République Tunisienne
Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche

République Tunisienne
Etude Préparatoire du Projet de Gestion Integrée de la Sédimentation du Barrage Polyvalent de Sidi Salem

Rapport Final

Volume I

Octobre 2023

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

YACHIYO ENGINEERING CO., LTD
NIPPON KOEI CO., LTD
JAPAN WATER AGENCY

7R
JR（P）
23-021

République Tunisienne
Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche

République Tunisienne
Etude Préparatoire du Projet de Gestion Integrée de la Sédimentation du Barrage Polyvalent de Sidi Salem

Rapport Final

Sommaire

Octobre 2023

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

(JICA)

YACHIYO ENGINEERING CO., LTD
NIPPON KOEI CO., LTD
JAPAN WATER AGENCY

1 Apercu de l'etude preparatoire

Le barrage de Sidi Salem, le plus grand barrage polyvalent de Tunisie, connaît depuis un moment un problème de sédimentation dans la retenue. Sur la base des projections futures de l'afflux de sédiments en amont de la retenue, il est à craindre que si une inondation de taille moyenne se produit dans les 10 prochaines années, la capacité utile de l'eau sera insuffisante au présent et à l'avenir. Dans ce contexte, l'"Assistance spéciale pour la mise en œuvre du projet de contrôle des inondations de la Mejerda" ("SAPI") a été menée par l'Agence japonaise de coopération internationale ("JICA") de 2017 à 2018. Avant le SAPI, il n'y a pas eu de proposition de contre-mesures de contrôle des sédiments pour la section de la retenue du barrage de Sidi Salem; les contre-mesures de contrôle des sédiments du barrage de Sidi Salem proposées dans le SAPI devraient tenir compte du fait que le déversement de sédiments à l'intérieur de la retenue est rejeté en aval. D'autre part, lors du rejet de sédiments, il est essentiel de prendre en considération la réduction de la capacité d'écoulement de l'oued en aval et l'impact sur l'environnement, etc. Les contre-mesures de contrôle des sédiments à la retenue du barrage de Sidi Salem devraient inclure le projet d'aménagement de l'oued sur la Mejerda en aval du barrage. Pour le bassin de l'oued Mejerda, qui fait face à des défis avec le barrage de Sidi Salem, l'étude SAPI a suggéré la nécessité d'une gestion des sédiments cohérente dans le bassin (projet global de gestion des sédiments), qui sera étudiée à travers ce projet.

Dans la zone en amont de la retenue du barrage de Sidi Salem, des projets d'atténuation des inondations dans les zones U1, M et U2 sont en cours avec un financement par prêt allemand (KfW). Dans la zone aval, Zone D2, la construction est en cours avec des prêts japonais. L'emplacement de chaque projet est indiqué dansla Figure 1-1

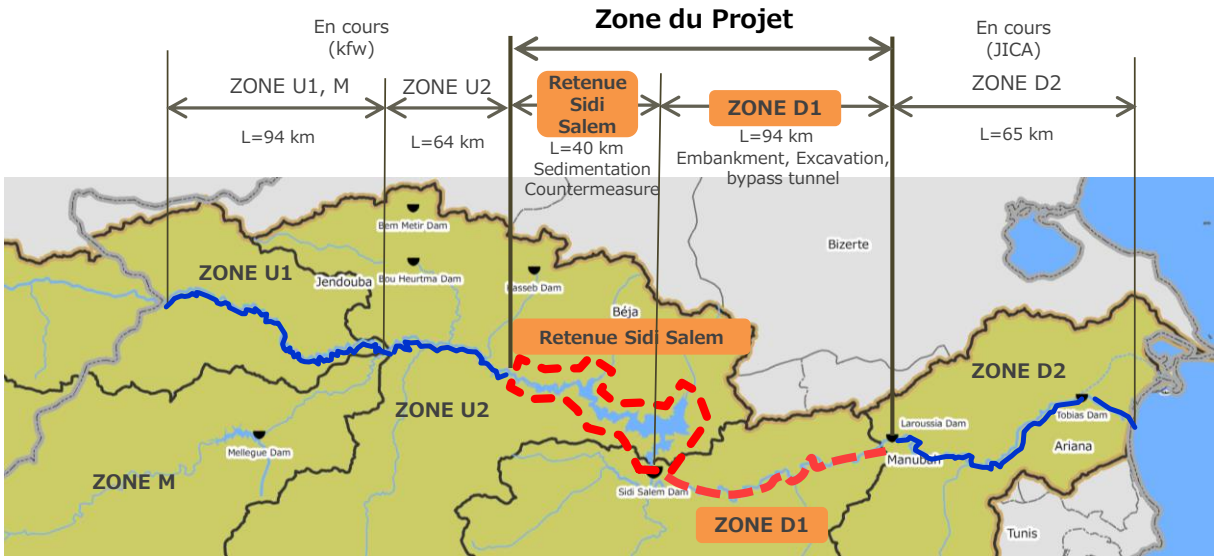


Figure 1-1 Site du projet en cours et emplacement de ce projet

Sur la base des résultats de l'étude SAPI, cette étude comparera et examinera les conditions de base du plan de lutte contre les inondations de l'oued Mejerda, les alternatives de mesures de lutte contre la sédimentation du barrage de Sidi Salem (mesures de sédimentation de la retenue du barrage de Sidi Salem) et les mesures de lutte contre les crues, mesures pour l'oued (zone D1) immédiatement en aval de ce barrage (aménagement de l'oued de la zone D1). Le but de cette étude est de confirmer la faisabilité avec la constitution d'un projet de prêt en yen en vue.

2 Situation courante de sedimentation au barrage de Sidi Salem Dam

En raison de la sédimentation, la capacité du réservoir a été perdue. Il est à noter que la sédimentation totale de 191 millions de m^3 est piégée dans le réservoir au cours des trente-six (36) dernières années depuis le début de l'exploitation du barrage. En d'autres termes, la capacité totale effective actuelle est de 786 millions de m^3. Environ 20% du stockage brut initial, soit 977 millions de m^3, ont été perdus

engendrant une diminution de la capacité de contrôle de crue de 6% et de la capacité d'utilisation de l'eau de 23% comme illustrée sur la Figure 2-1.

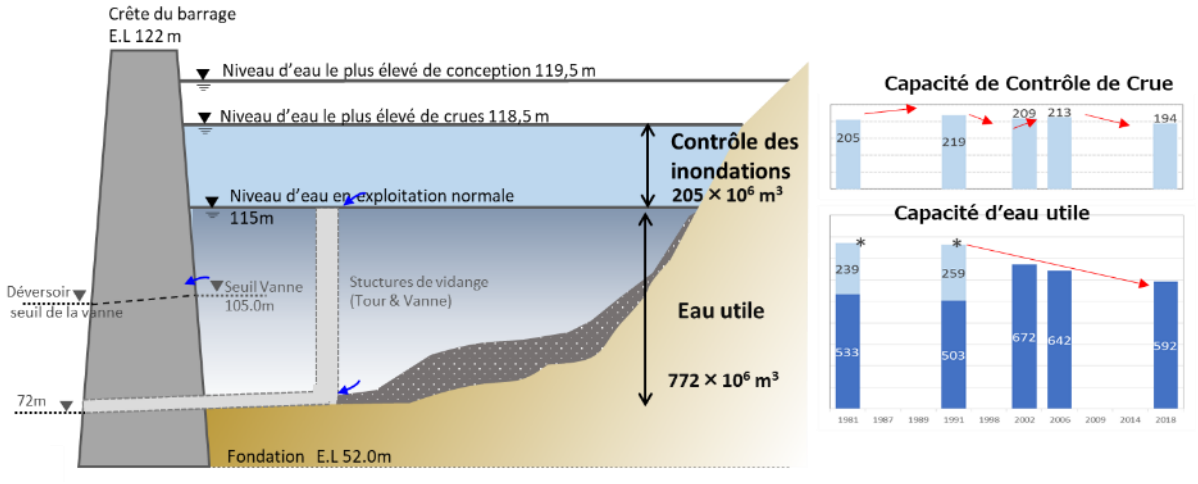


Figure 2-1 Variation de la Capacité du Réservoir

La distribution en plan de la hauteur des sédiments dans le réservoir, montrant la différence d'élévation entre 1972 et 2018, est illustrée sur la Figure 2-2. La distribution confirme que la sédimentation est présente dans toutes les zones du réservoir. La hauteur des sédiments, évaluée par la variation de la côte du lit original de l'oued (1972) et l'état actuel, est supérieure à 12 m. La quantité de sédiments est en augmentation dans les zones C, D et E. Une sédimentation s'est également produite dans la zone de capacité de contrôle des crues des zones E et F où le lit d'origine est élevé. En ce qui concerne le pourcentage du volume total de sédiments, 191 millions de m^3, la distribution est de 12% en A, 8,5% en B, 21,4% en C, 23% en D, 22,7% en E et 12,4% en F.

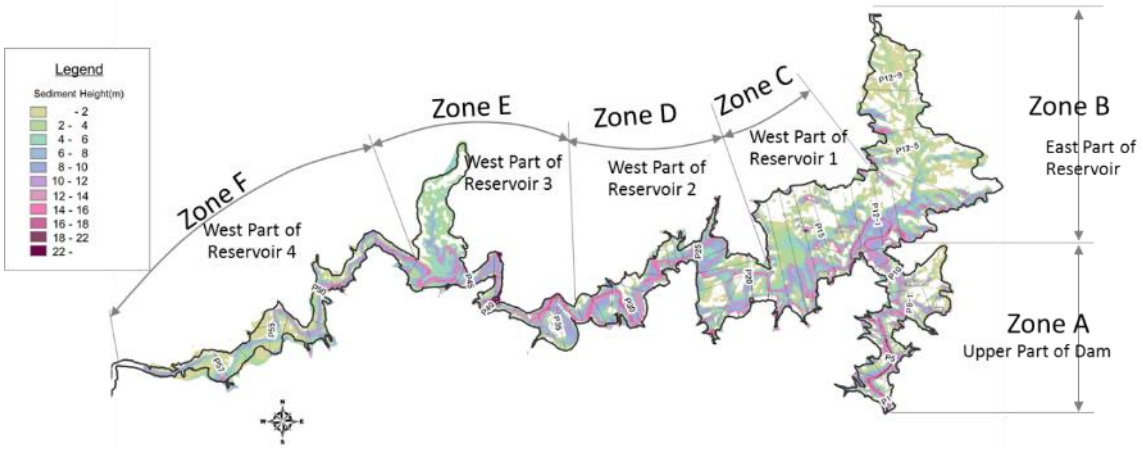


Figure 2-2 Hauteur des Sédiments dans la retenue de Sidi Salem (2018)

Les sédiments dans la retenue du barrage sont composés de 30 à 45 % d'argile et de 55 à 70 % limon dans chaque zone.
Aucune différence significative n'a été observée en fonction des zones du réservoir. Les échantillons de sédiments sont tous consolidés.
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 des MES dans l'eau est très élevée.

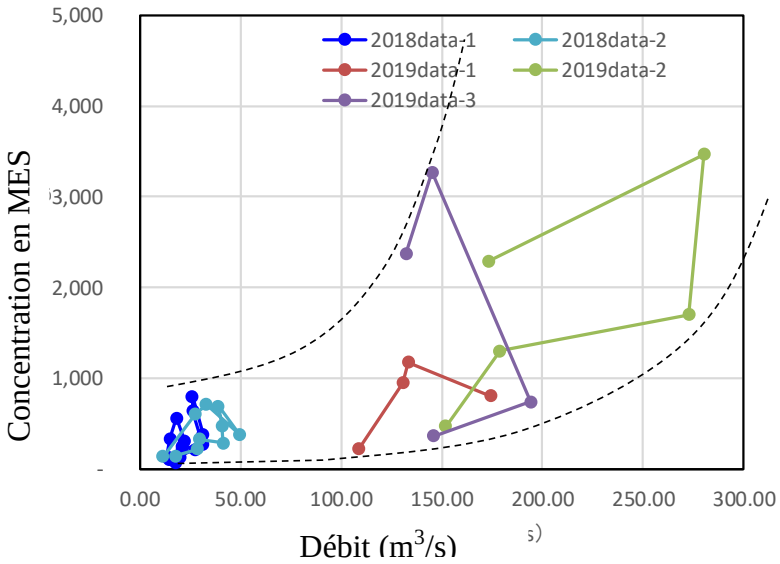


Figure 2-1 Corrélation entre le débit entrant et la concentration en MES

3 Scénario de sédimentation future dans le barrage de Sidi Salem Dam

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 3-1 et la Figure 3-2 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 m3. Et il s'ensuit qu'environ 50 % de la capacité totale de stockage de l'eau de 960 millions de m3 sera enterrée avec des sédiments.

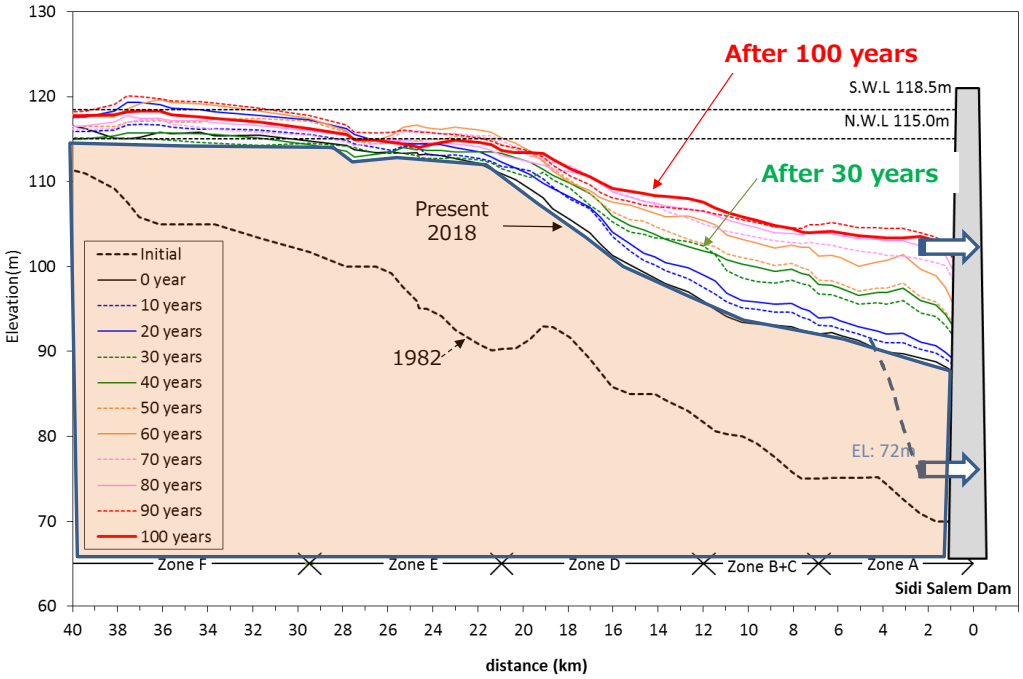
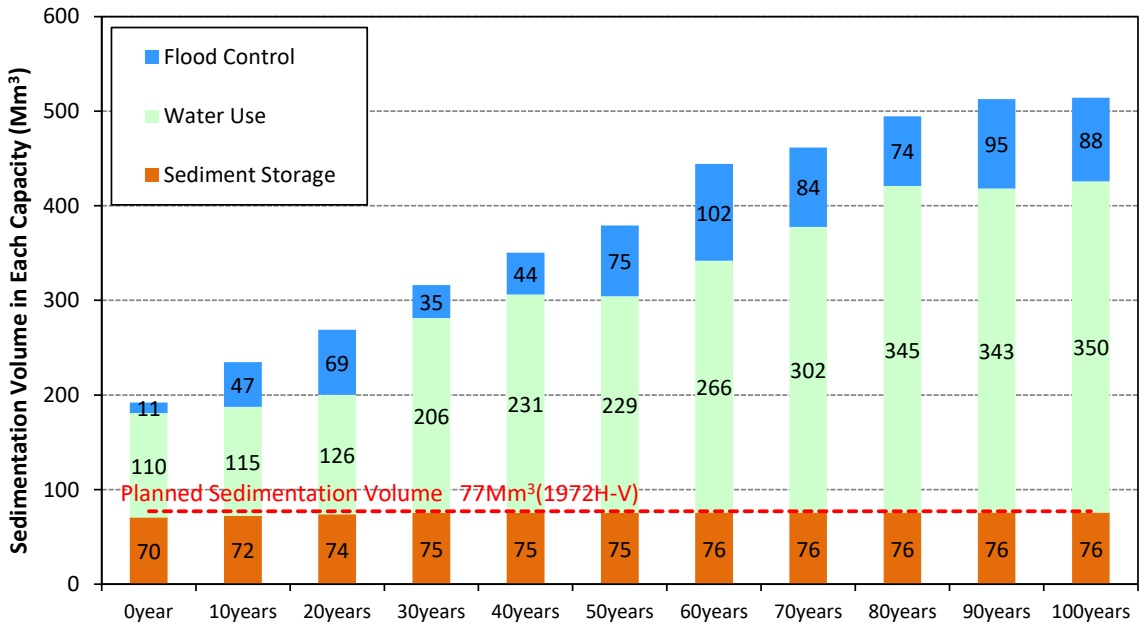


Figure 3-1 Résultat de la simulation de prévision de la forme de la sédimentation dans les 100 prochaines années



* 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 3-2 Résultat de la simulation de prévision du volume de sédimentation dans les 100 prochaines années (2018-2118)

4 Mesures de prévention de la sédimentation dans le réservoir du barrage de Sidi Salem

Stratégies de base et l'ensemble des contremesures suggéres

Deux stratégies de base ont été établies pour les mesures de sédimentation dans le réservoir du barrage de Sidi Salem : 1) contrôler la progression du delta sédimentaire dans la zone D, et 2) contrôler la propagation des sédiments dans les zones B et C. Un résumé de mesures pour atteindre ces objectifs sont présentés dans la figure 4-1 et le tableau 4-1 ci-dessous.

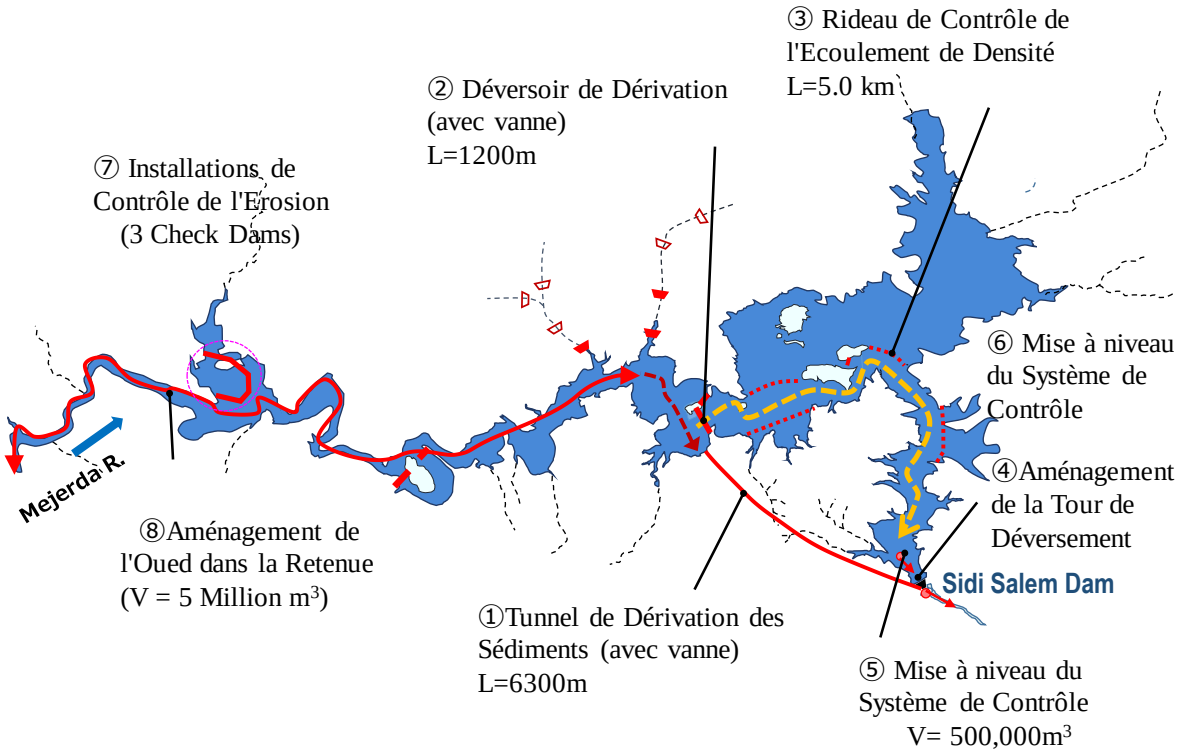


Figure 4-1 Aperçu des contre-mesures de sédimentation (menu prioritaire)

Table 4-1 Ensemble des mesures de lutte contre la sedimentation

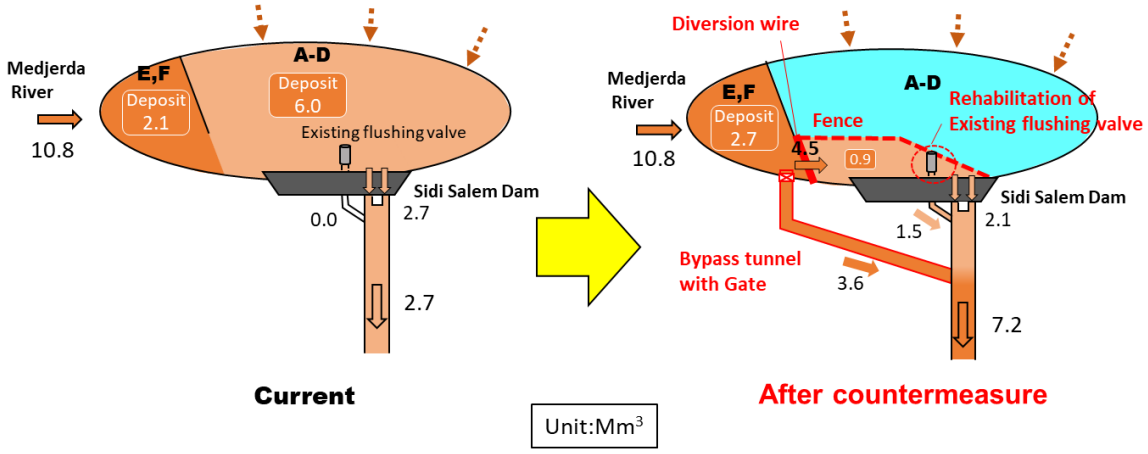
	Mesure	role
1	Tunnel de dérivation des sédiments (avec vanne)	Les grandes quantités de sédiments (eau très turbide) qui atteignent la zone D sont évacuées directement en aval du barrage de manière fiable.
2	Déversoir de dérivation	● Contrôler le niveau d'eau à l'embouchure du déversoir de dérivation des sédiments ● Piégeage des apports de sédiments en amont du déversoir
3	Barrière de contrôle des flux de densité	Utiliser des barrières pour rejeter l'eau turbide en aval et pour réduire la diffusion dans les zones B et C.
4	Aménagement de la tour de l'évacuateur de crues (tour)	Garantir la capacité de stockage de l'eau
5	Dragage mécanique	Assurer la capacité de stockage de l'eau（Excavation volume : 500,000m3）
6	Modernisation du système de contrôle des installations	Modernisation du système de gestion du barrage

7	Installation de contrôle de l'érosion	Contrôler l'apport de sédiments en amont de l'affluent (3 unités)
8	Amélioration du canal dans le réservoir	Préparer le canal dans le réservoir afin de conduire les eaux turbides à forte concentration vers le tunnel de dérivation des sédiments et de déverser les sédiments en aval du barrage. (Volume d'excavation: 5 000 000 m3) L'excavation dans la zone F avec une largeur de canal de H = 50 m est le moyen le plus efficace de réduire l'impact sur la zone en amont et le volume d'excavation.
9	Mesures non structurelles pour l'ensemble du bassin fluvial	Monitoring system of reservoir water level and turbidity

Efficacité des mesures de lutte contre la sédimentation dans le réservoir

Les résultats du calcul du bilan sédimentaire basé sur les résultats de la simulation opérationnelle sont présentés à la Figure 10 15.

- Après les mesures de lutte contre la sédimentation, 3,6 Mm3 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 Mm3 à 3,6 Mm3.



Target Flood : 2015.2 Flood (Qp = 557 m^3/s)

Figure 4-2 Modification du bilan sédimentaire après le projet

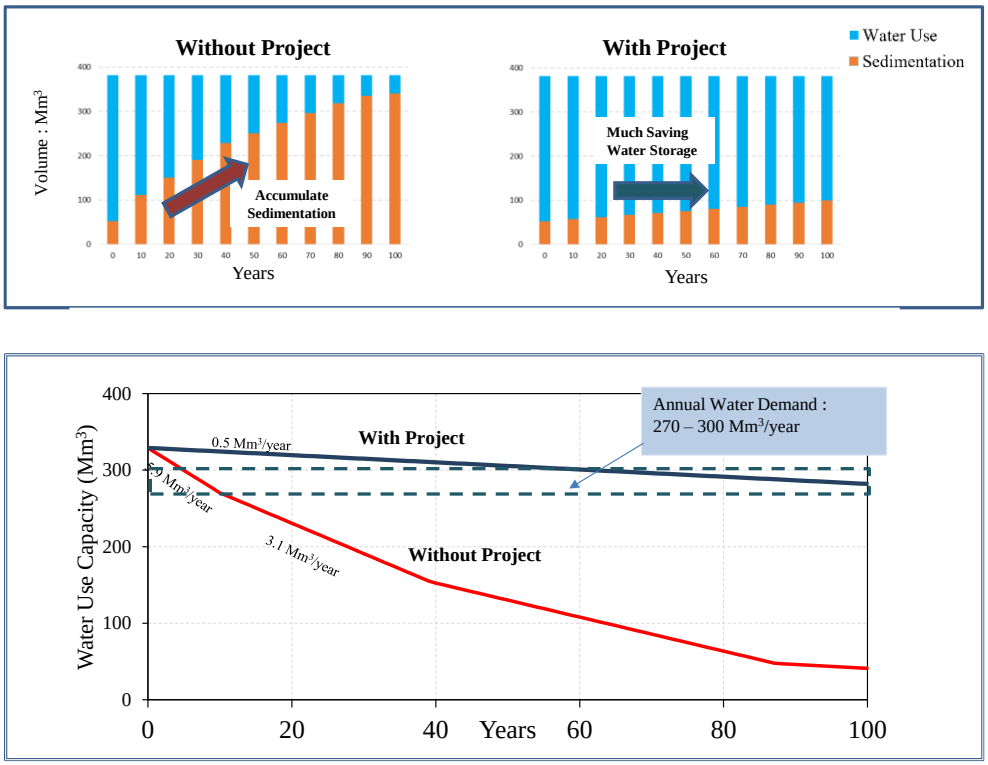


Figure 4-3 Comparaison de la capacité projetée de détournement de l'eau du barrage sans et avec contre-mesures

La Figure 4-3 illustre une comparaison entre la capacité projetée de détournement de l'eau du barrage sans et avec contre-mesures.
Sur la base des résultats de l'analyse, l'utilisation annuelle d'eau du barrage de Sidi Salem est estimée à 270-300 millions de m3 sur la base des données historiques. Cependant, sans contre-mesures, il existe un risque que la capacité d'utilisation d'eau diminue en dessous de la consommation annuelle d'eau en seulement 10 ans, ce qui affecterait la fonction d'utilisation d'eau du barrage.
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 utilede l'eau après 10 ans, 42 % (138 Mm3) après 30 ans et 88 % (288 Mm3) après 100 ans dans le scénario d'urgence.

5 Travaux de réhabilitation du cours d'eau dans la Zone D1

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 5-1.

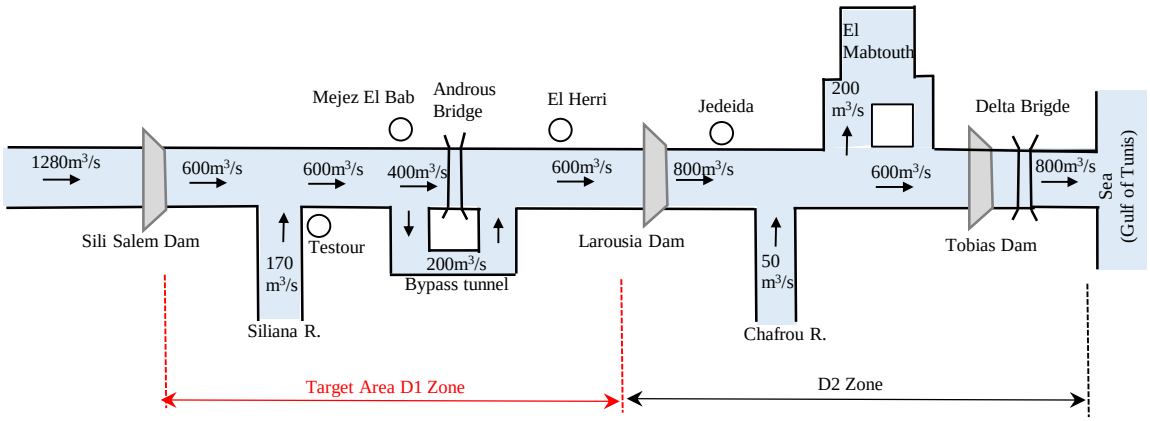


Figure 5-1 Distribution du débit de crue de conception adopté dans D1 dans cette enquête (période de retour de 10 ans)

La figure 5 2 montre l'ensemble des composantes de maintenance du projet.

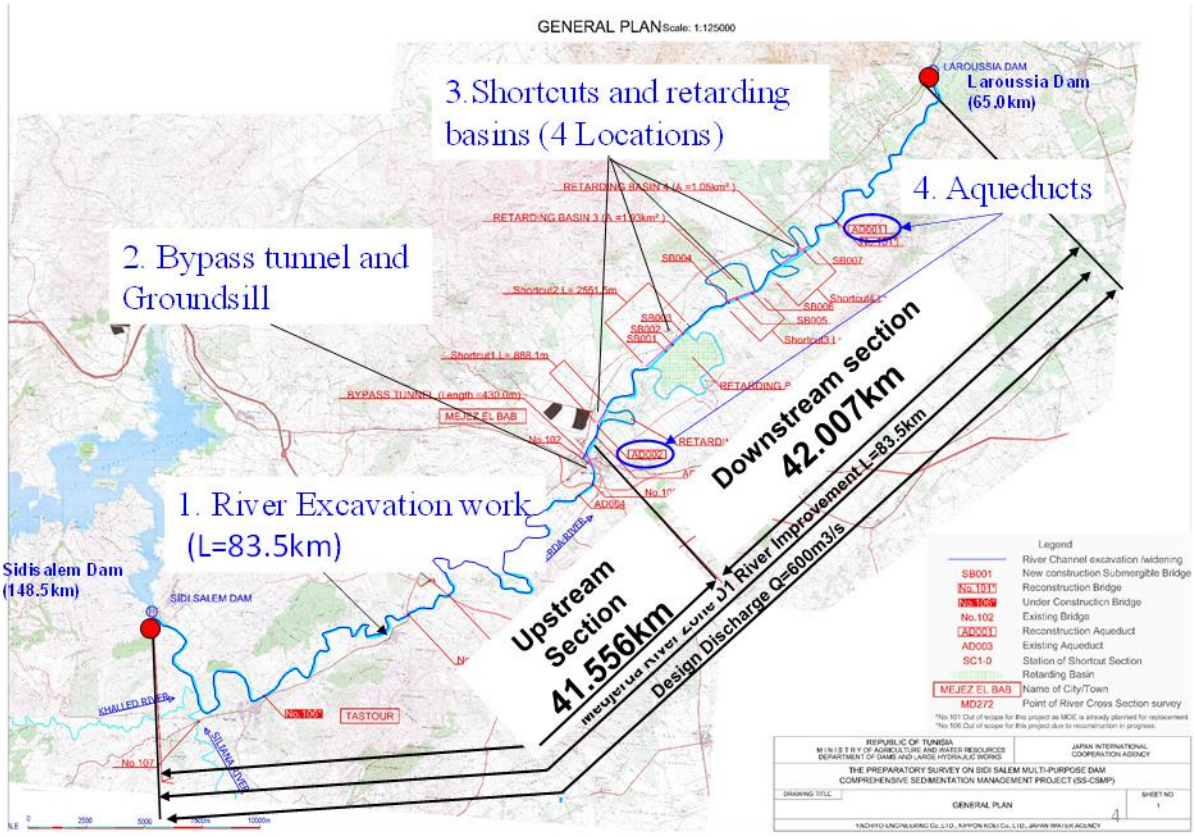


Figure 5-2 Implementation Section and Area of River Improvement Works

La section transversale prévue de la zone D1 a été fixée comme indiqué dans la figure 5-3 ci-dessous, en tenant compte (1) du débit d'eaux élevé prévu, (2) des caractéristiques d'écoulement de l'eaux turbides de la section basse du canal (1003/s), et (3) de la stabilité du canal.

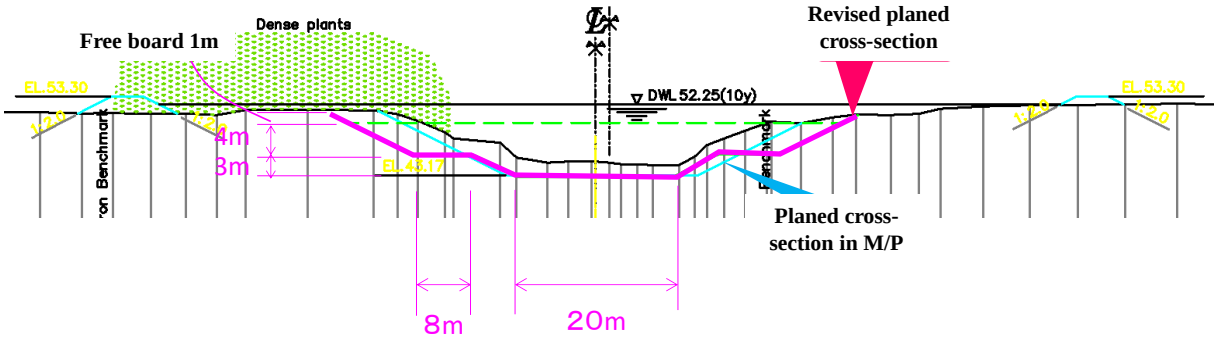
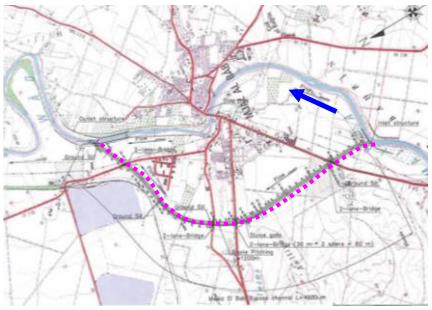
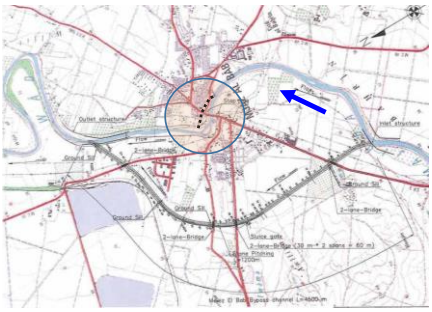


Figure 5-3 Coupe transversale type projetée dans cette étude

Les résultats de la comparaison économique sont présentés sur le Table 5-1. 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.

Table 5-1 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.

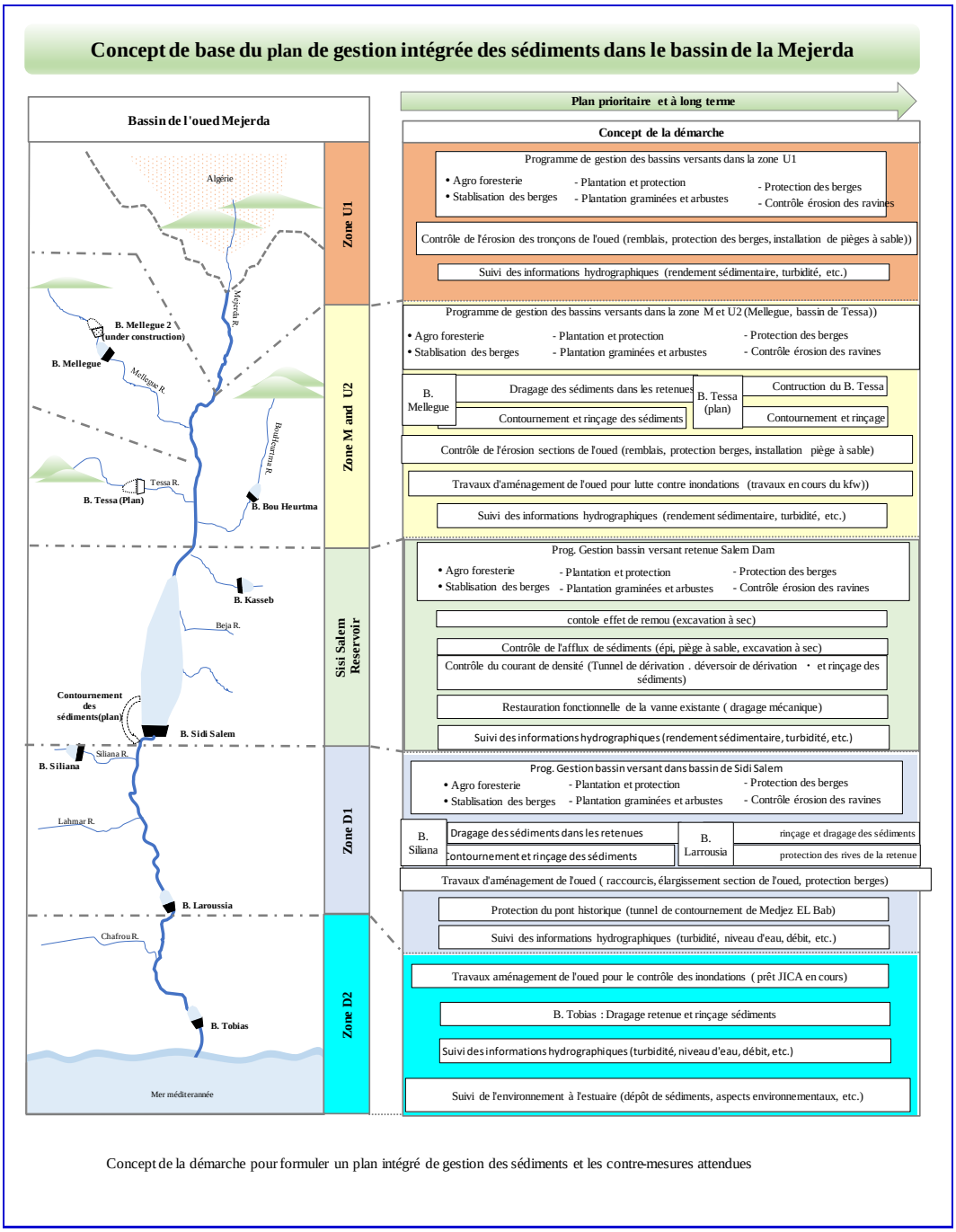
Défis	・L'acquisition de terrains privés sera nécessaire. ・De nouveaux ponts et ponceaux seront nécessaires aux croisements de routes.	・Des méthodes de construction appropriées doivent être examinées ・Le tunnel doit être bien entretenu ・Il est nécessaire de sécuriser la pente de la surface de l'eau entre les extrémités amont et aval.
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*

6 Gestion intégrale des sédiments du bassin d'Oued Medjerda

Le plan de gestion intégrale des sédiments du bassin de la rivière Medjerda sera mis en œuvre à partir d'une approche technique de la conservation de l'eau et des sols et de la production agricole, et d'une approche sociale et organisationnelle. Le plan contribuera à atteindre les objectifs de la stratégie nationale pour le plan de développement des terres agricoles en ciblant (1) la restauration et la conservation du transport des sédiments, (2) le contrôle des inondations et la sécurité de l'eau, et (3) la préservation des terres agricoles et l'amélioration des moyens de subsistance des agriculteurs.

L'approche technique considérera des mesures qui prennent en compte les caractéristiques des zones productrices de sédiments telles que l'érosion des sols de surface et l'érosion des berges dans chaque zone. L'approche sociale encouragera la participation des agences gouvernementales concernées (DGBGTH, DGACTA, DGF, etc.) et du secteur privé. La figure 6-1 et le tableau 6-1 montrent la stratégie de base et l'ensemble de contre-mesures considérées dans cette étude pour chaque zone du bassin de l'Oued de Medjerda, respectivement.



Concept de la démarche pour formuler un plan intégré de gestion des sédiments et les contre-mesures attendues

Figure 6-1 Stratégie de base pour le plan global de gestion des sédiments du bassin versant de l'oued Mejerda (projet)

Table 6-1 Ensemble des contre-mesures pour le plan global de gestion des sédiments du bassin de la rivière Medjerda (projet)

Mesures	Apercu
Mesures de conservation des bassins versants	Les mesures agroforestières comprennent des mesures d'agriculture forestière ayant des effets sur la conservation des sols, le boisement et la protection, des plantations d'arbustes, des changements dans les modèles de culture, etc. et des mesures de contrôle de l'érosion des ravins, des mesures de contrôle de l'érosion des cours d'eau, etc.
Mesures de contrôle de l'érosion dans le lit de la rivière	Afin d'améliorer la stabilisation des canaux dans chaque bras de rivière, des seuils, des ouvrages de revêtement, des pièges à sédiments, etc. sont construits.
Mesures visant à prévenir l'écoulement des sédiments lors de la construction d'un barrage	Construction d'un nouveau barrage
Mesures de contrôle des sédiments pour les barrages existants	Mesures tenant compte des caractéristiques des sédiments et des conditions actuelles de l'afflux dans chaque barrage existant
Observation à long terme des données hydrologiques telles que la turbidité, le niveau d'eau et le débit.	Observation à long terme des données hydrologiques telles que la turbidité, le niveau d'eau et le débit.

Cette étude a résumé l'état actuel et les problèmes liés au Plan de Gestion Intégrée des Sédiments pour le bassin de la Mejerda, ainsi qu'une politique pour des mesures globales de gestion des sédiments et un plan d'étude d'un projet pilote de conservation du bassin versant. Les études suivantes devraient être menées pour la future mise en œuvre du Plan de Gestion Intégrée des Sédiments. Les entretiens avec les organisations pertinentes du Ministère de l'Agriculture au cours de cette étude ont confirmé que le gouvernement tunisien ne dispose pas d'une structure organisationnelle et de capacités suffisantes pour mener à bien les études énumérées ci-dessous, et qu'il est nécessaire de mettre en place des projets de renforcement des capacités et de planification de la gestion des sédiments.

