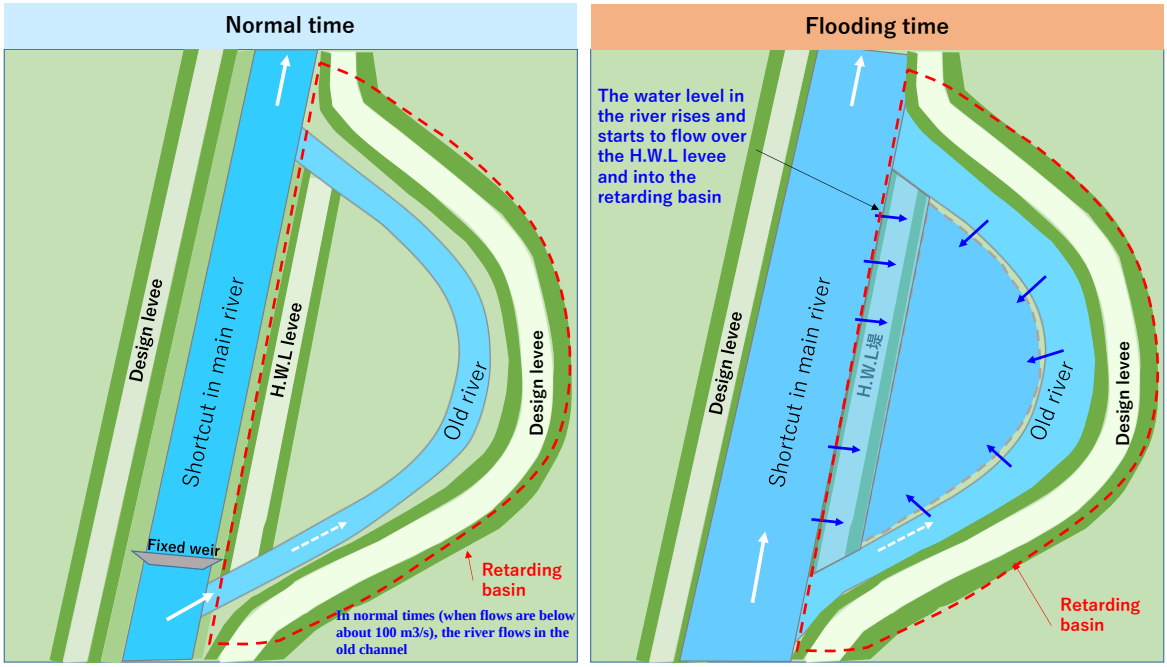


Figure 11-53 Les résultats de l'analyse tridimensionnelle de l'écoulement

11.6 Contrôle des crues excessives par bassin de retardement

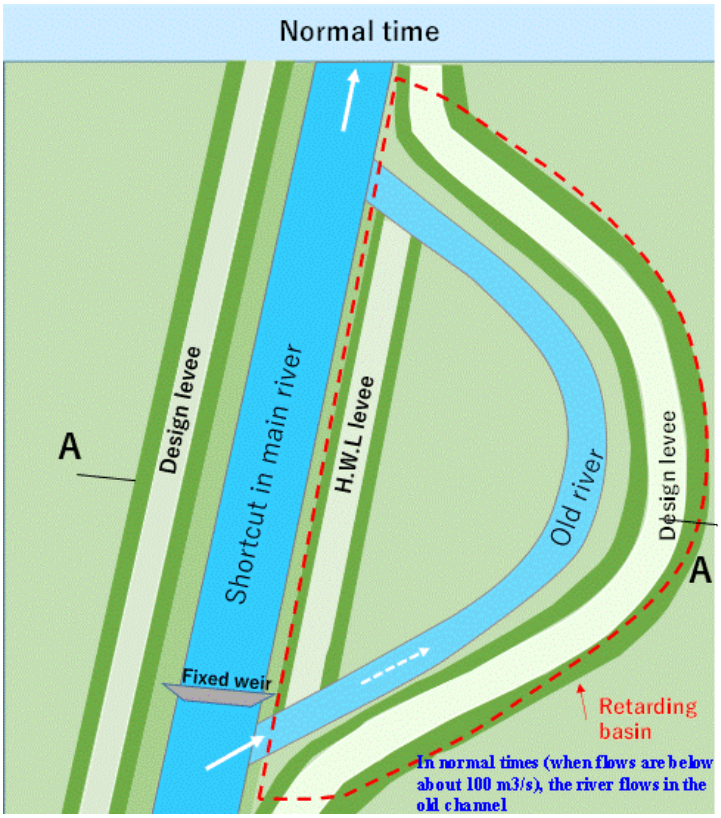
Afin de réduire l'impact sur le canal de l'oued en aval (zone D2) lorsque la zone D1 est canalisée comme décrit précédemment dans le plan, il est prévu que la zone D1 ait un bassin de retardement (1 à 4) afin de minimiser l'impact sur la zone D2 lorsque la crue excessive prévue se produit. La zone proposée est un raccourci du canal. La zone proposée est cohérente avec la section où le raccourcissement du canal de l'oued sera mis en œuvre. Le concept de contrôle de la crue par le bassin de retardement est illustré dans les Figure 11-54 et Figure 11-55.

- Dans la zone de contrôle des inondations, la digue de l'oued de la section de raccourci est abaissée jusqu'au niveau des plus hautes eaux sur le bassin de retardement, de sorte que le canal de l'oued déborde dans le bassin de retardement et les volums de débordement sont temporairement stockés pendant les crues excessives, retardant ainsi le moment du débit de pointe et réduisant le débit de pointe en aval.
- En temps normal (lorsque le débit est inférieur à 100m^3/s), l'oued débite dans l'ancien canal, de sorte que les installations de prise d'eau existantes ne seront pas affectées. En outre, pendant les inondations, lorsque le niveau de l'oued monte et dépasse la digue du niveau du PHE, le système commencera à débiter vers le côté du bassin de retardement.

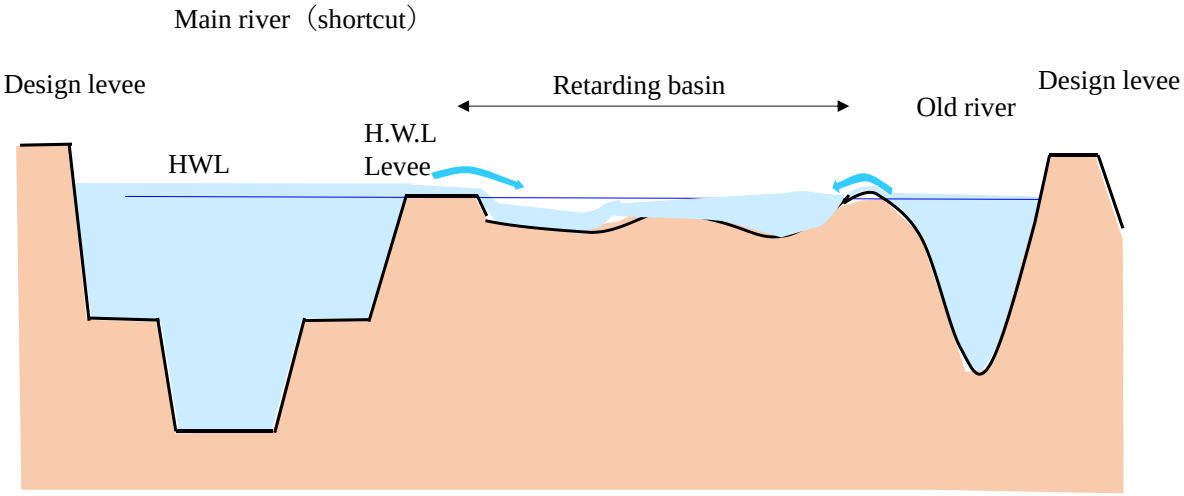


Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-54 Concept d'écrêtement des crues excessives par bassin de retardement



A-A Cross-section



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 11-55 Illustration de la section transversale du bassin de retardement

11.7 Étude comparative des plans proposés

Dans ce qui précède, les formes planes, longitudinales et transversales de chaque plan ont été examinées. En outre, les effets de contrôle des inondations et l'entretien futur de chaque plan ont été comparés et examinés à l'aide de l'analyse des inondations et de l'analyse des fluctuations du lit de l'oued décrites plus loin dans la section suivante. Les résultats de l'étude comparative sont présentés ci-dessous. La sélection finale a été faite en tant que "Plan-3" par les résidents locaux en Tunisie.

Tableau 11-25 Résultats de l'étude comparative sur le Plan d'Amélioration de l'oued en Zone D1

Eléments	Plan d'amélioration de l'oued			
	Plan directeur	Plan-1	Plan-2	Plan-3
Contre-mesure principale	・ Amélioration du canal de l'oued avec excavation, élargissement Canal de dérivation. ・ Capacité de débit insuffisante du tunnel de dérivation de Medjez EL Bab	Amélioration du canal de l'oued Canal de dérivation ou tunnel de dérivation	Plan-1+pente	Plan-2+4 raccourcis
Impact sur les infrastructures publiques existantes	Acquisition de terrain nécessaire en raison de la propriété privée. De nouveaux ponts et dalots sont nécessaires aux franchissements routiers de l'oued et du canal de dérivation	・ Capacité de débit insuffisante du tunnel de dérivation de Medjez EL Bab ・ Pont n°102, AD002, AD003 pont de conduite d'eau	・ Capacité de débit insuffisante du tunnel de dérivation de Medjez EL Bab ・ Pont n°102, AD002, AD003 pont de conduite d'eau	・ Le tunnel de dérivation de Medjez EL Bab aura une capacité de débit suffisante. ・ Pas besoin de remplacer les ponts, les ponts des conduites d'eau, etc.
Effet de lutte contre les inondations	Les dommages causés par les inondations en planifiant les inondations avec période de retour 1/10 de la période de retour peuvent être réduits à zéro.	・ Les dommages causés par les inondations en planifiant les inondations avec période de retour 1/10 de la période de retour peuvent être réduits à zéro.	・ Les dommages causés par les inondations en planifiant les inondations avec période de retour 1/10 de la période de retour peuvent être réduits à zéro.	・ Les dommages causés par les inondations en planifiant les inondations avec période de retour 1/10 de la période de retour peuvent être réduits à zéro. ・ Efficace pour les inondations excessives. ・ Pas d'impact négatif sur la zone D2 aval.
Entretien	・ Une excavation d'entretien est nécessaire.	・ Une excavation d'entretien est nécessaire. ・ Sédimentation du lit de l'oued dans les projections futures : plus que dans le Plan-3	・ Une excavation d'entretien est nécessaire. ・ Sédimentation du lit de l'oued dans les projections futures : plus que dans le Plan-3	・ Une excavation d'entretien est nécessaire. ・ La plus faible quantité de sédimentation du lit de l'oued dans les projections futures
Impact social (acquisition de terres, relocalisation, etc.) (en cours de confirmation)	Acquisition de terrain requise car il s'agit de terrain privé	Acquisition de terrain : réduite	Acquisition de terrain : réduite	Acquisition de terrain : élevé
Analyse économique (Ratio du coût de construction)	1,2	1,0	1,1	1,0
Evaluation	▽	○	△	◎

11.8 Recherche sur le plan d'occupation du sol

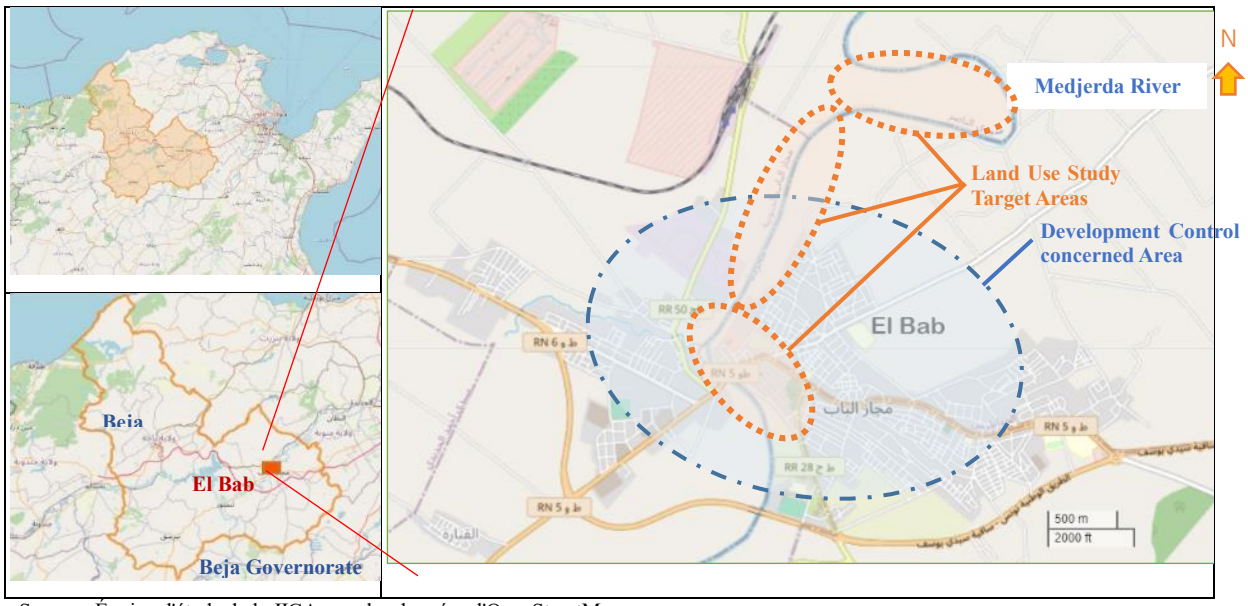
11.8.1 Objectif du plan d'occupation des sols

Ce chapitre illustre l'objectif du plan d'occupation des sols et une recommandation préliminaire pour le futur développement régional, en tenant compte de l'intégration de l'amélioration de l'oued et de la gestion des inondations. En outre, un exercice d'analyse des potentiels du plan d'occupation des sols est présenté afin de discuter des impacts positifs pour activer le développement de la communauté régionale.

L'objectif principal de cette étude est de planifier un aménagement de l'oued afin de réduire et de minimiser les catastrophes naturelles liées aux inondations dans la région cible, en tenant compte de l'analyse des catastrophes liées aux inondations pour des périodes de retour de 10, 50 et 100 ans. À cet égard, les contre-mesures du projet proposé comprennent l'installation de nouveaux dalots de raccourci le long de la Medjerda. La mise en œuvre de l'aménagement de l'oued pourrait avoir un effet de réduction des catastrophes dans la région en réduisant la zone d'inondation et le risque pour les vies humaines avec une profondeur d'inondation moins importante. En réduisant la profondeur d'inondation, une utilisation plus sûre et durable des terres dans la région cible pourrait être augmentée dans des conditions normales, même dans les zones où les risques d'inondation demeurent avec des périodes de retour de 50 et 100 ans.

Il est important de souligner la signification de l'impact du développement de l'aménagement fluvial sur l'économie régionale et de reconnaître la nécessité de mettre en place des réglementations efficaces contre les risques d'inondation qui subsistent dans les régions cibles, ainsi qu'une nouvelle occupation du sol tenant compte de l'aménagement fluvial et de ses contre-mesures. Dans cette perspective, l'impact de l'aménagement de l'oued a été évalué du point de vue du développement régional et des réglementations en matière d'occupation du sol ont également été étudiées en tenant compte des risques d'inondation, en analysant et en identifiant les zones cibles où les risques d'inondation pourraient être réduits et en étudiant les nouveaux modèles d'occupation du sol.

Trois zones cibles pour l'étude d'occupation du sol ont été sélectionnées le long de la Medjerda dans la zone D1 : Une zone dans la ville d'El Bab, une zone au niveau du bassin de rétention au nord d'El Bab, et une zone entre ces deux sites (voir Figure 11-56).



Source : Équipe d'étude de la JICA avec les données d'OpenStreetMap

Figure 11-56 l'occupation des sols de la Zone cible de l'étude

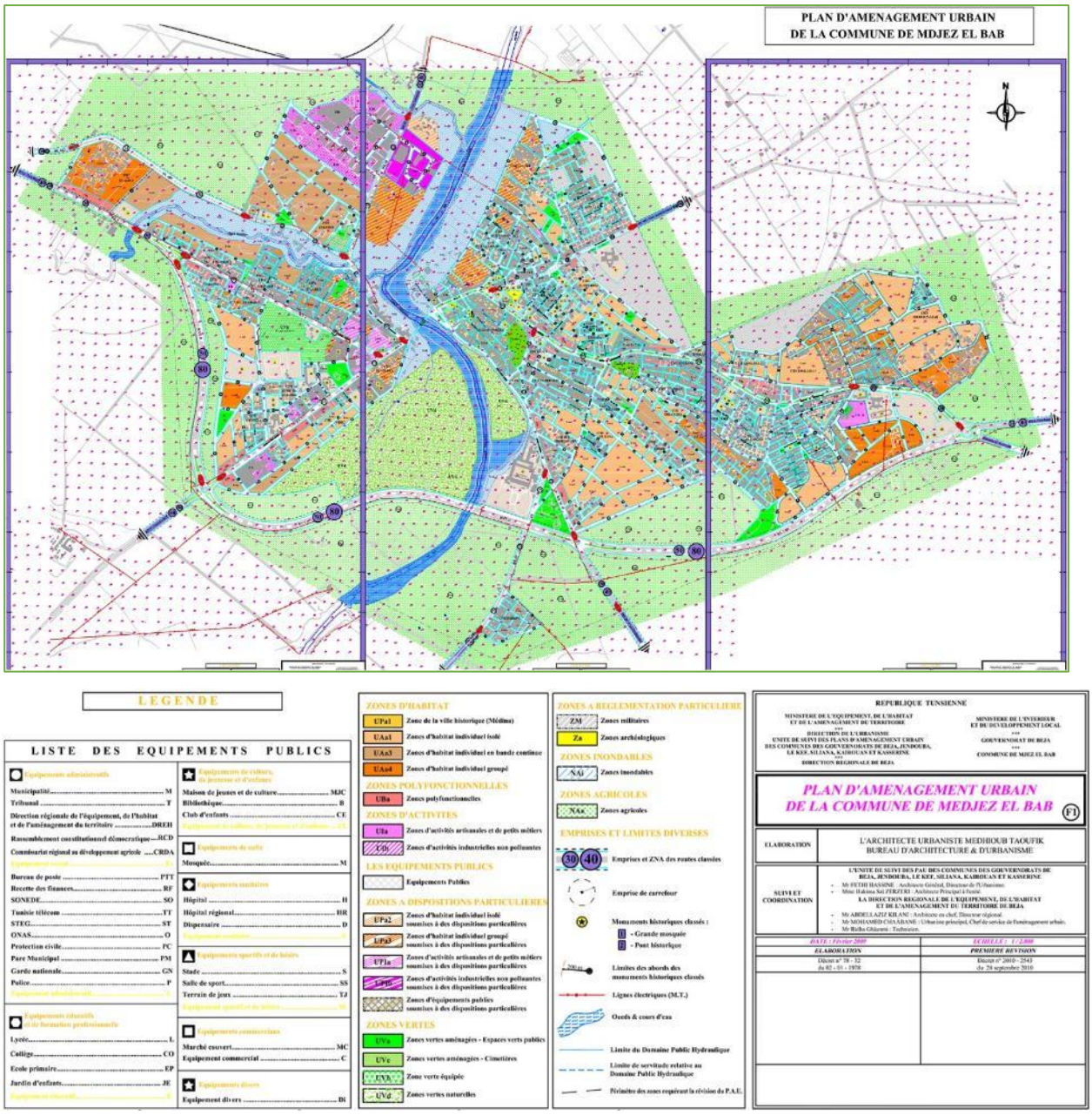
11.8.2 Situation actuelle de l'occupation du sol dans la zone cible

(1) Plan d'occupation des sols actuel dans la zone cible

Le plan d'occupation des sols et l'état actuel de la zone cible du projet sont résumés ci-après.

Les caractéristiques de l'occupation du sol actuelle dans la région cible D1 de la Medjerda pour le projet d'aménagement de l'oued indiquent une utilisation principalement agricole avec des légumes, des céréales, des olives et des fruits. Des terres de pâturage sont également identifiées dans la région. Il n'y a pas l'occupation du sol de type plantation à grande échelle dans la région.

Comme le montre la Figure 11-57 ci-dessous, la ville d'El Bab est composée de plus petits districts situés de part et d'autre de la Medjerda. Les quartiers sont constitués de petits blocs avec des maisons et des ruelles étroites typiques de la Tunisie, ou de blocs légèrement plus grands divisés par des rues. Il n'y a pas beaucoup de grands bâtiments, et quelques terres agricoles et espaces ouverts sont situés dans les quartiers. La figure ci-dessous est appelée "Carte du plan urbain", mais on peut supposer que la carte est basée sur l'occupation du sol réelle au moment de la formulation du plan. La zone autour de la zone urbaine est principalement constituée de terres agricoles.



Source : Ministère de l'équipement, de l'habitat et de l'aménagement du territoire

Note : Une copie grand format est préparée en annexe : Référence (aménagement de l'oued).

Figure 11-57: Carte d'occupation du sol d'El Bab

(2) Lois et règlements connexes

1) Loi actuelle relative aux plans d'occupation des sols proposés dans le projet

Le tableau suivant présente les lois et règlements promulgués en Tunisie en matière de plans d'occupation des sols.

Table 11-26: Résumé des lois et règlements relatifs aux plans d'occupation des sols proposés dans le présent chapitre

N°	Droit et réglementation	Résumé
1	Le code de l'eau, 2017 (Code Des Eaux, 2017)	La politique de base dans le secteur de l'eau en Tunisie est le "Code de l'eau" qui a été promulgué en 2017. Le Ministère de l'agriculture gère les ressources en eau dans toute la Tunisie. L'objectif principal de ce code est de construire une installation pour stocker et distribuer efficacement les ressources en eau limitées. En outre, il réglemente l'utilisation, la protection, la gestion et l'approvisionnement durable des ressources en eau.
2	Le Code forestier, 2017 (Code Forestier, 2017)	La législation du Code forestier tunisien comprend les dispositions suivantes : (1) Règlement sur la conservation des forêts au profit des citoyens tunisiens (2) Règlement sur la protection des zones de conservation des forêts (3) Règlement sur la promotion de la plantation d'arbres (4) Sanctions pour les infractions liées aux forêts (5) Intégration des lois et règlements relatifs à la foresterie, à la distribution et à la vente de produits forestiers
3	Guide-Acquisition de Terrains pourles Collectivites Locales	Sur la base de ce document, la procédure de base pour l'acquisition de terrains se déroulera en principe selon les étapes suivantes. (1) Identification des parcelles, des propriétaires et des occupants par le biais d'une enquête préliminaire sur les terres. (2) Évaluation de l'impact sur l'acquisition de terres (3) Mise en place de mesures de compensation (4) Entendre les avis des résidents locaux (5) Consultation du propriétaire/occupant (6) Acquisition de terrains
4	Loi n° 2016-53 du 11 juillet 2016 portant expropriation pour cause d'utilité publique.	La loi définit le principe, la règle, le déplacement, l'indemnisation et les procédures administratives en matière d'expropriation des bâtiments pour réaliser des projets d'équipements publics. L'expropriation foncière est classée en deux types : l'expropriation par consultation et l'expropriation par procès.
5	Décret n 2017-967 du 31 juillet 2017 portant réglementation de la construction des bâtiments civils (D2017-967 Réglementation de la construction des bâtiments civils).	Les bâtiments publics au sens de ce décret sont des bâtiments construits pour le compte de l'État, des collectivités locales, des institutions publiques et des entreprises publiques. La conception et la construction des projets de bâtiments publics doivent être évaluées en termes de développement, de fonction, de technologie utilisée et de coûts de construction estimés.

6	Code de sécurité et de prévention des risques d'incendie, d'explosion et de panique dans les bâtiments (Code Securite Dans Les Batiments)	La loi établit des règles et des mesures sur la sécurité des bâtiments, la prévention des risques d'incendie et d'explosion. Les bâtiments publics visés par cette loi sont divisés en cinq catégories en fonction de leur capacité d'accueil (plus de 1 501 personnes ; de 701 à 1 500 personnes ; de 301 à 700 personnes ; de 51 à 300 personnes ; et moins de 50 personnes). Les règles de sécurité de ce code déterminent les règles de calcul de la taille de la structure du bâtiment.

Source : L'équipe d'étude de la JICA se base sur les informations du site web du gouvernement tunisien

2) Lois actuelles relatives au développement en général

（Code de l'Aménagement du Territoire et de l'Urbanisme）

La Tunisie dispose de ce "Code" en tant que loi fondamentale relative au développement urbain. Selonla loi, le plan d'occupation des sols est défini comme une série de choix, de politiques et de procédures de décision concernant l'utilisation des sols au niveau national ou régional, le développement d'infrastructures à grande échelle, le développement d'équipements publics et la garantie de la cohérence de l'utilisation des sols dans les projets de développement urbain. Elle montre également l'équilibre entre le développement urbain, l'agriculture et les autres activités économiques. Cette loi est une règle de base pour le plan de développement national et régional, et la base pour une division, une composition, une désignation d'utilisation, une planification et un développement optimaux des terres. La composition de ce code comprend (1) le plan d'occupation des sols, (2) le plan de développement urbain, (3) le processus de développement urbain, (4) la sanction, et (5) le dispositions de transition.

Le plan d'aménagement du territoire prévu par cette loi comprend les cinq éléments suivants.

(1) Analyse de la situation actuelle, économique, des infrastructures, de la société et de laculture, prise en compte des relations avec les zones environnantes.

(2) Analyse de l'environnement et des ressources disponibles

(3) Orientation fondamentale du développement, croissance urbaine et prévisions dedéveloppement futur

(4) Agglomération urbaine

Phase de développement sur les domaines prioritaires

(3) Liste des plans de développement existants

La Tunisie établit tous les cinq ans un plan de développement national qui comprend des indicateurs pour un développement économique et social efficace. En outre, la politique nationale de développement de la Tunisie est basée sur le "Plan National de Développement". Les grandes lignes de ce plan de développement sont résumées ci-dessous.

Plan de développement national 2016-2020

(1) Vision du développement

Le plan de développement consiste à établir un modèle de développement durable, qui évalue correctement le développement national, tout en protégeant les ressources naturelles et les ressources humaines par une gestion appropriée afin de construire une économie régionale compétitive. Sur la basedes réputations et des intentions régionales, locales, nationales et internationales, le pays vise à réaliser la société tout en assurant un excellent cadre de gouvernance, à réduire les disparités régionales, à faire progresser le

développement vers les objectifs, à réduire les taux de pauvreté et à assurer de meilleurs cadres de gouvernance.

(2) Politique de développement

Ce plan de développement vise à atteindre une croissance économique annuelle de 4 %, et certains des objectifs de développement prioritaires sont la "promotion de l'innovation et de la créativité" et la "promotion de l'économie numérique." Les cinq axes politiques suivants sont énumérés dans la politique dedéveloppement pour atteindre les objectifs de développement.

1) Instaurer une bonne gouvernance, une réforme administrative et la prévention de lacorruption politique.

La cible n'est pas seulement les organisations administratives mais aussi les entreprises d'État.Elle montre également la divulgation d'informations et la garantie de la transparence de la gestion.

2) Renforcer la structure économique et développer les infrastructures, les systèmes logistiques et les pôles économiques.

L'objectif est d'améliorer l'environnement des investissements en diversifiant les activités économiques, en augmentant les exportations, en créant des emplois, en améliorant les infrastructures et en appliquant une nouvelle loi sur les investissements.

3) Développer les ressources humaines et l'inclusion sociale

Il vise à améliorer la qualité de l'éducation, à accroître les possibilités d'emploi et à renforcer le système de sécurité sociale.

4) Préparer un bon environnement et une utilisation appropriée des ressources naturelles

Elle vise à utiliser efficacement des ressources limitées comme l'eau, à moderniser l'agriculture, à assurer la sécurité alimentaire et à protéger l'environnement par le recyclage.

5) Réaliser le développement régional

Il vise à promouvoir la décentralisation, à revitaliser l'économie locale et à améliorer le niveau de vie.

(3) Plan de développement régional (gouvernorat de Beja)

Beja est située dans la partie nord-ouest de la Tunisie, à environ 100 km de la capitale Tunis. Beja fait face à la mer Méditerranée au nord et l'oued Medjerda coule au sud de la région. Bénéficiant d'une nature riche et d'un climat méditerranéen, les activités économiques de Béja sont principalement axées surle secteur agricole. L'eau agricole dans la région est principalement fournie par l'irrigation de trois grands barrages, à savoir Kassab, Sidi Salem et Al-Buraq. En outre, Beja dispose de ressources touristiques potentielles, telles que des côtes qui s'étendent sur environ 26 km, des sites archéologiques et des sources naturelles. Du point de vue de l'environnement naturel, l'épuisement des ressources naturelles et les mesures de prévention des catastrophes sont cités comme des problèmes caractéristiques de Béja.

La stratégie de développement 2016-2020 de Beja comporte les cinq axes politiques suivants :

1) Décentralisation et mise en place d'une bonne gouvernance

Mettre en place un système de gouvernance économique et financière qui garantisse une utilisation appropriée des fonds publics.

2) Diversité économique

Se concentre sur la modernisation et le renforcement d'un secteur agricole compétitif pour le développement et la diversification économiques.

3) Développement des ressources humaines et inclusion sociale

Améliorer le système médical, l'éducation, la formation professionnelle, le développement des installations sportives et l'amélioration des activités culturelles.

4) Assurer la protection de l'environnement et la gestion des zones

En ce qui concerne la protection de l'environnement et la gestion régionale, l'accent est mis sur lemaintien de l'équilibre écologique et l'utilisation appropriée des ressources naturelles.

Aspirations en matière de développement régional

Accroître l'attractivité de la région et améliorer la qualité de vie des habitants de la région.

5) Aspirations en matière de développement régional

Accroître l'attractivité de la région et améliorer la qualité de vie des habitants de la région.

Plan d'action pour la production et la consommation durables en Tunisie (2016).

La Tunisie établit tous les cinq ans un plan de développement national qui comprend des indicateurs pour un développement économique et social efficace. En outre, la politique nationale de développement de la Tunisie est basée sur le "Plan National de Développement". Les grandes lignes du plan de développement sont résumées ci-dessous.

Plan national de développement 2016-2020

(1) Vision du développement

Le plan de développement consiste à établir un modèle de développement durable, qui évalue correctement le développement national, tout en protégeant les ressources naturelles et les ressources humaines par une gestion appropriée pour construire une économie régionale compétitive. Sur la base des réputations et des intentions régionales, locales, nationales et internationales, le pays vise à réaliser la société tout en assurant un excellent cadre de gouvernance, à réduire les disparités régionales, à faire progresser le développement vers les objectifs, à réduire les taux de pauvreté et à assurer de meilleurs cadres de gouvernance.

(2) Politique de développement

Ce plan de développement vise à atteindre une croissance économique annuelle de 4 %, et certains des objectifs de développement prioritaires sont la "promotion de l'innovation et de la créativité" et la "promotion de l'économie numérique." Les cinq axes politiques suivants sont énumérés dans la politique de développement pour atteindre les objectifs de développement.

1) Établir une bonne gouvernance, une réforme administrative et la prévention de la corruption politique.

La cible n'est pas seulement les organisations administratives mais aussi les entreprises d'État. Elle montre également la divulgation d'informations et la garantie de la transparence de la gestion.

2) Renforcer la structure économique et développer les infrastructures, les systèmes logistiques et les pôles économiques

L'objectif est d'améliorer l'environnement des investissements en diversifiant les activités économiques, en augmentant les exportations, en créant des emplois, en améliorant les infrastructures et en appliquant une nouvelle loi sur les investissements.

3) Développer les ressources humaines et l'inclusion sociale

L'objectif est d'améliorer la qualité de l'éducation, d'accroître les possibilités d'emploi et de renforcer le système de sécurité sociale.

4) Préparer un bon environnement et une utilisation appropriée des ressources naturelles

Il s'agit d'utiliser efficacement des ressources limitées telles que l'eau, de moderniser l'agriculture, de réaliser la sécurité alimentaire et de protéger l'environnement par le recyclage.

5) Réaliser le développement régional

Il vise à promouvoir la décentralisation, à revitaliser l'économie locale et à améliorer le niveau de vie.

(3) Plan de développement régional (gouvernorat de Beja)

Beja est situé dans la partie nord-ouest de la Tunisie, à environ 100 km de la capitale-Tunis. Beja fait face à la mer Méditerranée au nord et au fleuve Medjerda qui coule au sud de la région. Bénéficiant d'une nature riche et d'un climat méditerranéen, les activités économiques de Béja sont principalement axées sur le secteur agricole. L'eau agricole dans la région est principalement fournie par l'irrigation de trois grands barrages, à savoir Kassab, Sidi Salem et Al-Buraq. En outre, Beja dispose de ressources touristiques potentielles, telles que des côtes qui s'étendent sur environ 26 km, des sites archéologiques et des sources naturelles. Du point de vue de l'environnement naturel, l'épuisement des ressources naturelles et la lutte contre les catastrophes sont cités comme des problèmes caractéristiques de Béja.

La stratégie de développement 2016-2020 de Beja comporte les cinq axes politiques suivants :

1) Décentralisation et mise en place d'une bonne gouvernance.

Mettre en place un système de gouvernance économique et financière qui garantit une bonne utilisation des fonds publics.

2) Diversité économique

Mettre l'accent sur la modernisation et le renforcement d'un secteur agricole compétitif pour le développement et la diversification de l'économie.

3) Développement des ressources humaines et inclusion sociale

Améliorer le système médical, l'éducation, la formation professionnelle, le développement des installations sportives et l'amélioration des activités culturelles.

4) Assurer la protection de l'environnement et la gestion des régions

Pour la protection de l'environnement et la gestion de la région, se concentrer sur le maintien de l'équilibre écologique et la bonne utilisation des ressources naturelles.

5) Aspirations en matière de développement régional

Accroître l'attractivité du territoire et améliorer la qualité de vie des habitants de la région.

Sustainable Production and Consumption Action Plan in Tunisia (2016)

Sur la base de la stratégie tunisienne de développement durable, le ministère de l'environnement et du développement durable a formulé un plan d'action pour la production et la consommation durables en Tunisie. Le plan d'action, a été formulé suite à une consultation approfondie des différentes parties prenantes en Tunisie, et l'objectif est de sensibiliser les différentes organisations en termes d'impact sur la qualité de vie des générations actuelles et futures. Le plan d'action se concentre sur les secteurs de l'agriculture et du tourisme, qui sont considérés comme hautement prioritaires pour la période 2016-2025.

(1) Secteur de l'agriculture

Les plans d'action pour le secteur agricole en 2016-2025 sont les suivants.

1) Rationaliser l'utilisation des ressources naturelles tout en minimisant les dommages causéspar l'utilisation des ressources ;
2) Promouvoir les pratiques d'agriculture durable et les connaissances locales ;
3) Assurer une activité agricole durable.

(2) Secteur du tourisme

Les plans d'action pour le secteur du tourisme en 2016-2025 sont les suivants.

1) Promouvoir la gestion durable des ressources ;
2) Développer la gestion durable des déchets et le recyclage ;
3) Améliorer la qualité de l'environnement ;
4) Encourager l'approche et l'intégration sociétales ;
5) Promouvoir la consommation de produits locaux et biologiques ;
6) Évaluation des risques d'inondation et d'érosion côtière.

(4) Les enjeux du système juridique actuel

Comme nous l'avons vu dans les sections précédentes, il existe des législations relatives à l'aménagement du territoire, à la gestion des ressources en eau et à la gestion des forêts en Tunisie. À l'avenir, il sera nécessaire de formuler une réglementation complète relative à la prévention des catastrophes et un système

de mise en œuvre dans les zones qui sont facilement affectées par le développement.

(5) Questions relatives à l'utilisation des terres dans le plan de développement actuel

Dans le plan de développement, les points suivants sont principalement décrits comme les enjeux du développement en Tunisie. Ils sont également liés à la revitalisation régionale par l'utilisation du sol proposée dans ce chapitre.

(1) Renforcer la compétitivité industrielle

Pour survivre dans la compétition économique internationale et faire un nouveau bond enavant, il est nécessaire d'accroître les investissements étrangers et, en même temps, de renforcerla compétitivité de sa propre industrie sur les marchés intérieurs et extérieurs. Pour renforcer la compétitivité industrielle, il est nécessaire que le gouvernement tunisien investisse activement dans le développement de l'infrastructure économique dans le cadre d'une stratégie de pôle économique, afin de promouvoir le renforcement et la diversification de sa propre économie, et de développer les opportunités d'emploi.

(2) Développement de l'agriculture et de la pêche

L'agriculture, la sylviculture et la pêche en Tunisie sont des industries importantes, cependant la production agricole est instable en raison des précipitations annuelles. En particulier dans la partie nord de la Tunisie, les précipitations annuelles ont toujours un grand impact sur l'activité économique en général. Par conséquent, l'extension de l'agriculture irriguée et le développement des infrastructures liées à l'agriculture sont devenus des questions importantes dans le pays pour assurer une production stable de céréales et de cultures (olives, etc.).

(3) Promotion du tourisme

Le secteur du tourisme en Tunisie est l'une des industries clés de l'économie du pays. C'est un enjeu majeur de promouvoir et de diversifier une industrie touristique plus rentable tout en utilisant les différentes ressources touristiques, telles que le patrimoine historique et la nature disponibles dans diverses régions du pays.

(4) Problèmes environnementaux

La préservation de l'environnement est une question importante car les ressources, telles que l'eau et les forêts, sont limitées..

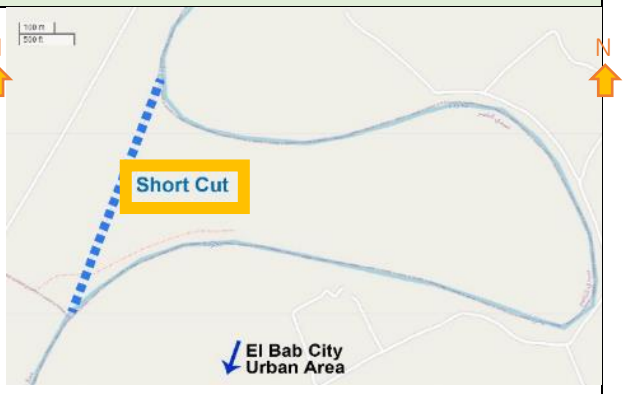
11.8.3 Relation entre l'utilisation des sols et l'amélioration des rivières

Deux mesures d'amélioration de l'oued sont principalement envisagées dans ce projet.

- Dragage du lit de l'oued pour élargir la section de l'oued et construction des berges pouraugmenter la capacité de l'oued.
- Redresser les méandres de l'oued en construisant un ponceau de raccourci (tranchée ouverte ou fermée).

En introduisant ces mesures d'amélioration, on peut s'attendre à une réduction des risques d'inondation et des impacts dans une large zone. Les mêmes mesures d'amélioration sont envisagées pour la ville d'El Bab et ses environs. Bien qu'il ne soit pas facile d'évaluer clairement l'effet réel de réduction des risques de catastrophe de chaque mesure d'atténuation, le niveau de sécurité de la région est analysé pour être amélioré par la réduction des risques (l'analyse détaillée est discutée dans la section suivante). L'exemple suivant Tableau 11-27 illustre deux plans d'installation de ponceaux de raccourci pour l'aménagement du territoire dans les zones cibles.

Tableau 11-27 Plan d'installation de ponceaux de raccourci pour l'aménagement du territoire dans la zone cible

Région de la ville d'El Bab	Zone du bassin de rétention au nord de la ville d'El Bab
	
Plan d'installation d'un dalot de dérivation situé au nord-est du pont Andalous à El Bab	Plan d'installation du raccourci de contournement de la tranchée situé à l'ouest du bassin de rétention au nord de la ville d'El Bab..

Source : Équipe d'étude de la JICA avec les données d'OpenStreetMap

En appliquant à la fois l'installation de ponceaux et le dragage de l'oued, l'étude de l'utilisation des terres dans les zones ciblées obtiendra une amélioration des inondations pour une période de retour de 10 ans (les inondations et les inondations se produiront pour des périodes de retour de 50 et 100 ans). En conséquence, avec ces traitements de contre-mesure des inondations, ces trois zones ciblées de planificationde l'utilisation des terres sont la ville d'El Bab, le bassin de rétention au nord de la ville d'El Bab, et la zone entre ces deux sites.

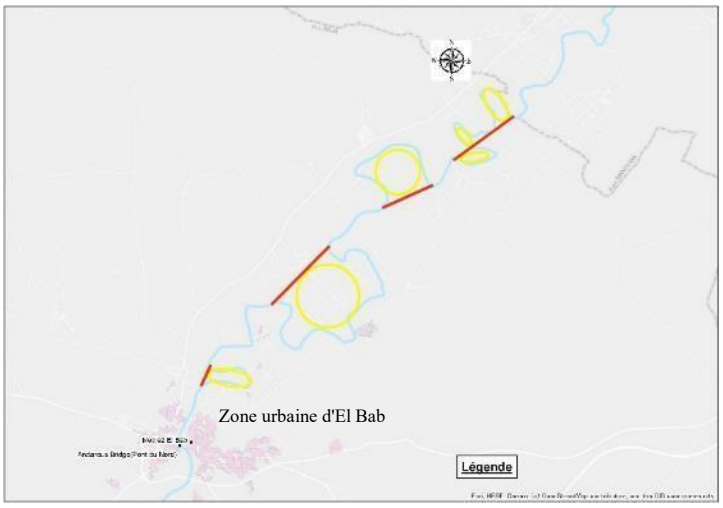


Figure 11-58 Disposition de l'emplacement de toutes les tranchées de raccourci de la dérivation dans la région globale D1

La zone du bassin de rétention et la zone située entre la ville d'El Bab et la zone du bassin de rétention le long de l'oued bénéficierontd'opportunités d'utilisation des terres à long terme.D'autre part, certaines zones de la ville d'El Bab présentent toujours des risques d'inondation à pluslong terme (période de retour de 50 et 100 ans). Pour cette raison, des mesures d'atténuation des risques et une planification plus détaillées sont nécessaires lorsque l'utilisation et le développement futurs des terres sont envisagésdans le cadre de risques d'inondation plus profonds.

La région D1 complète étendue, est égalementproposée avec un ensemble de tranchées de contournement de raccourci le long de l'oued Medjerda, lorsqu'elle est considérée du point de vue de l'amélioration de l'oued et de la gestion des inondations, comme indiqué sur la Figure 11-58. Ces zones traitées en raccourci pourraient également avoir d'autres bassins de rétention. Cependant, ces zones sont moins peuplées car elles sont éloignées de la zone urbaine de la ville d'El Bab, et on ne s'attend pas à ce qu'elles aient un fort effet de développement social et économique grâce à une nouvelle utilisation des terres et à la formulation d'activités sociales. Par conséquent, dans cette étude, seules les zones proches de la ville d'El Bab sont prises en compte pour l'aménagement du territoire. En outre, la propriété foncière du bassin de rétention situé juste au nord-est de la zone urbaine d'El Bab appartient au gouvernement, de sorte que l'utilisation de ce terrain a moins d'impact négatif concernant une réinstallation sous considération sociale. En raison de cette condition de propriété foncière et du potentiel de développement de ce terrain, ce bassin de rétention a été désigné comme site de planification cible

11.8.4 Assurer la sécurité de l'utilisation des terres

Il est important de planifier et de développer/installer des infrastructures "biens publics" en tant que fonctions sociales sûres ainsi que de maintenir la sécurité de la vie humaine lorsqu'un nouveau plan d'occupation des sols pour un développement futur est proposé pour la zone cible. Pour ce faire, il est également important de s'assurer que le terrain cible présente un niveau de sécurité suffisant contre les catastrophes.

L'analyse de la sécurité d'un terrain doit être faite en comparant les conditions avant et après l'installation de la contre-mesure, en analysant le niveau de dommage attendu, et d'autres analyses pour le niveau de sécurité de la zone. Grâce à cette analyse, le terrain cible doit être évalué pour une nouvelle utilisation réelle du terrain.

(1) Impact de la crue de l'oued sur la zone cible

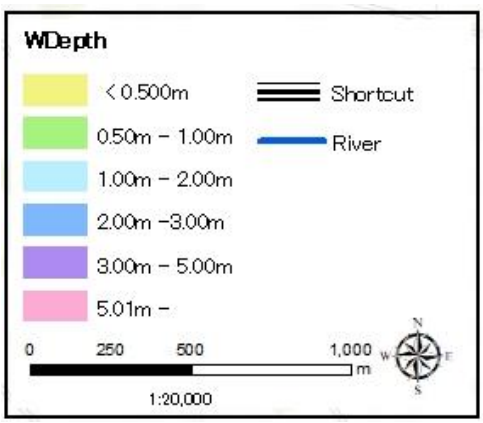
Les Source : Équipe d'étude de la JICA

Figure 11-59 et Figure 11-60 illustrent la légende et la situation avant et après installation de la contre-mesure dans la zone cible avec l'analyse de la prévision de la profondeur d'inondation pour une période de retour de 10, 20, 50 et 100 ans, et dans cette analyse la contre-mesure considérée principalement le dalot de contournement de raccourci et la tranchée.

La colonne de gauche des figures illustre que la période de retour de 10 ans n'a pas beaucoup d'inondation dans la zone urbaine d'El Bab (les cases de couleur orange indiquent les bâtiments), et la zone d'inondation augmente dans la période de retour de 20 ans, en particulier la partie ouest de l'oued et la partie sud de la ville. La partie nord de la ville est également touchée par les inondations. Ces zones affectées augmenteront encore la zone d'inondation et la profondeur dans la période de retour de 50 ans. L'analyse de la période de retour de 100 ans de la zone urbaine d'El Bab aura un impact d'inondation sur plus de la moitié de la zone. Cependant, la zone affectée par l'inondation avec une profondeur de 3m à 5m (gamme de couleurs de violet et rose) est encore limitée. Comme ces images le décrivent, la ville d'El Bab s'est développée en évitant les zones fortement inondées dans sa propre histoire.

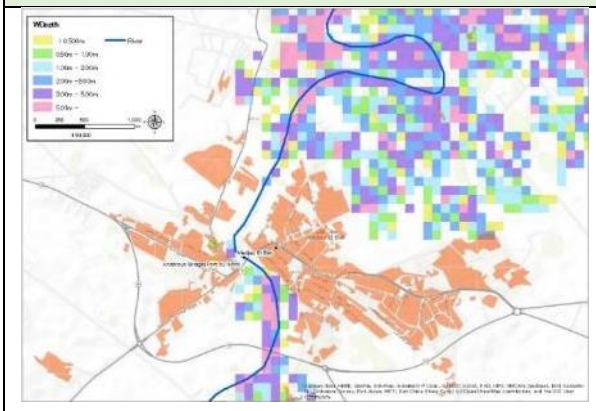
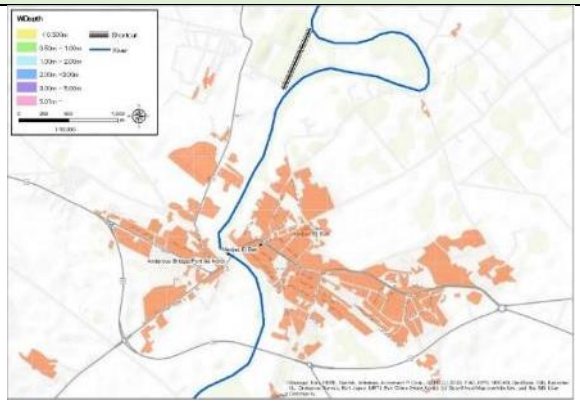
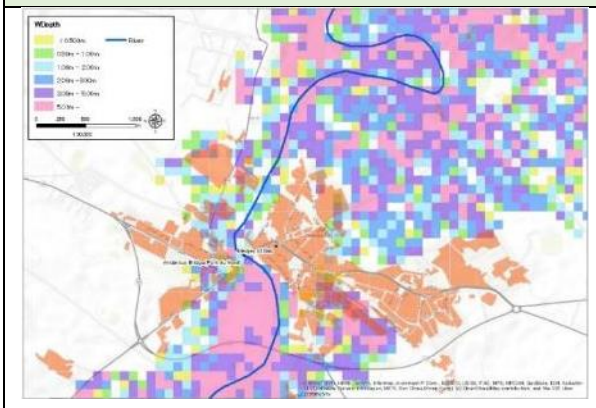
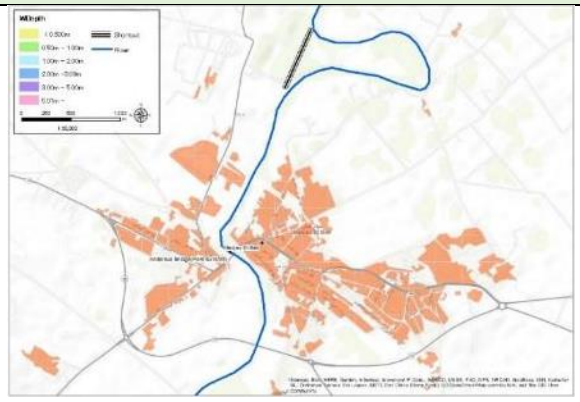
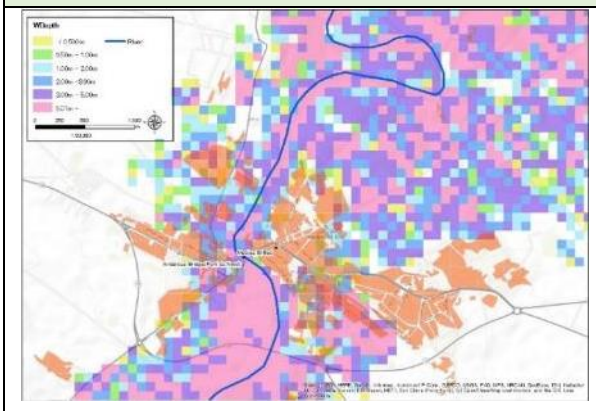
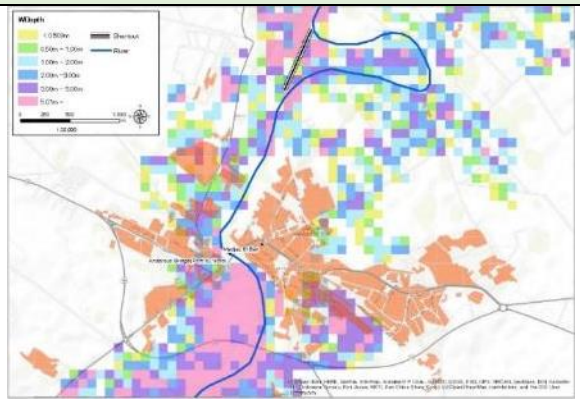
En outre, les zones de l'oued et de bassins de rétention dans la période de retour de 10 ans n'indiquent pas beaucoup d'impact d'inondation, cependant la profondeur d'inondation augmente dans la période de retour de 20 ans et la profondeur pourrait atteindre et dépasser 5m dans une zone beaucoup plus grande.

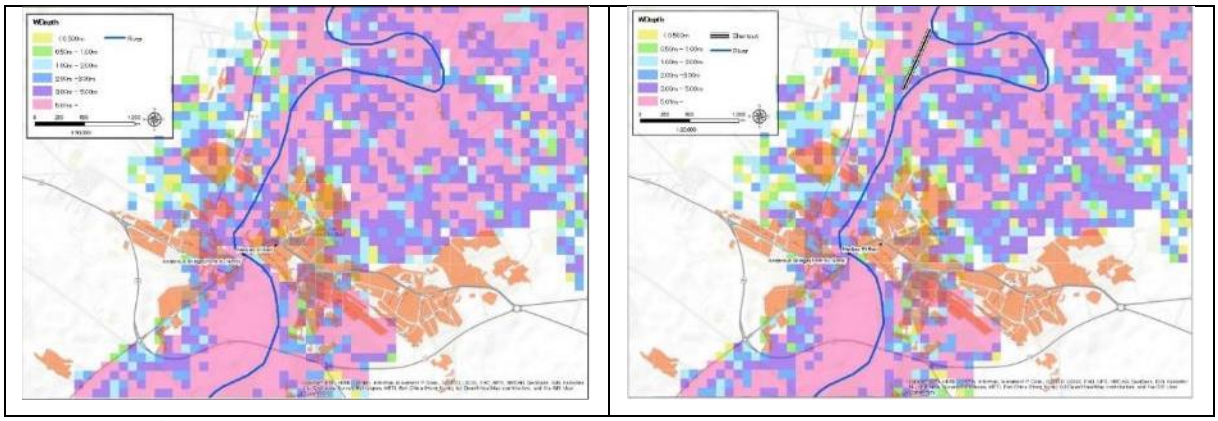
La colonne de droite des figures illustre la comparaison de l'impact des inondations après l'installation de la tranchée de contournement et du dalot dans la zone. Comme ces figures le décrivent, l'installation du raccourci pourrait réduire efficacement l'inondation dans une zone plus large, et l'inondation se produit à peine dans une période de retour de 10 et 20 ans. En outre, avec une période de retour de 50 ans, l'impact de l'inondation est observé, cependant l'impact est efficacement réduit par rapport à la condition sans aucune contre-mesure, sauf au sud de la zone urbaine et à l'ouest de l'oued. En outre, la comparaison entre l'avant et l'après à une période de retour de 100 ans ne montre pas beaucoup de différence. La zone urbaine d'El Bab le long de la Medjerda pourrait être considérée comme ayant un impact limité sur l'inondation à une période de retour de 50 ans, à l'exception de la partie sud des rives de l'oued.



Source : Équipe d'étude de la JICA

Figure 11-59 Légende de l'analyse des inondations pour une période de retour de 10, 20, 50 et 100 ans

Sans contre-mesure (actuel)	**Après l'installation de la tranchée de raccourci et du dalot**
Période de retour de 10 ans	Période de retour de 10 ans
	
Période de retour de 20 ans	Période de retour de 20 ans
	
Période de retour de 50 ans	Période de retour de 50 ans
	
Période de retour de 100 ans	Période de retour de 100 ans



Source: JICA Study Team

Figure 11-60: Analyse des inondations pour une période de retour de 10, 20, 50 et 100 ans

(2) Impact sur les zones situées le long de la Medjerda

Selon les résultats de l'analyse susmentionnée, les zones situées le long de l'oued devraient être plus sûres grâce à l'effet de réduction des inondations après l'installation du raccourci pour une période de retour de 50 ans. Bien que toute occupation des sols doive être faite avec des mesures de sécurité appropriées, des situations graves, telles que des dommages continus aux biens et/ou des risques pour les vies humaines, pourraient être évitées. Toutes les zones où la profondeur d'inondation dépasse 5 m doivent être soigneusement étudiées pour une nouvelle occupation du sol, car ces conditions d'inondation peuvent durer plus longtemps et cet impact doit être pris en compte dans le plan d'occupation des sols.