Sur la base des résultats de l'analyse préliminaire de l'USLE, de l'occupation du sol et de la proximité du barrage de Sidi Salem, deux bassins versants du projet pilote ont été sélectionnés en tant que sites cibles : (1) le bassin de la rivière Wad Zghayyou et (2) le bassin de la rivière Wad Koudyat as Safra,

- Les études suivantes devraient être menées en vue de la mise en œuvre future du plan global de gestion des sédiments dans les bassins versants. En ce qui concerne les mesures de conservation des bassins versants, afin d'évaluer correctement le risque d'érosion des sols de surface, les caractéristiques des bassins versants, etc., un inventaire lié à la conservation des sols (érosion des sols, utilisation des terres, géologie des sols, modèles de culture, etc. Sur cette base, il sera également nécessaire d'identifier les besoins en tenant compte des conditions socio-économiques, puis d'envisager des mesures de conservation des bassins versants et l'intégration de l'utilisation des terres, etc.
- A travers la mise en œuvre du projet pilote proposé dans la retenue du barrage de Sidi Salem, les éléments suivants peuvent être obtenus : établissement d'un système de mise en œuvre, sensibilisation du gouvernement et des résidents, transfert de technologie, et exemples de réussite, qui sont considérés comme importants dans la perspective d'un développement horizontal dans l'ensemble du bassin versant.
- On craint que les retenues des barrages existants, tels que le barrage de Sidi Salem, le barrage de Mellegue et le barrage de Siliana, ne soient surchargées de sédiments à l'avenir, ce qui entraînera une réduction de l'utilisation de l'eau et de la capacité de contrôle des

inondations, réduisant ainsi les fonctions des barrages. Il est donc urgent de mettre en œuvre des mesures pour prévenir la sédimentation dans les retenues des barrages existants. Ceci est particulièrement vrai pour le plus important barrage de Sidi Salem. En outre, plutôt que d'envisager des mesures individuelles de contrôle des sédiments en fonction des caractéristiques de chaque barrage, les mesures de contrôle des sédiments des groupes de barrages, y compris les barrages en amont, devraient être envisagées dans la perspective d'un contrôle global des sédiments pour l'ensemble du bassin versant.

- Afin de développer un plan global de gestion des sédiments du bassin versant, il est nécessaire d'impliquer le personnel de gestion, les institutions de recherche et les utilisateurs d'une grande variété de domaines, y compris les cours d'eau, les forêts, les barrages, les déversoirs et les rives. Par conséquent, nous proposons la création d'un comité de promotion ou d'un organisme similaire pour renforcer la coopération et le partage d'informations avec les organisations connexes.

7 Étude d'impact sur l'environnement

Selon les décrets tunisiens, les composantes du projet " Projet de lutte contre les inondations ", " Projet de dragage des sédiments " et " Projet d'amélioration des cours d'eau " ne figurent pas dans le projet de mise en œuvre de l'EIE. Par conséquent, conformément à la législation nationale, aucune EIE ou permis environnemental n'est requis pour les activités prévues dans le cadre du projet. La mise en œuvre du projet et des sous-projets connexes ne nécessite pas la soumission formelle d'une EIE à l'ANPE, qui est en charge des permis environnementaux. Toutefois, selon une réunion avec l'ANPE en janvier 2020, il est nécessaire de discuter la nécessité de mener des EIE sur une base individuelle en fonction de l'échelle et des impacts du projet, et par conséquent, l'ANPE et la DGBGTH devront tenir des discussions une fois que les grandes lignes du plan seront finalisées.

Table 7-1 Éléments liés à l'etude d'impact sur l'environnement qui devraient être pris en compte à l'avenir

points a prendre en consideration	sujet de préoccupation
Impacts sur l'habitat aquatique de la rivière Medjerda	Bien que le cours supérieur de la Medjerda n'ait pas été désigné comme zone protégée, la région est actuellement riche en écosystèmes, les ONG ayant pris l'initiative de mener des études écologiques.
Impact sur l'agriculture en aval du barrage	L'exploitation du tunnel de dérivation des sédiments entraînera le déversement d'une eau très turbide dans la partie aval du fleuve en cas d'inondation, et il est possible qu'il y ait des impacts temporaires, tels que l'impact sur les terres agricoles et l'apparition de zones qui deviennent naturellement des bassins de ralentissement dans certaines parties du fleuve en raison de la prise d'eau par l'eau très turbide du fleuve.
Impact de la génération de l'excavation du sol	La terre excavée par le dragage mécanique se transformera probablement en sédiments dans le lac, créant ainsi des sédiments dans un environnement anaérobie. Les impacts potentiels résultant de l'élimination des sols comprennent la perturbation potentielle du trafic pendant la réutilisation ou le transport vers un site d'élimination des sols.
(Etude d'impact sur la zone humide Ramsar en aval (Garaet Mabtouh))	Le Garaet Mabtouh, situé en aval du bassin versant de la Medjerda, est désigné comme zone humide Ramsar. La distance entre cette zone humide et le site du projet est suffisamment grande pour qu'il y ait peu d'impact.

Impact sur le patrimoine culturel	Le pont historique d'Andarous, une structure historique protégée

En ce qui concerne l'acquisition de terres, une section de la rivière de la zone D1 devra être améliorée pour raccourcir les méandres. Actuellement, la plupart des terres sont des terres agricoles, mais il est nécessaire d'effectuer une étude de site et de fournir une compensation appropriée lors de la préparation d'un plan d'acquisition de site avant la mise en œuvre du projet.

République Tunisienne
Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche

République Tunisienne
Etude Préparatoire du Projet de Gestion Integrée de la Sédimentation du Barrage Polyvalent de Sidi Salem

Rapport Final

Volume I

Octobre 2023

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

YACHIYO ENGINEERING CO., LTD
NIPPON KOEI CO., LTD
JAPAN WATER AGENCY

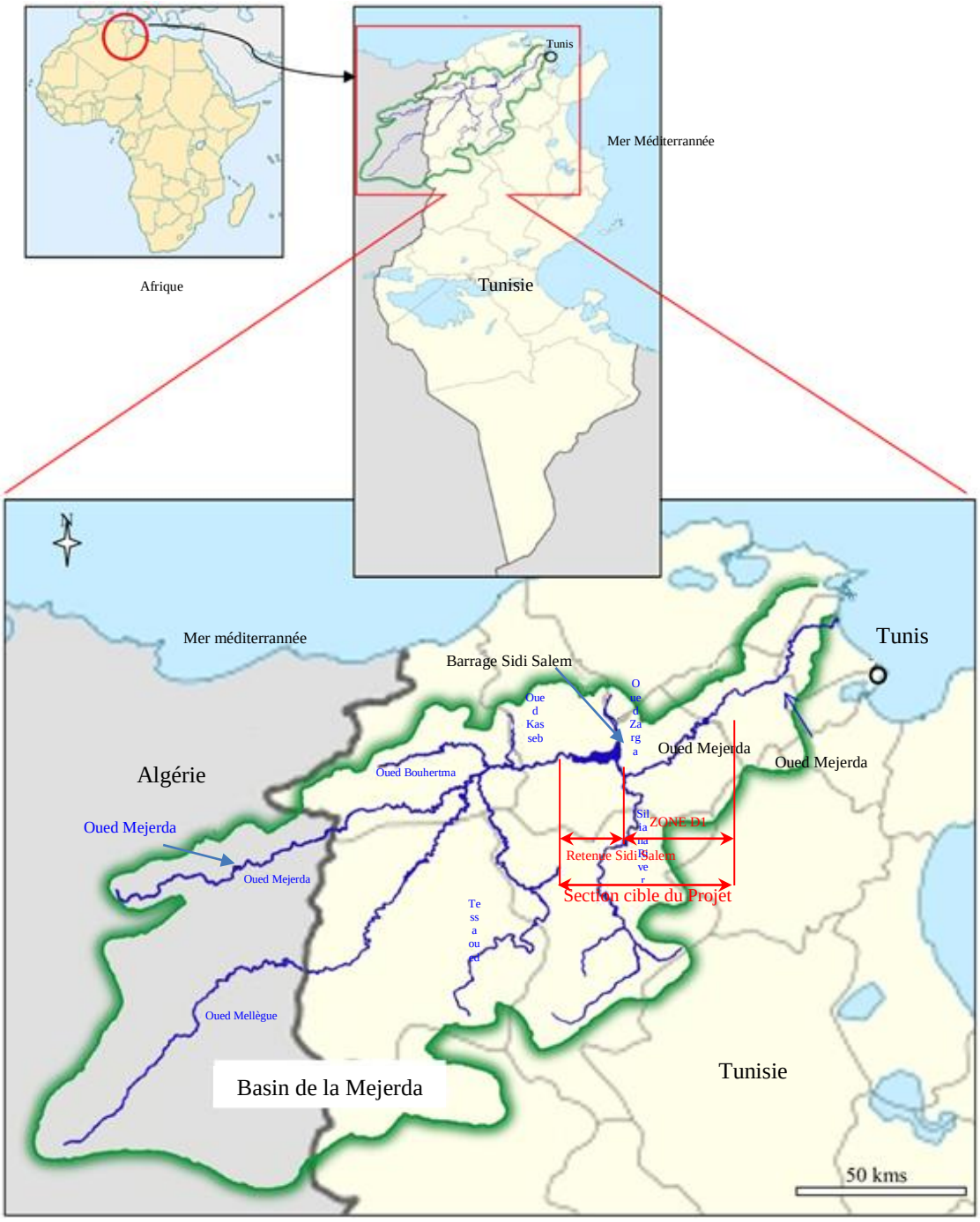
7R
JR（P）
23-21

République Tunisienne

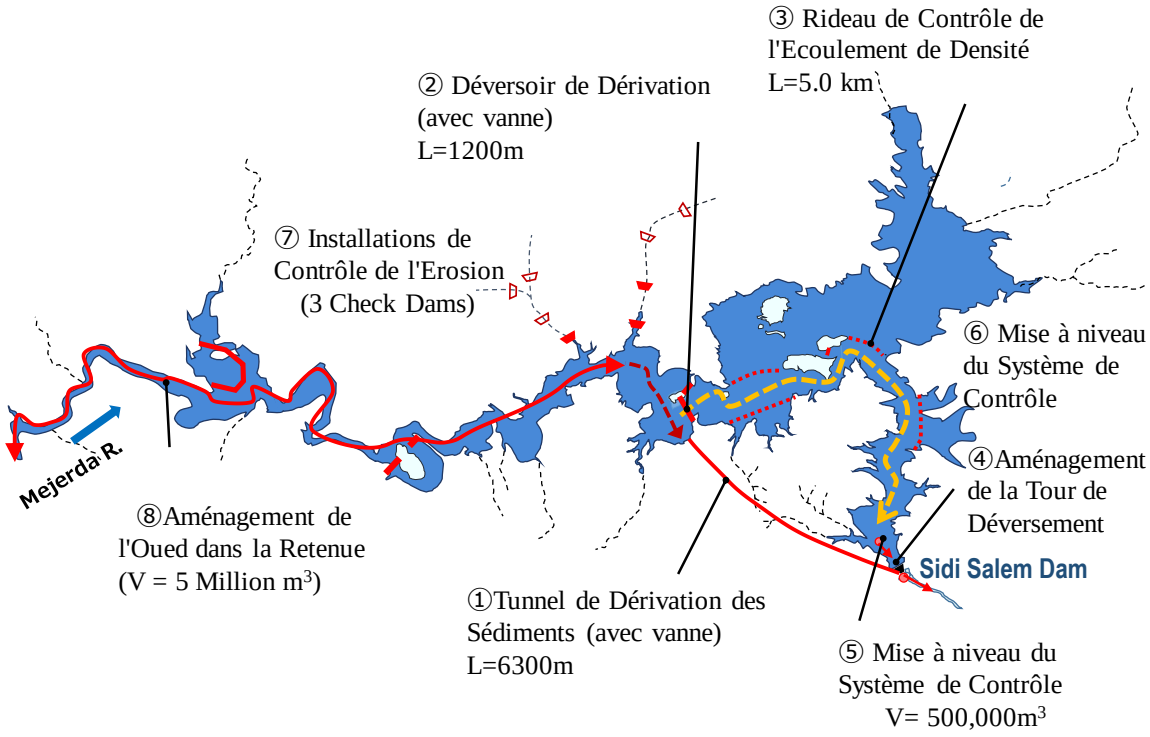
Etude Préparatoire du Projet de Gestion Integrée de la Sédimentation du Barrage Polyvalent de Sidi Salem

Contenu du Rapport

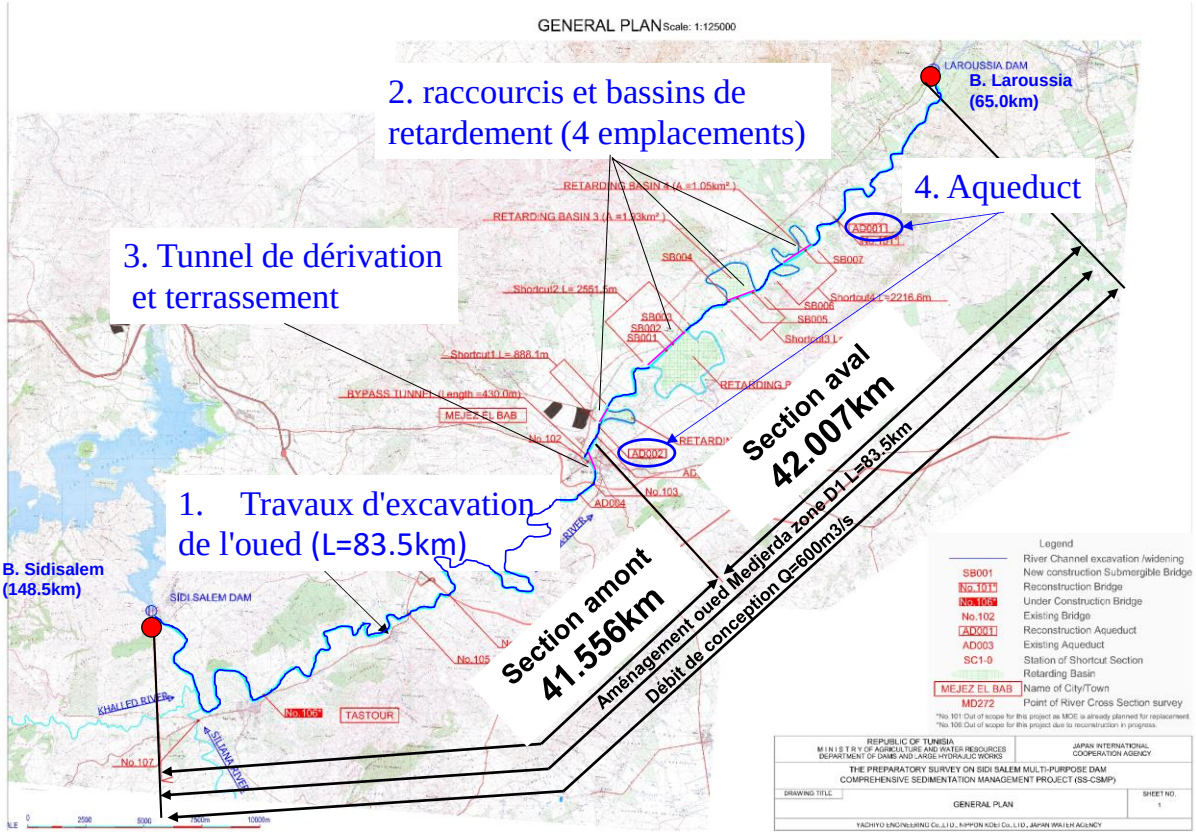
Photos
Abréviations
Projet de rapport final : Volume I
Projet de rapport final : Volume II
Annexe



Emplacement de la zone cible



Mesures de lutte contre la sédimentation pour le barrage de Sidi Salem



Section cible de l'aménagement de l'oued dans la zone D1

Photos

État des lieux de l'amont de la retenue du barrage (zone E) (2022.3)

État des lieux de l'amont de la retenue du barrage (zone E) (2022.3)

Discussions avec les agriculteurs dans la retenue (2022.3)

Discussions avec les ingénieurs du barrage (2022.3)

Fermes dans la retenue (2022.3)

Zone D (2022.3)

Pont Andalou (Pont historique) (2022.3)

Zone A (Déversoir) (2022.3)

Barrage de contrôle à oued Siliana (2022.3)

Barrage de contrôle à oued Siliana river (2022.3)

Oued Siliana (de l'aval) (2022.3)

Discussions avec les cadres de la CRDA (2022.3)

Barrage Siliana (2022. 3)

Retenue dans la Barr. Siliana (2022. 3)

Réunion DGBGTH (2022.3)

Réunion MDCI (2022.4)

Réunion DGF (2022.3)

Réunion Medjez El Bab (2022.4)

Abréviations

1. Gouvernement tunisien

Abbreviations/Acronyms	**French**	**English**
ANGED (MEn)	Agence Nationale de Gestion des Déchets	National Agency for Waste Management
ANPE (MEn)	Agence Nationale de Protection de l'Environnement	National Agency for the Protection of the Environment
CNE	Comité National de l'Eau	National Water Commission
CRC	Commission de Reconnaissance et de Conciliation	Commision of Recognition and Conciliation
CRDA (MoA)	Commissariats Régionaux au Développement Agricole	Regional Offices of Agriculture Development
DGACTA (MoA)	Direction Générale de l'Aménagement et de la Conservation des Terres Agricoles	Directorate General of Planning, Management and Conservation of Agricultural Lands
DGBGTH (MoA)	Direction Générale des Barrages et des Grands Travaux Hydrauliques	Directorate General for Dams and Major Hydraulic Works
DGCES (MoA)	Direction Générale de la Conservation des Eaux et du Sol	Directorate General of Water Conservation and Soil
DGEQV (MEn)	Direction Générale de l'Environnement et de la Qualité de la Vie	Directorate General of Environment and Quality of Life
DGF (MoA)	Direction Générale des Forêts	Directorate General of Forests
DGGREE (MoA)	Direction Générale du Génie Rural et de l'Exploitation des Eaux	Directorate General of Rural Engineering and Water Exploitation
DGPA (MoA)	Direction Générale de la Pêche et de l'Aquaculture	Directorate General of Fishing and Aquaculture
DGPC(MEq)	Directeur Général des Ponts et Chaussées	Directrate General of Roads and Bridges
DGRE (MoA)	Direction Générale des Ressources en Eau	Directorate General of Water Resources
INAT (MoA)	Institut National Agronomique de Tunisie	National Institute of Agronomy of Tunisia
INM (MT)	Institut National de la Météorologie	National Institute of Meteorology
INP(MCSP)	Institut National du Patrimoine	National Herritage Institute
INS (MEP)	Institut National de la Statistique	National Institute of Statistics
MCSP	Ministère de la Culture et de la Sauvegarde du Patrimoine	Ministry of Culture and Heritage Preservation
MdA	Ministère de l'Agriculture	Ministry of Agriculture
MDEAF	Ministère des Domaines de l'Etat et des Affairres Foncières	Ministry of State Domains and Land Affairs

MdP	Ministère du Patrimoine	Ministry of Heritage
MEn	Ministère de l'Environnement	Ministry of Environment
MEP	Ministère de l'Economie et de la Planification	Ministry of Economy and Planning
MEq	Ministère de l'Equipement	Ministry of Equipment
MF	Ministère des Finances	Ministry of Finance
MT	Ministère des Transport	Ministry of Transport
ONAS (MEn)	Office National de l'Assainissement	National Sewerage Board
ONPC	Office National de la Protection Civile	National Protection Civil Office
OTC (MEn)	Office de la Topographie et du Cadastre	Topography and Cadastral Office
SECADENORD	Société d'Exploitation du Canal et des Adductions des Eaux du Nord	North Water Canal, Adductions and System Management Company
SNCFT	Société Nationale des Chemins de Fer Tunisiens	Tunisian Railways
SONEDE (MoA)	Société Nationale d'Exploitation et de Distribution des Eaux	National Water Distribution Utility
ULAP	Union Locale des Agriculteurs et des Pêcheurs	Local Union of Farmers and Fishers

2. Bailleurs de fonds étrangers

Abbreviation	**French**	**English**
EU	Union Européenne	European Union
JICA	Agence Japonaise de Coopération Internationale	Japan International Cooperation Agency
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau	German Reconstruction Finance Corporation
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
WB	La Banque Mondiale	The World Bank

3. Autres

Abréviation	**Français**	**English**
AR	La Régénération Artificielle	Artificial Regeneration
BOD	Demande biochimique en oxygène	Biochemical Oxygen Demand
COD	Demande chimique en oxygène	Chemical Oxygen Demand
D/D	Conception détaillée	Detail Design
DCP	Pénétration dynamique du cône	Dynamic Cone Penetration
EIA	Etude d'Impact sur l'Environnement	Environmental Impact Assessment

EIRR	Taux Interne de Rentabilité Economique	Economic Internal Rate of Return
EL	Élévation	Elevation
F/S	Etude de Faisabilité	Feasibility Study
FFWS	Système de prévision des inondations et d'alerte	Flood Forecasting and Warning System
FR	Rapport final	Final Report
GCM	Modèle de circulation générale	General Circulation Model
GDP	Produit intérieur brut (PIB)	Gross Domestic Product
GEOSS	Système mondial des systèmes d'observation de la Terre	Global Earth Observation System of Systems
GEV	Généralisée de la valeur extrême	Generalized Extreme Value
GIS	Système d'Information Géographique	Geographic Information System
GPRS	General Packet Radio Service	General Packet Radio Service
GSM	Groupe Spécial Mobile	Global System for Mobile Communications
HWL	Niveau des Plus Hautes Eaux	High Water Level
IPCC AR5	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat - Rapport annuel 5	Intergovernmental Panel on Climate Change Annual Report 5
ITR	Rapport intérimaire	Interim Report
JPY	Yen Japonais	Japanese Yen
M/P	Plan Directeur	Master Plan
NATM	Nouvelle méthode autrichienne de creusement de tunnels	New Austrian Tunneling Method
NWL	Retenue Normale	Normal Water Level
O&M	Exploitation et Maintenance	Operation and Maintenance
ORSEC	Organisation de la Réponse de SÉcurité Civile	Civil Security Response Organization
PMF	Crue Maximale Probable	Provable Maximum Flood
PMP	Précipitations Maximales Probables	Portable Maximum Precipitation
PMU	Unité de gestion de projet	Project Management Unit
RCP	Voies de Concentration Représentatives	Representative Concentration Pathways
SAPI	Assistance spéciale pour la mise en	Special Assistance for Project Implementation

	œuvre du projet de lutte contre les inondations de Mejerda	for Mejerda Flood Control Project
SMS	Short Message Service	Short Message Service
SS	Matières solides en suspension	Suspended solids
STEG	Société tunisienne de l'électricité et du gaz	Tunisian Society of Electricity and Gas
STORAPIL	Société de Transport d'Hydrocarbure par Pipe-Line	Company of Transport of Hydrocarbon by Pipe-Line
SYCOHTRAC	SYstèm de COllecte des mesures Hydrologiques en Temps Rèel et Annonce des Crues des oueds tunisiens	Real-time Hydrological Information Collecting Measurement and Flood Announcement System in Wadis
TELECOM	Tunisie Télécom	Tunisia Telecom
TND	Dinars tunisiens	Tunisian Dinar
TOR	Termes de Référence	Terms of Reference
USCS	Système unifié de classification des sols	Unified Soil Classification System
VAT	Taxe sur la valeur ajoutée	Value Added Tax
WFDEI	méthodologie WATCH Forcing Data appliquée aux données ERA-Interim	WATCH Forcing Data methodology applied to ERA-Interim data
ZICO	Zone Importante pour la Conservation des Oiseaux	Important Bird Area

République Tunisienne
Etude Préparatoire du Projet de Gestion Integrée de la Sédimentation
du Barrage Polyvalent de Sidi Salem

Projet de Rapport Final: Volume I

Table des Matières

CHAPITRE 1 INTRODUCTION 1-1
1.1 ..... Contexte 1-1
1.2 ..... Objectifs de Cette étude 1-3
1.3 ..... Zone d'étude 1-3
1.4 ..... Éléments d'étude et Plan de Travail 1-3
1.5 ..... Structure de mise en œuvre 1-3

CHAPITRE 2 SITUATION ACTUELLE DE LA ZONE D'ETUDE 2-1
2.1 ..... Natural and Social Condition in Tunisia 2-1
2.1.1 Conditions Naturelles 2-1
2.1.2 Situation Socio-Economique Actuelle 2-5
2.2 ..... Situation actuelle et problématique du secteur des ressources en eau en Tunisie 2-11
2.2.1 Situation actuelle et problèmes liés aux ressources en eau en Tunisie 2-11
2.2.2 Approvisionnement en eau potable par la SONEDE 2-13
2.3 ..... Situation et problèmes actuels du secteur des cours d'eau dans le bassin hydrographique cible 2-19
2.3.1 Situation actuelle et problèmes liés aux cours d'eau dans le bassin de la Mejerda 2-19
2.3.2 Demande en eau dans le barrage de Sidi Salem 2-21
2.3.3 Résumé des Projets de Contrôle de Crue Exécutés 2-28
2.4 ..... Plan directeur et lois connexes dans le secteur des ressources en eau 2-30
2.4.1 Loi actuelle relative au projet 2-30
2.4.2 Masterplans for the Water Resources Sector 2-32
2.5 ..... Plan de développement en Tunisie 2-34
2.5.1 Plan de développement à long terme en Tunisie 2-34
2.5.2 Tendances de l'aide au développement des ressources en eau par organisation internationale 2-34
2.5.3 Aide au développement pour la lutte contre les inondations des organisations internationales 2-39

CHAPITRE 3 HYDROLOGIE AND HYDRAULIQUE 3-1
3.1 ..... Aperçu des Conditions Hydrologiques 3-1
3.1.1 Contexte et Objectifs 3-1
3.1.2 Politique de mise en œuvre 3-2
3.1.3 Traitement pour la Collecte et l'analyse des Données Hydrologiques 3-3
3.1.4 Caractéristiques des Précipitations dans la Zone d'étude 3-6
3.1.5 Caractéristiques des Débits D'inondation 3-9
3.2 ..... Capacité de débit Actuelle de l'oued 3-11
3.2.1 État actuel des Systèmes d'eau 3-11
3.2.2 Capacité de débit 3-15
3.2.3 Caractéristiques des inondations Passées 3-17
3.3 ..... Collecte de données hydrologiques 3-21
3.3.1 Données atmosphériques observées pour les études hydrologiques 3-21
3.3.2 Débit observé 3-29
3.4 ..... Etude de Crue 3-30
3.4.1 Méthodologie 3-30
3.4.2 Modèle HEC-HMS 3-31
3.4.3 Modèle de terrain sous bassins 3-32
3.4.4 Calibrage du Modèle 3-32
3.4.5 Définition des Précipitations de Conception 3-36
3.4.6 Définition du Débit de Crue de Conception 3-47
3.4.7 Contrôle de Crue dans la retenue 3-49
3.4.8 Définition de l'Hydrogramme de Conception (Méthode Prenant en Considération le Taux d'Expansion et les Distributions Spatiales et Temporelles) 3-50
3.5 ..... Plan de Distribution des Ecoulements 3-66
3.6 ..... Exploitation Optimale des Barrages Existants 3-68
3.6.1 Caractéristiques des Barrages Existants et Projetés dans le Bassin de Medjerda 3-68
3.6.2 Règles de Base d'Exploitation Coordonnée des Réservoirs pendant la Période de Crues 3-72
3.6.3 Caractéristiques et Exploitation Effective des Deux Principaux Barrages Existants 3-75
3.6.4 Calibrage de l'Option « Contrôle de Crues » des Barrages Principaux Existants 3-81
3.6.5 Etude de la Méthode Optimale d'Exploitation des Barrages Principaux Existants sous la Fonction « Contrôle de Crues » 3-85
3.6.6 Simulation d'Exploitation de la Retenue et Etude des Mesures de Sécurité de Barrage 3-92

CHAPITRE 4 IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA ZONE CIBLE 4-1
4.1 ..... Objectifs de l'étude 4-1
4.2 ..... Méthodologie 4-1
4.3 ..... Évaluation des Risques d'Inondation Liés au Changement Climatique 4-3

4.3.1 Indices d'Evaluation 4-3
4.3.2 Précipitations Annuelles Moyennes 4-4
4.3.3 D99 4-5
4.3.4 R99 4-5
4.3.5 Ipr 4-5
4.4 ..... Changement Climatique: Risque d'Inondation dans le Bassin de la Mejerda 4-5

CHAPITRE 5 SITUATION ACTUELLE DE LA SEDIMENTATION DU BARRAGE DE SIDI SALEM ET DU RESERVOIR 5-1
5.1 ..... Barrage de Sidi Salem 5-1
5.1.1 Caractéristiques Principale du Barrage de Sidi Salem 5-1
5.1.2 Fonctionnement du Barrage de Sidi Salem 5-2
5.1.3 Entretien du Barrage de Sidi Salem 5-3
5.1.4 Amélioration de l'Installation de la Tour de Prise du Barrage de Sidi Salem 5-4
5.2 ..... Etat de la Sédimentation dans le Barrage de Sidi Salem 5-5
5.2.1 Etat de la Sédimentation dans le Réservoir du Barrage 5-5
5.3 ..... Mécanisme de la Sédimentation dans le Réservoir de Sidi Salem 5-7
5.4 ..... Etude détaillée de la sédimentation autour des installations du barrage 5-9
5.4.1 Situation de la sédimentation autour du barrage 5-9
5.4.2 Étude de la sédimentation de l'ancienne traversée de chemin de fer dans le réservoir 5-10
5.4.3 Aspect Géologique dans le Réservoir du Barrage 5-13
5.4.4 Etat Géologique le Long du Tunnel de Drainage de Déviation 5-14
5.4.5 État géologique du barrage de dérivation prévu 5-31
5.4.6 Etude de Turbidité dans le Réservoir du Barrage 5-38

CHAPITRE 6 PREVISION DE SEDIMENTATION FUTURE ET ANALYSE DES FLUX D'EAU TURBIDE 6-1
6.1 ..... Analyse unidimensionnelle de prévision de la sédimentation 6-1
6.1.1 Calcul de la reproduction 6-1
6.1.2 Évolution historique du bilan annuel de la sédimentation 6-4
6.1.3 Évolution historique du volume de sédimentation dans chaque zone 6-8
6.1.4 Progression de la sédimentation lors des inondations représentatives 6-10
6.2 ..... Calcul des prévisions futures 6-16
6.2.1 Conditions de l'Analyse 6-16
6.2.2 Computation Results 6-19
6.3 ..... Analyse de l'urgence des contre-mesures pour la sédimentation 6-23
6.3.1 Risques potentiels 6-23
6.3.2 Scénarios d'urgence de progression de sédimentation avec prise en compte des risques 6-25

6.4 ..... Analyse tridimensionnelle du débit d'eau turbide 6-27
6.4.1 Méthodologie 6-28
6.4.2 Conditions de l'analyse 6-30
6.4.3 Analyse du comportement des eaux turbides à l'aide d'hydrogramme de crues virtuelles 6-34
6.4.4 Analyse des phénomènes d'écoulement des eaux turbides à l'aide d'hydrogrammes de crues réelles 6-40
6.4.5 Résumé de l'analyse tridimensionnelle du débit d'eau turbide 6-45

CHAPITRE 7 INTRODUCTION AU PLAN DE GESTION DES SEDIMENTS DU BARRAGE DE SIDI SALEM 7-1
7.1 ..... Exploitation optimale de la retenue 7-1
7.1.1 État actuel de l'exploitation de la retenue du barrage de Sidi Salem 7-1
7.1.2 Conditions réelles d'approvisionnement en eau 7-4
7.1.3 Fonctionnement de la lutte contre les inondations 7-7
7.1.4 Fonctionnement futur de la lutte contre les inondations au barrage de Sidi Salem 7-11
7.2 ..... Politique de base pour la gestion des sédiments dans le barrage de Sidi Salem 7-14
7.2.1 Bilan de la sédimentation dans la retenue 7-14
7.2.2 Selection of Countermeasure for Sedimentation 7-15
7.2.3 Politique de base pour le plan de gestion des sédiments 7-20
7.3 ..... Examen des mesures visant à réduire l'entrée de sédiments 7-23
7.3.1 Déversoir de dérivation 7-23
7.3.2 Etude de la vanne pour le déversoir de dérivation 7-27
7.3.3 Tunnel de dérivation des sédiments 7-32
7.3.4 Utilisation de la vanne de dévasement existante 7-41
7.3.5 Clôture de contrôle du courant de densité 7-43
7.3.6 Bassin de Piégeage de Sédiments 7-48
7.3.7 Régularisation de l'Oued 7-51
7.4 ..... Prévision des effets à long terme de l'atténuation des sédiments par des mesures de contrôle des sédiments 7-52
7.4.1 Conditions des prévisions 7-52
7.4.2 Résultats des simulations 7-56
7.5 ..... Examen de la liste des priorités 7-60
7.5.1 Liste complète de contre-mesures 7-60
7.5.2 Contre-mesures du menu prioritaire 7-61
7.6 ..... Utilisation des Sédiments Excavés 7-65
7.6.1 Menu pour l'Utilisation Générale 7-65
7.6.2 Essais In Situ pour l'Utilisation des Sédiments du Barrage de Sidi Salem 7-66

CHAPITRE 8CONSIDERATIONS DE MESURES DE DRAGAGE/EXCAVATION DES SEDIMENTS 8-1
8.1 ..... Etat Actuel du Dragage en Tunisie et dans les Pays Voisins 8-1
8.2 ..... Etat de Base 8-2
8.2.1 Définition des Zones 8-2
8.2.2 Conditions de Construction pour Dragage et Excavation.....8-2
8.2.3 Nécessité d'évacuation des sédiments dans chaque zone.....8-3

Non publique

CHAPITRE 9 FONCTIONNEMENT ET ENTRETIEN DU BARRAGE 9-1
9.1 ..... Aperçu de l'operation fonctionnement du contrôle du courant de densité à travers le tunnel de dérivation des sédiments.....9-1
9.1.1 Hypothèses 9-1
9.1.2 Résultats de l'étude sur le contrôle du débit de densité 9-3
9.1.3 Méthodes de surveillance des dispositifs de contrôle de la densité d'écoulement.....9-10
9.2 ..... Vérification de l'efficacité de l'opération d'évacuation des sédiments par le tunnel de dérivation en cas de crues.....9-14
9.3 ..... Entretien de l'installation de contrôle des sédiments 9-16
9.3.1 Installation existante de décharge des sédiments.....9-16
9.3.2 Déversoir 9-17
9.3.3 Tunnel de dérivation des sédiments.....9-18
9.3.4 Capteur de sable 9-20

CHAPITRE 10EXAMINATION OF THE IMPACT OF SEDIMENTATION ON UPSTREAM AND DOWNSTREAM 10-1
10.1 ... Prise en compte des mesures relatives au remous 10-1
10.1.1 État actuel du phénomène de remous dans le barrage de Sidi Salem 10-1
10.1.2 Méthode d'analyse 10-2
10.1.3 Examen des résultats 10-7

10.1.4 Géométrie de forage optimale 10-12
10.2 ... Evacuation des Sédiments en Aval 10-14
10.2.1 Hypothèses de la Simulation 10-14
10.2.2 Impacts de l'Evacuation des Sédiments en Aval 10-16
10.2.3 Impacts d'Amélioration de l'Oued par Gestion des Sédiments et par Mesures contre la Sédimentation 10-18
10.2.4 Étude de cas sur l'effet et l'impact d'une inondation de 500 m3/s 10-19

CHAPTER 11 PLAN D'AMENAGEMENT DE L'OUED DANS LA ZONED1 11-1
11.1 ... Géomorphologie et Géologie de la Zone D1 11-1
11.2 ... Etude Géologique 11-2
11.2.1 Objectif de l'enquête 11-2
11.2.2 Emplacement des sondages 11-2
11.2.3 Distribution géologique 11-4
11.2.4 Résultats de l'Essai au Pénétromètre Standard 11-8
11.2.5 Niveau des eaux souterraines 11-9
11.2.6 Résultats d'Essai de Laboratoire 11-9
11.3 ... Analyse Géotechnique 11-13
11.3.1 Distribution Géologique 11-13
11.3.2 Caractéristiques Techniques pour Chaque Type de Sol 11-15
11.4 ... Plan d'amélioration de la zone D1 11-18
11.4.1 Conditions de base du plan d'aménagementde l'oued 11-18
11.4.2 Caractéristiques du canal actuel 11-20
11.4.3 Examen de la capacité de débit actuel 11-27
11.4.4 Politique de base de la planification du cours d'eau 11-32
11.4.5 Conception en plan 11-34
11.4.6 Planification longitudinale 11-40
11.4.7 Planification des sections transversales 11-48
11.5 ... Ouvrage de dérivation au pont Andalou 11-53
11.5.1 Enjeux du projet de canal de dérivation Mejez EL Bab 11-54
11.5.2 Tunnel de dérivation Mejez EL Bab comme alternative 11-56
11.6 ... Contrôle des crues excessives par bassin de retardement 11-67
11.7 ... Étude comparative des plans proposés 11-69
11.8 ... Recherche sur le plan d'occupation du sol 11-71
11.8.1 Objectif du plan d'occupation des sols 11-71
11.8.2 Situation actuelle de l'occupation du sol dans la zone cible 11-72
11.8.3 Relation entre l'utilisation des sols et l'amélioration des rivières 11-80
11.8.4 Assurer la sécurité de l'utilisation des terres 11-82

11.8.5 Réglementation architecturale relative à la gestion des catastrophes 11-85
11.8.6 Questions et défis liés aux lois et règlements en matière d'occupation du sol 11-86
11.8.7 Vision du développement régional pour l'utilisation future des terres 11-87
11.8.8 Évaluation préliminaire du programme de développement potentiel proposé 11-95
11.8.9 Ordre de priorité des programmes selon le résultat de l'évaluation 11-102
11.8.10 Problèmes concernés par la mise en œuvre du programme 11-103

CHAPITRE 12 PLAN D'AMENAGEMENT DE L'OUED DANS LA ZONE D1 12-1
12.1 ... Analyse des inondations 12-1
12.1.1 Composition du modèle d'inondation 12-2
12.2 ... Création d'un modèle d'inondation 12-3
12.2.2 Conditions du modèle d'inondation 12-12
12.3 ... Analyse des crues par la crue de 2003 12-15
12.4 ... Résultats des inondations par chaque période de retour 12-17
12.4.1 Résultats de l'inondation dans le calcul des mailles de 270m par chaque période de retour 12-17
12.5 ... Analyse du calcul de l'inondation 12-27
12.5.1 Comparaison de chaque cas 12-27
12.5.2 Profil en long du débit de pointe et effet des bassins de rétention 12-28
12.6 ... Résultats des inondations en cas de mise en œuvre d'un raccourci dans chaque section 12-35

CHAPITRE 13 PLAND'AMENAGEMENT DE L'OUED DANS LA ZONE D1 13-1
13.1 ... Conditions de base 13-1
13.1.1 Données de débit pour le bassin de l'oued Mejerda (en aval du barrage de Sidi Salem) ... 13-1
13.1.2 Coupe longitudinale et coupe transversale de l'oued 13-2
13.1.3 Degré de la variation du lit de l'oued 13-6
13.1.4 Données de distribution granulométrique 13-9
13.2 ... Analyse unidimensionnelle de la variation du lit de l'oued 13-12
13.2.1 Méthodologie 13-12
13.2.2 Conditions d'analyse 13-13
13.2.3 Résultat de l'analyse 13-16
13.3 ... Prévisions futures 13-24
13.3.4 Conditions pour les prévisions futures 13-24
13.3.5 Résultat des prévisions futures 13-26
13.4 ... Mesures de contrôle des sédiments 13-32
13.4.1 Analyse de sensibilité pour le contrôle des sédiments au barrage de Sidi Salem 13-32
13.4.2 Analyse de l'impact de l'aménagement de l'oued 13-38

13.4.3 Étude sur l'effet de l'évacuation des sédiments au barrage de Larrousia 13-44
13.4.4 Impacts et contremesures relatifs au réaménagement du canal et aux mesures de lutte contre la sédimentation 13-50
13.4.5 Résumé de l'analyse de la variation du lit de l'oued.....13-50

République Tunisienne
Etude Préparatoire du Projet de Gestion Integrée de la Sédimentation
du Barrage Polyvalent de Sidi Salem

Liste des Figures

FIGURE 1 1 CHANGEMENTS ANNUELS MOYENS EN SEDIMENTATION ET EN CAPACITE DE LA RETENUE 1-1
FIGURE 1 2 SCENARIO DE BASE DES MESURES DE LUTTE CONTRE LA SEDIMENTATION PROJETES DANS LA RETENUE DANS L'ETUDE SAPI 1-2
FIGURE 1 3 PROJETS DE LUTTE CONTRE LES INONDATIONS DANS LE BASSIN DE LA MEJERDA 1-3
FIGURE 1 4 SCHEMA DU BASSIN DE L'OUED MEJERDA 1-4
FIGURE 1 5 PROGRAMME DE TRAVAIL 1-5
FIGURE 1 6 STRUCTURE DE MISE EN ŒUVRE 1-6

FIGURE 2 1 CARTE TOPOGRAPHIQUE DU BASIN DE LA MEDJERDA (TUNISIE) 2-1
FIGURE 2 2 EVOLUTION DE LA REGRESSION MARINE DANS LA BAIE DE TUNIS (UTIQUE) 2-2
FIGURE 2 3 PRECIPITATION ET TEMPERATURE EN TUNISIE (MOYENNE DE 50 ANS) 2-2
FIGURE 2 4 TECTONIQUE DU BASIN DE MEDJERDA 2-3
FIGURE 2 5 CARTE GEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE 2-4
FIGURE 2 6 OCCUPATION DU SOL DANS LE BASSIN DE MEDJERDA 2-4
FIGURE 2 7 TENDANCES DEMOGRAPHIQUES EN TUNISIE 2-5
FIGURE 2 8 VARIATIONS DE LA VALEUR AJOUTEE PAR SECTEUR D'ACTIVITE AUX PRIX COURANTS ET AUX TAUX DE CROISSANCE DU PIB 2-7
FIGURE 2 9 VALEUR AJOUTEE BRUTE PAR SECTEUR D'ACTIVITE AUX PRIX COURANTS. 2-8
FIGURE 2 10 OCCUPATION DE SOL DANS LE GOUVERNORAT DE BEJA 2-9
FIGURE 2 11 OCCUPATION DE SOL DANS LE GOUVERNORAT DE MANOUBA 2-10
FIGURE 2 12 EMPLOI PAR SECTEUR D'ACTIVITE DANS LES GOUVERNORATS ET DELEGATIONS CONCERNES 2-11
FIGURE 2 13 POTENTIEL DES RESSOURCES EN EAU DE LA TUNISIE 2-11
FIGURE 2 14 POURCENTAGE MOYEN DES SOURCES D'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE 2-12
FIGURE 2 15 TENDANCES EN MATIERE D'APPROVISIONNEMENT 2-13
FIGURE 2 16 SYSTEME D'APPROVISIONNEMENT COMPLET EN EAU EN TUNISIE 2-15
FIGURE 2 17 POLES DE PRODUCTION DE LA SONEDE 2-17
FIGURE 2 18 LISTE DES BARRAGES GERES OU PLANIFIES PAR LE MDA 2-18

FIGURE 2 19 PLAN DE RENFORCEMENT DU SYSTEME D'APPROVISIONNEMENT EN EAU DU MINISTERE DE L'AGRICULTURE (2015 ET 2050) 2-18
FIGURE 2 20 SYSTEME DE RESEAU D'APPROVISIONNEMENT EN EAU DANS LA REGION DU NORD ET CLASSIFICATION DE GESTION 2-19
FIGURE 2 21 EVOLUTION DES PRELEVEMENTS D'EAU DE SURFACE DE LA SONEDE DANS LA REGION NORD (2010~2021) 2-20
FIGURE 2 22 CARTE DES EMPLACEMENTS DES BARRAGES DANS LE BASSIN DE LA MEJERDA 2-21
FIGURE 2 23 SYSTEME D'APPROVISIONNEMENT DU CANAL MEDJERDA CAP-BON 2-22
FIGURE 2 24 RENFORCEMENT DE L'ALIMENTATION EN EAU DU CANAL MEDJERDA CAP-BON PAR L'ALIMENTATION EN EAU DU NORD 2-23
FIGURE 2 25 PRISE D'EAU POTABLE A LA STATION DE POMPAGE DE BEJAOUA (2009-2019) 2-23
FIGURE 2 26 CONTRIBUTION DU BARRAGE DE SIDI SALEM A L'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE 2-24
FIGURE 2 27 STATIONS DE POMPAGE EXISTANTES DANS LA ZONE D1 ET LA ZONE D2 ... 2-24
FIGURE 2 28 LOCALISATION DES INSTALLATIONS D'IRRIGATION DANS LA ZONE D1 2-25
FIGURE 2 29 EMPLACEMENT DES INSTALLATIONS D'IRRIGATION DANS LA ZONE D2 2-27
FIGURE 2 30 COURS DU CANAL DE DRAINAGE 2-29
FIGURE 2 31 APERÇU DES TRAVAUX DANS LE COURS INFERIEUR D'OUED MEDJERDA APRES 1952 2-29
FIGURE 2 32 ÉTAT D'AVANCEMENT DU DEVELOPPEMENT DES BARRAGES EN TUNISIE 2-32
FIGURE 2 33 RAPPORT COUT-BENEFICE (B/C) POUR CHAQUE ZONE DANS LE PLAN DIRECTEUR DE 2008 2-40
FIGURE 2 34 APERÇU DU PROJET DE CONTROLE DE CRUE DANS LA ZONE D2 2-44
FIGURE 2 35 ALLOCATION DES DEBITS DE CONCEPTION DANS LA ZONE D2 (PROBABILITE 1/10-ANS) 2-45
FIGURE 2 36 EMPLACEMENT DU BARRAGE DE LAROUSSIA 2-46
FIGURE 2 37 VUE EN PLAN DU BARRAGE LAROUSSIA 2-46
FIGURE 2 38 VUE EN COUPE DU BARRAGE LAROUSSIA (VUE A PARTIR DE L'AVAL) 2-47
FIGURE 2 39 APERÇUE DU PROJET D'ENTRETIEN DU BARRAGE LAROUSSIA 2-48

FIGURE 3 1 DIAGRAMME DE DISTRIBUTION DES DEBITS PAR LE P/D ET L'ETUDE DE FAISABILITE EN AVAL DU BARRAGE DE SIDI SALEM 3-1
FIGURE 3 2 DIAGRAMME DE DISTRIBUTION DU DEBIT DU P/D ET DE SAPI 3-2
FIGURE 3 3 EXEMPLE DE DONNEES PLUVIOMETRIQUES EXCLUES EN RAISON D'UNE FAIBLE FIABILITE (SEULE LA STATION D'AIN HAMRAYA AVEC UN CERCLE ROUGE SUR LE NOM DE LA STATION EST DE 80 MM, CE QUI EST JUGE INEXACT PAR RAPPORT AUX AUTRES ENREGISTREMENTS D'OBSERVATION A PROXIMITE) 3-4

FIGURE 3 4 STATIONS PLUVIOMETRIQUES UTILISEES POUR CREER DES GRILLES DE DONNEES DE PLUIE ET LA DISTRIBUTION DES DONNEES DE REANALYSE.....3-5
FIGURE 3 5 VALEUR CLIMATIQUE DES PRECIPITATIONS ANNUELLES SUR 35 ANS 3-5
FIGURE 3 6 VALEUR CLIMATIQUE DE L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE SUR 35 ANS3-6
FIGURE 3 7 CARTE ISOHYETE DU BASSIN DE LA MEJERDA (PRECIPITATIONS ANNUELLES MOYENNES : 1949-2006).....3-6
FIGURE 3 8 VARIATION MENSUELLE DES PRECIPITATIONS DANS DIFFERENTES REGIONS3-7
FIGURE 3 9 PRECIPITATIONS ANNUELLES MOYENNES DANS LES STATIONS DU TERRITOIRE ALGERIEN DU BASSIN DE LA MEJERDA.....3-8
FIGURE 3 10 PLUVIOMETRIE MENSUELLE MOYENNE AUX STATIONS TYPIQUES DU TERRITOIRE ALGERIEN DU BASSIN DE LA MEJERDA.....3-9
FIGURE 3 11 DEBITS ANNUELS MAXIMUMS ENREGISTRES ET MOIS DE LEUR OCCURRENCE.....3-10
FIGURE 3 12 PLAN DU BASSIN DE LA MEJERDA 3-12
FIGURE 3 13 PROFILS DE LA MEJERDA ET DE SES PRINCIPAUX AFFLUENTS 3-14
FIGURE 3 14 PROFIL DU CANAL DE L'OUED ET CAPACITE DE DEBIT D'EAU EN 2007 (OUED MEJERDA, PARTIE SUPERIEURE DU BARRAGE SIDI SALEM) 3-16
FIGURE 3 15 PROFIL DU CANAL DE L'OUED ET CAPACITE DE DEBIT EN 2007 (OUED MEJERDA, PARTIE INFERIEURE DU BARRAGE DE SIDI SALEM).....3-17
FIGURE 3 16 CARTE DE LA ZONE D'INONDATION POUR LA CRUE DE MARS 1973 3-19
FIGURE 3 17 HYDROGRAPHIES DES DEBITS ENTRANTS ET SORTANTS DU BARRAGE DE SIDI SALEM (CRUE DE JANVIER 2003) 3-20
FIGURE 3 18 RELATIONS ENTRE LES PRECIPITATIONS, LE NIVEAU D'EAU DE LA RETENUE ET LE DEBIT SORTANT DU BARRAGE DE SIDI SALEM (INONDATION DE JANVIER 2004) 3-21
FIGURE 3 19 POURCENTAGE DE DISPONIBILITE DES MESURES DES PRECIPITATIONS PAR STATION ET PAR AN (1/2).....3-24
FIGURE 3 20 POURCENTAGE DE DISPONIBILITE DES MESURES DES PRECIPITATIONS PAR STATION ET PAR AN (2/2).....3-25
FIGURE 3 21 EXEMPLE DE VERIFICATION VISUELLE D'UNE VALEUR ABERRANTE DETECTEE STATISTIQUEMENT PAR COMPARAISON AVEC LES MESURES DES PRECIPITATIONS DU MEME JOUR DES STATIONS VOISINES 3-26
FIGURE 3 22 SCHEMA DE L'EMPLACEMENT DES STATIONS DE MESURE IN-SITU DISPONIBLES ET D'UNE GRILLE DE 0,1 3-27
FIGURE 3 23 LOCALISATION DES STATIONS DONT LES MESURES DE PLUIE ETAIENT DISPONIBLES POUR LE PROJET ET LOCALISATION DES PSEUDO-STATIONS QUI ONT ETE CREEES AVEC LES DONNEES WFDEI DE LA GRILLE CORRESPONDANTE POUR EFFECTUER L'INTERPOLATION EN UN ENSEMBLE DE DONNEES PLUVIOMETRIQUES EN GRILLES DE 0,13-28

FIGURE 3 24 PLUVIOMETRIE MOYENNE ANNUELLE A LONG TERME (DE 1979 A 2013) CALCULEE A PARTIR DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES EN GRILLES CREEES POUR LE PROJET 3-29
FIGURE 3 25 LOCALISATION DES STATIONS AYANT LES PLUS LONGS ENREGISTREMENTS DE DEBITS JOURNALIERS 3-30
FIGURE 3 26 MODELE HEC-HMS DES SOUS-BASSINS (31 SOUS-BASSINS) 3-32
FIGURE 3 27 RESULTATS DE CALIBRAGE DU MODELE HEC-HMS 3-35
FIGURE 3 28 COMPARAISON DES RESULTATS DE CALIBRAGE DES MODELES POUR CHAQUE ETUDE (JENDOUBA) 3-36
FIGURE 3 29 COMPARAISON DES RESULTATS DE CALIBRAGE DES MODELES POUR CHAQUE ETUDE (BOU SALEM) 3-36
FIGURE 3 30 SUBDIVISION DU BASSIN DE MEDJERDA EN CINQ ZONES HYDROLOGIQUES 3-37
FIGURE 3 31 CORRELATION ENTRE LES DEBITS DE POINTE OBSERVES ET LES PRECIPITATIONS ACCUMULEES POUR LA STATION DE JENDOUBA SITUEE AU NIVEAU DE L'EXUTOIRE DE LA ZONE U1 3-37
FIGURE 3 32 CORRELATION ENTRE LES DEBITS DE POINTE OBSERVES ET LES PRECIPITATIONS ACCUMULEES POUR LA STATION DE MELLEGUE SITUEE AU NIVEAU DE LA ZONE M 3-38
FIGURE 3 33 CORRELATION ENTRE LES DEBITS DE POINTE OBSERVES ET LES PRECIPITATIONS ACCUMULEES POUR LE BARRAGE DE SIDI SALEM SITUE DANS LA ZONE U2 3-38
FIGURE 3 34 CORRELATION ENTRE LES DEBITS DE POINTE OBSERVES ET LES PRECIPITATIONS ACCUMULEES DE LA STATION EL HERRI SITUEE DANS LA ZONE D1 3-39
FIGURE 3 35 CORRELATION ENTRE LES DEBITS DE POINTE OBSERVES ET LES PRECIPITATIONS ACCUMULEES DE LA STATION JEDEIDA VILLE SITUEE DANS LA ZONE D2 3-39
FIGURE 3 36 RESULTATS D'AJUSTEMENT DES PRECIPITATIONS ANNUELLES MAXIMALES ET DU MODELE DE LA LOI DE PROBABILITE (ZONE U1) 3-42
FIGURE 3 37 RESULTATS D'AJUSTEMENT DES PRECIPITATIONS ANNUELLES MAXIMALES ET DU MODELE DE LA LOI DE PROBABILITE (ZONE M) 3-43
FIGURE 3 38 RESULTATS D'AJUSTEMENT DES PRECIPITATIONS ANNUELLES MAXIMALES ET DU MODELE DE LA LOI DE PROBABILITE (ZONE U2) 3-44
FIGURE 3 39 RESULTATS D'AJUSTEMENT DES PRECIPITATIONS ANNUELLES MAXIMALES ET DU MODELE DE LA LOI DE PROBABILITE (ZONE D1) 3-45
FIGURE 3 40 RESULTATS D'AJUSTEMENT DES PRECIPITATIONS ANNUELLES MAXIMALES ET DU MODELE DE LA LOI DE PROBABILITE (ZONE D2) 3-46
FIGURE 3 41 COMPARAISON ENTRE LES INTENSITES DES PRECIPITATIONS CALCULEES DANS LA PRESENTE ETUDE ET CELLES DETERMINEES DANS LE PLAN DIRECTEUR DE 2009 3-47

FIGURE 3 42 DETERMINATION DE LA CRUE DE CONCEPTION SELON " LES SPECIFICATIONS TECHNIQUES POUR LES OUVRAGES FLUVIAUX”....3-52
FIGURE 3 43 PRINCIPE DE VERIFICATION DES PRECIPITATIONS ATYPIQUES....3-53
FIGURE 3 44 EXEMPLE DE PRECIPITATIONS DE CONCEPTION REJETEES PAR LA DISTRIBUTION TEMPORELLE (ZONE-U1+M+U2+D1)....3-55
FIGURE 3 45 DEBIT DE POINTE DE CRUE CALCULE ET DEBIT DE POINTE DE CRUE MAXIMUM PLANIFIE APRES ELIMINATION DES PRECIPITATIONS ATYPIQUES, MOYENNES AVEC LES CADRES DE PRESENTATION ET COUVERTURE DE 75%....3-64
FIGURE 3 46 RELATION ENTRE LE DEBIT SPECIFIQUE DU DEBIT DE POINTE MAXIMAL PREVU ET LA SURFACE DE DRAINAGE APRES L’ELIMINATION DES PRECIPITATIONS ATYPIQUES....3-65
FIGURE 3 47 DISTRIBUTION DES DEBITS PROBABLES (AVEC BARRAGE) [APRES ELIMINATION DES PRECIPITATIONS ATYPIQUES DE CONCEPTION]....3-67
FIGURE 3 48 PLAN DE SITUATION DES BARRAGES EXISTANTS ET PROJETES DANS LE BASSIN DE MEDJERDA (SCHEMA CONCEPTUEL)....3-68
FIGURE 3 49 PLAN DE SITUATION DES BARRAGES EXISTANTS ET PROJETES DANS LE BASSIN DE MEDJERDA....3-69
FIGURE 3 50 RESULTAT DE CALIBRAGE DE LA SIMULATION D’EXPLOITATION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE MELLEGUE....3-81
FIGURE 3 51 COURBE DU NIVEAU DE LA RETENUE – SUPERFICIE – CAPACITE DU BARRAGE DE MELLEGUE (2014)....3-82
FIGURE 3 52 RESULTAT DE CALIBRAGE DE LA SIMULATION D’EXPLOITATION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE SIDI SALEM....3-82
FIGURE 3 53 NIVEAUX D’EAU DE LA RETENUE ET CAPACITES DE STOCKAGE DU BARRAGE DE SIDI SALEM....3-83
FIGURE 3 54 COURBE DU NIVEAU D’EAU – SUPERFICIE – CAPACITE DU BARRAGE DE SIDI SALEM (2018)....3-83
FIGURE 3 55 RESULTAT DE CALIBRAGE DE LA SIMULATION D’EXPLOITATION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE SILIANA (1/2)....3-84
FIGURE 3 56 RESULTAT DE CALIBRAGE DE LA SIMULATION D’EXPLOITATION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE SILIANA (2/2)....3-84
FIGURE 3 57 COURBE DU NIVEAU D’EAU– SUPERFICIE – CAPACITE DU BARRAGE DE SILIANA (2012)....3-85
FIGURE 3 58 CRUE PROBABLE ET HYDROGRAMME DE CMP POUR LE MODELE DE LA CRUE DE JANVIER 2003 AU NIVEAU DU BARRAGE MELLEGUE....3-90
FIGURE 3 59 HYDROGRAMME DE LA CRUE DE CONCEPTION ET CMP PAR UTILISATION DU MODELE DE LA CRUE DE MARS 2003 POUR LE BARRAGE DE MELLEGUE....3-90

FIGURE 3 60 HYDROGRAMME DE CRUE PROBABLE ET DE CMP POUR LE MODELE DE LA CRUE DE JANVIER 2003 AU BARRAGE DE SIDI SALEM 3-90
FIGURE 3 61 HYDROGRAMME DE LA CRUE DE CONCEPTION ET CMP PAR UTILISATION DU MODELE DE LA CRUE D'AVRIL 2009 POUR LE BARRAGE DE SIDI SALEM 3-91
FIGURE 3 62 HYDROGRAMME DE CRUE PROBABLE ET DE CMP (MODELE DE LA CRUE DE JANVIER 2003) AU BARRAGE DE SILIANA 3-91
FIGURE 3 63 HYDROGRAMME DE LA CRUE DE CONCEPTION ET CMP (MODELE DE LA CRUE DE MARS 2007) POUR LE BARRAGE DE SILIANA 3-91
FIGURE 3 64 RESULTATS DES CALCULS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE MELLEGUE (REGLES ACTUELLES/ CARACTERISTIQUES ACTUELLES, CRUE DE CONCEPTION PROBABLE DE 1/200) 3-93
FIGURE 3 65 RESULTATS DES CALCULS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE MELLEGUE (REGLES ACTUELLES/ CARACTERISTIQUES ACTUELLES, CRUE DE CONCEPTION PROBABLE DE 1/500) 3-94
FIGURE 3 66 RESULTATS DES CALCULS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE MELLEGUE (REGLES ACTUELLES/ CARACTERISTIQUES ACTUELLES, CRUE DE CONCEPTION PROBABLE DE 1/1,000) 3-94
FIGURE 3 67 RESULTATS DES CALCULS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE MELLEGUE (REGLES ACTUELLES/ CARACTERISTIQUES ACTUELLES, CRUE DE CONCEPTION PROBABLE DE 1/10,000) 3-95
FIGURE 3 68 RESULTATS DES CALCULS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE MELLEGUE (REGLES ACTUELLES/ CARACTERISTIQUES ACTUELLES, CRUE DE CONCEPTION DE CMP) 3-95
FIGURE 3 69 RESULTATS DE CALCUL D'EXPLOITATION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE MELLEGUE (REGLES PROPOSEES/ ELEVATION DE LA CRETE DU BARRAGE DE +1.0M, CRUE PROBABLE DE 1/1000 ; MODELE DE CRUE DE CONCEPTION) 3-97
FIGURE 3 70 RESULTATS DE CALCUL D'EXPLOITATION DE LA RETENUE EN PERIODE DE CRUE POUR LE BARRAGE DE MELLEGUE (REGLES PROPOSEES/ ELEVATION DE LA CRETE DU BARRAGE DE +1.0MCRUE PROBABLE DE 1/1000 ; MODELE DE LA CRUE DE JANVIER 2003) 3-97
FIGURE 3 71 RESULTATS DES CALCULS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE POUR LES CRUES POUR LE BARRAGE DE SIDI SALEM (REGLES ACTUELLES/ CARACTERISTIQUES ACTUELLES, CRUE PROBABLE DE CONCEPTION DE 1/1,000) 3-99
FIGURE 3 72 RESULTATS DES CALCULS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE POUR LES CRUES POUR LE BARRAGE DE SIDI SALEM (REGLES ACTUELLES/ CARACTERISTIQUES ACTUELLES, CRUE PROBABLE DE CONCEPTION DE 1/10,000) 3-100

FIGURE 3 73 RESULTATS DES CALCULS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE POUR LES CRUES POUR LE BARRAGE DE SIDI SALEM (REGLES ACTUELLES/ CARACTERISTIQUES ACTUELLES, CRUE PROBABLE DE CONCEPTION DE CMP) 3-100
FIGURE 3 74 RESULTATS DES CALCULS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE POUR LES CRUES POUR LE BARRAGE DE SIDI SALEM (REGLES ACTUELLES/ CARACTERISTIQUES ACTUELLES, RESULTATS ENREGISTRES DE LA CRUE DE JANVIER 2003) 3-101
FIGURE 3 75 RESULTATS DES CALCULS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE POUR LES CRUES POUR LE BARRAGE DE SIDI SALEM (REGLES ACTUELLES/ CARACTERISTIQUES ACTUELLES, MODELE DE CRUE DE JANVIER 2003 POUR 1/10,000) 3-101
FIGURE 3 76 RESULTATS DES CALCULS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE POUR LES CRUES POUR LE BARRAGE DE SIDI SALEM (REGLES ACTUELLES/ CARACTERISTIQUES ACTUELLES, CRUE DE JANVIER 2003 CMP) 3-102
FIGURE 3 77 RESULTATS DES CALCULS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE SIDI SALEM (REGLES D'EXPLOITATION ACTUELLES, DEVERSOIR D'URGENCE A DOUBLE CAPACITE, CRUE DE CONCEPTION DE PROBABILITE DE 1/10 000 ANS) 3-104
FIGURE 3 78 RESULTATS DES CALCULS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE SIDI SALEM (REGLES PROPOSEES/CARACTERISTIQUES PROPOSEES, HAUTEUR DU BARRAGE + 0.8M DE SURELEVATION, CAPACITE QUINTUPLEE DU DEVERSOIR D'URGENCE, CRUE DE CONCEPTION CMP) 3-106
FIGURE 3 79 RESULTATS DES CALCULS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE SIDI SALEM (REGLES PROPOSEES/CARACTERISTIQUES PROPOSEES, HAUTEUR DU BARRAGE + 0.8M DE SURELEVATION, CAPACITE QUINTUPLEE DU DEVERSOIR D'URGENCE, MODELE DE CRUE DE JANVIER 2003 CMP) 3-106
FIGURE 3 80 RESULTATS DES CALCULS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE SIDI SALEM (REGLES PROPOSEES/CARACTERISTIQUES PROPOSEES, HAUTEUR DU BARRAGE + 0.8M DE SURELEVATION, CAPACITE QUINTUPLEE DU DEVERSOIR D'URGENCE, NEL (NIVEAU DE LA CRETE DU DEVERSOIR REGULIER DE TYPE MORNING GLORY + 1.7M DE SURELEVATION, CRUE DE CONCEPTION CMP) 3-107
FIGURE 3 81 RESULTATS DE CALCULS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE SILIANA (REGLES ACTUELLES/ CARACTERISTIQUES ACTUELLES, CRUE DE CONCEPTION A 1/500 DE PROBABILITE) 3-108
FIGURE 3 82 RESULTATS DE CALCULS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE SILIANA (REGLES ACTUELLES/ CARACTERISTIQUES ACTUELLES, CRUE DE CONCEPTION A 1/1 000 DE PROBABILITE) 3-109
FIGURE 3 83 RESULTATS DE CALCULS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE SILIANA (REGLES ACTUELLES/ CARACTERISTIQUES ACTUELLES, CRUE DE CONCEPTION A 1/10 000 DE PROBABILITE) 3-109

FIGURE 3 84 RESULTATS DE CALCULS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE SILIANA (REGLES ACTUELLES/ CARACTERISTIQUES ACTUELLES, CRUE DE CONCEPTION CMP) 3-110
FIGURE 3 85 RESULTATS DE CALCULS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE SILIANA (REGLES ACTUELLES/ CARACTERISTIQUES ACTUELLES, MODELE DE CRUE DE JANVIER 2003 A 1/500) 3-110
FIGURE 3 86 RESULTATS DE CALCULS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE SILIANA (REGLES ACTUELLES/ CARACTERISTIQUES ACTUELLES, MODELE DE CRUE DE JANVIER 2003 A 1/1 000) 3-111
FIGURE 3 87 RESULTATS DE CALCULS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE SILIANA (REGLES ACTUELLES/ CARACTERISTIQUES ACTUELLES, MODELE DE CRUE DE JANVIER 2003 A 1/10 000) 3-111
FIGURE 3 88 RESULTATS DE CALCULS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE SILIANA (REGLES ACTUELLES/ CARACTERISTIQUES ACTUELLES, MODELE DE CRUE DE JANVIER 2003 CMP) 3-112
FIGURE 3 89 RESULTATS DE CALCULS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE SILIANA (REGLES ACTUELLES/ CARACTERISTIQUES PROPOSEES, HAUTEUR DU BARRAGE+0.3M DE SURELEVATION, PAS DE CHANGEMENT POUR LE DEVERSOIR D'URGENCE, MODELE DE CRUE DE CONCEPTION DE 1/10 000) 3-112
FIGURE 3 90 RESULTATS DE CALCULS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE SILIANA (REGLES ACTUELLES/ CARACTERISTIQUES PROPOSEES, PAS DE CHANGEMENT POUR LA HAUTEUR DU BARRAGE, AUGMENTATION 1.1 FOIS DU DEVERSOIR D'URGENCE, MODELE DE CRUE DE CONCEPTION DE 1/10 000) 3-113
FIGURE 3 91 RESULTATS DE CALCULS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE SILIANA (REGLES ACTUELLES/ CARACTERISTIQUES PROPOSEES, HAUTEUR DU BARRAGE+1.6M DE SURELEVATION, CAPACITE DU DEVERSOIR D'URGENCE DOUBLEE, MODELE DE CRUE DE CONCEPTION DE 1/10,000) 3-115
FIGURE 3 92 RESULTATS DE CALCULS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE SILIANA (REGLES ACTUELLES/ CARACTERISTIQUES PROPOSEES, HAUTEUR DU BARRAGE+1.6M DE SURELEVATION, CAPACITE DU DEVERSOIR D'URGENCE DOUBLEE, MODELE DE LA CRUE DE JANVIER 2003 DE 1/10,000) 3-115

FIGURE 4 1 SCHEMA DES TYPES D'INCERTITUDE ET DE LEUR AMPLEUR 4-1
FIGURE 4 2 IMAGE D'ECRAN DE NK-CLIMVAULT 4-3
FIGURE 4 3 ÉVOLUTION DE LA PLUVIOMETRIE ANNUELLE MOYENNE POUR LES SCENARIOS CLIMATIQUES FUTURS 4-7
FIGURE 4 4 CHANGEMENTS DANS LE D99 POUR LES FUTURS SCENARIOS CLIMATIQUES 4-8
FIGURE 4 5 CHANGEMENTS DANS LE R99 POUR LES FUTURS SCENARIOS CLIMATIQUES 4-9

FIGURE 4 6 ANALYSE D'ENSEMBLE DU TAUX DE CHANGEMENT DE L'INTENSITE DES PRECIPITATIONS PROBABLES POUR LES SCENARIOS CLIMATIQUES FUTURS POUR LE BLOC M 4-10
FIGURE 4 7 ANALYSE D'ENSEMBLE DU TAUX DE CHANGEMENT DE L'INTENSITE DES PRECIPITATIONS PROBABLES POUR LES SCENARIOS CLIMATIQUES FUTURS POUR LE BLOC U1 4-11
FIGURE 4 8 ANALYSE D'ENSEMBLE DU TAUX DE CHANGEMENT DE L'INTENSITE DES PRECIPITATIONS PROBABLES POUR LES SCENARIOS CLIMATIQUES FUTURS POUR LE BLOC U1-U2-M 4-12
FIGURE 4 9 ANALYSE D'ENSEMBLE DU TAUX DE CHANGEMENT DE L'INTENSITE DES PRECIPITATIONS PROBABLES POUR LES SCENARIOS CLIMATIQUES FUTURS POUR LE BLOC U1-U2-M-D1 4-13
FIGURE 4 10 ANALYSE D'ENSEMBLE DU TAUX DE CHANGEMENT DE L'INTENSITE DES PRECIPITATIONS PROBABLES POUR LES SCENARIOS CLIMATIQUES FUTURS POUR LES BLOCS U1-U2-M-D1-D2 4-14

FIGURE 5 1 PLAN ET PHOTO DU BARRAGE DE SIDI SALEM 5-2
FIGURE 5 2 REPARTITION DES CAPACITES DE LA RETENUE DU BARRAGE DE SIDI SALEM 5-3
FIGURE 5 3 HISTORIQUE D'EVOLUTION DU VOLUME DE SEDIMENTATION DANS LE RESERVOIR 5-5
FIGURE 5 4 VARIATION DE LA CAPACITE DU RESERVOIR 5-6
FIGURE 5 5 HAUTEUR DES SEDIMENTS DANS LA RETENUE DE SIDI SALEM (2018) 5-6
FIGURE 5 6 ECHANTILLON DE SEDIMENT ET DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DANS CHAQUE ZONE 5-7
FIGURE 5 12 VARIATION DU PROFIL EN LONG 5-8
FIGURE 5 13 PROCESSUS DE SEDIMENTATION DANS LE REVERSOIR DE SIDI SALEM 5-9
FIGURE 5 7 ETAT DE LA SEDIMENTATION AUX ALENTOURS DES INSTALLATIONS DU BARRAGE (PLAN CAVALIER) 5-9
FIGURE 5 8 FORME DE LA SEDIMENTATION AUX ALENTOURS DE L'INSTALLATION DE PRISE (JANVIER 2020) 5-10
FIGURE 5 9 EMPLACEMENT DES LEVES DCP 5-11
FIGURE 5 10 RESULTATS DU LEVE DCP 5-12
FIGURE 5 11 COUPE GEOLOGIQUE ESTIMEE LE LONG DE LA COUPE DE LA VOIE FERREE 5-13
FIGURE 5 14 EROSION DES BERGES AUX ALENTOURS DU RESERVOIR DU BARRAGE DE SIDI SALEM 5-14
FIGURE 5 15 PLAN DE SITUATION DES FORAGES (TUNNEL DE DRAINAGE DE DEVIATION) 5-14
FIGURE 5 16 APERÇUE GEOLOGIQUE LE LONG DU TUNNEL DE DRAINAGE DE DERIVATION 5-15

FIGURE 5 17 REPRESENTATION SCHEMATIQUE DE FORAGE POUR LE TUNNEL DE DERIVATION DE DRAINAGE 5-16
FIGURE 5 18 IMAGES DU NOYAU DE FORAGE DU TUNNEL DE DERIVATION DE DRAINAGE 5-16
FIGURE 5 19 ETAT GEOLOGIQUE ET DE LA ROCHE AUX ALENTOURS DE L'ENTREE DU TUNNEL DE DERIVATION DE DRAINAGE (TB-1) 5-19
FIGURE 5 20 GEOLOGIE ET ETAT DE LA ROCHE AUX ALENTOURS DE LA SORTIE DU TUNNEL DE DRAINAGE DE DERIVATION: TRACE AMONT (TB-2) 5-20
FIGURE 5 21 GEOLOGIE ET ETAT DE LA ROCHE AUX ALENTOURS DE LA SORTIE DU TUNNEL DE DRAINAGE DE DERIVATION: TRACE AVAL (TB-3) 5-21
FIGURE 5 22 COUPE TRANSVERSALE GEOLOGIQUE ESTIMEE LE LONG DU TUNNEL PREVU 5-23
FIGURE 5 23 COUPE TRANSVERSALE GEOLOGIQUE ESTIMEE LE LONG DU TRACE PREVU DU TUNNEL 5-28
FIGURE 5 24 COUPE TRANSVERSALE GEOLOGIQUE ESTIMEE LE LONG DU TRACE PREVU TUNNEL 5-28
FIGURE 5 25 EMPLACEMENT DES FORAGES D'INVESTIGATION 5-31
FIGURE 5 26 RESULTAT DES FORAGES 5-32
FIGURE 5 27 RESULTATS DES ESSAIS DU DCP 5-33
FIGURE 5 28 RESULTAT DE DES ESSAIS 5-34
FIGURE 5 29 SECTION GEOLOGIQUE ESTIMEE PRES DU DEVERSOIR 5-34
FIGURE 5 30 SECTION GEOLOGIQUE ESTIMEE LE LONG DU DEVERSOIR PREVU (SAPI 2018) 5-35
FIGURE 5 31 CARTE TOPOGRAPHIQUE PAR ANCIENNE CARTE ET LEVE BATHYMETRIQUE 5-36
FIGURE 5 32 CARTE DE DISTRIBUTION DES VALEURS N LE LONG DU DEVERSOIR (TRACE AVAL) 5-37
FIGURE 5 33 COUPE TRANSVERSALE SCHEMATIQUE DE LA DISTRIBUTION DE LA VALEUR N DU SUBSTRATUM ROCHEUX ET DES SEDIMENTS 5-38
FIGURE 5 34 POINTS D'OBSERVATION DE LA TURBIDITE 5-39
FIGURE 5 35 EQUIPMENT D'ETUDE DE TURBIDITE INSTALLE DANS LE RESERVOIR DU BARRAGE 5-40
FIGURE 5 36 RESULTATS D'OBSERVATION CONTINUE A POINTS FIXES (JANVIER 26, 2020 - JUILLET 9, 2020) 5-42

FIGURE 6 1 NIVEAU DEBIT ENTRANT/SORTANT AU BARRAGE DE SIDI SALEM (1982-2017) 6-2
FIGURE 6 2 RESULTATS DU CALCUL DE LA FORME DE LA SEDIMENTATION 6-3
FIGURE 6 3 RESULTATS DU CALCUL DU VOLUME DE SEDIMENTATION PAR REPARTITION DE LA CAPACITE DE STOCKAGE DE L'EAU 6-3
FIGURE 6 4 ÉVOLUTION HISTORIQUE DU VOLUME DE SEDIMENTATION ANNUEL ET CUMULE AU BARRAGE DE SIDI SALEM 6-4

FIGURE 6 5 ÉVOLUTION HISTORIQUE DU BILAN ANNUEL DE LA SEDIMENTATION AU BARRAGE DE SIDI SALEM (PERIODE COMPLETE) 6-5
FIGURE 6 6 ÉVOLUTION HISTORIQUE DU BILAN ANNUEL DE LA SEDIMENTATION AU BARRAGE DE SIDI SALEM (1997-2017) 6-7
FIGURE 6 7 ÉVOLUTION HISTORIQUE DU VOLUME CUMULE DE SEDIMENTATION DANS CHAQUE ZONE 6-9
FIGURE 6 8 HYDROGRAMME/ FORME DE SEDIMENTATION/ VOLUME DE SEDIMENTATION (2003) 6-11
FIGURE 6 9 HYDROGRAMME/ FORME DE SEDIMENTATION/ VOLUME DE SEDIMENTATION (2009) 6-12
FIGURE 6 10 HYDROGRAPHE/ FORME DE SEDIMENTATION/ VOLUME DE SEDIMENTATION (2012) 6-13
FIGURE 6 11 VOLUME TOTAL ET RAPPORT DE LA SEDIMENTATION ENTRANTE PAR ECHELLE D'INONDATION (1982-2017) 6-14
FIGURE 6 12 BILAN DE LA SEDIMENTATION AU BARRAGE DE SIDI SALEM (1997-2017) ... 6-15
FIGURE 6 13 CONDITIONS DU VOLUME D'APPORT EN SEDIMENT POUR L'ANALYSE DE PREVISIONS FUTURES 6-18
FIGURE 6 14 RESULTAT DE LA SIMULATION DE PREVISION DE LA FORME DE LA SEDIMENTATION DANS LES 100 PROCHAINES ANNEES 6-19
FIGURE 6 15 RESULTAT DE LA SIMULATION DE PREVISION DU VOLUME DE SEDIMENTATION DANS LES 100 PROCHAINES ANNEES (2018-2118) 6-19
FIGURE 6 16 MODIFICATION DE LA REPARTITION DE LA CAPACITE DE STOCKAGE DE L'EAU PAR OBJECTIF 6-20
FIGURE 6 17 ÉVOLUTION DU VOLUME DE SEDIMENTATION ET DE L'ALLOCATION DE LA CAPACITE DE STOCKAGE DE L'EAU PAR OBJECTIF 6-21
FIGURE 6 18 ÉVOLUTION DU VOLUME DE SEDIMENTATION DANS CHAQUE ZONE 6-22
FIGURE 6 19 VARIATIONS PREVISIONNELLES DU VOLUME DE SEDIMENTS DANS LES ZONES DE A A C 6-23
FIGURE 6 20 VARIATION DE LA FORME DES SEDIMENTS LORS DE L'INONDATION DE 2009 (RESULTATS DE REPRODUCTION) 6-24
FIGURE 6 21 RESULTATS PREVISIONNELS DE LA SEDIMENTATION PAR ZONE (SANS CONTRE-MESURES) 6-25
FIGURE 6 22 SCENARIO DE PROGRESSION URGENTE DE LA SEDIMENTATION AVEC PRISE EN COMPTE DES RISQUES (SANS CONTRE-MESURES) 6-26
FIGURE 6 23 CHANGEMENTS DU VOLUME DE SEDIMENTATION DANS LA CAPACITE D'UTILISATION DE L'EAU EN RAISON DU SCENARIO DE PROGRESSION DE LA SEDIMENTATION 6-26

FIGURE 6 24 SCENARIO D'IMPACT SUR LA CAPACITE UTILE EN RAISON DE LA PROGRESSION DES SEDIMENTS (SANS CONTRE-MESURES : APRES 10 ANS)....6-26
FIGURE 6 25 SCENARIO D'IMPACT SUR LA CAPACITE UTILE EN RAISON DE LA PROGRESSION DES SEDIMENTS (SANS CONTRE-MESURES : APRES 30 ANS)....6-27
FIGURE 6 26 SCENARIO D'IMPACT SUR LA CAPACITE UTILE EN RAISON DE LA PROGRESSION DES SEDIMENTS (SANS CONTRE-MESURES : APRES 100 ANS)....6-27
FIGURE 6 27 CALCUL DU PHYTOPLANCTON DANS LE LAC SHINJI....6-28
FIGURE 6 28 CALCUL DE L'INTRUSION DE LA SALINITE DANS LA RIVIERE CHIKUGO....6-29
FIGURE 6 29 ZONE CIBLE POUR L'ANALYSE 3D DU DEBIT D'EAU TURBIDE....6-32
FIGURE 6 30 COMPORTEMENT POSSIBLE DES APPORTS EN EAUX TURBIDES PENDANT L'INONDATION....6-32
FIGURE 6 31 MAILLAGE DE CALCUL DE L'ANALYSE TRIDIMENSIONNELLE....6-33
FIGURE 6 32 HYDROGRAMMES DE CRUES UTILISES DANS L'ANALYSE....6-33
FIGURE 6 33 PROBABILITE D'INONDATION AU BARRAGE DE SIDI SALEM....6-34
FIGURE 6 34 HYDROGRAMMES DES INONDATIONS (JANVIER 2003)....6-41
FIGURE 6 35 HYDROGRAMMES DES INONDATIONS (FEVRIER 2015)....6-41
FIGURE 6 36 DISTRIBUTION PLANAIRE DE LA TURBIDITE DANS LA RETENUE (RESULTATS DE L'ANALYSE) (CONCENTRATION A 5,0 M AU-DESSUS DU FOND DU LAC)....6-43
FIGURE 6 37 DISTRIBUTION VERTICALE DE LA TURBIDITE DANS LA RETENUE (RESULTATS DE L'ANALYSE)....6-44
FIGURE 6 38 DISTRIBUTION VERTICALE DE LA TURBIDITE DANS LA RETENUE (RESULTATS DE L'ANALYSE)....6-45
FIGURE 6 39 ESTIMATION DU MECANISME DE TURBIDITE DES CRUES DANS LA RETENUE6-45

FIGURE 7 1 EXPLOITATION RÉELLE DE LA RETENUE DU BARRAGE DE SIDI SALEM (1982-2017)....7-2
FIGURE 7 2 VOLUME ANNUEL DE DÉBIT ET DE SORTIE DU BARRAGE DE SIDI SALEM (2000-2017)....7-3
FIGURE 7 3 RÉSULTATS DE L'EXPLOITATION RÉELLE DES INSTALLATIONS DE SORTIE DU BARRAGE DE SIDI SALEM (1983-2018)....7-5
FIGURE 7 4 TENDANCE ANNUELLE DE LA PRISE EN EAU AU BARRAGE LARROUSIA....7-6
FIGURE 7 5 EVACUATION ANNUELLE DU BARRAGE DE SIDI SALEM ET PRISE ANNUELLE AU BARRAGE DE LAROUSSIA....7-6
FIGURE 7 6 APPROVISIONNEMENT ANNUEL EN EAU AU BARRAGE DE SIDI SALEM ET PRISE ANNUELLE AU BARRAGE DE LARROUSIA....7-7
FIGURE 7 7 RÉSULTATS DE L'EXPLOITATION DU BARRAGE DE SIDI SALEM (INONDATION DE FÉVRIER 2005)....7-9

FIGURE 7 8 RÉSULTATS DE L'EXPLOITATION DU BARRAGE DE SIDI SALEM (INONDATION DE FÉVRIER 2012)....7-10
FIGURE 7 9 RÉSULTATS DE L'EXPLOITATION DU BARRAGE DE SIDI SALEM (INONDATION DE FÉVRIER 2015)....7-11
FIGURE 7 10 SIMULATION DU BILAN SÉDIMENTAIRE DU BARRAGE DE SIDI SALEM (1997 - 2017) 7-14
FIGURE 7 11 TAUX DE SÉDIMENTATION DANS CHAQUE ZONE D'APRÈS LA SIMULATION DES SÉDIMENTS....7-21
FIGURE 7 12 ILLUSTRATION DES MESURES DE LUTTE CONTRE LA SÉDIMENTATION DANS LE BARRAGE DE SIDI SALEM 7-22
FIGURE 7 13 ANALYSE DE L'IMPACT DES EAUX DE REMOUS DU DÉVERSOIR DE DÉRIVATION....7-23
FIGURE 7 14 EMPLACEMENT DE L'INSTALLATION À VANNE POUR LE DÉVERSOIR DE DÉRIVATION (PROPOSITION)....7-28
FIGURE 7 15 RELATION ENTRE L'ÉLÉVATION DE L'ENTRÉE DU TUNNEL DE CONTOURNEMENT ET LE DÉBIT DE DÉRIVATION....7-35
FIGURE 7 16 OPÉRATION DE DÉVERSEMENT DES SÉDIMENTS DANS LE TUNNEL DE DÉRIVATION DES SÉDIMENTS 7-35
FIGURE 7 17 AMPLEUR DES INONDATIONS SÉLECTIONNÉES PAR RAPPORT AUX INONDATIONS MAJEURES DU PASSÉ....7-37
FIGURE 7 18 RÉSULTAT DE LA SIMULATION OPÉRATIONNELLE - TUNNEL DE DÉRIVATION DES SÉDIMENTS (PLAN AVAL) 7-38
FIGURE 7 19 RÉSULTAT DE LA SIMULATION OPÉRATIONNELLE - TUNNEL DE DÉRIVATION DES SÉDIMENTS (PLAN AMONT)....7-39
FIGURE 7 20 TAUX DE RÉDUCTION DU VOLUME DE SÉDIMENTS À PARTIR DE LA SIMULATION OPÉRATIONNELLE....7-41
FIGURE 7 21 RELATION ENTRE L'ALTITUDE ET LA SÉDIMENTATION 7-42
FIGURE 7 22 PLAN D'IMPLANTATION DES CLÔTURES DE CONTRÔLE DU COURANT DE DENSITÉ....7-44
FIGURE 7 23 CONCEPTION DES CLÔTURES DE CONTRÔLE DU COURANT DE DENSITÉ EN FONCTION DU NIVEAU D'EAU DE LA RETENUE 7-45
FIGURE 7 24 RELATION ENTRE LE DÉBIT ENTRANT ET L'APPORT EN SÉDIMENTS DANS LE BARRAGE DE SIDI SALEM 7-49
FIGURE 7 25 GRANULOMÉTRIE DES SÉDIMENTS DANS LE BARRAGE DE SIDI SALEM 7-50
FIGURE 7 26 VITESSE DE SÉDIMENTATION SELON LA FORMULE DE STOKES 7-51
FIGURE 7 27 APERÇU DES MESURES DECONTRÔLE DES SÉDIMENTS 7-53
FIGURE 7 28 EMPLACEMENT DU TUNNEL DE DÉRIVATION DES SÉDIMENTS ET DU DÉVERSOIR DE DÉRIVATION....7-54