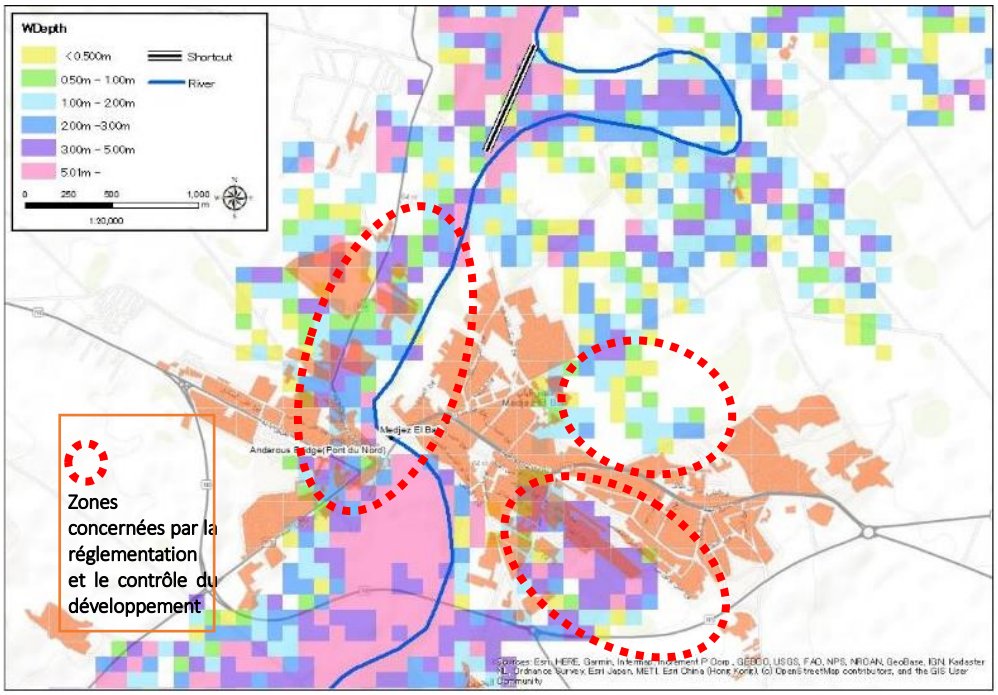
D'autre part, l'occupation dusol en bordure de l'oued doit être considérée avec des réglementations etdes contrôles pour les propositions de développement, en particulier pour les catastrophes de période de retour de 50 et 100 ans. En général, l'utilisation et la fonction publiques, en particulier les bâtiments et les installations construits de façon permanente, doivent être limitées pour le développement. Les installations temporaires ou les fonctions en plein air pourraient jouer un rôle plus efficace, compte tenu de la sécurité et de la protection des biens. Les zones où la profondeur d'inondation est plus importante doivent être planifiées, par exemple, les parcs publics où les espaces ouverts peuvent être utilisés efficacement, car ces conditions d'inondation resteront plus longtemps

(3) Impact sur la zone urbaine

L'impact des inondations dans la zone urbaine d'El Bab pourrait être réduit efficacement en installantune tranchée de contournement et un ponceau, en particulier pour les périodes de retour de 10 et 20 ans. Cependant, il reste des zones dans la ville avec un impact d'inondation profond pour une période de retour de 50 ans. Comme indiqué dans la Figure 11-61. Les zones indiquées par des cercles en pointillés rouges pourraient être affectées par une inondation d'une profondeur de 1 à 5 mètres sur le côté ouest de l'oued, et certaines zones sont prévues avec une profondeur d'inondation de 3 à plus de 5 mètres. Ces zones sont historiquement développées avecde nombreux bâtiments concentrés dans une zone, et toute nouvelle construction ou rénovation de bâtiment devrait être soigneusement réglementée ou limitée. Certaines zones sont historiquement laissées ouvertes sans structures, où de graves inondations se sont produites. Compte tenu de l'augmentation de la population future, ces zones concernées par de graves inondations devraient être prises en compte par des réglementations et des contrôles de développement urbain plus stricts.

Pour les bâtiments existants, l'ordre gouvernemental strict d'évacuation peut ne pas être donné, mais il est nécessaire de mettre à jour le code du bâtiment pour réglementer ou limiter la reconstruction des bâtiments. Il devrait y avoir d'autres réglementations et limitations pour toute autre fonction et occupation du sol, même si elles ne concernent pas la construction de bâtiments. Les zones concernées

par les dommages causés par les inondations devraient être considérées avec des recommandations pour desusages publics, tels que des parcs, ou des usages agricoles. D'autre part, toute structure prenant en compte l'impact élevé des inondations (telle qu'une conception structurelle particulière ou une fonction de construction jusqu'à 6 m de hauteur) pourrait bénéficier d'un assouplissement de la réglementation pour laplanification et la construction des bâtiments



Source: Équipe d'étude de la JICA

Figure 11-61 Carte de la zone affectée par l'inondation avec la zone considérée de réglementation de l'utilisation des terres (période de retour de 50 ans)

11.8.5 Réglementation architecturale relative à la gestion des catastrophes

Les lois et réglementations architecturales doivent être révisées et le système juridique de l'utilisation de l'espace vérifié afin de mettre en œuvre efficacement les nouveaux plans d'occupation des sols et les contre-mesures de lutte contre les inondations

(1) Nécessité de règlements d'aménagement et de contrôles des bâtiments et des installations

Les réglementations en matière de développement doivent contrôler le développement des bâtiments et des installations, même après l'amélioration des cours d'eau et la mise en place de mesures de prévention des catastrophes, en tenant compte de la période de retour à moyen et long terme (50 à 100 ans). Du point de vue de l'urbanisme, il est également nécessaire d'établir des réglementations strictes pour les zones où degraves dommages et risques d'inondation sont attendus dans le futur. La Tunisie ne dispose pas d'un système juridique bien organisé (lois et règlements) qui contrôle particulièrement le développement urbain et l'occupation du sol dans le but de gérer les catastrophes et de prendre des contre-mesures. Comme décrit ci-dessus, il y a des zones dans la ville d'El Bab, dans lesquelles les développements devraient être contrôlés par une "perspective de planification urbaine".

D'autre part, de nombreuses personnes et familles vivent dans la ville depuis des générations, et on suppose qu'elles peuvent continuer à vivre aux mêmes endroits en détenant des droits de propriété ou d'utilisation des terres. Certains envisageront la reconstruction ou la rénovation de leur propriété ou de leurs bâtiments, et il devrait y avoir un certain traitement pour assurer une vie continue de ces personnes tout en protégeant leur vie contre les catastrophes naturelles. Par conséquent, des lois et des règlements appropriés en matière d'architecture et de construction devraient être élaborés pour les zones présentant

des risques élevés de catastrophes.

(2) Questions relatives aux lois et règlements en matière d'architecture

Il n'existe pas aujourd'hui en Tunisie de cadre juridique complet pour la structure, la conception et la

construction de bâtiments et d'installations prenant en compte la réduction des risques de catastrophes et lescontre-mesures. Il ne s'agit pas seulement de la qualité de la conception des bâtiments, mais aussi de la base et des règles de la planification structurelle en tenant compte des catastrophes naturelles et de leurs impacts, comme les inondations, ainsi que de la qualité et du mécanisme de la construction, et ce sont làdes questions majeures de réglementation. Dans les régions où l'on peut s'attendre à des dommages à long terme, les lois et réglementations architecturales relatives aux dommages causés par les inondations doiventêtre conçues avec soin afin d'assurer la sécurité des vies humaines dans la région.

Les points suivants devraient être pris en compte dans les réglementations architecturales visant à réduire les risques de catastrophes.

- Mise en place de règles et de normes structurelles de construction basées sur la profondeur d'inondation potentielle.
- Mise en place d'une réglementation et d'une limitation de l'utilisation du rez-de-chaussée et du deuxième étage en fonction de la profondeur d'inondation potentielle.
- Mise en place de réglementations et de normes pour les structures extérieures autres que lesparties principales des bâtiments (murs, clôtures, poteaux indicateurs, etc.).
- Mise en place de règlements et de normes pour les nouvelles constructions, les rénovations, les modifications et la planification des installations.
- Mise en place de critères pour les permis de construire en fonction des zones/districts (éventuellementintégrés aux lois et règlements d'urbanisme).

11.8.6 Questions et défis liés aux lois et règlements en matière d'occupation du sol

Tous les projets de développement énumérés dans le plan de développement national 2016-2020 n'ontpas encore été mis en œuvre, et seules des activités d'enquête au niveau du gouvernement ont été menées. Certains projets de développement à grande échelle présentent des problèmes de cohérence entre les objectifs du projet, les potentiels et l'utilisation des ressources, par exemple. Comme l'utilisation des terres peut avoir un impact important sur les résidents locaux et l'effet du développement, un plan d'utilisation desterres approprié doit être élaboré pour la mise en œuvre par le biais de la consultation entre les organismes gouvernementaux concernés pour une coordination approfondie. Par conséquent, les approches de la réglementation et du contrôle ainsi que les points de vue de la promotion doivent être pris en compte afinde réaliser une utilisation efficace des terres, lorsque le cadre juridique est considéré pour les révisions.

Les questions et les défis liés à la gestion des risques de catastrophes et à l'utilisation future des terres dans le cadre du système juridique actuel sont résumés ci-après.

(1) Mise à jour du plan d'occupation des sols sur la base de la carte des dangers et de la carte des risques de catastrophes.

Comme nous l'avons vu plus haut, une grande partie de la zone située le long de l'oued Medjerda, y compris la zone urbaine d'El Bab, reste exposée à des risques d'inondation pour les périodes de retour de 50 et 100 ans, même après l'amélioration de l'oued et l'élaboration de contre-mesures. Par conséquent, le plan d'occupation des sols doit être révisé pour ces zones, en particulier dans les zones peuplées. Selon l'analyse des inondations, les zones présentant des risques plus élevés pour la vie des résidents et les activités économiques, la planification de l'utilisation des terres doit être menée avec soin.

La révision du plan d'occupation des sols avec l'utilisation d'espaces ouverts ou la fonction sans bâtiment, comme les parcs et les terrains de sport, pourrait être plus efficace pour prendre en compte les risques de catastrophe et la sécurité. Les changements d'utilisation des sols, en particulier dans les zones urbaines, devraient être effectués de manière approfondie en acceptant ou en autorisant l'utilisation actuelle et en proposant des

réglementations et des contrôles futurs.

(2) Mise en place d'une réglementation de l'utilisation des terres tenant compte des droits d'occupation, de propriété et d'utilisation des terres.

Il existe de nombreux défis, tels que les problèmes de propriété foncière coutumière, qui peuvent ne pas être résolus par le cadre juridique actuel de l'utilisation des terres. Une mise en œuvre non préparée du projet, uniquement dans le cadre des lois et réglementations existantes sur les questions de propriété foncière, peut nuire à l'avancement global du projet en raison d'un rejet difficile du projet par les résidentset les communautés concernés. Par conséquent, la mise à jour de l'enregistrement des terres et des lois et règlements relatifs à la propriété foncière, ainsi que la mise à jour du plan d'utilisation des terres, sont hautement nécessaires pour minimiser et éviter les problèmes sociaux et les conflits contre l'utilisation des terres.

Cette mise à jour du système juridique vise à atténuer les catastrophes naturelles et les risques causéspar les inondations fluviales, de sorte qu'un cadre approprié d'utilisation des terres devrait être établi en mettant à jour les lois et règlements existants par l'analyse de l'échelle et de la fréquence des catastrophes ainsi que par l'évaluation de l'utilisation des terres sous différents angles. Le code de conception de la structure des bâtiments existants, en particulier pour les structures en surface, peut également être modifié, de même que les lois relatives à la propriété foncière.

(3) Mise en place de codes et de règlements architecturaux en coordination avec le plan d'aménagement du territoire.

Comme décrit précédemment, il n'existe pas en Tunisie de code architectural particulier prenant en compte les risques de catastrophes, ni de lois et règlements relatifs à l'aménagement du territoire et à l'urbanisme. Par conséquent, le code du bâtiment actuellement en vigueur devrait être revu pour être modifié en matière de planification architecturale, de conception, de structure et de construction en fonctiondu niveau de risque de catastrophe afin de protéger et d'assurer la résilience de la vie humaine grâce à un cadre juridique approprié. En particulier, la mise en place de réglementations supplémentaires pour les bâtiments et les installations qui seront construits à l'avenir améliorera considérablement la protection de la vie humaine. Les réglementations relatives aux permis de construire pour les développements futurs devraient être prises en considération, en particulier dans les zones concernées par des risques plus élevés d'inondation (emplacement avec une profondeur d'inondation plus importante prévue).

(4) Mise à jour du plan de développement urbain en tenant compte de toutes les actions mentionnées ci-dessus.

Un plan de développement urbain prend généralement en compte les lois et règlements relatifs à l'utilisation des sols et à l'architecture. Il est donc important de réviser et de préparer un plan de développement urbain complet afin de résoudre les problèmes et les défis décrits ci-dessus. Le plan d'urbanisme révisé doit être préparé en intégrant efficacement les cartes des dangers et des risques, en tenant compte de la vision du développement à court, moyen et long terme, et le plan d'urbanisme révisé ne doit pas être une simple mise à jour de l'ancien plan.

11.8.7 Vision du développement régional pour l'utilisation future des terres

Dans cette section, une recommandation d'introduction de nouveaux programmes et fonctions sera discutée car elle pourrait promouvoir et améliorer le développement économique et social régional, et revitaliser et améliorer les relations communautaires dans les zones où des mesuresde gestion des inondations ont été prises, y compris les raccourcis de contournement, avec un effet attendu sur la réduction des catastrophes. Cette recommandation peut avoir un impact sur lerégime foncier local dans la mesure où il est lié à une nouvelle utilisation et à un nouveau développement des terres. Par conséquent, elle doit également être considérée comme une introduction au gouvernement local et aux fonctionnaires de la zone cible du projet. Lorsque les projets d'utilisation et de développement des terres sont envisagés à l'avenir, les informations doivent être bien partagées et distribuées parmi les populations et les communautés locales du point de vue des considérations environnementales et sociales. Le plan de développement a un impact et un effet sur la région, c'est pourquoi les gens et les communautés doivent être informés de manière approfondie. Ainsi, la compréhension de la question du projet par tous

les responsables concernés devrait être nécessairement facilitée.

Il est important que l'effet du développement sur les activités communautaires et économiquesde la région cible puisse être prévu lors de l'élaboration du plan d'occupation des sols, et la vision du développement futur doit être définie et acceptée par un large éventail de parties prenantes dans la région lorsqu'un plan de projet est proposé. Sur la base de cette considération, une vision provisoire du développement régional est établie, selon une compréhension des conditions et du statut social ainsi que des activités industrielles de la région qui ont été recueillies par l'équipe de l'étude. Cette vision provisoire permet d'identifier les problèmes et les défis de développement dela région et d'illustrer le processus de résolution des problèmes liés à l'utilisation des terres de la région. La VISION provisoire pour le développement régional vers l'utilisation des terres avec une possible "infrastructure verte" liée au projet d'amélioration de l'oued est présentée ci- dessous.

Réaliser la promotion industrielle et touristique en utilisant les ressources locales

(1) Vision et défis de la région

Sur la base de la vision du développement régional pour l'utilisation des terres énoncée ci-dessus, des recommandations pour l'utilisation des terres seront faites pour promouvoir les activités socio-économiqueset contribuer à la communauté locale en utilisant les ressources locales, telles que le pont andalou et l'oléiculture qui sont présents dans ou autour de la ville d'El Bab.

En proposant un plan d'aménagement du territoire pour réaliser la vision du développement futur en tenant compte des activités socio-économiques actuelles et du potentiel de développement local autour dela zone urbaine d'El Bab, les défis du développement régional sont identifiés et résumés ci-après.

- Introduire des programmes qui devraient renforcer les activités et les programmes communautaires afin de déclencher un mouvement actif durable de la communauté locale.

Il n'y a pas de groupe ou d'organisation communautaire qui dirige des activités communautaires, telles que l'association des résidents locaux, l'équipe sportive, etc. dans la zone cible actuelle, ouil n'y a pas d'activité physique faite par la communauté. Lorsqu'une communauté se développe, des activités commandées par la communauté elle-même pourraient être lancées pour améliorer les relations communautaires.

- Introduire un nouveau programme communautaire local en utilisant efficacement les ressources locales.

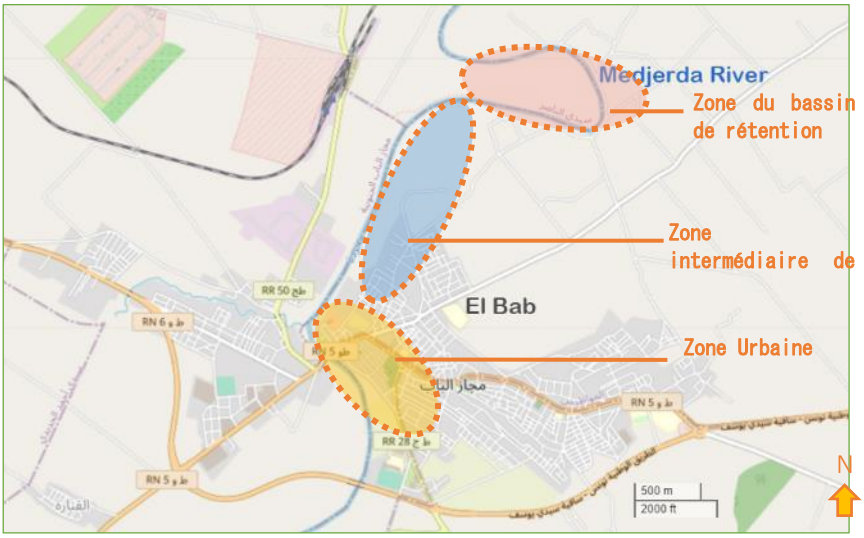
Il existe certaines ressources locales, comme le pont Andalous et la production d'olives autour de la ville d'El Bab. Ces ressources devraient être utilisées efficacement afin que la communauté locale puisse participer activement au développement en distribuant des informations touristiquesavec des images du pont historique des Andalous et en introduisant un programme de marque de la production locale d'olives de qualité dans le monde. En particulier, l'olive tunisienne est de meilleure qualité dans le monde, mais la marque tunisienne n'est pas assez forte sur le marché mondial aujourd'hui et l'olive locale est plutôt consommée localement, ce qui illustre un modèle de production locale pour la consommation locale.

(2) Proposition préliminaire pour l'occupation du sol

La ville d'El Bab est située dans le gouvernorat de Béja, et la population représente 41 700 habitants et un ménage de 10 400 personnes en 2014 (recensement de la population de 2014). L'industrie régionale principale et l'utilisation des terres sont l'agriculture, y compris les terres agricoles irriguées. La zone urbaine est développée, cependant l'industrie à grande échelle n'est pas installée dans la ville, mais historiquement l'industrie du tourisme aurait pu être une autre ressource essentielle pour la ville. Selon le recensement de 2014, la population pour l'agriculture représente 23,8%, tandis que l'éducation à 21,0% et lafabrication à 22,7%.

En dehors de l'agriculture, il existe de nombreux types de travail, et la ville a des moyens de subsistance actifs bien qu'il s'agisse d'une petite ville. Compte tenu de la situation de la ville, l'exercice de planification de l'utilisation des terres est fait pour 1) générer de la consommation et de l'emploi, 2) améliorer la communauté et les individus, et 3) fournir un effet éducatif et des avantages à la population locale. En particulier, une proposition préliminaire pour promouvoir et améliorer les activités communautaires animées devrait être visualisée. En outre, en utilisant la production d'olives tunisiennes de haute qualité, des installations de recherche et de développement pourraient être développées afin de promouvoir une agriculture durable.

La proposition d'utilisation des terres sera faite pour trois zones, à savoir la "zone urbaine" de la ville d'El Bab, la "zone du bassin de rétention" au nord d'El Bab et la "zone intermédiaire" entre la ville d'El Bab et le bassin de rétention (cf. Figure 11-62). Il existe plusieurs zones fluviales sinueuses plus au nord-est de la zone cible de l'étude, le long de l'oued Medjerda, ces zones sont moins peuplées et devraient être beaucoup moins utilisées par le public. Par conséquent, ces zones ont été éliminées pour l'étude du plan d'occupation des sols.



Source : Équipe d'étude de la JICA avec les données d'OpenStreetMap

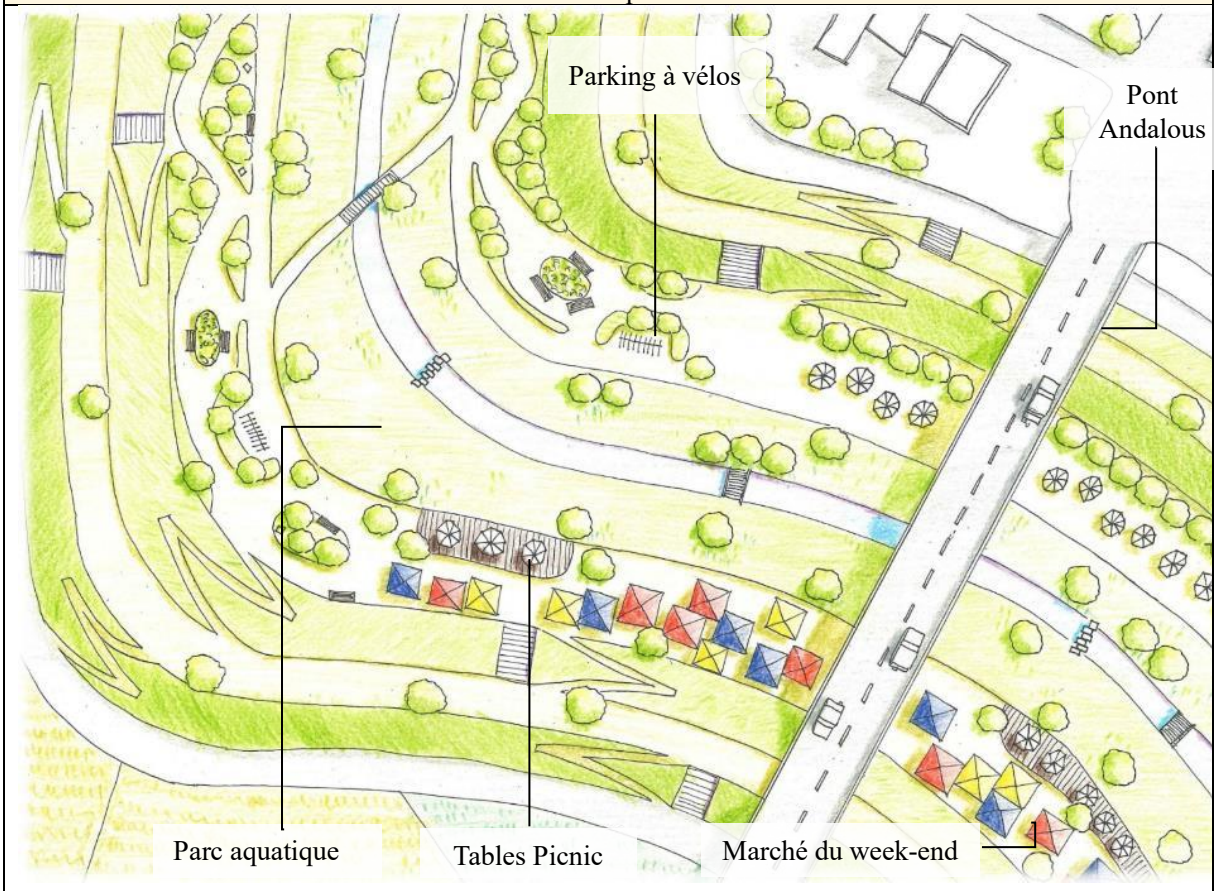
Figure 11-62 Carte de la zone cible de la proposition du plan d'occupation du sol

1) Zone urbaine

Dans la zone urbaine, on envisage de proposer des programmes attrayants pour la population de la ville et des environs et pour les touristes. Les programmes d'aménagement du territoire sont classés en deux catégories, à savoir "zone active" et "zone calme et relaxante".

Dans la "zone active", de grands espaces ouverts de plage de sable avec des tentes d'ombrage seront aménagés le long de l'oued, et un marché sera établi le week-end. Ces programmes fonctionnent de manière intégrée et attirent les gens de sorte que l'interaction de la communauté locale sera améliorée pour les activités de plein air. Le marché du week-end sera installé avec de nombreuses structures temporaires, et les magasins vendront des produits locaux et des matériaux manufacturés, tels que des légumes, des fruits, de la nourriture et des boissons, des vêtements et des objets artisanaux. Les habitants de la région, mais aussi les visiteurs extérieurs, pourront participer aux activités et acheter des produits locaux. En outre,le pin d'Alep (sorte de pin) et le chêne (arbre à feuilles caduques) seront plantés le long de l'oued car ce sont des types de plans qui poussent bien dans l'environnement sec de la Tunisie. Ils donnent de l'ombre et les gens peuvent profiter d'un pique-nique le week-end ou lire à l'ombre sous le climat tunisien. Un tel espace et une telle activité offrent aux gens une expérience extraordinaire pendant les week-ends. Par exemple, la toile de la tente d'ombrage peut être conçue par des artistes locaux qui adoptent et expriment la culture de la région. Grâce à ces programmes de développement, les populations locales établiront leur propre valeur du "lieu" (de la zone cible) et développeront un attachement à la communauté.

Dans la " zone calme et relaxante ", un parc aquatique sera aménagé avec des figures d'art public produites par des artistes locaux, et des œuvres d'art seront dispersées le long du parc. Le parc aquatique sera aménagé lelong du côté nord de l'oued, et permettra aux visiteurs de s'échapper du bruit urbain pour profiter de l'environnement vert du front de mer. Des bancs seront installés le long de l'oued et du sentier afin d'offrir diverses possibilités : marcher, se reposer, lire, etc. Des pistes cyclables et des parcours de jogging reliant la zone urbaine seront également conçus pour un large usage public. Ces zones vertes et ce parc aquatique sont séparés des routes de la ville afin de garantir la sécurité et de maintenir un environnement calme et détendu. En outre, des places de parking seront prévues pour les visiteurs venant en voiture.

Zone Urbaine	
Zone active	**Zone calme et relaxante**
Pour attirer les activités communautaires de plein air, un marché de fin de semaine sera établi le long de l'oued, ce qui pourrait inciter les gens à acheter des produits locaux. Des tentes d'ombrage seront aménagées àcôté du marché pour offrir une expérience non quotidienne, afin que les citoyens puissent profiter d'un pique-nique le week-end.	Un parc aquatique sera créé pour offrir un espace vert calme. De nombreuses œuvres d'art public sont installées le long du chemin du parc. Un espace de parc confortable sera conçu, et les citoyens pourront profiter de la vue sur l'oued et de l'environnement en séparant les espaces calmes des routes de la ville.
Vue en plan	
	
Le marché hebdomadaire sera installé le long de l'oued, entre les digues. Le marché avec les tables de pique-nique autour du marché sur la rive opposée offrent un espace pour de nombreuses activités, manger, parler et autres à tous les visiteurs et aux familles. D'autre part, la "zone de détente calme" (côté gauche de la figure), composée du parcours de jogging et de la piste cyclable, sera entretenue et reliée à la "zone active" (côté inférieur droit de la figure) près de la ville d'El Bab. Ces espaces publics ouverts permettent aux visiteurs de s'éloigner du bruit urbain et de profiter de la nature verte.	

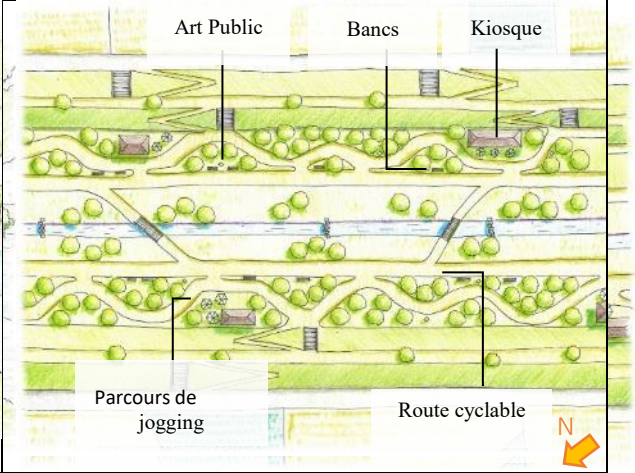
Source: Équipe d'étude de la JICA

Figure 11-63 Illustration du développement de la "zone urbaine"

2) Zone intermédiaire de l'oued

L'espace linéaire du parc riverain sera conçu pour relier la "zone urbaine" et la "zone du bassin de rétention" afin de promouvoir la santé des personnes dans la zone cible en maximisant le profil spatial linéaire et la fonction. Un parc vert linéaire sera créé avec la piste cyclable et le parcours de jogging, en utilisant une digue proposée comme mesure d'atténuation des inondations de l'oued sur une longueur d'environ 3 km. Des espaces de repos et des kiosques avec des bancs parmi le paysage sont installés tous les 200 m le long de la piste cyclable. Le kiosque fournit des boissons et des en-cas pour prendre les mesures contre les coups de chaleur et la déshydratation. La participation de la communauté locale est attendue pour l'exploitation du kiosque.

La piste cyclable et le parcours de jogging seront reliés à la "zone de bassin de rétention", ce qui garantira la sécurité des utilisateurs, car ils sont séparés des routes de la ville. Ils sont pavés avec des pointes de caoutchouc en polyuréthane, qui résistent aux intempéries, sont perméables et réduisent la charge sur les jambes. Des bornes kilométriques seront également installées. Des œuvres d'art public seront installées à distance constante pour former des points de repère et attirer l'attention le long du parc fluvial, ce qui contribuera à sensibiliser le public à l'histoire et à la culture locales.

Zone intermédiaire	
Vu du parcours	**vue en plan**
	
Pour promouvoir la santé des citoyens, une piste cyclable et un parcours de jogging seront aménagés le long de l'oued. Des kiosques vendant des boissons et des snacks seront installés tous les 200 mètres, ainsi qu'un espace de repos, afin de prendre des mesures contre les coups de chaleur et la déshydratation. En outre, des bancs seront installés le long du parcours, et pourront fournir une aire de repos à l'ombre des arbres.	Le parc linéaire situé entre les berges de l'oued sera aménagé avec une piste cyclable et un parcours de jogging. La piste cyclable sera rectiligne et le parcours de jogging sera conçu comme une voie naturelle au milieu d'un environnement vert pour fonctionner également comme une promenade. Les kiosques offrent un espace de repos avec des tables. Les bancs et les œuvres d'art public le long des sentiers donnent des caractéristiques uniques aux espaces et permettent aux gens de pratiquer une activité de plein air gratuite.

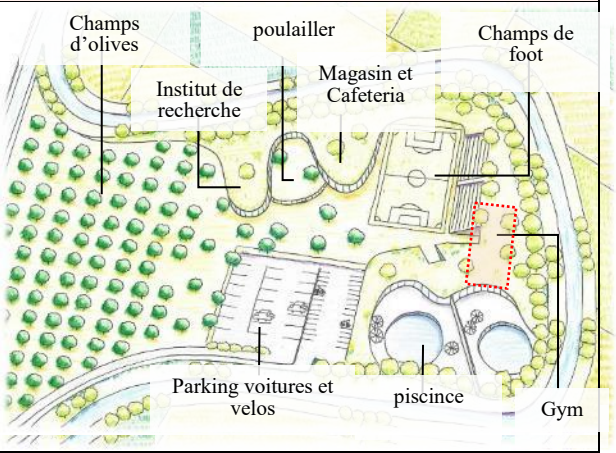
Source: JICA Study Team

Figure 11-64 Illustrtion dudéveloppement de la " zone intermédiaire "

3) Zone du bassin de rétention

Compte tenu de la productivité élevée de l'olive en Tunisie, l'utilisation de la production locale d'olives devrait être envisagée pour augmenter les bénéfices économiques et industriels. Un institut de recherche technologique sera créé pour étudier l'élevage des poulets à partir de l'alimentation à base d'olives, car le sous-produit de l'huile d'olive après pressage pourrait être une bonne matière première. Le programme de l'institut peut se concentrer sur un nouveau système de cycle de production agricole et d'élevage plutôt que sur le profit commercial. L'alimentation utilisée pour la recherche est le sous-produit des olives locales cultivées dans et autour de la "zone du bassin de rétention", et la marque de poulet local pourrait être possible dans le développement futur. Une fois ce cycle de production stabilisé pour l'industrialisation, les terres de l'oliveraie pourraient être étendues aux zones voisines pour une production plus importante. Un arrêt de vente au détail sera établi pour vendre le poulet d'olive et les produits d'huile d'olive locale. Le magasin dispose également d'une cafétéria pour les travailleurs de l'installation et les autres personnes, y compris les visiteurs locaux et les personnes liées à l'installation sportive, car une installation sportive sera également développée dans la même zone.

La zone du bassin de rétention sera dotée d'un terrain de football, d'un gymnase et d'une piscine afin que les habitants puissent avoir un accès plus proche aux activités sportives populaires en Tunisie. Cette zone d'installations sportives est adjacente au magasin de détail et à l'institut de recherche, et le personnelde l'institut et les autres visiteurs des installations sportives peuvent également accéder au magasin de détailet à la cafétéria. La piscine sera divisée en deux catégories de sexe et sera une installation extérieure. Il est nécessaire de réfléchir à la rentabilité de l'exploitation de la piscine, car il est prévu que les dépenses d'entretien augmentent. Cependant, compte tenu de la forte demande dans la région intérieure, le développement de la piscine est nécessaire malgré son coût d'entretien élevé. Les tentes et le paysage autour de la piscine fourniront de l'ombre dans l'espace, et la cafétéria du magasin de détail fournira des repas légers et des boissons..

Zone du bassin de rétention	
Vue du champ de volaille au terrain de football	**Vue a vol d'oiseau**
	
Afin d'améliorer la production d'olives, une ferme oléicole, un institut de recherche et un centre d'élevage de volailles seront créés. En outre, les installations sportives seront développées pour améliorer l'accès des gens à diverses activités sportives, comme le football. En raison du fort ensoleillement en Tunisie, le gymnase sera recouvert de terre plantée pour que les citoyens puissent en profiter comme d'un jardin sur le toit. Les matchs de football pourront être observés depuis le jardin sur le toit.	Le gymnase, la piscine, le magasin de détail, la cafétéria et l'installation de recherche seront articulés dans la même zone. Les installations qui sont recouvertes de terre et le paysage de l'oued Medjerda fonctionneront comme un grand parc. L'olivier sera dispersé dans l'ensemble du parc, ce qui permettra aux citoyens de se rapprocher des activités institutionnelles.

Source: Équipe d'étude de la JICA

Figure 11-65 Illustration de l'aménagement de la " zone du bassin de rétention "

Les contenus préliminaires du programme proposés pour être introduits dans chaque zone sont décrits dans le Tableau 11-28.

Tableau 11-28 Liste des contenus du programme préliminaire proposé par pour chaque zone

N°	Zone	Programme	Description du contenu
1	Urbaine	Marché du week-end	Le marché est constitué de structures temporaires comprenant des magasins vendant des légumes et des fruits locaux, de la nourriture et des boissons, des vêtements et des souvenirs le week-end. La population localeet les visiteurs des banlieues y viennent pour des activités et des rassemblements communautaires.
2	Urbaine	Plage	une plage de sable sera aménagée le long de l'oued. Les gens profitent des week-ends à l'ombre des parasols à l'extérieur. Les gens peuvent aller en pique-nique pour profiter de la nourriture et des boissons vendues au marché au bord de l'oued.
3	Urbaine	Tentes d'ombrage	Des tentes temporaires seront installées sur la plage de sable.
4	Urbaine	Parc sur les rives	Le parc fluvial sera conçu avec des œuvres d'art public réalisées par des artistes locaux le long des voies du parc.
5	Zone intermédiaire	Route cyclable	La piste cyclable sera revêtue de caoutchouc polyuréthane pour réduire la charge sur les jambes, et des bornes kilométriques seront installées.
6	Zone intermédiaire	Parcours de jogging	Le parcours de jogging sera revêtu de caoutchouc polyuréthane pour réduire la charge sur les jambes, et des bornes kilométriques seront installées.
7	Zone intermédiaire	Kiosque	L'aire de repos pour fournir des boissons et des collations sera installée le long de la piste cyclable et du parcours de jogging tous les 200 mètres.
8	Bassin de rétention	Ferme avicole	2.500 olives seront plantées sur une surface d'environ 10ha. 10.000 kg d'huile d'olive et environ 32.700 kg de grignons sont fournis par l'établissement oléicole. (※1)
9	Bassin de rétention	Ferme avicole	La superficie de la ferme est d'environ 7000 mètres carrés, et environ 700 poules y seront élevés. (※2)
10	Bassin de rétention	Institut de recherche	Le sous-produit de l'huile d'olive sera utilisé pour l'élevage de poulets. Les produits de compostage de l'élevage de volailles seront utilisés pour la culture des olives dans le cadre de la recherche. L'institut peut donner aux élèves des écoles primaires locales l'occasion de découvrir la culture des olives et l'élevage de volailles.
11	Bassin de rétention	Terrain de football	Le terrain de football sera aménagé à la fois pour un usage public et pour des matchs spéciaux. On s'attend à ce que la communauté locale crée une équipe de football locale, et que l'équipe et/ou l'équipe d'étudiants du lycée utilisent l'installation.
12	Bassin de rétention	Gym	En plus du terrain de football, des terrains de sport pour le basket-ball, le handball et le volley-ball seront aménagés pour un usage local. Il est prévu que la communauté locale puisse créer des équipes locales, et que les équipes et/ou les équipes de lycéens utilisent les installations.
13	Bassin de rétention	Piscine	Une piscine pour les citoyens sera mise en place. On s'attend à ce que le coût de l'entretien devienne important, mais compte tenu de la forte demande dans la région intérieure, le développement de la piscine est nécessaire.
14	Bassin de rétention	Magasin de détail et Cafétéria	L'huile d'olive et les poulets élevés dans le champ seront vendus dans la boutique. Dans la cafétéria, les visiteurs, les sportifs et autres peuvent acheter de la nourriture, des gâteaux, des boissons et autres produits fabriqués par la communauté locale. La cafétéria peut également être utilisée pour les travailleurs de l'institut.

Source : Équipe d'étude de la JICA

（※1）En moyenne, un seul olivier donnera 15 kg de fruits, et cette quantité d'olive donnera 2 kg d'huile d'olive. Par conséquent, 13 kg de déchets seront laissés après avoir pressé l'huile. Les oliviers sont plantés tous les 6m de distance. La superficie proposée pour le champ d'oliviers est d'environ 92 000 mètres carrés, et 2500 oliviers

pourraient être plantés. Par conséquent, selon le calcul, 32 700 kg d'aliments pour poulets pourraient être produits.

（※2）On calcule qu'un poulet est élevé dans 100 mètres carrés dans l'aviculture.

11.8.8 Évaluation préliminaire du programme de développement potentiel proposé

Sur la base du concept de développement de la proposition préliminaire décrit dans la section précédente, chaque programme de développement potentiel a été évalué pour sa mise en œuvre et son effet de développement sur les activités socio-économiques de la région afin d'assurer l'identification d'une proposition efficace. Cette évaluation pourrait permettre d'identifier les programmes prioritaires et d'orienter les actions futures, y compris l'allocation budgétaire. En notant chaque programme par des critères (indice), l'explication du programme et de la raison de la priorisation aux gouvernements et aux populations locales devrait être beaucoup plus facile et logique, de sorte que la décision du programme prioritaire réel devrait devenir raisonnable et efficace.

(1) Mise en place des critères d'évaluation des projets d'aménagement du territoire

Dans le cadre du projet d'amélioration de la rivière Medgerda et de lutte contre les inondations en tenant compte des catastrophes futures potentielles, les programmes préliminaires d'utilisation des sols proposés sont évalués du point de vue de l'activité économique régionale, de l'interaction communautaire et de l'effet éducatif. A cette fin, quatre critères d'évaluation ont été sélectionnés comme indiqué ci-dessous (voir Table 11-29).

Table 11-29 Critères d'évaluationdu programme (provisoire)

Critères d'évaluation	Objectif de l'évaluation
Effet d'entraînement (d'influence) économique régional	Évaluer si la consommation locale et l'emploi peuvent être augmentés ou non dans la zone cible.
Effet de revitalisation de la société régionale	Évaluer l'amélioration des moyens de subsistance de la population locale et des relations communautaires.
Bénéfice et intérêt du public	Évaluer si chaque programme est bénéfique pour la population locale en général grâce à l'utilisation publique du programme proposé ou non.
Effet de l'éducation sociale	Évaluer si une opportunité éducative à long terme doit être offerte à la région ou non.

Source: Équipe d'étude de la JICA

(2) Méthode d'évaluation

Chaque critère (effet d'entraînement économique régional, revitalisation de la société régionale, bénéfice et intérêt public, et effet d'éducation sociale) sera évalué par quatre (4) notes (0, 1, 2 et 3). La perspective d'évaluation et la base de notation sont résumées dans le Table 11-30.

Table 11-30 Perspective d'évaluation et méthode de notation pour chaque critère

Critères d'évaluation		Scoring	Objectif de l'évaluation	Base de notation
1	**Effet d'entraînement (d'influence) économique régional**	0, 1, 2, 3	Évaluer si la consommation locale et l'emploi peuvent être augmentés ou non dans la zone cible.	Si l'une de ces perspectives est attendue, des points sont ajoutés. • Consommation de marché à réaliser (1 point) • Création d'emplois (1 point) • Augmentation des revenus des zones environnantes (1 point)
2	**Effet de revitalisation de la société régionale**	0, 1, 2, 3	Évaluer l'amélioration des moyens de subsistance de la population locale et des relations communautaires.	Si l'une de ces perspectives est attendue, des points sont ajoutés. • Amélioration des moyens de subsistance (1 point) • Amélioration de l'état de santé des personnes (1 point) • Augmentation des activités communautaires (1 point)
3	**Bénéfice et intérêt du public**	0, 1, 2, 3	Évaluer si chaque programme est bénéfique pour la population locale en général grâce à l'utilisation publique du programme proposé ou non.	Évaluez d'où viennent les utilisateurs/participants du programme en fonction des trois domaines d'écoulement. • Les utilisateurs se rassemblent uniquement dans les zones situées le long de l'oued (1 point) • Les utilisateurs se rassemblent de tous les quartiers de la ville d'El Bab (2 points) • Les utilisateurs se rassemblent en dehors de la zone cible (3 points)
4	**Effet de l'éducationsociale**	0, 1, 2, 3	Évaluer si une opportunité éducative à long terme doit être offerte à la région ou non.	Si l'une de ces perspectives est attendue, des points sont ajoutés. • Interaction et échange entre les générations (1 point) • Possibilité de faire l'expérience des produits régionaux et des ressources touristiques à fournir (1 point) • Possibilité d'expérience en matière de commerce et de production à fournir (1 point)

Source: Equipe d'Etude de la JICA

(3) Évaluation de l'utilisation des terres sur les programmes proposés

L'évaluation de l'effet de développement de chaque programme a été effectuée comme indiqué dans le Tableau 11-31.

Tableau 11-31 Évaluations de l'utilisation des terres de chaque projet

Non.	Zone	Programme	Effet Retombées économiques régionales (rayonnement)	Effet de revitalisation de la société régionale	Bienfait public et effet d'intérêt	Effet d'éducation sociale	Score total	Effet	Évaluation
1	**Zone urbaine**	**Marché du week-end**	**11**	3	2	3	3	Occasion de redécouvrir le charme de la région et de se familiariser avec les activités quotidiennes de la région en vendant des ingrédients locaux, des vêtements traditionnels et des souvenirs. En outre, la mise en place d'un marché du week-end pour les producteurs locaux entraînera un développement régional et une amélioration des bénéfices. De plus, les visiteurs bondés chaque week-end stimuleront les activités de la communauté locale.	Dans l'effet d'entraînement économique régional, 3 points ont été attribués parce qu'il conduit à des activités économiques, à la création d'emplois et à l'amélioration des bénéfices des producteurs des clients à l'intérieur et à l'extérieur de la région. Dans l'effet de revitalisation de la société, 2 points ont été attribués car on s'attend à ce qu'il y ait des habitudes alimentaires de production locale et de consommation locale, et une connexion entre les résidents. Cependant, la relation avec la promotion du sport devrait être faible. Dans l'effet d'intérêt public, 3 points ont été attribués car il est supposé employer des personnes des environs des zones cibles et de l'extérieur de la ville. Dans l'effet d'éducation sociale, on s'attend à ce qu'il y ait une interaction entre plusieurs générations et que l'intérêt des gens pour les produits locaux augmente. De plus, 3 points ont été attribués car les gens peuvent découvrir les activités du marché local.
2	**Zone urbaine**	**Plage de sable Parc**	**5**	0	2	2	1	Encourager les gens à rester à l'extérieur et contribuer à renforcer la communauté entre les habitants du quartier et l'interaction entre les hommes et les femmes de tous âges.	Dans l'effet d'entraînement économique régional, 0 point a été attribué car il n'entraîne pas d'activités de consommation, d'emploi ou de profits. Dans l'effet de revitalisation de la société, 2 points ont été attribués car cela encourage les activités de plein air, ce qui élargit la gamme d'activités de vie et conduit au renforcement de la

									communauté. Dans l'effet d'intérêt public, 2 points ont été attribués car il est supposé employer des personnes de la ville. Dans l'effet de l'éducation sociale, 1 point a été attribué car on s'attend à ce qu'il y ait une interaction entre plusieurs générations.
3	**Zone urbaine**	**Événement de tente**	**5**	0	2	2	1	Le même effet avec une zone sablonneuse est attendu.	La même évaluation avec zone sablonneuse.
4	**Zone urbaine**	**Parc**	**6**	0	3	2	1	Offrant un espace calme et relaxant loin de l'agitation de la ville.	Dans l'effet d'entraînement économique régional, 0 point a été attribué car il n'entraîne pas d'activités de consommation, d'emploi ou de profits. Dans l'effet de revitalisation de la société, 3 points ont été attribués car cela encourage les activités de plein air, ce qui élargit la gamme d'activités de vie, favorise la santé et conduit au renforcement de la communauté. Dans l'effet d'intérêt public, 2 points ont été attribués car il est supposé employer des personnes de la ville. Dans l'effet de l'éducation sociale, 1 point a été attribué car on s'attend à ce qu'il y ait une interaction entre plusieurs générations.
5	**Lits de rivière**	**Route Cyclable**	**3**	0	2	1	0	Contribuer à la promotion du sport pour les hommes et les femmes de tous âges qui vivent autour des lits de l'oued et renforcer la communauté.	Dans l'effet d'entraînement économique régional, 0 point a été attribué car il n'entraîne pas d'activités de consommation, d'emploi ou de bénéfices. Dans l'effet de revitalisation de la société, 2 points ont été attribués parce qu'il encourage les activités de plein air, ce qui élargit l'éventail des activités de vie et favorise la santé. Dans l'effet d'intérêt public, 1 point a été attribué car il est supposé employer des personnes de la ville. Dans l'effet d'éducation sociale, 0 point a été donné car on s'attend à ce qu'il n'y ait pas d'expérience d'interaction entre plusieurs générations, ressources locales, sites de production, etc.
6	**Lits de rivière**	**Cour de footing**	**3**	0	2	1	0	Le même effet avec la route cyclable est attendu.	La même évaluation avec la route cyclable.

sept	**Lits de rivière**	**Kiosque**	**sept**	3	3	1	0	Les kiosques seront construits entre la piste cyclable et le parcours de jogging pour créer un environnement sportif sûr et sécurisé en tenant compte de la prévention contre les coups de chaleur et la déshydratation.	Dans l'effet d'entraînement économique régional, 3 points ont été attribués car il conduit à des activités de consommation, à l'emploi et à l'amélioration des bénéfices des producteurs à partir des clients à l'intérieur de la région. Dans l'effet de revitalisation de la société, 3 points ont été attribués car cela encourage les activités de plein air, ce qui élargit la gamme d'activités de vie, favorise la santé et conduit au renforcement de la communauté. Dans l'effet d'intérêt public, 1 point a été attribué car il est supposé employer des personnes de la ville. Dans l'effet d'éducation sociale, 0 point a été attribué car on s'attend à ce qu'il n'y ait aucune expérience d'interaction entre plusieurs générations, ressources locales, sites de production, etc.

8	**Zone de rétention**	**Ferme d'olives**	**9**	1	2	3	3	S'attendre à une amélioration future de la technologie et de la qualité de la production d'olives en menant des recherches sur la production d'olives à l'aide de divers composts naturels. De plus, la mise en place d'une agriculture basée sur le recyclage sera une activité directement liée à la préservation de l'environnement.	Dans l'effet d'entraînement économique régional, 1 point a été attribué parce qu'il conduit à la création d'emplois. Dans l'effet de revitalisation de la société, 2 points ont été attribués du point de vue de la recherche sur la nouvelle production d'olives utilisant divers composts naturels, une huile d'olive de meilleure qualité sera produite et devrait améliorer les habitudes alimentaires des gens. De plus, dans une optique de renforcement de la communauté, il est attendu des enfants connaissant des activités agricoles. Dans l'effet d'intérêt public, 3 points ont été attribués car il est supposé employer des personnes de l'extérieur de la ville. Dans l'effet d'éducation sociale, 3 points ont été attribués car on s'attend à ce qu'il y ait une expérience sur l'interaction entre plusieurs générations, les ressources locales et les sites de production.
9	**Zone de rétention**	**Élevage de volailles**	**9**	1	2	3	3	Les produits de l'élevage à base d'aliments pour animaux à base d'olives seront reconnus comme une viande riche en polyphénols. Il contribuera à améliorer les habitudes alimentaires et la santé des riverains.	Dans l'effet d'entraînement économique régional, 1 point a été attribué parce qu'il conduit à la création d'emplois. Dans l'effet de revitalisation de la société, 2 points ont été attribués car il est prévu d'améliorer la santé des gens grâce aux habitudes alimentaires parce que les gens consomment de la volaille, qui a été nourrie avec des aliments à base d'olives locales, et améliore les activités communautaires grâce à des expériences d'aviculture pour les enfants. Dans l'effet d'intérêt public, 3 points ont été attribués car il est supposé employer des personnes de l'extérieur de la ville. Dans l'effet d'éducation sociale, 3 points ont été attribués car on s'attend à ce qu'il y ait une expérience sur l'interaction entre plusieurs générations, les ressources locales et les sites de production.
dix	**Zone de rétention**	**Institut de recherche**	**9**	1	2	3	3	S'attendre à une amélioration future de la technologie et de la qualité de la production d'olives en menant des recherches sur la production d'olives à l'aide de divers composts naturels. De plus, l'aviculture utilisant des aliments dérivés de l'olive peut contribuer à améliorer les habitudes alimentaires et la santé des résidents locaux. De plus, la mise en place d'une agriculture basée sur le recyclage sera une activité directement liée à la préservation de l'environnement.	Dans l'effet d'entraînement économique régional, 1 point a été attribué parce qu'il conduit à la création d'emplois. Dans l'effet de revitalisation de la société, 2 points ont été attribués car on s'attend à ce que la santé des gens soit améliorée grâce aux habitudes alimentaires, et cela conduira à la promotion de la santé grâce à la recherche sur la production d'olives de meilleure qualité en utilisant divers composts naturels et l'élevage de volailles utilisant des aliments à base d'olives. Dans l'effet d'intérêt public, 3 points ont été attribués car il est supposé employer des personnes de l'extérieur de la ville. Dans l'effet de l'éducation sociale, 3 points ont été attribués car on s'attend à ce qu'il soit un lieu d'expérience et d'étude pour la communauté.
11	**Zone de rétention**	**Terrain de football**	**sept**	1	3	2	1	S'attendant à promouvoir le sport pour les hommes et les femmes de tous âges dans la région, à renforcer la communauté et à améliorer la santé des gens.	Dans l'effet d'entraînement économique régional, 1 point a été attribué car il conduit à la création d'emplois sur l'entretien de l'herbe. Dans l'effet de revitalisation de la société, 3 points ont été attribués car cela encourage les activités de plein air, ce qui élargit la gamme des activités de vie, favorise les activités sportives et conduit à l'interaction au sein/intra des

									équipes. Dans l'effet d'intérêt public, 2 points ont été attribués car il est supposé employer des personnes de l'extérieur de la ville. Dans l'effet de l'éducation sociale, 1 point a été attribué car on s'attend à ce qu'il y ait une expérience sur l'interaction entre plusieurs générations.
12	**Zone de rétention**	**Gymnase**	**sept**	1	3	2	1	Le même effet avec le terrain de football est attendu.	Dans l'effet d'entraînement économique régional, 1 point a été attribué car il conduit à la création d'emplois sur l'entretien des courts. Dans l'effet de revitalisation de la société, 3 points ont été attribués car cela encourage les activités de plein air, ce qui élargit la gamme des activités de vie, favorise les activités sportives et conduit à l'interaction au sein/intra des équipes. Dans l'effet d'intérêt public, 2 points ont été attribués car il est supposé employer des personnes de l'extérieur de la ville. Dans l'effet de l'éducation sociale, 1 point a été attribué car on s'attend à ce qu'il y ait une expérience sur l'interaction entre plusieurs générations.
13	**Zone de rétention**	**Piscine**	**8**	2	3	2	1	Le même effet avec le terrain de football est attendu. Le programme cible est sur la zone de rétention, et on s'attend à ce qu'il y ait un grand besoin d'entretien de la piscine.	Dans l'effet d'entraînement économique régional, 2 points ont été attribués car il entraîne la création d'emplois pour l'entretien, comme la gestion de la qualité de l'eau et la gestion de la sécurité, et les activités de consommation en utilisant les installations. Dans l'effet de revitalisation de la société, 3 points ont été attribués car il encourage les activités de plein air, ce qui élargit la gamme des activités de vie, promeut les activités sportives et conduit à l'interaction entre les gens. Dans l'effet d'intérêt public, 2 points ont été attribués car il est supposé employer des personnes de l'extérieur de la ville. Dans l'effet de l'éducation sociale, 1 point a été attribué car on s'attend à ce qu'il y ait une expérience sur l'interaction entre plusieurs générations.
14	**Zone de rétention**	**Boutique et Cafétéria**	**9**	2	3	3	1	Mener au développement régional et à la promotion de la santé des populations par des produits locaux frais largement distribués dans la région.	Dans l'effet d'entraînement économique régional, 2 points ont été attribués parce qu'il conduit à la création d'emplois et à des activités de consommation. Dans l'effet de revitalisation de la société, 3 points ont été attribués car cela conduira à la promotion de la santé grâce à des habitudes alimentaires à partir de produits d'olive frais et naturels et de volailles nourries d'olives, et il sera possible de découvrir le site de production et de contribuer au renforcement de la communauté. Dans l'effet d'intérêt public, 2 points ont été attribués car il est supposé employer des personnes de la ville et de l'extérieur de la ville. Dans l'effet de l'éducation sociale, 1 point a été attribué car on s'attend à ce qu'il y ait une expérience sur l'interaction entre plusieurs générations.