FIGURE 7 29 DISPOSITION DE LA BARRIÈRE DE CONTRÔLE DU COURANT DE DENSITÉ ET RÉPERCUSSION SUR LA SECTION TRANSVERSALE 7-55
FIGURE 7 30 EMPLACEMENT DE LA DÉVIATION DES SÉDIMENTS + DE LA BARRIÈRE DE CONTRÔLE DU COURANT DE DENSITÉ PROPOSÉS 7-55
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) 7-58
FIGURE 7 32 VARIATION DE LA CAPACITÉ DE STOCKAGE PAR OBJECTIF DANS 100 ANS LORSQUE CHAQUE MESURE EST MISE EN ŒUVRE (1) 7-59
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)) 7-59
FIGURE 7 34 APERÇU DES CONTRE-MESURES DE SÉDIMENTATION (MENU COMPLET) 7-60
FIGURE 7 35 APERÇU DES CONTRE-MESURES DE SÉDIMENTATION (MENU PRIORITAIRE) 7-61
FIGURE 7 36 COMPARAISON DE L'EFFICACITÉ DES CONTRE-MESURES DU MENU PRIORITAIRE ET DU MENU COMPLET 7-64
FIGURE 7 37 UTILISATION DES SÉDIMENTS 7-65
FIGURE 7 38 ECHANTILLONNAGE DE SÉDIMENTS 7-66
FIGURE 7 39 RELATION ENTRE LA TENEUR EN EAU ET LA RÉSISTANCE À LA COMPRESSION 7-69
FIGURE 7 40 RÉSUMÉ DES RÉSULTATS DES ESSAIS DU SOL CIMENT 7-74
FIGURE 7 41 EMPLACEMENT DU POINT DE PRÉLÈVEMENT DU SABLE 7-75
FIGURE 7 42 ÉTAT DES ESSAIS DE PRODUCTION DE BRIQUES 7-76
FIGURE 7 43 APERÇU DE L'ESSAI DE FLEXION 7-77
FIGURE 7 44 APERÇU DES ESSAIS DE PRODUCTION DE TUILES 7-78

FIGURE 8 1 CSD500 AVEC X-MAS TREE MISE EN PLACE ET EN OPÉRATION 8-1
FIGURE 8 2 ZONAGE DU RÉSERVOIR DU BARRAGE DE SIDI SALEM 8-2
FIGURE 8 3 VARIATION DES NIVEAU D'EAU DANS LE BARRAGE DE SIDI SALEM 8-2

Non publique

Non publique

FIGURE 9 1 APERÇU DU CONTROLE DU DEBIT DE DENSITE MOYENNANT LE TUNNEL DE DERIVATION DES SEDIMENTS 9-2
FIGURE 9 2 CORRELATION ENTRE LE DEBIT ENTRANT ET LA CONCENTRATION EN MES ... 9-3
FIGURE 9 3 DIAGRAMME CONCEPTUEL DU SYSTEME DE GESTION DU BARRAGE REQUIS POUR LE CONTROLE DU DEBIT DE DENSITE 9-11
FIGURE 9 4 SUIVI NECESSAIRE POUR LE CONTROLE DU DEBIT DE DENSITE (DANS LE RESERVOIR) 9-13
FIGURE 9 5 SURVEILLANCE NECESSAIRE POUR LE CONTROLE DU DEBIT DE DENSITE (SSD DANS LA RIVIERE EN AVAL) 9-13
FIGURE 9 6 RESULTATS DE SIMULATIONS D'INONDATIONS EN TENANT COMPTE DES INSTALLATIONS DE CONTROLE DES SEDIMENTS (CRUE CIBLE EST CELLE DE JANVIER 2003) 9-15
FIGURE 9 7 INSPECTION VISUELLE DE LA GALERIE DE DECHARGE DES SEDIMENTS EXISTANTE EN 2017 9-17
FIGURE 9 8 EVOLUTION PREVUE DE LA SEDIMENTATION EN AMONT DU DEVERSOIR DE DERIVATION (ZONE D) 9-17
FIGURE 9 9 EXEMPLE DE FLUX D'ENTRETIEN DE TUNNELS FLUVIAUX AU JAPON 9-19

FIGURE 10 1 IMPACT DE LA SÉDIMENTATION DU BARRAGE DE SIDI SALEM SUR LA ZONE URBAINE SITUÉE EN AMONT 10-1

FIGURE 10 2 ACCUMULATION DE SÉDIMENTS DANS LE COURS SUPÉRIEUR DU BARRAGE DE SIDI SALEM 10-2
FIGURE 10 3 DÉROULEMENT DE L'ÉTUDE DES CONTRE-MESURES RELATIVES AU REMOUS DE SABLE 10-2
FIGURE 10 4 LISTE DES CAS D'EXCAVATION POUR LES MESURES RELATIVES À L'EFFET DE REMOUS 10-3
FIGURE 10 5 NIVEAU D'EAU ET CONDITIONS D'ÉCOULEMENT POUR LES MESURES RELATIVES À L'EFFET DE REMOUS 10-6
FIGURE 10 6 CALCUL DU VOLUME DE SÉDIMENTS EXCAVÉS POUR LES MESURES RELATIVE AU SABLE DE REMOUS (CAS 3) 10-11
FIGURE 10 7 CALCUL DU VOLUME DE SÉDIMENTS EXCAVÉS POUR LES MESURES RELATIVE AU SABLE DE REMOUS (CAS 4) 10-11
FIGURE 10 8 CALCUL DU VOLUME DE SÉDIMENTS EXCAVÉS POUR LES MESURES DE SABLE ARRIÈRE (CAS 5) 10-12
FIGURE 10 9 LARGEUR OPTIMALE DE L'EXCAVATION (B = 50 M) 10-14
FIGURE 10 9 COMPARAISON DU VOLUME DE SÉDIMENTS PAR TAILLE DE GRAIN DANS LA MEDJERDA 10-16
FIGURE 10 10 COMPARAISON DES RÉSULTATS DE LA SIMULATION DES VARIATIONS DU LIT DE L'OUED 10-17
FIGURE 10 11 RELATION ENTRE LE VOLUME D'ÉVACUATION ET LA CONCENTRATION DE SÉDIMENTS AU BARRAGE DE SIDI SALEM 10-18
FIGURE 10 12 DÉBIT TOTAL DE SÉDIMENTS ENTRANTS ET NOMBRE D'OCCURRENCES DE DÉBITS PAR TAILLE DE CRUE (1982-2017) 10-19
FIGURE 10 13 DÉFINITION DES INONDATIONS À ÉTUDIER (1982-2017) 10-20
FIGURE 10 14 IMPACT DU FONCTIONNEMENT DES VANNES SUE LES CRUES 10-21
FIGURE 10 15 MODIFICATION DU BILAN SÉDIMENTAIRE APRÈS LE PROJET 10-22
FIGURE 10 16 MODIFICATION DU BILAN SÉDIMENTAIRE APRÈS LE PROJET 10-23
FIGURE 10 17 CHANGEMENTS DE LA TURBIDITÉ DANS L'OUED EN AVAL APRÈS LE PROJET 10-24

FIGURE 11 1 SCHEMA GEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE 11-1
FIGURE 11 2 EMPLACEMENT DES FORAGES DANS LA ZONE D1 11-2
FIGURE 11 3 PHOTOS DU NOYAUX DE FORAGE ET DU RAPPORT SIMPLE DE FORAGE 11-5
FIGURE 11 4 RAPPORT SIMPLIFIE DES FORAGES 11-6
FIGURE 11 5 COUPE TRANSVERSALE GEOLOGIQUE SCHEMATIQUE ESTIMEE 11-7
FIGURE 11 6 RELATION ENTRE LA PROFONDEUR ET LA VALEUR DE N (QUATERNAIRE ET TERTIAIRE) 11-8

FIGURE 11 7 DISTRIBUTION DES DEBITS DE POINTES DE CONCEPTION POUR LES ZONES D1 ET D2 DANS LE M/P (PERIODE DE RETOUR 1/10) 11-18
FIGURE 11 8 DISTRIBUTION PROPOSEE DES DEBITS DE POINTES DE CONCEPTION POUR LA ZONES D2 DANS LA F/S (PERIODE DE RETOUR 1/10) 11-19
FIGURE 11 9 DISTRIBUTION DU DEBIT PROBABLE POUR LA ZONE D1 DANS LA PRESENTE ETUDE (PERIODE DE RETOUR 1/10) 11-19
FIGURE 11 10 DISTRIBUTION DU DEBIT DE CRUE DE CONCEPTION ADOPTE DANS D1 DANS CETTE ENQUETE (PERIODE DE RETOUR DE 10 ANS) 11-20
FIGURE 11 11 OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT DE L'OUED DANS LA ZONE D1 11-21
FIGURE 11 12 GRADIENT ET LARGEUR DU CANAL DANS LA ZONE D1 A PARTIR DE 202011-22
FIGURE 11 13 COUPES TRANSVERSALES TYPES DE LA ZONE D1 11-23
FIGURE 11 14 FLUCTUATION DES SEDIMENTS DANS LA ZONE D1 (2007-2020) 11-24
FIGURE 11 15 DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DES MATERIAUX DU LIT DE L'OUED DE LA ZONE D1 11-24
FIGURE 11 16 SECTION TRANSVERSALE REPRESENTATIVE DE L'OUED DANS LA ZONE D1 (2007-2020) 11-25
FIGURE 11 17 METHODE D'ENTRETIEN EXCAVATION DANS LA ZONE D1 (COMPARAISON ENTRE AVANT ET APRES L'EXCAVATION) 11-26
FIGURE 11 18 ENQUETE SUR TERRAIN DANS LA ZONE D1 11-26
FIGURE 11 19 PROFIL EN LONG ET RESULTAT DU CALCUL DU NIVEAU D'EAU (ZONE D1)11-29
FIGURE 11 20 CAPACITE DE DEBIT A L'ETAT ACTUEL DE LA ZONE D1 A PARTIR DE 202011-30
FIGURE 11 21 CAPACITE DE DEBIT A L'ETAT ACTUEL DE LA ZONE D1 EN 2020 (OUED MEDJERDA, EN AVAL DU BARRAGE DE SIDI SALEM) 11-31
FIGURE 11 22 CONCEPTION EN PLAN DU PLAN DIRECTEUR 11-34
FIGURE 11 23 VUE EN PLAN DU CANAL DE DERIVATION DU PLAN DIRECTEUR 11-35
FIGURE 11 24 VUE EN PLAN DE PLAN-1 11-35
FIGURE 11 25 VUE EN PLAN DE PLAN-2 11-36
FIGURE 11 26 CONFIGURATION DES RACCOURCIS DANS LES PARCOURS SINUEUX 11-37
FIGURE 11 27 VUE EN PLAN DU PLAN-3 11-38
FIGURE 11 28 SITES PROPOSES POUR LES RACCOURCIS ET LES BASSINS DE RETARDEMENT 11-39
FIGURE 11 29 CONCEPTION DU PROFIL EN LONG EN PLAN DIRECTEUR 11-42
FIGURE 11 30 PROFIL EN LONG ET DE CALCUL DES NIVEAUX D'EAU PREVUS DANS LE P/D (ZONE D1) 11-43
FIGURE 11 31 PROFIL EN LONG ET CALCUL DU NIVEAU D'EAU PROJETES DU PLAN-1 11-44
FIGURE 11 32 PROFIL EN LONG ET CALCUL DU NIVEAU D'EAU PROJETES DU PLAN-2 (PLAN-1 + STRUCTURE DE CHUTE) 11-45

FIGURE 11 33 PROFIL EN LONG ET CALCUL DU NIVEAU D'EAU PROJETES DU PLAN-3 (PLAN-2 + RACCOURCIS)....11-46
FIGURE 11 34 PROFIL EN LONG ET CALCUL DU NIVEAU D'EAU PROJETES DU PLAN-4 (PLAN-3+ BASSIN DE RETARDEMENT)....11-47
FIGURE 11 35 COUPE TRANSVERSALE TYPIQUE DU CANAL DE DERIVATION PROPOSEE DANS LE PLAN DIRECTEUR....11-48
FIGURE 11 36 COUPE TYPIQUE DU CANAL DE DERIVATION PROPOSE DANS LE PLAN DIRECTEUR....11-49
FIGURE 11 37 SECTION TRANSVERSALE PREVUE DANS LA ZONE D1....11-50
FIGURE 11 38 DEBIT D'EVACUATION DU BARRAGE DE SIDI SALEM....11-50
FIGURE 11 39 RELATION ENTRE LA TURBIDITE ET LE DEBIT DE L'OUED A L'ENTREE DU BARRAGE DE SIDI SALEM....11-50
FIGURE 11 40 ESTIMATION DE LA SEDIMENTATION FUTURE DANS LA ZONE D1....11-51
FIGURE 11 41 COMPARAISON DE LA SECTION TRANSVERSALE ACTUELLE DE L'OUED ET CELLE PREVUE APRES 100 ANS DE PREVISIONS DE SEDIMENTATION....11-52
FIGURE 11 42 COUPE TRANSVERSALE TYPE PROJETEE DANS CETTE ETUDE....11-53
FIGURE 11 43 PONT HISTORIQUE ANDALOU (VU DE L'AMONT)....11-54
FIGURE 11 44 PHOTOGRAPHIE DE L'UTILISATION ACTUELLE DES TERRES....11-55
FIGURE 11 45 TERRAIN ACTUEL (ASTER DEM)....11-55
FIGURE 11 46 PONTS REQUIS POUR LA CONSTRUCTION D'UN CANAL DE DERIVATION PAR LE PLAN DIRECTEUR....11-56
FIGURE 11 47 COMPARAISON DU CANAL DE DERIVATION ET DU CANNAL DE CONTOURNEMENT....11-57
FIGURE 11 48 EMPLACEMENT DES PONTS POUR LA PROPOSITION 1 – CANAL DE DERIVATION....11-58
FIGURE 11 49 RESULTATS GEOLOGIQUES DANS LE PERIMETRE DU PROJET DE CANAL TUNNEL11-59
FIGURE 11 50 SECTION TYPE DU CANAL DE DERIVATION....11-60
FIGURE 11 51 ETAPE DE CONSTRUCTION PAR LA METHODE DE PAROI MOULEE COULEE SUR PLACE....11-63
FIGURE 11 52 RESULTAT DES CALCULS HYDRAULIQUES POUR LE TUNNEL DE DERIVATION MEJEZ EL BAB....11-66
FIGURE 11 53 LES RESULTATS DE L'ANALYSE TRIDIMENSIONNELLE DE L'ECOULEMENT11-67
FIGURE 11 54 CONCEPT D'ECRETEMENT DES CRUES EXCESSIVES PAR BASSIN DE RETARDEMENT....11-68
FIGURE 11 55 ILLUSTRATION DE LA SECTION TRANSVERSALE DU BASSIN DE RETARDEMENT....11-69
FIGURE 11 56 L'OCCUPATION DES SOLS DE LA ZONE CIBLE DE L'ETUDE....11-71

FIGURE 11 57: CARTE D'OCCUPATION DU SOL D'EL BAB.....11-72
FIGURE 11 58 DISPOSITION DE L'EMPLACEMENT DE TOUTES LES TRANCHEES DE RACCOURCI DE LA DERIVATION DANS LA REGION GLOBALE D1.....11-80
FIGURE 11 59 LEGENDE DE L'ANALYSE DES INONDATIONS POUR UNE PERIODE DE RETOUR DE 10, 20, 50 ET 100 ANS.....11-82
FIGURE 11 60: ANALYSE DES INONDATIONS POUR UNE PERIODE DE RETOUR DE 10, 20, 50 ET 100 ANS.....11-84
FIGURE 11 61 CARTE DE LA ZONE AFFECTEE PAR L'INONDATION AVEC LA ZONE CONSIDEREE DE REGLEMENTATION DE L'UTILISATION DES TERRES (PERIODE DE RETOUR DE 50 ANS).....11-85
FIGURE 11 62 CARTE DE LA ZONE CIBLE DE LA PROPOSITION DU PLAN D'OCCUPATION DU SOL 11-89
FIGURE 11 63 ILLUSTRATION DU DEVELOPPEMENT DE LA "ZONE URBAINE".....11-91
FIGURE 11 64 ILLUSTRTION DU DEVELOPPEMENT DE LA " ZONE INTERMEDIAIRE ".....11-92
FIGURE 11 65 ILLUSTRATION DE L'AMENAGEMENT DE LA " ZONE DU BASSIN DE RETENTION ".....11-93
FIGURE 11 66 EXEMPLE DU DEVELOPPEMENT RIVERAIN AU SUD DU PONT ANDALOUS11-102

FIGURE 12 1 ORGANIGRAMME DE L'ANALYSE DES INONDATIONS.....12-1
FIGURE 12 2 ILLUSTRATION DU MODELE DE ZONE D'INONDATION.....12-2
FIGURE 12 3 MODELE D'ELEVATION DU (GRILLE DE 270 M).....12-4
FIGURE 12 4 OCCOPATION DU SOL DANS LA ZONE D'INONDATION.....12-5
FIGURE 12 5 GRILLE A DIFFERENCES FINIES DANS LA FORMULE DE CONTINUITE.....12-7
FIGURE 12 6 GRILLE DE DIFFERENCE FINIE DANS LA FORMULE DE LA QUANTITE DE MOUVEMENT DANS LA DIRECTION X.....12-8
FIGURE 12 7 GRILLE DE DIFFERENCE FINIE DANS LA FORMULE DE LA QUANTITE DE MOUVEMENT DANS LA DIRECTION Y.....12-9
FIGURE 12 8 DEBIT DE CHUTE.....12-9
FIGURE 12 9 REMONTEE.....12-9
FIGURE 12 10 MODELISATION DU DRAINAGE.....12-11
FIGURE 12 11 STRUCTURES MODELISEES.....12-15
FIGURE 12 12 RESULTAT DU CALCUL DE L'INONDATION DE 2003.....12-16
FIGURE 12 13 EXEMPLE DE RESULTATS DE CALCUL (W=1/20).....12-17
FIGURE 12 14 DISTRIBUTION DE LA DIFFERENCE ENTRE CHAQUE PROFONDEUR D'INONDATION (W=1/10).....12-18
FIGURE 12 15 DISTRIBUTION DE LA DIFFERENCE ENTRE CHAQUE PROFONDEUR D'INONDATION (W=1/20).....12-20

FIGURE 12 16 DISTRIBUTION DE LA DIFFERENCE DE PROFONDEUR D'INONDATION (RACCOURCI – TRAVAUX DE L'OUED) DANS CHAQUE REGION (W=1/20) 12-20
FIGURE 12 17 DISTRIBUTION DE LA DIFFERENCE ENTRE CHAQUE PROFONDEUR D'INONDATION (W=1/50) 12-22
FIGURE 12 18 DISTRIBUTION DE LA DIFFERENCE DE PROFONDEUR D'INONDATION (RACCOURCI - TRAVAUX DE L'OUED) DANS CHAQUE REGION (W=1/50) 12-22
FIGURE 12 19 DISTRIBUTION DE LA DIFFERENCE ENTRE CHAQUE PROFONDEUR D'INONDATION (W=1/100) 12-24
FIGURE 12 20 DISTRIBUTION DE LA DIFFERENCE ENTRE CHAQUE PROFONDEUR D'INONDATION (RACCOURCI – TRAVAUX DE L'OUED) DANS CHAQUE REGION (W=1/100) 12-24
FIGURE 12 21 PROFIL EN LONG DU DEBIT DE POINTE, DU DEBIT ENTRANT ET DU DEBIT SORTANT（W=1/10）. 12-28
FIGURE 12 22 PROFIL EN LONG DU DEBIT DE POINTE, DU DEBIT ENTRANT ET DU DEBIT SORTANT（W=1/20） 12-29
FIGURE 12 23 PROFIL EN LONG DU DEBIT DE POINTE, DU DEBIT ENTRANT ET DU DEBIT SORTANT（W=1/50） 12-30
FIGURE 12 24 PROFIL EN LONG DU DEBIT DE POINTE, DU DEBIT ENTRANT ET DU DEBIT SORTANT (W=1/50) 12-31
FIGURE 12 25 PROFONDEUR D'INONDATION AUTOUR DES BASSINS DE RETENTION (AVEC RACCOURCI, W=1/100) 12-32
FIGURE 12 26 PROFONDEUR D'INONDATION (GAUCHE) ET HYDROGRAMME DU NIVEAU D'EAU ET DU DEBIT (DROITE) 12-32
FIGURE 12 27 PROFIL N LONG DU DEBIT DE POINTE, DU DEBIT ENTRANT ET DU DEBIT SORTANT（W=1/100 12-33
FIGURE 12 28 DIFFERENCE DE PROFONDEUR D'INONDATION (IMPACT NEGATIF) (W=1/100) 12-34

FIGURE 13 1 DONNEES D'EXPLOITATION DES BARRAGES DE SIDI SALEM, DE SILIANA ET DE LARROUSIA (DONNEES QUOTIDIENNES) 13-2
FIGURE 13 2 DONNEES LONGITUDINALES DE L'ELEVATION DU LIT DE L'OUED MEJERDA 13-3
FIGURE 13 3 COUPES TRANSVERSALES DE LA ZONE D1 (LEVE TOPOGRAPHIQUE 2008) .. 13-4
FIGURE 13 4 COUPES TRANSVERSALES DE LA ZONE D2 (COUPES TRANSVERSALES PROPOSEES) 13-5
FIGURE 13 5 VARIATION DU LIT DE L'OUED DANS LA SECTION D1 (RELEVEE EN 2007 ET 2020) 13-7
FIGURE 13 6 COMPARAISON DES SECTIONS TRANSVERSALES DE L'OUED DANS LA SECTION D1 (LEVEES EN 2007 ET 2020) 13-8

FIGURE 13 7 (1) ENQUETE SUR LA DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DANS L'OUED MEJERDA, LES AFFLUENTS ET LE BARRAGE DE SIDI SALEM (COURBES CUMULEES PAR TAILLE DE GRAIN).....13-9
FIGURE 13 8 (2) DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DANS L'OUED MEJERDA ET SES AFFLUENTS (PART PAR CLASSIFICATION GRANULOMETRIQUE) 13-10
FIGURE 13 9 CARTE DE LOCALISATION DU RELEVE DES MATERIAUX DU LIT DE L'OUED13-11
FIGURE 13 10 DEROULEMENT DE L'ANALYSE DE LA VARIATION UNIDIMENSIONNELLE DU LIT DE L'OUED.....13-12
FIGURE 13 11 CHANGEMENT CHRONOLOGIQUE DE L'APPORT ET DU NIVEAU D'EAU (2008-2018).....13-15
FIGURE 13 12 CHANGEMENT CHRONOLOGIQUE DE L'APPORT DE SEDIMENTS (2008-2018)13-15
FIGURE 13 13 PARAMETRES DU VOLUME DE SEDIMENTS DEVERSE PAR LE BARRAGE DE SIDI SALEM ET DU VOLUME DE SEDIMENTS ENTRANT DE CHAQUE AFFLUENT.....13-16
FIGURE 13 14 VOLUME DE SEDIMENTS CALCULE PAR TAILLE DE GRAIN A CHAQUE SECTION (A LA FIN DU CALCUL).....13-17
FIGURE 13 15 RESULTAT DE L'ANALYSE DE LA VARIATION DU LIT DE L'OUED MEJERDA (2008-2018) (A LA FIN DU CALCUL).....13-18
FIGURE 13 16 CHANGEMENT CHRONOLOGIQUE DU DEBIT DE SEDIMENTS DE L'OUED MEJERDA (2008-2018) 13-19
FIGURE 13 17 DISTRIBUTION LONGITUDINALE DU VOLUME DE SEDIMENTATION PAR CLASSIFICATION GRANULOMETRIQUE, DU VOLUME DE DEBIT DE SEDIMENTATION ET DE LA PART DE DEBIT DE SEDIMENTS DANS L'OUED MEJERDA (2018). 13-20
FIGURE 13 18 RESULTAT DU CALCUL DU BILAN SEDIMENTAIRE (2).....13-21
FIGURE 13 19 CALCUL DU BILAN SEDIMENTAIRE OBTENU PAR CALCUL DE REPRODUCTION (DANS LES ZONES D1/D2).....13-22
FIGURE 13 20 RELATION ENTRE LE VOLUME DE SEDIMENTS ENTRANTS ET LA DISTRIBUTION LONGITUDINALE DES SEDIMENTS.....13-22
FIGURE 13 21 CHANGEMENT CHRONOLOGIQUE DU DEBIT DE SEDIMENTS DE L'OUED MEJERDA (2008-2018) 13-23
FIGURE 13 22 CONCENTRATION MOYENNE DE SEDIMENTS PAR DEBIT (GAUCHE : AXE REEL, DROITE : AXE LOGARITHMIQUE) 13-24
FIGURE 13 23 APPORT ANNUEL MAXIMAL DE L'OUED MEJERDA (APRES LE CONFLUENT DE L'OUED SILIANA) ET APPORTS ENTRANTS ANNUELS DE SEDIMENTS DU BARRAGE DE SIDI SALEM ET DE L'OUED SILIANA (LES 100 PROCHAINES ANNEES) 13-26
FIGURE 13 24 VOLUME DE SEDIMENTS CALCULE PAR TAILLE DE GRAIN A CHAQUE SECTION (DANS 100 ANNEES).....13-27
FIGURE 13 25 RESULTAT DE L'ANALYSE DE LA VARIATION DU LIT DE L'OUED MEJERDA (LES 100 PROCHAINES ANNEES) 13-28

FIGURE 13 26 CHANGEMENT CHRONOLOGIQUE DU DEBIT DE SEDIMENTS DE L'OUED MEJERDA (100 PROCHAINES ANNEES) 13-29
FIGURE 13 27 DISTRIBUTION LONGITUDINALE DU VOLUME DE SEDIMENTATION PAR CLASSIFICATION GRANULOMETRIQUE, VOLUME D'ECOULEMENT DES SEDIMENTS ET RAPPORT D'ECOULEMENT DES SEDIMENTS DANS L'OUED MEJERDA (100 PROCHAINES ANNEES) 13-30
FIGURE 13 28 CHANGEMENT CHRONOLOGIQUE DE LA CONCENTRATION DE SEDIMENTS DE L'OUED MEJERDA (LES 100 PROCHAINES ANNEES) 13-31
FIGURE 13 29 CONCENTRATION MOYENNE DE SEDIMENTS PAR ECHELLE DE DEBIT DE MEJERDA RIVE AU COURS DES 100 PROCHAINES ANNEES (GAUCHE: AXE REEL, DROITE: AXE LOGARITHMIQUE) 13-32
FIGURE 13 30 CONDITIONS POUR L'APPORT DE SEDIMENTS DE L'OUED MEJERDA POUR LES 100 PROCHAINES ANNEES (EN HAUT: AXE REEL, EN BAS: AXE LOGARITHMIQUE) ... 13-33
FIGURE 13 31 COMPARAISON DU VOLUME DE SEDIMENTS DU LIT DE L'OUED POUR LES 100 PROCHAINES ANNEES DANS L'OUED MEJERDA 13-35
FIGURE 13 32 COMPARAISON DU VOLUME DE SEDIMENTS PAR GRANULOMETRIE POUR LES 100 PROCHAINES ANNEES DANS L'OUED MEJERDA (ZONES D1 ET D2) 13-37
FIGURE 13 33 COUPE TRANSVERSALE TYPE DE L'OUED MEJERDA AU MOMENT DE L'AMENAGEMENT DE L'OUED 13-38
FIGURE 13 34 VARIATION SECULAIRE DU VOLUME DE SEDIMENTS DU LIT DE L'OUED (ZONES D1+D2) 13-40
FIGURE 13 35 VARIATION SECULAIRE DU VOLUME DE SEDIMENTS DANS LE CANAL DE L'OUED (TOUS LES 10 ANS PAR SECTION) 13-41
FIGURE 13 36 COMPARAISON DU VOLUME DE SEDIMENTS PAR TAILLE DE GRAIN DANS TROIS CAS DE TOPOGRAPHIES DU CANAL DE L'OUED (APRES 100 ANS) 13-44
FIGURE 13 37 FREQUENCE D'OCCURRENCE DU DEBIT MAXIMAL ANNUEL AU BARRAGE DE SIDI SALEM 13-44
FIGURE 13 38 VARIATION SECULAIRE DU VOLUME DE SEDIMENTS AVEC L'EVACUATION DES SEDIMENTS 13-45

République Tunisienne
Etude Préparatoire du Projet de Gestion Integrée de la Sédimentation
du Barrage Polyvalent de Sidi Salem

Liste des Tableaux

TABLEAU 1 1 MEMBRES DU COMITE DE SOUTIEN TECHNIQUE (DEPUIS MARS 2020） 1-4

TABLEAU 2 1 POPULATION ET TAUX DE CROISSANCE DEMOGRAPHIQUE (2011~2021)....2-5
TABLEAU 2 2 POPULATION, NOMBRE DE MENAGES ET DE LOGEMENTS EN TUNISIE ET DANS LES GOUVERNORATS/ DELEGATIONS CONCERNES.....2-6
TABLE 2 3 TENDANCES DEMORGAPHIQUES A BEJA ET MANOUBA.....2-6
TABLEAU 2 4 REPARTITION DE L'APPROVISIONNEMENT EN EAU PAR SOURCE (2010~2021)2-12
TABLE 2 5 PRINCIPAUX SYSTEMES D'APPROVISIONNEMENT EN EAU EN TUNISIE.....2-14
TABLEAU 2 6 REPARTITION DES PRELEVEMENTS D'EAU DE SURFACE DE LA SONEDE DANS LA REGION NORD (2010~2021).....2-20
TABLEAU 2 7 CARACTERISTIQUES DES BARRAGES DU BASSIN DE LA MEJERDA.....2-21
TABLEAU 2 8 RESUME DES CARACTERISTIQUES DES INSTALLATIONS DE PRISE D'EAU DE LA ZONE D1.....2-26
TABLEAU 2 9 CARACTERISTIQUES RESUMEES DES INSTALLATIONS DE PRISE D'EAU DANS LA ZONE D2.....2-27
TABLEAU 2 10 RESUME DES PROJETS EXECUTES D'AMENAGEMENT DE L'OUED 2-28
TABLEAU 2 11 RECAPITULATIF DES BARRAGES DANS LE BASSIN DE MEDJERDA (CONTROLE DE CRUES).....2-29
TABLEAU 2 12 CONTENU DE LA LOI SUR L'EAU.....2-30
TABLEAU 2 13 LOI N° 39-1991 DU 8 JUIN 1991 RELATIVE A LA PREVENTION DES CATASTROPHES, A LA PREPARATION ET A L'ORGANISATION DES SECOURS.....2-31
TABLEAU 2 14 LOI N° 942-1993 RELATIVE AUX PLANS NATIONAUX ET REGIONAUX DE GESTION DES CATASTROPHES ET AUX COMITES DE GESTION DES CATASTROPHES.....2-31
TABLEAU 2 15 TENDANCES DE L'EVOLUTION DE LA QUANTITE TOTALE DES RESSOURCES EN EAU GLOBALES (1956~2020).....2-33
TABLEAU 2 16 DEVELOPPEMENT DES BARRAGES CES DERNIERES ANNEES.....2-33
TABLEAU 2 17 GRANDES ORGANISATIONS INTERNATIONALES AYANT UNE EXPERIENCE EN TUNISIE.....2-34

TABLEAU 2 18 REALISATIONS DE L'ASSISTANCE DES ORGANISATIONS INTERNATIONALES EN TUNISIE 2-35
TABLE 2 19 REPARTITION DES FONDS STPCI 2-36
TABLE 2 20 REPARTITION DES DONATEURS SOUTENANT CHAQUE PROJET 2-37
TABLEAU 2 21 PLAN DE CHAQUE RUBRIQUE DU PROGRAMME STPCI 2-38
TABLE 2 22 PROJETS DE LUTTE CONTRE LES INONDATIONS PAR LES BAILLEURS DE FONDS ETRANGERS EXISTANTS 2-39
TABLEAU 2 23 MESURES STRUCTURELLES PROPOSEES PAR LE M/P 2-41
TABLEAU 2 24 PLAN GENERAL D'EXECUTION 2-42
TABLEAU 2 25 COUTS DES PROJETS 2-42
TABLEAU 2 26 VIABILITE ECONOMIQUE DES PROJETS 2-43
TABLEAU 2 27 COUTS DU PROJET D'ENTRETIEN DU BARRAGE DE LAROUSSIA 2-47

TABLEAU 3 1 CINQ ENREGISTREMENTS DE PRECIPITATIONS LES PLUS FAIBLES (PRECIPITATIONS AU BASSIN) 3-7
TABLEAU 3 2 CINQ ENREGISTREMENTS DE PRECIPITATIONS LES PLUS ELEVEES 3-8
TABLEAU 3 3 DEBITS DE POINTE PROBABLES (UNITE : M3/S) 3-10
TABLEAU 3 4 LONGUEUR DU COURS D'EAU PRINCIPAL DE MEJERDA ET DE SES PRINCIPAUX AFFLUENTS 3-11
TABLEAU 3 5 BASSIN HYDROGRAPHIQUE DU BASSIN DE LA MEJERDA 3-11
TABLEAU 3 6 DEBITS ENTRANTS ET SORTANTS AU BARRAGE DE SIDI SALEM LORS DES INONDATIONS DE MAI 2000 ET JANVIER 2003 3-20
TABLEAU 3 7 DETAILS DES VARIABLES ATMOSPHERIQUES UTILISEES DANS LES DONNEES DE REANALYSE DU WFDEI 3-22
TABLEAU 3 8 DATES ET STATIONS DANS LESQUELLES UNE VALEUR ABERRANTE A ETE IDENTIFIEE PAR EXAMEN VISUEL DE L'HISTOGRAMME DES MESURES DU MEME JOUR 3-23
TABLEAU 3 9 MODELE HEC-HMS DE BASSIN 3-31
TABLEAU 3 10 MODELE DE COURS D'EAU HEC HMS 3-31
TABLEAU 3 11 CONCEPTION DES DUREES DE PRECIPITATION POUR CHAQUE ZONE HYDROLOGIQUE 3-40
TABLEAU 3 12 PRECIPITATION MOYENNE ANNUELLE MAXIMALE DU J-JOUR PAR BASSIN PAR ZONE 3-41
TABLEAU 3 13 RESULTATS DE L'AJUSTEMENT DES DISTRIBUTIONS AUX ECHANTILLONS DES PRECIPITATIONS ANNUELLES MAXIMALES (ZONE U1) 3-41
TABLEAU 3 14 RESULTATS DE L'AJUSTEMENT DES DISTRIBUTIONS AUX ECHANTILLONS DES PRECIPITATIONS ANNUELLES MAXIMALES (ZONE M) 3-42
TABLEAU 3 15 RESULTATS DE L'AJUSTEMENT DES DISTRIBUTIONS AUX ECHANTILLONS DES PRECIPITATIONS ANNUELLES MAXIMALES (ZONE U2) 3-43

TABLEAU 3 16 RESULTATS DE L'AJUSTEMENT DES DISTRIBUTIONS AUX ECHANTILLONS DES PRECIPITATIONS ANNUELLES MAXIMALES (ZONE D1)....3-44
TABLEAU 3 17 RESULTATS DE L'AJUSTEMENT DES DISTRIBUTIONS AUX ECHANTILLONS DES PRECIPITATIONS ANNUELLES MAXIMALES (ZONE D2)....3-45
TABLEAU 3 18 RESUME DES PRECIPITATIONS DE CONCEPTION 3-47
TABLEAU 3 19 EPISODES DE CRUE SELECTIONNES (POUR LA ZONE U1)....3-48
TABLEAU 3 20 EPISODES DE CRUE SELECTIONNES POUR LA ZONE M....3-48
TABLEAU 3 21 EPISODES DE CRUE SELECTIONNES POUR LA ZONE U1+M+U2 3-49
TABLEAU 3 22 EPISODES DE CRUE SELECTIONNES POUR LA ZONE U1+M+U2+D1+D2 3-49
TABLEAU 3 23 CARACTERISTIQUES DES BARRAGES PRIS EN CONSIDERATION DANS LES CALCULS DE CRUE REGULARISEE DANS LA CONCEPTION DES CRUES....3-50
TABLEAU 3 24 CRITERES D'ELIMINATION DES PRECIPITATIONS ATYPIQUES DE CONCEPTION DEFINIS DANS L'ETUDE....3-54
TABLEAU 3 25 ELIMINATION DES PRECIPITATIONS DE CONCEPTION PAR LA DISTRIBUTION SPATIALE (ZONE-U1)....3-55
TABLEAU 3 26 ELIMINATION DES PRECIPITATIONS DE CONCEPTION PAR LA DISTRIBUTION SPATIALE (ZONE-M)....3-56
TABLEAU 3 27 ELIMINATION DES PRECIPITATIONS DE CONCEPTION PAR LA DISTRIBUTION SPATIALE (ZONE-U1+M+U2)....3-56
TABLEAU 3 28 ELIMINATION DES PRECIPITATIONS DE CONCEPTION PAR LA DISTRIBUTION SPATIALE (ZONE- U1+M+U2+D1&D2)....3-57
TABLEAU 3 29 ELIMINATION DES PRECIPITATIONS DE CONCEPTION PAR LA DISTRIBUTION TEMPORELLE (ZONE-U1)....3-57
TABLEAU 3 30 ELIMINATION DES PRECIPITATIONS DE CONCEPTION PAR LA DISTRIBUTION TEMPORELLE (ZONE- M)....3-58
TABLEAU 3 31 ELIMINATION DES PRECIPITATIONS DE CONCEPTION PAR LA DISTRIBUTION TEMPORELLE (ZONE-U1+M+U2)....3-58
TABLEAU 3 32 ELIMINATION DES PRECIPITATIONS DE CONCEPTION PAR LA DISTRIBUTION TEMPORELLE (ZONE- U1+M+U2+D1&2) 3-59
TABLEAU 3 33 RESULTATS D'ELIMINATION PAR LA DISTRIBUTION TEMPORELLE ET SPATIALE ET ECHELLE DE PROBABILITE DES GROUPES DE PRECIPITATIONS DE CONCEPTION (ZONE U1) 3-59
TABLEAU 3 34 RESULTATS D'ELIMINATION PAR DISTRIBUTION TEMPORELLE ET SPATIALE ET ECHELLE DE PROBABILITE DES GROUPES DE PRECIPITATIONS DE CONCEPTION (ZONE M)....3-59
TABLEAU 3 35 RESULTATS D'ELIMINATION PAR DISTRIBUTION TEMPORELLE ET SPATIALE ET ECHELLE DE PROBABILITE DES GROUPES DE PRECIPITATIONS DE CONCEPTION (ZONE U1+M+U2) 3-60

TABLEAU 3 36 RESULTATS D'ELIMINATION PAR DISTRIBUTION TEMPORELLE ET SPATIALE ET ECHELLE DE PROBABILITE DES GROUPES DE PRECIPITATIONS DE CONCEPTION (ZONE U1+M+U2+D1&D2) 3-60
TABLEAU 3 37 DEBIT DE POINTE DE CRUE DE CONCEPTION APRES ELIMINATION DES PRECIPITATIONS ATYPIQUES ET LE DEBIT DE POINTE DE CRUE DE CONCEPTION DU PLAN DIRECTEUR (2009) 3-64
TABLEAU 3 38 CARACTERISTIQUES DES BARRAGES EXISTANTS ET PROJETES DANS LE BASSIN DE MEDJERDA 3-71
TABLEAU 3 39 REGLES DE BASE D'EXPLOITATION COORDONNEE DES RESERVOIRS PENDANT LA PERIODE DE CRUES 3-72
TABLEAU 3 40 REGLES D'EXPLOITATION DU BARRAGE DE MELLEGUE (CRUE) 3-80
TABLEAU 3 41 REGLES D'EXPLOITATION DU BARRAGE DE MELLEGUE (DIMINUTION) .. 3-80
TABLEAU 3 42 PERIODE DE REMONTEE DU NIVEAU D'EAU 3-80
TABLEAU 3 43 PROBABILITE DE PRECIPITATIONS SUR LE SITE DE CHAQUE BARRAGE . 3-86
TABLEAU 3 44 PRECIPITATIONS MAXIMALES POSSIBLES POUR LA DUREE DE 3 JOURS DANS LE BASSIN DU BARRAGE DE MELLEGUE (ZONE M) 3-87
TABLEAU 3 45 PRECIPITATIONS MAXIMALES POSSIBLES POUR LA DUREE DE 5 JOURS DANS LE BASSIN DU BARRAGE DE SIDI SALEM (ZONE U1+M+U2) 3-88
TABLEAU 3 46 PRECIPITATIONS MAXIMALES POSSIBLES POUR LA DUREE DE 3 JOURS DANS LE BASSIN DU BARRAGE DE SILIANA (ZONE D1) 3-89
TABLEAU 3 47 RESULTATS DES SIMULATIONS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE POUR LES CRUES POUR LE BARRAGE DE MELLEGUE (REGLES ACTUELLES/ CARACTERISTIQUES ACTUELLES, CRUE DE CONCEPTION) 3-92
TABLEAU 3 48 RESULTATS DES SIMULATIONS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE POUR LES CRUES POUR LE BARRAGE DE MELLEGUE (REGLES ACTUELLES/ CARACTERISTIQUES ACTUELLES, MODELE DE LA CRUE DE JANVIER 2003) 3-93
TABLEAU 3 49 RESULTATS DE SIMULATION D'EXPLOITATION DE LA RETENUE EN PERIODE DE CRUE POUR LE BARRAGE DE MELLEGUE (REGLES PROPOSEES/ ELEVATION DE LA HAUTEUR DU BARRAGE DE +1.0M, CRUE DE CONCEPTION) 3-96
TABLEAU 3 50 RESULTATS DE SIMULATION D'EXPLOITATION DE LA RETENUE EN PERIODE DE CRUE POUR LE BARRAGE DE MELLEGUE (REGLES PROPOSEES/ ELEVATION DE LA HAUTEUR DU BARRAGE DE +1.0M, MODELE DE LA CRUE DE JANVIER 2003) 3-96
TABLEAU 3 51 REGLES D'EXPLOITATION DU BARRAGE DE MELLEGUE (CRUE) 3-98
TABLEAU 3 52 REGLES D'EXPLOITATION DU BARRAGE DE MELLEGUE (DIMINUTION) .. 3-98
TABLEAU 3 53 RESULTATS DES SIMULATIONS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE POUR LES CRUES POUR LE BARRAGE DE SIDI SALEM (REGLES ACTUELLES/ CARACTERISTIQUES ACTUELLES, CRUE DE CONCEPTION) 3-99