Source : Équipe d'étude de la JICA

11.8.9 Ordre de priorité des programmes selon le résultat de l'évaluation

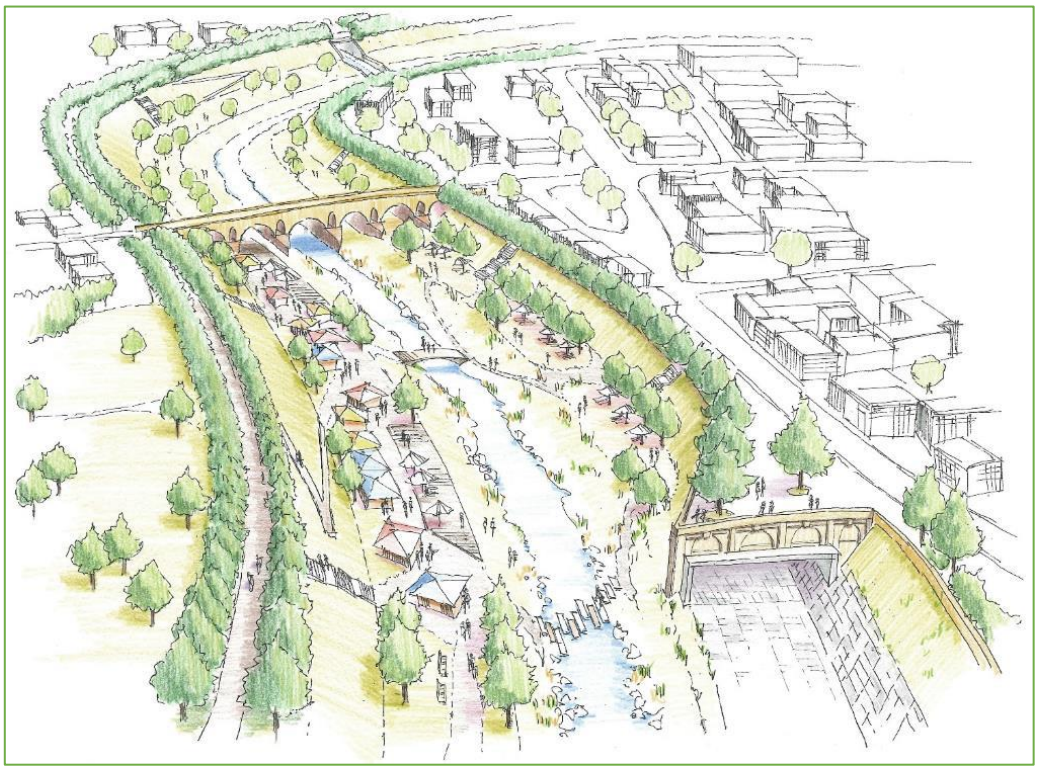
Le résultat de l'évaluation des programmes décrits dans la section précédente est résumé dans ce qui suit (Tableau 11-32). Si les programmes pouvaient être mis en œuvre selon l'ordre indiqué dans le tableau ci-dessous, on pourrait s'attendre à ce qu'ils apportent un effet de développement à la région et résolvent les problèmes et défis locaux.

Tableau 11-32 Ordre de priorité du programme d'utilisation des terres basé sur l'évaluation du programme par chaque zone

Ordre	Zone urbaine	Zone fluviale entre les deux	Zone de bassin de rétention
1er	• Marché du week-end	• Kiosque	• Oléiculture • Aviculture • Centre de recherche • Magasin de détail
2e	• Se garer	• Route cyclable (piste cyclable) • Jogging/course à pied	• Piscine
3ème & plus bas	• Parc de la plage de sable • Événement de tente	—	• Terrain de football de secours • Gymnase

Source : Équipe d'étude de la JICA

Selon l'évaluation ci-dessus des programmes, une image possible d'aménagement futur du front de rivière avec principalement un parc riverain et un marché de week-end a été préparée pour illustrer des exemples d'activités spatiales comme indiqué ci-dessous.



Source : Équipe d'étude de la JICA

Figure 11-66 Exemple du développement riverain au sud du pont Andalous

11.8.10 Problèmes concernés par la mise en œuvre du programme

Il y aurait de nombreux problèmes et défis concernant le fonctionnement, les organismes/organisations de mise en œuvre, le système juridique, le financement et bien d'autres, lorsque les programmes d'utilisation des terres discutés ci-dessus seront mis en œuvre à l'avenir. Il devrait y avoir de nombreuses exigences pour que les activités soient bien suivies lors de la mise en œuvre des programmes, telles que l'enquête et la recherche, la planification, la conception, la construction, l'exploitation et la maintenance ainsi que la planification du projet. La sélection des meilleures options de mise en œuvre devrait également être importante sur la base du leadership du gouvernement, en interrogeant la vitalité privée et les points de vue des partenariats public-privé. Il est nécessaire de commencer par une coordination entre les responsables gouvernementaux concernés dirigée par le gouvernement local au stade initial. Il est alors important d'avoir des consultations et des discussions avec les parties prenantes, y compris les résidents locaux et les communautés.

- Création de l'organe de mise en œuvre du programme au sein du gouvernement
  Au fur et à mesure qu'un programme progresse vers le développement proprement dit, l'organe de mise en œuvre proprement dit (unité de gestion de projet, etc.) doit être organisé pour mener à bien le programme. Il est considéré que le gouvernement local prendra en charge la gestion du programme dans un premier temps pour le développement et que l'exploitation et l'entretien du programme seront confiés au secteur privé.

- Confirmation et ajustement du système juridique actuel soucieux de développement
  Il est nécessaire non seulement de confirmer le système juridique existant concernant les nouveaux développements, l'utilisation des sols et la prévention des catastrophes ainsi que la réglementation architecturale, mais également d'établir la nouvelle loi et les réglementations adaptées aux nouveaux projets d'amélioration des rivières, aux mesures de lutte contre les catastrophes naturelles, à la construction de bâtiments, et l'aménagement du territoire ainsi que l'urbanisme.

- Garantir le budget du gouvernement pour la mise en œuvre
  Il est nécessaire de garantir un budget pour la mise en œuvre du programme, y compris l'enquête, la recherche et la planification, et la création d'un organe de gestion du programme. Pour les phases d'exploitation et de maintenance, il est également nécessaire de sécuriser un budget. Selon les plans d'administration et d'exploitation, l'utilisation complète de plusieurs fonds peut être envisagée, et cela pourrait inclure des fonds gouvernementaux et des fonds d'investissement privés.

- Résoudre les problèmes de considération sociale, principalement la propriété foncière, dans la zone cible du programme
  Pour la mise en œuvre du programme, il est important de résoudre les problèmes de propriété foncière dans la zone cible et de garantir le bénéfice des propriétaires fonciers du point de vue des considérations environnementales et sociales. Il est supposé que la plupart des terres dans les zones cibles sont des terres privées ou des terres avec un bail à long terme. Il est également important d'imaginer un développement de grande surface tout en tenant compte des questions de propriété foncière. Par conséquent, une approche approfondie pour parvenir à un consensus avec les propriétaires fonciers est obligatoire pour obtenir un accord sur l'utilisation des terres.

Selon l'évaluation précédente, des projets hautement prioritaires sont nominés : en particulier « Marché du week-end » et « Kiosque » dans la « Zone urbaine » ; et « Ferme oléicole », « Ferme avicole », « Institut de recherche » et « Magasin et cafétéria » dans « Zone de bassin de rétention ». Sur la base de cette liste de priorités, les problèmes et défis suivants sont prévus.

Programme : « Weekend Market » et « Kiosque » en Zone Urbaine

- Confirmation et modification du régime juridique concerné par l'administration et le fonctionnement du programme du marché du week-end
- Mise en place d'un réseau et coopération entre les groupes communautaires et les organisations
- Mise en place de règles de gestion des déchets et de prévention de la pollution des rivières contre les ordures et les égouts des événements et activités du marché
- Établir un organisme et une structure d'exploitation et de maintenance pour divers services, tels que la gestion et le nettoyage

Programme : « Institut de Recherche » en Zone Bassin de Rétention

- Organisations de recherche ou d'étude nouvellement invitées

  Il est nécessaire d'inviter une organisation de recherche et d'étude, telle qu'une université, afin d'établir l'institut de recherche, car il n'y a pas d'organisation ou d'organisme de ce type autour de la zone cible. L'approche stratégique consiste à sélectionner un ou des domaines d'études nouveaux ou sans concurrence dans le pays.

- Sécurisation des agriculteurs locaux ayant des connaissances et des techniques de culture de l'olivier, promotion des agriculteurs pour entrer en affaires et établissement d'un système de coopération

  La coopération des agriculteurs locaux est essentielle pour faire fonctionner l'oléiculture. Il est nécessaire d'inviter les oléiculteurs de la région qui ont un fort intérêt à participer à l'entreprise.

Chapitre 12 Plan d'Aménagement de l'Oued dans la Zone D1

12.1 Analyse des inondations

Une analyse des inondations a été menée afin d'examiner/évaluer l'effet de la rehabilitation de loued à la section D-1. Le modèle d'inondation initial a été développé en utilisant l'état du canal de l'oued passé en revue en 2008. Le modèle d'inondation a été calibré par rapport à l'inondation réelle survenue en 2003. Des calculs d'essais et d'erreurs ont été effectués pour la réplication du modèle de simulation par rapport à l'inondation réelle passée après avoir développé l'inondation d'inondation préliminaire maquette.

Les travaux d'aménagement de l'oued examinés ont été reflétés dans l'état du chenal de l'oued et l'analyse des inondations a été menée pour évaluer un effet de l'aménagement de l'oued dans la section D-1. De plus, le résultat de l'analyse des inondations sera utilisé pour un calcul coût-bénéfice. L'organigramme de l'analyse des inondations est décrit dans

Figure 12-1.

L'état actuel du chenal de l'oued et le débit cible sont examinés dans la section précédente, et ils sont définis comme des conditions données.

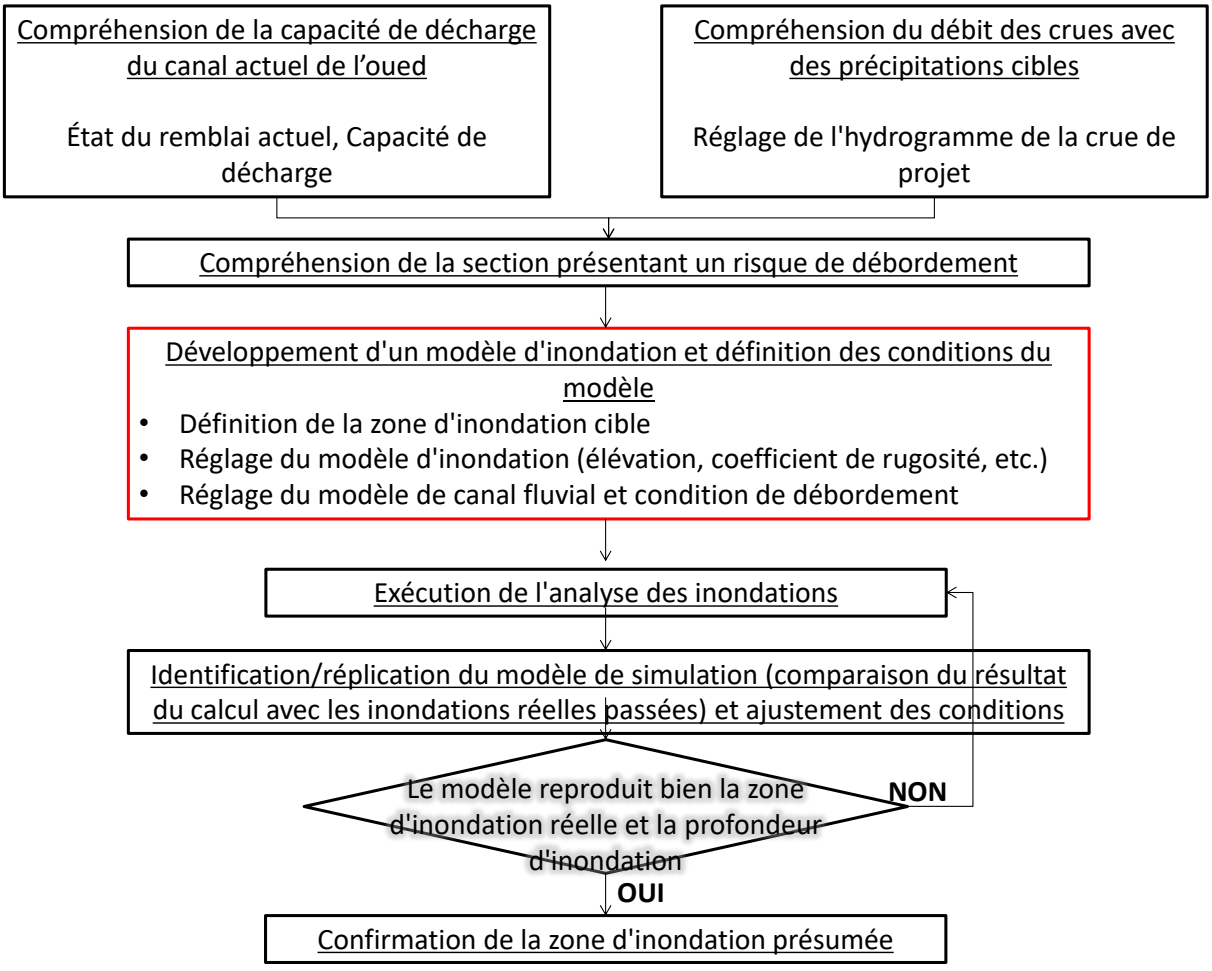


Figure 12-1 Organigramme de l'analyse des inondations

12.1.1 Composition du modèle d'inondation

Le modèle d'inondation doit être le modèle qui a la fonction de tracer la propagation du flux d'inondation par un modèle bidimensionnel d'écoulement instable au niveau du système de drainage des canaux, des vannes, des digues, etc. en fonction des caractéristiques de la zone. Le modèle d'inondation est composé d'un modèle de cours d'eau et d'un modèle d'inondation (modèle unidimensionnel ou bidimensionnel à écoulement instable) dans ce projet. La Figure 12-2 illustre le modèle d'inondation.

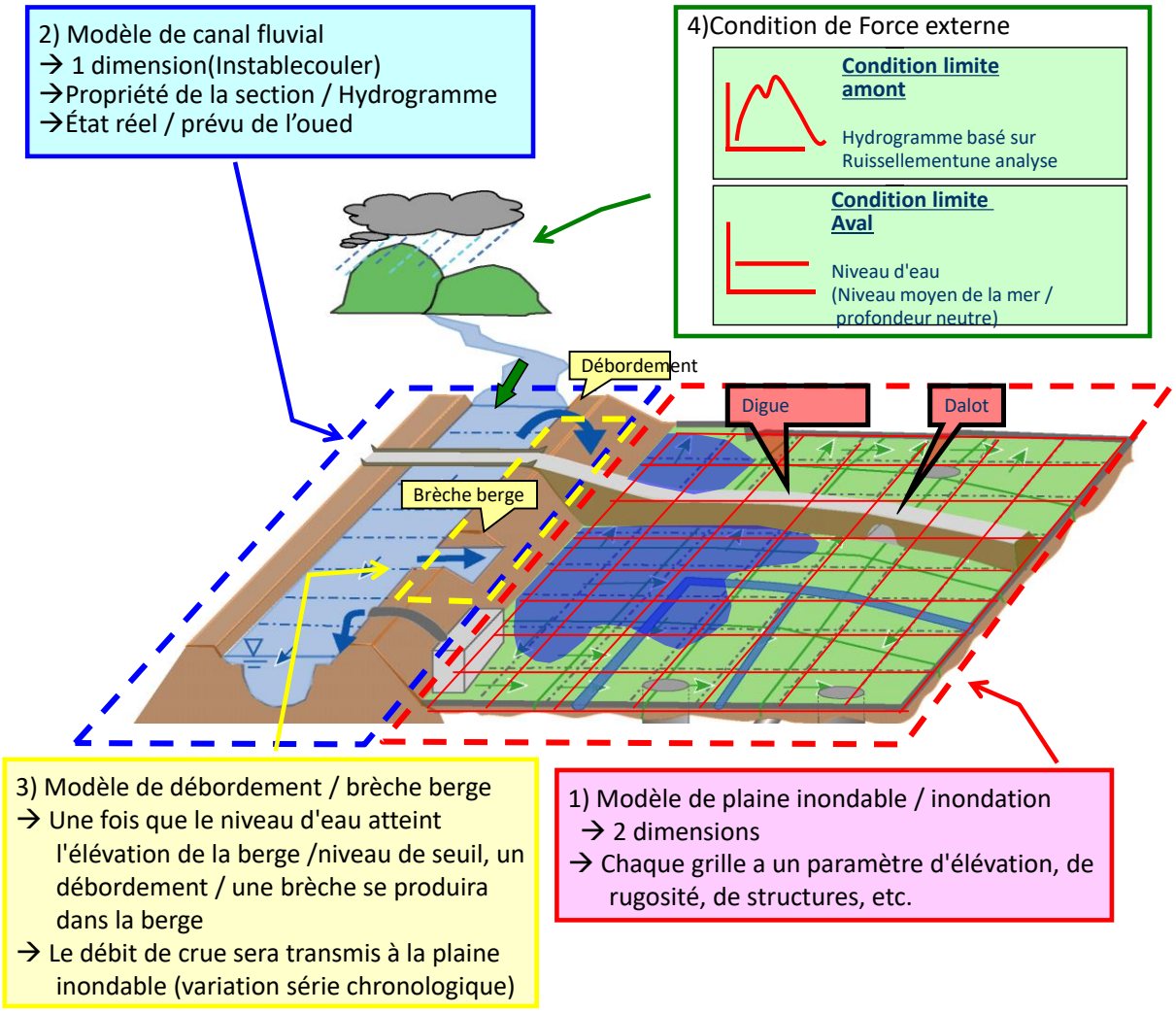


Figure 12-2 Illustration du modèle de la zone d'inondation

12.2 Création d'un modèle d'inondation

(1) Configuration de l'élévation

Le modèle d'élévation numérique global base sur Aster (GDEM, intervalle de pixels : 30 m) est principalement utilisé pour le réglage de l'élévation. EGM2008 (Modèle gravitationnel de la Terre, intervalle de pixels : 0,5 - 2,0 m) est utilisé pour la section D1 le long de oued Medjerda.

L'élévation définie de la zone d'inondation est indiquée dans la Figure 12-3.

(2) Coefficient de rugosité de la zone d'inondation

Le coefficient de rugosité de la zone d'inondation est défini sur la base de la méthode suivante :

1) Le taux d'occupation des bâtiments et le coefficient de rugosité de chaque utilisation du sol sont fixés pour chaque grille.
2) Le coefficient de rugosité dans le bassin d'inondation est exprimé par l'équation suivante basée sur le coefficient de rugosité de la surface du fond :

$$n^2 = n_0^2 + 0{,}02 * (\theta / (100 - \theta)) * h^{4/3}$$

Où; θ : taux d'occupation du bâtiment, h : profondeur d'eau

La rugosité de la surface inférieure hors bâtiment est donnée par la moyenne pondérée suivante :

$$n_0^2 = (n_1^2 A_1 + n_2^2 A_2 + n_3^2 A_3) / (A_1 + A_2 + A_3)$$

Où; A1 : superficie des terres agricoles, n_1 : rugosité des terres agricoles = 0,060

A2 : surface de la route, n_2 : rugosité de la route = 0,047

A3 : autre surface, n_3 : autre rugosité = 0,050

Tableau 12-1 Occupation du sol et coefficient de rugosité de la zone d'inondation

L'utilisation des terres	Occupation du sol (subdivision)	Coefficient de rugosité
Les terres agricoles	Forêt, Cultures, Agroforesterie, Espaces verts	0,060
Route	Urbain, Autres espaces	0,047
Autres	Pâturages, Dunes, Formations forestières, Terres nues, Carrières et mines (Eau / Eau et humide)	0,050 (0,025)

L'occupation du sol dans la zone d'inondation est indiquée dans la Figure 12-4. Le taux d'occupation des bâtiment est calculé pour chaque grille à l'aide des données de contour du bâtiment. L'occupation des bâtiments a été évaluée visuellement sur la base de l'image satellite SIG, en particulier pour les principales zones résidentielles, car il n'y a pas de données numériques pour définir le taux d'occupation des bâtiments dans la zone cible.

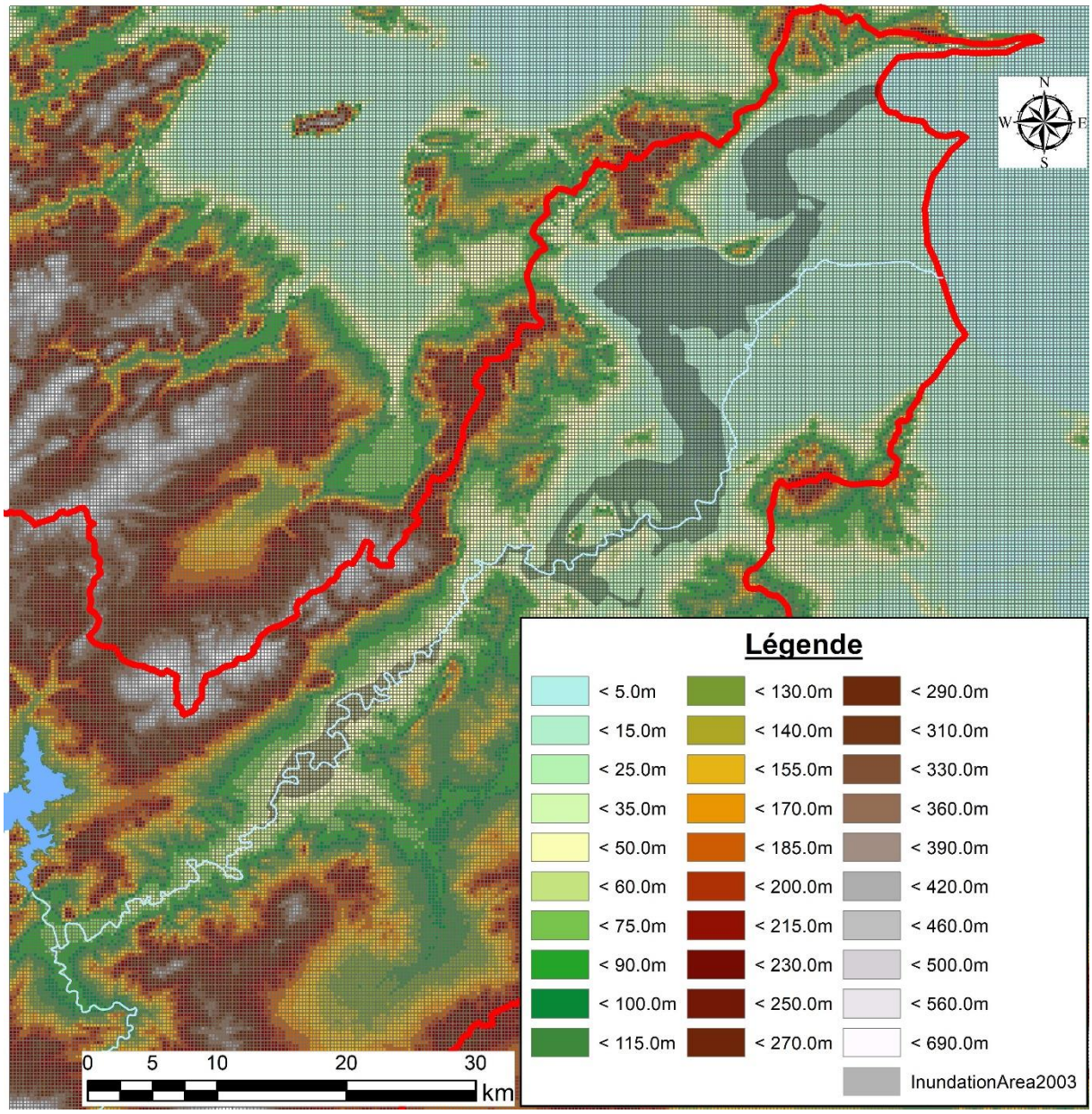


Figure 12-3 Modèle d'élévation du (grille de 270 m)

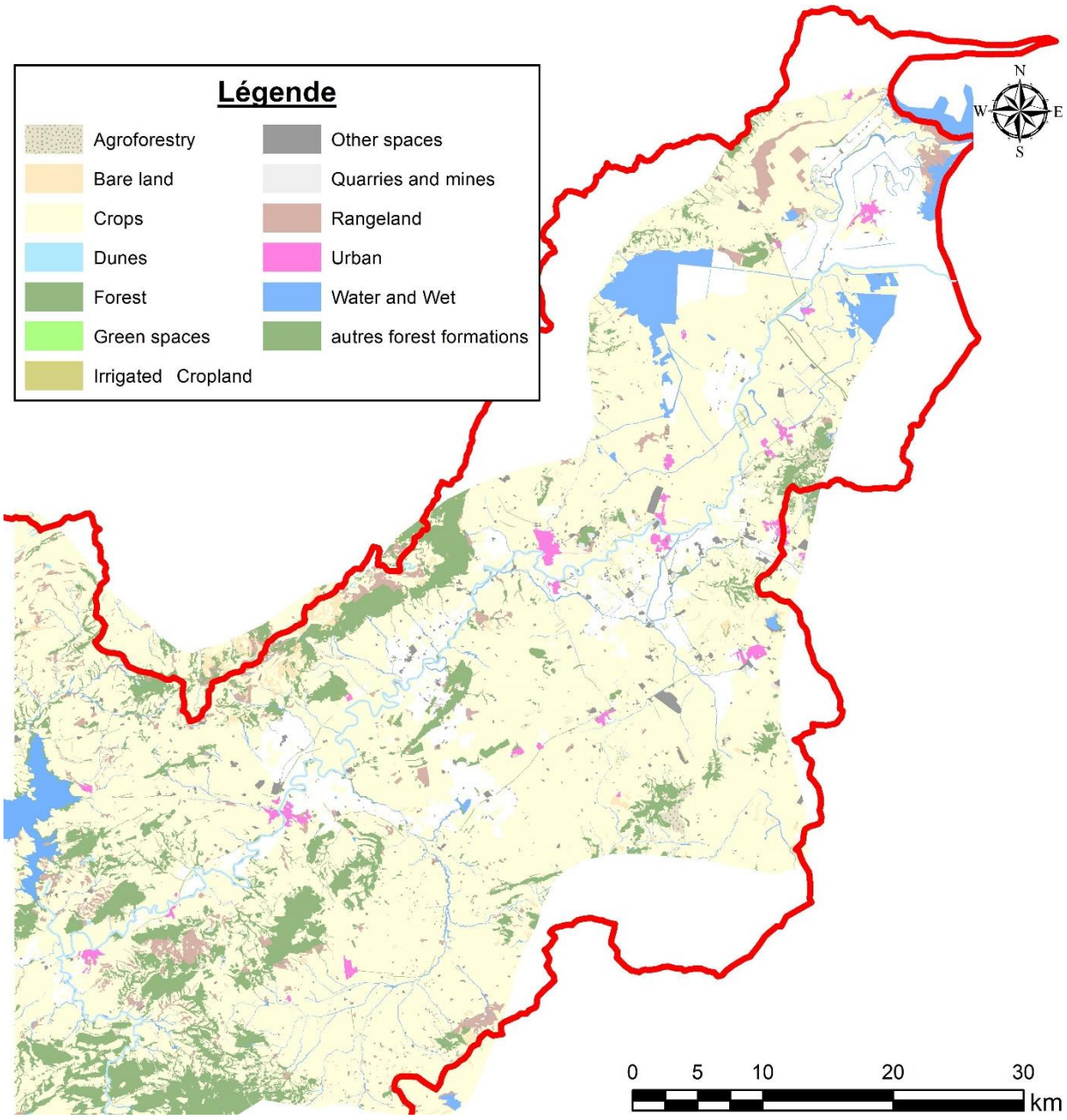
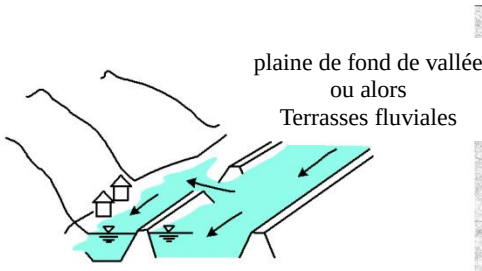


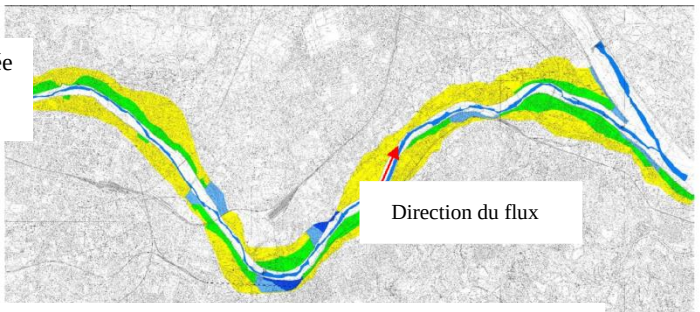
Figure 12-4 Occopation du sol dans la zone d'inondation

(3) Caractéristiques des inondations

Les caractéristiques des inondations sont divisées en trois catégories : Le type “inondation et écoulement le long du cours d’eau", le type "stockage" et le type " grande propagation ".

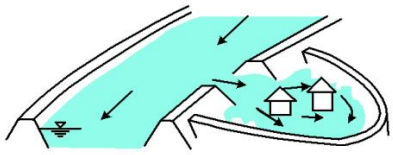
Le type "inondation et écoulement le long du cours d’eau" : Cette catégorie se retrouve généralement dans les zones de collines ou de montagnes, et dans les sections où la pente du cours d'eau est forte. La plaine de crue est généralement étroite.



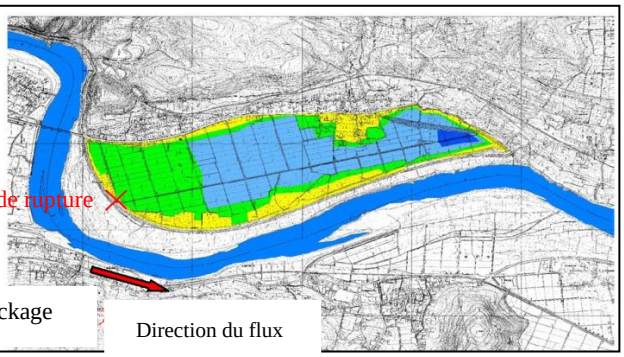


Type: inondation et écoulement le long du cours d'eau

Le type « stockage »: L'eau de crue sera stockée dans une zone fermée, telle que les zones entourées par une montagne, un bassin inter-montagneux ou une dépression de basse altitude.

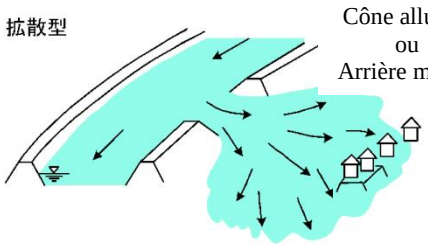


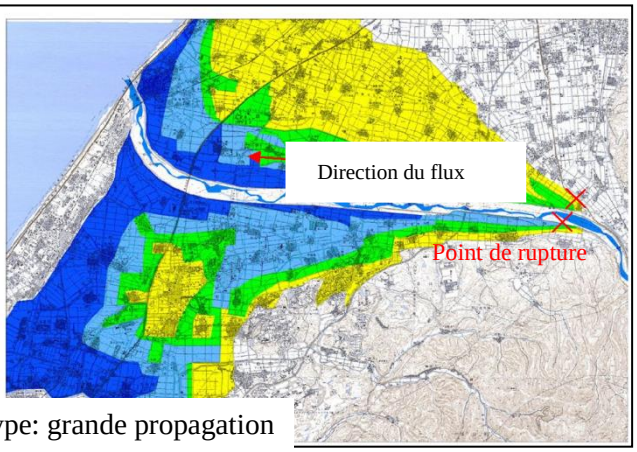
Bassin inter-montagneux



Type: Stockage

Le Type « grande propagation »: Les eaux de crue se répandront en suivant la forme du terrain. Ce style peut se manifester au cône alluvial, à l'arrière-marais et à la zone basse en aval de l'oued.





Type: grande propagation

Quant au cours d'eau cible, les crues dans la zone aval répondent aux caractéristiques du type « grande propagation » et les crues à mi-parcours ou en amont répondent aux caractéristiques du type « inondation et écoulement le long du cours d'eau » ou du type « Stockage » .

Des modèles d'écoulement bidimensionnels instables doivent être appliqués à cette étude, ce modèle pouvant représenter la propagation du flux d'inondation de manière plus détaillée.

Le schéma du modèle est indiqué ci-dessous.

Technique de suivi de l'analyse des inondations

Le modèle d'écoulement bidimensionnel instable est composé de (1) formule de continuité et (2), (3) de formule de formule de conservation de la quantité de mouvement.

- ✧ formule de continuité

$$\frac{\partial H}{\partial y}+\frac{\partial M}{\partial x}+\frac{\partial N}{\partial y}=0 \quad \cdots\cdots (1)$$

✧ X formule de la quantité de mouvement directionnel

$$\frac{\partial M}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(uM)+\frac{\partial}{\partial y}(vM)=-gh\frac{\partial H}{\partial x}-\frac{1}{\rho}\tau_{bx} \quad \cdots\cdots (2)$$

✧ oui formule de la quantité de mouvement directionnel

$$\frac{\partial N}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(uM)+\frac{\partial}{\partial y}(vN)=-gh\frac{\partial H}{\partial Y}-\frac{1}{\rho}\tau_{bx} \quad \cdots\cdots (3)$$

Où; h : profondeur d'eau, H : niveau d'eau, g : accélération gravitationnelle,ρ: densité de l'eau

M = uh : flux de décharge dans la direction x, N = vh : flux de décharge dans la direction y

u : vitesse du courant dans la direction x, v : vitesse du courant dans la direction y

τ_b: Frottement du fond dans l'eau courante, en utilisant la formule de Manning

$$\tau_b=\rho g n^2\sqrt{(u^2+v^2)}\cdot u/h^{1/2} \quad \cdots\cdots (4)$$

Dans le calcul réel, les Figures inconnus des points de calcul M, N et h sont disposés dans une grille décalée. Ensuite, les formules (5) et (6), (5) et (7), qui sont décrites dans les pages suivantes, sont résolues par approximation aux différences finies en expression explicite dans la direction du temps (voir Figure 12-5).

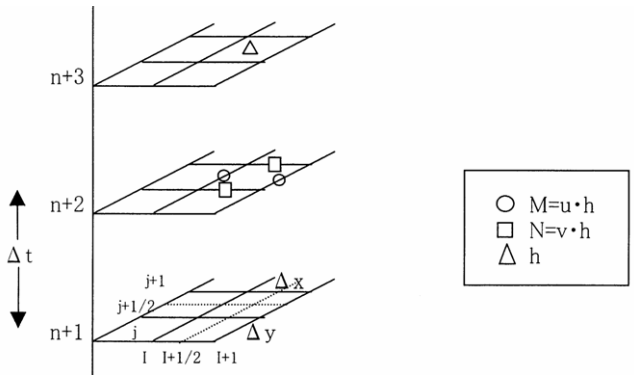


Figure 12-5 Grille à différences finies dans la formule de continuité

Formule de continuité dans l'équation aux différences finies

$$\frac{h^{n+3}_{I+1/2,j+1/2}-h^{n+1}_{I+1/2,j+j+1/2}}{2\Delta t}+\frac{M^{n+2}_{I+1,j+1/2}-M^{n+2}_{I,j+1/2}}{\Delta x}+\frac{N^{n+2}_{I+1/2,j+1}-N^{n+2}_{I+1/2,j}}{\Delta y}=0 \cdot (5)$$

Où, h : profondeur d'eau, H : niveau d'eau, u, v : x, y est la vitesse moyenne de la direction verticale, M = uh, N = vh, n : coefficient Manning de rugosité

Formule de quantité de mouvement dans la direction X.

$$\frac{M^{n+2}_{I,j+1/2}-M^{n}_{I,j+1/2}}{2\Delta t}+\frac{1}{\Delta x}\left[\frac{1}{h^{n+1}_{I+1/2,j+1/2}}\left(\frac{M^{n}_{I+1,j+1/2}+M^{n}_{I,j+1/2}}{2}\right)^2\right.$$

$$\left.-\frac{1}{h^{n+1}_{I-1/2,j+1/2}}\left(\frac{M^{n}_{I,j+1/2}+M^{n}_{I-1,j+1/2}}{2}\right)^2\right]$$

$$+\frac{1}{\Delta y}\left[\frac{(M^{n}_{I,j+1/2}+M^{n}_{I,j+3/2})(N^{n}_{I+1/2,j+1}+N^{n}_{I-1/2,j})}{h^{n+1}_{I-1/2,j+1/2}+h^{n+1}_{I+1/2,j+1/2}+h^{n+1}_{I+1/2,j+3/2}+h^{n+1}_{I-1/2,j+3/2}}\right.$$

$$\left.-\frac{(M^{n}_{I,j+1/2}+M^{n}_{I,j-1/2})(N^{n}_{I+1/2,j}+N^{n}_{I-1/2,j})}{h^{n+1}_{I-1/2,j+1/2}+h^{n+1}_{I+1/2,j-1/2}+h^{n+1}_{I+1/2,j+1/2}+h^{n+1}_{I-1/2,j+1/2}}\right]$$

$$-g\frac{(h^{n+1}_{I+1/2,j+1/2}+h^{n+1}_{I-1/2,j+1/2})(H^{n+1}_{I+1/2,j+1/2}-H^{n+1}_{I-1/2,j+1/2})}{2\Delta x}$$

$$-gn^{2}_{I,j+1/2}\frac{u_{I,j+1/2}\sqrt{[(u_{I,j+1/2})^{2}+(v_{I,j+1/2})^{2}]}}{[(h^{n+1}_{I+1/2,j+1/2}+h^{n+1}_{I-1/2,j+1/2})/2]^{1/3}} \quad \cdots\cdots (6)$$

Où, $u_{I,j+1/2}=(M^{n+2}_{I,j+1/2}+M^{n}_{I,j+1/2})/(h^{n+1}_{I+1/2,j+1/2}+h^{n+1}_{I-1/2,j+1/2})$

$v_{I+1/2,j}=(N^{n+2}_{I+1/2,j}+N^{n}_{I+1/2,j})/(h^{n+1}_{I+1/2,j+1/2}+h^{n+1}_{I+1/2,j-1/2})$

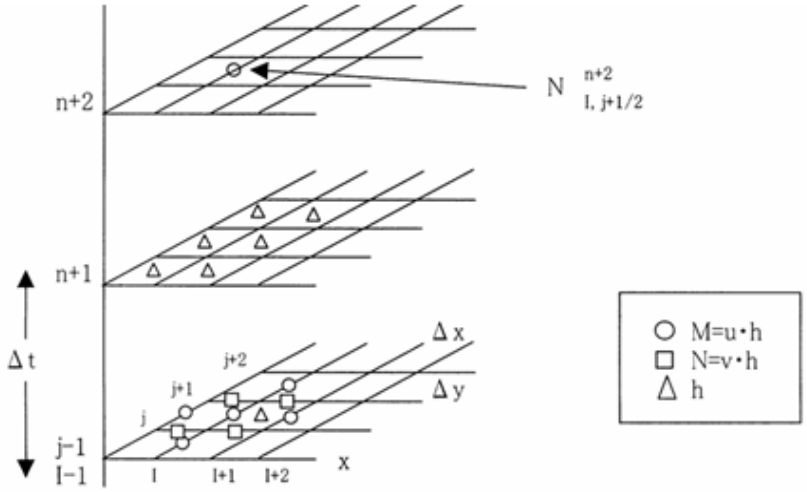


Figure 12-6 Grille de différence finie dans la formule de la quantité de mouvement dans la direction X

Formule de la quantité de mouvement dans la direction Y.

$$\frac{N^{n+2}_{I,j+1/2}-N^{n}_{I,j+1/2}}{2\Delta t}+\frac{1}{\Delta x}\left[\frac{(M^{n}_{I+1,j+1/2}+M^{n}_{I+1/2,j-1/2})(N^{n}_{I+1/2,j}+N^{n}_{I+3/2,j})}{h^{n+1}_{I+1/2,j+1/2}+h^{n+1}_{I+1/2,j-1/2}+h^{n+1}_{I+3/2,j-1/2}+h^{n+1}_{I+3/2,j+1/2}}\right.$$

$$\left.-\frac{(M^{n}_{I,j+1/2}+M^{n}_{I,j-1/2})(N^{n}_{I-1/2,j}+N^{n}_{I+1/2,j})}{h^{n+1}_{I-1/2,j+1/2}+h^{n+1}_{I-1/2,j-1/2}+h^{n+1}_{I+1/2,j}+h^{n+1}_{I+1/2,j+1/2}}\right]$$

$$+\frac{1}{\Delta y}\left[\frac{1}{h^{n+1}_{I+1/2,j+1/2}}\left(\frac{N^{n}_{I,j+1/2}+N^{n}_{I+1/2,j+1/2}}{2}\right)^{2}-\frac{1}{h^{n+1}_{I+1/2,j+1/2}}\left(\frac{N^{n}_{I+1/2,j-1}+N^{n}_{I+1/2,j}}{2}\right)^{2}\right]$$

$$-g\frac{(h^{n+1}_{I+1/2,j+1/2}+h^{n+1}_{I+1/2,j-1/2})(H^{n+1}_{I+1/2,j+1/2}-H^{n+1}_{I+1/2,j-1/2})}{2\Delta y}$$

$$-gn^{2}_{j+1/2,j}\frac{v_{I+1/2,j}\sqrt{[(u_{I,j+1/2})^{2}+(v_{I,j+1/2})^{2}]}}{[(h^{n+1}_{I+1/2,j+1/2}+h^{n+1}_{I+1/2,j-1/2})/2]^{1/3}} \quad \cdots\cdots (7)$$

Où, $u_{I,j+1/2}=(M^{n+2}_{I,j+1/2}+M^{n}_{I,j+1/2})/(h^{n+1}_{I+1/2,j+1/2}+h^{n+1}_{I-1/2,j+1/2})$

$$v_{I+1/2,\,j} = (N^{n+2}_{I+1/2,\,j} + N^{n}_{I+1/2,\,j})/(h^{n+1}_{I+1/2,\,j+1/2} + h^{n+1}_{I+1/2,\,j-1/2})$$

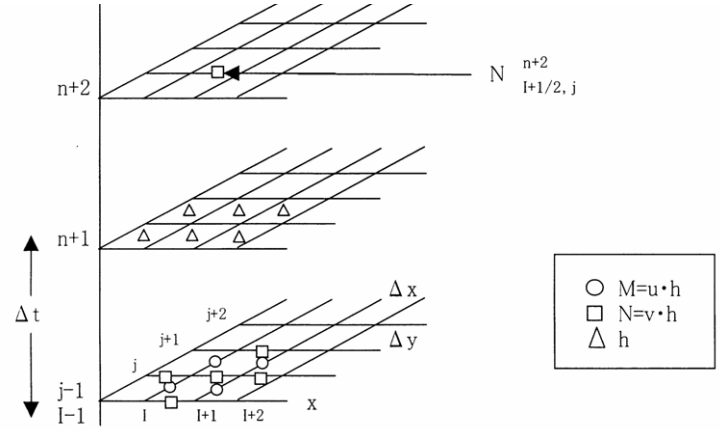


Figure 12-7 Grille de différence finie dans la formule de la quantité de mouvement dans la direction Y

La différence de niveau du flux d'inondation est gérée comme indiqué ci-dessous :

1. La Chute

Le profil de la surface de l'eau devient discontinu dans le cas où l'élévation du sol est remarquablement différente. Dans ce cas, le flux d'écoulement est obtenu par le débit de chute par l'équation suivante.

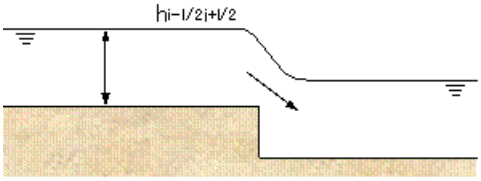


Figure 12-8 Débit de chute

$$\left|N_{i+1/2,j}\right| \quad or \quad \left|M_{i,j+1/2}\right| = \alpha \cdot h_{i-1/2,j+1/2}\sqrt{g \cdot h_{i-1/2,j+1/2}}$$

$$= \alpha \cdot g^{1/2} \cdot h^{3/2}_{i-1/2,j+1/2} \qquad (\alpha: \ Coefficient, \ généralement 0.35)$$

2. La Remontée

Lorsque l'eau située dans un sol de faible niveau est progressivement inondée et que le niveau de l'eau devient plus élevé que le niveau du sol plus élevé, ceci est la condition de remontée.

Le flux d'écoulement est calculé à partir de la pente de la profondeur de l'eau entre les grilles, en utilisant la profondeur de l'eau à partir du niveau supérieur du sol.

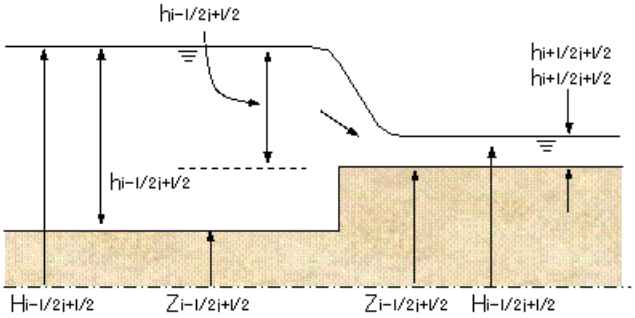


Figure 12-9 Remontée

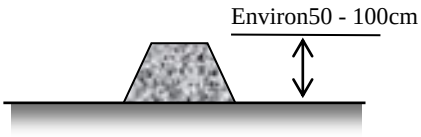
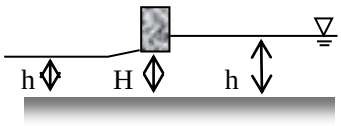
$$M_{i,j+1/2} = \frac{\left(h_{i-1/2,j+1/2} + h_{i+1/2,j+1/2}\right)^{5/3} \cdot \sqrt{\left(H_{i-1/2,j+1/2} - H_{i+1/2,j+1/2}\right)/\Delta\chi}}{2^{5/3} \cdot n}$$

$$Here, \quad h_{i-1/2,j+1/2} = H_{i+1/2,j+1/2} - \left|Z_{i-1/2,j+1/2} - Z_{i+1/2,j+1/2}\right|$$

(4) Configuration de chaque structure

Les structures pouvant affecté les phénomènes d'inondation sont considérées dans le modèle d'analyse. Les structures modélisées sont illustrées dans le Tableau 12-2.

Tableau 12-2 Structures dans le modèle d'inondation

Structure	Méthode	Structures considérées dans le modèle
Digue	➢ Modélisation de remblai Les grands remblais avec différentes élévations (routes principales, digues, voie ferrée et autres) doivent être pris en compte dans le modèle.  ➢ Méthode de modélisation Le remblai est placé sur la limite de la grille de calcul. Ils est considéré comme une étape dans le modèle. L'installation qui traverse le remblai est modélisée en dalot. Le dalot est modélisé de la même manière qu'une vanne ou une vanne murale.	Autoroute A4, RN8 (routes nationales) et quelques autres grands axes (routes régionales)
Drainage *Les détails sont indiqués dans la page suivante	➢ Modélisation du drainage Le drainage principal sera pris en compte dans le modèle. Ici, les drainages qui sont supposés contribuer à la propagation des crues et au renvoi des eaux de crue vers l'oued sont traités dans le modèle, en prenant en compte les données des crues passées. Le drainage est placé sur la limite de la grille de calcul.	Canal de dérivation pour le bassin de retardement dans le D2 et d'autres grands drainages, tel que les canaux d'irrigation
Vanne murale	 H : hauteur de la vanne, B : largeur de la vanne, h1 : le niveau d'eau le plus élevé qui est mesuré à partir du niveau du fond, h2 : le niveau de l'eau le plus bas ➢ Débit submergé: h2 >= H Q = CBH $\sqrt{2g(h_1-h_2)}$, C = 0,75 ➢ Débit intermédiaire : h2 < H et h1 >= 3/2 H Q = CBH $\sqrt{2gh_1}$, C = 0,51 ➢ Débit libre : h2 < H et h1 < 3/2 H Q = CBh2 $\sqrt{2g(h_1-h_2)}$, C = 0,79 en cas de h1/h2 >= 3/2, h2 = 2/3h1 en débit libre	Pas d'écluses dans le bassin ont été considérés comme modélisés
Station de pompage	Les règles de fonctionnement sont prises en considération.	Aucune pompe du bassin n'a été prise en compte dans la modélisation.

(5) Modèle de drainage

Le drainage est modélisé sur la base des procédures indiquées ci-dessous.

Canaux cibles de la modélisation
Les drainages qui sont supposés contribuer à la propagation des crues et au renvoi des eaux de crue vers l'oued sont impliqués dans le modèle par rapport à l'enregistrement des crues passées.

Configuration et forme
La disposition et la forme (largeur, hauteur du canal, hauteur des fondations) du drainage sont définies sur la base d'un plan de conception ou d'une étude de site.

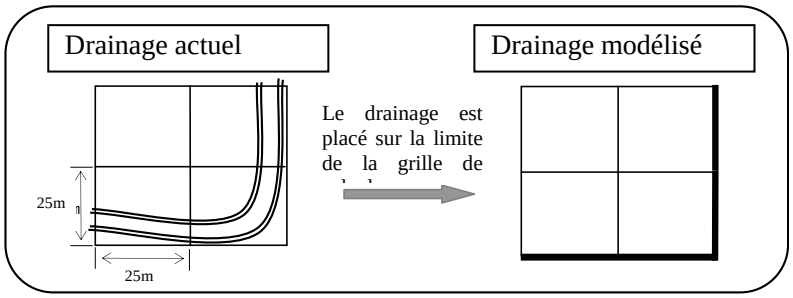


Figure 12-10 Modélisation du drainage

Le calcul du drainage / canal est basé sur la formule suivante, à savoir un calcul d'écoulement instationnaire. Le facteur d'advection est ignoré et le facteur d'accélération sur le terrain est basé sur " Le manuel d'analyse des inondations (projet), février 1996, Ministère de la construction, Institut de recherche des travaux publics ".

L'équation de base pour le calcul des canaux

$$\frac{1}{g}\cdot\frac{\Delta Vd}{2\Delta t}=-\frac{\Delta Hd}{\Delta I}-\frac{n_d{}^2 Vd|Vd|}{h_{dm}{}^{4/3}}$$

h_{dm} : Profondeur moyenne du canal de la grille adjacente (m)

Formule de vitesse dans la direction X.

$h_{dmx}(\mathrm{I},j)=(hs(\mathrm{I},j)+hs(\mathrm{I}+1,j))/2$ hs : Profondeur de l'eau dans le canal (m)

$$Vx(t)_{I,j}=\{Vx(t-1)_{I,j}/g2\Delta t+(Hs(I,j)-Hs(I+1,j))/dx\}$$
$$/\{1/g2\Delta t+nx_{i,j}{}^2|Vx(t-1)_{i,j}|/h_{dmx}(I,j)^{4/3}\}$$

$$Fx(t)_{I,j}=h_{dmx}(I,j)\cdot Vx(t)_{I,j}$$

Formule de vitesse dans la direction Y.

$$h_{dmy}(I,j)=(hs(I,j)+hs(I,j+1))/2$$

$$Vy(t)_{I,j}=\{Vy(t-1)_{I,j}/g2\Delta t+(Hs(I,j)-Hs(I,j+1))/dY\}$$
$$/\{1/g2\Delta t+ny_{I,j}{}^2|Vy(t-1)_{I,j}|/h_{dmy}(I,j)^{4/3}\}$$

$$Fy(t)_{I,j}=h_{dmy}(I,j)\cdot Vy(t)_{I,j}$$

12.2.2 Conditions du modèle d'inondation

Les conditions du modèle d'inondation, y compris celles mentionnées ci-dessus, sont présentées dans le Tableau 12-3 et Tableau 12-4.

Ici, les conditions définies sont principalement classées en trois catégories : modèle d'inondation, modèle du canal de l'oued et condition de débordement.

Les structures définies dans le modèle sont présentées dans la Figure 12-11.

Tableau 12-3 Conditions de modèle d'inondation (1/2)

Elément			Contenu		Conditions
Modèle d'inondation	Zone d'inondation	Catégories d'inondation	Les caractéristiques des inondations sont divisées en trois catégories : Le type “inondation et écoulement le long du cours d’eau", le type "stockage" et le type " grande propagation " ceci est basé sur l’oued et les caractéristiques topographiques de la plaine inondable		D1 : catégorie « inondation et écoulement le long du cours d’eau » et D2 : catégorie « grande propagation »
		Taille de la grille	Grille de 270m x 270m, X : 310 x Y : 330		270m × 270m
		Plaine inondable cible	La zone inondée maximale causée par la crue de Jan. 2003 est comprise dans la zone inondable cible.		Environ. 46 000 grilles
		Zone d'inondation individuelle	Répartition de la zone d'inondation par rive gauche et rive droite des cours d'eau, en tenant compte de la continuité topographique.		-
		Élévation de la grille	Principalement - Aster GDEM (Global Digital Elevation Model), Précision en hauteur : 7 à 14m, Intervalle de pixels : 30m D1 le long de la Medjerda -EGM2008 (Earth Gravitational Model), Pixeje intervalle : 0.5 - 2.0m		Aster GDEM, EGM2008 (D1 le long de la Medjerda)
		Coefficient de rugosité	Le coefficient de rugosité est calculé par l'équation suivante. Le taux d'occupation des bâtiments et le coefficient de rugosité de chaque utilisation du sol sont fixés comme suit. * Utilisation du sol : D'après l'étude JICA passée * Taux d'occupation des bâtiments : calcul du ratio basé sur l'évaluation visuelle avec image satellite SIG		Basé sur "le Manuel d'analyse des inondations (projet), février 1996, Ministère de la Construction, Institut de recherche sur les travaux publics, Japon ".
			n : Coefficient de rugosité, n0 : Rugosité en fonction de l'occupation du sol, θ : Taux d'occupation des bâtiments, h : profondeur d'eau de chaque grille	$n^2 = n_0^2 + 0.020 \cdot \frac{\theta}{100 - \theta} \cdot h^{4/3}$	
			n0 : Rugosité en fonction de l'occupation du sol (ici, n1 : surface agricole = 0,060, n2 : surface route = 0,047, n3 : autre surface = 0,050)	$n_0^2 = \frac{n_1^2 A_1 + n_2^2 A_2 + n_3^2 A_3}{A_1 + A_2 + A_3}$	
	Structure	Digue	Les remblais des routes (principales / majeures) et des trains, ainsi que les structures à ouverture telles que les dalots sont pris en compte. Ces conditions seront définies sur la base de l'enquête de terrain.		Autoroute A4, RN8 (routes nationales) et quelques autres grands axes (routes régionales)
		Drainage	Le drainage principal sera considéré dans le modèle. Ici, les drainages qui sont supposés contribuer à la propagation des crues et au renvoi des eaux de crue vers l’oued sont impliqués dans le modèle par rapport à l'enregistrement des crues passées.		Canal de dérivation pour le bassin de retardement et autres grands drainages, comme les canaux d'irrigation

Tableau 12-4 Conditions de modèle d'inondation (2/2)

Elément			Contenu	Conditions
Modèle de canal fluvial	De base	Inondation cible	Crue passée (fin janvier 2003) L'hydrogramme sera défini sur la base de l'analyse du ruissellement	Crue de janv. 2003 Débit de pointe de crue en amont Débit du Barrage SS : env. 740m^3/s Oued Siliana : env. 120m^3/s
		Répartition des rejets	L'affluent est pris en compte et l'hydrogramme de l'affluent sera défini	Oued Siliana, canal de dérivation du bassin de retardement
		Condition aux limites de l'amont	L'hydrogramme en amont est défini comme une condition aux limites de l'amont	Le barrage de Sidi Salem, le barrage de Siliana (oued Siliana)
		Niveau de l'eau initial en aval	Suivre les conditions du projet précédent	0,770m à l'embouchure
		Courbe de débit (courbe HQ)	Résultats du calcul d'un écoulement non uniforme unidimensionnel ou d'un écoulement non uniforme quasi bidimensionnel	Résultats du calcul d'un écoulement non uniforme unidimensionnel
	Canal de l'oued	Section cible du canal de l'oued	La section cible du canal de l'oued est définie en tenant compte des enregistrements des crues passées	Embouchure de l'oued au barrage de Sidi Salem
		Section transversale du canal de l'oued	La section transversale projetée / planifiée, la section transversale étudiée (en 2008) et la section transversale examinée dans le projet seront définies	Zone D2 : section projetée, Zone D1 : section relevée en 2008 / Section examinée dans le projet
		Coefficient de rugosité du canal de l'oued	Les coefficients de rugosité projetés / planifiés et les coefficients de rugosité estimés pour les berges et les lits des oueds seront définis en tenant compte de l'état du canal	Zone D2 : n = n = 0.035～0.040 Zone D1: n = 0.040
Condition de débordement	Eléments ee base	Durée de calcul	Dépend de l'hydrogramme d'entrée	72 heures
		Intervalle de temps de calcul	⊿t seconde	1,0 sec
	Condition de débordement	Section de débordement	Toute section où l'eau de l'oued dépasse l'élévation de la berge. Le débordement commence lorsque l'eau de l'oued atteint l'élévation de la berge. De plus, les eaux de crue retournent à l'oued lorsque le niveau du cours d'eau est inférieur au niveau d'eau inondée.	-

Elément			Contenu	Conditions
		Hauteur de débordement	Résultats du calcul d'un écoulement non uniforme unidimensionnel ou d'un écoulement non uniforme quasi bidimensionnel	Ecoulement unidimensionnel non uniforme Basé sur « Basé sur " le Manuel d'analyse des inondations (projet), février 1996, Ministère de la Construction, Institut de recherche sur les travaux publics, Japon "»
		Largeur de débordement	La largeur du débordement est calculée en fonction de la formule ou de l'ensemble suivant en tenant compte de l'intervalle de section transversale ●Près des points de confluence : Largeur (m) = $2,0\times(\log_{10}X)^{3.8}+77$, ●Hors des points de confluence proches : Largeur (m) = $1,6\times(\log_{10}X)^{3.8}+62$ * Les points de confluence des principaux tributaires sont considérés comme un point de confluence.. * L'intervalle affecté sera d'environ 2 fois la largeur de l'oued principale, en aval et en amont du point de confluence	Intervalle de coupe Basé sur " le Manuel d'analyse des inondations (projet), février 1996, Ministère de la Construction, Institut de recherche sur les travaux publics, Japon "»
		Debit de débordement	Le débit de débordement est calculé sur la base de la formule de débordement de Honma, comme indiqué ci-dessous. (Ici, h : hauteurs à partir du point de débordement, B : largeur du débordement) - débordement complet ((h2/h1 < 2/3): $Q = 0.35 \times h1\sqrt{2gh1} \times B$ - Débordement submergé (h2/h1 ≧ 2/3): $Q = 0.91 \times h2\sqrt{2g(h1 - h2)} \times B$	Un débordement se produira partout où l'eau de l'oued dépasse l'élévation de la berge
		Pente de l'oued pour le calcul du débit de débordement	Pente réelle du lit de l'oued	Environ. 1/750 ~ 1/2 500

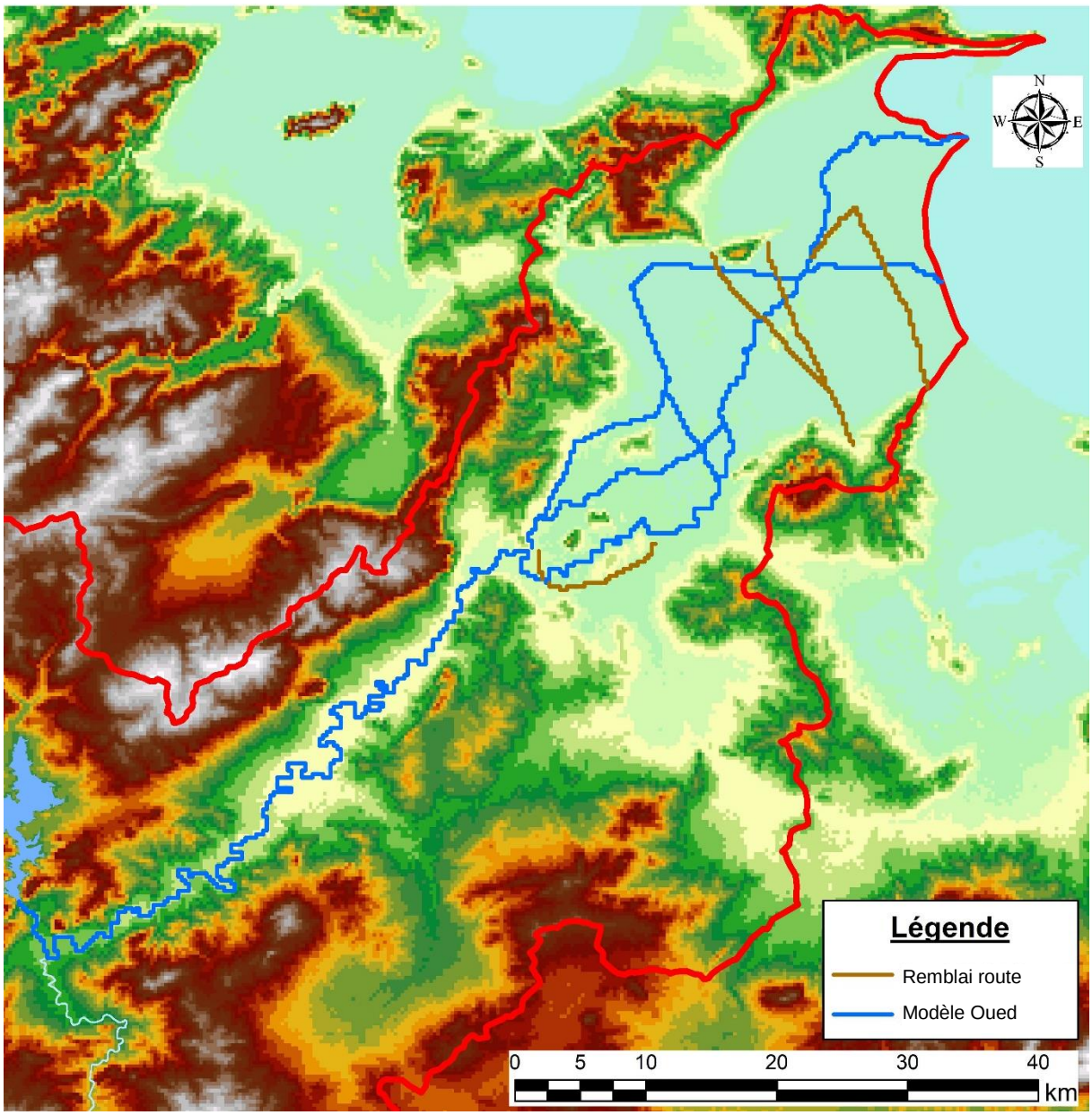
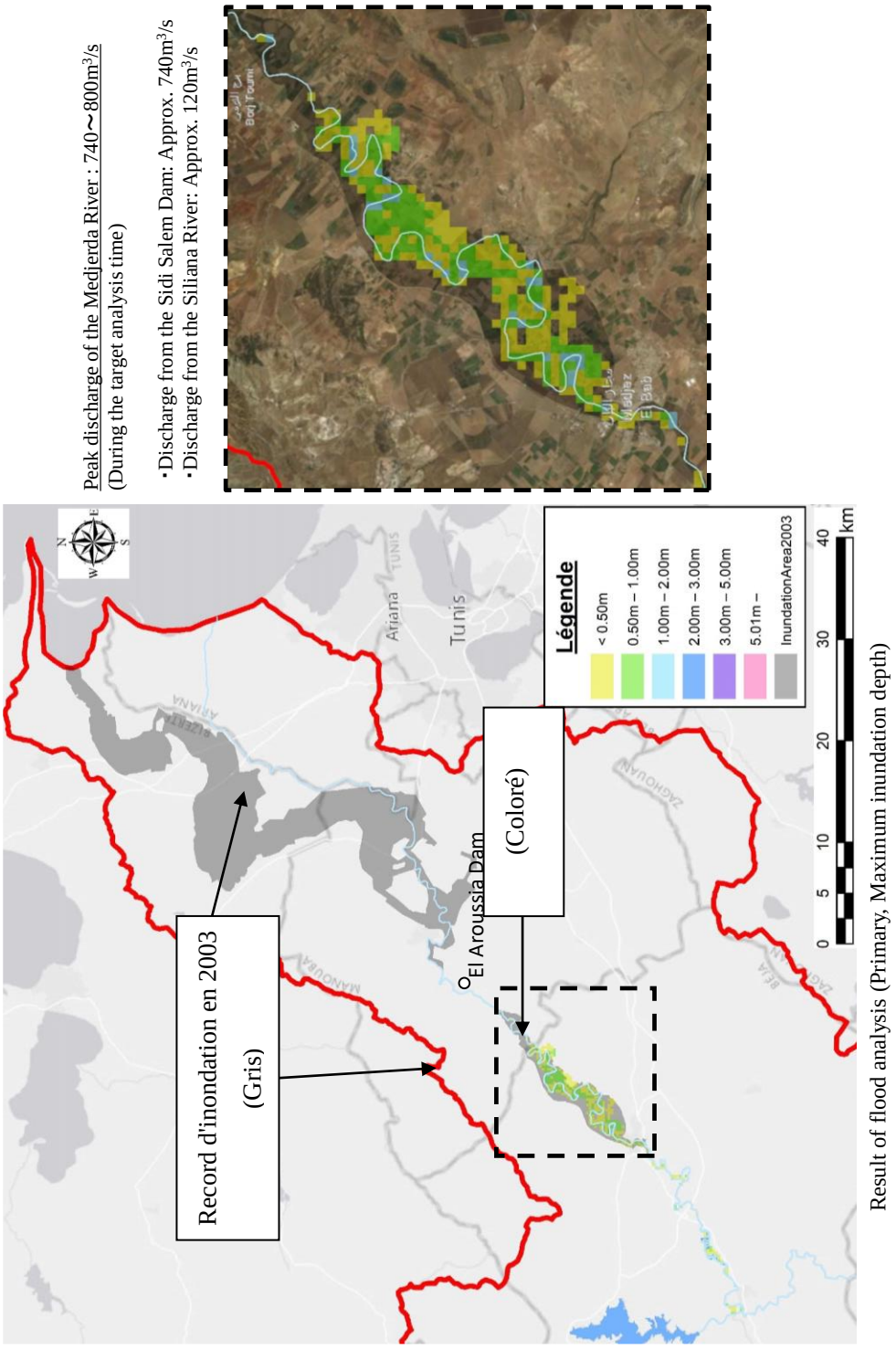


Figure 12-11 Structures modélisées

12.3 Analyse des crues par la crue de 2003

Figure 12-12 illustre le résultat de l'analyse des crues par la crue de 2003 avec les conditions et le modèle mentionnés précédemment. En comparant l'enregistrement réel de l'inondation et le résultat calculé dans la Figure 12-12, on considère que le résultat analytique a bien dupliqué l'inondation réelle.



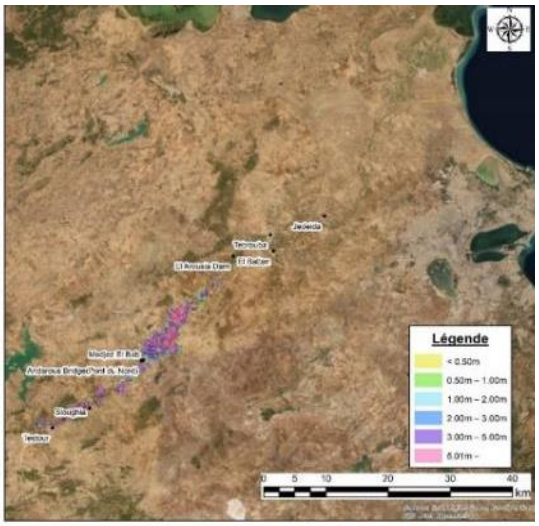
Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 12-12 Résultat du calcul de l'inondation de 2003

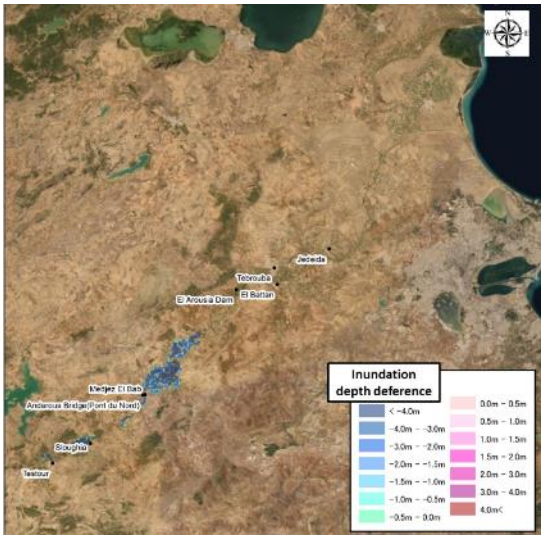
12.4 Résultats des inondations par chaque période de retour

12.4.1 Résultats de l'inondation dans le calcul des mailles de 270m par chaque période de retour

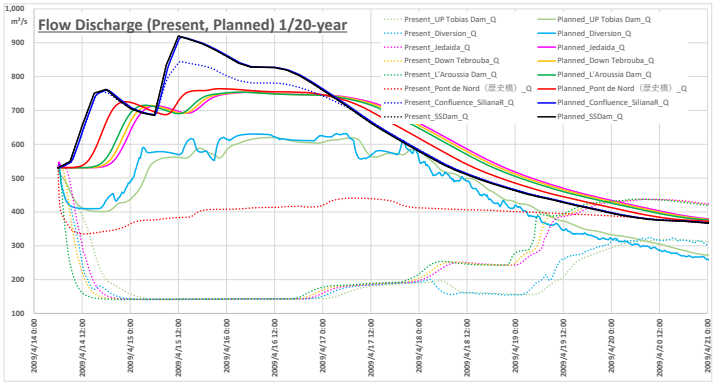
Nous avons organisé la situation d'inondation pour chaque période de retour (W=1/10, 1/20, 1/50, 1/100). En outre, la différence entre les profondeurs d'inondation de chaque plan d'amélioration de l'oued proposé (avec travaux de l'oued et avec raccourci) et les conditions actuelles est calculée pour confirmer si une augmentation de la profondeur d'inondation (impact négatif) s'est produite après l'application du plan d'amélioration de la rivière. Les résultats sont résumés comme dans la Figure 12-13, et chaque résultat est joint en annexe : Référence (Analyse de l'inondation).



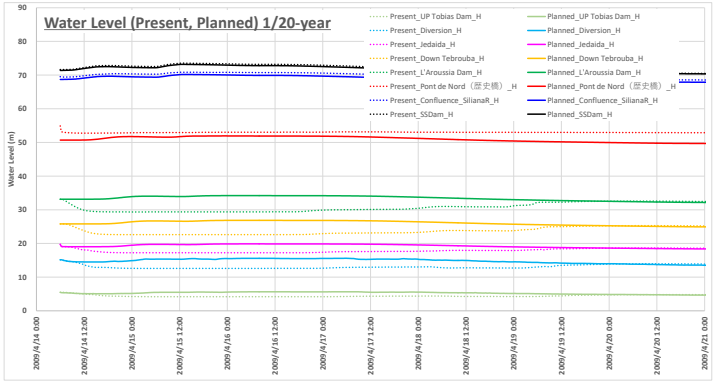
Profondeur d'inondation (actuelle)



Avec travaux de l'oued -Présent (Profondeur d'inondation)



Hydrogramme de débit (Solide : avec travaux de l'oued, Pointillé : actuel)



Hydrogramme du niveau d'eau (Solide : avec travaux de l'oued, Pointillé : actuel)

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 12-13 Exemple de résultats de calcul (W=1/20)

(1) Résultats de l'inondation selon le calcul par maille de 270m pour chaque période de retour

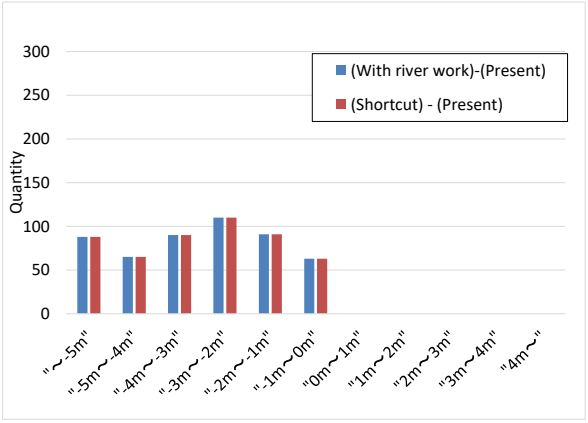
1) W=1/10

La situation d'inondation dans chaque période de retour (W=1/10, 1/20, 1/50, 1/100) a été étblie. En outre, la différence entre les profondeurs d'inondation de chaque plan d'aménagement de l'oued proposé (Avec aménagement de l'oued et Avec raccourci) et les conditions actuelles est calculée pour confirmer si une augmentation de la profondeur d'inondation (Impact négatif) s'est produite après l'application du plan d'aménagement de l'oued.

Les figures suivantes montrent la distribution de la profondeur maximale d'inondation, du niveau d'eau et de l'hydrogramme de débit ainsi que la différence de profondeur d'inondation (impact négatif) pour chaque cas dans la situation W-1/10. Il est note qu'aucune inondation ne se produit après les travaux d'aménagement de l'oued dans situation de débit de crue avec une période de retour de 10 ans.

La distribution de l'impact négatif et le volume d'inondation entre les deux plans d'aménagement de l'oued et la condition actuelle sont montrés ci-dessous ; aucune inondation ne se produit après la période de retour à W=1/10, donc les travaux de l'oued et le raccourci ne sont pas comparés dans cette section.

En outre, la distribution de l'impact négatif est classée pour observer chaque section et point (Zone D1, autour du pont historique, Testour et Medjez El Bab) Avec W=1/10, il n'y a pas d'inondation dans ces zones.



Pas d'inondation

Avec raccourci- avec travaux de l'oued présent

Avec raccourci- avec travaux de l'oued

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 12-14 Distribution de la différence entre chaque profondeur d'inondation (W=1/10)

Tableau 12-15 Volume d'inondation dans la Zone D1 et à chaque point (W=1/10)

Volume d'inondation (millions de m^3)	1/10 ans		
	Présent	**Avec travaux oued**	**Avant après**
Ensemble D1	**118**	**0**	**118**
- Aval d'Andalou	**96**	**0**	**96**
- En amont d'Andalous	**22**	**0**	**22**
- En aval de Sloughia	**6**	**0**	**6**
- Testout à Sloughia	**12**	**0**	**12**
- Autour de Testour	**3**	**0**	**3**

Présent et Avec les travaux de l'oued

Volume d'inondation (millions de m^3)	1/10 ans		
	Présent	**Avec raccourci**	**Avant après**
Ensemble D1	**118**	**0**	**118**
- Aval d'Andalou	**96**	**0**	**96**
- En amont d'Andalou	**22**	**0**	**22**
- En aval de Sloughia	**6**	**0**	**6**
- Testout à Sloughia	**12**	**0**	**12**
- Autour de Testour	**3**	**0**	**3**

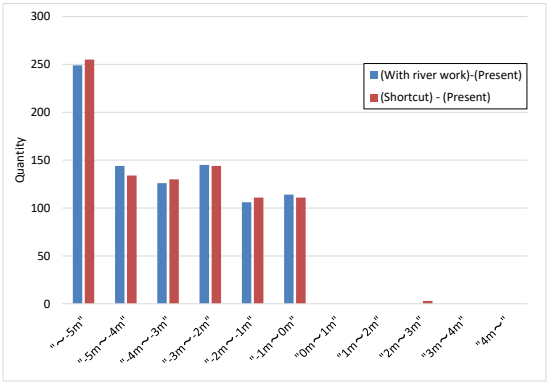
Présent et Avec raccourci

Source: Equipe d'Etude de la JICA

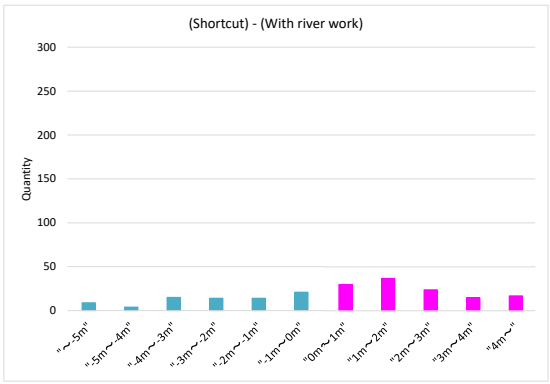
2) W=1/20

La distribution de la profondeur d'inondation, de l'hydrogramme du niveau d'eau et de débit, ainsi que la différence de profondeur d'inondation (impact négatif) pour chaque cas sont présentés ci-dessous. Bien que la période de retour 1/20 soit supérieure à la période de retour prévue, la plupart des endroits sont améliorés après les deux plans d'aménagement de l'oued.

Ensuite, la répartition de l'impact négatif et du volume d'inondation entre les deux plans d'aménagement de l'oued et la situation actuelle est présentée ci-dessous. En comparaison avec la situation actuelle, il n'y a pas de détérioration après l'aménagement de l'oued. Dans le cas du raccourci, il y a une section où l'inondation est plus grande que dans le cas des travaux de l'oued parce que des bassins de rétention sont mis en place dans la section du raccourci. D'autre part, dans le cas de la zone D1 (en amont du pont historique), la profondeur d'inondation est plus faible dans les zones urbaines de Medjez El Bab et Testour par rapport aux cas des travaux de l'oued. En outre, le volume d'inondation est réduit de 94% dans le cas des travaux de l'oued et de 88% dans le cas du raccourci par rapport aux conditions actuelles.



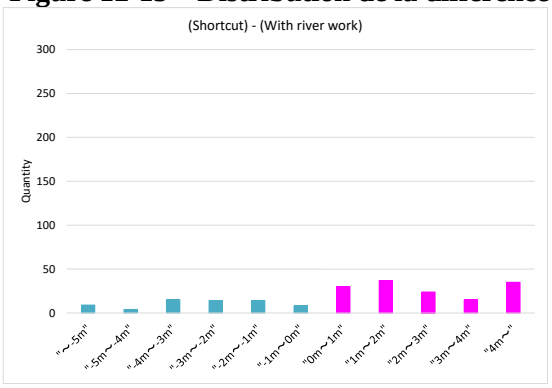
Avec raccourci- avec travaux de l'oued présent



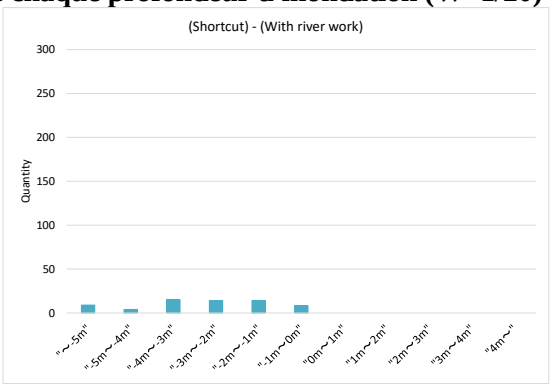
Avec raccourci- avec travaux de l'oued

Source: Equipe d'Etude de la JICA

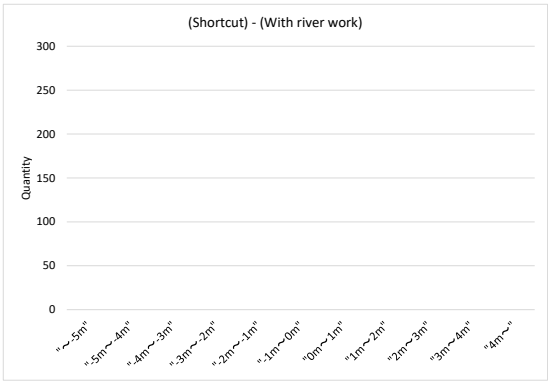
Figure 12-15 Distribution de la différence entre chaque profondeur d'inondation (W=1/20)



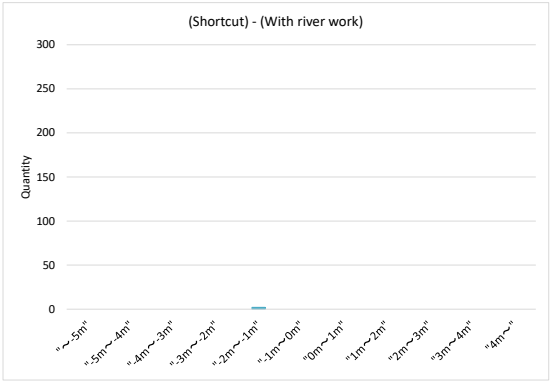
Zone D1



Zone D1 (A l'mont du pont historique)



Medjez El Bab



Testour

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 12-16 Distribution de la différence de profondeur d'inondation (raccourci – travaux de l'oued) dans chaque région (W=1/20)

Tableau 12-6 Volume d'inondation à la zone D1 et à chaque point (W=1/20)

Volume d'inondation (millions de m^3)	1/20 ans		
	Présent	**Avec travaux oued**	**Avant après**
Ensemble D1	**256**	**16**	**240**
- Aval d'Andalou	**169**	**2**	**167**
- En amont d'Andalou	**87**	**14**	**73**
- En aval de Sloughia	**51**	**4**	**46**
- Testout à Sloughia	**25**	**dix**	**16**
- Autour de Testour	**11**	**0**	**11**

Présent et Avec les travaux de l'oued

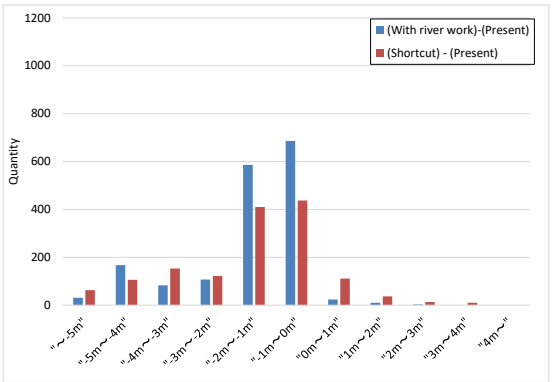
Volume d'inondation (millions de m^3)	1/20 ans		
	Présent	**Avec raccourci**	**Avant après**
Ensemble D1	**256**	**30**	**226**
- Aval d'Andalou	**169**	**29**	**140**
- En amont d'Andalou	**87**	**1**	**86**
- En aval de Sloughia	**51**	**0**	**51**
- Testout à Sloughia	**25**	**1**	**25**
- Autour de Testour	**11**	**0**	**11**

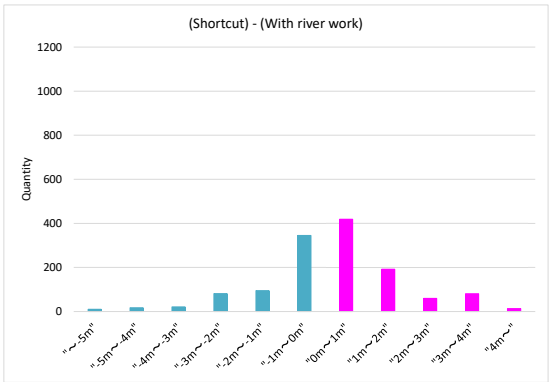
Source: Equipe d'Etude de la JICA

3) W=1/50

La distribution de la profondeur d'inondation, l'hydrogramme du niveau d'eau et de débit, ainsi que la différence de profondeur d'inondation (impact négatif) pour chaque cas sont présentés ci-dessous. Bien que la période de retour 1/50 soit une inondation excessive, la zone d'inondation est améliorée dans une certaine mesure.

Ensuite, la distribution de l'impact négatif et du volume d'inondation entre les deux plans d'aménagement de l'oued et la situation actuelle est présentée ci-dessous. En comparaison avec la situation actuelle, il y a peu de zones qui se détériorent après l'aménagement de l'oued. Dans le cas du raccourci, il y a une section où l'inondation est plus importante que celle du cas des travaux de l'oued parce que des bassins de rétention sont mis en place dans la section du raccourci. D'autre part, dans le cas de la zone D1 (en amont du pont historique), la profondeur d'inondation est plus faible dans les zones urbaines de Medjez El Bab et Testour par rapport au cas des travaux de l'oued. En outre, le volume d'inondation est réduit de 42% dans le cas des travaux de l'oued et de 43% dans le cas du raccourci par rapport aux conditions actuelles.



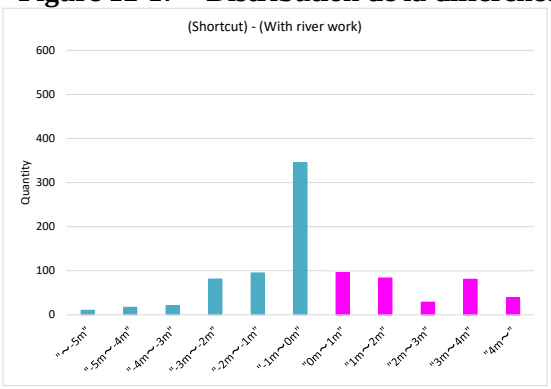


Avec raccourci- avec travaux de l'oued Présent

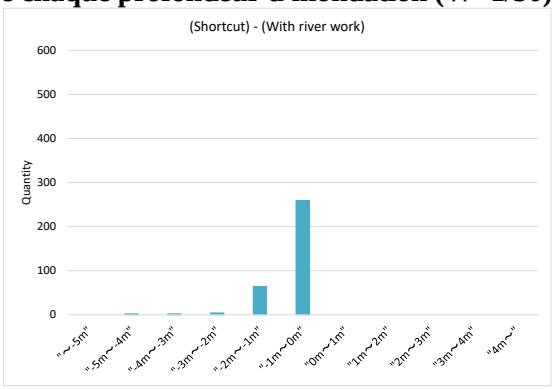
Avec raccourci- avec travaux de l'oued

Source: Equipe d'Etude de la JICA

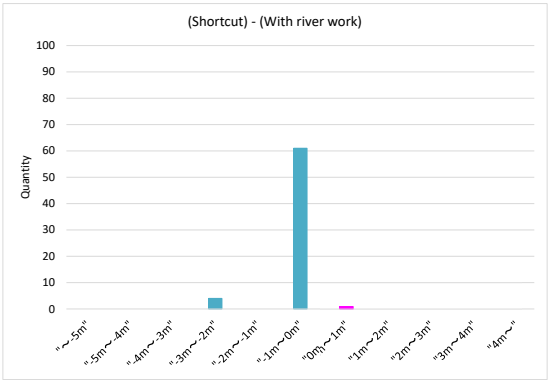
Figure 12-17 Distribution de la différence entre chaque profondeur d'inondation (W=1/50)



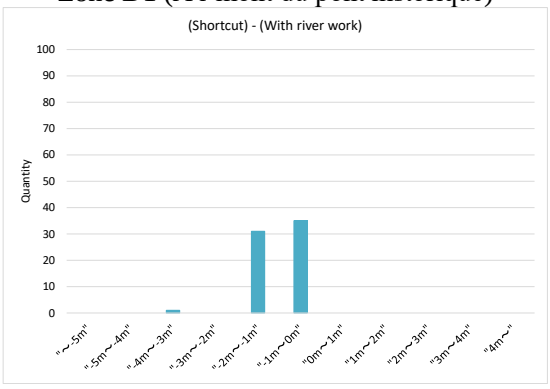
Zone D1



Zone D1 (A l'mont du pont historique)



Medjez El Bab



Testour

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 12-18 Distribution de la différence de profondeur d'inondation (raccourci - travaux de l'oued) dans chaque région (W=1/50)

Tableau 12-7 Volume d'inondation à la zone D1 et à chaque point (W=1/50)

Volume d'inondation (millions de m^3)	1/50 ans		
	Présent	**Avec travaux oued**	**Avant après**
Ensemble D1	**403**	**235**	**168**
- Aval d'Andalou	**232**	**94**	**138**
- En amont d'Andalou	**171**	**141**	**30**
- En aval de Sloughia	**87**	**69**	**18**
- Testout à Sloughia	**50**	**45**	**5**
- Autour de Testour	**33**	**26**	**sept**

Présent et Avec les travaux de l'oued

Volume d'inondation (millions de m^3)	1/50 ans		
	Présent	**Avec raccourci**	**Avant après**
Ensemble D1	**403**	**229**	**173**
- Aval d'Andalou	**232**	**108**	**124**
- En amont d'Andalou	**171**	**122**	**49**
- En aval de Sloughia	**87**	**60**	**27**
- Testout à Sloughia	**50**	**40**	**11**
- Autour de Testour	**33**	**21**	**12**

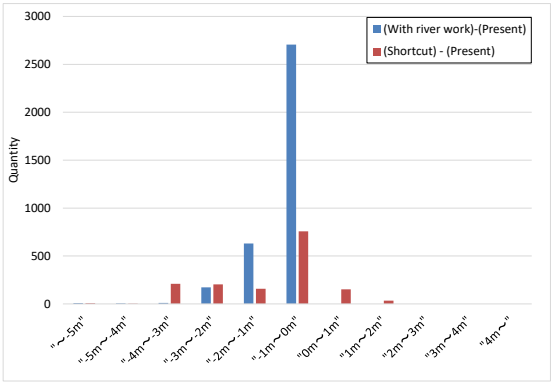
Présent et avec raccourci

Source: Equipe d'Etude de la JICA

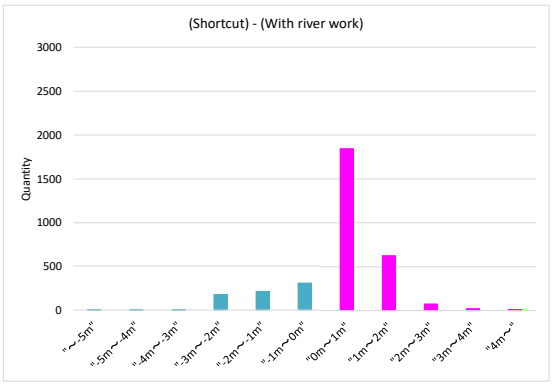
4) W=1/100

La distribution de la profondeur d'inondation, et l'hydrogramme de niveau d'eau et de débit, ainsi que la différence de profondeur d'inondation (impact négatif) pour chaque cas sont présentés ci-dessous. Bien que la période de retour de 1/100 soit une inondation excessive, la zone d'inondation est améliorée dans une certaine mesure.

Ensuite, la distribution de l'impact négatif et du volume d'inondation entre les deux plans d'aménagement de l'oued et la situation actuelle est présentée ci-dessous. En comparaison avec la situation actuelle, il y a peu de zones qui se détériorent après l'aménagement de l'oued. Dans le cas du raccourci, il y a une section où l'inondation est plus importante que celle du cas des travaux de l'oued parce que des bassins de rétention sont mis en place dans la section du raccourci. D'autre part, dans le cas de la zone D1 (en amont du pont historique), la profondeur d'inondation est plus faible dans les zones urbaines de Medjez El Bab et Testour par rapport au cas des travaux de l'oued. En outre, le volume d'inondation est réduit de 18% dans le cas des travaux de l'oued et de 25% dans le cas du raccourci par rapport aux conditions actuelles.



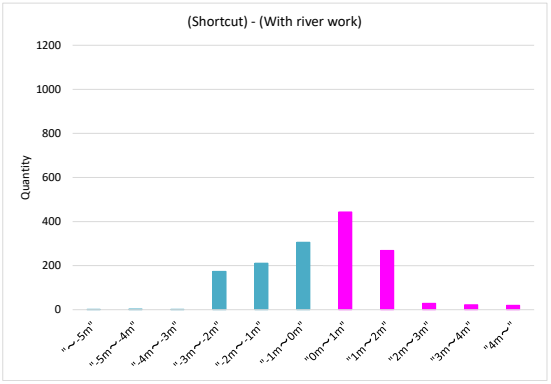
(Avec travaux de l'oued, Avec raccourci)-Présent



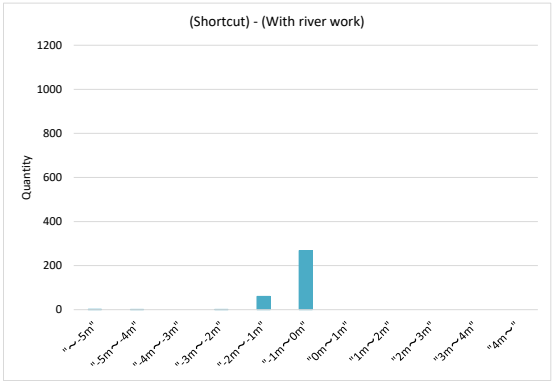
Avec travaux de l'oued, Avec raccourci

Source: Equipe d'Etude de la JICA

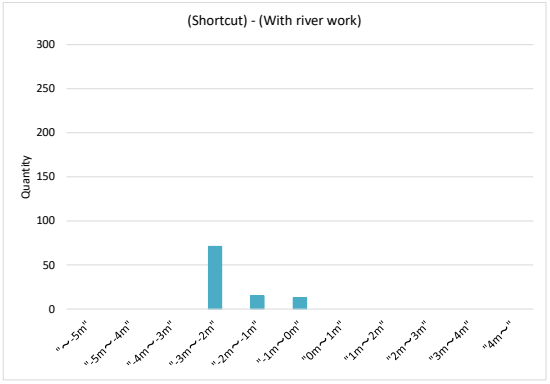
Figure 12-19 Distribution de la différence entre chaque profondeur d'inondation (W=1/100)



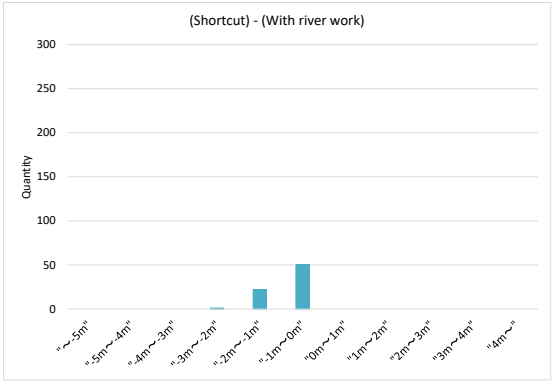
Zone D1



Zone D1 (A l'amont du pont historique)



Medjez El Bab



Testour

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 12-20 Distribution de la différence entre chaque profondeur d'inondation (raccourci – travaux de l'oued) dans chaque region (W=1/100)

Tableau 12-8 Volume d'inondation à la zone D1 et à chaque point (W=1/100)

Volume d'inondation **(millions de m^3)**	**1/100 ans**		
	Présent	**Avec travaux oued**	**Avant après**
Ensemble D1	**530**	**433**	**97**
- Aval d'Andalou	**308**	**235**	**73**
- En amont d'Andalou	**222**	**199**	**24**
- En aval de Sloughia	**110**	**102**	**8**
- Testout à Sloughia	**66**	**58**	**8**
- Autour de Testour	**46**	**38**	**8**

Présent et Avec les travaux de l'oued

Volume d'inondation **(millions de m^3)**	**1/100 ans**		
	Présent	**Avec raccourci**	**Avant après**
Ensemble D1	**530**	**396**	**134**
- Aval d'Andalou	**308**	**217**	**91**
- En amont d'Andalou	**222**	**179**	**43**
- En aval de Sloughia	**110**	**95**	**15**
- Testout à Sloughia	**66**	**51**	**15**
- Autour de Testour	**46**	**33**	**13**

Présent et Avec raccourci

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Enfin, le volume d'inondation stocké dans chaque bassin de rétention défini dans la section de raccourci est présenté ci-dessous. Le volume d'inondation a tendance à diminuer dans la proposition de raccourci à mesure que l'échelle de probabilité augmente. Le bassin 1 a une petite capacité et ne fonctionne pas énormément. Le bassin 2 est le plus efficace pour la capacité de stockage dans ces 4 bassins de rétention, bien que le volume de stockage du bassin 2 dans le cas des travaux de l'oued soit plus important que dans le plan de raccourci. Cela peut être attribué à la réduction du volume de débordement dans le plan de raccourci parce que la longueur de la section a été diminuée par le raccourci. En outre, l'inondation du bassin 2 est plus faible, ce qui réduit l'effet de remou et supprime les inondations dans la section amont. La capacité de stockage dans le cas des raccourcis dans les bassins 3 et 4 est plus grande que celle dans le cas des travaux de l'oued, et on s'attend donc à une efficacité accrue dans le cas des raccourcis.

Tableau 12-9 Capacité de stockage de chaque bassin de rétention (W=1/20, 1/50, 1/100)

Volume d'inondation **(millions de m^3)**	**1/20 ans**	**1/50 ans**	**1/100 ans**
Ensemble D1	**16**	**235**	**433**
Bassin1	**0**	**1**	**1**
Bassin2	**2**	**24**	**30**
Bassin3	**0**	**4**	**13**
Bassin4	**0**	**2**	**3**

Avec travaux de l'oued

Volume d'inondation **(millions de m^3)**	**1/20 ans**	**1/50 ans**	**1/100 ans**
Ensemble D1	**30**	**229**	**396**
Bassin1	**0**	**0**	**1**
Bassin2	**6**	**13**	**24**
Bassin3	**sept**	**dix**	**15**
Bassin4	**0**	**4**	**6**

Avec raccourci

Source: Equipe d'Etude de la JICA

(2) Résultats des inondations dans le calcul à un maillage de 270 m

Les résultats du calcul à un maillage de 270 m pour chaque période de retour sont convertis en utilisant des données de hauteur de sol à un maillage de 90 m, ce qui a permis de déterminer la situation des inondations dans les zones urbaines. En outre, la différence entre les profondeurs d'inondation du plan d'aménagement de l'oued proposé et les conditions actuelles est calculée, puis l'on confirme s'il y a une augmentation de la profondeur d'inondation (impact négatif) après l'aménagement de l'oued. Les résultats sont organisés pour W=1/50 et 1/100. Les résultats sont présentés dans l'annexe : Référence (Analyse de l'inondation).

1) Medjez El Bab

Les profondeurs d'inondation et leurs différences (impact négatif) autour de Medjez El Bab sont indiquées pour W = 1/50 et 1/100, respectivement. Les résultats sont présentés dans l'annexe : Référence (Analyse de l'inondation).

2) Testour

Les profondeurs d'inondation et leurs différences (impact négatif) autour de Testour sont indiquées pour W = 1/50 et 1/100, respectivement. Les résultats sont présentés dans l'annexe : Référence (Analyse de l'inondation).

3) Bassins de rétention (en aval du pont Andalous)

Les profondeurs d'inondation et leurs différences (impact négatif) autour des bassins de rétention sont indiquées à W = 1/50 et 1/100, respectivement. Les résultats sont présentés dans l'annexe : Référence (Analyse de l'inondation).

12.5 Analyse du calcul de l'inondation

12.5.1 Comparaison de chaque cas

Voici une description des éléments confirmés par les résultats de l'analyse des inondations pour chaque période de retour. (1) A l'échelle de probabilité prévue de 1/10, aucune inondation ne se produit après l'aménagement et le raccourcissement de l'oued ; (2) A 1/20, une certaine inondation se produit, mais elle est généralement supprimée ; (3) A 1/50 et 1/100, il y a une différence d'inondation entre chaque plan d'aménagement, mais il est confirmé qu'il y a un certain impact par rapport au canal actuel de l'oued. Un résumé des caractéristiques d'inondation dans l cas des travaux de l'oued et du raccourci est présenté dans le tableau ci-dessous.

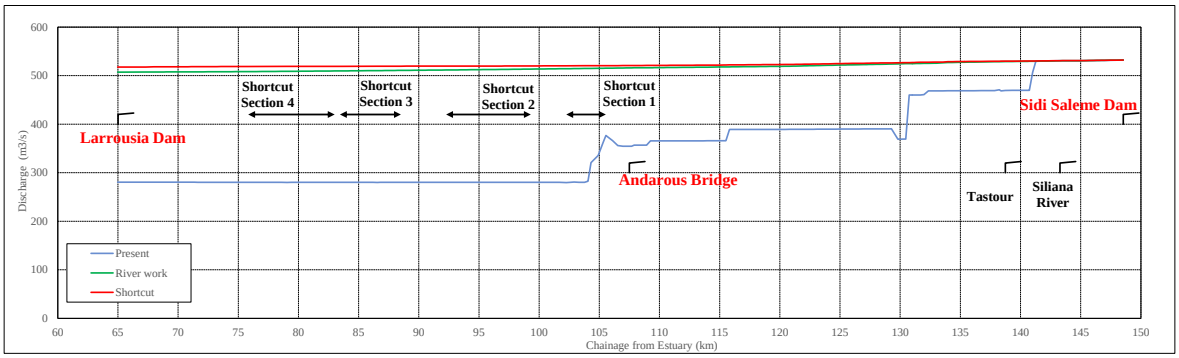
Tableau 12-10 Caractéristiques et comparaison de chaque cas

Avec travaux de l'oued	Avec raccourci	Comparaison: Avec travaux de l'oued et raccourcis
• Aucune inondation ne se produit à une période de retour de 1/10. • A une période de retour de 1/20, il y a une amélioration globale de l'inondation par rapport à l'état actuel. • A une période de retour de 1/50, la profondeur d'inondation est réduite d'environ 1 à 4,5 m par rapport au canal actuel. • A une période de retour de 1/100, la profondeur d'inondation diminue d'environ 1 à 4,5 m par rapport au canal actuel.	• Aucune inondation ne se produit A une période de retour de 1/10. • A une période de retour de 1/20, il y a une amélioration globale par rapport à l'état actuel. • A une période de retour de 1/50, la profondeur d'inondation diminue d'environ 1~4,5 m par rapport au canal actuel. • A une période de retour de 1/100, la profondeur d'inondation diminue d'environ 1 à 4,5 m par rapport au canal actuel.	• Dans le raccourci, l'effet est moindre que celui avec les travaux de l'oued du fait de l'utilisation du bassin de rétention. • L'efficacité est constatée dans la partie amont par rapport au cas avec les travaux de l'oued. (environ 0,5 ~ 4 m) • Dans les zones urbaines de Medjez El Bab et Testour en particulier, il y a une amélioration par rapport au cas avec les travaux de l'oued. (environ 0,5 ~ 4 m) • Quant à l'effet des bassins, la profondeur d'inondation du raccourci est égale ou supérieure à la condition actuelle en R2 et 3, et l'effet de stockage en tant que bassin de rétention peut avoir lieu.

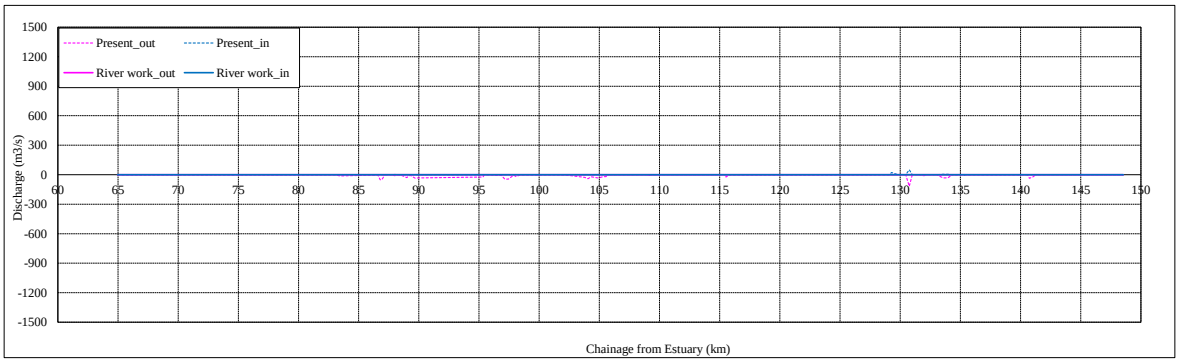
Source: Equipe d'Etude de la JICA

12.5.2 Profil en long du débit de pointe et effet des bassins de rétention

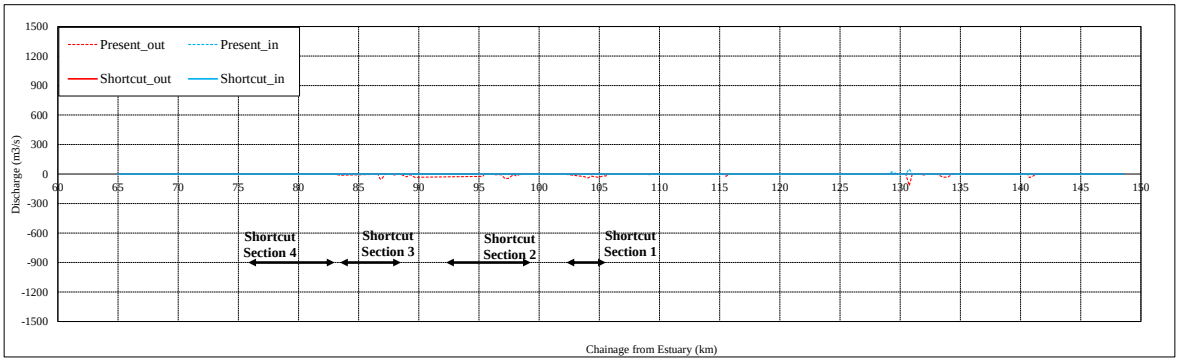
Le débit de pointe (profil en long du débit de pointe) et le débit entrant (retour à l'oued) et le débit sortant (débordement vers la plaine d'inondation) de l'eau à chaque point des résultats de l'analyse dans la zone D1 à chaque période de retour sont organisés ci-dessous. Le debit entrant dans l'oued est représentée comme positif et le debit sortant comme négatif.



Débit de pointe



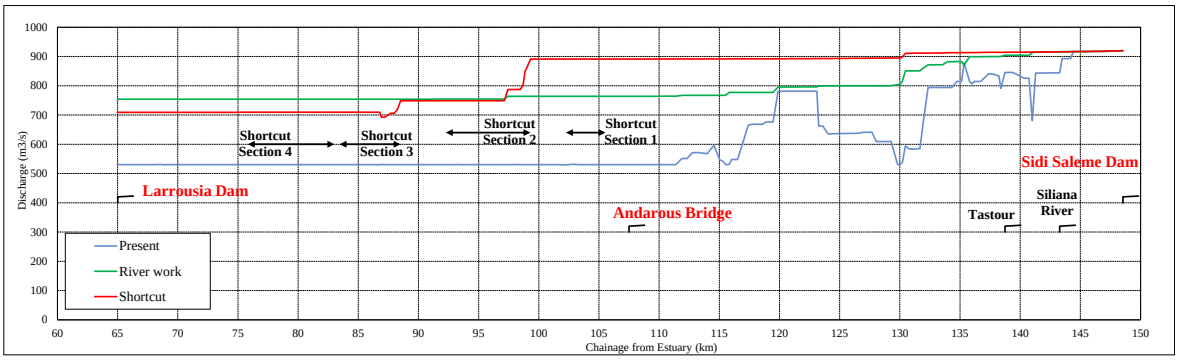
Débit entrant et debit sortant (présent avec travaux de l'oued)



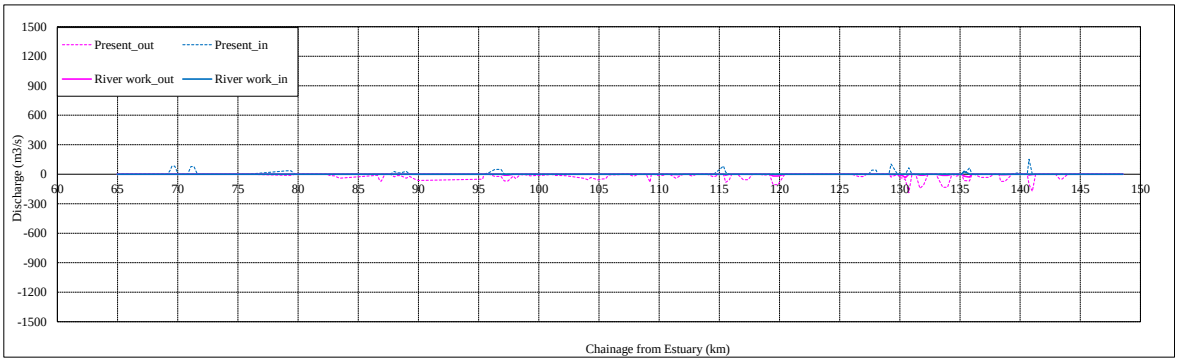
Débit entrant et débit sortant (Présent Avec raccourci)

Source: Equipe d'Etude de la JICA

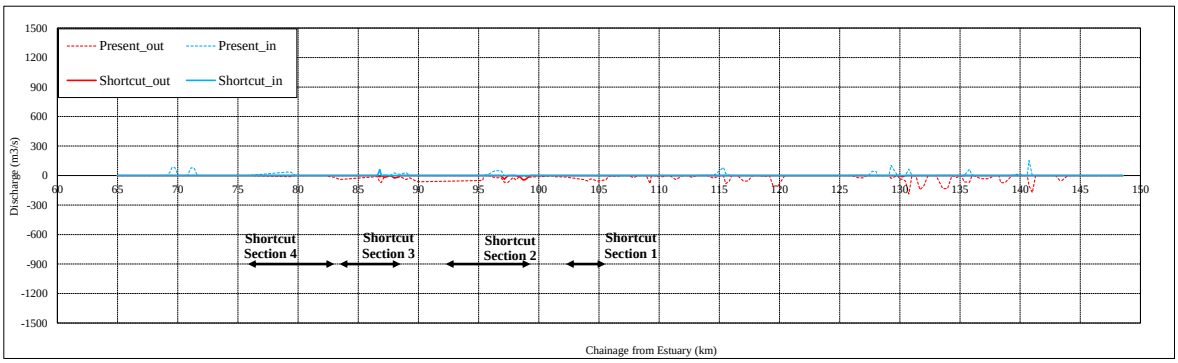
Figure 12-21 Profil en long du débit de pointe, du débit entrant et du débit sortant（W=1/10）.