TABLEAU 3 54 RESULTATS DES SIMULATIONS D'EXPLOITATION DE LA RETENUE POUR LES CRUES POUR LE BARRAGE DE SIDI SALEM (REGLES ACTUELLES/ CARACTERISTIQUES ACTUELLES, MODELE DE LA CRUE DE JANVIER 2003) 3-99
TABLEAU 3 55 REGLES D'EXPLOITATION PROPOSEES POUR LE BARRAGE DE SIDI SALEM (MESURES POUR LA CRUE DE PROBABILITE DE 1/10,000) 3-102
TABLEAU 3 56 RESULTATS DE LA SIMULATION D'EXPLOITATION DE LA RETENUE DE BARRAGE DE SIDI SALEM POUR CRUES (REGLES PROPOSEES/CARACTERISTIQUES PROPOSEES, HAUTEUR DU BARRAGE + 0.8M DE SURELEVATION, CAPACITE QUINTUPLEE DU DEVERSOIR D'URGENCE, CRUE DE CONCEPTION CMP) 3-105
TABLEAU 3 57 RESULTATS DE SIMULATION D'EXPLOITATION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE SILIANA POUR CRUES (REGLES ACTUELLES/ CARACTERISTIQUES ACTUELLES, CRUE DE CONCEPTION) 3-108
TABLEAU 3 58 RESULTATS DE SIMULATION D'EXPLOITATION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE SILIANA POUR CRUES (REGLES ACTUELLES/ CARACTERISTIQUES ACTUELLES, MODELE DE CRUE DE JANVIER 2003) 3-108
TABLEAU 3 59 REGLES D'EXPLOITATION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE SILIANA (REGLES ACTUELLES) 3-114

TABLEAU 4 1 RESUME DES DONNEES HORAIRES TERRESTRES DE ERA-5 4-2
TABLEAU 4 2 LISTE DES MCG UTILISES DANS L'EVALUATION 4-3
TABLEAU 4 3 INDICES ETCCDI POUR LA DETECTION DU CLIMAT EXTREME LIE AUX INONDATIONS 4-4
TABLEAU 4 4 DUREE PREVUE DES PRECIPITATIONS POUR LES ZONES DU PLAN DE LUTTE CONTRE LES INONDATIONS 4-5

TABLEAU 5 1 CARACTERISTIQUES PRINCIPALE DU BARRAGE DE SIDI SALEM ET SON RESERVOIR 5-1
TABLEAU 5 2 INSTALLATIONS DU BARRAGE DE SIDI SALEM 5-4
TABLEAU 5 3 LISTE DES LEVES DCP 5-10
TABLEAU 5 4 EMPLACEMENT DES FORAGES (TUNNEL DE DRAINAGE DE DEVIATION) .. 5-14
TABLEAU 5 5 SCHEMA DE CLASSIFICATION DE LA MASSE ROCHEUSE LE LONG DU TRACE DU TUNNEL PLANIFIE 5-17
TABLEAU 5 6 ELEMENTS ET CARACTERISTIQUES DES ESSAIS EN LABORATOIRE 5-17
TABLEAU 5 7 RESULTATS DES ESSAIS EN LABORATOIRE 5-18
TABLEAU 5 8 STRATIGRAPHIE GEOLOGIQUE AUTOUR DU TUNNEL DE DERIVATION 5-22
TABLEAU 5 9 EXEMPLES DE CRITERES DE CLASSIFICATION DE LA MASSE ROCHEUSE . 5-24
TABLEAU 5 10 EXEMPLES DES CRITERES DE CLASSIFICATION DE LA MASSE ROCHEUSE 5-24
TABLEAU 5 11 EXEMPLES DE CLASSIFICATION DU NOYAU DE FORAGE 5-25

TABLEAU 5 12 DETAILS DU TYPE DE TUNNEL DE MAFA 5-26
TABLEAU 5 13 NORME DE DETERMINATION DU TYPE DE TUNNEL 5-26
TABLEAU 5 14 GROUPES DE ROCHES DANS LE TABLEAU 5-13 5-27
TABLEAU 5 15 CLASSIFICATION DE TUNNEL TYPE SELON MOAFA 5-27
TABLEAU 5 16 CARACTERISTIQUES DE L'INVESTIGATION 5-31
TABLEAU 5 17 RESULTATS DE L'ESSAI DE COMPRESSION SIMPLE 5-36
TABLEAU 5 18 RESISTANCE AU CONE, QU ET C DU SEDIMENT (REFERENCE) 5-38
TABLEAU 5 19 METHODES D'ETUDE DE LA TURBIDITE 5-39
TABLEAU 5 20 ETAT DE L'INSTALLATION D'EQUIPMENT D'ETUDE DE TURBIDITE 5-40
TABLEAU 5 21 RESULTATS D'OBSERVATION AMOVIBLE MULTIPOINT (MARS 3, 2020) ... 5-41

TABLEAU 6 1 CONDITIONS DE CALCUL 6-1
TABLEAU 6 2 ÉVOLUTION HISTORIQUE DU BILAN ANNUEL DE LA SEDIMENTATION AU BARRAGE DE SIDI SALEM (1982-2017) 6-6
TABLEAU 6 3 ÉVOLUTION HISTORIQUE DU BILAN ANNUEL DE LA SEDIMENTATION AU BARRAGE DE SIDI SALEM (1997-2017) 6-8
TABLEAU 6 4 VOLUME DE SEDIMENTATION DANS CHAQUE ZONE (1997-2017) 6-15
TABLEAU 6 5 RESULTATS DE L'EVALUATION SELON DIVERSES METHODES STATISTIQUES 6-16
TABLEAU 6 6 VOLUME ANNUEL MOYEN ESTIME DE SEDIMENTS ENTRANTS AU BARRAGE DE SIDI SALEM 6-17
TABLEAU 6 7 CONDITIONS DE CALCUL 6-18
TABLEAU 6 8 ÉQUATIONS DE BASE DU MODELE 6-30
TABLEAU 6 9 DEFINITION DES CONDITIONS DE BASE POUR L'ANALYSE 6-31
TABLEAU 6 10 RESULTATS DE L'ANALYSE DES EAUX TURBIDES (INONDATION 1 : QP=1 000 M3/S) 6-36
TABLEAU 6 11 RESULTATS DE L'ANALYSE DES EAUX TURBIDES (DISTRIBUTION LONGITUDINALE DE LA DENSITE : INONDATION 1 : QP=1 000 M3/S) 6-37
TABLEAU 6 12 RESULTATS DE L'ANALYSE DES EAUX TURBIDES (INONDATION 2 : QP=500 M3/S) 6-38
TABLEAU 6 13 RESULTATS DE L'ANALYSE DES EAUX TURBIDES (DISTRIBUTION LONGITUDINALE DE LA DENSITE INONDATION 2 : QP=500 M3/S) 6-39
TABLEAU 6 14 ÉTABLISSEMENT DES CONDITIONS D'ANALYSE A PARTIR DES HYDROGRAMMES DE CRUE REELLES 6-40

TABLEAU 7 1 VOLUME ANNUEL DE DÉBITS ENTRANTS / SORTANTS ET RATIO DE ROTATION DES RETENUES (2000-2018) 7-3

TABLEAU 7 2 FONCTIONNEMENT DE LA LUTTE CONTRE LES INONDATIONS AU BARRAGE DE SIDI SALEM 7-8
TABLEAU 7 3 MESURES DE LUTTE CONTRE LA SÉDIMENTATION ET LES INONDATIONS APRÈS AMÉLIORATION DE LA ZONE D1 (RÉVISION PRÉLIMINAIRE) 7-12
TABLEAU 7 4 PLAN DE LUTTE CONTRE LES INONDATIONS DANS LE CADRE DU PLAN D'EXPLOITATION DES INONDATIONS FUTURES RÉVISÉ (INONDATION DE CONCEPTION) 7-13
TABLEAU 7 5 PLAN DE LUTTE CONTRE LES INONDATIONS DANS LE CADRE DU PLAN D'EXPLOITATION DES INONDATIONS FUTURES RÉVISÉ (INONDATION DE JANVIER 2003) 7-13
TABLEAU 7 6 VOLUMES DE SÉDIMENTS AVEC CLASSIFICATION DES MATÉRIAUX PAR ZONE (1997 - 2017) 7-14
TABLEAU 7 7 (A) CONTRE-MESURES RELATIVES AUX APPORTS EN SÉDIMENTS 7-16
TABLEAU 7 8 (B) MESURES CONTRE LE DÉPÔT DE SÉDIMENTS 7-17
TABLEAU 7 9 (C) MESURES D'ACCÉLÉRATION DU REJET DE SÉDIMENTS 7-18
TABLEAU 7 10 MESURES VISANT À ACCROÎTRE LA CAPACITÉ DE LUTTE CONTRE LES INONDATIONS 7-19
TABLEAU 7 11 OBJECTIFS DU PLAN DE GESTION DES SÉDIMENTS 7-20
TABLEAU 7 12 CAS DE CALCUL POUR LE CALCUL DU REMOUS 7-24
TABLEAU 7 13 RÉSULTATS DU CALCUL DU REMOUS (PARTIE 1) 7-25
TABLEAU 7 14 RÉSULTATS DU CALCUL DU REMOUS (PARTIE 2) 7-26
TABLEAU 7 15 ÉVALUATION DE L'IMPACT DES RÉSULTATS DU REMOUS DE L'EAU 7-27
TABLEAU 7 16 CHOIX COMPARATIF DU TYPE DE VANNE (CONDITIONS CONSIDÉRÉES : B10M X H3M X 2 VANNES) 7-30
TABLEAU 7 17 CONDITIONS DE CALCUL DES EFFETS DE LA DÉRIVATION DES SÉDIMENTS 7-36
TABLEAU 7 18 INONDATIONS MAJEURES DANS LE PASSÉ ET HYDROGRAMMES DE CRUE SÉLECTIONNÉS 7-37
TABLEAU 7 19 RÉSULTATS COMPARATIFS DES EFFETS DES SIMULATIONS OPÉRATIONNELLES 7-40
TABLEAU 7 20 VARIATION DU VOLUME DE SÉDIMENTS PAR SIMULATION OPÉRATIONNELLE (PAR CRUE) 7-40
TABLEAU 7 21 CAS DE SIMULATION POUR L'UTILISATION DE LA VANNE DE DÉVASEMENT 7-43
TABLEAU 7 22 RÉSULTAT DE LA SIMULATION POUR L'UTILISATION DE LA VANNE DE DÉVASEMENT EXISTANTE 7-43
TABLEAU 7 23 SPÉCIFICATION POUR LES CLÔTURES DE CONTRÔLE DU COURANT DE DENSITÉ 7-45
TABLEAU 7 24 HYPOTHÈSE DE SIMULATION DES CLÔTURES DE CONTRÔLE DU COURANT DE DENSITÉ 7-46

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) 7-47
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) 7-48
TABLEAU 7 27 CARACTÉRISTIQUES DU BASSIN DE PIÉGEAGE DES SÉDIMENTS (STP) 7-50
TABLEAU 7 28 CONDITIONS DE CALCUL POUR LA PRÉVISION DES IMPACTS 7-52
TABLEAU 7 29 CONDITIONS DE CALCUL POUR LA DÉRIVATION DES SÉDIMENTS 7-53
TABLEAU 7 30 CHANGEMENTS DU PROFIL DES SÉDIMENTS DUS À LA MISE EN ŒUVRE DE MESURES DE CONTRÔLE DES SÉDIMENTS 7-56
TABLEAU 7 31 RÉSUMÉ DES MESURES DE LUTTE CONTRE LA SÉDIMENTATION DE LA RETENUE (MENU PRIORITAIRE) 7-62
TABLEAU 7 32 PRODUITS PAR UTILISATION DE SÉDIMENTS 7-66
TABLEAU 7 33 ÉCHANTILLONNAGE DE LA COMPOSITION DES SÉDIMENTS 7-67
TABLEAU 7 34 CONDITIONS DE STOCKAGE DES SÉDIMENTS EXCAVÉS 7-69
TABLEAU 7 35 ESSAI DE SOL CIMENT À L'AIDE DE SOL GÉNÉRÉ LOCALEMENT (PARTIE 1) 7-70
TABLEAU 7 36 ESSAIS DE SOL CIMENT À L'AIDE DE SOL GÉNÉRÉ LOCALEMENT (PARTIE 2) 7-71
TABLEAU 7 37 ESSAIS DE SOL CIMENT À L'AIDE DE SOL GÉNÉRÉ LOCALEMENT (PARTIE 3) 7-72
TABLEAU 7 38 ESSAIS DE SOL CIMENT À L'AIDE DE SOL GÉNÉRÉ LOCALEMENT (PARTIE 4) 7-72
TABLEAU 7 39 PROTOTYPES DE SOL CIMENTS PRÉPARÉS 7-73
TABLEAU 7 40 NORME DE RÉSISTANCE DU SOL CIMENT 7-74
TABLEAU 7 41 CONDITIONS DE TEMPÉRATURE DE CUISSON DES BRIQUES ET ÉLÉMENTS COMPARATIFS DES ESSAIS 7-75
TABLEAU 7 42 CONDITIONS DE TEMPÉRATURE DE CUISSON DES TUILES ET ÉLÉMENTS COMPARATIFS DES ESSAIS 7-77

TABLEAU 8 1 QUANTITÉ DE SÉDIMENTS PAR ZONE 8-3
TABLEAU 8 2 NÉCESSITÉ D'ÉVACUATION DES SÉDIMENTS 8-3

Non publique

Non publique

TABLEAU 9 1 ILLUSTRATION DE LA PROCEDURE DE CONTROLE DU DEBIT DE DENSITE (PARTIE 1) 9-6
TABLEAU 9 2 ILLUSTRATION DE LA PROCEDURE DE CONTROLE DU DEBIT DE DENSITE (PARTIE 2) 9-7
TABLEAU 9 3 ILLUSTRATION DE LA PROCEDURE DE CONTROLE DU DEBIT DE DENSITE (PARTIE 3) 9-8
TABLEAU 9 4 ILLUSTRATION DE LA PROCEDURE DE CONTROLE DU DEBIT DE DENSITE (PARTIE 4) 9-9
TABLEAU 9 5 LISTE DES SYSTEMES NECESSITANT UN ENTRETIEN 9-10
TABLEAU 9 6 GUIDE DE L'INSPECTION DES TUNNELS FLUVIAUX AU JAPON 9-20

TABLEAU 10 1 GÉOMÉTRIE DE L'EXCAVATION DU SABLE DE REMOUS (CAS 1 ET 2) 10-4
TABLEAU 10 2 GÉOMÉTRIE DE L'EXCAVATION DE SABLE ARRIÈRE (CAS 3 ET 4) 10-5
TABLEAU 10 3 GÉOMÉTRIE DE L'EXCAVATION DU SABLE DE REMOUS (CAS 5) 10-6
TABLEAU 10 4 RÉSULTATS DES CALCULS DE L'EFFET DE L'EXCAVATION DES SÉDIMENTS SUR L'ABAISSEMENT DU NIVEAU D'EAU 10-7
TABLEAU 10 5 GÉOMÉTRIE DE L'EXCAVATION RELATIVE AU SABLE DE REMOUS (CAS 1 ET 2) 10-8
TABLEAU 10 6 GÉOMÉTRIE DE L'EXCAVATION RELATIVE AU SABLE DE REMOUS (CASE 3 AND 4) 10-9
TABLEAU 10 7 GÉOMÉTRIE DE L'EXCAVATION RELATIVE AU SABLE DE REMOUS (CAS 5) 10-10
TABLEAU 10 8 VOLUME D'EXCAVATION POUR LES MESURES RELATIVE AU SABLE DE REMOUS 10-10
TABLEAU 10 9 ÉVALUATION COMPARATIVE DE LA GÉOMÉTRIE DE L'EXCAVATION POUR LE CONTRÔLE DE L'EFFET DE REMOUS 10-12

TABLEAU 10 10 HYPOTHÈSE D'ANALYSE DE SENSIBILITÉ POUR LA DÉCHARGE PROGRESSIVE DE SÉDIMENTS 10-14
TABLEAU 10 11 IMPACTS ET MESURES (PROVISOIRES) DUS AUX CHANGEMENTS PROJETÉES DU LIT DE L'OUED DANS LES SECTIONS D1 ET D2 10-18
TABLEAU 10 12 MODIFICATION DU BILAN HYDRIQUE ET DU BILAN SÉDIMENTAIRE SUITE À LA CRUE DE FÉVRIER 2015 10-22

TABLEAU 11 1 LISTE DES FORAGES 11-3
TABLEAU 11 2 RESULTATS DU SPT (ZONE D1) 11-8
TABLEAU 11 3 NIVEAU DES EAUX SOUTERRAINE ESTIMES 11-9
TABLEAU 11 4 ELEMENTS ET NORMES D'ESSAI DE LABORATOIRE 11-9
TABLEAU 11 5 ELEMENTS ET QUANTITE DES ESSAIS 11-9
TABLEAU 11 6 USCS (SYSTEME UNIFIE DE CLASSIFICATION DES SOLS) 11-10
TABLEAU 11 7 RESULTATS DE L'ANALYSE GRANULOMETRIQUE 11-11
TABLEAU 11 8 RESULTATS DES ESSAIS DE CONSOLIDATION 11-13
TABLEAU 11 9 STRATIGRAPHIE GEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE DANS LA ZONE D11 11-14
TABLEAU 11 10 CARACTERISTIQUES TECHNIQUES POUR CHAQUE TYPE DE SOL 11-15
TABLEAU 11 11 VALEUR N ET L'ANGLE DE FROTTEMENT INTERNE (Φ) POUR SOL SABLEUX 11-15
TABLEAU 11 12 RELATION ENTRE N, CONSISTANCE ET RESISTANCE A LA COMPRESSION SIMPLE DE SOL COHESIF 11-16
TABLEAU 11 13 RELATION ENTRE LA VALEUR N ET LE COEFFICIENT DE DEFORMATION (E) 11-16
TABLEAU 11 14 PROPRIETE MECANIQUE POUR CHAQUE TYPE DE SOL 11-17
TABLEAU 11 15 PROFONDEUR DE LA COUCHE DE SUPPORT POUR CHAQUE FORAGE 11-17
TABLEAU 11 16 CONDITION DE CALCUL HYDRAULIQUE 11-27
TABLEAU 11 17 SPECIFICATIONS DES OUVRAGES 11-28
TABLEAU 11 18 LISTE DES MESURES DE LUTTE CONTRE LES INONDATIONS 11-33
TABLEAU 11 19 RESUME DES RACCOURCIS 11-36
TABLEAU 11 20 CONDITIONS POUR LES CALCULS HYDRAULIQUES 11-40
TABLEAU 11 21 SPECIFICATIONS DES STRUCTURES 11-41
TABLEAU 11 22 COMPARAISON DES METHODES DE CONSTRUCTION DU CANAL TUNNEL 11-62
TABLEAU 11 23 COMPARAISON ENTRE LE CANAL DE DERIVATION ET LE TUNNEL 11-64
TABLEAU 11 24 HYPOTHESES POUR LES CALCULS HYDRAULIQUES DANS LE TUNNEL DE DERIVATION 11-65
TABLEAU 11 25 RESULTATS DE L'ETUDE COMPARATIVE SUR LE PLAN D'AMELIORATION DE L'OUED EN ZONE D1 11-70

TABLE 11 26: RESUME DES LOIS ET REGLEMENTS RELATIFS AUX PLANS D'OCCUPATION DES SOLS PROPOSES DANS LE PRESENT CHAPITRE 11-73
TABLEAU 11 27 PLAN D'INSTALLATION DE PONCEAUX DE RACCOURCI POUR L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE DANS LA ZONE CIBLE 11-80
TABLEAU 11 28 LISTE DES CONTENUS DU PROGRAMME PRELIMINAIRE PROPOSE PAR POUR CHAQUE ZONE 11-94
TABLE 11 29 CRITERES D'EVALUATION DU PROGRAMME (PROVISOIRE) 11-95
TABLE 11 30 PERSPECTIVE D'EVALUATION ET METHODE DE NOTATION POUR CHAQUE CRITERE 11-96
TABLEAU 11 31 ÉVALUATIONS DE L'UTILISATION DES TERRES DE CHAQUE PROJET 11-97
TABLEAU 11 32 ORDRE DE PRIORITE DU PROGRAMME D'UTILISATION DES TERRES BASE SUR L'EVALUATION DU PROGRAMME PAR CHAQUE ZONE 11-102

TABLEAU 12 1 OCCUPATION DU SOL ET COEFFICIENT DE RUGOSITE DE LA ZONE D'INONDATION 12-3
TABLEAU 12 2 STRUCTURES DANS LE MODELE D'INONDATION 12-10
TABLEAU 12 3 CONDITIONS DE MODELE D'INONDATION (1/2) 12-12
TABLEAU 12 4 CONDITIONS DE MODELE D'INONDATION (2/2) 12-13
TABLEAU 12 15 VOLUME D'INONDATION DANS LA ZONE D1 ET A CHAQUE POINT (W=1/10) 12-19
TABLEAU 12 6 VOLUME D'INONDATION A LA ZONE D1 ET A CHAQUE POINT (W=1/20) . 12-21
TABLEAU 12 7 VOLUME D'INONDATION A LA ZONE D1 ET A CHAQUE POINT (W=1/50) . 12-23
TABLEAU 12 8 VOLUME D'INONDATION A LA ZONE D1 ET A CHAQUE POINT (W=1/100) 12-25
TABLEAU 12 9 CAPACITE DE STOCKAGE DE CHAQUE BASSIN DE RETENTION (W=1/20, 1/50, 1/100) 12-26
TABLEAU 12 10 CARACTERISTIQUES ET COMPARAISON DE CHAQUE CAS 12-27

TABLEAU 13 1 ÉQUATIONS DE BASE POUR L'ANALYSE DE LA VARIATION UNIDIMENSIONNELLE DU LIT DE L'OUED 13-12
TABLEAU 13 2 CONDITIONS DE BASE POUR L'ANALYSE UNIDIMENSIONNELLE DU DEBIT DU LIT DE L'OUED 13-13
TABLEAU 13 3 RESULTAT DU CALCUL DU BILAN SEDIMENTAIRE (1) 13-21
TABLEAU 13 4 CONDITIONS DE BASE POUR LE CALCUL DES PREVISIONS FUTURES 13-25
TABLEAU 13 5 CONDITIONS DE L'ANALYSE DE SENSIBILITE 13-33
TABLEAU 13 6 VARIATION SECULAIRE DU LIT DE L'OUED 13-36
TABLEAU 13 7 RESULTAT DE L'ANALYSE DE SENSIBILITE DU VOLUME DE SEDIMENTS PAR GRANULOMETRIE 13-37

TABLEAU 13 8 RESULTAT DE L'ANALYSE DE SENSIBILITE DE LA DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DU LIT DE L'OUED.....13-38
TABLEAU 13 9 CONDITIONS DE CALCUL POUR L'ANALYSE D'IMPACT DE L'AMENAGEMENT DE L'OUED 13-39
TABLEAU 13 10 EVOLUTION DECENNALE DE LA HAUTEUR DU LIT DE L'OUED (SECTION D1) 13-42
TABLEAU 13 11 EVOLUTION DECENNALE DE LA HAUTEUR DU LIT DE L'OUED (SECTION D2) 13-43
TABLEAU 13 12 EVOLUTION DE LA HAUTEUR DU LIT DE L'OUED EN FONCTION DE LA CONDUITE DE L'EVACUATION DES SEDIMENTS 13-47
TABLEAU 13 13 EVOLUTION DE LA HAUTEUR DU LIT DE L'OUED EN FONCTION DE LA CONDUITE DE L'EVACUATION DES SEDIMENTS 13-48
TABLEAU 13 14 EVOLUTION DE LA HAUTEUR DU LIT DE L'OUED EN FONCTION DE LA CONDUITE DE L'EVACUATION DES SEDIMENTS 13-49
TABLEAU 13 15 IMPACTS DE LA FUTURE VARIATION DU LIT DE L'OUED DANS LA ZONE D1/D2 ET CONTRE-MESURES PROPOSEES 13-50

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

1.1 Contexte

(1) État de la Sédimentation de la Retenue du Barrage de Sidi Salem

La moitié du territoire de la République tunisienne (ci-après dénommée "Tunisie") est située dans une région semi-aride, et les précipitations annuelles moyennes à Tunis, la capitale située dans le nord du pays, ne sont que d'environ 500 mm (1991-2010).

En outre, la Tunisie dispose de ressources en eau totales de 4 800 millions de m^3/an, comprenant les eaux de surface et les eaux souterraines, cependant environ 80 % des eaux de surface sont concentrées dans le nord de la Tunisie, où se trouve le bassin de la Medjerda, le majeur cours d'eau du pays.

Le barrage de Sidi Salem, situé dans le cours moyen du tronçon principal de l'oued, est le plus grand barrage en terre du pays, construit en 1981. Il a une superficie de retenue d'environ 90 km^2 avec une capacité totale de 980 millions de m^3 et un bassin versant de 18 000 km^2. Le barrage est polyvalent et a des effets importants sur la lutte contre les inondations dans la zone en aval, le développement agricole, l'eau d'irrigation pour la capitale Tunis et ses banlieues, l'eau urbaine et l'alimentation en électricité.

D'autre part, ces dernières années, le problème de la sédimentation dans la retenue est devenu apparent, et il est redouté que si la sédimentation du barrage progresse à l'avenir, les fonctions du barrage telles que les fonctions de lutte contre les inondations pourraient ne pas être correctement exercées. Pour cette situation, JICA a mené l'Assistance Spéciale pour la Mise en Œuvre du Projet de Contrôle des Inondations de l'oued Medjerda (dénommée ci-après « SAPI ») de 2017 à 2018.

Selon SAPI, environ 20 % (190 millions de m^3) de la capacité de stockage d'eau initiale ont été perdus en raison de la sédimentation au cours des 36 années, et la capacité de stockage d'eau actuelle est de 790 millions de m^3. Cela signifie qu'il y a une perte de 5% de la capacité de lutte contre les inondations et de 23% de la capacité d'utilisation de l'eau. L'apport annuel moyen de sédiments a été estimé à 6,6 millions de m^3/an.

État de sédimentation de la retenue

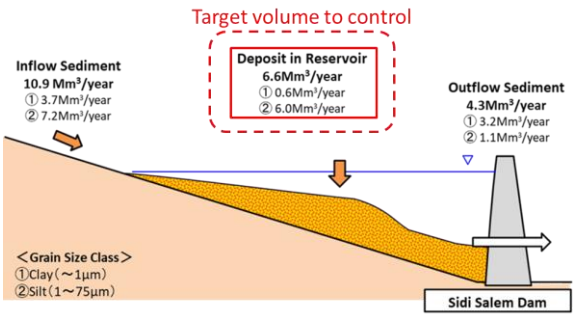
Sédimentation moyenne annuelle

- Un bilan sédimentaire a été établi pour les 20 années de 1997 à 2017 lorsque l'exploitation de la retenue a été modifiée.
- 6,6 millions de m^3/an sont déposés dans la retenue
- 60 % des sédiments entrants sont déposés et 40 % sont rejetés en aval.

Changement de capacité de la retenue

Impact de la progression de la sédimentation dans le réservoir

- Le volume de sédiments en février 2018 a diminué de 191 millions de m^3 : 20 %.
- Capacité de lutte contre les inondations diminuée de 5 % : l'équivalent de 11 millions de m^3.
- Capacité d'utilisation de l'eau en baisse de 23 % : l'équivalent de 180 millions de m^3.



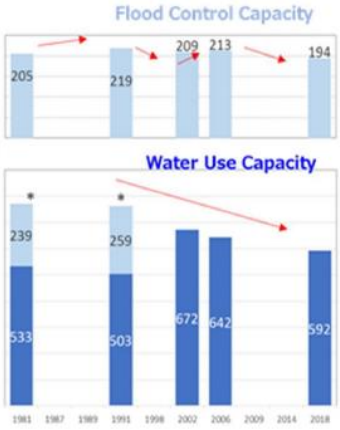


Figure 1-1 Changements annuels moyens en sédimentation et en capacité de la retenue

(2) Scénario de base des mesures de lutte contre la sédimentation projetés dans la retenue dans l'étude SAPI

Dans le cadre du SAPI, une stratégie de base de mesures de lutte contre la sédimentation a été établie en fonction de l'état de sédimentation de la zone de la retenue. La retenue a été divisée en six (6) zones comme le montre la Figure 1.2. La formation de bretelle de sédimentation s'est développée dans la zone F et a progressé jusqu'à la zone E. Ensuite, à l'avenir, les sédiments s'étendront vers les zones C et B qui sont plus profondes. La progression de la bretelle de sédimentation est supprimée dans la zone D, et la diffusion des sédiments est supprimée dans les zones B et C. De plus, sur la base des caractéristiques géographiques de la retenue et des caractéristiques du sédiment, des combinaisons complètes de contre-mesures ont été proposées avec les politiques de « mesures d'apport de sédiments », de « mesures d'élimination des sédiments » et de « mesures d'évacuation des sédiments ».

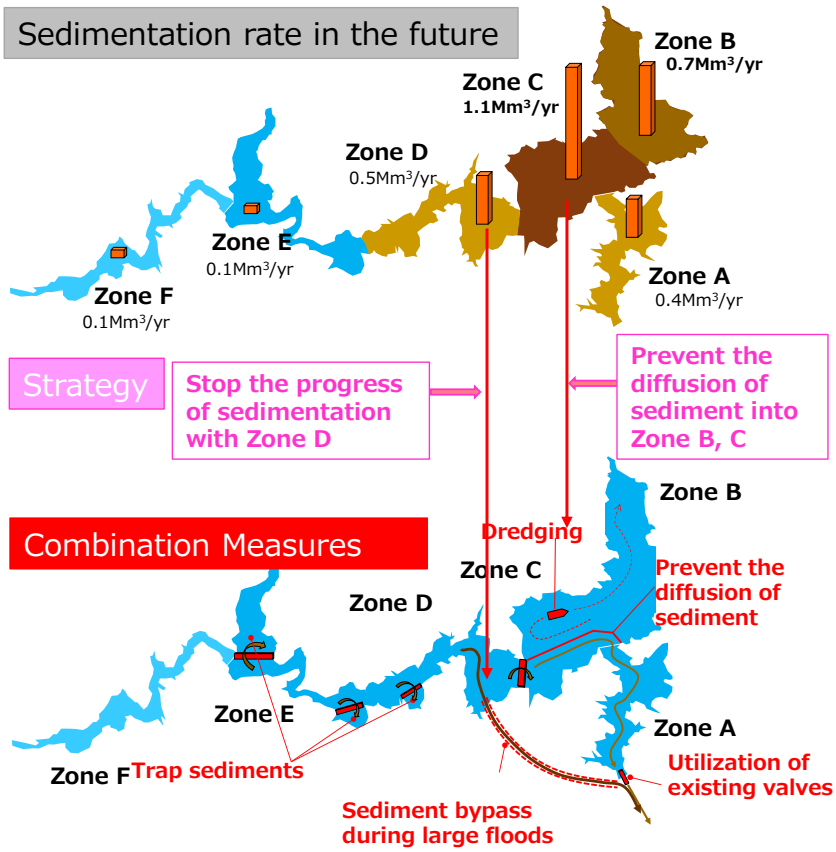


Figure 1-2 Scénario de base des mesures de lutte contre la sédimentation projetés dans la retenue dans l'étude SAPI

(3) État Actuel des Projets de lutte Contre les Inondations dans le Bassin de la Medjerda

En raison des fortes pluies survenues dans le cours supérieur de la Medjerda au cours de l'année 2000, les grandes inondations survenues en janvier 2003 ont causé d'importants dégâts dans le cours inférieur du barrage. En réponse à cette situation, la JICA a mené une enquête de développement « l'Etude sur la Gestion Intégrée du Bassin de l'oued Medjerda » de 2006 à 2008, et a formulé un Plan Directeur de contrôle des crues et un plan directeur de lutte contre les inondations (ci-après dénommé « P/D »). Dans le P/D, le bassin de l'oued Medjerda a été divisé en trois zones situées en amont du Barrage de Sidi Salem, appelées Zones U1, U2 et M, et deux zones situées en aval, dénommées Zones D1 et D2. Actuellement, les mesures de contrôle des inondations sont examinées dans les bassins en amont par Kreditanstalt für Wiederaufbau (ci-après dénommé KfW) et le projet de contrôle des inondations est en cours dans la Zone D2 par le prêt de la JICA.

Dans le P/D, aucune mesure de lutte contre la sédimentation n'a été proposée. Dans les mesures de lutte

contre la sédimentation du barrage de Sidi Salem proposées par SAPI, il est nécessaire d'évacuer les sédiments en aval du barrage, mais lors de l'évacuation des sédiments à l'avenir, la capacité d'écoulement actuelle de l'oued n'est pas suffisante pour qu'ils soient évacués dans l'océan. Il est indispensable d'en considérer l'impact, et il n'est pas possible de considérer séparément les mesures de lutte contre la sédimentation de la retenue du barrage de Sidi Salem et le projet d'aménagement de l'oued dans la zone D1 en aval du barrage. L'enquête SAPI a suggéré que le bassin fluvial de la Medjerda a besoin d'une gestion des sédiments cohérente et complète à cause des problèmes relatifs aux barrages et cours d'eau qui y sont reliés. L'enquête présente a pour but d'examiner ceci.

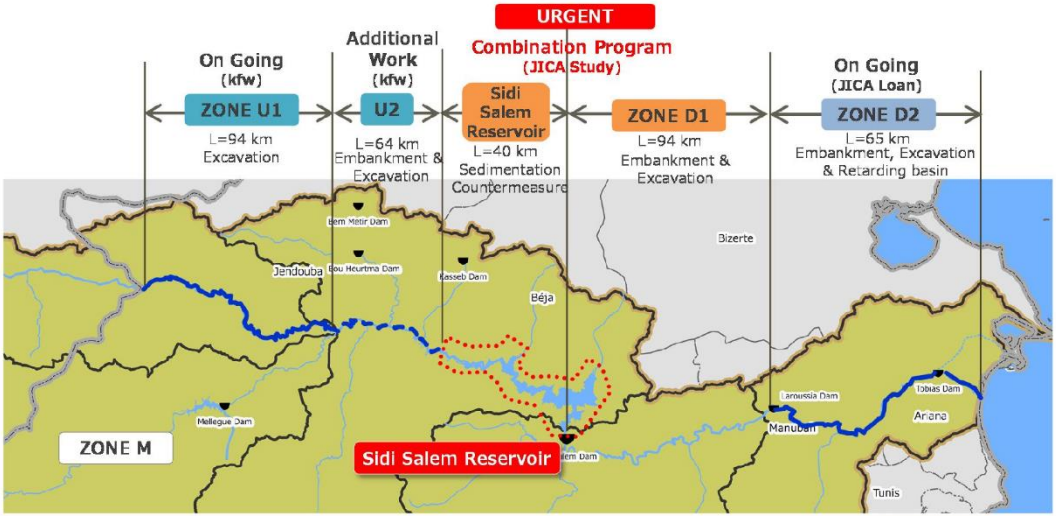


Figure 1-3 Projets de lutte contre les inondations dans le bassin de la Medjerda

1.2 Objectifs de Cette étude

Sur la base des résultats du SAPI, cette étude définira les conditions de base pour le plan de lutte contre les inondations de la Medjerda, comparera et examinera les mesures alternatives pour la lutte contre la sédimentation de la retenue du barrage de Sidi Salem, et envisagera des mesures de lutte contre les inondations de l'oued (zone D1). Le but est de confirmer la faisabilité à travers un projet de prêt APD à l'avenir.

1.3 Zone d'étude

Les zones cibles de l'étude sont le barrage de Sidi Salem et la zone D1 en aval du barrage (voir Figure 1-4).

1.4 Éléments d'étude et Plan de Travail

La Figure 1-5 illustre les éléments de l'étude et le plan de travail.

1.5 Structure de mise en œuvre

Cette étude sera menée par un total de 20 membres divisés en quatre groupes ayant un chef de groupe chacun. La Figure 1-6 illustre le système de mise en œuvre de l'enquête.

En outre, un comité d'appui technique est mis en place pour soutenir et proposer divers avis concernant les aspects techniques liés aux mesures de lutte contre la sédimentation du barrage, à l'entretien des cours d'eau, aux plans d'exploitation et d'entretien du barrage, etc. Les membres du Comité National d'Appui sont indiqués dans le Tableau 1-1.

Tableau 1-1 Membres du comité de soutien technique (depuis mars 2020)

Nom	Profession	Position
Pr SUMI	Professeur, Institut de recherche sur la prévention des catastrophes, Université de Kyoto	Chef/Président
M. Sakurai	Chercheur en chef, Japan Dam Engineer Center	Membre/Analyse hydraulique du barrage, Analyse des mécanismes sédimentaires, Évaluation des mesures
M. Hattori	Chercheur en système de prévention des catastrophes liées à l'eau Ministère du Territoire, des Infrastructures, des Transports et du Tourisme Institut National de Gestion du Territoire et des Infrastructures, Département des cours d'eau	Membre/Sédimentation des zones aval, Évaluation de l'impact de l'érosion, Examen de la politique d'aménagement
M. Kuga	Spécialiste de la planification, Ministère du Territoire, des Infrastructures et des Transports, Bureau de la gestion des eaux et des catastrophes Division de l'environnement fluvial	Membre/Règles de fonctionnement des barrages, Maintenance

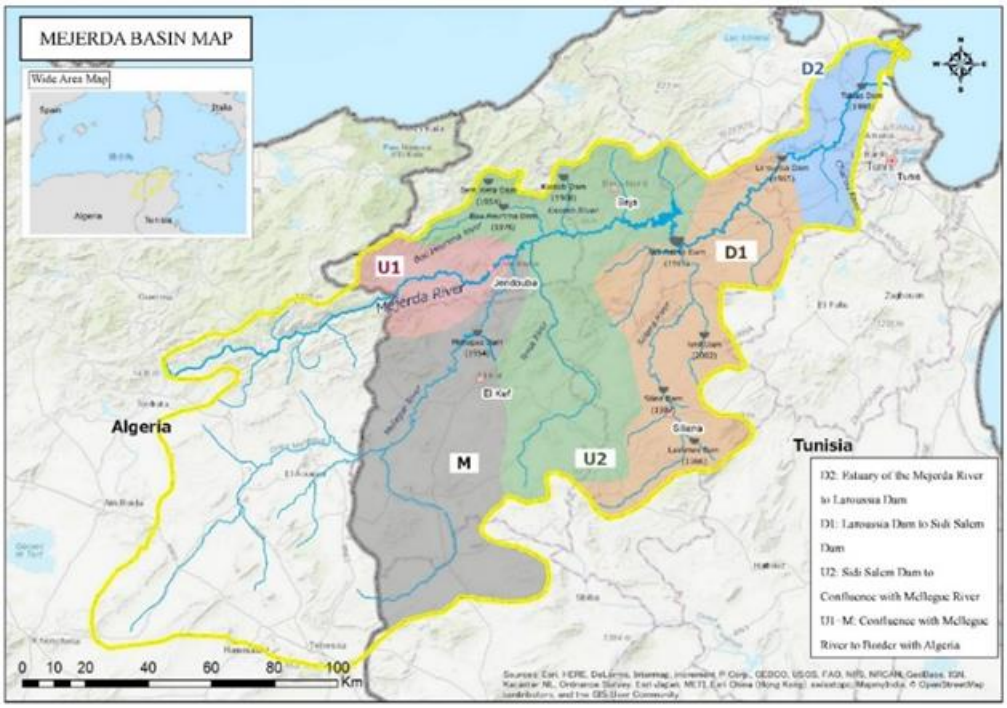


Figure 1-4 Schéma du bassin de l'oued Medjerda

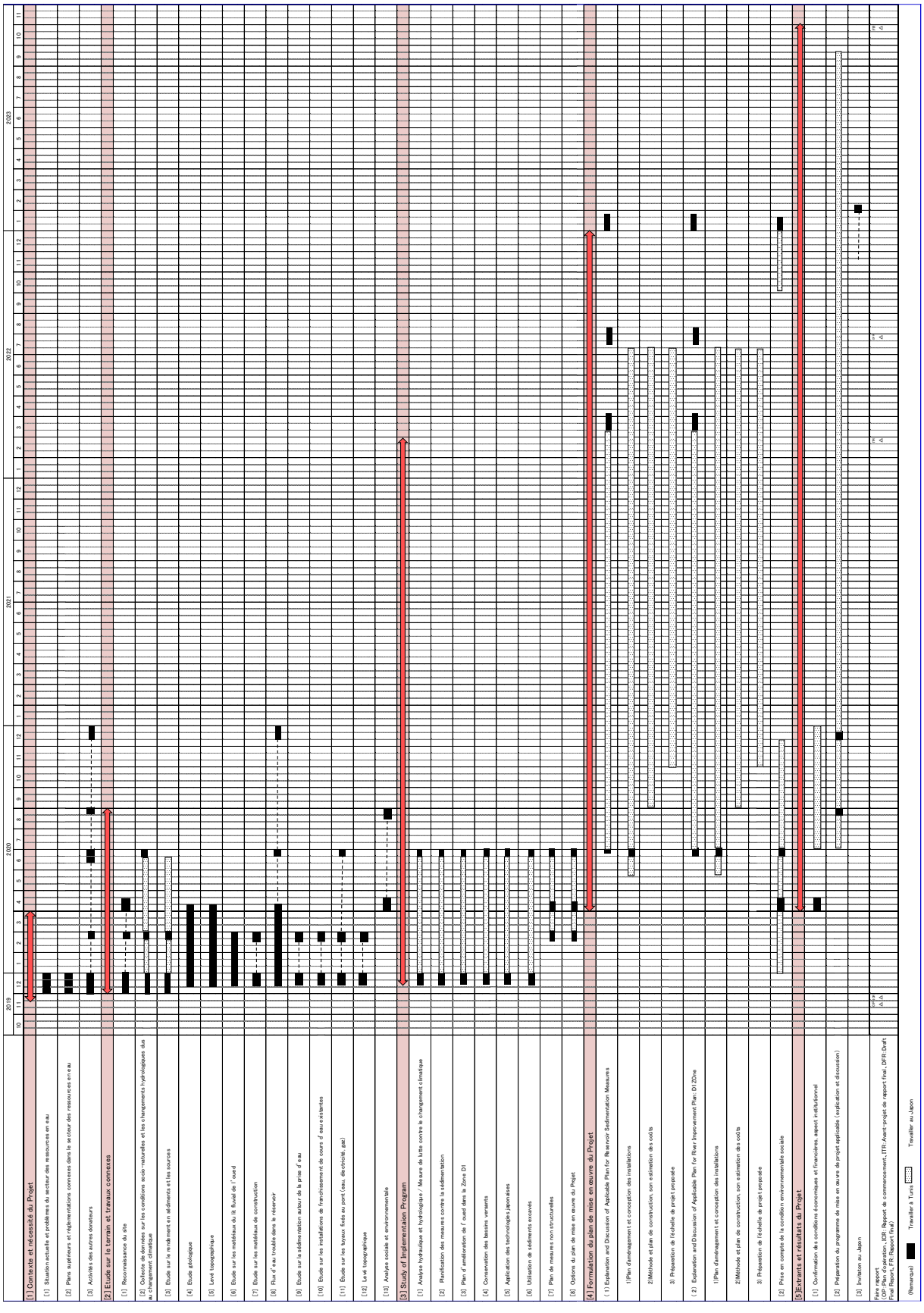


Figure 1-5 Programme de travail

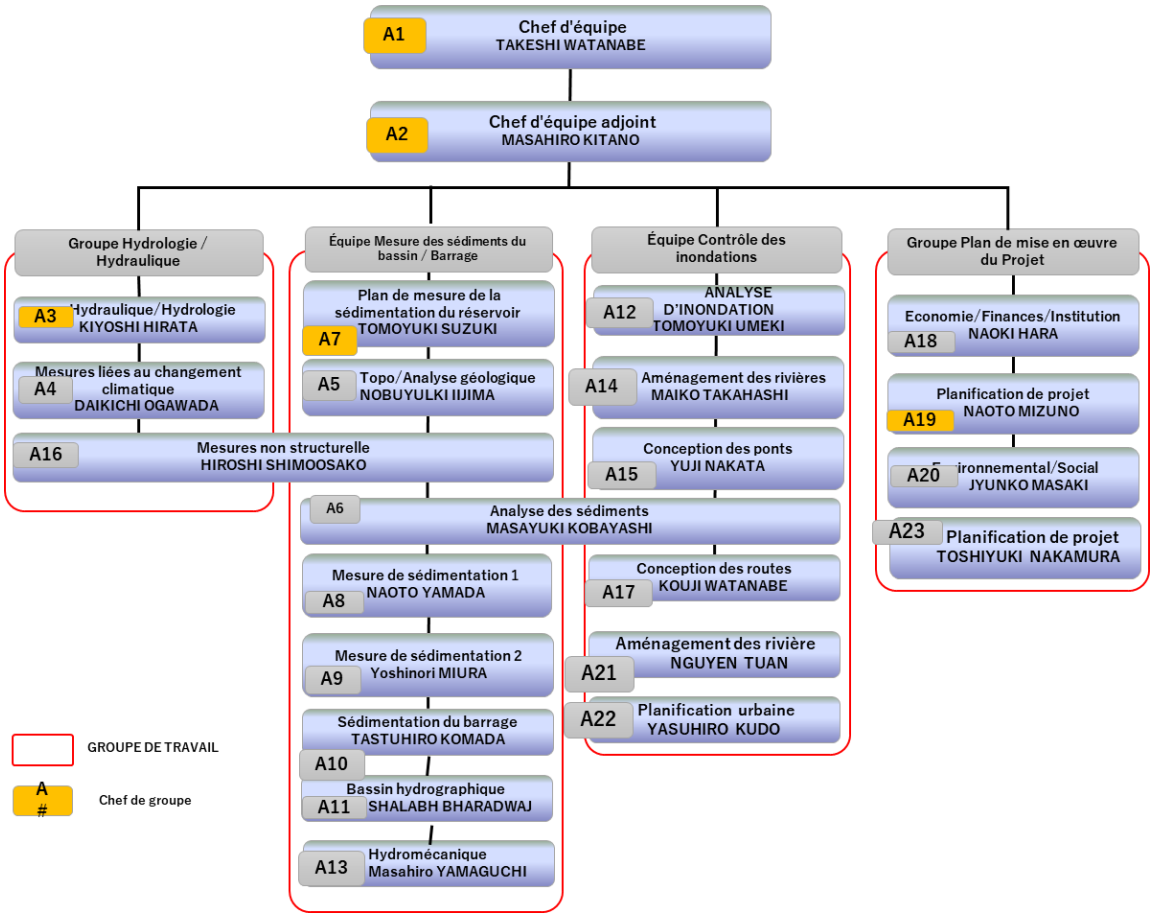


Figure 1-6 Structure de mise en œuvre

CHAPITRE 2 SITUATION ACTUELLE DE LA ZONE D'ETUDE

2.1 Conditions Naturelles et Sociales en Tunisie

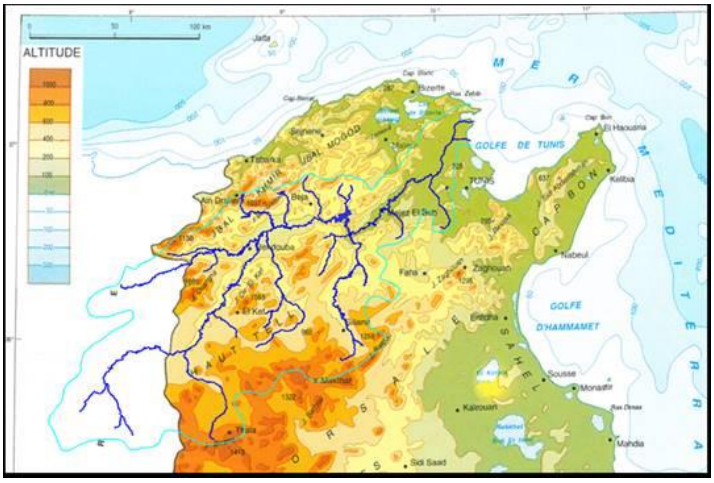
2.1.1 Conditions Naturelles

(1) Aperçue sur la Topographie

La Medjerda est un fleuve international prenant sa source dans la partie nord-est des montagnes de l'Atlas, s'écoulant du nord-est de l'Algérie au nord de la Tunisie et se jetant dans le golfe de Tunis comme indiqué sur la Figure 2-1. La longueur du cours, considéré comme étant le plus long en Tunisie, est de 484 km. Des terres agricoles s'étendent dans le bassin. La Medjerda est le principale cours d'approvisionnement en eau agricole, ainsi qu'en eaux urbaines environnantes, y compris le bassin et Tunis.

La topographie du bassin compte des zones montagneuses, entre lesquelles sont formées de petites plaines alluviales depuis la source de la Medjerda jusqu'à la confluence avec l'Oued Satara en aval du barrage de Sidi Salem. Sur cette plaine alluviale des villes de moyenne taille, telle que Boussalem et Jendouba peuvent être repérées. Un terrain vallonné s'est formé jusqu'à l'aval de Tebourba. La soi-disant plaine alluviale s'étend de Tebourba jusqu'à l'estuaire de la Medjerda. L'historique de la formation de cette plaine alluviale est décrit dans la section suivante.

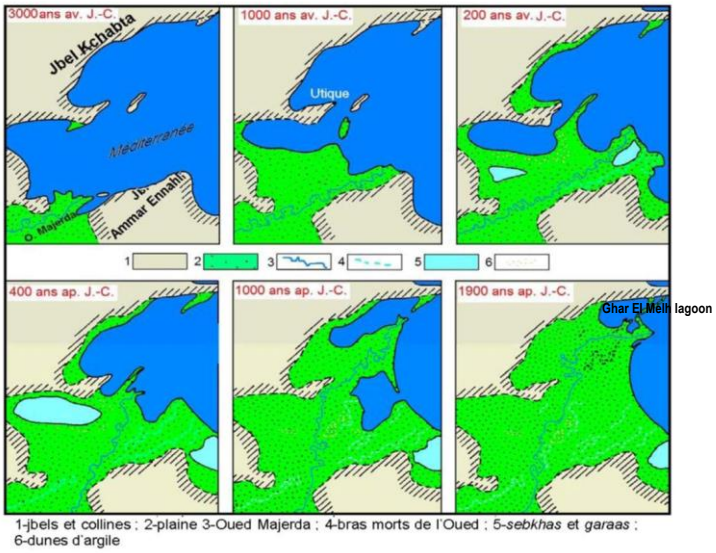
Les principaux affluents, les affluents droits, dans le cours supérieur du barrage de Sidi Salem sont Oued Mellegue et Oued Tessa. Du côté gauche, les affluents sont Oued Cassa et Beja. Les bassins versants des affluents droits tels que Mellegue et Tessa sont considérablement plus grands que ceux des affluents gauches Cassa et Beja. Le barrage N 1 existant de Mellegue (hauteur : environ 100 m) a été construit dans le bassin d'Oued de Mellegue, cependant l'apport en sédiments, en quantité importante au réservoir, a perturbé le fonctionnement du barrage. En amont de ce dernier, un deuxième Barrage de Mellegue a été construit.



(Source : Rapport Précèdent de l'Etude Préparatoire, Origine: Documentation de INM)

Figure 2-1 Carte topographique du bassin de la Medjerda (Tunisie)

Sur la Figure 2-2, le processus de comblement dans la baie d'Utique (Tunis) est expliqué à la base d'anciens documents et de données archéologiques. La Baie d'Utique a été formée par transgression environ 6,000 ans après l'ère glaciale jusqu'à atteindre le centre de la plaine représenté par l'Oued de Medjerda actuellement. Par la suite, En parallèle avec le retrait, les sédiments de la Medjerda, composés essentiellement de gravier et de sable, et ceux du milieu marin composé de sols cohésifs ont commencé à se déposer graduellement dans la baie. La baie, ainsi, a été presque complètement réclamée vers la fin de l'ère ancienne. Le littorale d'aujourd'hui a été formé entre le Moyen âge et l'époque actuelle, et de son côté, le lac de Ghar El Melh constitue l'ultime relique de la baie d'Utique.

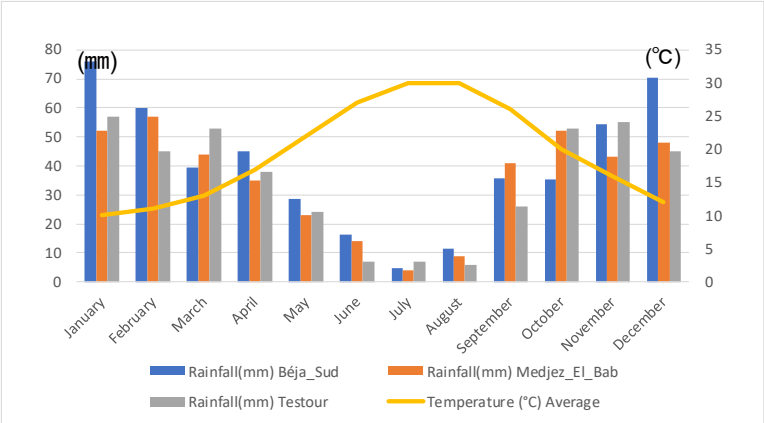


(Source : Rapport Précèdent de l'Etude Préparatoire, Origine : PASKOFF R. & TROUSSET P. (1992) - L'ancienne Baie d'Utique : du témoignage des textes à celui des images satellitaires ; Revue MAPPE MONDE, n°1)

Figure 2-2 Evolution de la régression marine dans la Baie de Tunis (Utique)

(2) Climat

Les températures et précipitations moyennes des 50 dernières années sont présentées sur la Figure 2-3. Les résultats ont été établit par le Ministère d'Agriculture en Tunisie et sont relatifs aux trois stations de Testour, Medjez El Bab and Beja Sud.

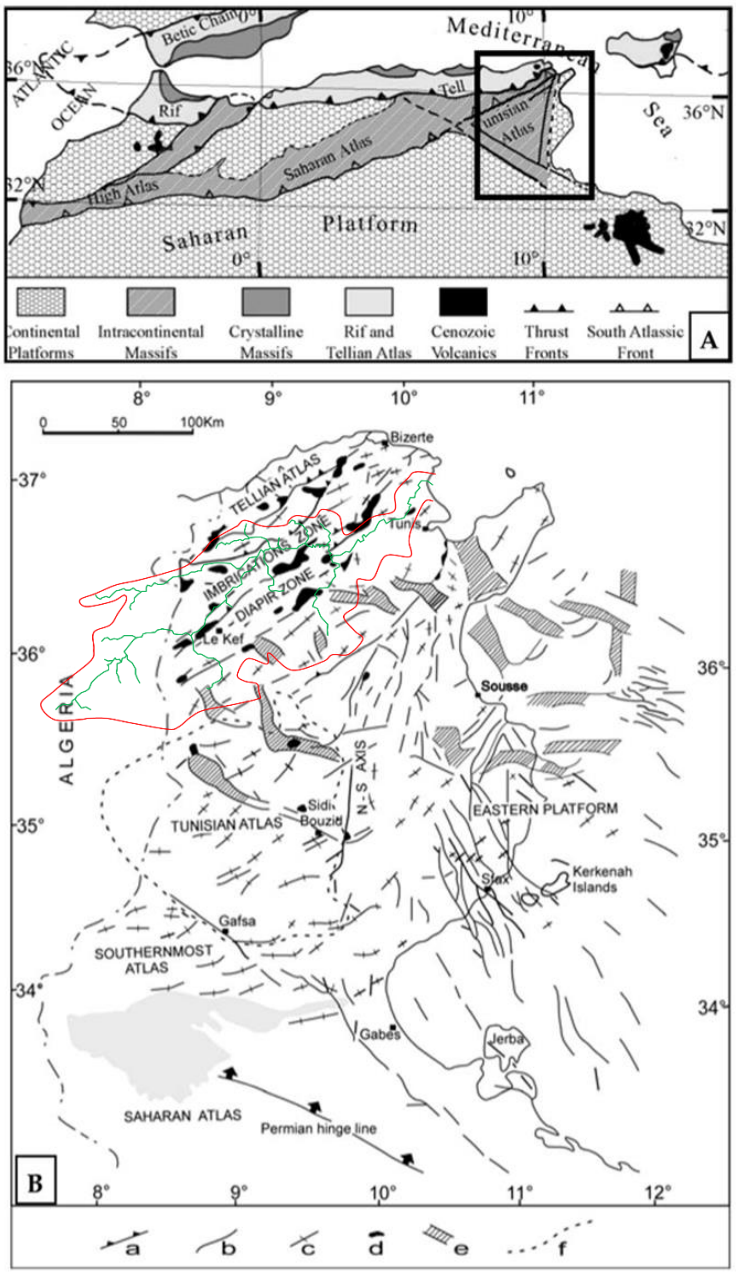


Source : Ministère de l'Agriculture (http://www.agridata.tn/fr/dataset/moyenne-des-precipitations-beja)

Figure 2-3 Précipitation et température en Tunisie (moyenne de 50 ans)

(3) Aperçue Géologique

Oued Medjerda prend sa source du côté inférieure en nord-est de l'Atlas Saharien et s'écoule jusqu'au Golf de Tunis (Figure 2-4). La zone tectonique régionale est principalement située dans la zone de Diapir et en partie dans la zone d'Imbrication. Une faille existante pousse du côté nord-ouest vers le côté sud-est aux frontières de la zone tectonique. Dans cette zone, une structure de plis s'étendant du sud-ouest au nord-est est développée. Les crêtes des montagnes et des collines ont tendance à être anticlinales.



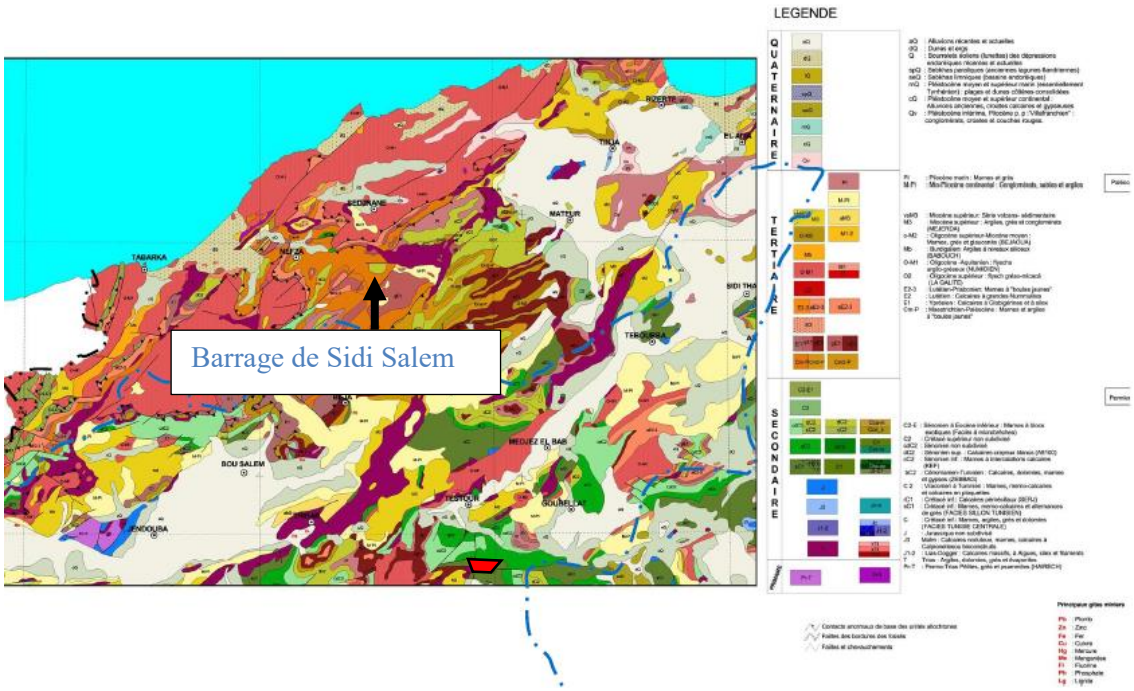
A: Contexte General, B: Carte Tectonique Illustrative, a: Poussée majeure, b: Fautes majeures, c: anticlinaux majeurs, d: Trias, e: Graben, f: Limite de l'île de Kasserine

(Source: Tunisian Transtensive Basin in Tethyan Geodynamic Context and Their Post-Tortonian Inversion)

Figure 2-4 Tectonique du bassin de Medjerda

La géologie du bassin de la Medjerda est principalement composée de roches sédimentaires de trias et crétacé mésozoïque dans les zones montagneuses comme indiqué sur la Figure 2-5. Les roches sédimentaires (calcaires, dolomites, péridotites, grès, schiste, évaporites) réparties dans la zone vallonnée se sont formées dans le Paléocène Cénozoïque et l'Éocène, l'Oligocène et du Miocène au Pliocène.

Des plaines basses se sont formées entre ces montagnes et collines et dans le cours inférieur de l'Oued Medjerda. Dans ces zones basses, des couches sédimentaires de sable et d'argile du Pléistocène Quaternaire et de l'Holocène sont réparties.



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

Figure 2-5 Carte géologique de la zone d'etude

(4) L'occupation du sol dans le Bassin de Medjerda

L'occupation du sol dans le Bassin de Medjerda consiste principalement de terres relatives à l'agriculture, d'arbustes et de pâturages, quant aux zones urbaines, elles sont plutôt dispersées le long de l'Oued. Les zones aux alentours du réservoir de Sidi Salem sont dédiées aux terres agricoles et aux pâturages ; des Olivers et du Blé (Figure 2-6).

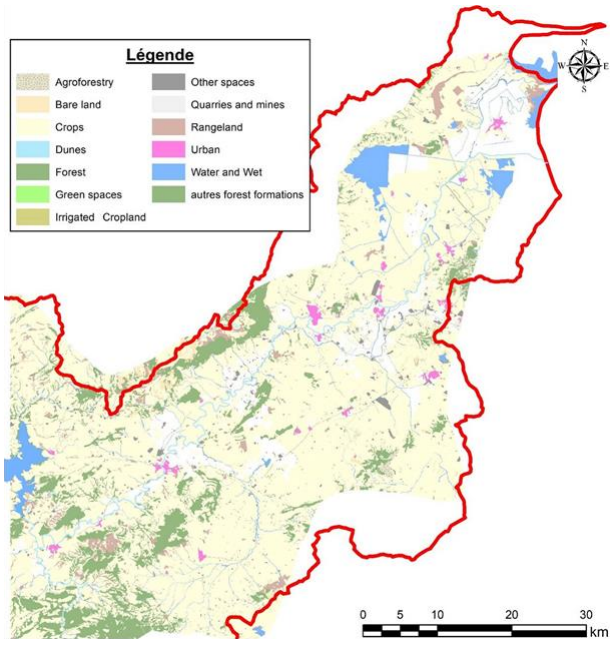


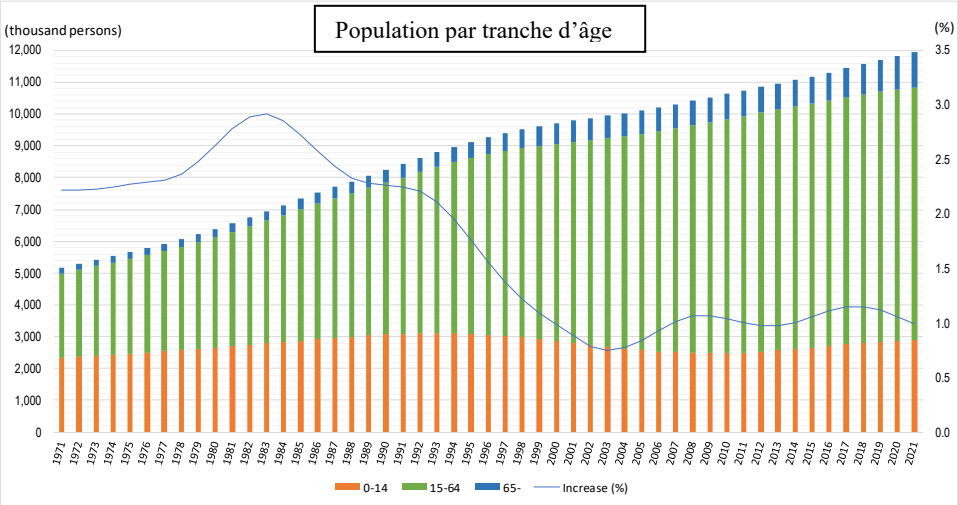
Figure 2-6 Occupation du sol dans le bassin de Medjerda

2.1.2 Situation Socio-Economique Actuelle

(1) Population et Ménages

1) Population

Un recensement de la population est effectué tous les 10 ans en Tunisie. Selon le dernier recensement de la population et de l'habitat de 2014, la population globale était de 11 007 326 habitants ; pour les années postérieures à 2015, les données démographiques ont été tirées des Indicateurs du développement mondial publiés par la Banque mondiale. Sur la base de ces données, la Figure 2-72 présente la population de la Tunisie par groupe d'âge depuis 1971.



Source : World Development Indicators

Figure 2-7 Tendances démographiques en Tunisie

La tendance de la population pour les 10 dernières années (2011~2021) est présentée dans le Tableau 2-12.

Tableau 2-1 Population et taux de croissance démographique (2011~2021)

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Population (mille)	10742	10847	10953	10983	11180	11304	11433	11565	11695	11819	11936
Taux de croissance	1.00	0.98	0.98	1.01	1.06	1.11	1.15	1.15	1.12	1.06	0.99

Le taux de croissance de la population tunisienne a commencé à diminuer dans les années 1980 et a été inférieur à 2%/an depuis le milieu des années 1990, et s'est maintenu autour de 1%/an depuis 2000. La population de plus de 65 ans a augmenté à un taux moyen de 4,2% au cours des cinq dernières années. En 2021, la population âgée de plus de 65 ans représentera 9,2% de la population totale.

2) Nombre de Ménages et de Logements

Sur le Tableau 2-2 sont présentés, pour les années 2004 et 2014, les résultats du recensement relatif au nombre de ménages et de logements (Bâtiments à usage résidentiel) en Tunisie et dans les Gouvernorats et Délégations inclus dans la zone d'inondation concernée (Zone D1) (Gouvernorats et Délégations Relatifs). Dans les gouvernorats et les délégations concernés, le nombre de ménages et de logements connaissent une croissance plus importante que la population, par conséquent le nombre d'habitants par ménage ou logement sont en diminution.

Dans les gouvernorats/délégations situés dans la plaine d'inondation du bassin versant cible, le nombre de ménages et de maisons a augmenté de manière significative par rapport à la croissance

démographique, ce qui signifie que le nombre de personnes par ménage et par maison a diminué.

Tableau 2-2 Population, nombre de ménages et de logements en Tunisie et dans les gouvernorats/ Délégations concernés

Gouvernorat Délégation	2004					
	Population (1 000)	Ménages (1 000)	*Habitants/ Ménage*	Logements (1 000)	*Habitants/ Logement*	*Logements/ Ménage*
Tunisie	9,910.9	2,185.8	*4.5*	2,500.8	*4.0*	*1.1*
Béja	**304.5**	**68.6**	***4.4***	**72.1**	***4.2***	***1.1***
Medjez El bab	39.0	8.7	*4.5*	8.6	*4.5*	*1.0*
Testour	32.8	7.3	*4.5*	7.8	*4.2*	*1.1*
Manouba	**335.9**	**70.8**	***4.7***	**74.3**	***4.5***	***1.0***
Jdaida	40.3	8.3	*4.8*	8.7	*4.6*	*1.0*
Tebourba	41.1	8.2	*5.0*	8.3	*4.9*	*1.0*
El Battan	17.3	3.5	*4.9*	3.4	*5.1*	*1.0*

Gouvernorat Délégation	2014					
	Population (1 000)	Ménages (1 000)	*Habitants/ Ménage*	Logements (1 000)	*Habitants/ Logement*	*Logements/ Ménage*
Tunisie	10,982.8	2,713.0	*4.0*	3,289.9	*3.3*	*1.2*
Béja	**303.0**	**76.8**	***3.9***	**85.2**	***3.6***	***1.1***
Medjez El bab	41.7	10.4	*4.0*	11.5	*3.6*	*1.1*
Testour	33.6	8.3	*4.1*	9.4	*3.6*	*1.1*
Manouba	**379.5**	**95.4**	***4.0***	**103.3**	***3.7***	***1.1***
Jdaida	44.7	10.8	*4.1*	11.6	*3.9*	*1.1*
Tebourba	43.5	10.8	*4.0*	10.9	*4.0*	*1.0*
El Battan	19.0	4.6	*4.2*	4.8	*4.0*	*1.1*

Gouvernorat Délégation	2014/2004					
	Population (1 000)	Ménages (1 000)	*Habitants/ Ménage*	Logements (1 000)	*Habitants/ Logement*	*Logements/ Ménage*
Tunisie	1.11	1.24	0.89	1.32	0.84	1.06
Béja	**1.00**	**1.12**	**0.89**	**1.18**	**0.84**	**1.06**
Medjez El bab	1.07	1.20	0.90	1.34	0.80	1.12
Testour	1.03	1.13	0.91	1.21	0.85	1.07
Manouba	**1.13**	**1.35**	**0.84**	**1.39**	**0.81**	**1.03**
Jdaida	1.11	1.30	0.86	1.33	0.84	1.03
Tebourba	1.06	1.32	0.81	1.31	0.81	1.00
El Battane	1.10	1.30	0.84	1.42	0.77	1.09

Source : Résultats du Recensement de la population et de l'habitat 2014, Gouvernorat de Béja en Chiffres 2018 et Gouvernorat de Manouba en Chiffres 2018

Table 2-3 Tendances démorgaphiques à Beja et Manouba

Gouvernorat Délégation	2004	2014	2021
	Population (mille)	Population (mille)	Population (mille)
Tunisie	9,910.9	10,982.8	11935.7
Béja	304.5	303.0	308.1
Manouba	335.9	379.5	423.1

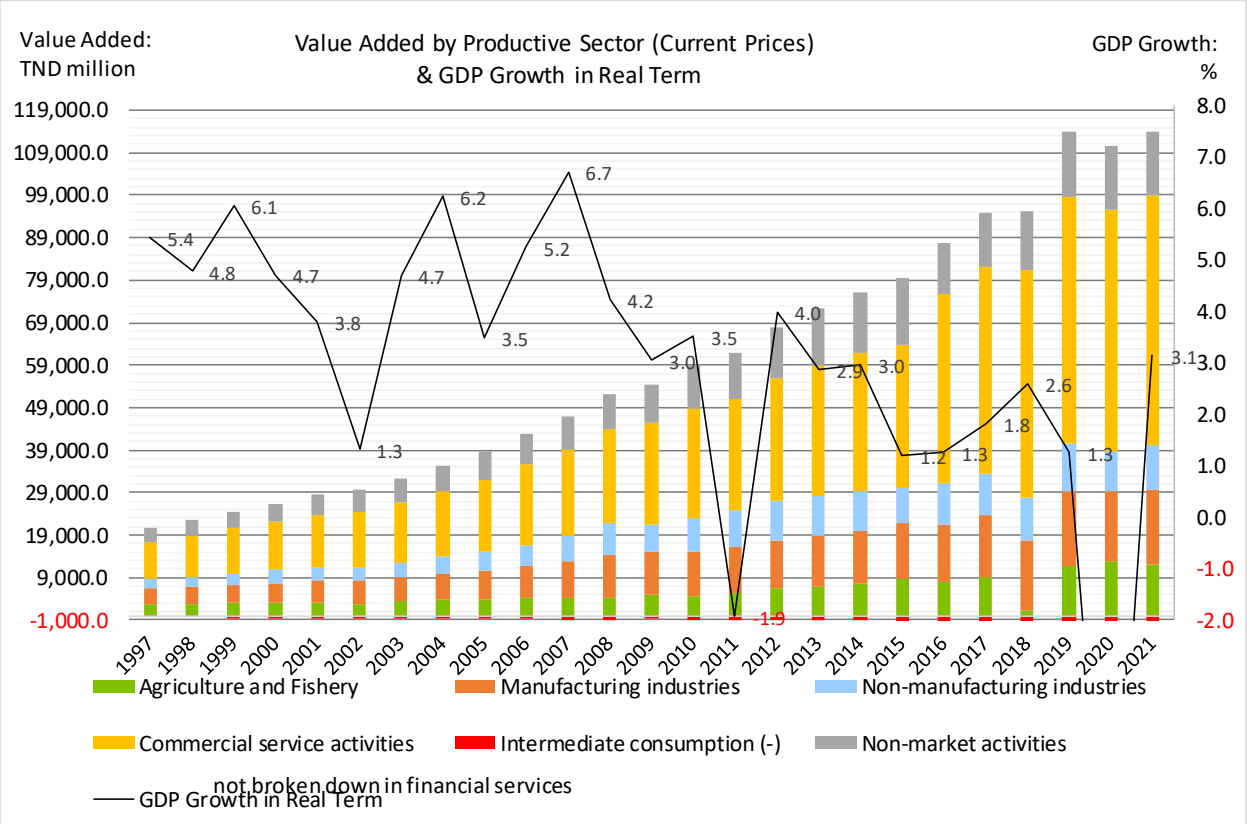
(2) Economie

1) Produit Intérieur Brut (PIB) de la Tunisie

Le PIB de la Tunisie a enregistré un taux de croissance variant entre 3.0% et 6.7% entre 1997 et 2010 à l'exception de l'année 2002. En 2011, le PIB a connu un taux de croissance négatif. Cependant, la reprise s'est amorcée en 2012 conduisant à un taux de croissance de 4.0%. Un retour en récession est marqué entre 2012 et 2015 par une diminution continue de ce taux jusqu'à atteindre 1.2% en 2015. Depuis 2016, la croissance économique a été accélérée et le taux de croissance était de 2.5% en 2018. Cependant

touchée par l'épidémie de COVID19, l'économie tunisienne a pris un coup dur ; selon le Fonds Monétaire International (FMI), le taux de croissance de 2020 était estimé à -4,3% en avril 2020 (Figure 2-8).

Cependant, avec la propagation mondiale du COVID19, l'économie tunisienne a également été durement touchée, diminuant à -8,7 % en 2020 et montrant des signes de reprise à 3,1 % en 2021.

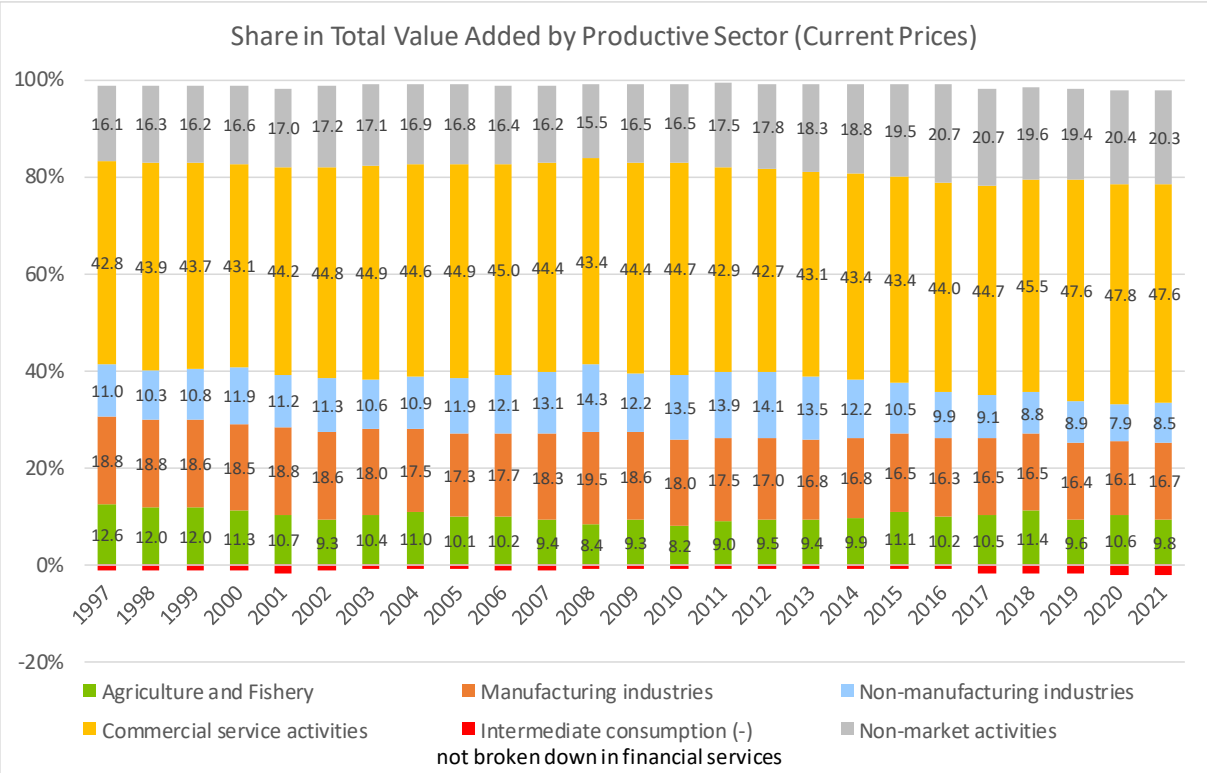


Source : Valeur ajoutée par secteur d'activité : Institut National des Statistiques (INS) de la Tunisie

Taux de croissance du PIB: Indicateur de Développement Mondiale, Groupe de la Banque Mondiale

Figure 2-8 Variations de la valeur ajoutée par secteur d'activité aux prix courants et aux taux de croissance du PIB

La Valeur Ajoutée Brute par secteur d'activité aux prix courants n'a pas connu de variation notable pendant les 20 dernières années comme indiqué sur le Figure 2-9. Les contributions de l'agriculture et de la pêche varient entre 8.2% et 12.5% en fonction des conditions climatiques et d'autres facteurs, le secteur d'industries manufacturières a connu une diminution de 19% à 17% causée par le déclin des actions des industries manufacturières traditionnelles telles que le textile et l'industrie chimique ; l'industrie du phosphore, qui n'a pas pu être compensé par l'accroissement des industries mécaniques et électriques. En ce qui concerne l'administration publique, les actions du secteur ont augmenté de 16% à 20%.

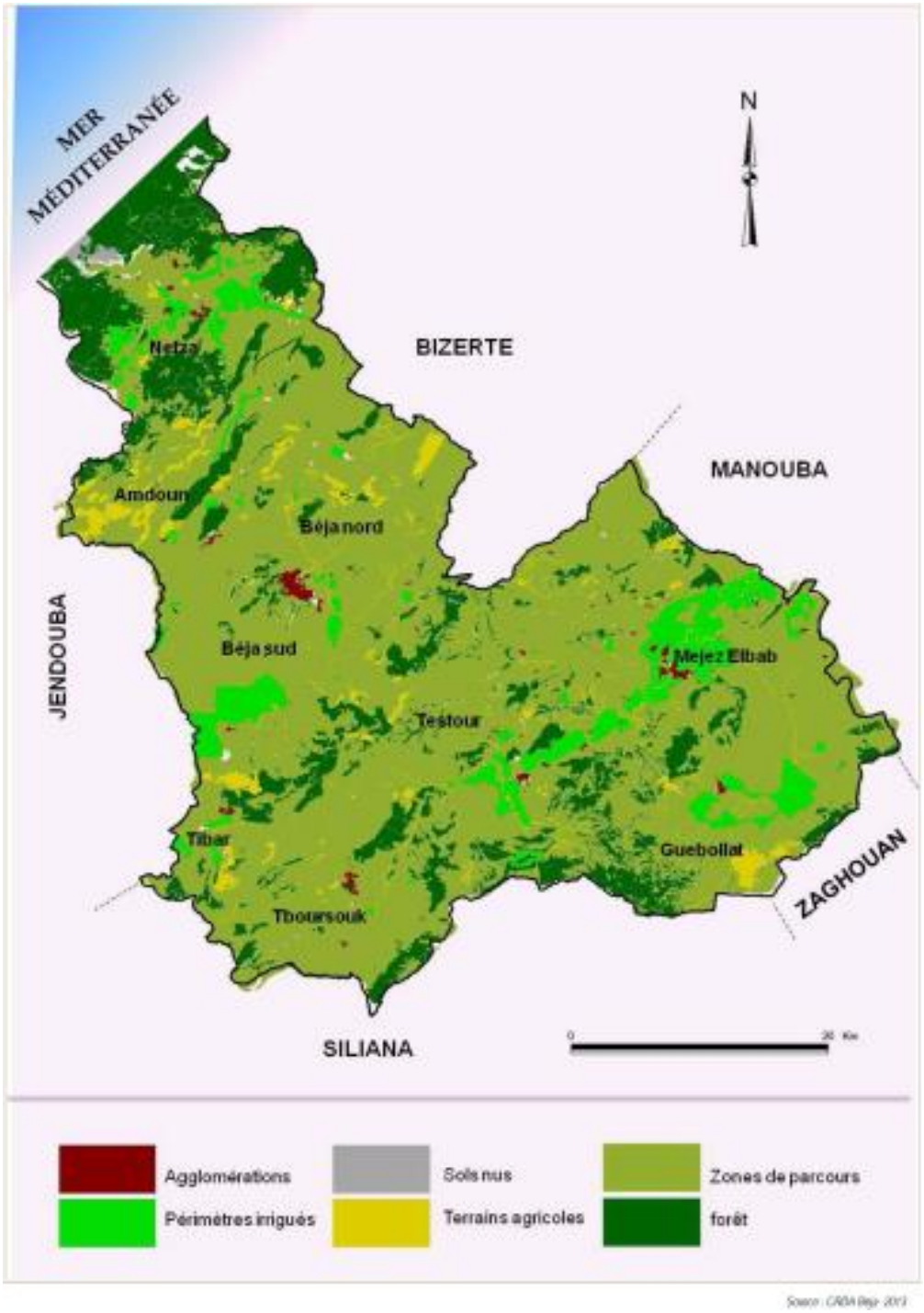


Source : Valeur Ajoutée par Secteur d'Activité : Institut National de Statistiques (INS) de la Tunisie

Figure 2-9 Valeur ajoutée brute par secteur d'activité aux prix courants

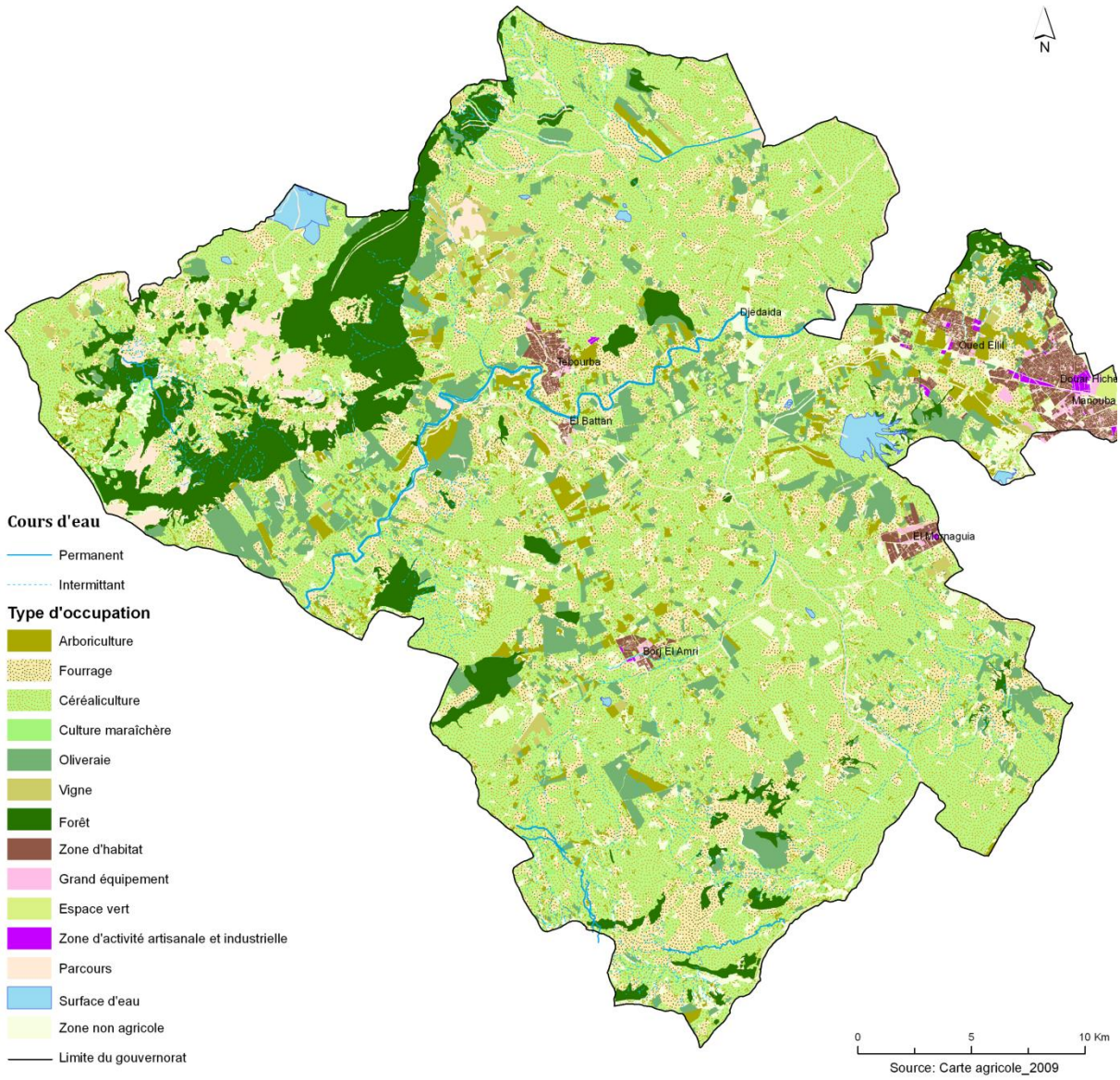
2) Situation Actuelle de l'Occupation du Sol et des Industries dans les Gouvernorats et Délégations Concernés.