Débit de pointe



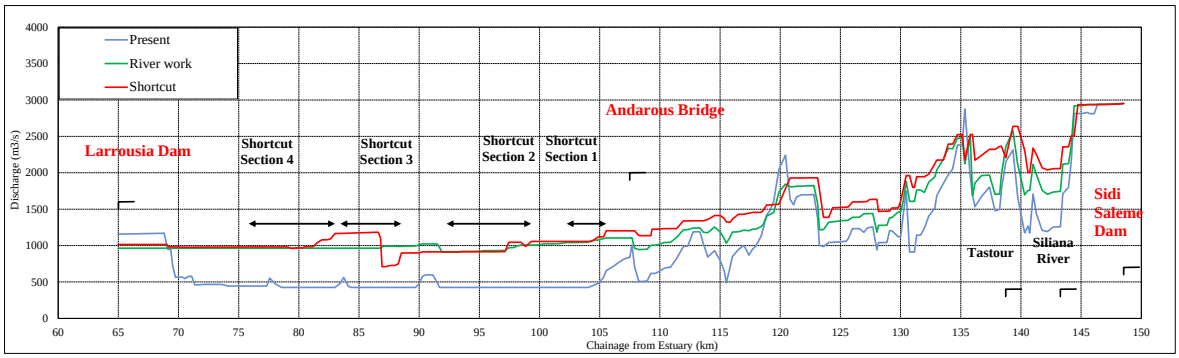
Débit entrant et debit sortant (présent avec travaux de l'oued)



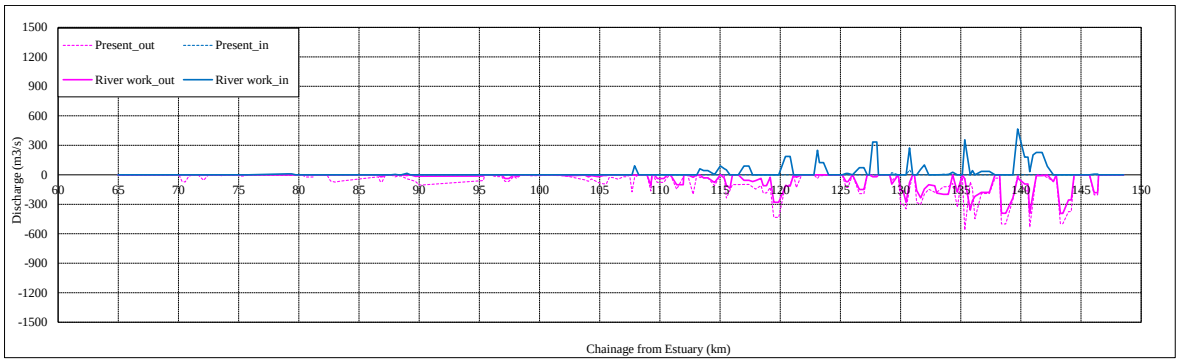
Débit entrant et débit sortant (Présent Avec raccourci)

Source: Equipe d'Etude de la JICA

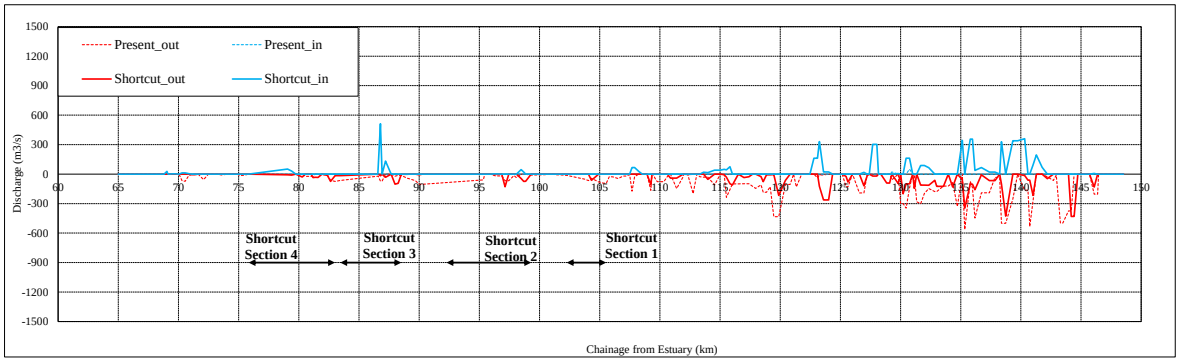
Figure 12-22 Profil en long du débit de pointe, du débit entrant et du débit sortant（W=1/20）



Débit de pointe



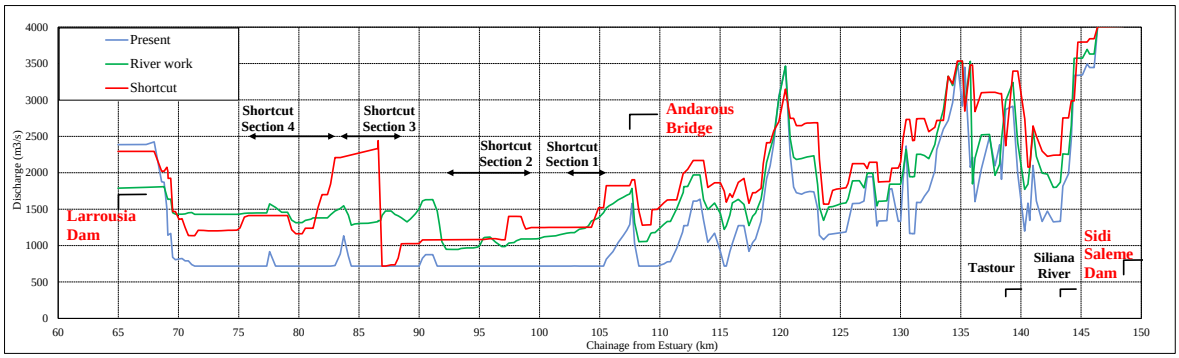
Débit entrant et debit sortant (présent avec travaux de l'oued)



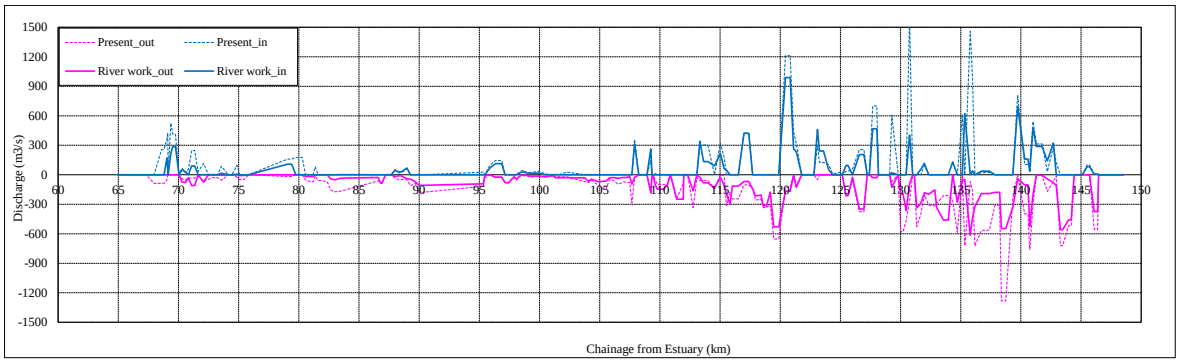
Débit entrant et débit sortant (Présent Avec raccourci)

Source: Equipe d'Etude de la JICA

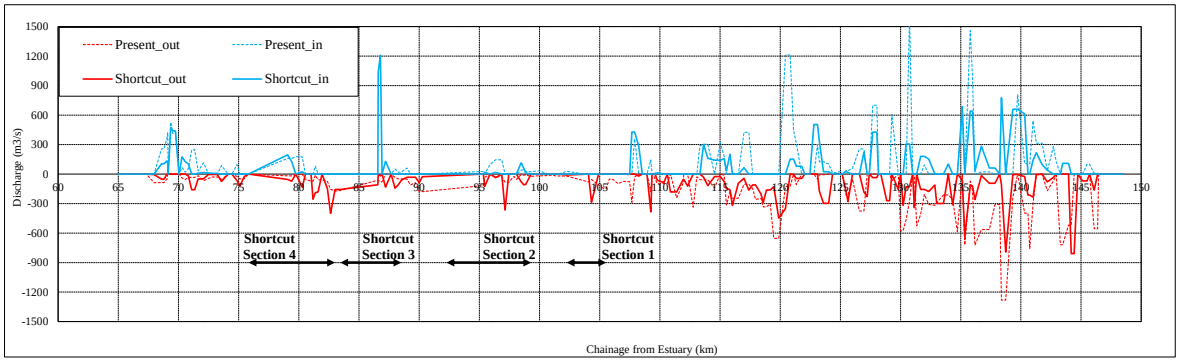
Figure 12-23 Profil en long du débit de pointe, du débit entrant et du débit sortant（W=1/50）



Débit de pointe



Débit entrant et debit sortant (présent avec travaux de l'oued)

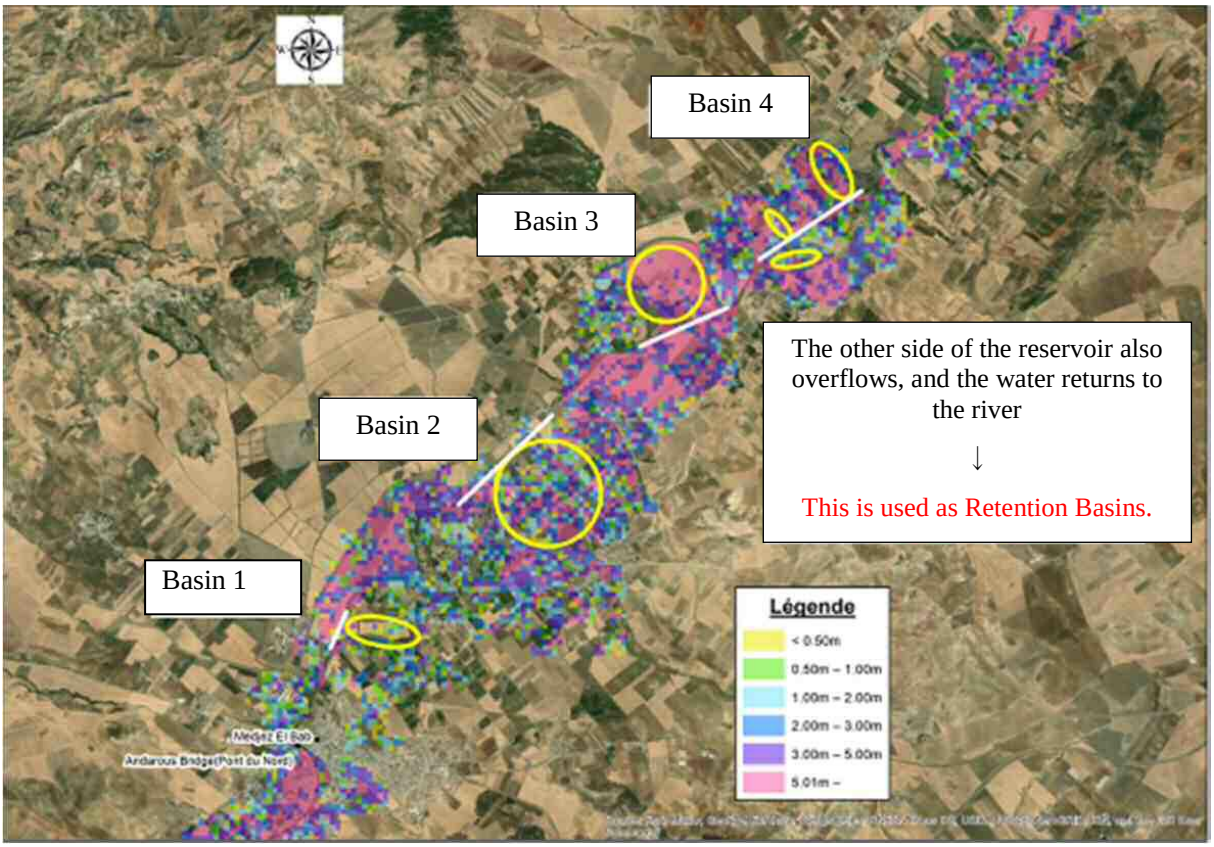


Débit entrant et débit sortant (Présent Avec raccourci)

Source: Equipe d'Etude de la JICA

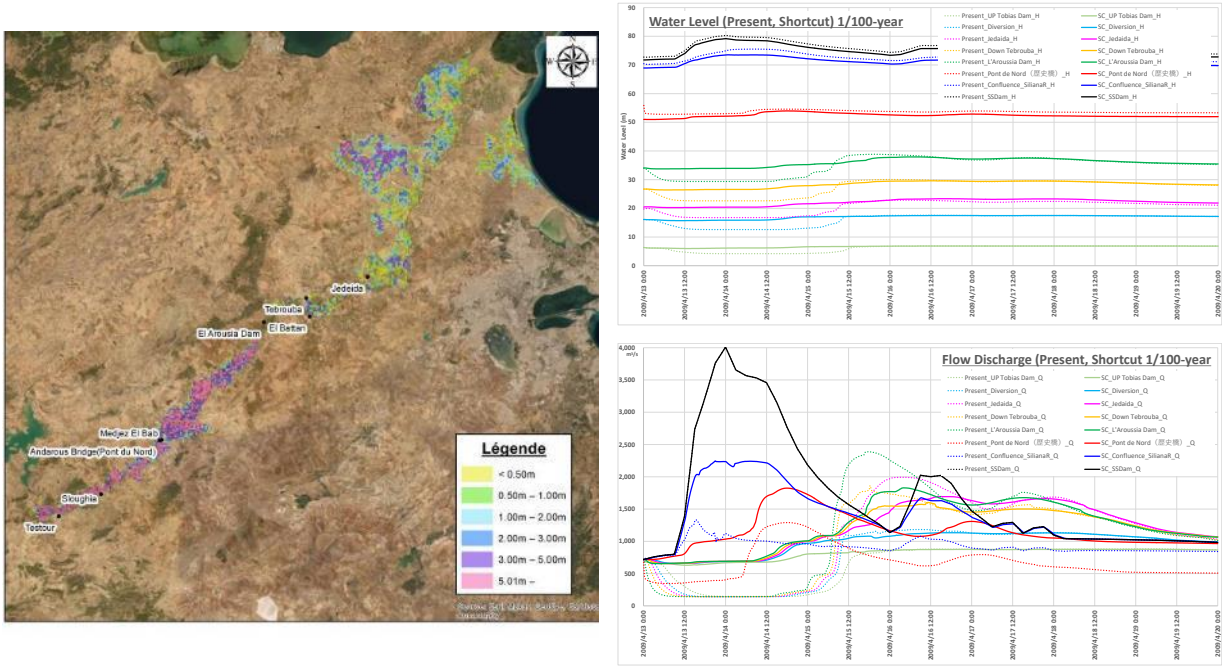
Figure 12-24 Profil en long du débit de pointe, du débit entrant et du débit sortant (W=1/50)

Dans le cas des crues excédentaires (W = 1/50 et 1/100), le débit est réduit au moment de l'écoulement dans chaque bassin de rétention. En revanche, lorsque les crues excessives (W = 1/50, 1/100) se sont écoulées en aval du bassin 3, il a été confirmé que les eaux débordant dans la plaine d'inondation sont retournées à l'oued. Par conséquent, la quantité évacuée du barrage de Larousia lorsque le raccourci est mis en œuvre est plus importante que dans le cas de l'applicationdes travaux de l'oued seulement. Afin de considérer une utilisation plus efficace du bassin de rétention, les résultats de l'analyse de l'inondation (W=1/100) en utilisant le calcul de maillage de 270m pour le raccourci + α, situation dans laquelle la plaine d'inondation opposée au bassin 3 et au bassin 2 est considérée comme un nouveau bassin de rétention, sont présentés ci-dessous.



Source: Equipe d'Etude de la JICA

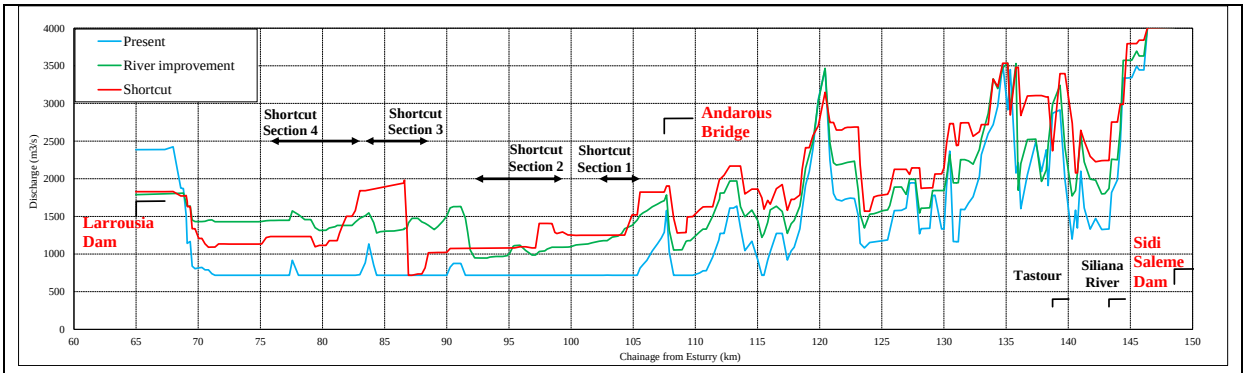
Figure 12-25 Profondeur d'inondation autour des bassins de rétention (avec raccourci, W=1/100)



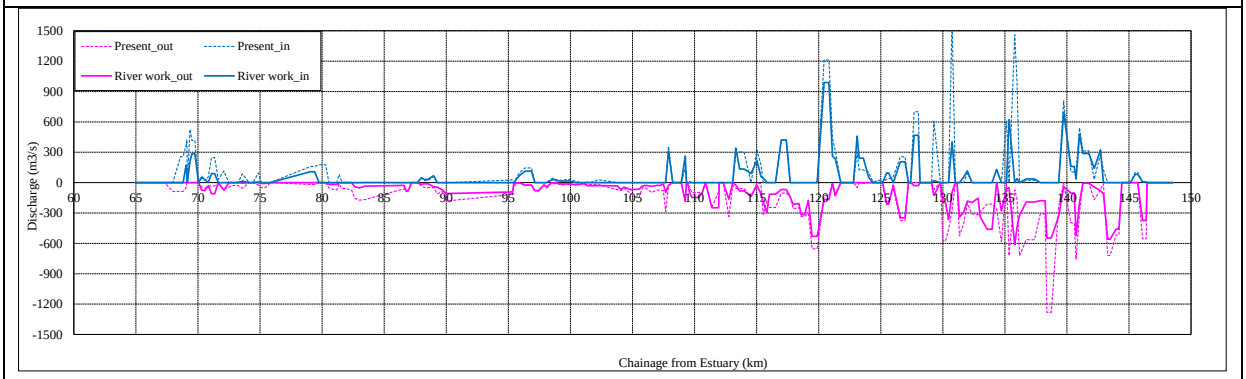
Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 12-26 Profondeur d'inondation (gauche) et hydrogramme du niveau d'eau et du débit (droite)

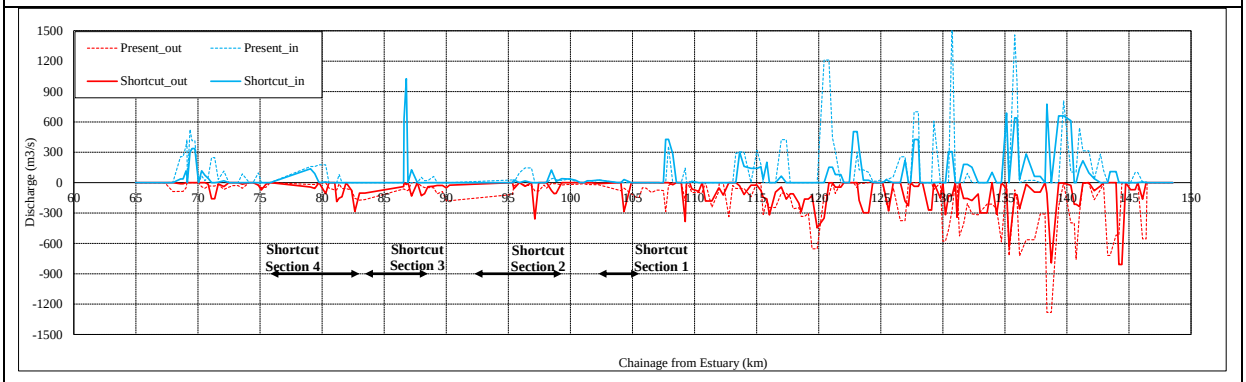
Le profil en long du débit de pointe, du débit entrant et du débit sortant est présenté ci-dessous. Il est confirmé que l'expansion du bassin de rétention réduit le retour versl'oued et augmente l'effet de stockage, ce qui à son tour réduit l'évacuation du barrage de Larousia. L'impact négatif (différence de profondeur d'inondation par rapport à la condition actuelle) est également illustré. En comparaison avec la condition actuelle, il a été confirmé que la profondeur d'inondation dans la section D2 (en aval du barrage de Larousia) diminue en plus de l'impact d'aménagement de l'oued dans la zone D1. En outre, en comparant les résultats du raccourci + α et des travaux de l'oued, il a été confirmé que l'effet des travaux de l'oued dans la section D2 est au même niveau.



Débit de pointe



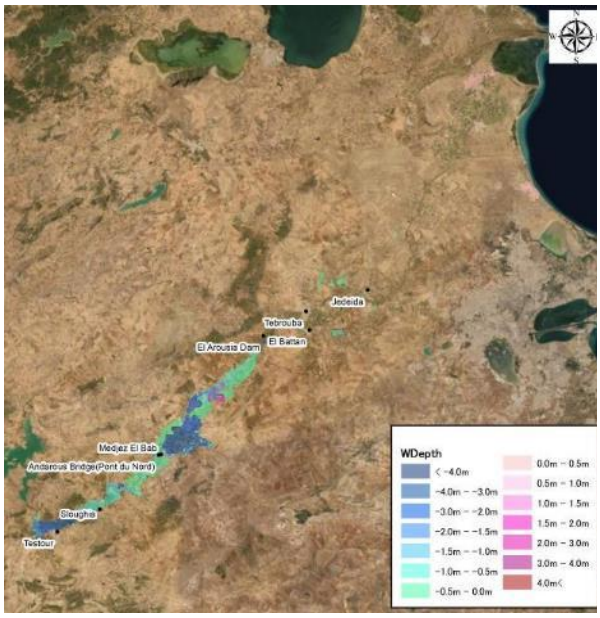
Débit entrant et debit sortant (présent avec travaux de l'oued)



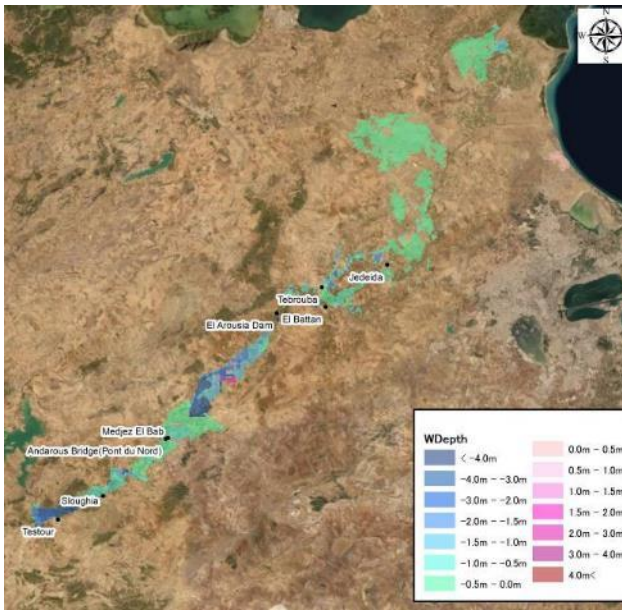
Débit entrant et débit sortant (Présent Avec raccourci)

Source: Equipe d'Etude de la JICA

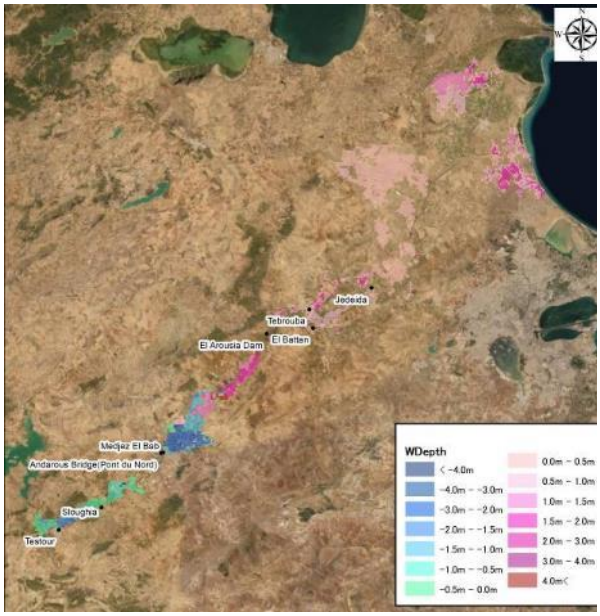
Figure 12-27 Profil en long du débit de pointe, du débit entrant et du débit sortant（W=1/100



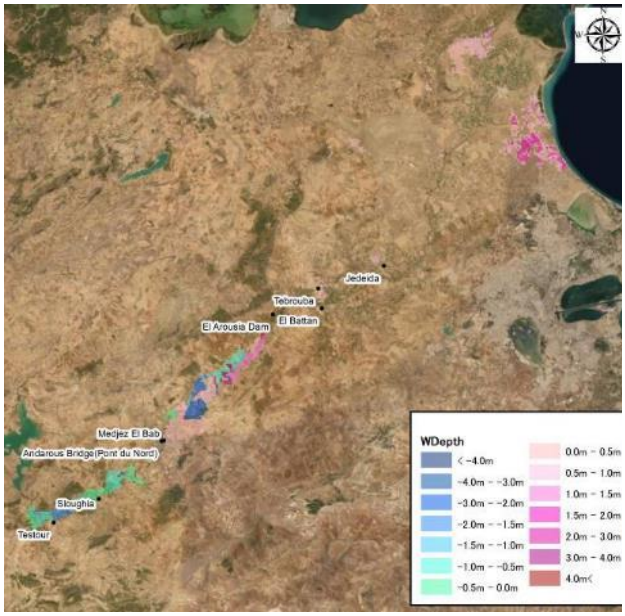
Raccourci et présent



Raccourci + α et présent



Raccourci et travaux de l'oued



Raccourci + α et travaux de l'oued

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 12-28 Différence de profondeur d'inondation (impact négatif) (W=1/100)

12.6 Résultats des inondations en cas de mise en œuvre d'un raccourci dans chaque section

L'analyse des inondations est résumée comme suit en utilisant les résultats du calcul à maillage de 270m pour chaque période de retour (W=1/10, 1/20, 1/50, 1/100) lorsque chaque raccourci est mis en œuvre dans chaque section avec des travaux de l'oued. Les résultats sont présentés dans l'annexe : Référence (Analyse de l'inondation).

(1) W=1/10

Les figures suivantes illustrent la distribution de la profondeur maximale d'inondation, l'hydrogramme du niveau d'eau et d'écoulement, ainsi que la différence de profondeur d'inondation (impact négatif) pour chaque cas. Avec une période de retour de 10 ans, aucune inondation ne se produit après les travaux d'aménagement de l'oued.

(2) W=1/20

Les figures suivantes illustrent la distribution de la profondeur maximale d'inondation, de l'hydrogramme du niveau d'eau et d'écoulement pour chaque cas avec W-1/20.

Pour W= 1/20, il y a peu d'inondation. Dans S2 et S3, il a été confirmé que l'eau s'accumule dans le bassin de rétention. D'autre part, S1 et S4 ne fonctionnent pas comme des bassins parce que l'échelle du bassin est petite et qu'aucun débordement ne se produit en raison de la capacité d'écoulement améliorée par le raccourci. Ensuite, la différence de profondeur d'inondation (impact négatif) entre l'état actuel et les travaux de l'oued est présentée ci-dessous.

En ce qui concerne la différence par rapport à la situation actuelle, la profondeur d'inondation diminue dans la plupart des points, et il est confirmé que l'ajout de raccourcis n'aggrave pas la situation actuelle. En comparaison avec le cas des travaux de l'oued, il est confirmé que le raccourci est plus efficace en amont, bien que légèrement. Il n'y a pas beaucoup de différence dans chaque cas.

(3) W=1/50

Les figures suivantes illustrent la distribution de la profondeur maximale d'inondation, de l'hydrogramme du niveau d'eau et d'écoulement pour chaque cas avec W-1/50. Bien qu'il s'agisse d'une crue excédentaire à 1/50, il est confirmé que chaque raccourci devrait avoir un certain impact.

Quant à l'effet du bassin de rétention, l'inondation est concentrée dans S2 et S3, ce qui indique que les bassins de rétention est efficace. La différence de profondeur d'inondation (impact négatif) entre l'état actuel et dans le cas des travaux de l'oued est présentée ci-dessous.

Dans la comparaison des profondeurs d'inondation avec les conditions actuelles, aucune détérioration des profondeurs d'inondation n'est observée dans chaque cas. En comparaison avec le cas avec travaux de l'oued, il y a une diminution d'environ 0,5m de la profondeur d'inondation en amont dans chaque cas. En particulier dans le S2, elle est également améliorée à Medjez El Bab, et le S2 est le plus efficace parmi les raccourcis.

(4) W=1/100

Les figures suivantes illustrent la distribution de la profondeur maximale d'inondation, de l'hydrogramme du niveau d'eau et d'écoulement pour chaque cas à W-1/100. Il est confirmé que chaque raccourci devrait avoir un effet identique à celui de la période de retour 1/50.

En comparaison avec la situation actuelle, il n'y a pas eu d'aggravation de la profondeur d'inondation dans chaque cas, et une diminution de la profondeur d'inondation de 0,5~3,0m est confirmée. En comparaison avec le cas avec travauxde l'oued l'oued, il y a une amélioration d'environ 0,5~1,0m en amont. En particulier dans le S2, il est également amélioré à Medjez El Bab, et le S2 est le plus efficace parmi les raccourcis.

CHAPITRE 13 PLAN D'AMENAGEMENT DE L'OUED DANS LA ZONE D1

Une analyse unidimensionnelle de la variation du lit de l'oued est effectuée pour étudier 1) les changements du lit de l'oued après l'aménagement du canal de l'oued dans la Zone D1, et 2) l'impact des mesures de sédimentation du barrage de Sidi Salem sur le tronçon en aval.

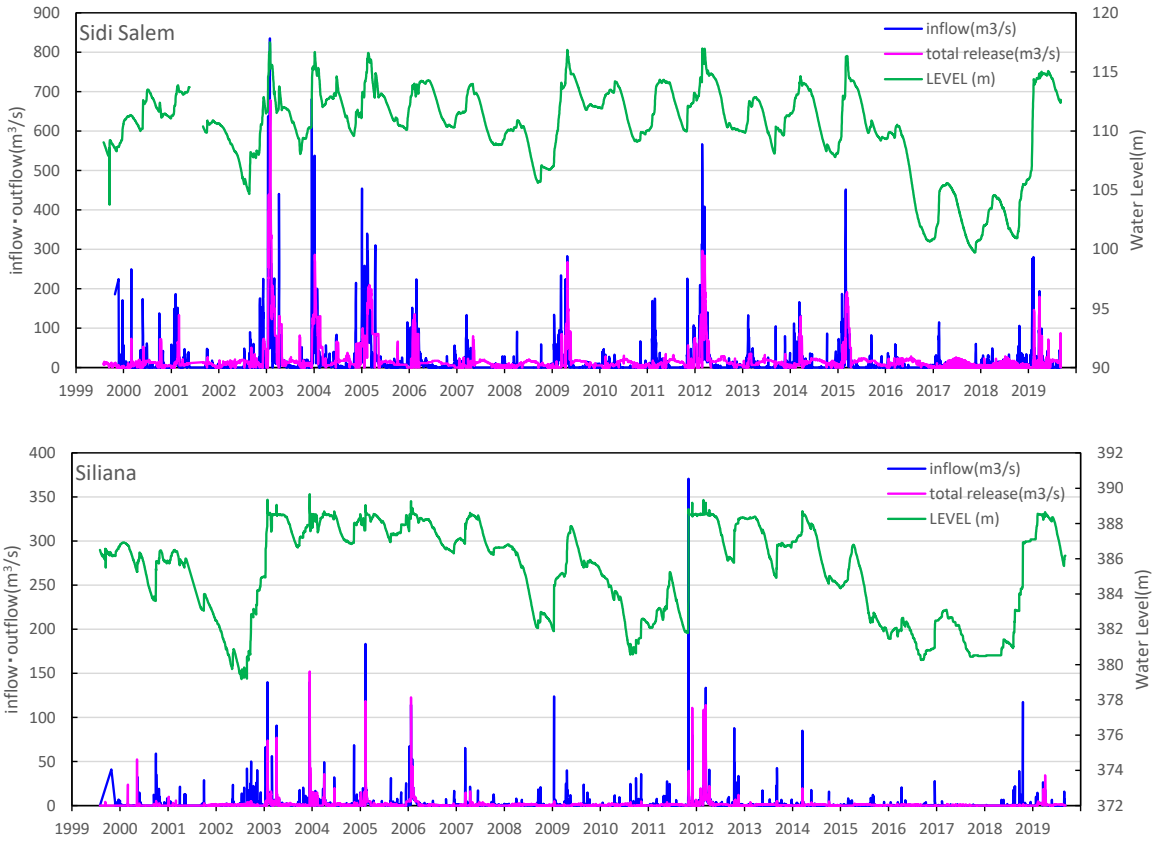
L'analyse est effectuée avec certaines conditions provisoires car les données de l'étude de l'oued, qui est réalisée sur la Zone D1, ne sont pas disponibles à ce moment.

13.1 Conditions de base

13.1.1 Données de débit pour le bassin de l'oued Medjerda (en aval du barrage de Sidi Salem)

Les données d'exploitation (apport, rejet total et niveau d'eau) des barrages de Sidi Salem, de Siliana et de Larrousia sont présentées dans Figure 13-1. Le barrage de Siliana est un barrage polyvalent et est situé en amont de l'oued Siliana, le principal affluent qui débite dans la Zone D1. Les données de débit des barrages de Siliana et de Larrousia sont disponibles après 1999 et 2003, respectivement.

Aux barrages de Sidi Salem et de Larrousia, une augmentation du débit des barrages a été observée lors de la crue de janvier 2003. Au barrage de Siliana, une augmentation relativement faible du débit a été observée lors de la crue de janvier 2003. Une forte augmentation du débit du barrage a été observée lors de la crue de décembre 2003.



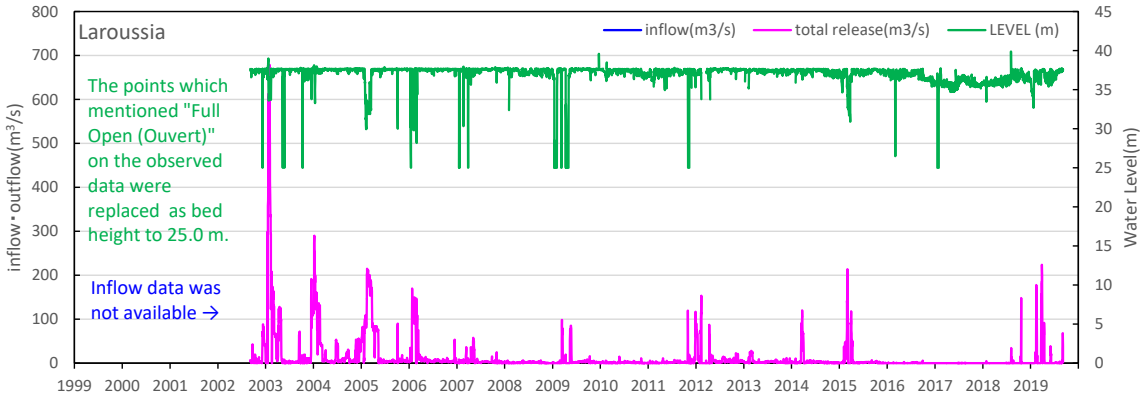


Figure 13-1 Données d'exploitation des barrages de Sidi Salem, de Siliana et de Larrousia (données quotidiennes)

13.1.2 Coupe longitudinale et coupe transversale de l'oued

Dans l'oued Medjerda, un levé topographique a été réalisé en 2008 dans les Zones D1 et D2. En outre, l'aménagement de l'oued, telle que l'excavation du canal, a été prévue pour la Zone D2. Les données longitudinales de l'oued Medjerda sont présentées dans Figure 13-4. Les données des sections transversales des cours d'eau des Zones D1 et D2 sont présentées dans Figure 13-4 et Figure 9-124.Les caractéristiques du profil du canal de l'oued sont décrites ci-dessous.

- Dans les Zones D1 et D2, la largeur de l'oued est d'environ 100-200 m et la largeur du canal d'étiage est d'environ 20-40 m.
- La pente longitudinale de l'oued est d'environ 1/2500 le long du tronçon D1 et d'environ 1/2000 le long du tronçon D2.
- De nombreuses parties sinueuses sont visibles, en particulier aux niveaux 70 à 120 km de la Zone D1.

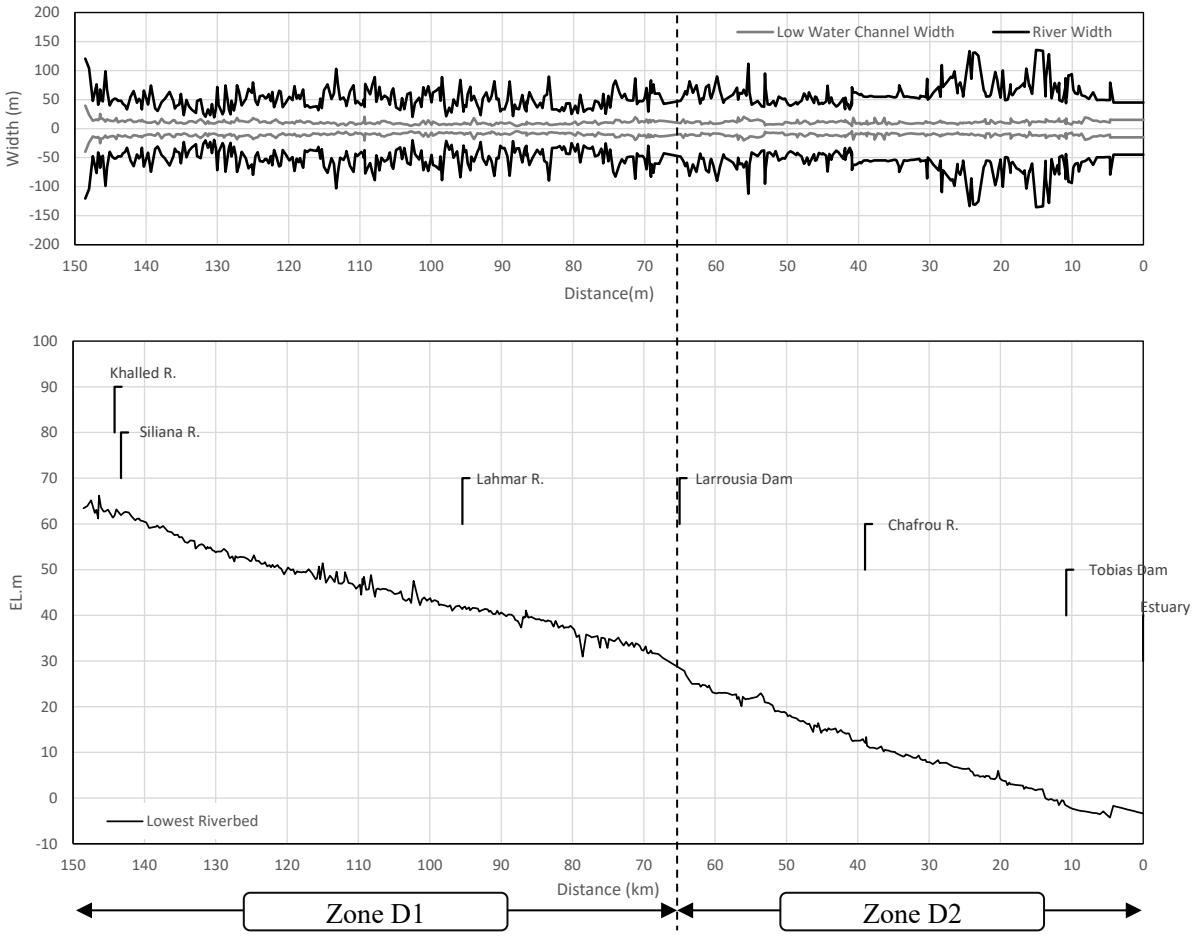


Figure 13-2 Données longitudinales de l'élévation du lit de l'oued Medjerda (Zone D1 : levé en 2008, Zone D2 : Canal proposé)

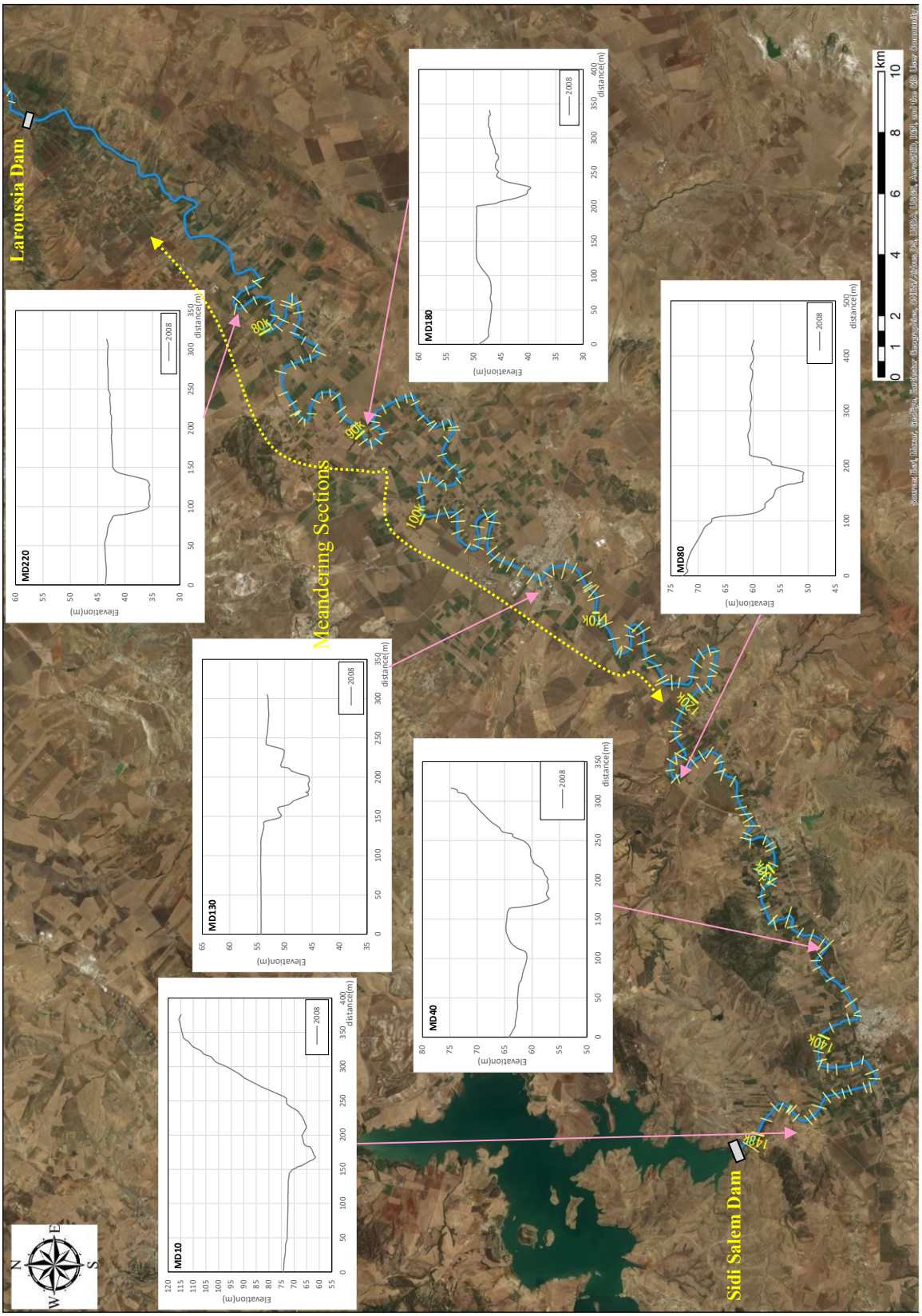


Figure 13-3 Coupes transversales de la Zone D1 (levé topographique 2008)

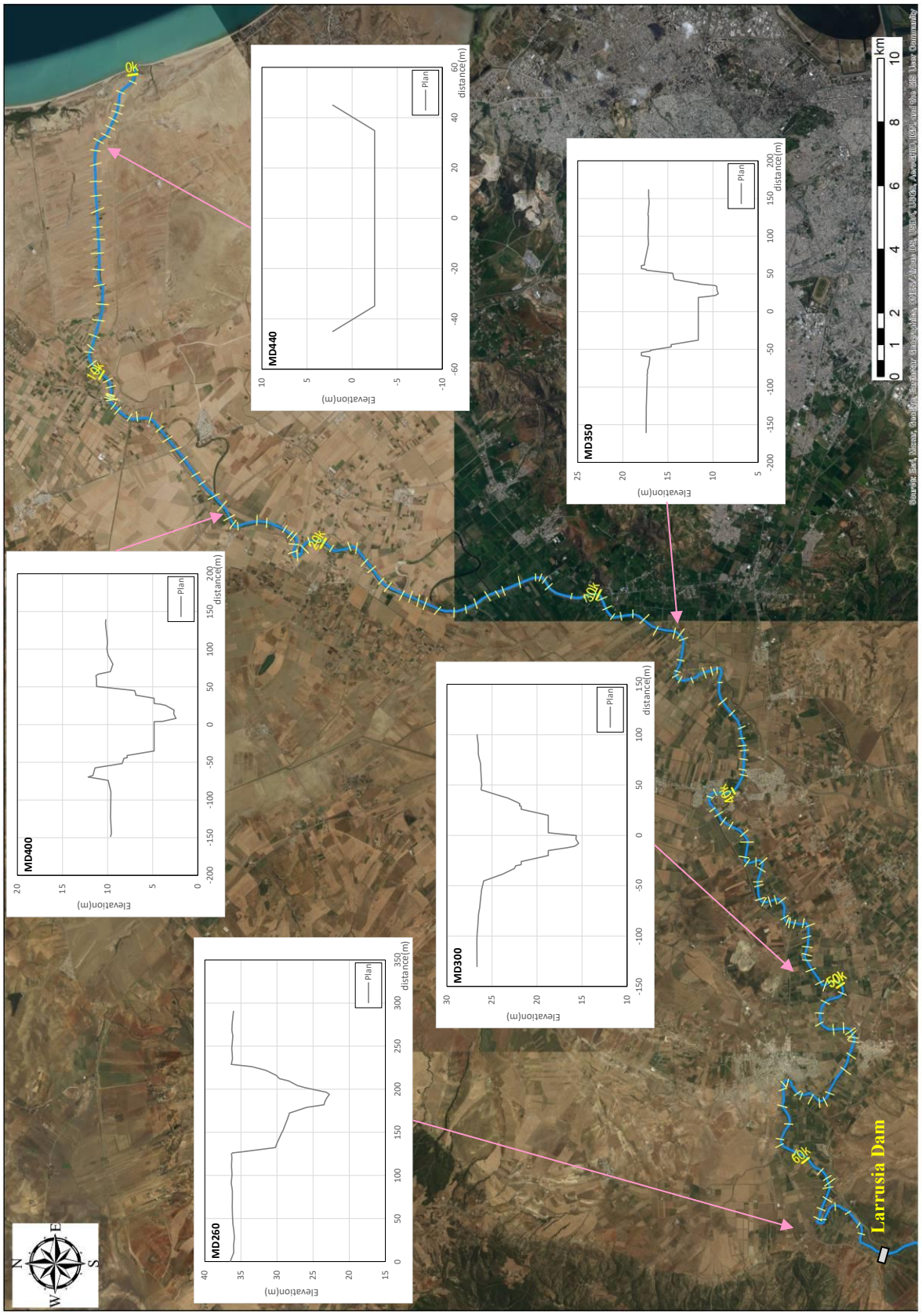
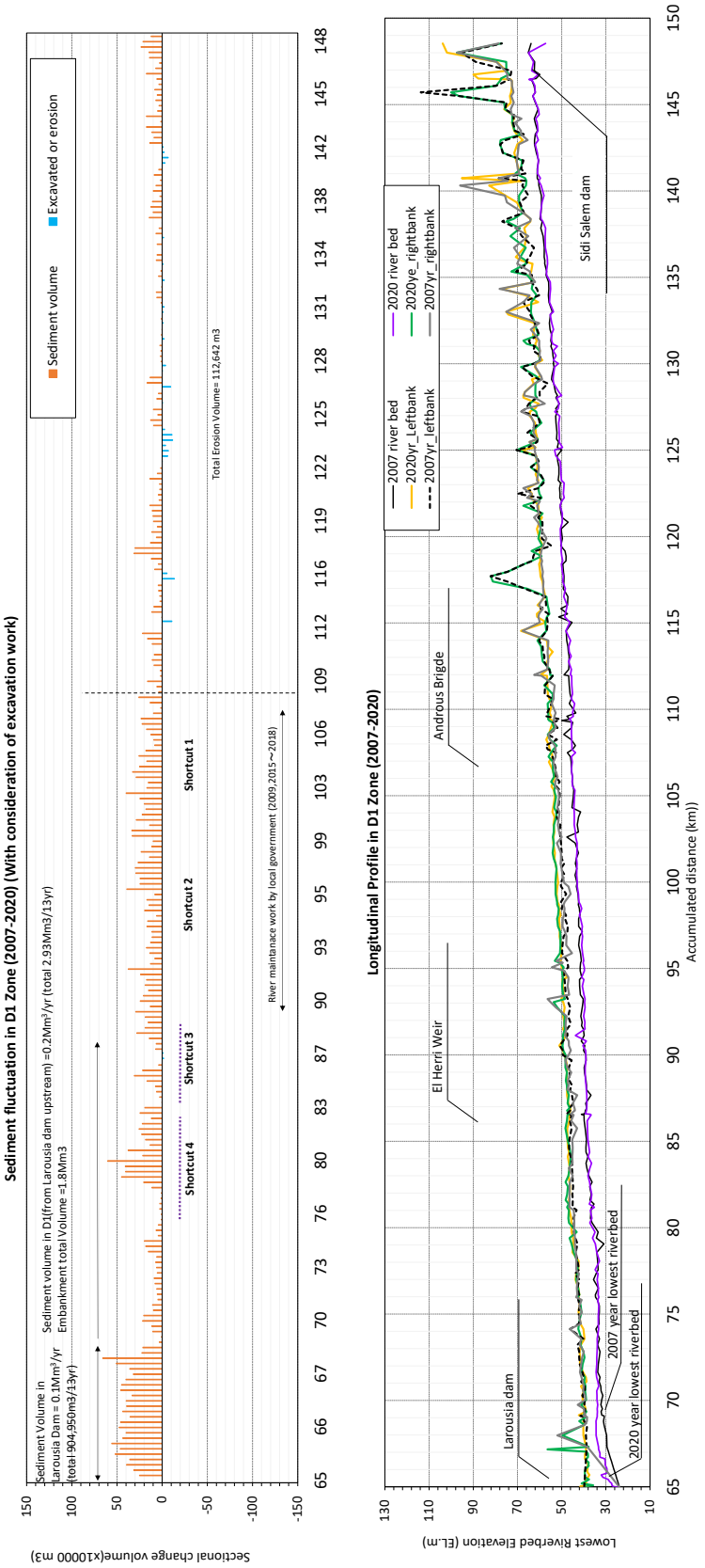


Figure 13-4 Coupes transversales de la Zone D2 (coupes transversales proposées)

13.1.3 Degré de la variation du lit de l'oued

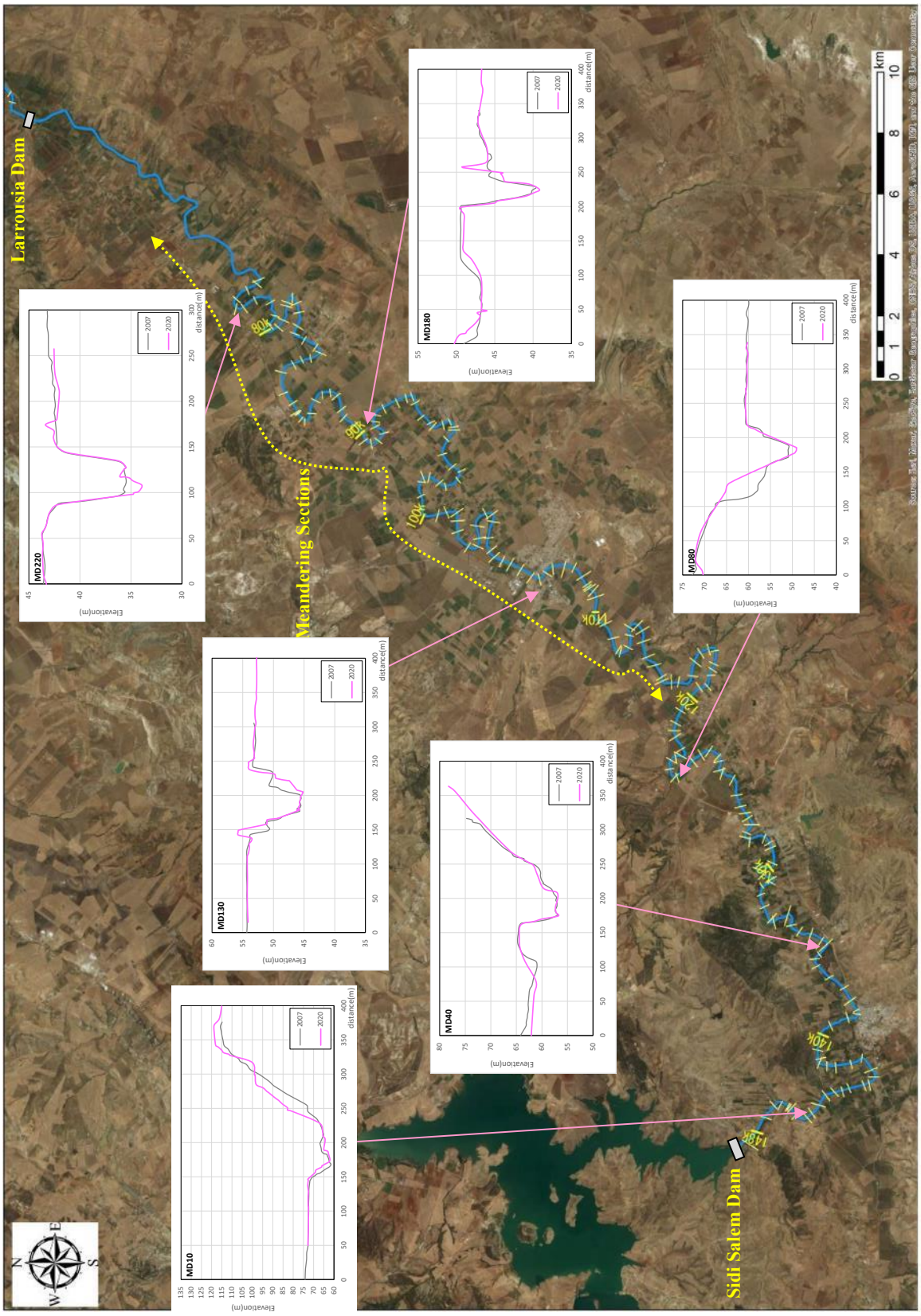
La Figure 13-5 illustre la variation du lit de l'oued dans la section D1 entre 2007 et 2020. La Figure 13-6 présente une comparaison des sections transversales de l'oued dans la section D1 (levées en 2007 et 2020). Le degré de la variation du lit de l'oued dans la section D1 tient compte de la quantité d'excavation au cours de la période. Dans la section de la retenue du barrage de Larrousia, la variation du lit de l'oued a été estimée sur la base du lit de l'oued original prévu.