L'occupation du sol dans les Gouvernorats de Beja et Manouba est présentée sur les Figure 2-10 et Figure 2-11, respectivement. Le long de la Medjerda, des occupations de sol relativement avancées sont présentes.



Source : Atlas Numérique du Gouvernorat de Béja (Source) CDRA Béja 2013

Figure 2-10 Occupation de sol dans le gouvernorat de Béja

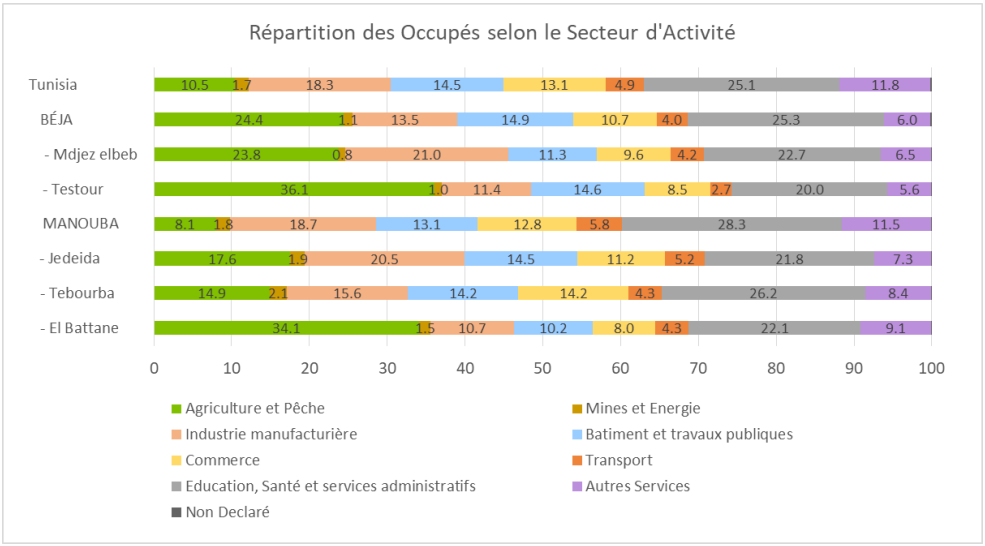


Carte 33 : OCCUPATION DU SOL

Source : Atlas du Gouvernorat de Manouba (Source) Carte agricole 2009

Figure 2-11 Occupation du sol dans le gouvernorat de Manouba

La représentation de la population active occupée par secteur d'activité dans les gouvernorats et délégations concernées est présentée sur la Figure 2-12. Dans les gouvernorats et délégations concernés, en terme de contribution sectorielle dans l'emploi, la contribution du secteur agricole est supérieure à la moyenne nationale tandis que le secteur industriel contribue à un pourcentage plutôt inferieure à cette moyenne. Dans le gouvernorat de Manouba, la distribution semble cependant inverse, dans la mesure où le secteur industriel est plus pourvoyeur à l'emploi ; avec une contribution supérieure à la moyenne nationale, comparé au secteur agricole, qui contribue à un pourcentage inférieur à la moyenne. La structure de l'emploi à Manouba semble avoir une distribution à caractère urbain de la population active.



(Source) Résultats du Recensement de la Population et de l'Habitat en 2014.

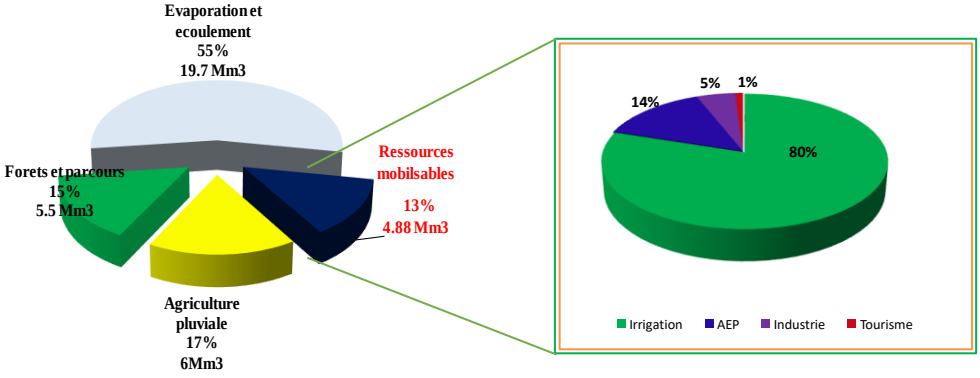
Figure 2-12 Emploi par secteur d'activité dans les gouvernorats et délégations concernés

2.2 Situation actuelle et problématique du secteur des ressources en eau en Tunisie

2.2.1 Situation actuelle et problèmes liés aux ressources en eau en Tunisie

(1) Situation actuelle

La moyenne annuelle globale des précipitations totales en Tunisie est de 360 millions de m3, et les ressources en eau totales disponibles sont de 4800 millions de m3. La Figure 2-13 illustre le potentiel des ressources en eau de la Tunisie. 80% des ressources en eau utilisées en Tunisie sont destinées à l'irrigation pour l'agriculture.



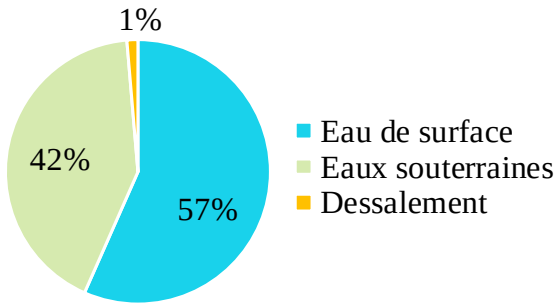
Source: Information par la DGBGTH

Figure 2-13 Potentiel des ressources en eau de la Tunisie (À gauche : ressources totales en eau, à droite : eau utile)

14% des ressources totales en eau sont utilisées comme eau potable en Tunisie. Les sources d'extraction des ressources en eau varient d'une région à l'autre en raison des climats radicalement différents dans les différentes régions. Les sources d'eau peuvent être classées de manière générale en eau de surface provenant des retenues des barrages, en eau souterraine et en eau provenant des usines de dessalement, comme le montre la Figure 2-14. Les prélèvements d'eau de surface représentent 57 % de la demande totale en eau potable du pays, tandis que 42 % sont assurés par le pompage des eaux souterraines et 1 % par le dessalement de l'eau de mer.

La région nord bénéficie de plus de précipitations et concentre 80% de l'approvisionnement en eau de surface. En revanche, la région centrale, au climat semi-aride, et la région sud, au climat aride, transportent environ 30 % de l'approvisionnement total en eau de surface du bassin de la Medjerda vers les villes centrales de Sfax et Mahdia. Les villes méridionales de Gabes et Zarzis ne reçoivent pas d'eau de surface, mais sont alimentées par des eaux souterraines et des usines de dessalement d'eau de mer. En outre, un projet japonais de construction d'une usine de dessalement d'eau de mer à Sfax est en cours depuis 2017.

L'approvisionnement global en eau à usage industriel et domestique en Tunisie a augmenté chaque année. Si l'on compare le volume d'approvisionnement en eau entre 2010 et 2019, il est passé de 543 millions de m3 à 759 millions de m3, avec un taux de croissance annuel moyen d'environ 4,5%. Notez qu'au moment de cette étude, les données sur l'approvisionnement en eau pour 2020 et au-delà ne sont pas encore disponibles. (Figure 2-15)



Source : Equipe d'Etude de la JICA

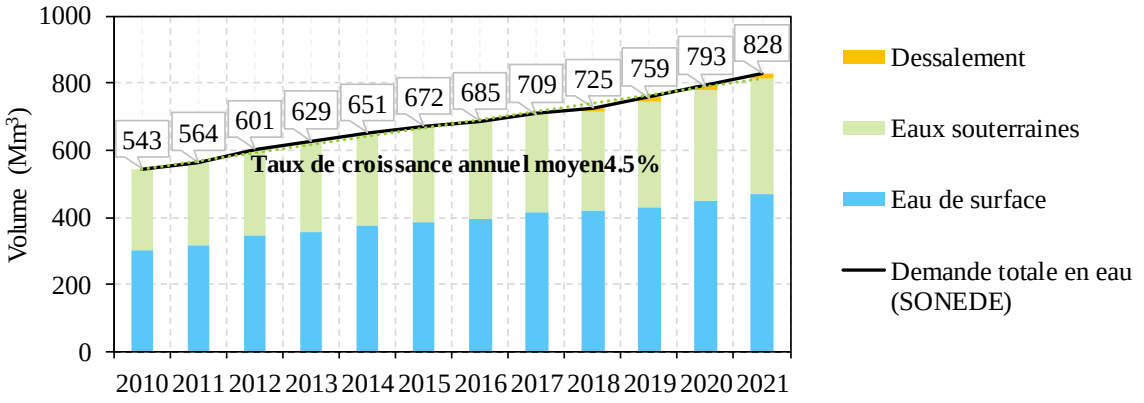
Figure 2-14 Pourcentage moyen des sources d'approvisionnement en eau potable

Tableau 2-4 Répartition de l'approvisionnement en eau par source (2010~2021)

Unité: Mm^3

Source	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Approvisionnement total en eau (SONEDE)	**543**	**564**	**601**	**629**	**651**	**672**	**685**	**709**	**725**	**759**	**793**	**828**
Eaux de surface	302.0	319.2	344.8	356.2	374.2	387.8	395.6	413.4	420	431.2	450.6	470.9
	56%	57%	57%	57%	58%	58%	58%	58%	58%	57%	57%	57%
Eaux souterraines	241.4	244.5	256.5	272.5	276.4	283.7	289.7	295.2	297.4	315	329.2	344.0
	44%	43%	43%	43%	42%	42%	42%	42%	41%	42%	42%	42%
Déssalement	-	-	-	-	-	-	-	-	7.8	12.4	13.0	13.5
	-	-	-	-	-	-	-	-	1%	2%	2%	2%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Source : Équipe d'étude de la JICA (estimations pour 2020 et 2021 par l'équipe d'étude de la JICA)



Source : Équipe d'étude de la JICA (estimations pour 2020 et 2021 par l'équipe d'étude de la JICA)

Figure 2-15 Tendances en matière d'approvisionnement en eau à usage domestique (2010-2021)

(2) Problèmes actuels

Les problèmes actuels dans le secteur des ressources en eau en Tunisie sont énumérés ci-dessous.

- Le système d'approvisionnement en eau couvrant l'ensemble de la Tunisie est en cours de développement. Des solutions techniques durables sont nécessaires pour renforcer le système d'approvisionnement en eau du nord vers le reste du pays, afin de mieux utiliser les ressources en eau excédentaires générées dans le nord et d'atténuer le risque de sécheresse dans les régions du centre et du sud.
- Minimiser la quantité d'eau libérée dans la mer par les barrages de la région nord, qui dispose d'abondantes ressources en eau, et renforcer le développement des retenues dans la région centrale pour maximiser le stockage de l'eau.
- La capacité de lutte contre les inondations des barrages existants doit être garantie pour se préparer au risque d'excès de lutte contre les inondations dû au changement climatique.
- Le développement agricole dans les régions du centre et du sud est tributaire des eaux souterraines et il existe un risque de prélèvement excessif. Utiliser l'excédent d'eau dans la région nord pendant la saison des pluies pour promouvoir le développement rural.
- La population est concentrée dans les zones côtières et les réseaux d'approvisionnement en eau sont concentrés dans les zones côtières. Il est nécessaire de maintenir l'équité en matière de quantité et de qualité de l'eau entre les zones urbaines et rurales. (Taux d'approvisionnement en eau : 100% dans les zones urbaines, 95% dans les zones rurales)

2.2.2 Approvisionnement en eau potable par la SONEDE

(1) L'alimentation en eau totale en Tunisie

Dans le cadre du plan directeur de mobilisation des eaux du Nord établi en 1969, le gouvernement tunisien a investi dans un vaste programme de transfert d'eau des bassins versants relativement riches en eau de la Medjerda et du Nord du pays vers le Grand Tunis et les centres urbains situés dans les zones côtières plus sèches du Cap Bon, du Sahel et de Sfax. La figure 2-15 montre l'ensemble du système d'approvisionnement en eau en Tunisie.

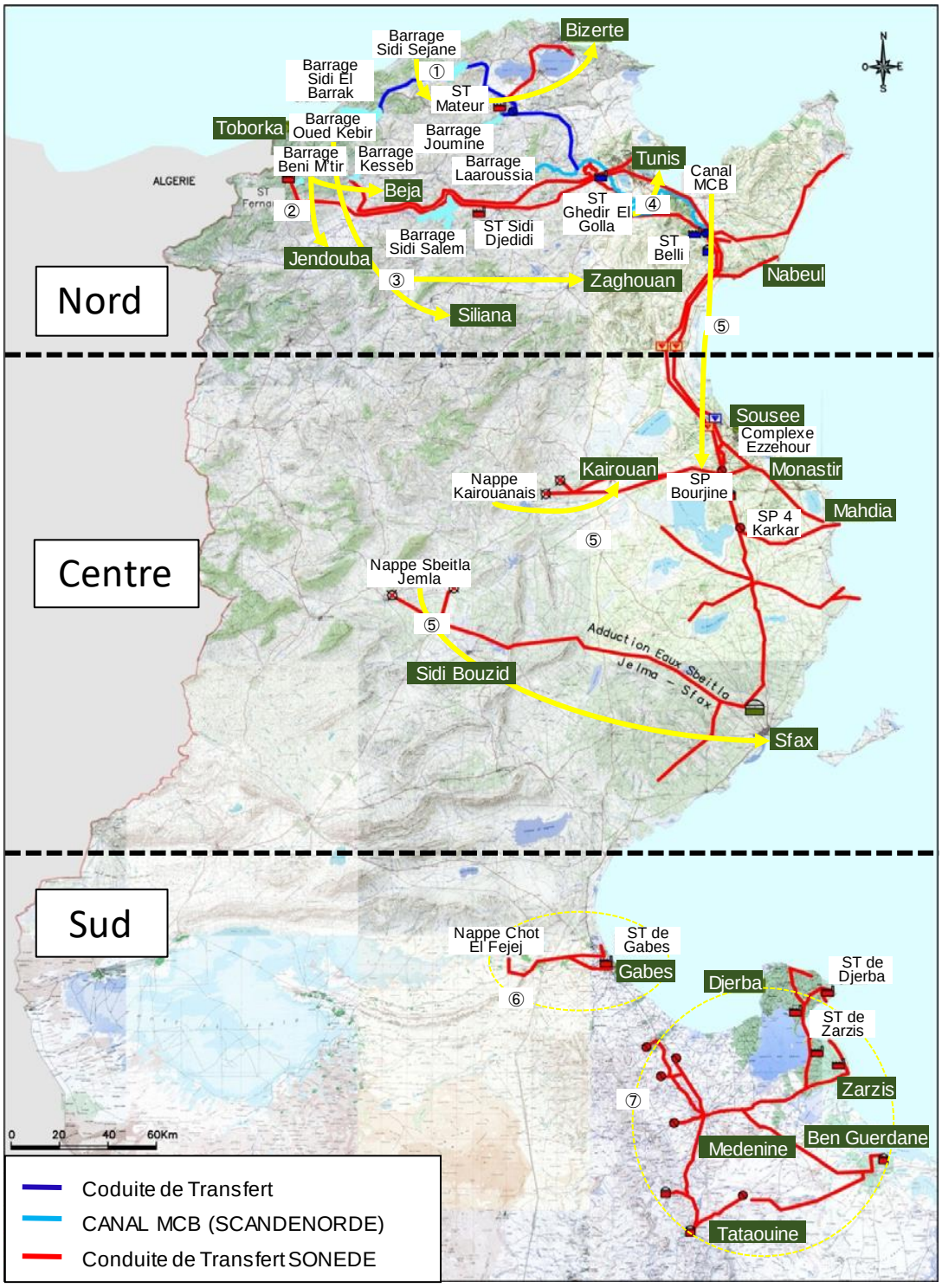
Les sept principaux systèmes d'approvisionnement en eau en Tunisie sont énumérés dans le Table 2-5 ci-dessous, et les réseaux de prise d'eau et d'approvisionnement de chaque système sont illustrés dans la Figure 2-16. Comme le montre la figure, les systèmes d'approvisionnement en eau de la Tunisie sont divisés en régions du nord, du centre et du sud. Dans les régions du centre et du sud, des systèmes d'approvisionnement en eau à partir de quatre aquifères souterrains (Kairouan, Jelma, Chott el Fejjej, et

Zeuss Koutine) ont été développés et sont exploités et gérés par la SONEDE. (avec le soutien de la KfW (1998), etc.)

En outre, des usines de dessalement ont été développées pour améliorer l'approvisionnement en eau dans la région du sud. (Gabes (1995), Jerba (2000), Zarzis (1999) Ben Guerdène (2013))

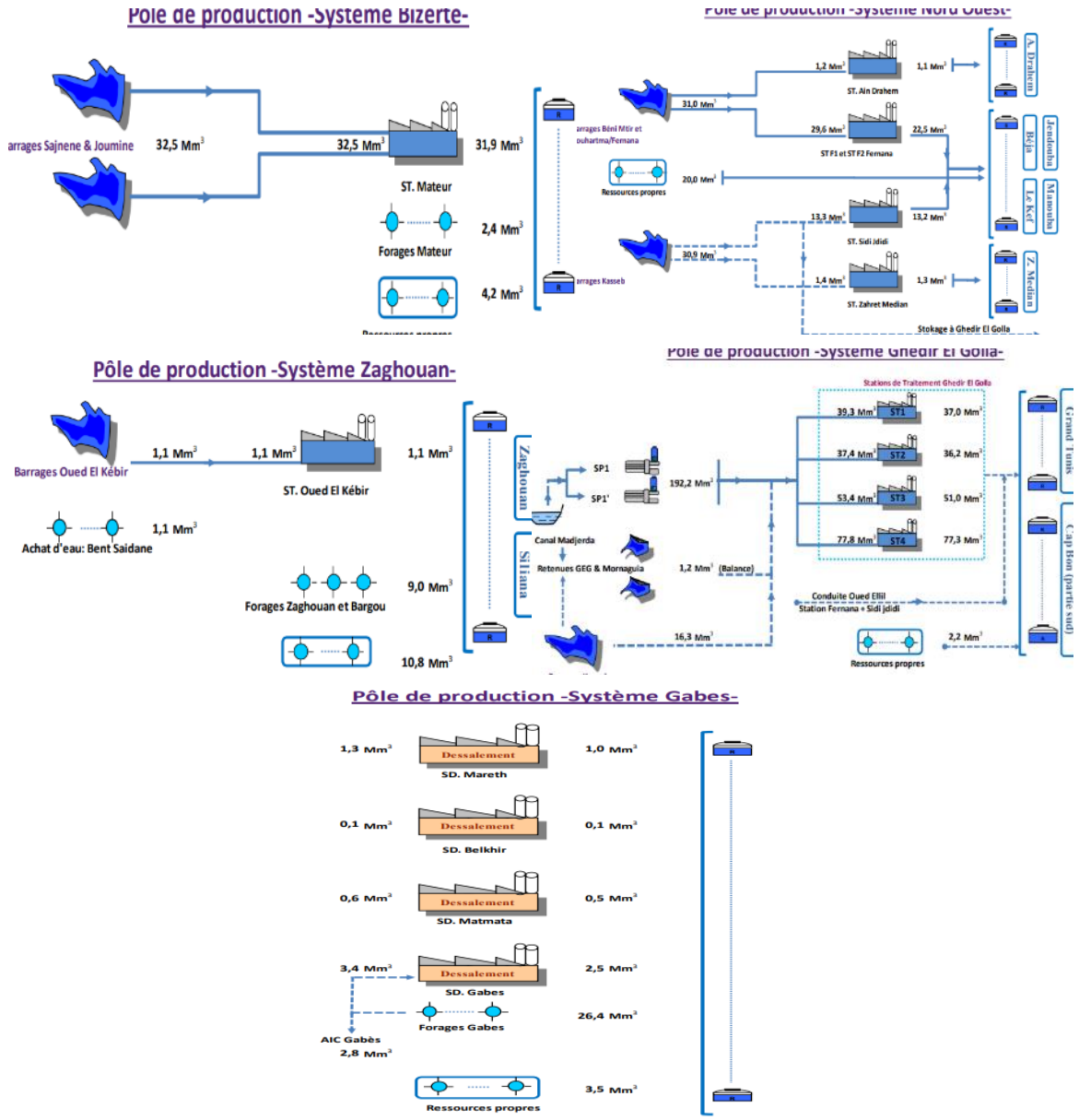
Table 2-5 Principaux systèmes d'approvisionnement en eau en Tunisie

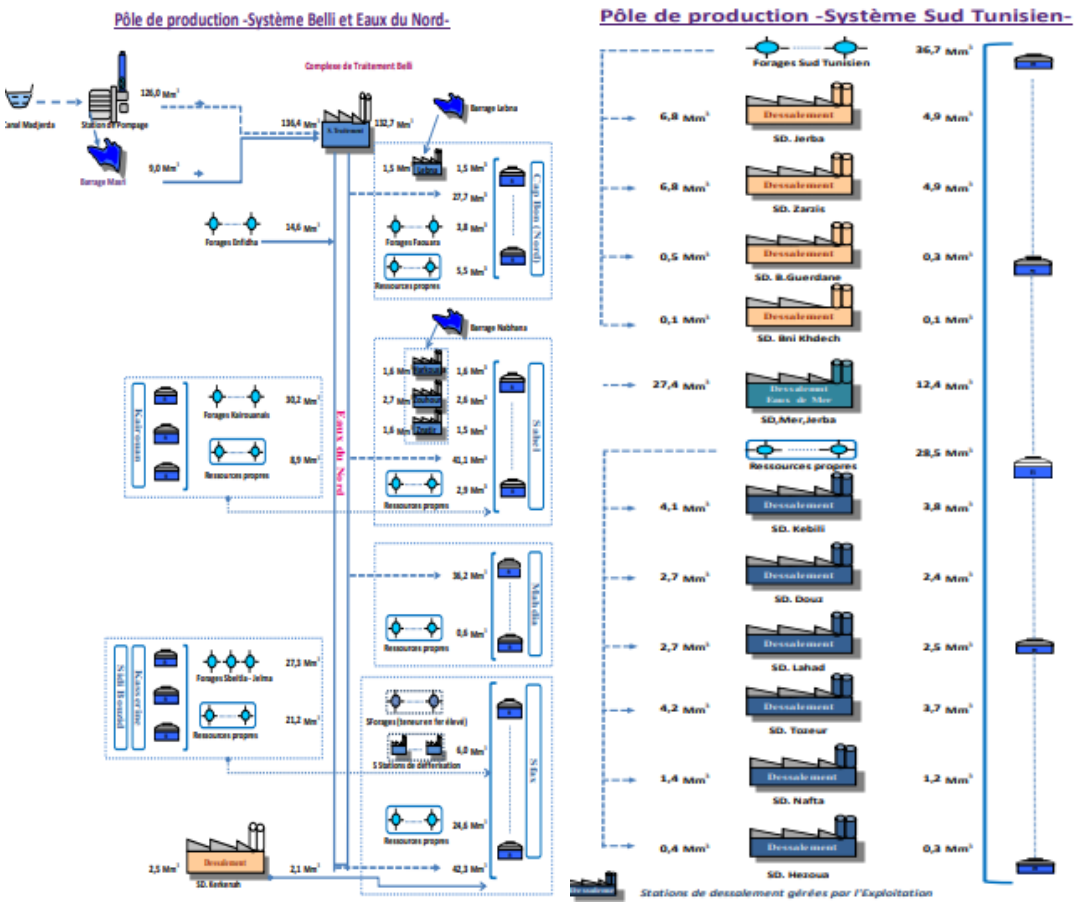
	Système	Source de prise d'eau
①	Bizerte	Eau de surface・Eau souterraine
②	Nord-ouest	Eau de surface・Eau souterraine
③	Zaghouan	Eau de surface・ Eau souterraine
④	Complexe Ghedir El Gholla (GEG)	Eau de surface・Eau souterraine
⑤	Belli et eaux du nord	Eau de surface・Eau souterraine
⑥	Gabes	Eau souterraine
⑦	Sud de la Tunisie	Eau souterraine・Dessalement



Source : SONEDE - Programme national d'investissement dans la sécurité de l'eau potable、SONEDE

Figure 2-16 Système d'approvisionnement complet en eau en Tunisie

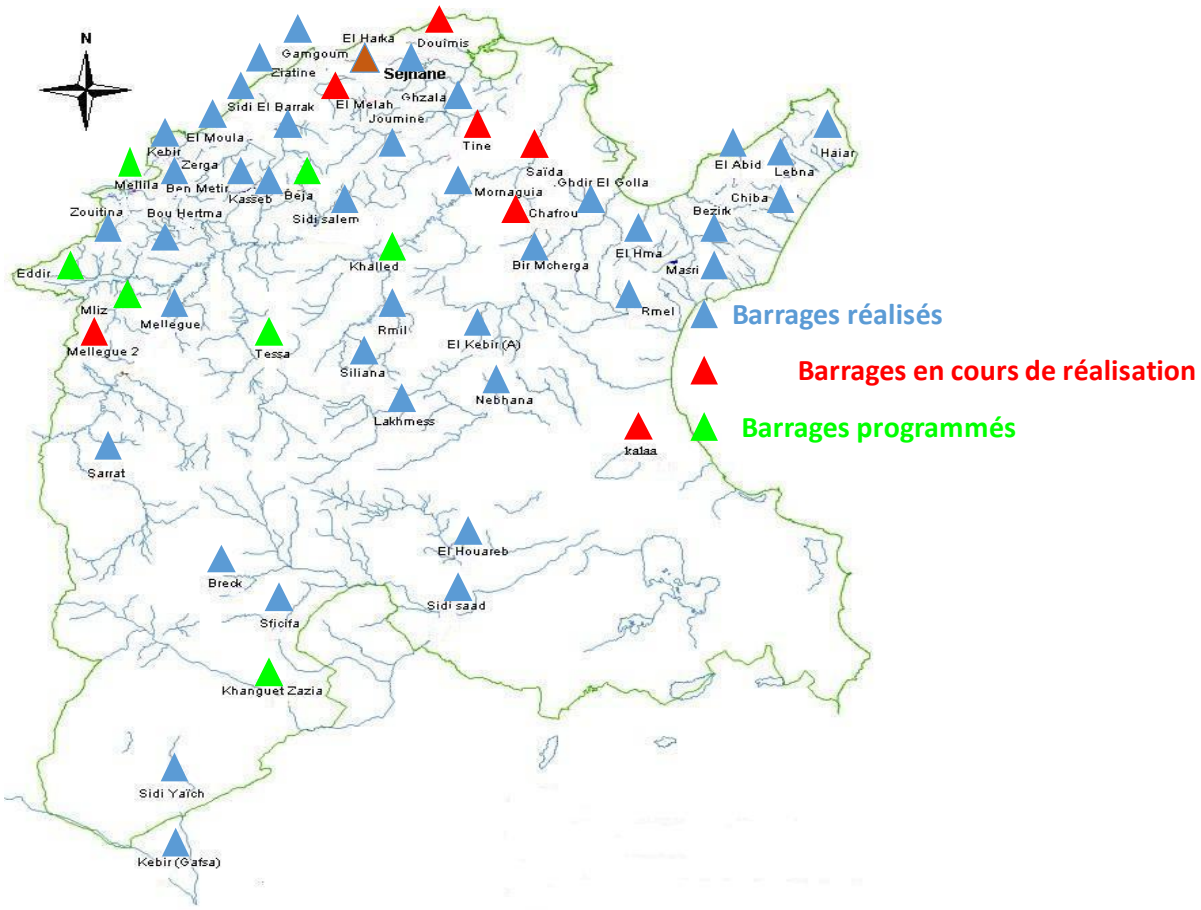

Pole de production -Systeme Bizerte-
arrages Sajnene & Joumine
32,5 Mm3
32,5 Mm3
31,9 Mm3
ST. Mateur
2,4 Mm3
Forages Mateur
4,2 Mm3
Pôle de production -Système Zaghouan-
Barrages Oued El Kébir
1,1 Mm3
1,1 Mm3
ST. Oued El Kébir
1,1 Mm3
Achat d'eau: Bent Saidane
1,1 Mm3
Forages Zaghouan et Bargou
9,0 Mm3
10,8 Mm3
Zaghouan
Siliana
SP1
SP1'
192,2 Mm3
Canal Madjerda
Retenues GEG & Mornaguia
1,2 Mm3 (Balance)
16,3 Mm3
Stations de Traitement Ghedir El Golla
ST1
ST2
ST3
ST4
39,3 Mm3
37,4 Mm3
53,4 Mm3
77,8 Mm3
37,0 Mm3
36,2 Mm3
51,0 Mm3
77,3 Mm3
Conduite Oued Ellil
Station Fernana + Sidi jdidi
Ressources propres
2,2 Mm3
Grand Tunis
Cap Bon (partie sud)
Pôle de production -Système Gabes-
1,3 Mm3
Dessalement
SD. Mareth
1,0 Mm3
0,1 Mm3
Dessalement
SD. Belkhir
0,1 Mm3
0,6 Mm3
Dessalement
SD. Matmata
0,5 Mm3
3,4 Mm3
Dessalement
SD. Gabes
2,5 Mm3
Forages Gabes
26,4 Mm3
AIC Gabès
2,8 Mm3
Ressources propres
3,5 Mm3



Source : Rapport Statistiques 2019 (SONEDE)

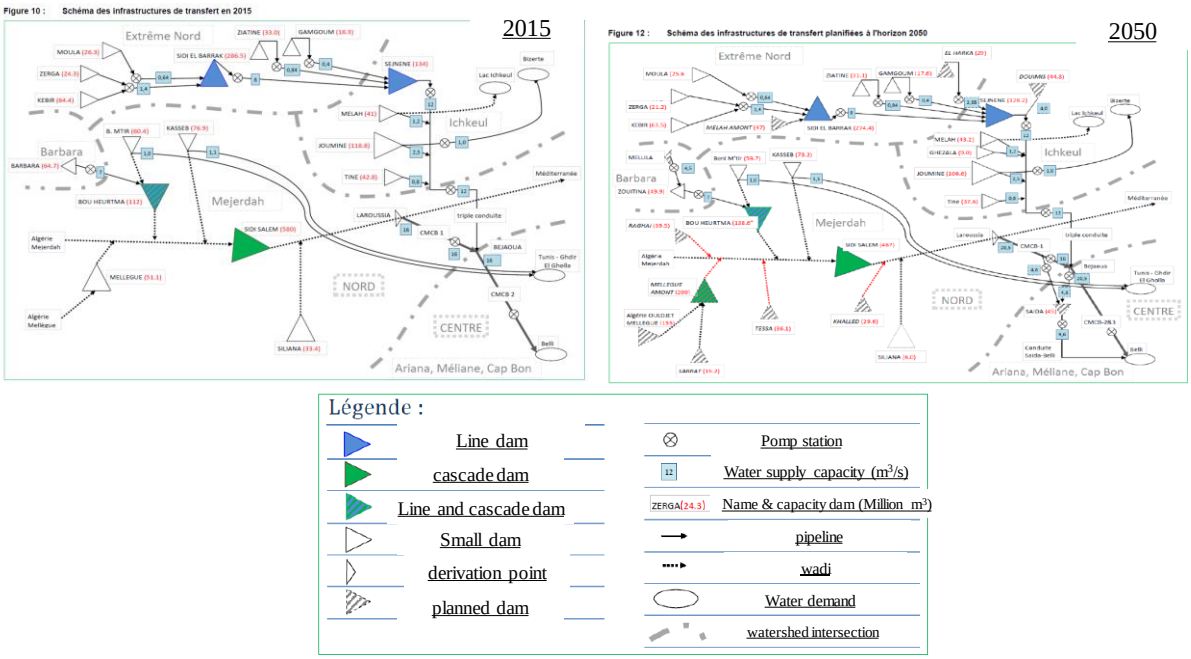
Figure 2-17 Pôles de production de la SONEDE

La Figure 2-18 présente une liste des barrages gérés ou planifiés par le Ministère de l'Agriculture. Notez que les barrages en Tunisie ne sont construits que dans la partie nord du pays, où les précipitations sont importantes. Le MoA envisage de renforcer le système d'approvisionnement en eau à l'aide de barrages dans son plan de développement des ressources en eau. Les plans pour 2015 et 2050 sont présentés dans la Figure 2-19. Au moment de la réalisation de cette étude, le renforcement du système d'approvisionnement en eau dans la région nord était en cours de planification avec le soutien de donateurs étrangers, comme décrit ci-dessous.



Source : DGBGTH

Figure 2-18 Liste des barrages gérés ou planifiés par le MoA



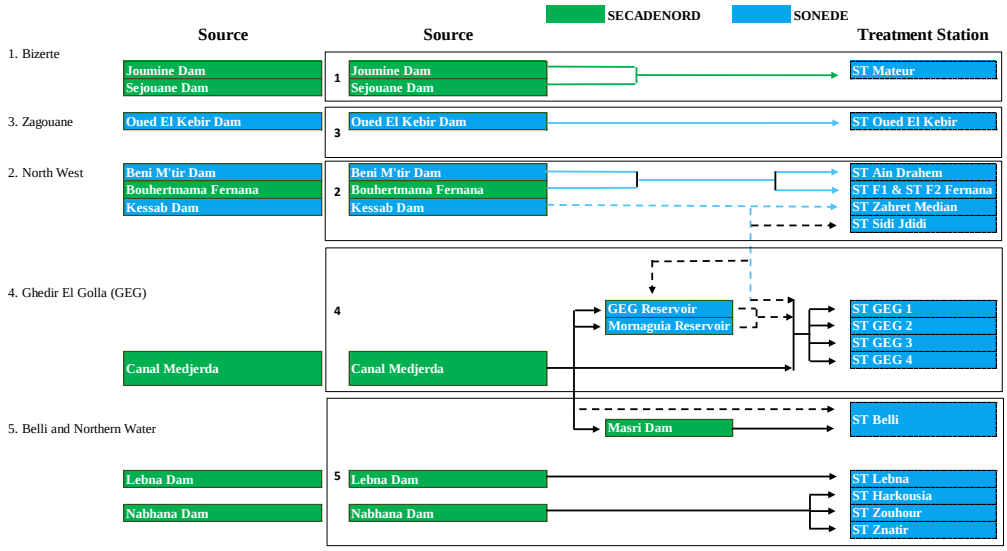
Source: Partagée par la DGBGTH

Figure 2-19 Plan de renforcement du système d'approvisionnement en eau du Ministère de l'Agriculture (2015 et 2050)

2.3 Situation et problèmes actuels du secteur des cours d'eau dans le bassin hydrographique cible

2.3.1 Situation actuelle et problèmes liés aux cours d'eau dans le bassin de la Medjerda

La SONEDE, autorité chargée de l'approvisionnement en eau, exploite le système de distribution d'eau dont les sources sont Kasseb et Sfax. SCANDENORD, l'Office des voies navigables du Nord, est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) placé sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture qui exploite les canaux et les réseaux d'adduction d'eau dans les bassins versants du Nord, et gère les prises d'eau des barrages de Sidi Salem, Sejnane, Joumine et Sidi El Barrak. Parmi les sept systèmes d'approvisionnement en eau mentionnés ci-dessus, la gestion de ① à ⑤ dans la région nord de la Tunisie est divisée entre la SONEDE et SCANDENORD, et leurs catégories de gestion sont présentées dans la Figure 2-20.



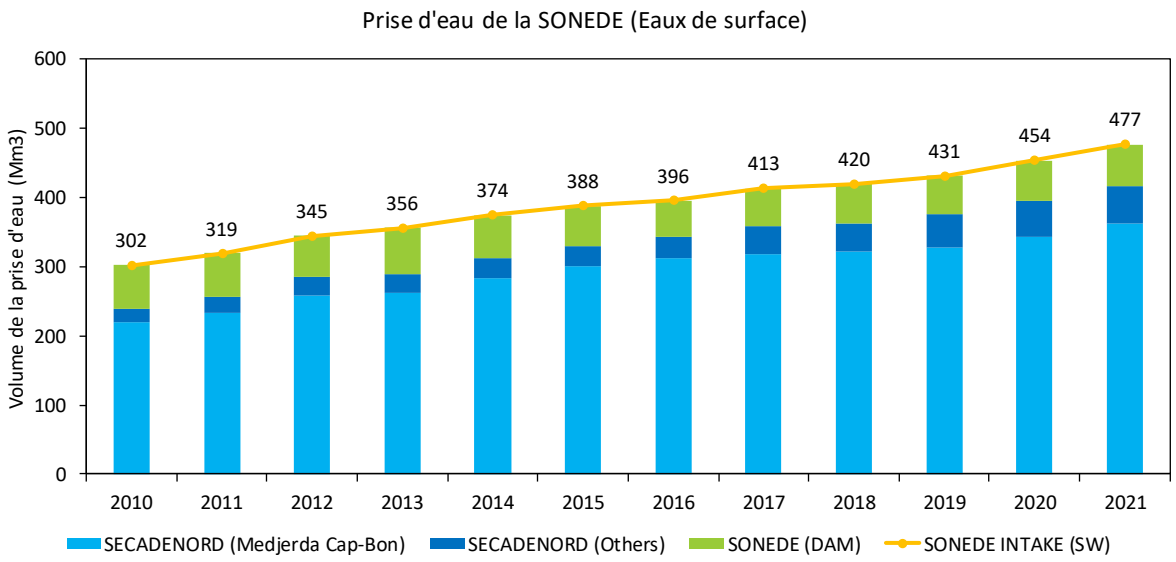
Source: Équipe du projet JICA

Figure 2-20 Système de réseau d'approvisionnement en eau dans la région du nord et classification de gestion

Les principales sources d'eau de la SONEDE peuvent être classées comme suit : barrages et installations de prise d'eau gérés par la SONEDE et achats au canal Medjerda Cap-Bon géré par SCADENORD, ainsi que d'autres installations de prise d'eau. 84% du total des prélèvements d'eau de la SONEDE sont achetés à SCADENORD, et les prélèvements du canal Medjerda Cap-Bon représentent 76% du total des prises d'eau de la SONEDE.

Parmi ceux-ci, quatre barrages sont gérés par la SONEDE, et comme le montre le Tableau 2-6, le prélèvement d'eau dans les barrages gérés par la SONEDE est faible (16%), et dépend actuellement du canal Medjerda Cap-Bon.

En outre, 82% du total des eaux de surface sont réservées dans le nord, tandis que les régions centrale et méridionale en ont 12% et 6%, respectivement. En raison de cette différence dans la quantité de ressources en eau et de la demande en eau potable entre les régions, la SONEDE a une politique de transport de l'eau entre les régions du nord et du sud et entre les régions de l'ouest et de l'est.



Source: Équipe d'étude de la JICA (Estimations pour 2020 et 2021 par l'équipe d'étude de la JICA)

Figure 2-21 Evolution des prélèvements d'eau de surface de la SONEDE dans la région Nord (2010~2021)

Tableau 2-6 Répartition des prélèvements d'eau de surface de la SONEDE dans la région Nord (2010~2021)

Unité: Mm^3

Source	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1. achat total d'eau (SECADENORD)(a~d)	239.4	256.0	285.5	289.9	311.5	330.2	343.3	358.3	362.8	376.1	395.6	416.2
a. Total Canal Medjerda Cap-Bon	**220.4**	**234.2**	**259.0**	**261.7**	**283.0**	**300.3**	**312.0**	**317.4**	**322.8**	**327.2**	**344.2**	**362.0**
Eau du Nord (GEG)	122.3	131.7	153.5	147.4	164.0	173.6	177.3	183.3	185.0	192.2	202.2	212.7
Masri	4.8	7.1	8.1	7.8	7.0	10.1	14.4	14.2	11.8	9.0	9.5	10.0
Belli SP	93.3	95.4	97.4	106.5	112.0	116.6	120.3	119.9	126.0	126.0	132.5	139.4
b. Sajenane & Joumine	17.5	19.6	22.3	23.3	24.0	24.6	24.5	26.3	29.3	32.5	34.2	36.0
c. Nebhana & Lebna	1.5	2.2	4.2	4.9	4.5	5.3	1.6	6.7	2.9	7.3	7.7	8.1
d. Bouhertma Fernana 2	-	-	-	-	-	-	5.2	7.9	7.8	9.1	9.6	10.1
2.prise totale des barrages (SONEDE) (a~d)	62.6	63.2	59.3	66.3	62.7	57.6	52.3	55.1	57.2	55.1	58.0	61.0
a. Beni M'tir	26.6	24.9	27.8	30.4	29.9	31.5	25.7	24.5	27.0	21.9	23.0	24.2
b. Kasseb	35.7	35.4	29.9	36.9	30.1	30.2	31.2	32.0	30.9	30.9	32.5	34.2
c. Balance Mornaguia G Golla & Masri	-0.4	2.0	0.4	-1.6	1.7	-5.0	-5.0	-2.0	-1.0	1.2	1.3	1.3
d. Oued Kebir	0.7	0.9	1.2	0.6	1.0	0.9	0.4	0.6	0.3	1.1	1.2	1.2
3. Total des eaux de surface (1+2)	**302**	**319**	**345**	**356**	**374**	**388**	**396**	**413**	**420**	**431**	**454**	**477**

Source: Rapport Statistiques 2015 et 2019 (SONEDE) (Estimations pour 2020 et 2021 par l'équipe d'étude de la JI CA)

2.3.2 Demande en eau dans le barrage de Sidi Salem

(1) Situation actuelle et problèmes du système d'approvisionnement en eau du barrage de Sidi Salem

Il y a neuf barrages actuellement en exploitation dans le bassin de la Medjerda et six en construction ou en phase de conception/planification. Leurs contours et leurs emplacements sont indiqués ci-dessous.