L'accumulation de 2,9 Mm^3 de sédiments dans l'ensemble du canal de l'oued de la section D1 entre 2007 et 2020 suggère qu'une moyenne annuelle de 0,2 Mm^3/an de dépôt peut se produire annuellement. Pour la section de la retenue du barrage de Larrousia, 0,9 Mm^3 de sédiments ont été accumulés dans la même période que ci-dessus, et un dépôt annuel moyen de 0,1 Mm^3/an est prévu.



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 13-5 Variation du lit de l'oued dans la section D1 (relevée en 2007 et 2020)



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 13-6 Comparaison des sections transversales de l'oued dans la section D1 (levées en 2007 et 2020)

13.1.4 Données de distribution granulométrique

Afin d'estimer la variabilité du lit de l'oued et le mouvement des sédiments dans l'oued Medjerda, une étude des matériaux du lit de l'oued a été menée dans l'oued et ses affluents en janvier 2020.

Les résultats de l'enquête sont présentés dans Figure 13-7 (1) et Figure 13-7 (2). La carte de localisation des sites d'enquête est présentée dans la Figure 13-8.

Les caractéristiques de la distribution granulométrique sont résumées ci-dessous.

- [Zone D1] Dans la Zone D1-4 (la plus en amont), le pourcentage d'argile et de limon (moins de 0,075 mm de diamètre) est important. En aval de D1-3, le pourcentage de sable fin (supérieur à 0,075 mm) augmente.
- [Zone D1] La distribution granulométrique de l'oued Siliana (écoulements entre D1-3 et D1-4) est dominée par du sable fin de 0,075 mm ou plus, ce qui suggère qu'il est la source de matériaux du lit de l'oued pour D1 et D2.
- [Zone D2] Le pourcentage de sable fin (0,075-0,5 mm) est d'environ 70 %.
- [Zone D2] Dans oueds Chafrou et Lahmar (affluents de la zone D2), la granulométrie dominante est l'argile et le limon inférieur à 0,075 mm.
- Les sédiments du barrage de Sidi Salem sont constitués d'argile et de limon de moins de 0,075 mm de diamètre. Cela suggère que le limon a le potentiel d'affecter la variation du lit de l'oued en aval.

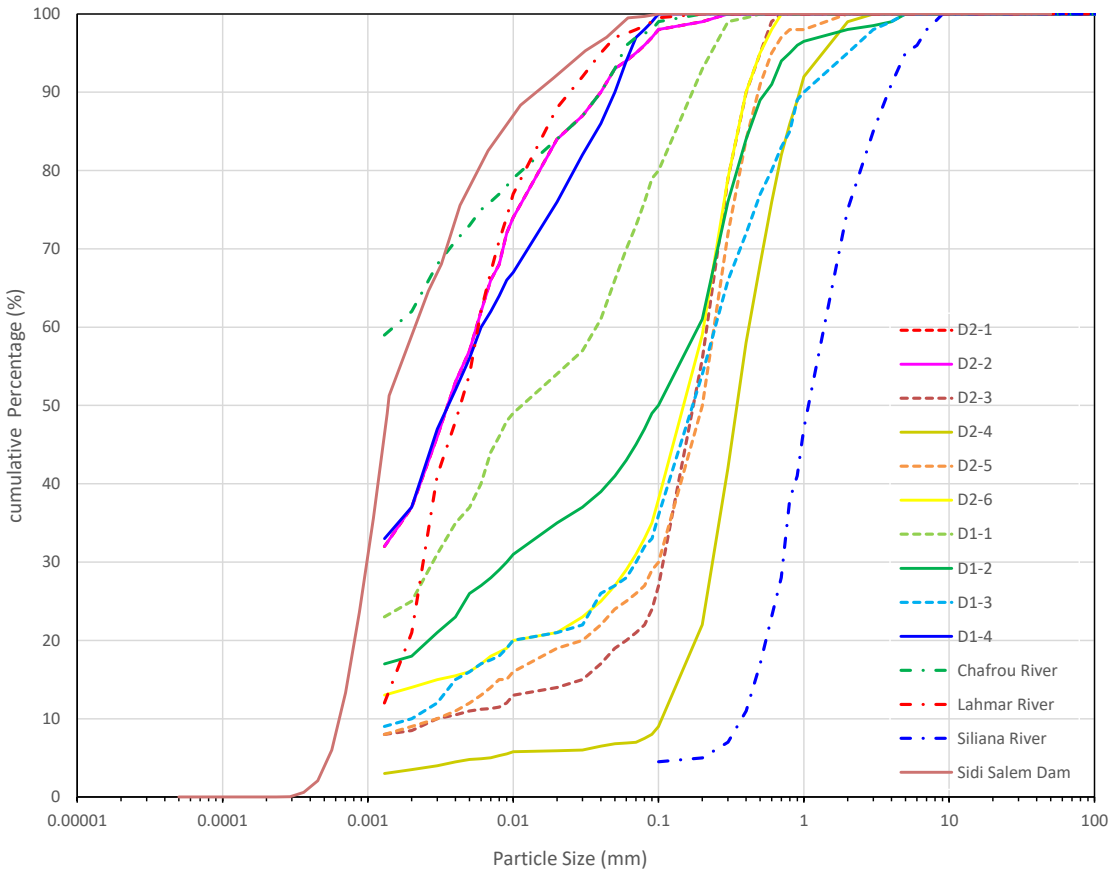


Figure 13-7 (1) Enquête sur la distribution granulométrique dans l'oued Medjerda, les affluents et le barrage de Sidi Salem (Courbes cumulées par taille de grain)

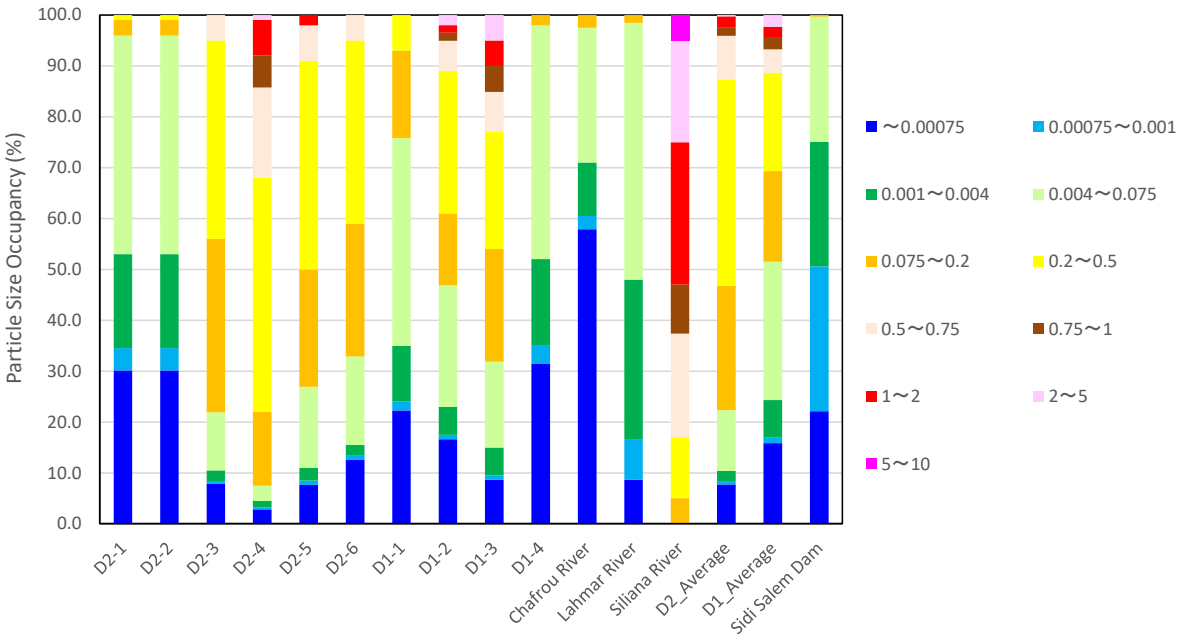


Figure 13-7 (2) Distribution granulométrique dans l'oued Medjerda et ses affluents (Part par classification granulométrique)

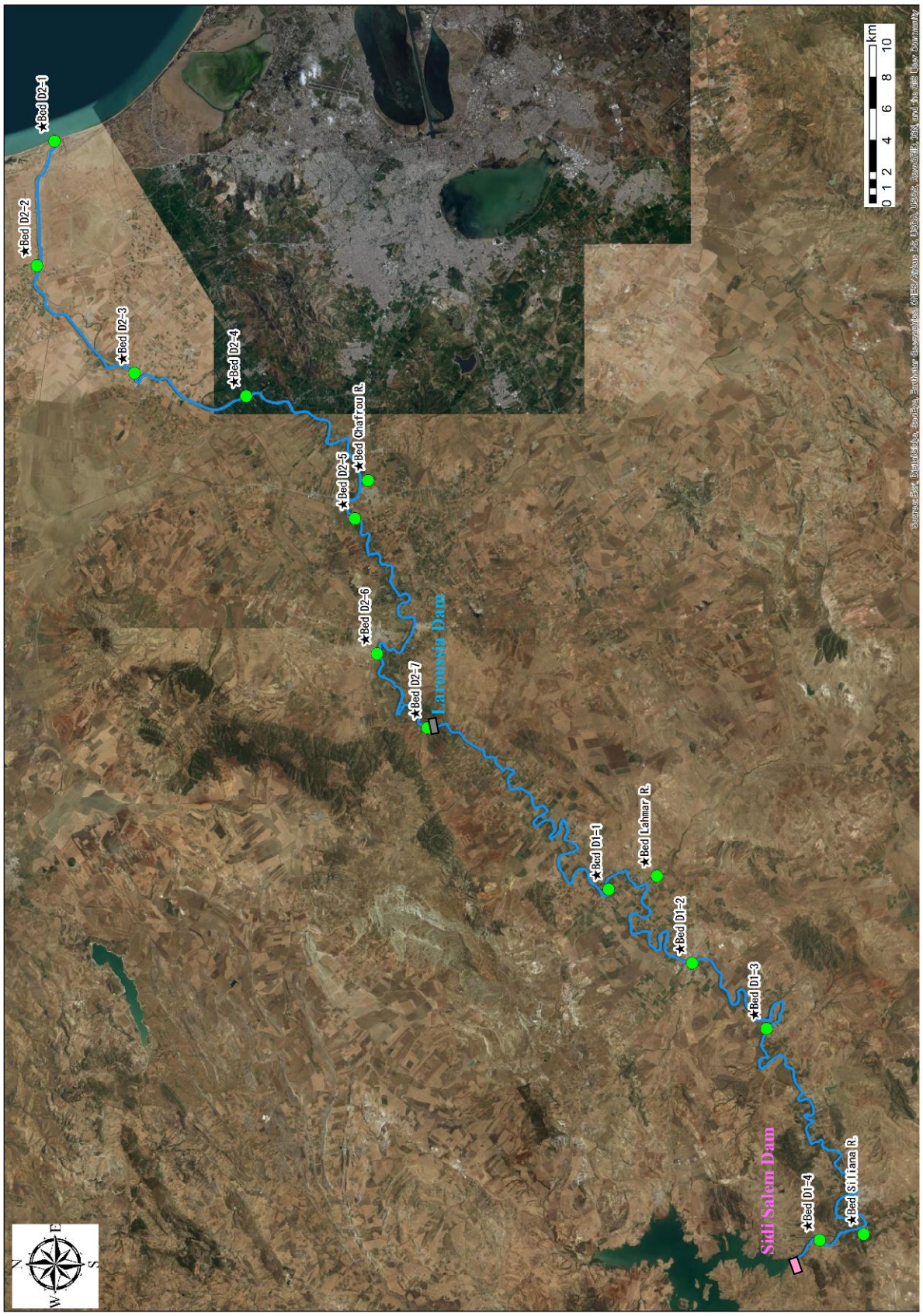


Figure 13-8 Carte de localisation du relevé des matériaux du lit de l'oued

13.2 Analyse unidimensionnelle de la variation du lit de l'oued

Une analyse unidimensionnelle de la variation du lit de l'oued a été réalisée pour estimer la variation du lit de l'oued et le mouvement des sédiments dans l'oued Medjerda. L'analyse a été réalisée avec des conditions provisoires car le relevé topographique de l'oued n'est pas encore terminé.

13.2.1 Méthodologie

Le déroulement de l'analyse de la variation unidimensionnelle du lit de l'oued est illustré dans Figure 13-9. Les équations de base de l'analyse sont présentées dans le Tableau 13-1.

Le calcul utilise un modèle de variation du lit de l'oued à granulométrie mixte pour la charge du lit, le sable en suspension et la charge de lavage. L'équation du volume de la charge du lit est basée sur la méthode Ashida-Michiue. La méthode Ashida-Michiue est également utilisée pour calculer la densité de base. L'équation du taux d'érosion, prenant en compte l'adhérence, est utilisée pour calculer le flottement de la charge de lavage.

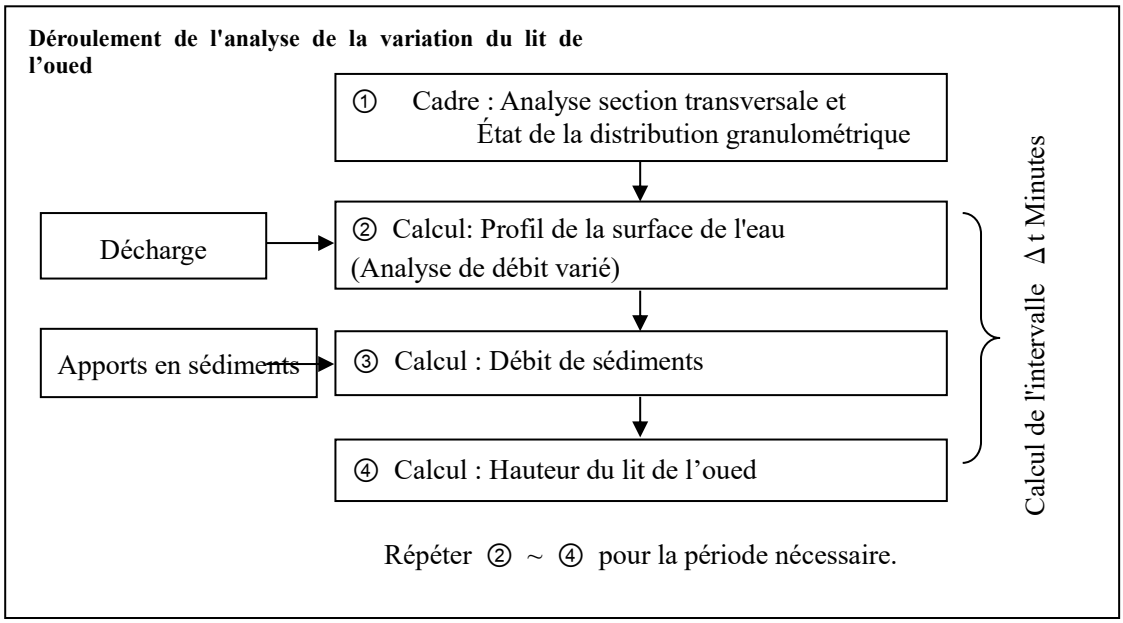


Figure 13-9 Déroulement de l'analyse de la variation unidimensionnelle du lit de l'oued

Tableau 13-1 Équations de base pour l'analyse de la variation unidimensionnelle du lit de l'oued

Article	Équation
Équation de base pour le calcul du débit	<Calcul de débit variable > $\frac{d}{dx}\left(\frac{1}{2g}\cdot\frac{Q^2}{A^2}\right)+\frac{dH}{dx}+i_e=0$ Q : Débit, A : Section d'écoulement, g : Accélération par gravité, H : Niveau d'eau, i_e: Gradient énergétique
Équation continue des sédiments du lit de l'oued	$\frac{\partial A_z}{\partial t}+\frac{1}{(1-\lambda)}\cdot\left\{\frac{\partial}{\partial x}\left(\sum_i q_{Bi}\cdot B\right)+B\cdot\sum_i\left(q_{SUi}-\omega_i c_{bi}\right)\right\}=0$ A_z : zone transversal du dépôt de sédiments, λ : Ratio de vide, q_{Bi} : Transport de charge de fond, B : Largeur de l'oued, q_{SUi} : Unité de de volume en suspension de sable en suspension, ω_i : Vitesse de décantation, C_{bi} : Densité des sédiments du lit de l'oued

Article	Équation
Équation du débit de sédiments	<Méthode Ashida-Michiue> $\frac{q_{Bi}}{\sqrt{sgd^3}} = 17\tau_{*ei}^{\frac{3}{2}}\left(1-\frac{\tau_{*c}}{\tau_{*i}}\right)\left(1-\frac{u_{*c}}{u_*}\right)\cdot f_i$ τ_{*c} : Force de traction critique sans dimension, u_{*c} : Vitesse de frottement critique, u_* : Vitesse de frottement, τ_{*e} : Force de traction effective sans dimension, s : Densité relative des sédiments dans l'eau
Unité de volume en suspension de sable en suspension (0,075 mm>)	$q_{SUi} = \omega_{0i} \cdot C_{Bei}$ $C_B = 0.025 \cdot \left\lfloor g(\xi_o)/\xi_o - G(\xi_o) \right\rfloor$ $\xi_o = \omega_o /(0.75 \cdot u_{*e})$ $g(\xi_o) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2}\xi_o^2\right)$ $G(\xi_o) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{\xi_o}^{\infty} \exp\left(-\frac{1}{2}\xi_0^2\right) \cdot d\xi$ q_{SUi} : Unité de volume en suspension de sable en suspension, ω_{0i} : vitesse de décantation, C_{Bei}: Densité des sédiments du lit de l'oued calculée par la méthode Ashida-Michiue, u_{*e}: Vitesse de friction effective
Unité de volume en suspension de sable en suspension (> 0,075 mm)	<Équation de vitesse d'érosion tenant compte de l'adhérence > $q_{SUi} = E/(1-\lambda)$ $E = \alpha \cdot u_*^{\beta} \quad (u_* > u_{*c})$ E : vitesse d'érosion, λ : Ratio de vide, α, β : Paramètres, u_{*e} : Vitesse de frottement critique de l'érosion
Volume de tassement du sable en suspension	$q_{SD\,i} = c_{bi} \cdot \omega_{0i}$ $c_{bi} = C_i \cdot \beta/\exp(-\beta \cdot \xi) \qquad \beta = \omega_{0i} \cdot h/\varepsilon \qquad \varepsilon = \kappa \cdot u_* \cdot h/6$ q_{SDi}: Unité de volume de tassement pour le diamètre d_i, C_i: Densité du sable ajouté pour le diamètre d_i, κ: Constante de Karman (=0.4)

13.2.2 Conditions d'analyse

Les conditions pour l'analyse unidimensionnelle de la variation du lit de l'oued sont présentées dans le Tableau 13-2. La période de calcul est de 11 ans, de 2008, date de début du relevé topographique, à 2018. La classification granulométrique est divisée en neuf catégories. Il va de l'argile (0,005 mm) au gravier (10 mm), en tenant compte des matériaux du lit de l'oued et de la composante sédimentaire du debit sortant du barrage de Sidi Salem.

L'analyse se concentre sur l'apport et le dépôt de sédiments en amont, sans tenir compte de l'effet d'érosion du lit de l'oued, puisque les résultats des relevés topographiques de 2020 ne sont pas disponibles pour le moment.

Tableau 13-2 Conditions de base pour l'analyse unidimensionnelle du débit du lit de l'oued

Emément	Explication	Remarques
Méthode de Calcul	Débit d'eau : Calcul de débit variable Mouvement des sédiments : Analyse unidimensionnelle des variations du lit de l'oued	
Période de Calcul	2008-2018 (11ans)	

Emément	Explication	Remarques
Surface	Oued Medjerda : Estuaire - Barrage Sidi Salem (0,0 k-148,54 k)	
Lit de l'oued initial	Zone D1 (148.5 k～67.3 k): levé topographique 2007 Zone D2 (65.0 k～0.0 k): Coupes transversales proposées	Des sections transversales interpolées sont utilisées dans la section du barrage de Larrousia, car aucun levé topographique n'a été réalisé.
Distribution de la taille des grains	Zone D1 : La granulométrie moyenne de D1-1 à D1-3 est appliquée pour toute la section Zone D2 : La granulométrie moyenne de D2-3 à D2-6 est appliquée pour toute la section	
Classification granulométrique	9 catégories : argile (0.0005 mm) - gravier (10 mm)	
Conditions de debit entrant	<Débit> - En amont : le débit du barrage de Sidi Salem est appliqué. Apport des affluents : Les apports de l'oued Siliana et du bassin résiduel des zones D1 et D2 sont appliqués. - Le débit de l'affluent de l'oued Siliana : Débit du barrage de Siliana plus le débit du bassin résiduel en aval. Le débit a été calculé au prorata de la superficie du bassin résiduel en fonction du débit entrant dans le barrage de Siliana. <Volume de sédiments entrants> - Le volume de sédiments sortant du barrage de Sidi Salem utilise le résultat de la simulation de sédimentation unidimensionnelle du barrage. (42 Mm^3/an) La quantité d'apport de sédiments de chaque affluent a été basée sur le bilan sédimentaire calculé. La distribution de la taille des grains est supposée en référence aux résultats de l'enquête sur les matériaux du lit de l'oued comme ci-dessous. Oued Siliana : 2.1 Mm^3/an Oued Lahmar : 0,5 Mm^3/an Oued Chafrou : 0,5 Mm^3/an	Utilisation des données quotidiennes Voir Figure 13-10 , Figure 13-11, Figure 13-12
Niveau d'eau à l'extrémité aval	- Le niveau d'eau de fonctionnement du barrage de Larrousia est appliqué. (La profondeur normale est appliquée lorsque les vannes sont complètement ouvertes,) -Le niveau de marée de l'estuaire est appliqué à EL.0.0m	
Porosité	0,4	
Coefficient de rugosité	0,030 (tout au long du cours d'eau)	
Autre	Aucune érosion n'est prise en compte le long du lit de l'oued.	

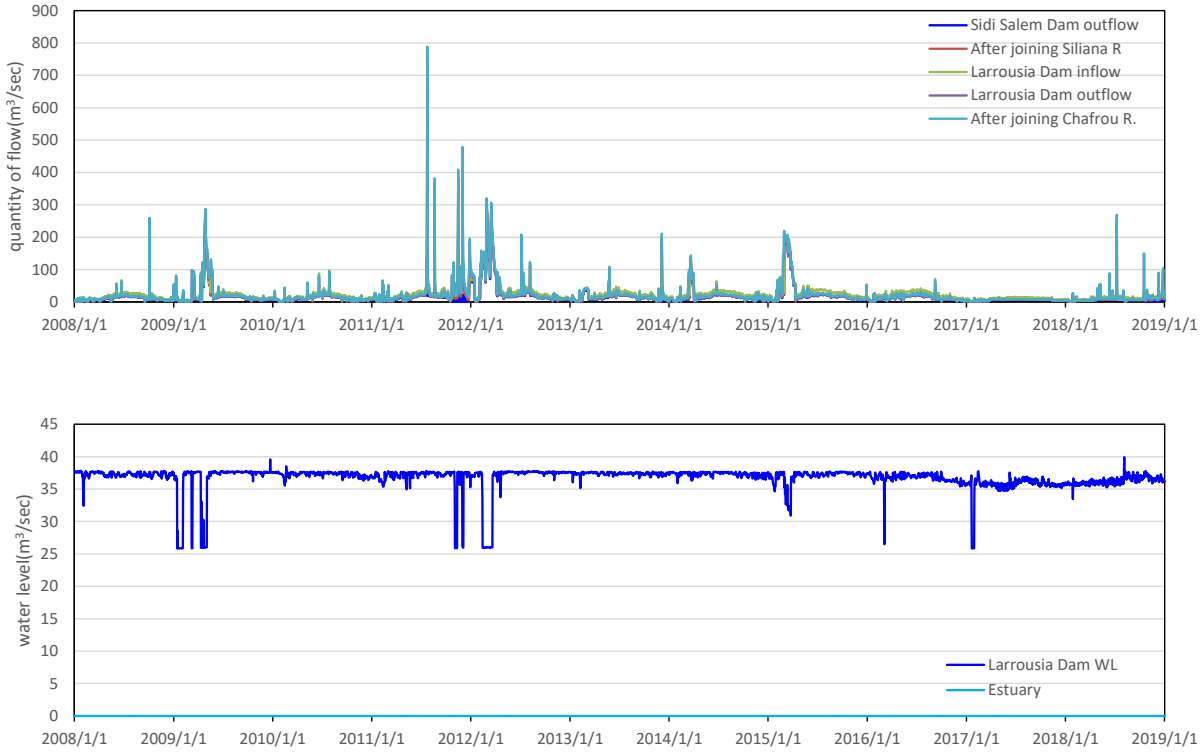


Figure 13-10 Changement chronologique de l'apport et du niveau d'eau (2008-2018)

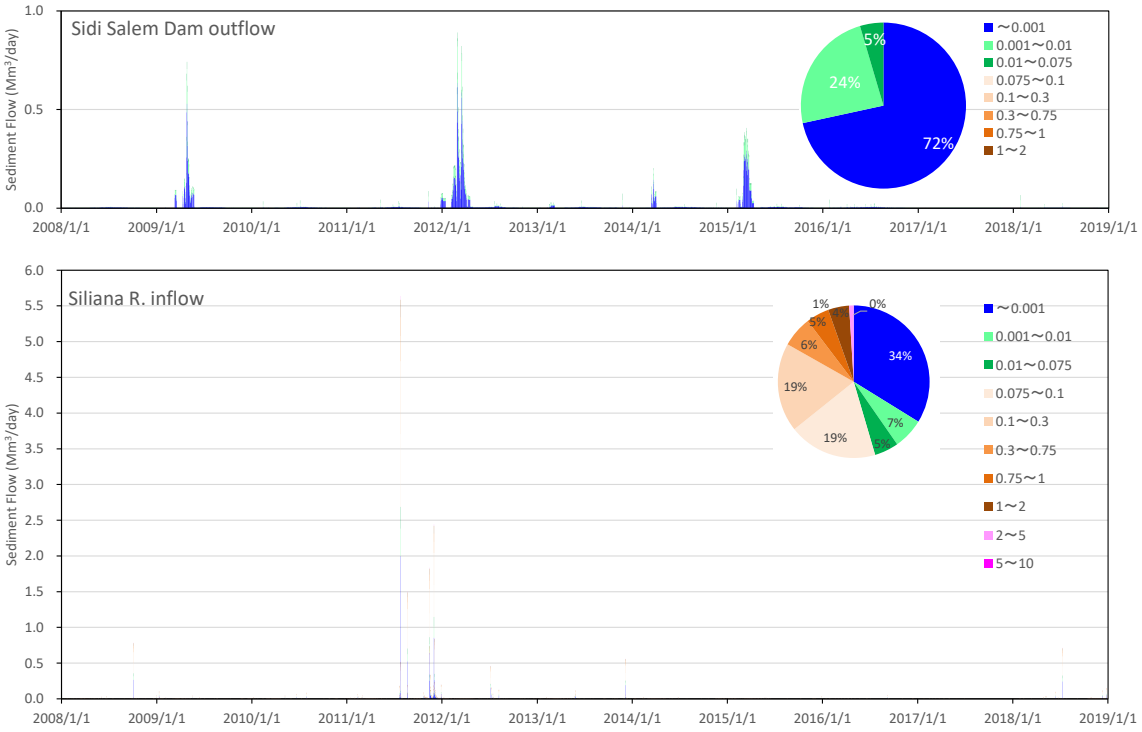
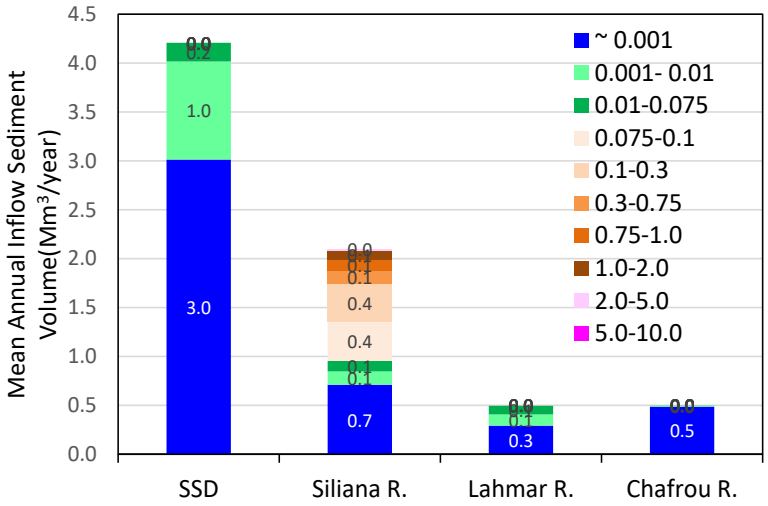


Figure 13-11 Changement chronologique de l'apport de sédiments (2008-2018)



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 13-12 Paramètres du volume de sédiments déversé par le barrage de Sidi Salem et du volume de sédiments entrant de chaque affluent

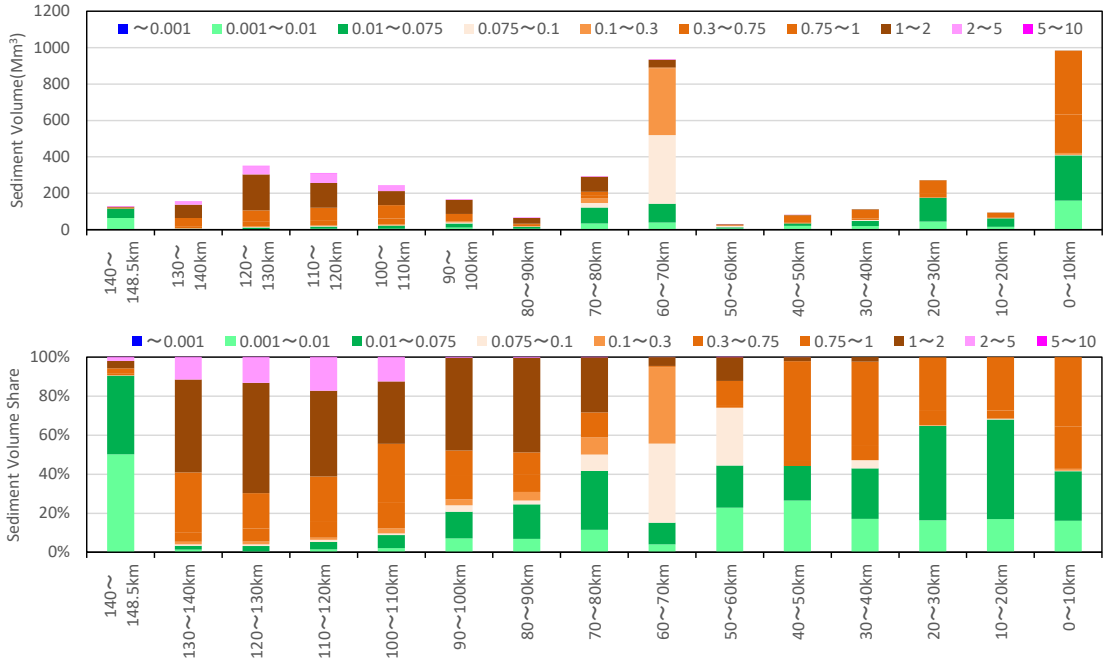
13.2.3 Résultat de l'analyse

(1) Variation du lit de l'oued

Les résultats de l'analyse de la variation du lit de l'oued Medjerda pendant 11 ans entre 2008 et 2018 sont présentés dans Figure 13-13 et Figure 13-14. Figure 13-14 illustre, de haut en bas, la largeur de l'oued, la largeur du canal inférieur de l'oued, les données longitudinales du lit de l'oued, la variation de la hauteur du lit de l'oued, le volume de sédiments par taille de grain par unité de distance longitudinale (à la fin du calcul) et le taux d'occupation des matériaux de surface du lit de l'oued.

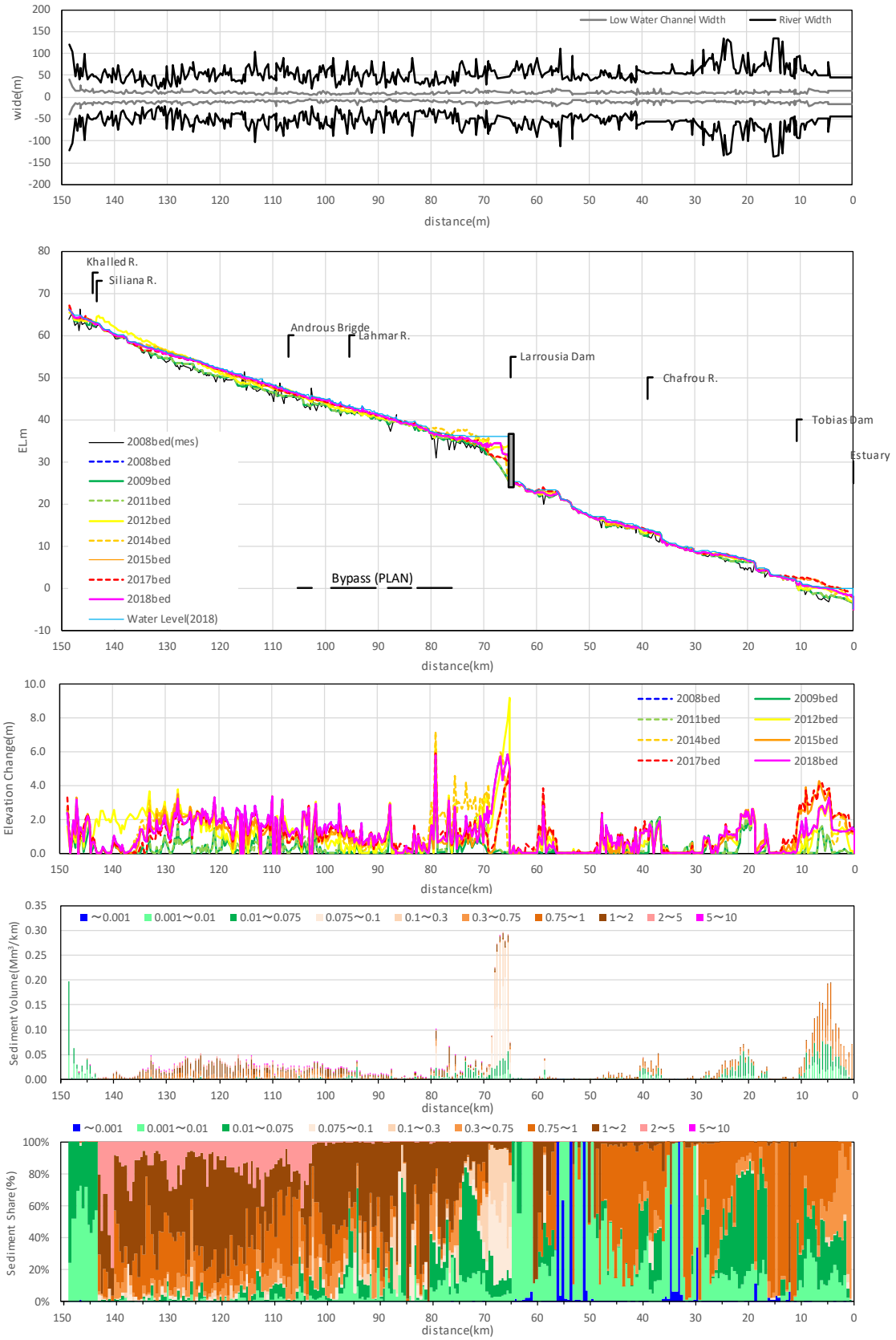
Les résultats du calcul sont présentés ci-dessous.

- L'analyse des variations du lit de l'oued sur une période de 16 ans illustre le dépôt de sédiments dans la Zone D1 (avant la confluence de l'oued Siliana et le long des tronçons de 100 à 120 km), la section de la retenue du barrage Laroussia, les tronçons de 20 à 40 km dans la zone D2, et l'estuaire. Une élévation maximum de 2,5 m du lit de l'oued a été observée.
- Le sable est principalement déposé dans la section D1, et l'occupation de limon (taille de grain 0,001-0,075 mm) dans les sédiments augmente vers l'aval.
- Localement, un pourcentage élevé de sable et de gravier se trouve dans les tronçons de 100 à 140 km de la Zone D1. Cela est probablement dû à l'accumulation de sable et de gravier s'écoulant dans la région depuis l'oued Siliana.
- En particulier, une grande quantité de sédimentation a été observée dans les tronçons de 100 à 130 km de la Zone D1. Les tronçons ont des méandres et des pentes ascendantes dans certaines parties, ce qui pourrait avoir causé une augmentation de la sédimentation.



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 13-13 Volume de sédiments calculé par taille de grain à chaque section (à la fin du calcul)



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 13-14 Résultat de l'analyse de la variation du lit de l'oued Medjerda (2008-2018) (à la fin du calcul)

(2) Décharge de sédiments

Figure 13-15 illustre le changement chronologique du débit de sédiments dans l'oued Medjerda. Figure 13-16 illustre la distribution longitudinale du volume de sédimentation par classification granulométrique, le volume du débit de sédimentation et la part du débit de sédiments dans l'oued Medjerda.

Les caractéristiques de la décharge de sédiments sont présentées ci-dessous;

- La Figure 9-135 indique que la majeure partie du volume de sédiments entrants s'est écoulée vers l'estuaire. L'argile et le limon représentent plus de 85 % de la distribution granulométrique du volume de sédiments entrants. Bien qu'une partie du limon soit restée dans le canal de l'oued, on estime que la plupart des sédiments passent par le canal.
- La Figure 9-136 indique que la plupart du sable et du gravier de plus de 2,0 mm est capturé dans la section D1.
- La plupart des argiles et des limons de moins de 0,075 mm passent par la section D1. Une partie du limon peut s'être accumulée dans le barrage de Larrousia et la section D2.

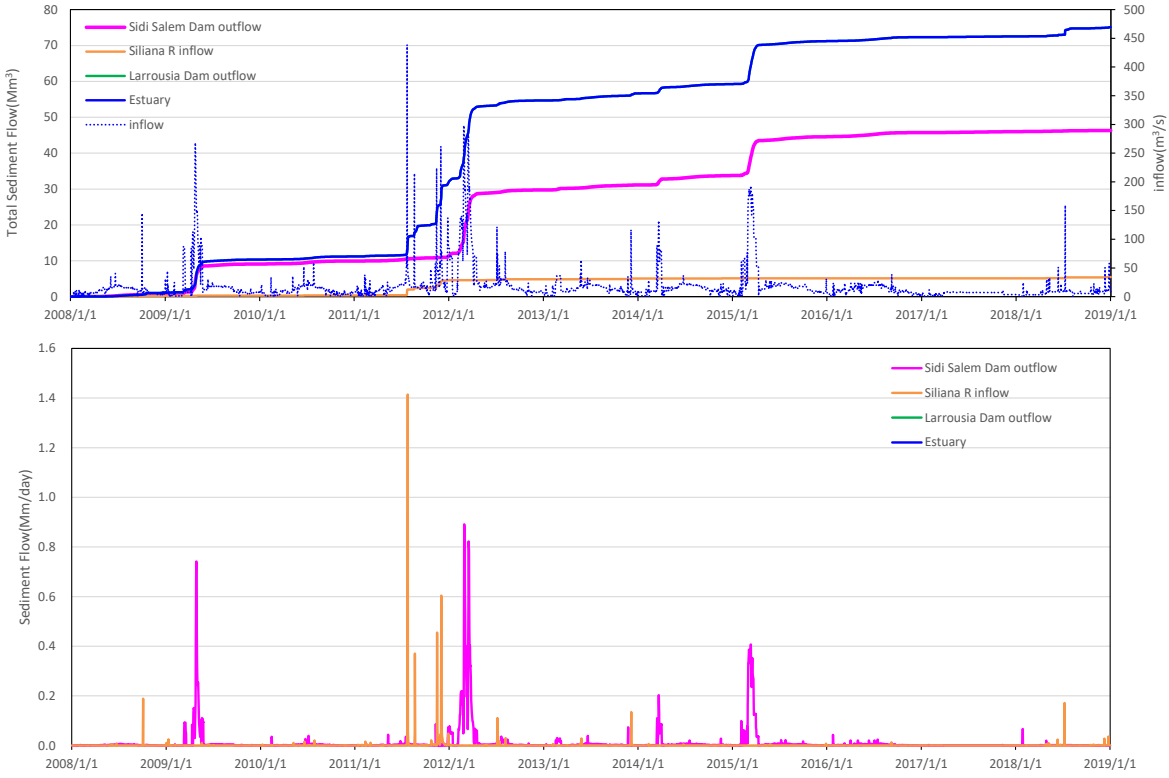
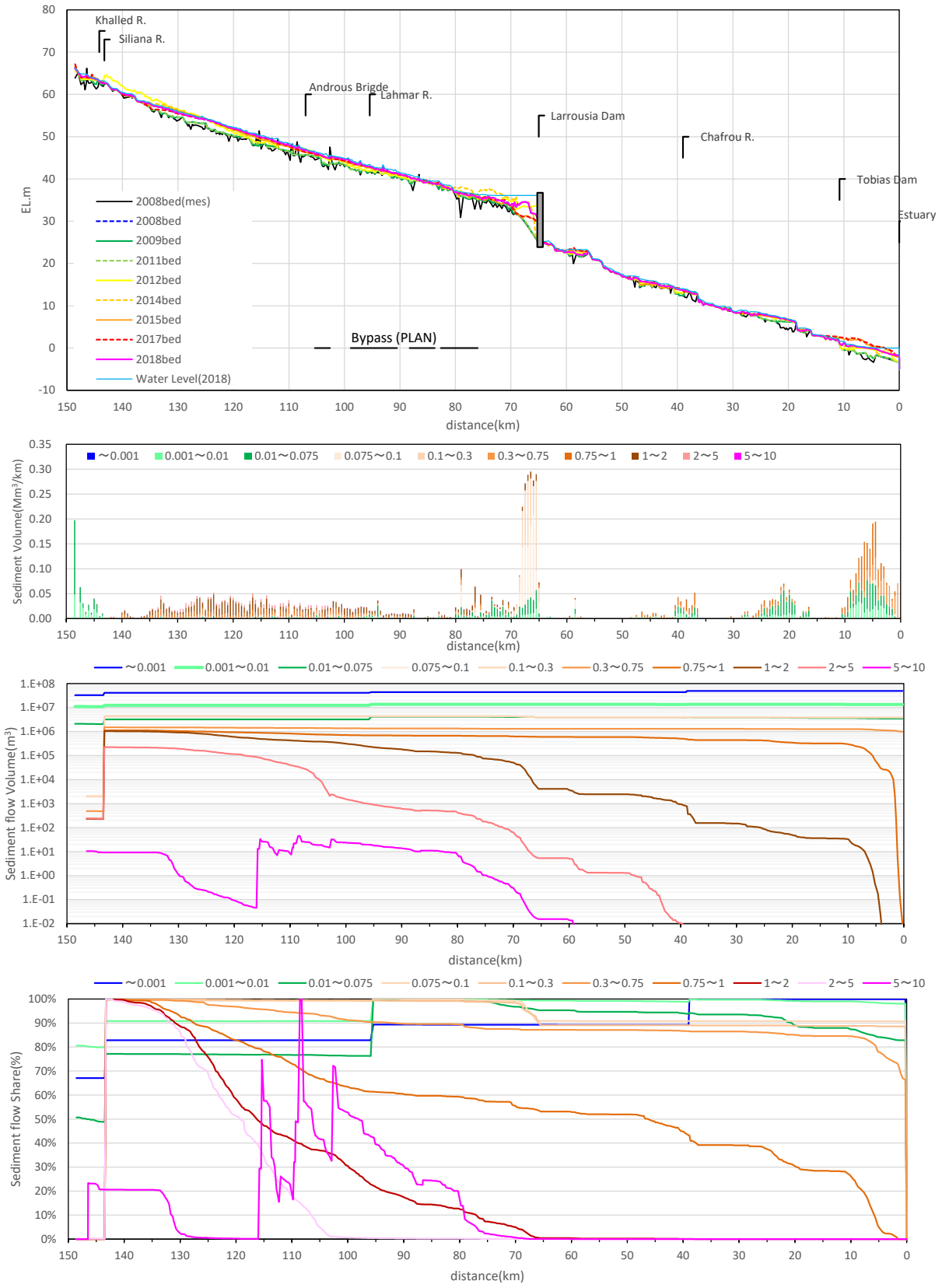


Figure 13-15 Changement chronologique du débit de sédiments de l'oued Medjerda (2008-2018)



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 13-16 Distribution longitudinale du volume de sédimentation par classification granulométrique, du volume de débit de sédimentation et de la part de débit de sédiments dans l'oued Medjerda (2018).

(3) Bilan sédimentaire

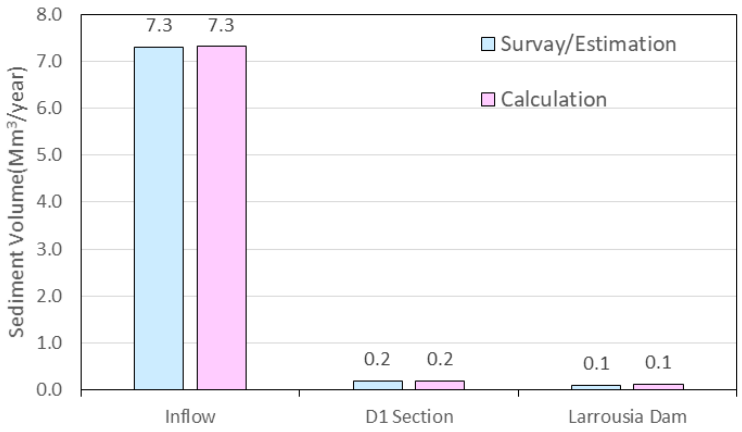
Le Tableau 9-46 et la Figure 9-137 illustrent le bilan sédimentaire obtenu par le calcul de reproduction. Les résultats du calcul de reproduction reproduisent bien la quantité moyenne annuelle de sédiments dans la section D1 et la section de la retenue du barrage de Larrousia. Les sédiments dans le canal de l'oued représentent 7 % de la quantité totale de sédiments entrants, et on suppose que la plupart des sédiments entrants ont atteint l'estuaire et se sont écoulés.

La Figure 9-138 montre les résultats du calcul du bilan sédimentaire dans la zone D1, D2. La Figure 9-139 montre la relation entre le volume des sédiments entrants et la distribution longitudinale des sédiments. Les sédiments déversés par le barrage de Sidi Salem sont de l'argile et du limon. Bien que l'on suppose qu'une partie du limon contribue à la sédimentation du canal de l'oued, on suppose que la plus grande partie passe par le canal de l'oued. En outre, la plupart des sédiments dans le canal de l'oued sont du sable, dont la source est considérée comme étant l'oued Siliana.

Tableau 13-3 Résultat du calcul du bilan sédimentaire (1)

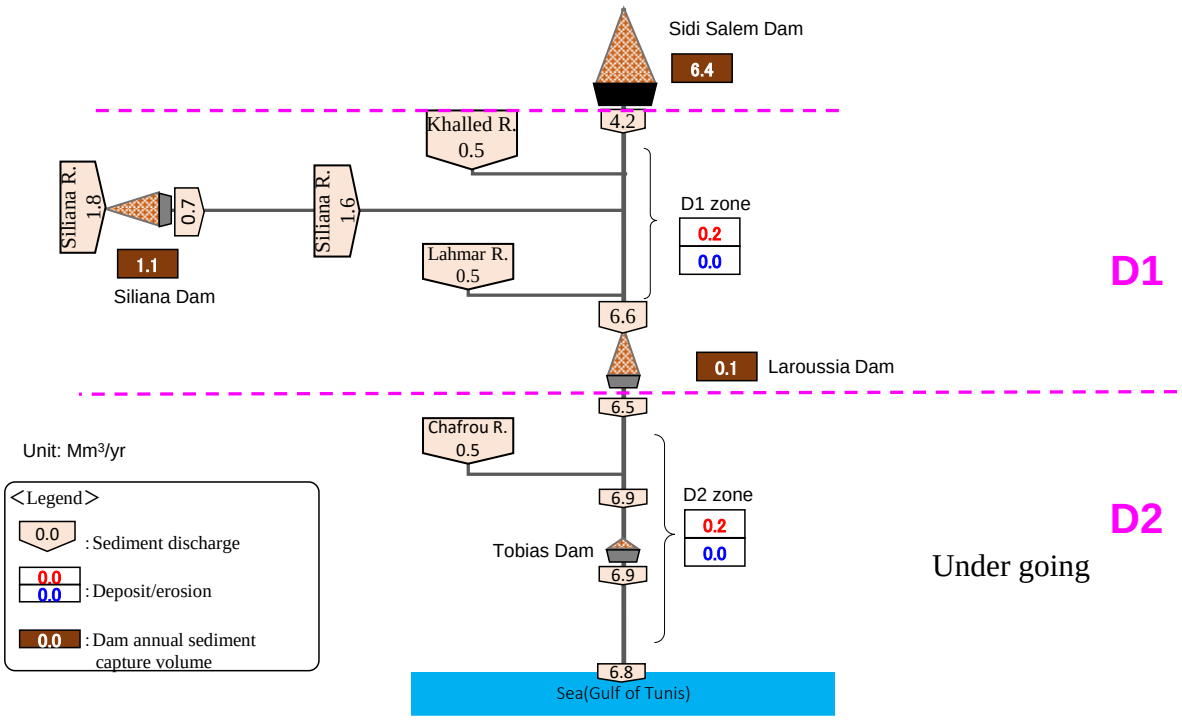
			Calculation		Survay/Estimation
			2008-2018 Sediment Amount (Mm^3)	Mean Annual Sediment Amount (Mm^3/year)	Sediment Balance (Mm^3/year)
a	Inflow Sediment Volume		80.4	7.3	7.3
b	Sediment Volume	D1 Section	2.2	0.2	0.2
		Larrousia Dam	1.3	0.1	0.1
		D2 Section	1.8	0.2	-
c	Sediment Transport Volume (Estuary)		75.1	6.8	-
Capture Rate (River Channel) = b/a			6.7%		-

Source: Equipe d'Etude de la JICA



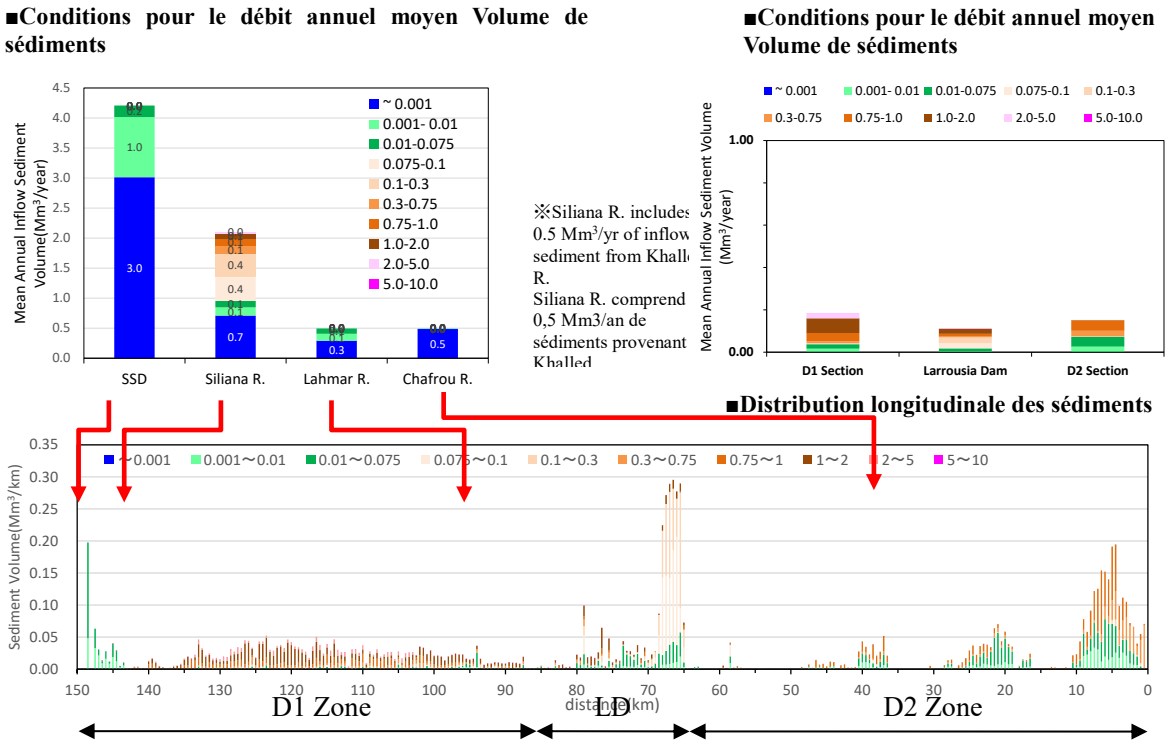
Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 13-17 Résultat du calcul du bilan sédimentaire (2)



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 13-18 Calcul du bilan sédimentaire obtenu par calcul de reproduction (dans les zones D1/D2)



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 13-19 Relation entre le volume de sédiments entrants et la distribution longitudinale des sédiments

(4) Concentration de sédiments

La Figure 13-20 illustre le changement chronologique de la concentration de sédiments. Figure 13-21 illustre la concentration moyenne de sédiments par l'échelle de débit. Les concentrations de sédiments sont calculées sur la base du débit de sédiments de granulométrie inférieure à 0,075 mm. Elles sont traitées comme des données de référence car elles sont relatives à la précision concernant l'estimation de la concentration en sédiments du barrage de Sidi Salem, l'estimation du débit des affluents et l'utilisation des données quotidiennes pour calculer la concentration en sédiments.

Les caractéristiques des concentrations de sédiments sont résumées ci-dessous :

- Au moment de la crue, la concentration en sédiments peut potentiellement augmenter jusqu'à plusieurs centaines de milliers de mg/l.
- La concentration moyenne de sédiments par débit pourrait être d'environ 1 000 à 10 000 mg/l pour un débit journalier moyen de 25 à 100 m^3/s, et pourrait être supérieure à 10 000 mg/l pour celui de 1 000 m^3/s.

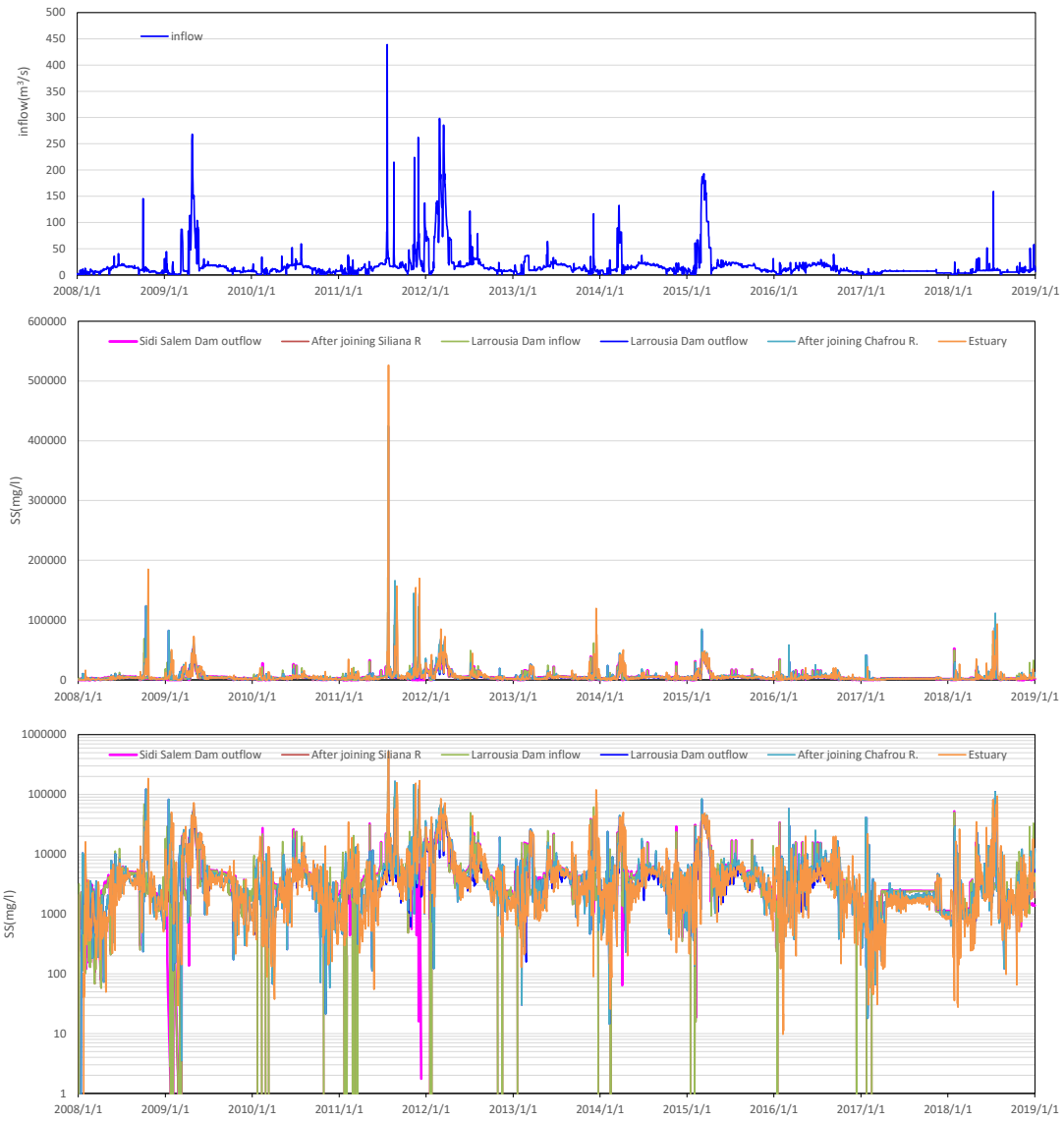


Figure 13-20 Changement chronologique du débit de sédiments de l'oued Medjerda (2008-2018)

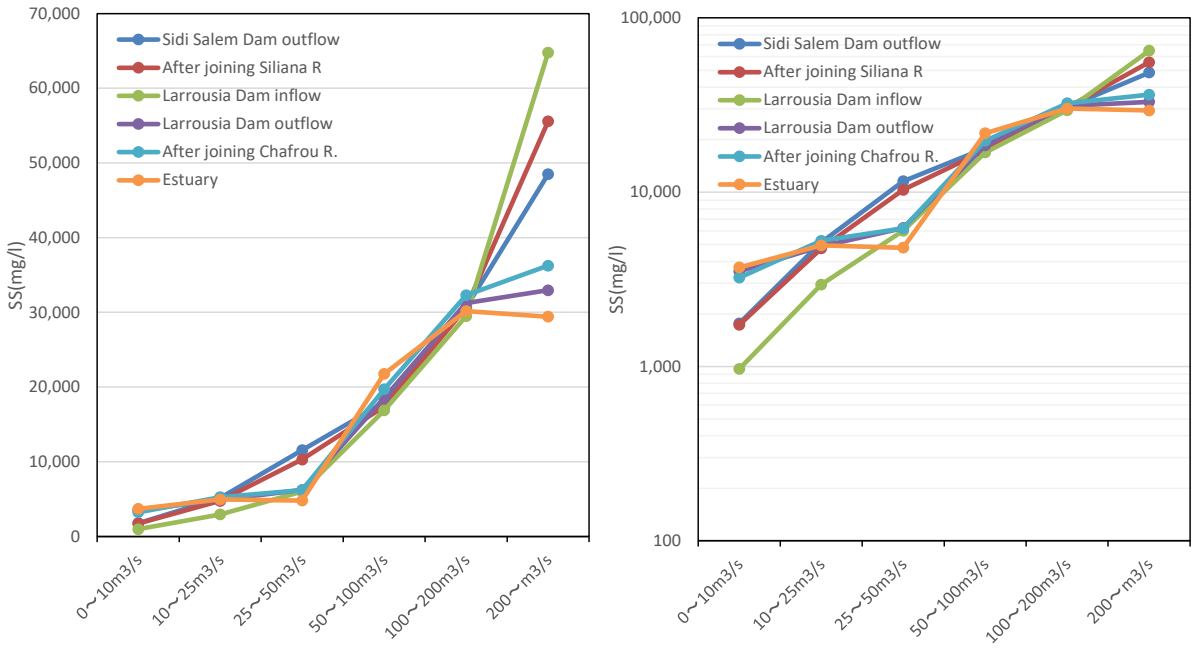


Figure 13-21 Concentration moyenne de sédiments par débit (gauche : axe réel, droite : axe logarithmique)

13.3 Prévisions futures

13.3.4 Conditions pour les prévisions futures

Les conditions pour les calculs des prévisions futures sont présentées dans le Tableau 13-4. Les hydrogrammes utilisés dans les calculs des prévisions futures ont été créés en répétant sept fois des hydrogrammes de 15 ans de 2004 à 2018, et en insérant l'hydrogramme de 2003 deux fois aux 46e et 92e années pour créer un hydrogramme de prévisions futures sur 100 ans.

Tableau 13-4 Conditions de base pour le calcul des prévisions futures

Elément	Description	Remarques
Méthode de calcul	Débit d'eau : Calcul de débit variable Mouvement des sédiments : Analyse unidimensionnelle des variations du lit de l'oued	
Période de calcul	Hydrogramme répété de 2004 à 2018 (100 ans au total) (L'hydrogramme de 2003 est inséré deux fois)	
Surface	Oued Medjerda : Estuaire- Barrage Sidi Salem (0.0 k-148.54 k)	
Données initiales sur le lit de l'oued	Zone D1 (148,5 k - 67,3 k) : levé topographique 2020 Zone D2 (65,0 k - 0,0 k) : Coupes transversales proposées	La section transversale interpolée est utilisée dans la section du barrage de Larrousia,
Distribution granulométrique	Zone D1 : la granulométrie moyenne de D1-1 à D1-3 est appliquée pour toute la section Zone D2 : la granulométrie moyenne de D2-3 à D2-6 est appliquée pour toute la section	
Classification granulométrique	10 catégories : argile (0.0005 mm) - gravier (10 mm)	
Conditions de debit entrant	<Débit> -En amont, le débit du barrage de Sidi Salem est appliqué. En tant qu'apport des affluents, l'oued Siliana et les bassins résiduels des Zones D1 et D2 sont pris en compte. -Le débit de l'oued Siliana a été indiqué comme le débit du barrage de Siliana plus le débit de la zone résiduelle en aval. Le débit a été calculé au prorata de la superficie du bassin résiduel en fonction du débit entrant dans le barrage de Siliana. <Volume de sédiments entrants> -Le volume de sédiments entrants du barrage de Sidi Salem utilise le résultat de la simulation de sédimentation unidimensionnelle du barrage. (5.0 Mm^3/an) La quantité d'apport de sédiments de chaque affluent a été basée sur le calcul du bilan sédimentaire. La distribution de la taille des grains est supposée en référence aux résultats de l'enquête sur les matériaux du lit de l'oued comme ci-dessous. Oued Siliana : 2.1 Mm^3/an Oued Lahmar : 0,5 Mm^3/an Oued Chafrou : 0,5 Mm^3/an	Utilisation des données quotidiennes Voir Figure 13-21
Niveau d'eau à l'extrémité aval	-Le niveau d'eau de fonctionnement du barrage de Larrousia est appliqué. (La profondeur normale est appliquée lorsque les vannes sont complètement ouvertes) -Le niveau de marée de l'estuaire est appliqué à EL.0.0m.	
Porosité	0,4	
Coefficient de rugosité	0,030 (tout au long du canal de l'oued)	
Autre	Aucune érosion n'est prise en compte le long du lit de l'oued.	

Caractères bleus : Différent du calcul de reproduction

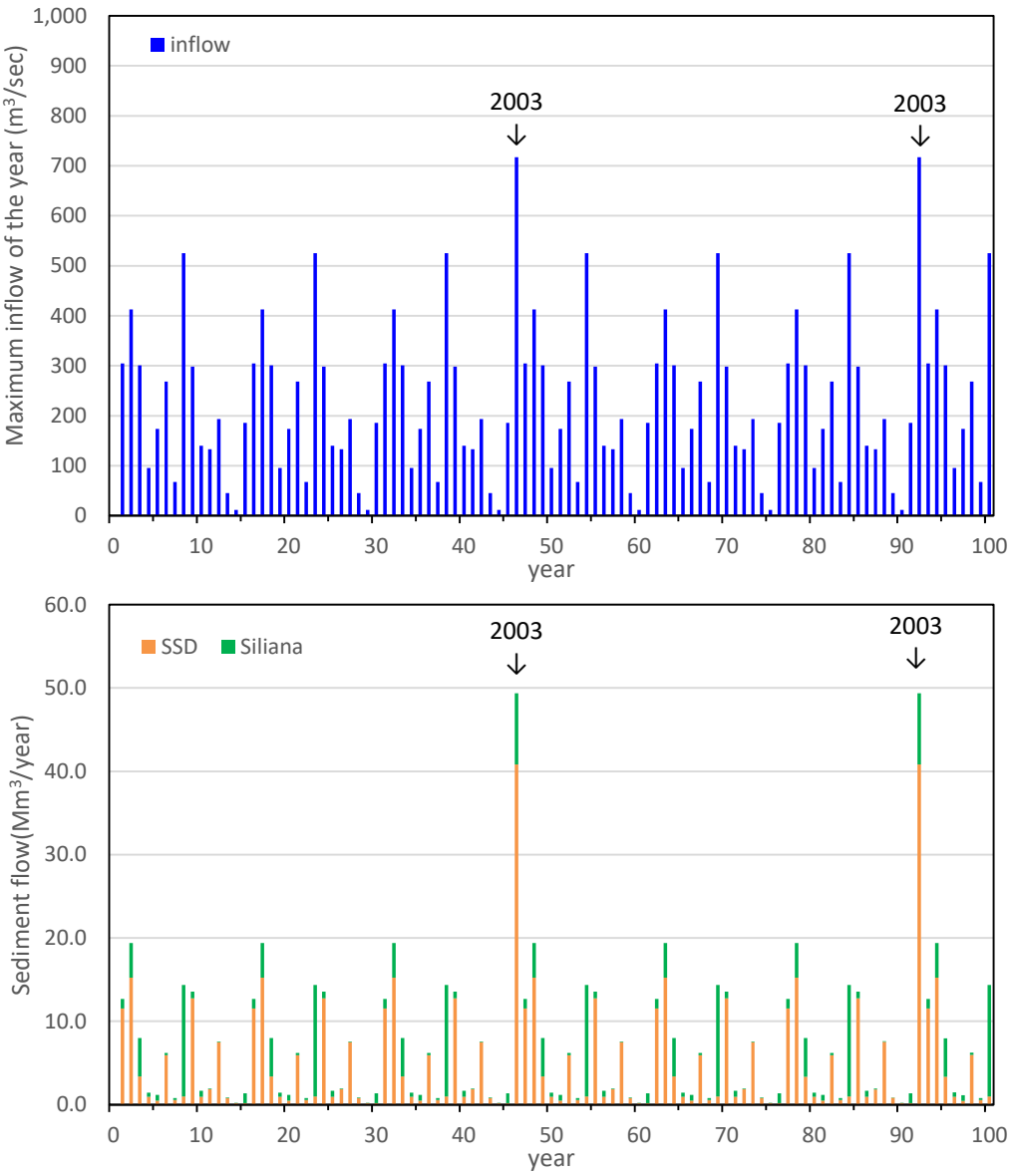


Figure 13-22 Apport annuel maximal de l'oued Medjerda (après le confluent de l'oued Siliana) et apports entrants annuels de sédiments du barrage de Sidi Salem et de l'oued Siliana (les 100 prochaines années)

13.3.5 Résultat des prévisions futures

(1) Variation du lit de l'oued

Les résultats de l'analyse de la variation du lit de l'oued pour les 100 prochaines années dans l'oued Medjerda sont présentés dansFigure 13-23 et Figure 13-24. Figure 13-23 illustre, de haut en bas, la largeur de l'oued, la largeur du canal inférieur de l'oued, le profil longitudinal du lit de l'oued, la la variation de la hauteur du lit de l'oued, le volume de sédiments par taille de grain par unité de distance longitudinale à la fin du calcul et le taux d'occupation des matériaux de surface du lit de l'oued.

Les résultats du calcul sont présentés ci-dessous

Les résultats du calcul sont indiqués ci-dessous ;

- Un dépôt de sédiments se produit dans l'analyse de la variation du lit de l'oued pour les 100 prochaines années.

  > Tronçon D1 (avant le confluent de l'oued Siliana et des tronçons de 100 à 120 km)

> La section retenue du barrage de Larrousia

> 20-40 km de tronçons dans la Zone D2

> Estuaire

- Le résultat est similaire à celui de l'analyse de reproduction (voir (3)1)). Une élévation maximale de 9-10 m du lit de l'oued est observée dans la zone D1 en raison de l'accumulation de gravier provenant de l'oued Siliana.
- Dans la section où le dépôt de sédiments est évident, le limon (0,001-0,075 mm) et le sable (0,075-2,0 mm) représentent une grande proportion dans la distribution granulométrique.
- Selon la variation séculaire du lit de l'oued, le lit de l'oued a tendance à s'élever dans tout le canal de l'oued dans la zone D1. En particulier, le volume de sédiments a tendance à être important en amont du pont Andalou.
- Dans la zone D2, les sédiments ont tendance à s'accumuler près de l'estuaire et en amont du point où le lit de l'oued a une pente prononcée.

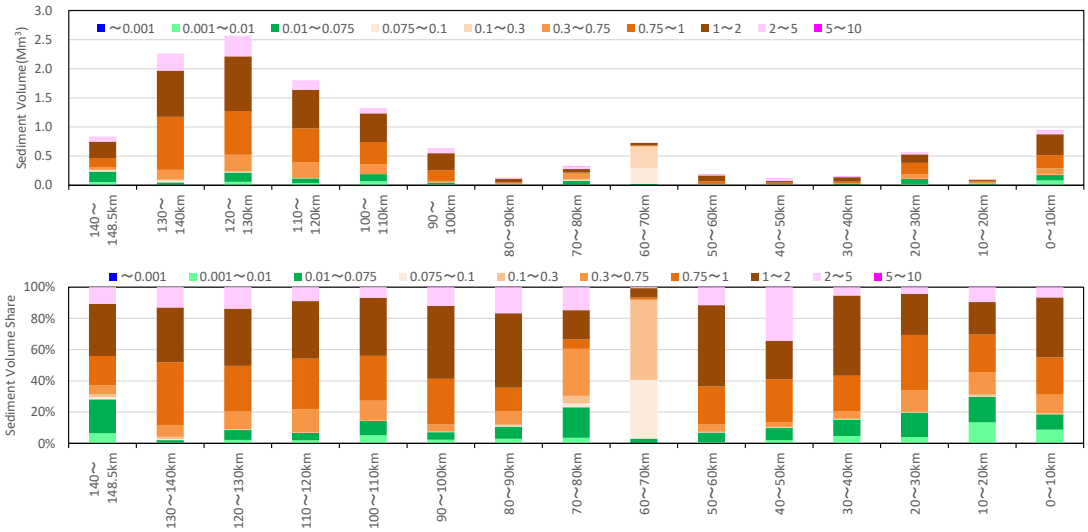


Figure 13-23 Volume de sédiments calculé par taille de grain à chaque section (Dans 100 années)

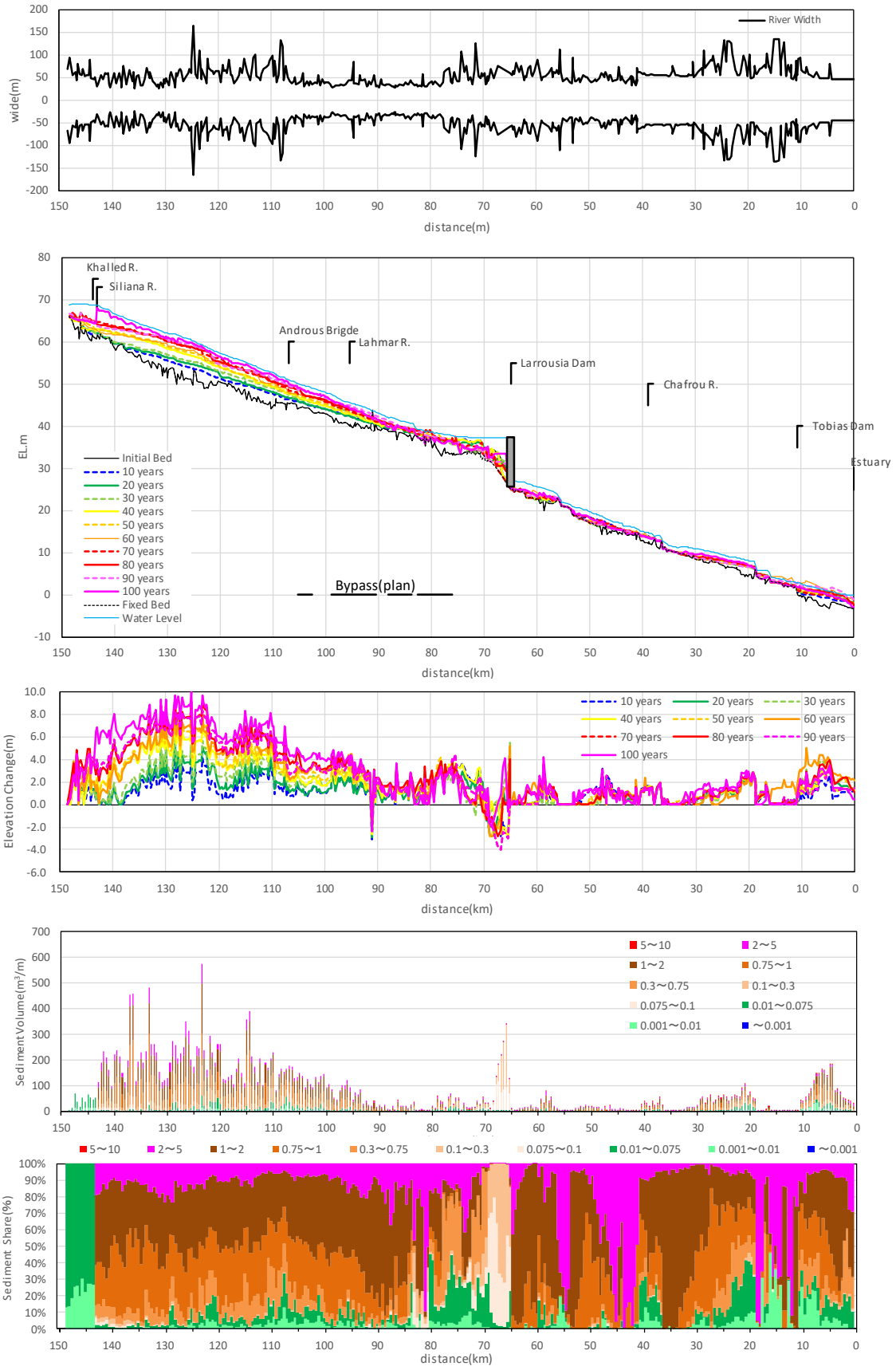


Figure 13-24 Résultat de l'analyse de la variation du lit de l'oued Medjerda (les 100 prochaines années)

(2) Décharge de sédiments

La Figure 9-145 1montre le changement chronologique de la charge sédimentaire pour les 100 années à venir dans l'oued Medjerda. La figure montre les séries chronologiques de la charge sédimentaire accumulée, de la charge sédimentaire quotidienne et de la concentration en sédiments. La Figure 9-146 montre la distribution longitudinale du volume de sédimentation par classification granulométrique, le volume du flux de sédiments et le ratio du flux de sédiments dans oued Medjerda. Les caractéristiques de la décharge sédimentaire dans les 100 prochaines années sont résumées ci-dessous

- Figure 13-25 montre que la majeure partie du volume de sédiments entrants s'est écoulée vers l'estuaire. L'argile et le limon représentent plus de 85 % de la distribution granulométrique du volume de sédiments entrant. On estime que la plupart des sédiments passent par le chenal de l'oued. Ces résultats sont similaires à l'analyse de reproduction (Voir 13.2.3(2)).
- Figure 13-26 montre que la plupart des composants dont la granulométrie est inférieure à 0,3 mm passent par le canal de l'oued et atteignent l'estuaire. Les composants dont la granulométrie est supérieure à 0,3 mm se déposent progressivement dans le canal de l'oued et atteint l'estuaire.

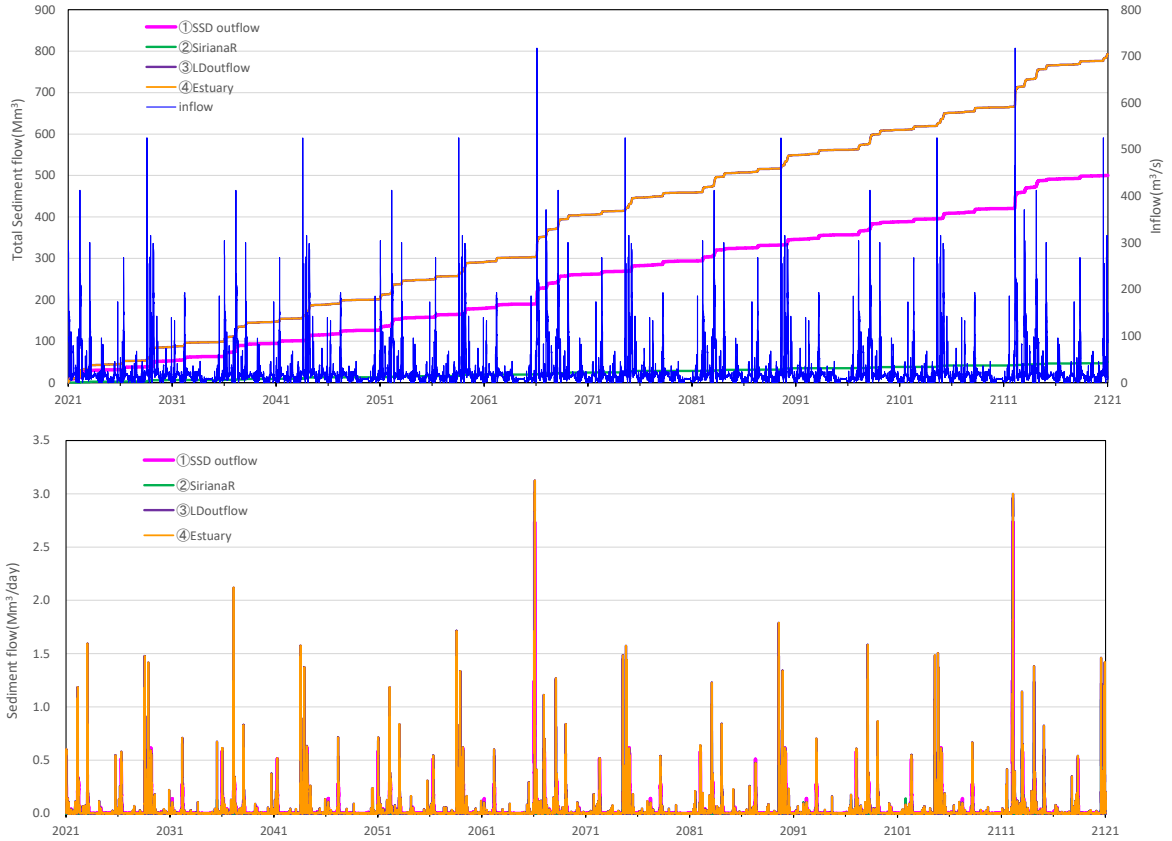


Figure 13-25 Changement chronologique du débit de sédiments de l'oued Medjerda (100 prochaines années)

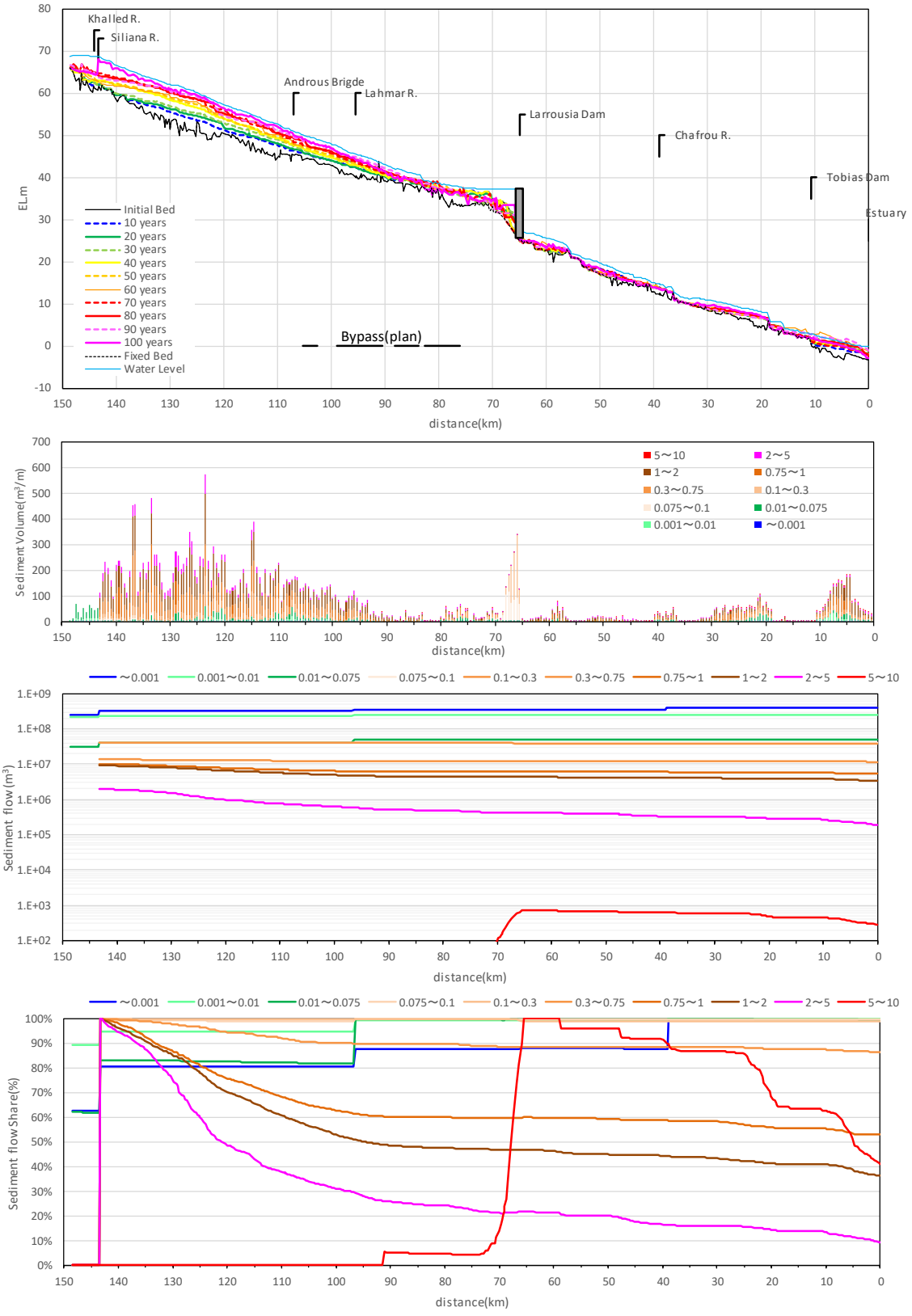


Figure 13-26 Distribution longitudinale du volume de sédimentation par classification granulométrique, volume d'écoulement des sédiments et rapport d'écoulement des sédiments dans l'oued Medjerda (100 prochaines années)

(3) Concentration de sédiments

Figure 13-27 montre l'évolution chronologique de la concentration des sédiments. Figure 13-28 montre la concentration moyenne de sédiments par échelle de débit. Comme dans l'analyse de reproduction (voir 9.7.2 (3)), la concentration de sédiments est traitée comme une donnée de référence parce qu'elle est liée à des facteurs de précision tels que l'estimation de la concentration de sédiments du barrage de Sidi Salem, le débit des affluents et l'utilisation de données quotidiennes pour calculer les concentrations de sédiments.

Les caractéristiques des concentrations de sédiments sont expliquées ci-dessous :

- Au moment de la crue, la concentration en sédiments peut augmenter jusqu'à plusieurs centaines de milliers de mg/l.
- La concentration moyenne de sédiments par échelle de débit pourrait être d'environ 1 000 à 10 000 mg/l pour un débit quotidien moyen de 25 à 100 m^3/s, et pourrait être supérieure à 10 000 mg/l pour 1 000 m^3/s.

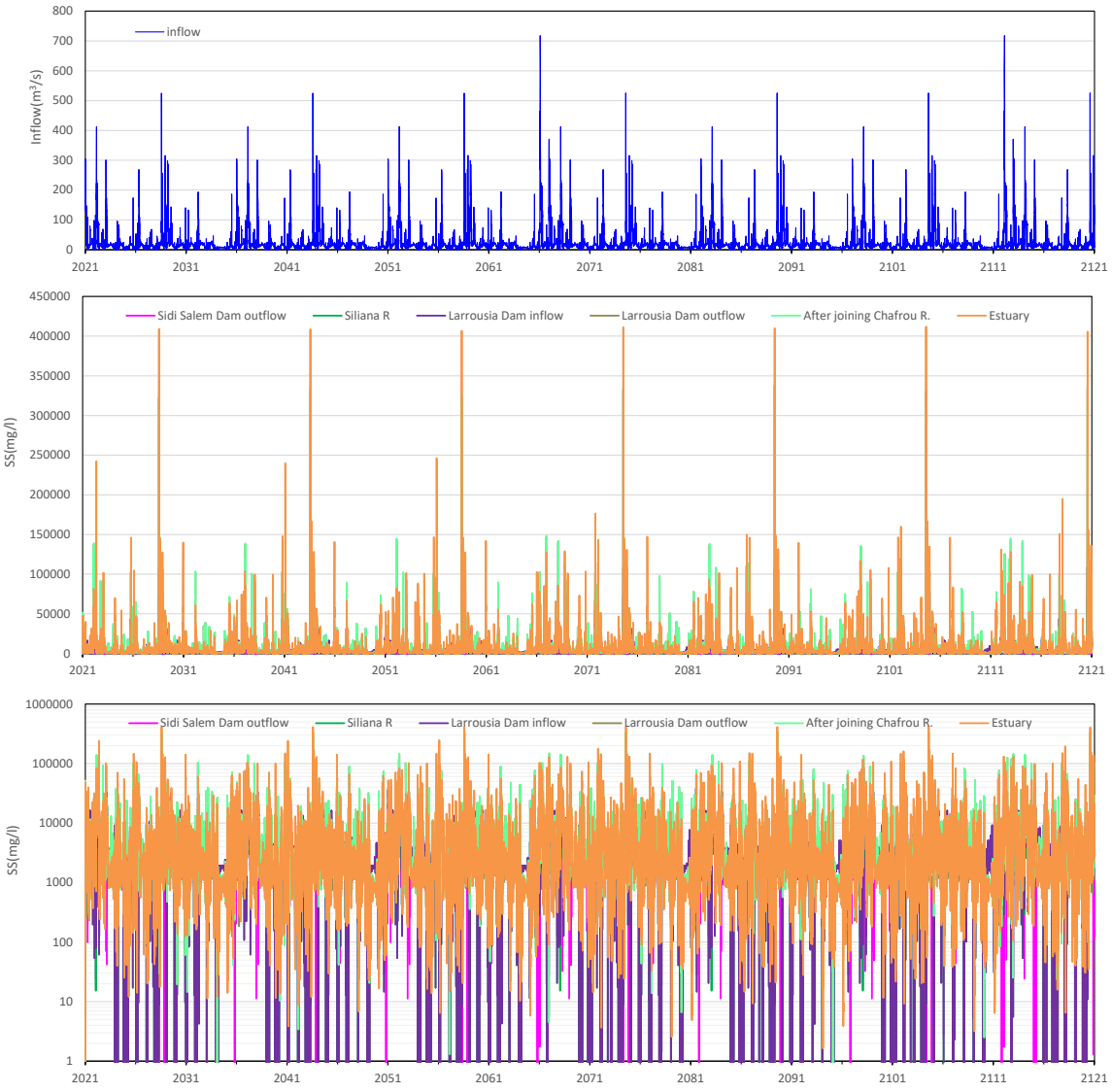


Figure 13-27 Changement chronologique de la concentration de sédiments de l'oued Medjerda (les 100 prochaines années)

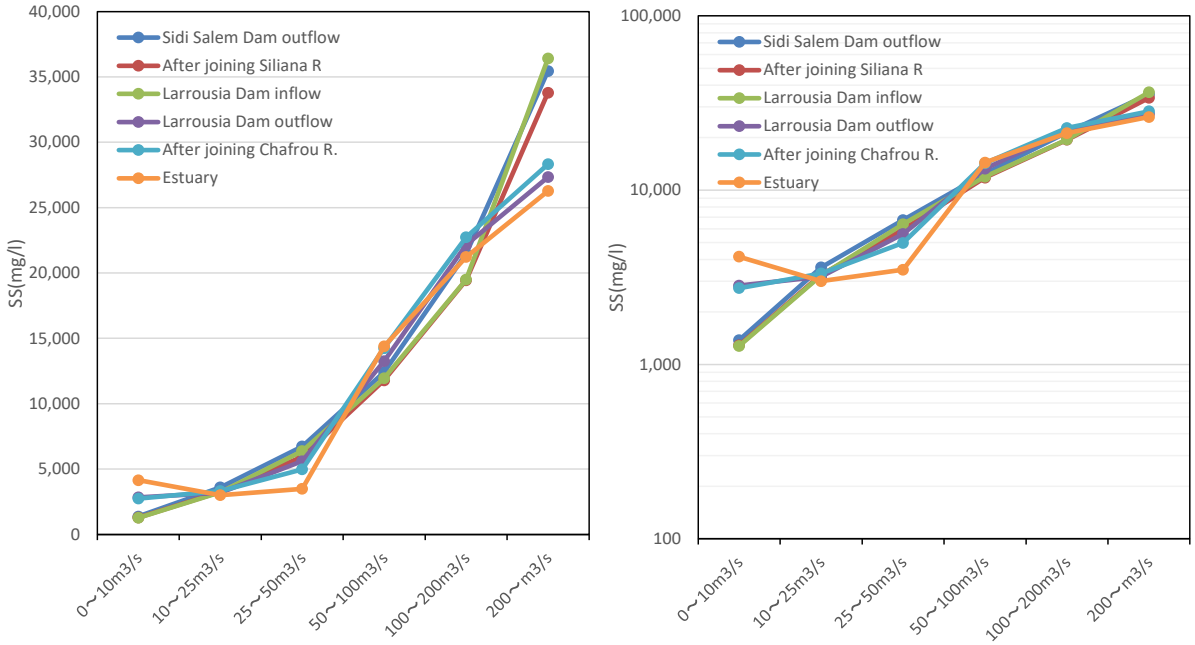


Figure 13-28 Concentration moyenne de sédiments par échelle de débit de Medjerda Rive au cours des 100 prochaines années (Gauche: axe réel, droite: axe logarithmique)

13.4 Mesures de contrôle des sédiments

Il est nécessaire de prédire l'impact du contrôle des sédiments appliqué à l'aval et d'étudier les mesures de lutte contre les sédiments et de gestion des sédiments dans le canal fluvial. Dans ce rapport, afin de prédire l'impact en aval des mesures de lutte contre les sédiments, une simulation, avec prise de considération de l'influence, a été menée en augmentant la quantité de sédiments relâchés par le barrage de Sidi Salem.

13.4.1 Analyse de sensibilité pour le contrôle des sédiments au barrage de Sidi Salem

(1) Conditions de calcul

Les conditions pour les sédiments entrants en pregnant en compte l'augmentation des sédiments sortants due à la mise en œuvre des mesures de contrôle de la sédimentation au barrage de Sidi Salem sont présentées dans le Tableau 9-48.

Une analyse de sensibilité a été menée avec l'augmentation la quantité de sédiments relâchés par le barrage de Sidi Salem de 1,0 Mm^3/an par rapport à la condition actuelle utilisée dans le futur calcul des prévisions (Figure 13-29).

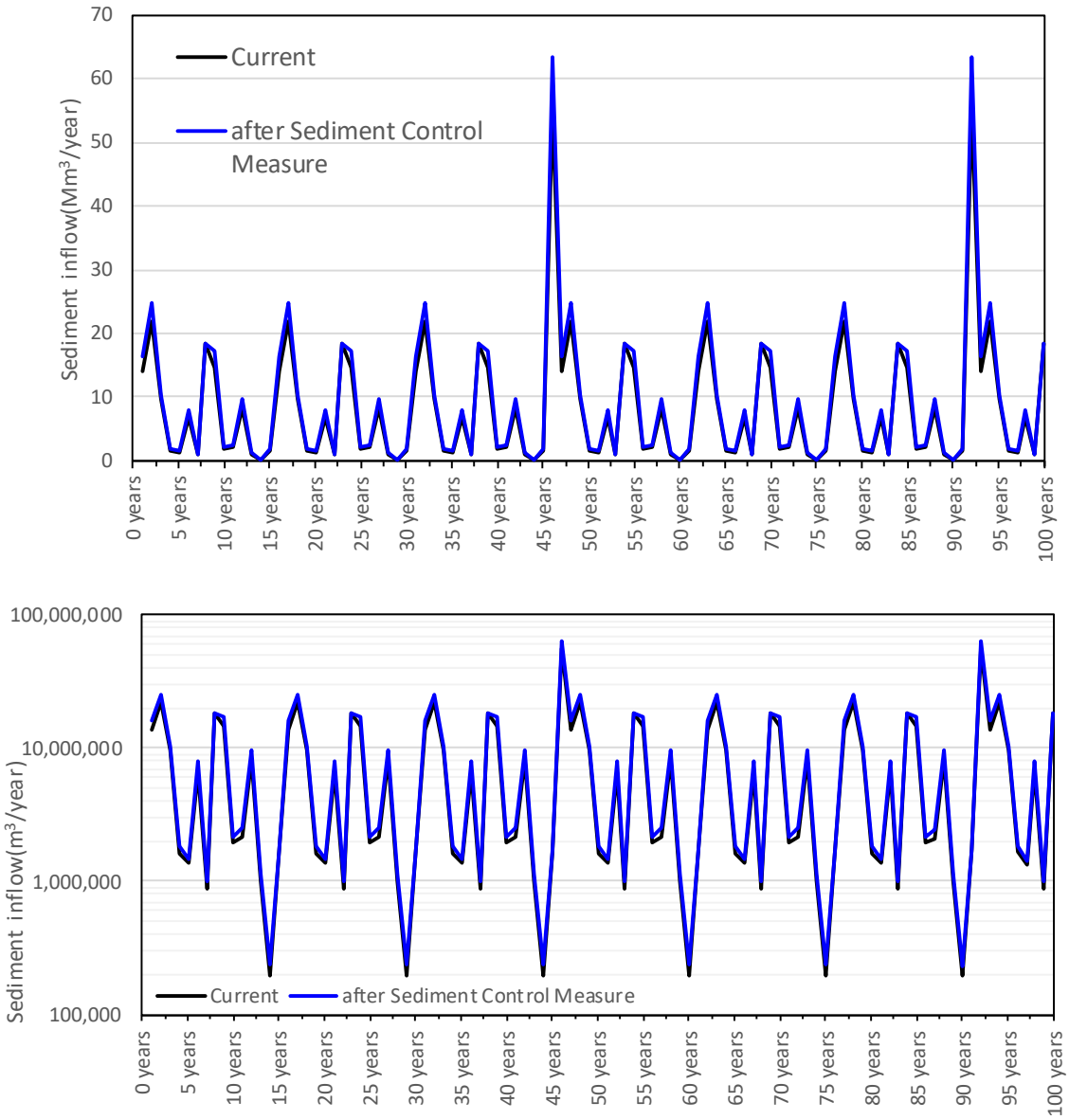


Figure 13-29 Conditions pour l'apport de sédiments de l'oued Medjerda pour les 100 prochaines années (En haut: axe réel, en bas: axe logarithmique)

Tableau 13-5 Conditions de l'analyse de sensibilité

Element	Description	Remarques
Méthodologie de calcul	Débit d'eau : Calcul de débit variable Mouvement des sédiments : Analyse unidimensionnelle des variations du lit de l'oued	
Période de calcul	Hydrogrammes répétés de 2004-2018 (pour 100 ans) (l'hydrogramme de 2003 est inséré deux fois)	
Surface	Oued Medjerda : Estuaire- Barrage Sidi Salem (0.0k-148.54k)	
Données initiales sur le lit de l'oued	Zone D1 (148,5k - 67,3k) : Levé topographique 2020 Zone D2 (65.0k - 0.0k) : Sections transversales proposées	La section transversale interpolée est utilisée dans la

Element	Description	Remarques
		section du barrage de Larrousia
Distribution granulométrique	Zone D1 : La granulométrie moyenne de D1-1 à D1-3 est appliquée pour toute la section Zone D2 : La granulométrie moyenne de D2-3 à D2-6 est appliquée pour toute la section	
Classification granulométrique	10 catégories : argile (0.0005 mm) - gravier (10 mm)	
Conditions de debit d'entrée	<Débit> -En amont, le débit du barrage de Sidi Salem est appliqué. En tant qu'apport des affluents, l'oued Siliana et les bassins résiduels des Zones D1 et D2 sont pris en compte. -Le débit de l'oued Siliana a été indiqué comme le débit du barrage de Siliana plus le débit de la zone résiduelle en aval. Le débit a été calculé au prorata de la superficie du bassin résiduel en fonction du débit entrant dans le barrage de Siliana. <Volume de sédiments entrants> -Le volume de sédiments entrants du barrage de Sidi Salem utilise le résultat de la simulation de sédimentation unidimensionnelle du barrage. (6,0 Mm^3/an) - La quantité d'apport de sédiments de chaque affluent a été basée sur le calcul du bilan sédimentaire. - La distribution de la taille des grains est supposée en référence aux résultats de l'étude des matériaux du lit de l'oued comme suit. Oued Siliana : 2.1 Mm^3/an Oued Lahmar : 0,5 Mm^3/an Oued Chafrou : 0.5 Mm^3/an	Utilisation des données quotidiennes Voir Figure 13-22
Conditions des contre-mesures	-Comme conditions pour les sédiments entrants, le volume de sédiments déversés après les mesures de contrôle de la sédimentation au barrage de Sidi Salem est supposé augmenter de +1.0 Mm^3/an. -La composition des sédiments rejetés est supposée être de l'argile et du limon.	
Niveau d'eau de l'extrémité aval	-Le niveau d'eau opérationnel du barrage de Larrousia est appliqué. (La profondeur normale est appliquée lorsque les vannes sont complètement ouvertes) -Le niveau de marée de l'estuaire est appliqué à 0,0m EL.	
Porosité	0,4	
Coefficient de rugosité	0,03 (tout au long du canal de l'oued)	
Autre	Aucune érosion n'est prise en compte à travers le lit de l'oued.	

(2) Résultat de l'analyse

1) Variation séculaire du volume de la variation du lit de l'oued

La Figure 9-150 illustre la comparaison des résultats du calcul du volume de sédiments du lit de l'oued Medjerda pour les 100 prochaines années.

- L'augmentation des sédiments déversés par le barrage de Sidi Salem n'affecte pas de manière significative la variation du lit de l'oued.
- Après 70 ans, la sédimentation de l'ensemble du lit de l'oued a tendance à augmenter légèrement.

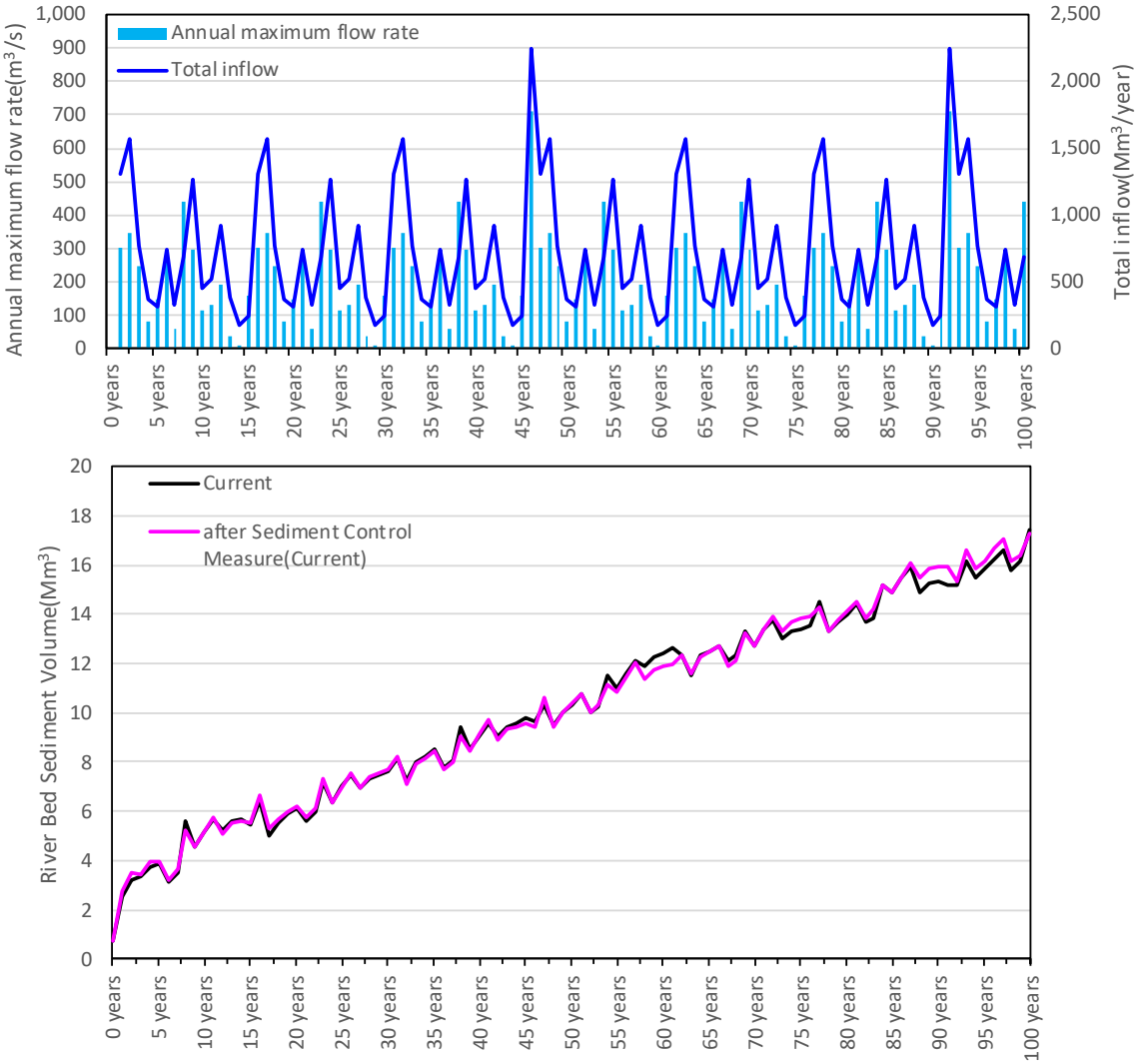
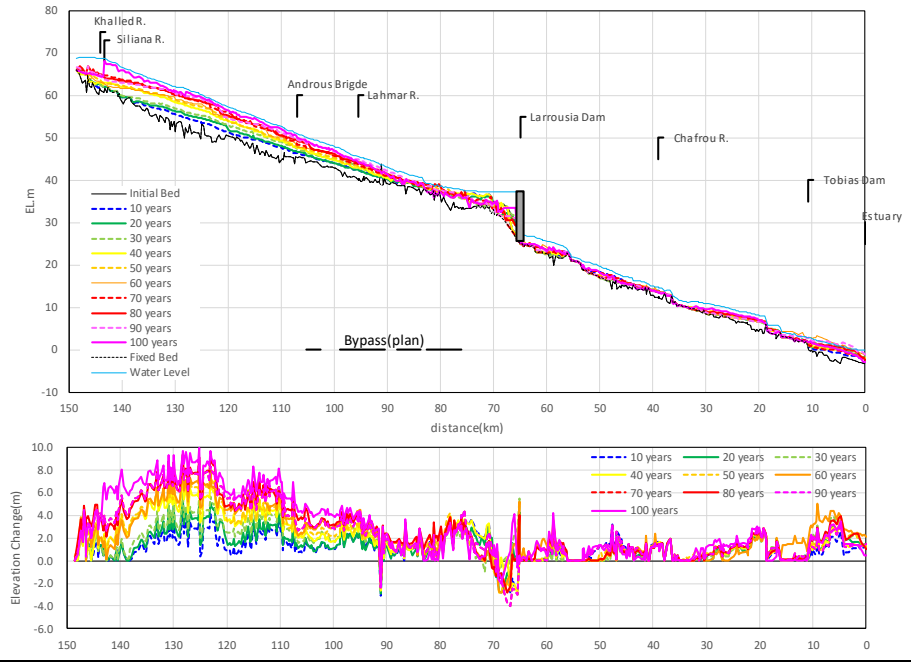
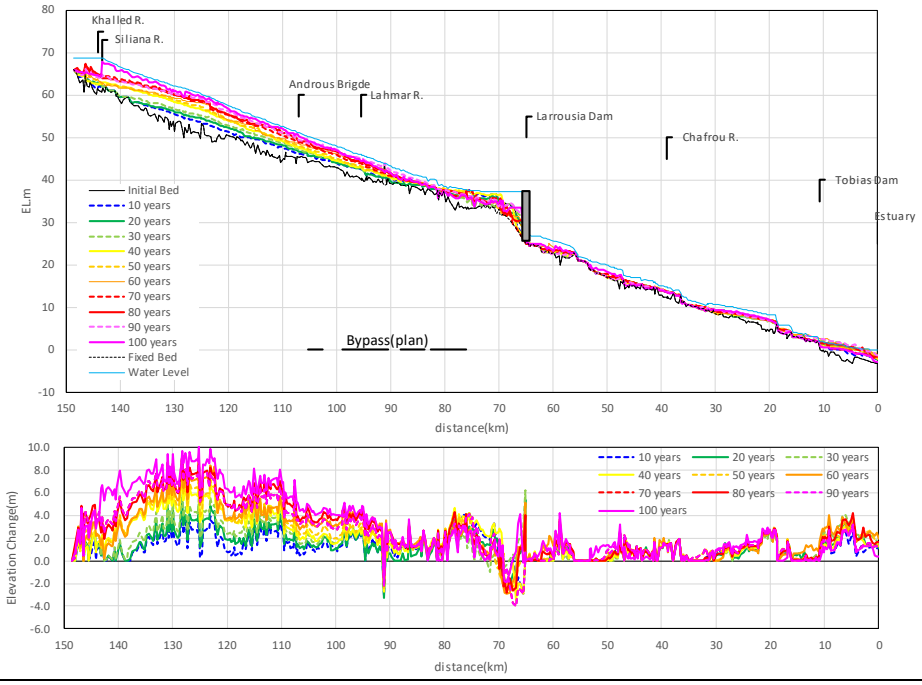


Figure 13-30 Comparaison du volume de sédiments du lit de l'oued pour les 100 prochaines années dans l'oued Medjerda

2) Variation séculaire du lit de l'oued

Le Tableau 13-6 illustre la variation séculaire du lit de l'oued tous les 10 ans. Il n'y a pas de changement significatif du lit de l'oued en raison des mesures de contrôle de la sédimentation au barrage de Sidi Salem.

Tableau 13-6 Variation séculaire du lit de l'oued

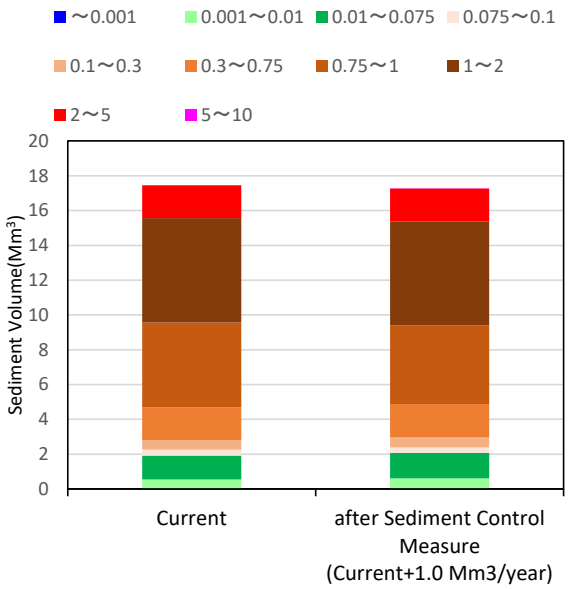
volume de sédiments (Mm^3/an)	Variation du lit de l'oued (par 10 ans)
Volume actuel de sédiments libérés par le barrage de Sidi Salem	
Actuel+1.0	

Source: Equipe d'Etude de la JICA

3) Distribution de la granulométrie

La comparaison du volume de sédiments par granulométrie est présentée dans la Figure 13-31. Le résultat de l'analyse de sensibilité du volume de sédiments par granulométrie est présenté dans le Tableau 13-7. Le résultat de l'analyse de sensibilité de la distribution granulométrique du lit de l'oued est présenté dans Le Tableau 13-8.

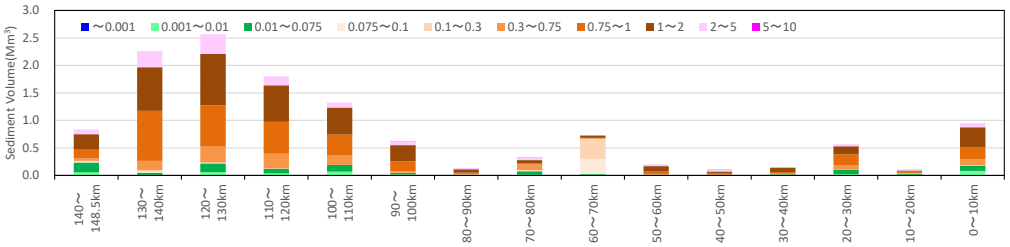
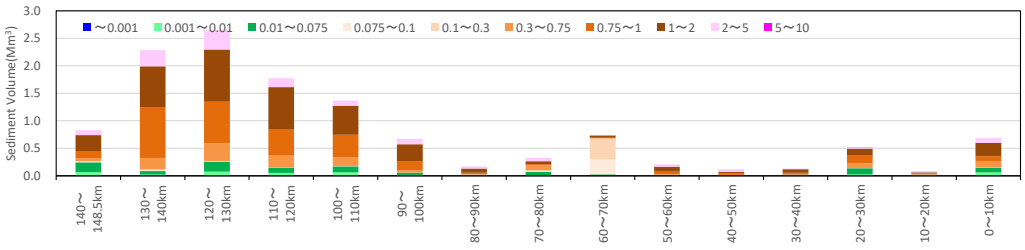
Il n'y a presque aucun changement dans le matériau du lit de l'oued en raison de l'augmentation de la quantité de sédiments déversés par le barrage de Sidi Salem.



Source: Equipe d'Etude de la JICA

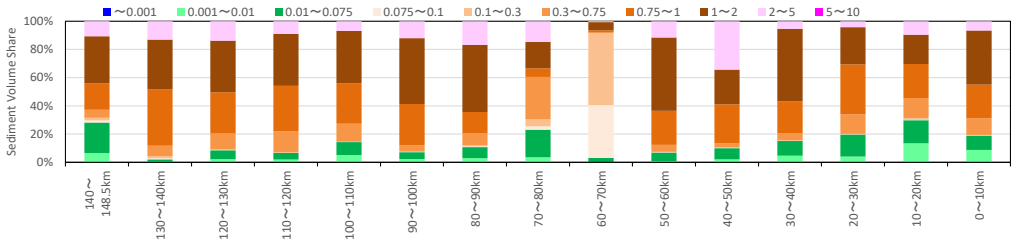
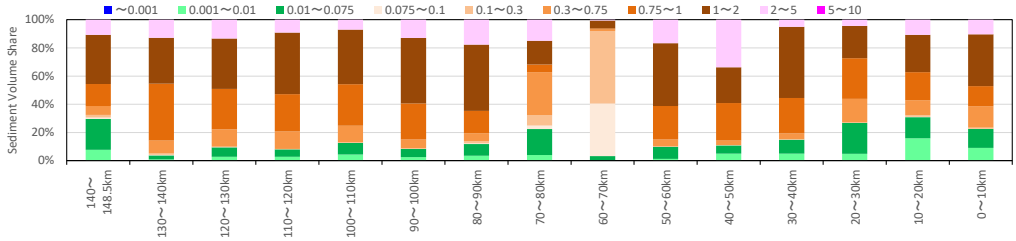
Figure 13-31 Comparaison du volume de sédiments par granulométrie pour les 100 prochaines années dans l'oued Medjerda (Zones D1 et D2)

Tableau 13-7 Résultat de l'analyse de sensibilité du volume de sédiments par granulométrie

Volume de sédiments (Mm^3/an)	Volume de sédiments par granulométrie (100 ans après)
Volume actuel de sédiments évacués par le barrage de Sidi Salem	
Actuel +1.0	

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Tableau 13-8 Résultat de l'analyse de sensibilité de la distribution granulométrique du lit de l'oued

Volume de sédiments (Mm^3/an)	Distribution granulométrique (100 ans après)
Volume actuel de sédiments évacués par le barrage de Sidi Salem	
Actuel +1.0	

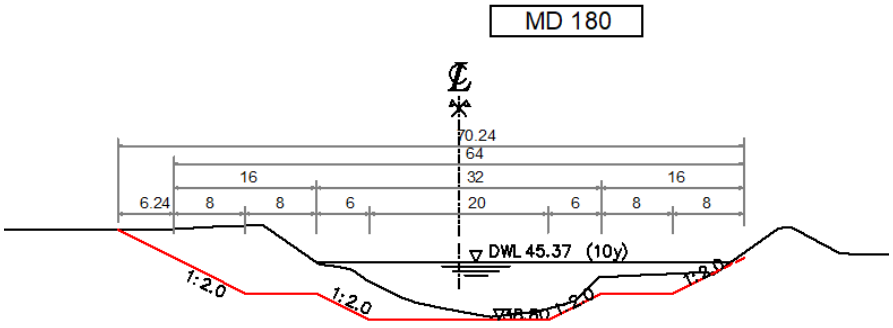
Source: Equipe d'Etude de la JICA

13.4.2 Analyse de l'impact de l'aménagement de l'oued

(1) Condition de calcul

Afin de clarifier l'impact possible de l'aménagement de l'oued prévue dans la zone D1, des calculs de variation du lit de l'oued avec différentes conditions topographiques ont été effectués. La section transversale standard de l'oued Medjerda au moment de l'aménagement de l'oued est présentée sur la Figure 13-32.

Dans cette étude, les effets et les impacts ont été analysés pour deux cas, l'un pour l'aménagement de l'oued uniquement et l'autre pour l'aménagement de l'oued et le raccourci. Les conditions de calcul pour l'analyse d'impact de l'aménagement de l'oued sont résumées dans le Tableau 13-9.



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 13-32 Coupe transversale type de l'oued Medjerda au moment de l'aménagement de l'oued

Tableau 13-9 Conditions de calcul pour l'analyse d'impact de l'aménagement de l'oued

Elément	Détails	Remarques
Méthodologie de calcul	Débit d'eau : Calcul de débit variable Mouvement des sédiments : Analyse unidimensionnelle de la variation du lit de l'oued	
Période de calcul	Hydrogrammes répétés de 2004-2018 (pour 100 ans) (l'hydrogramme de 2003 est inséré deux fois)	
Zone	Oued Medjerda : Estuaire- Barrage Sidi Salem (0.0k-148.54k)	
Lit de l'oued Initial	Section D1 (148.5k - 67.3k) : levé topographique 2020 Comparaison dans les 3 cas suivants; ・ Section transversale actuelle (identique aux prévisions futures) ・ Aménagement de l'oued ・ Amélioration de l'oued + raccourci Section D2 (65.0k - 0.0k) : Sections transversales proposées	La section transversale interpolée est utilisée dans la section du barrage de Larrousia
Distribution granulométrique	Section D1 : La granulométrie moyenne de D1-1 à D1-3 est appliquée pour toute la section Section D2 : La granulométrie moyenne de D2-3 à D2-6 est appliquée pour toute la section	
Classification granulométrique	10 catégories : argile (0.0005 mm) - gravier (10 mm)	
Conditions de débit	<Débit> -En amont, le débit du barrage de Sidi Salem est appliqué. En tant qu'apports des affluents, l'oued Siliana et les bassins résiduels des zones D1 et D2 sont pris en compte. -Le débit de l'oued Siliana est introduit par le débit du barrage de Siliana plus le débit de la zone résiduelle en aval. Il est calculé au prorata de la superficie du bassin résiduel sur la base du débit entrant dans le barrage de Siliana. <Volume de sédiments entrants> -Le volume de sédiments entrants du barrage de Sidi Salem utilise le résultat de la simulation de sédimentation unidimensionnelle du barrage. (5,0 Mm^3/an) - La quantité d'apport de sédiments de chaque affluent a été basée sur le calcul du bilan sédimentaire. -La distribution granulométrique est supposée en référence aux résultats de l'étude des matériaux du lit de l'oued comme ci-dessous. Oued Siliana : 2,1 Mm^3/an Oued Lahmar : 0,5 Mm^3/an Oued Chafrou : 0,5 Mm^3/an	Utilisation des données quotidiennes Voir Figure 13-22
Conditions de contre-mesure	-En tant que conditions pour les sédiments entrants, le volume de sédiments évacués après les mesures de contrôle de la sédimentation au barrage de Sidi Salem est supposé augmenter de +1,0 Mm^3/an. -L'argile et le limon sont supposés représenter la composition des sédiments évacués.	
Niveau d'eau de l'extrémité aval	-Le niveau d'eau de fonctionnement du barrage de Larrousia est appliqué. (La profondeur normale est appliquée lorsque les vannes sont complètement ouvertes) -Le niveau de marée de l'estuaire est appliqué à 0,0m EL.	
Porosité	0,4	
Coefficient de	0,03 (tout au long du canal de l'oued)	

Elément	Détails	Remarques
rugosité		
Autres	Aucune érosion n'est prise en compte à travers le lit de l'oued.	

Source: Equipe d'Etude de la JICA

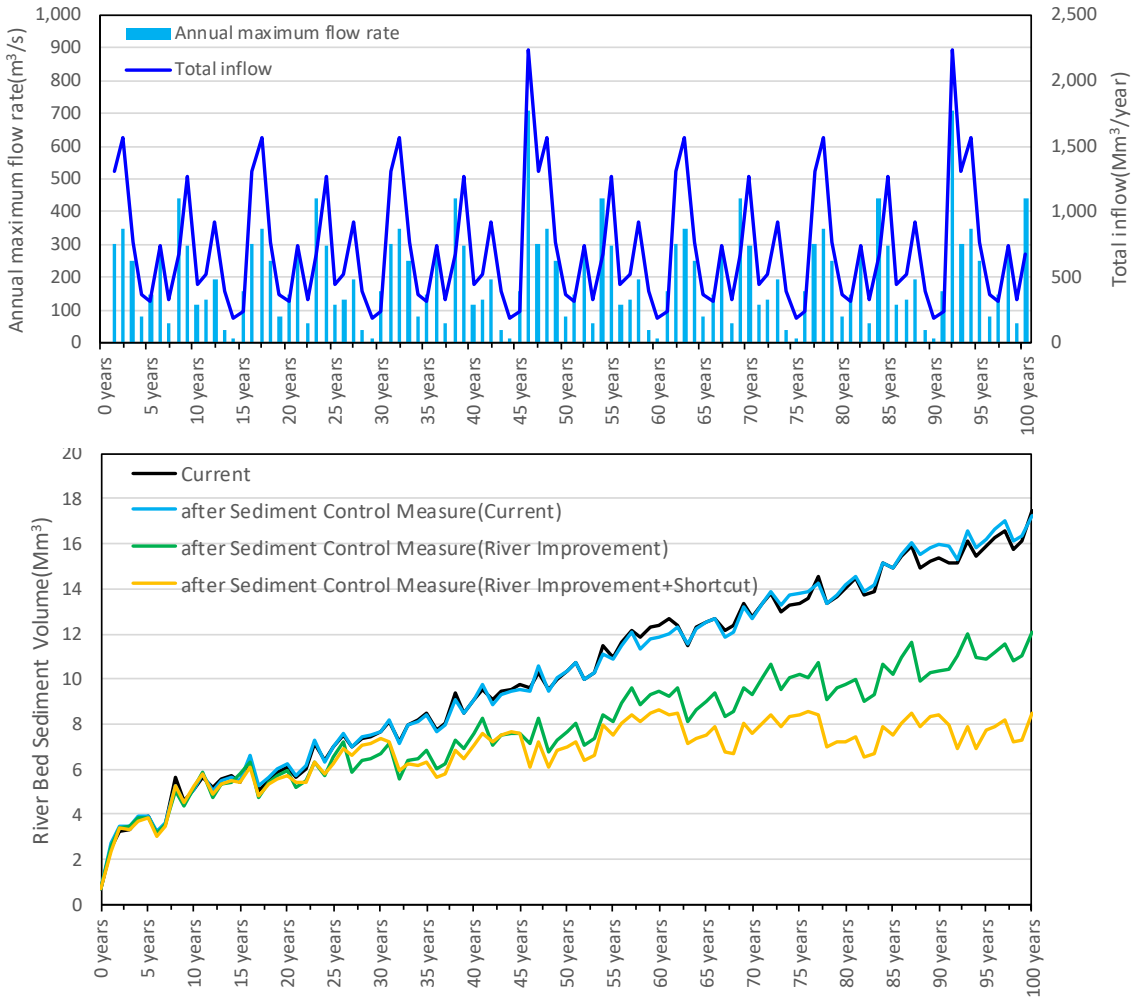
(2) Résultats de l'analyse

1) Volume sédimentaire du lit de l'oued

La Figure 13-33 illustre la variation séculaire du volume sédimentaire du lit de l'oued dans les sections D1/D2. La Figure 13-34 montre le changement décennal du volume sédimentaire dans chaque section. Le changement décennal de la hauteur du lit de l'oued dans les trois cas de topographie du canal de l'oued est présenté dans le Tableau 13-10 et le Tableau 13-11, respectivement.

Les changements du volume de sédiments dans le canal de l'oued dus aux changements de la topographie du canal de l'oued sont décrits ci-dessous.

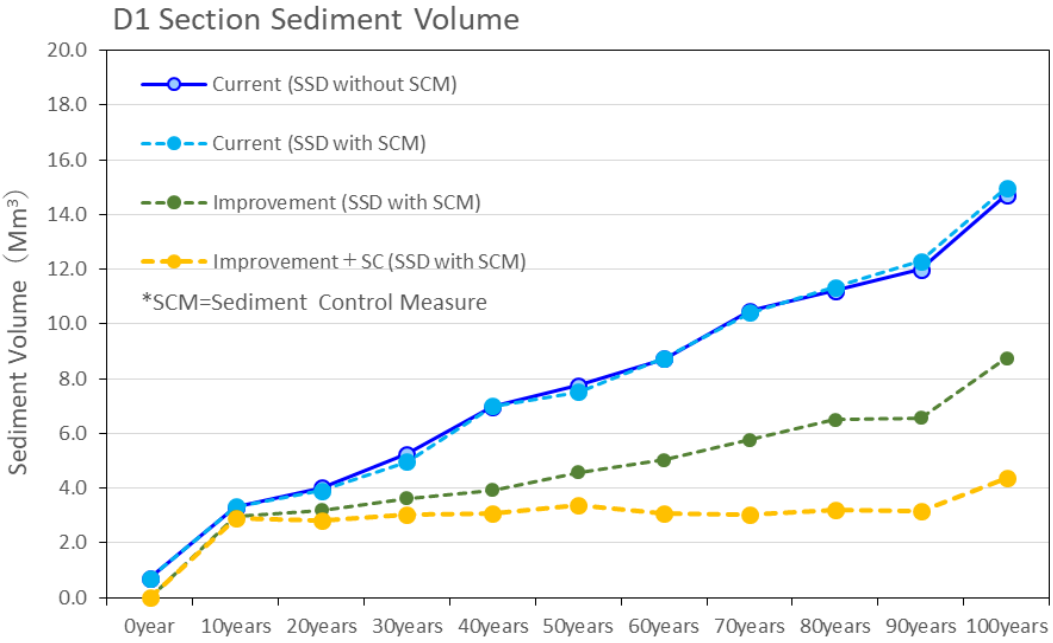
- Dans le cas d'un aménagement de l'oued, le volume de sédiments tend à diminuer dans tout le canal de l'oued [Section D1 et Section D2].
- Dans le cas de raccourcis, le volume de sédiments tend à s'équilibrer après 50 ans.

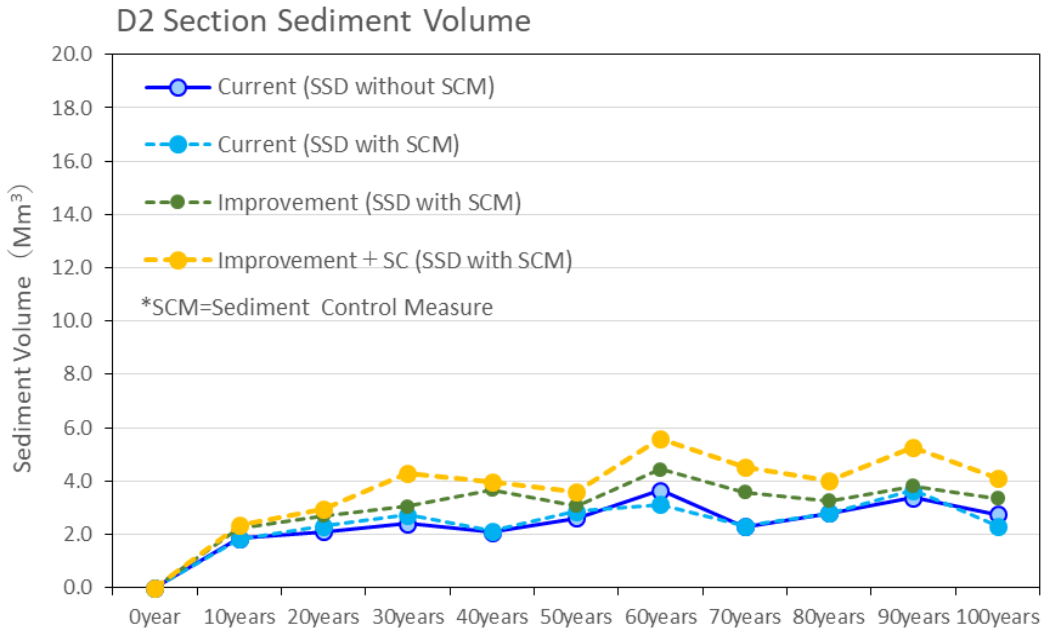


Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 13-33 Variation séculaire du volume de sédiments du lit de l'oued (zones D1+D2)

- [Zone D1] Le volume de sédiments a tendance à augmenter avec le temps à n'importe quel endroit du canal de l'oued. L'aménagement de l'oued ou l'aménagement de l'oued + raccourci réduira le volume.
- [Zone D2] Le volume de sédiments augmente parce que le débit de sédiments augmente en raison de l'aménagement de l'oued dans la zone D1.

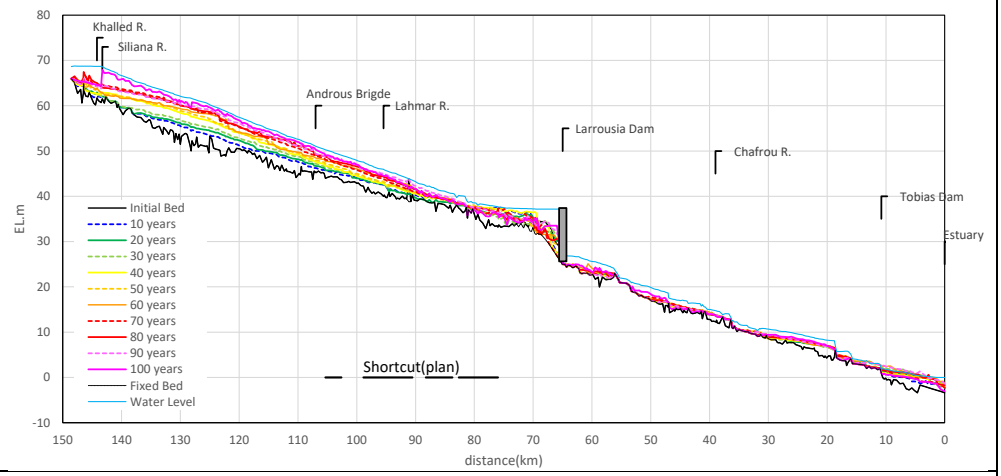
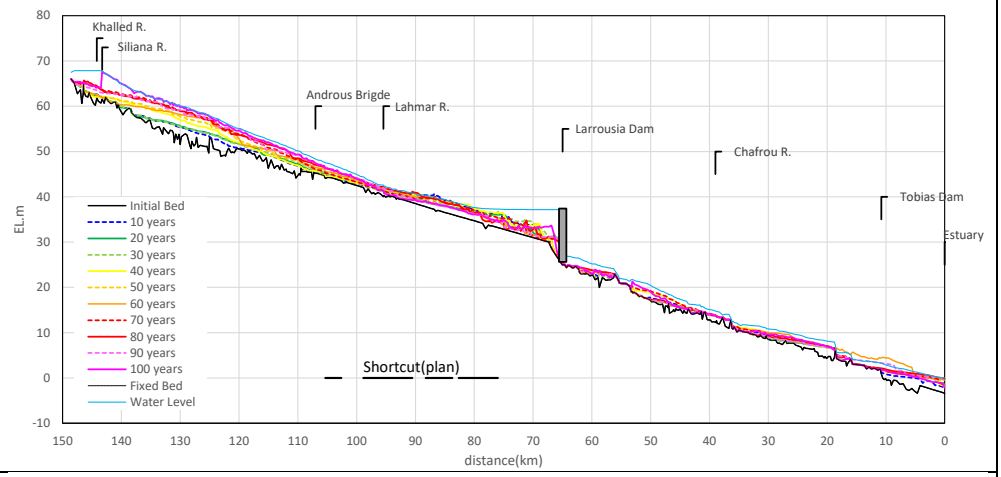
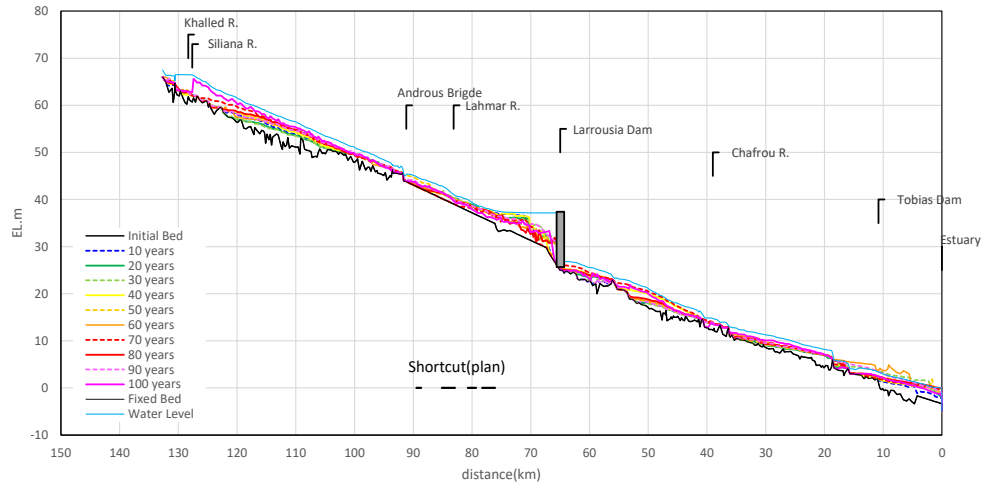




Source: Equipe d'Etude de la JICA

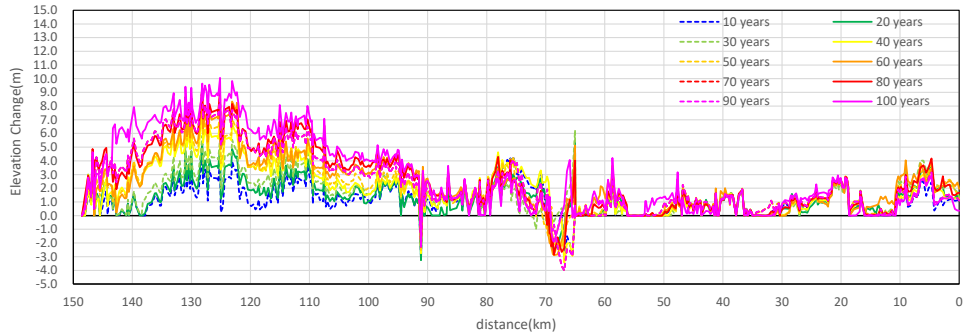
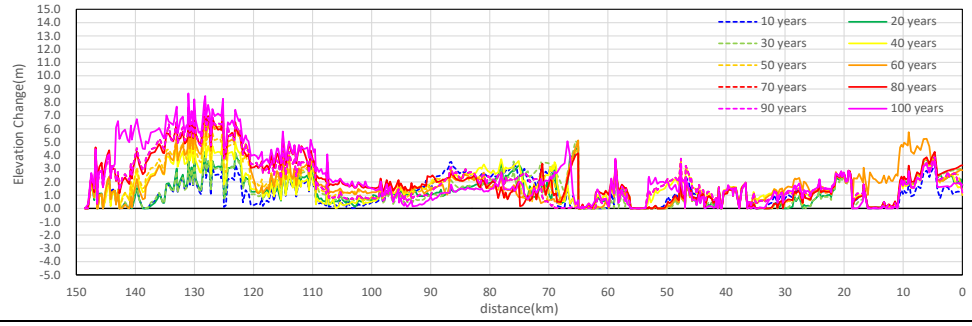
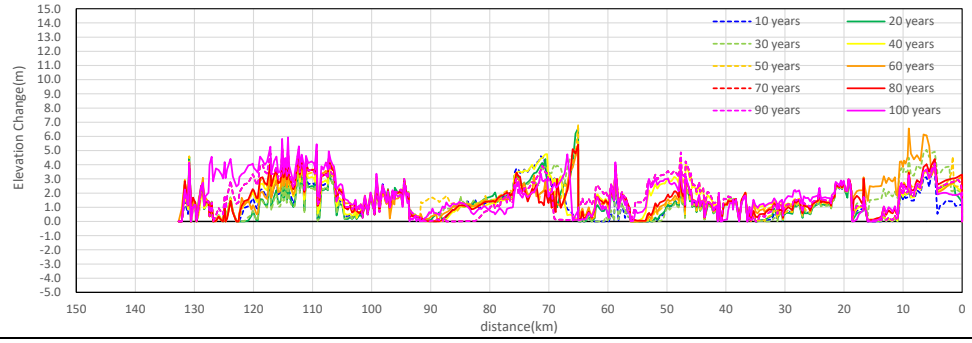
Figure 13-34 Variation séculaire du volume de sédiments dans le canal de l'oued (tous les 10 ans par section)

Tableau 13-10 Evolution décennale de la hauteur du lit de l'oued (section D1)

Topographie	Evolution de la hauteur du lit de l'oued (tous les 10 ans)
Actuel	
Aménagement de loued	
Aménagement de l'oued + Raccourci	

Source: Equipe d'Etude de la JICA

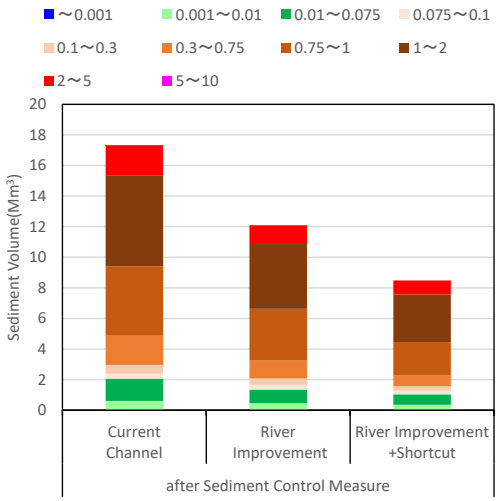
Tableau 13-11 Evolution décennale de la hauteur du lit de l'oued (section D2)

Topographie	Evolution de la hauteur du lit de l'oued (tous les 10 ans)
Actuel	
Aménagement de l'oued	
Aménagement de l'oued + raccourci	

Source: Equipe d'Etude de la JICA

2) Matériaux du lit de l'oued

La Figure 13-35 présente les changements des matériaux du lit de l'oued dans chaque topographie de canal de l'oued obtenue à partir des résultats des analyses. La distribution granulométrique des sédiments dans chaque topographie de canal après 100 ans est principalement constituée de sable, il n'y a donc pas eu de changement significatif dans chaque topographie de canal.



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 13-35 Comparaison du volume de sédiments par taille de grain dans trois cas de topographies du canal de l'oued (après 100 ans)

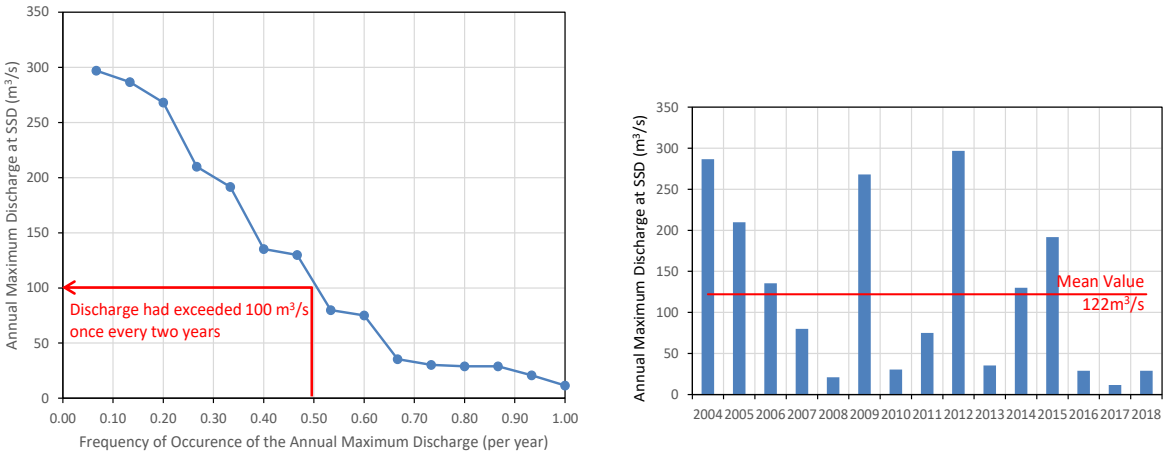
13.4.3 Étude sur l'effet de l'évacuation des sédiments au barrage de Larrousia

Il est prévu que les mesures de sédimentation du barrage de Sidi Salem auront peu d'influence sur la hauteur du lit de l'oued du côté aval du barrage. D'autre part, l'évacuation de sédiments de l'oued Siliana peut provoquer une sédimentation directement en amont de la retenue du barrage de Larrousia.

Par conséquent, l'efficacité de l'opération d'évacuation des sédiments (abaissement du niveau de stockage de l'eau) comme mesure contre la sédimentation dans le barrage de Larrousia a été examinée. Plus précisément, le changement de la sédimentation dans le canal de l'oued en aval a été analysé en effectuant une analyse de sensibilité en supposant que l'opération d'évacuation est effectuée lorsqu'une certaine échelle d'inondation se produit.

(1) Condition de calcul

Sur la base de la fréquence d'occurrence du débit maximal annuel au barrage de Sidi Salem (illustré à la Figure 13-36), le débit maximal annuel moyen de 2004 à 2018 est d'environ 120 m^3/s. Par conséquent, étant donné que le débit maximal annuel a dépassé 100 m^3/s environ une fois tous les deux ans au cours de la période susmentionnée, l'analyse a été réalisée en supposant que l'évacuation serait effectué lorsque le débit du barrage de Sidi Salem est égal ou supérieur à 100 m^3/s.



Source: Equipe d'Etude de la JICA

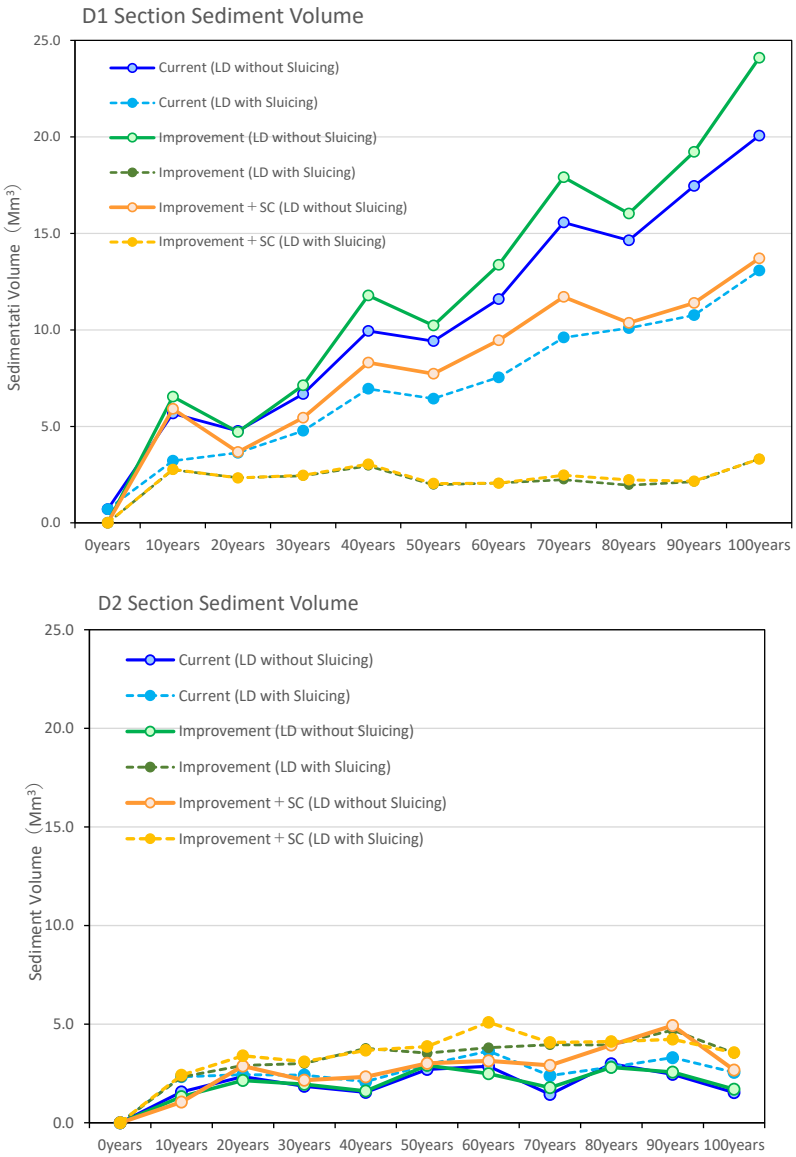
Figure 13-36 Fréquence d'occurrence du débit maximal annuel au barrage de Sidi Salem

(2) Résultats de l'analyse

1) Volume sédimentaire du lit de l'oued

La Figure 13-37 illustre la variation séculaire du volume sédimentaire accumulé dans chaque section en fonction de l'évacuation sédimentaire au barrage de Larrousia. Les résultats sont décrits ci-dessous.

- [Zone D1] Avec le cas de l'évacuation des sédiments, le lit de l'oued a eu tendance à s'élever. Une tendance similaire a été remarquée dans toutes les conditions du canal de l'oued.
- [Zone D1] Sans le cas de l'évacuation des sédiments, l'élévation du lit de l'oued a été réduite. Dans le cas de l'aménagement de l'oued ou de l'aménagement de l'oued plus le raccourci, le volume de sédiments accumulés avait tendance à être stable.
- [Zone D2] Avec le cas de l'évacuation des sédiments, le volume des sédiments a tendance à augmenter.



Source: Equipe d'Etude de la JICA

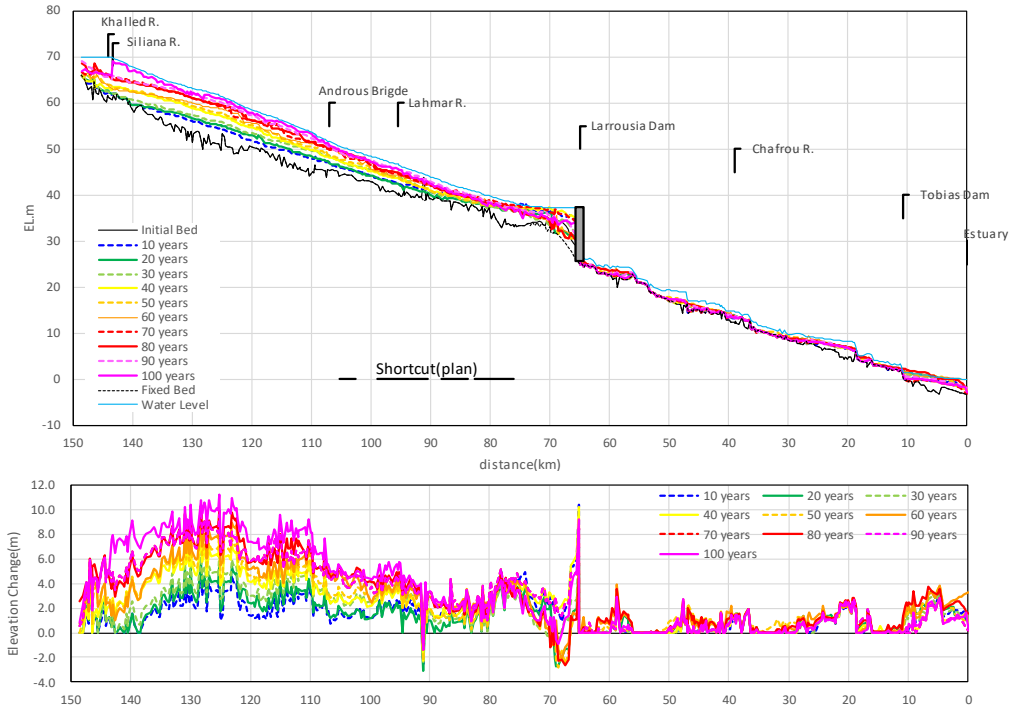
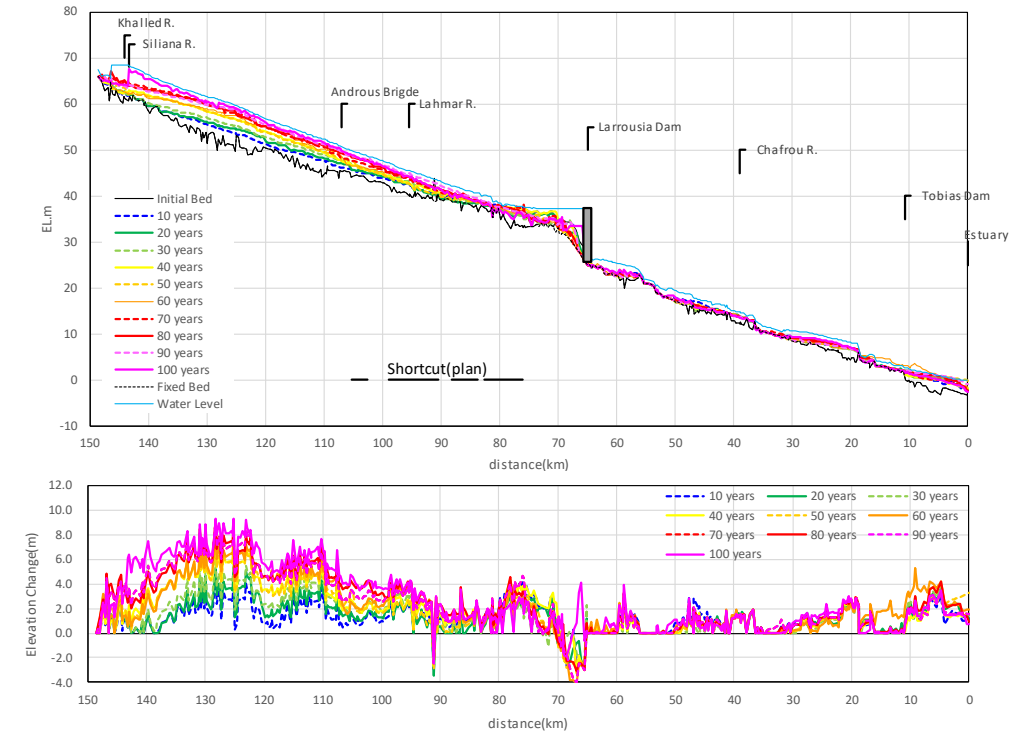
Figure 13-37 Variation séculaire du volume de sédiments avec l'évacuation des sédiments

2) Variation séculaire du lit de l'oued

Le Tableau 13-12 présente la variation séculaire de la hauteur du lit de l'oued en fonction de la conduite de l'évacuation des sédiments dans les trois cas de topographie du canal de l'oued.

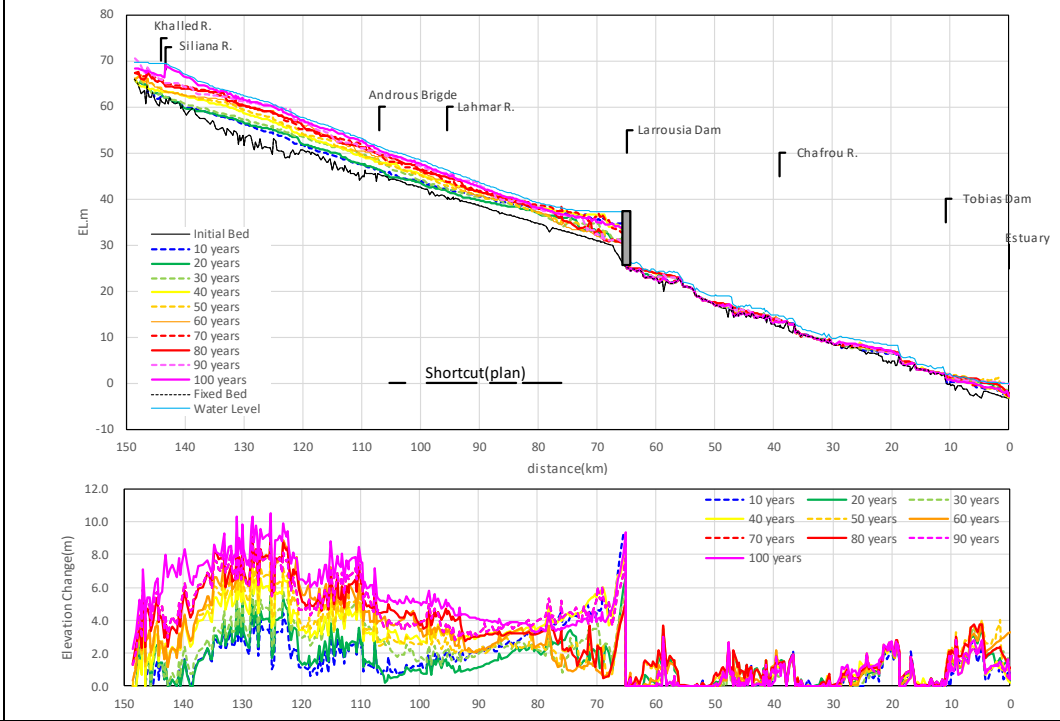
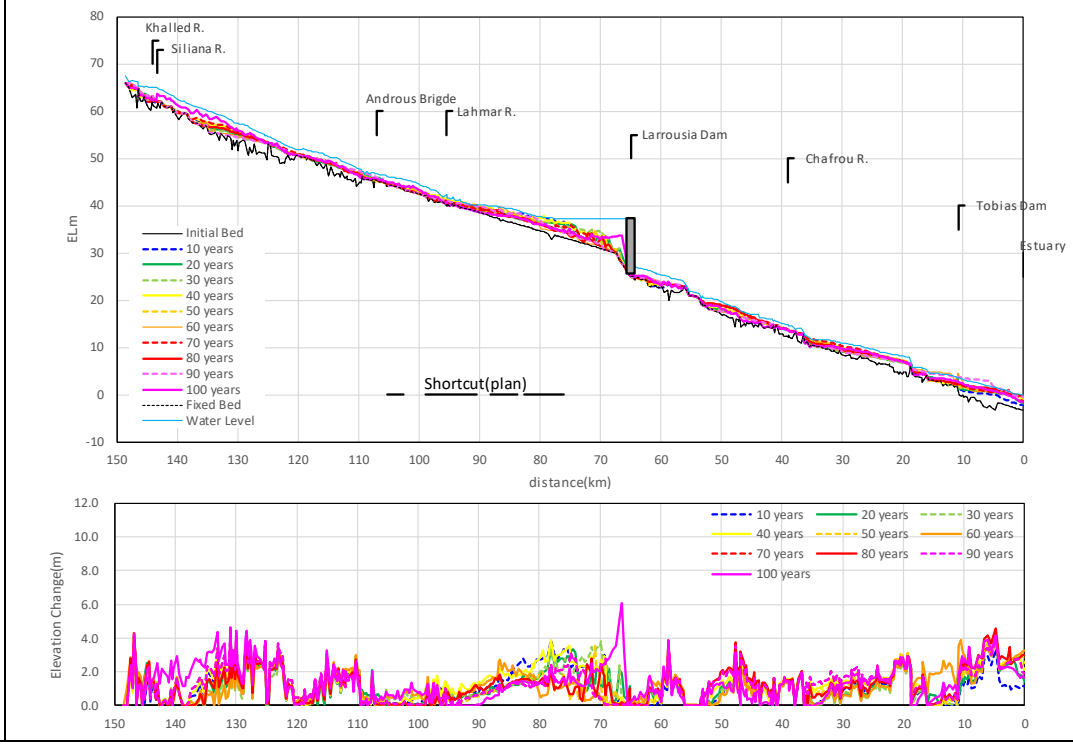
- [Zone D1]. Dans le cas du canal actuel de l'oued, l'élévation du lit de l'oued a diminué d'environ 1,0-2,0 m grâce à l'érosion sédimentaire, et aucun changement significatif n'a été observé dans l'ensemble.
- [Zone D1] Dans le cas d'un aménagement de l'oued ou d'un aménagement de l'oued plus un raccourci, l'élévation du lit de l'oued a été réduite par l'érosion des sédiments. En particulier, l'élévation a été réduite en amont du barrage-retenue de Larrousia et du pont Andalou.
- [Zone D2] Dans le cas du canal actuel de l'oued, l'élévation du lit de l'oued a diminué d'environ 1,0-2,0 m avec l'évacuation des sédiments, et aucun changement significatif n'a été observé dans l'ensemble.
- [Zone D2] Dans le cas d'un aménagement de l'oued ou d'un aménagement de l'oued plus un raccourci, la hauteur du lit de l'oued a eu tendance à augmenter légèrement dans l'ensemble du canal de l'oued en raison de l'érosion des sédiments. En particulier, le lit de l'oued a eu tendance à s'élever près de l'estuaire.
- [Zone D2] La raison de l'augmentation de la sédimentation près de l'estuaire est considérée comme étant le fait que les sédiments des oueds affluents (par exemple, Oued Siliana) se sont écoulés dans le canal fluvial et se sont déposés dans l'estuaire en raison de l'augmentation des vitesses de crue dans la zone D1 causée par la réhabilitation de l'oued, le raccourcissement et le déversement des sédiments. Comme le montrent les Tableau 13-13 et Tableau 13-14, il n'y a pas d'impact particulier sur l'estuaire dû aux mesures de contrôle de la sédimentation du barrage de Sidi Salem par rapport aux résultats prévus dans le cas de "Aucune mesure". L'une des raisons de la sédimentation dans l'estuaire est que les sédiments provenant des affluents ont une forte teneur en sable et que leur granulométrie est plus élevée que celle des sédiments rejetés par le barrage de Sidi Salem.

Tableau 13-12 Evolution de la hauteur du lit de l'oued en fonction de la conduite de l'évacuation des sédiments

Evacuation des sédiments	Canal actuel de l'oued
Sans évacuation	
Avec évacuation	

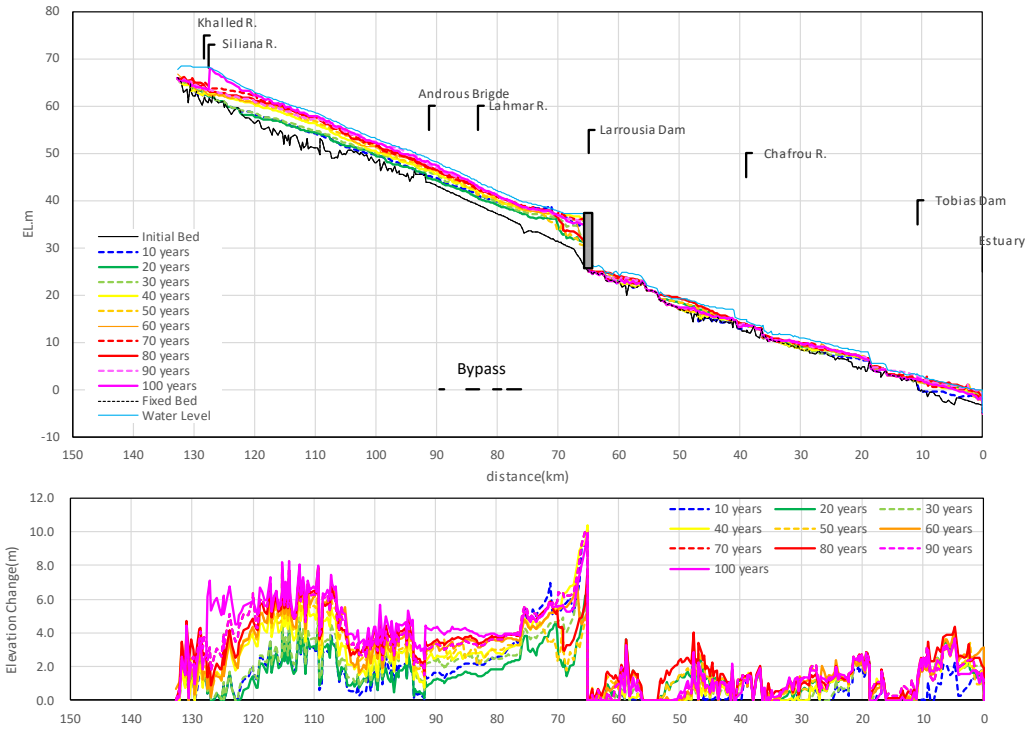
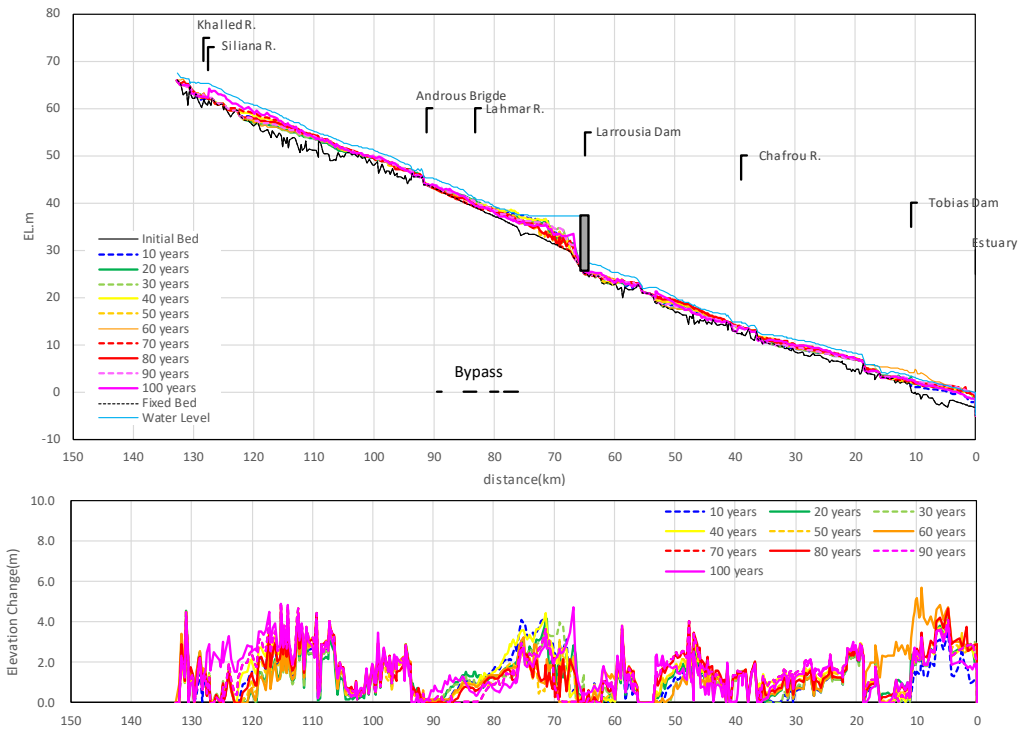
Source: Equipe d'Etude de la JICA

Tableau 13-13 Evolution de la hauteur du lit de l'oued en fonction de la conduite de l'évacuation des sédiments

Evacuation des sédiments	Aménagement de loued
Sans évacuation	
Avec évacuation	

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Tableau 13-14 Evolution de la hauteur du lit de l'oued en fonction de la conduite de l'évacuation des sédiments

Evacuation des sédiments	Aménagement de l'oued + raccourcis
Sans évacuation	
Avec évacuation	

Source: Equipe d'Etude de la JICA

13.4.4 Impacts et contremesures relatifs au réaménagement du canal et aux mesures de lutte contre la sédimentation

Les impacts des mesures d'aménagement du lit de l'oued et de lutte contre la sédimentation dans les Zones D1/D2 sont résumés dans le Tableau 13-15. Les contre-mesures contre les impacts sont également expliquées dans le tableau.

Tableau 13-15 Impacts de la future variation du lit de l'oued dans la Zone D1/D2 et contre-mesures proposées

Zone	Variation du lit de l'oued	Impact attendu	Contre-mesures potentiels
D1	Montée du lit de l'oued*1	Diminution de la capacité de débit due à la réduction de la section transversale de l'oued.	- Excavation de l'oued -Aménagement de l'oued (amélioration de la capacité d'écoulement des sédiments en éliminant le goulot d'étranglement).
	-Augmentation des rejets sédimentaires, de limon et d'argile (concentration de sédiments) -Augmentation de la sédimentation, des limons et argiles*2	Croissance des arbres et diminution de la capacité de débit	-Abattage périodique des arbres - Mise en place de bassins de retenue des sédiments
		Détérioration des installations de prise d'eau	-Excavation autour des installations de prise d'eau - Augmentation des fonctions des structures de décantation.
Barrage de Larrousia	Augmentation de la sédimentation dans la retenue du barrage*1	-Diminution de la capacité de la retenue -Diminution de la capacité d'écoulement en amont de la retenue due à la sédimentation	Réduction de sédimentation dans la retenue par vannes murales
D2	Augmentation de la sédimentation dans le canal de l'oued et à l'estuaire*1	Diminution de la capacité d'écoulement due à la diminution des sections du canal	Excavation de l'oued
	-Augmentation des rejets sédimentaires, de limon et d'argile (concentration de MES) -Augmentation de la sédimentation, des limons et argiles*2	Croissance des arbres et diminution de la capacité de débit	-Abattage périodique des arbres - Mise en place de bassins de retenue des sédiments
		Détérioration des installations de prise d'eau	Excavation autour des installations de prise d'eau

Source: Equipe d'Etude de la JICA

*1 : L'apport de sédiments de l'oued Siliana est considéré comme le principal facteur de sédimentation des lits de l'oued dans la section D1/D2.

*2 : On prévoit que le débit de sédiments augmentera en raison des mesures de contrôle des sédiments au barrage de Sidi Salem.

13.4.5 Résumé de l'analyse de la variation du lit de l'oued

Les résultats de l'analyse de la variation du lit de l'oued obtenus dans cette étude sont résumés ci-dessous.

- La plupart des sédiments entrants dans l'oued Medjerda (sections D1 et D2) sont supposés être de l'argile et du limon provenant du barrage de Sidi Salem, de l'oued Lahmar et de l'oued Chafrou, plus du sable provenant de l'oued Siliana. Parmi eux, une partie du limon et du sable est considérée comme contribuant à l'élévation du lit de l'oued.

- L'augmentation de la décharge de sédiments due aux contre-mesures du barrage de Sidi Salem a peu d'influence sur la hauteur et les matériaux du lit de l'oued. La plupart des sédiments déversés sont de l'argile, ce qui augmente la concentration en sédiments et peut affecter la prise d'eau des pompes agricoles en aval.
- Les mesures à prendre actuellement pour le contrôle des sédiments sont les suivantes :

  > Excavation du canal

  > Augmentation des fonctions des ouvrages de prise d'eau (ex: excavation autour des ouvrages)

  > Réduction de la sédimentation dans la retenue par vannes