Tableau 2-7 Caractéristiques des barrages du bassin de la Medjerda

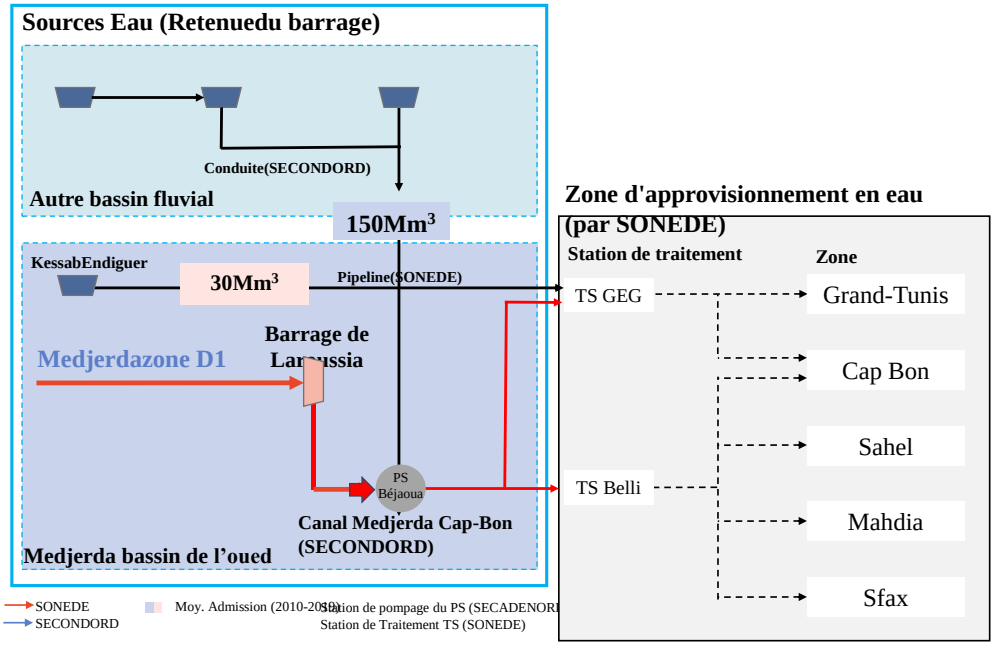
Barrage	Zone de captage (km2)	Stockage total au niveau des plus hautes eaux (millions de m3)
Sidi Salem)	18,191	959.5
Mellegue 2*	10,100	334.0
Bou Heurtma	390	164.0
Mellegue	10,309	147.5
Siliana	1,040	125.1
Tessa*	1,420	125.0
Kasseb	101	92.6
Ben Metir	103	73.4
Sarrath*	1,850	48.5
Beja*	72	46.0
Khalled*	303	37.0
Chafrou*	217	14.0
Lakhmes	127	8.4
Rmil	232	6.0

Note* : En cours de construction ou en phase de conception/planification

Source: Equipe d'Etude JICA

Figure 2-22 Carte des emplacements des barrages dans le bassin de la Medjerda

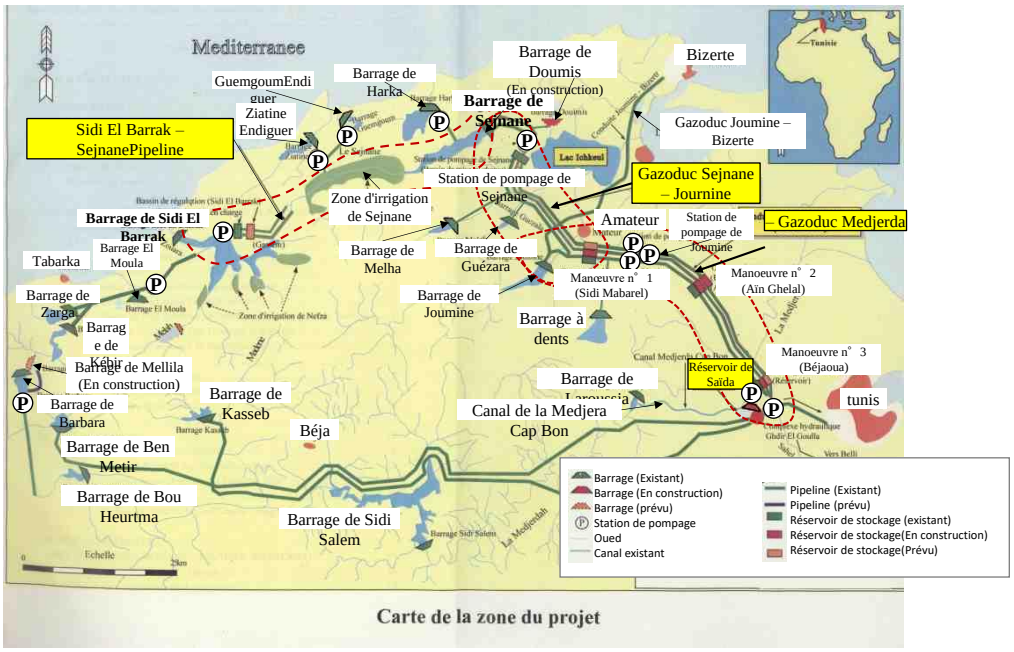
Le transfert d'eau en Tunisie est principalement effectué par le canal Medjerda Cap-bon. Grâce à ce canal, les eaux des barrages du Nord, de Kessab et de Sidi Salem sont acheminées vers les régions du Grand Tunis et du Cap-Bon à l'Est et vers les régions du Sahel, de Mahdia et de Sfax au Sud à travers les stations de traitement de Guedir El Golla (GEG) et de Belli comme indiqué dans la Figure 2-19.



Source: Équipe du projet JICA

Figure 2-23 Système d'approvisionnement du canal Medjerda Cap-Bon

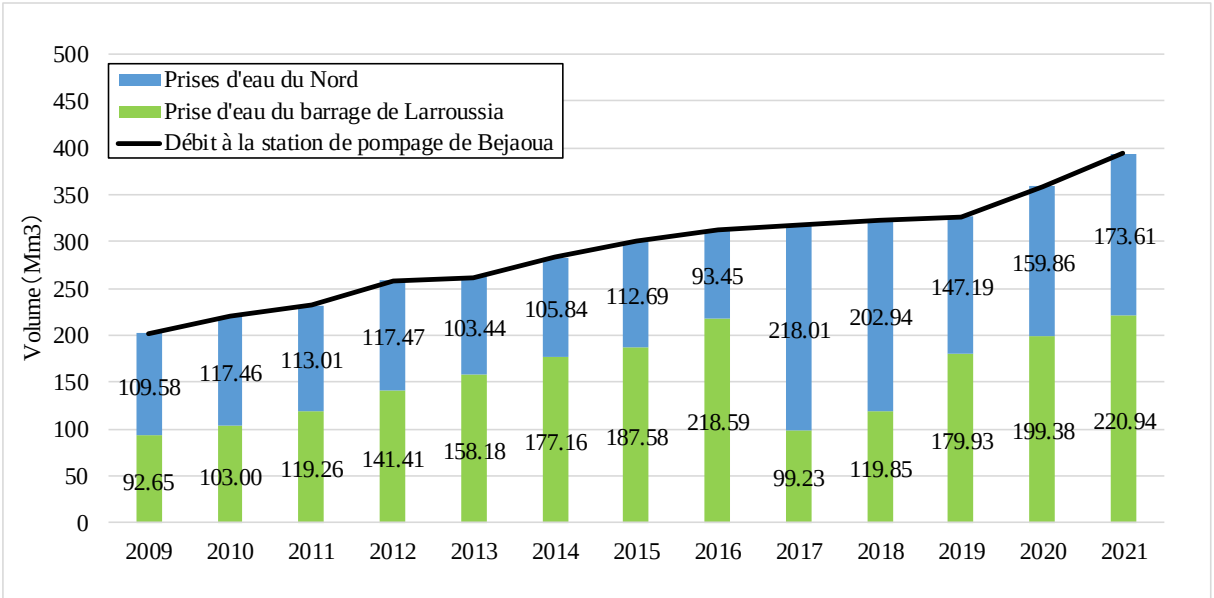
Le barrage de Sidi Salem est la principale source d'approvisionnement en eau du canal de Medjerda Cap-Bon. Cependant, avec l'augmentation de la demande et les récentes années de sécheresse consécutives, les prises d'eau des barrages de Sidi Barrak, Sejnane et Joumine, les barrages du Nord, compensent le manque d'approvisionnement en eau du canal. En plus des canalisations existantes à partir des barrages du nord, SECADENORD prévoit de renforcer l'alimentation en eau du canal Medjerda Cap-bon avec des canalisations supplémentaires et de nouveaux transferts à partir des barrages d'El Moula, de Zerga et de Kebir pour répondre à la future demande en eau potable, comme indiqué dans la figure 2-24.



Source: SECADENORD

Figure 2-24 Renforcement de l'alimentation en eau du canal Medjerda Cap-Bon par l'alimentation en eau du Nord

L'approvisionnement en eau à partir de Sidi Salem et des barrages du nord vers le canal de Medjerda Cap-Bon à travers la station de pompage de Bejaoua entre 2009 et 2019 est indiqué dans la figure 2-25.

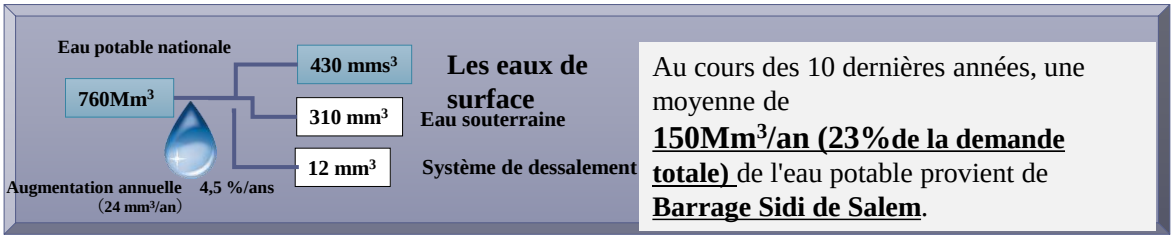


Source: Équipe du projet JICA

Figure 2-25 Prise d'eau potable à la station de pompage de Bejaoua (2009-2019)

Au cours des 10 dernières années, la demande moyenne en eau potable du barrage de Sidi Salem est estimée à 150 Mm3/an, soit 42% de la demande en eau de surface et 23% de la demande nationale en eau potable. (Figure 2-26) Le barrage de Sidi Salem est une source d'approvisionnement majeure pour différentes régions dont la demande ne fera qu'augmenter à l'avenir, non seulement avec l'augmentation de la population et l'expansion industrielle mais aussi avec l'impact du changement climatique. La sédimentation future du barrage de Sidi Salem, qui entraînera une diminution de la capacité du barrage,

exposera les différentes régions à une diminution de l'approvisionnement en eau et à un risque de pénurie d'eau. Par conséquent, des mesures urgentes doivent être prises pour conserver la capacité en eau du barrage de Sidi Salem et assurer un approvisionnement continu en eau du canal Medjerda Cap-Bon.



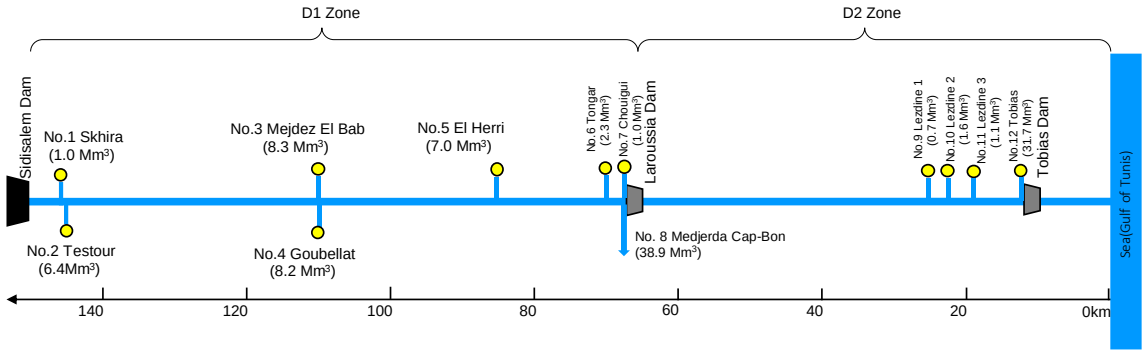
Source: Équipe de projet de la JICA

Figure 2-26 Contribution du barrage de Sidi Salem à l'approvisionnement en eau potable

(2) Schéma des installations de prise d'eau d'irrigation existantes

En aval du barrage de Sidi Salem, oued Medjerda assure l'approvisionnement en eau d'irrigation des périmètres irrigués des zones D1 et D2.

Les stations de pompage existantes dans les zones D1 et D2 sont représentées à la figure 2-27.



Note : les volumes indiqués se réfèrent aux volumes d'irrigation pour 2020.

Figure 2-27 Stations de pompage existantes dans la zone D1 et la zone D2

La zone D1 compte 8 installations de prise d'eau d'irrigation, y compris la prise d'eau du canal Medjerda Cap-bon. L'emplacement des installations de prise d'eau est représenté sur la carte de la Figure 2-28.

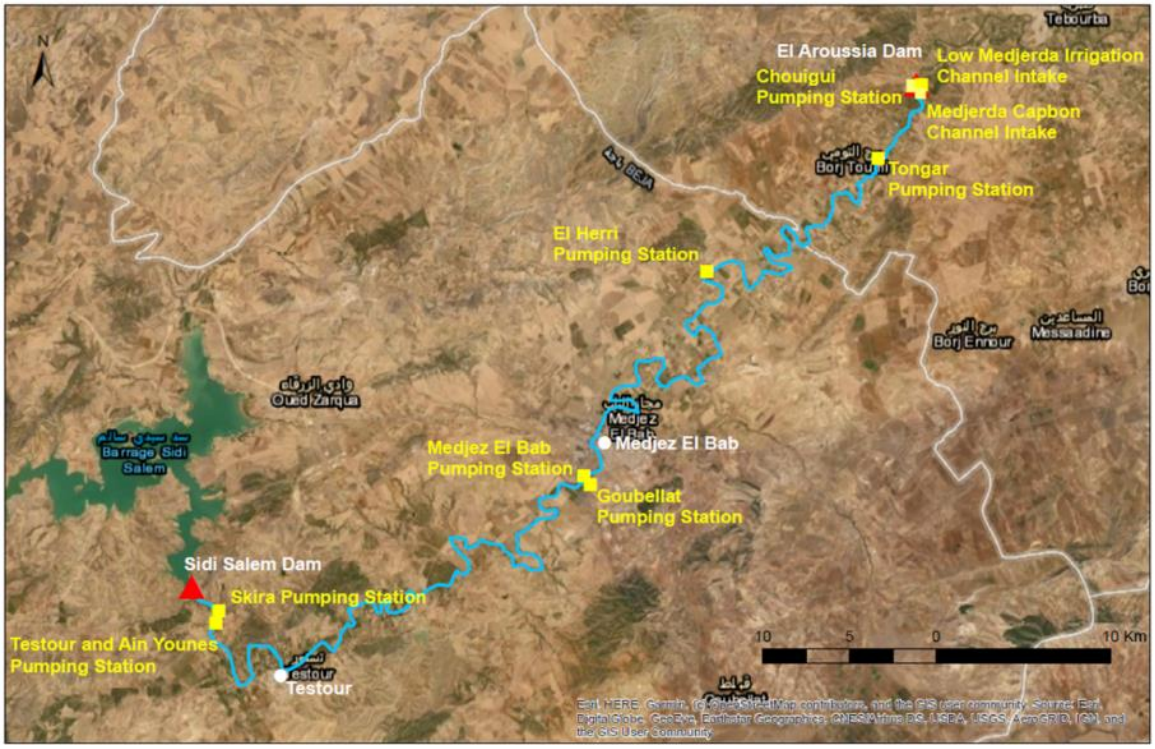


Figure 2-28 Localisation des installations d'irrigation dans la zone D1

Les caractéristiques des installations d'irrigation dans la zone D1 sont résumées dans le tableau 2-8(les détails sont indiqués dans l'annexe : Installations d'irrigation).

Tableau 2-8 Résumé des caractéristiques des installations de prise d'eau de la zone D1

	D1 Zone							
Emplacement	**Skhira**	**Testour**	**Medjez El Bab**	**Goubellat**	**El Herri**	**Tongar**	**Chouigui**	**Medjerda Cap-Bon**
Emplacement	Rive gauche	Rive droite	Rive gauche	Rive droite	Rive gauche	Rive gauche	Rive gauche	Rive droite
Conduite	DN250 x 2000	DN800 x 3000 + 5000	DN900 x 2000 + DN800 x 2000	DN1000 x1500 + DN1000 x3000	DN1000 x 5000 + DN1000 x8000	DN300 x 3500 + DN500 x 4000	-	-
Superficie irriguée maximale conçue (ha)	900	2000	3600	3800	3000	-	-	-
Cultures principales	Vegetable	Fruit trees	Vegetable	Vegetable	Fruits tree	-	-	-
Fonctionnement annuel (2020) (m3)	*976,892*	6,422,787	8,282,983	8,198,341	6,972,521	*2,246,852*	*976,892*	38,868,986
Nombre de pompes	3	6	8	4	9	6	*3*	-
Capacité de la pompe (m3/s)	3x0,1	3x0,34 +3x0,15	3x0,4 + 5x0,34	4x0,5	5x0,390+5x0,430	3x0.1 + 3x0.13	*3 x 0,1*	
Capacité totale (m3/s)	0.3	1.47	2.9	2.0	4.1	0.69	*0.3*	-

Note: Les données en italique sont estimées.

Les cultures des périmètres irrigués sont principalement constituées de légumes et d'arbres fruitiers. A l'exception de la prise d'eau du canal de Medjerda Cap-bon, le pompage de Medjerda a lieu de février à novembre. En 2020, le volume total d'irrigation pompé dans la zone D1 a atteint 34 Mm3 en plus de la prise de 39 Mm3 pour le canal Medjerda Cap-Bon.

Dans la zone D2, les principales prises d'eau sont situées dans les stations de pompage de Lezdine 1, Lezdine 2, Lezdine 3 et Tobias. Les emplacements des installations de prise d'eau sont représentés sur la carte de la figure 2-29.

Figure 2-29 Emplacement des installations d'irrigation dans la zone D2

Les caractéristiques des installations de prise d'eau dans la zone D2 sont résumées dans le Tableau 2-9 (les détails sont indiqués dans l'Annexe : Installations d'irrigation).

Tableau 2-9 Caractéristiques résumées des installations de prise d'eau dans la zone D2

	D2 Zone			
Station	**Lezdine 1**	**Lezdine 2**	**Lezdine 3**	**Tobias**
Emplacement	Rive gauche	Rive gauche	Rive gauche	Rive gauche
Conduite	DN400 x 1000	DN500 x 500	DN500 x 500	DN1250 x 6000
Superficie irriguée maximale conçue (ha)	384	512	471	1968
Cultures principales	680,540	1,611,590	1,065,518	31,736,440
Fonctionnement annuel (2020) (m3)	5	5	5	6
Nombre de pompes	0.065 m3/s x 5	0.09 m3/s x 5	0.085 m3/s x 5	0.6 m3/s x 6
Capacité de la pompe (m3/s)	0.33	0.45	0.43	3.60

Dans la zone D2, le volume total d'irrigation fourni par la Medjerda a été estimé à 35 Mm3 en 2020.

2.3.3 Résumé des Projets de Contrôle de Crue Exécutés

(1) Projets antérieurs de lutte contre les inondations

Ci-dessous un résumé des projets d'aménagement de l'oued faisant partie des mesures de contrôle des crues sur la Medjerda. Le résumé regroupe les données existantes de documents précédents.

Tableau 2-10 Résumé des projets exécutés d'aménagement de l'oued

Nom du Projet	Date de début	Objective et description du Projet
1. Canal de Drainage Projet de Construction	1909	Drainage dans la plaine d'El Mabtouh 1) Construction d'un canal trapézoïdal (L = 30 km) 2) Construction du canal le long d'oued Medjerda (L = 0,95 km)
2. Plan d'Aménagement des Plaines pour Oued Medjerda	1952	Abaissement du niveau d'eau et amélioration de la capacité d'écoulement 1) Coupure de méandres et démolition du pont à Protville 2) Coupure de méandres à Menzel 3) Réhabilitation des structures anciennes à Jedaida et El Battane 4) Construction de digues 5) Construction d'un canal de dérivation
3. Projet d'Irrigation et de Drainage à Galaat Andalous – Ras Djebel	1994	1) Réhabilitation du barrage Tobias (barrage mobile) 2) Irrigation par tuyauterie par pompes (superficie irriguée: 11,675 ha)

Source: Project D'irrigation et de Drainage Galaat Andalous-Ras Djebel Rapport Final (MA, 1992.6)

Le premier projet du tableau ci-dessus visait à drainer les zones humides d'El Mabtouh, et en 1909, le service des travaux publics a construit un canal trapézoïdal de 30 kilomètres avec une largeur de fond de canal de quatre mètres, une pente des berges de 1/1 et une pente longitudinale de 0,15 m/km (1/6666). Un canal de 950 mètres a également été construit le long de la rive gauche d'oued Medjerda. La ligne rouge interrompue sur la carte ci-dessous montre la voie de drainage des zones humides d'El Mabtouh à la lagune de Ghar El Melh (Porto Farina).

À la suite des inondations de décembre 1931, le plan d'aménagement de la zone des plaines de la Medjerda, le deuxième projet cité dans le tableau ci-dessus, a été mis en œuvre pour abaisser le niveau d'eau de conception, améliorer la capacité d'écoulement et réduire la fréquence des inondations. Les projets suivants ont été mis en œuvre dans le cadre de ce plan :

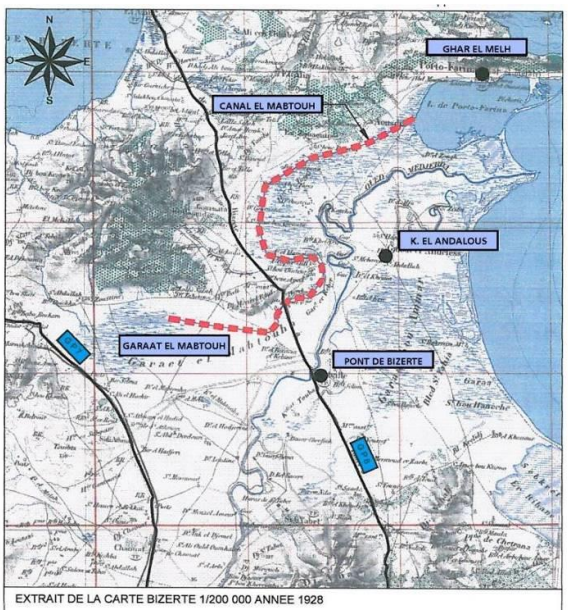
1) Coupure de méandre et démolition d'un pont à Protville
2) Coupure de méandres à Menzel Rached
3) Aménagement des anciennes structures à Jedeida et El Battan
4) Construction des digues pour améliorer la capacité d'écoulement
5) Construction d'un canal de dérivation (canal fluvial actuel du barrage Tobias à l'embouchure de l'oued)

Étant donné sa grande envergure, le projet a été mis en œuvre sur plusieurs tronçons pour l'aligner sur le budget annuel et pour permettre l'observation des résultats des travaux de chaque année afin que le travail effectué l'année suivante puisse refléter ces observations. Les premiers travaux réalisés sur le tronçon courbe de Protville ont débuté en 1952.

Le barrage de Tobias a été construit pour assurer les niveaux de prise pour les zones irriguées, et il a été amélioré et transformé en barrage mobile dans les années 1990 dans le cadre du troisième projet du tableau ci-dessus. Barrage mobile de Tobias joue un rôle fondamental dans le contrôle du débit de l'oued de Medjerda en aval. Le canal de dérivation (canal actuel de l'oued) a été achevé dans les années 1950

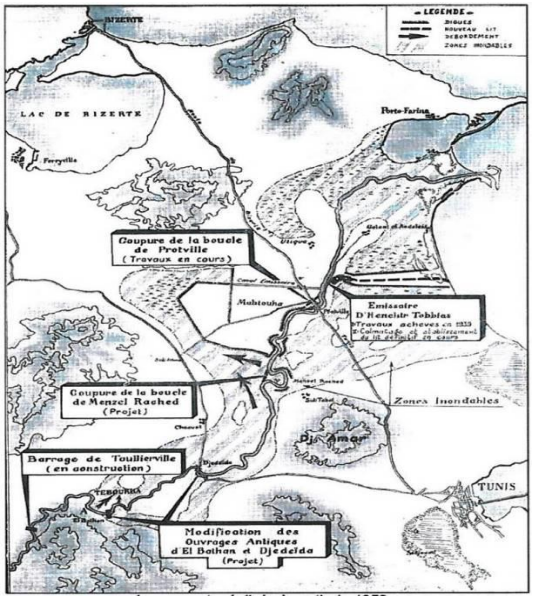
et le barrage mobile dans les années 1990. L'aménagement du barrage mobile a modifié le cours de l'oued Medjerda dans le cours d'aujourd'hui. L'ancien parcours a été transformé en canal d'irrigation.

Sur la figure ci-dessous un aperçu des deuxièmes et troisièmes projets du tableau ci-dessus est présenté.



Source: Collection B Bouvet

Figure 2-30 Cours du canal de drainage



Source: Collection B Bouvet

Figure 2-31 Aperçu des travaux dans le cours inférieur d'oued Medjerda après 1952

(2) Barrages dans le Bassin

Les mesures structurelles de contrôle des crues dans le bassin de Medjerda consistent en barrages, canaux et digues. Les barrages sur Oued Medjerda fournissent principalement l'eau destinée à l'agriculture, à l'approvisionnement en eau potable et à la production d'électricité, mais des barrages tels que Mellegue et Sidi Salem servent également au contrôler les inondations. Dans le tableau suivant, huit barrages disposant de la composante contrôle de crues dans le bassin de la Medjerda sont présentés :

Tableau 2-11 Récapitulatif des Barrages dans le Bassin de Medjerda (Contrôle de Crues)

Barrage	Oued	Année	Surface du Bassin (km^2)	Hauteur d'eau Normale (m)		Hauteur d'eau de surcharge et Volume de contrôle de crue			
				El (m)	Volume (Mm^3)	El (m)	Volume (Mm^3)	Volume de crue (Mm^3)	ERD (mm)
Sidi Salem	Medjerda	1981	18,191	115.0	674.0	119.5	959.5	285.5	15.7
Mellegue	Mellegue	1954	10,309	260.0	44.4	269.0	147.5	103.1	10.0
Bou Heurtma	Bou Heurtma	1976	390	221.0	117.5	226.0	164.0	46.5	119.2
Silliana	Silliana	1987	1,040	388.5	70.0	395.5	125.1	55.1	53.0
Kasseb	Kasseb	1968	101	292.0	81.9	294.4	92.6	10.7	105.9
Ben Metir	Bou Heurtma	1954	103	435.1	57.2	440.0	73.4	16.2	157.3
Lakhmes	Silliana	1966	127	517.0	7.2	521.1	8.4	1.2	9.4
Rmil	Rmil	2002	232	285.0	4.0	288.0	6.0	2.0	8.6
Total (8 Dams)								520.3	

Note: ERD (Hauteur de Précipitation Equivalente, mm) = Volume de Contrôle de Crues/ Surface du bassin

Les huit barrages offrent un volume total de contrôle des crues de 520 millions de m^3. Les barrages de Sidi Salem et de Mellegue offrent ensemble un volume de 388 millions de m^3, soit 75% du volume total.

2.4 Plan directeur et lois connexes dans le secteur des ressources en eau

2.4.1 Loi actuelle relative au projet

La loi sur l'eau a été promulguée en 1975 comme une compilation des lois et règlements sur la gestion des ressources en eau promulgués pendant la période coloniale française (1881-1956). Depuis 1975, certaines dispositions de la loi sur l'eau ont été révisées et de nouvelles dispositions relatives au développement socio-économique, à l'évolution de la demande en eau et aux questions environnementales nécessaires à la conservation des ressources ont été ajoutées, l'édition 2017 étant la dernière version. La loi sur l'eau se compose de neuf chapitres, et le contenu de chaque chapitre est indiqué dans Tableau 2-12.

Tableau 2-12 Contenu de la loi sur l'eau

Type. Non.	Contenu	Type. Non.	Contenu	Type. No.	Contenu
1	Bassin versant public	4	Servitude	7	Pollution de l'eau et inondations
2	Politique et conservation des bassins versants publics	5	Autorisation d'utilisation du bassin versant public	8	Coopérative d'utilisation de l'eau
3	Droit d'eau	6	Utilisation de la ressource en eau	9	Loi et sanction

Source : Loi sur l'eau

Les règlements sur les inondations sont définis comme suit dans le chapitre 7, section 2, et les articles 140 à 152 des mesures de contrôle des inondations, qui sont les suivants

1) Règlement portant habilitation de l'Etat à réaliser des études et des travaux de construction pour la lutte contre les crues.
2) Réglementation des activités qui interfèrent avec la protection contre les crues dans le lit de l'oued
3) Règlement sur les sanctions en cas d'endommagement des remblais de protection contre les inondations.
4) Règlement concernant la mise en œuvre des projets de drainage sur les terres agricoles

La loi sur la conservation des sols et des eaux (1995) et la loi forestière (1993) sont également des lois fondamentales relatives à la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE). En outre, des systèmes organisationnels pour la gestion des inondations et autres catastrophes sont mis en place principalement en vertu des lois et statuts suivants. Ces lois et règlements établissent un système de planification, d'achat de matériaux et d'équipements, de ressources humaines, etc., et des procédures de mise en œuvre d'activités visant à atténuer les dommages non seulement des inondations mais aussi des incendies, des tremblements de terre, des tempêtes et du terrorisme.

a) Loi n° 39-1991 du 8 juin 1991 relative à la prévention des catastrophes, à la préparation et à l'organisation des secours

La loi fournit les principes fondamentaux de la gestion des catastrophes aux niveaux national et régional dans 16 articles. Un résumé est fourni dans Tableau 2-13.

Tableau 2-13 Loi n° 39-1991 du 8 juin 1991 relative à la prévention des catastrophes, à la préparation et à l'organisation des secours

Numéro de section	Contenu
1	Définition de catastrophe
2	Plans nationaux et régionaux de gestion des catastrophes
3	Comités nationaux et régionaux de gestion des catastrophes
4	Coordination entre le Ministère de l'Intérieur et les Gouverneurs
5	Statistiques complètes sur l'équipement et les ressources humaines disponibles pour les activités de gestion des catastrophes
6	Arrêtés d'exécution des plans nationaux et régionaux de gestion des catastrophes
7～15	Réquisition d'équipements et de ressources humaines en cas de sinistre
16	Abrogation des dispositions antérieures

Source : Loi n° 39-1991 du 8 juin 1991 relative à la prévention des catastrophes, à la préparation et à l'organisation des secours

b) Loi n° 942-1993 du 26 avril 1993 relative aux plans nationaux et régionaux de gestion des catastrophes et aux comités de gestion des catastrophes et loi n° 2723-2004 du 21 décembre 2004 portant modification

Ces lois et règlements prévoient des plans de gestion des catastrophes et des comités de gestion des catastrophes aux niveaux national et régional. Un résumé est fourni dans Tableau 2-14.

Tableau 2-14 Loi n° 942-1993 relative aux plans nationaux et régionaux de gestion des catastrophes et aux comités de gestion des catastrophes

Section Non.	Contenu
1	Plans nationaux et régionaux de gestion des catastrophes et outils de mise en œuvre des comités des catastrophes
2	Considérations dans l'élaboration de divers plans
3	Élaboration et approbation de divers plans
4	Direction de la planification régionale et nationale
5	Approbation du plan régional et saisine du Comité National des Catastrophes
6	Type de catastrophe
sept	Projets incrémentaux spécifiques
8	Début de la mise en œuvre
9	Réunions préliminaires tenues avec le personnel professionnel
dix	Octroi du pouvoir de commande
11	Ordonnance de mettre fin à la mesure
12	Membres du Comité national des catastrophes
13	Réunion du Comité national des catastrophes
14	Membres du comité régional des catastrophes
15	Réunions du comité régional des catastrophes
16	Application de ces lois et règlements

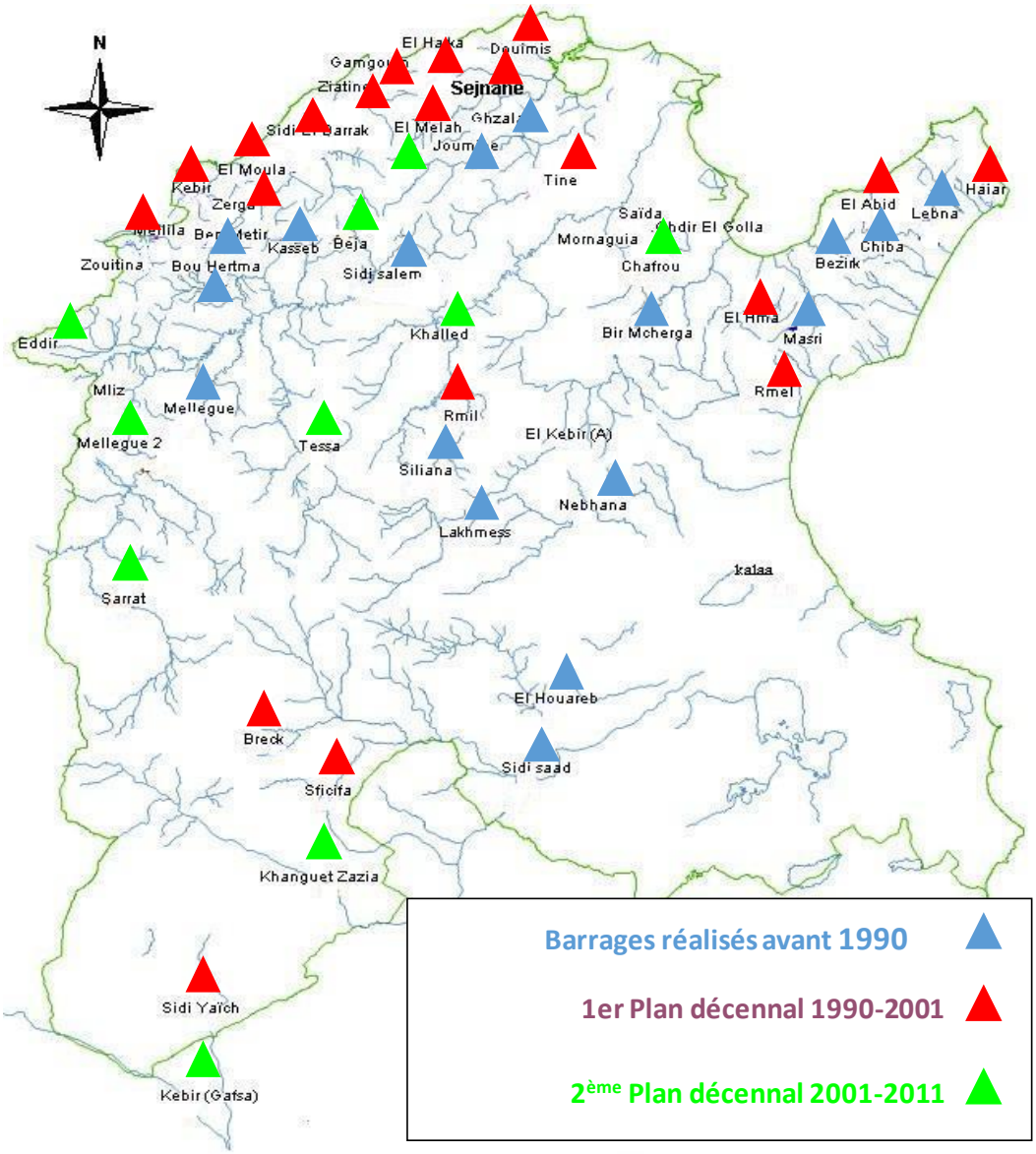
Source : Loi n° 942-1993 du 26 avril 1993 relative aux plans nationaux et régionaux de gestion des catastrophes et aux comités de gestion des catastrophes et loi n° 2723-2004 du 21 décembre 2004 portant modification

2.4.2 Plans directeurs dans le secteur d'aménagement des ressources en eau

2.4.2 Plans directeurs pour le secteur des ressources en eau

Les plans relatifs aux ressources en eau sont divisés en trois plans selon les divisions régionales, sur la base de la loi sur l'eau susmentionnée décrite ci-dessous. Ces plans sont axés sur la collecte de l'eau par les barrages, l'acheminement de l'eau par les canalisations, et la distribution, l'utilisation et le développement de l'eau pour l'exploitation des ressources disponibles ; depuis 1975, chacun de ces plans a été concrétisé et desservi par le Ministère de l'Agriculture. La Figure 2-32 présente l'état d'avancement du développement des barrages dans le cadre des plans de développement des ressources en eau de la Tunisie.

- Plan directeur des eaux du Nord (Tunis, Bizerte et.)
- Plan directeur des eaux du centre (Sfax)
- Plan directeur des eaux du sud (Gabès, Ben Guerdène, etc.)



Source: Fourni par la DGBGTH

Figure 2-32 État d'avancement du développement des barrages en Tunisie

La quantité totale de ressources en eau exploitables en Tunisie est estimée à 4800 millions de m3, et afin de les utiliser efficacement, le développement de barrages, de puits d'eau souterraine et de retenues a été planifié et mis en œuvre. Le tableau suivant montre l'état de développement de la quantité totale de ressources en eau (eaux de surface et eaux souterraines) prévue par le Ministère de l'Agriculture.

Tableau 2-15 Tendances de l'évolution de la quantité totale des ressources en eau globales (1956~2020)

An	1956	1990	2008	2017	2020
Réalisation (%)	8	57	88	90	100
Captage d'eau (millions de m3)	500	2600	4100	4300	4800
Contenu	-3 Barrage -Kébir, -Mellegue, -Beni Mtir -550 Puits simple -2000 Puits	-17 Barrage -22 petites retenues. -83 Lac. -1800 Puits simple -100000 Puits	-29 Barrage -224 Petites retenues. -827 Lac. -5017 Puits simple -138000 Puits	-37 Barrage -230 Petites retenues. -950 Lac. -5300 Puits simple -138000 Puits	-41 Barrage -275 Petites retenues. -Lac 1800. -6000 Puits simple -138000 Puits

Source: Fourni par la DGBGTH

En outre, le développement des barrages au cours des dernières années est présenté ci-dessous.

Tableau 2-16 Développement des barrages ces dernières années

Avant	2017	2017	2017	2020
Réalisation (%)	74	85	95	100
Captage d'eau (millions de m3)	2246	2412	2809	2994
Contenu	-37 Barrage	Barrage en construction -Douimiss -Mellègue amont -Saïda -Kalaa	Barrages prévus -Tessa -Khalled -Eddir -Chafrou	Barrages prévus -Siliana aval -Belassoued -Oued Raghaï -Ghezala (BV - Bouhertma) -Ouzafa (Siliana)

Source: Fourni par la DGBGTH

Selon les entretiens de l'équipe d'étude avec la DGBGTH (2019), il a été confirmé que la capacité totale initiale de ces barrages opérationnels est de 2169 millions de m3 au moment de l'étude, contre une capacité totale initiale de 2793 millions de m3. L'impact de la sédimentation est significatif dans les barrages présentés ci-dessous, en particulier sur le barrage de Sidi Salem dans le bassin versant en question, qui a un impact significatif sur le système global d'approvisionnement en eau.

- ✓ Mellègue (1954,annés de construction) :72 %（Pourcentage de sédiments par rapport à la capacité initiale, 2019）
- ✓ Sidi Salem (1981): 34 %
- ✓ Siliana (1987): 52 %
- ✓ Sidi Saad (1981): 36 %
- ✓ Nebhana (1965): 32 %

2.5 Plan de développement en Tunisie

2.5.1 Plan de développement à long terme en Tunisie

La Tunisie établit un plan national de développement tous les cinq ans qui comprend des indicateurs de développement économique et social effectif ; le « Plan national de développement 2016-2020 », publié en 2016, « Préparation à un environnement favorable et au bon usage des ressources naturelles » inclut l'utilisation efficace des ressources en eau. Le « Plan national de développement 2023-2025 » (retardé de deux années dues au COVID19 ; ci-après dénommé le « Plan triennal »), en cours d'élaboration, continue de considérer le soutien à une économie verte et à l'économie circulaire comme un axe de développement. Pendant l'enquête (2022-23), il a été confirmé que la relation entre le développement durable des ressources en eau et la question du barrage de Sidi Salem et le projet de réhabilitation a été discutée.

Par ailleurs, le projet de recherche « EAU 2050 » (Recherche 2050 dans le Secteur de l'Eau en Tunisie), cofinancé par la BAD et la KfW, est en cours depuis 2019 pour étudier les enjeux de développement dans le secteur des ressources en eau en Tunisie. L'étude vise à organiser des solutions à court, moyen et long terme jusqu'en 2050 dans une perspective globale et à présenter les politiques et stratégies de mise en œuvre dans le secteur de l'eau. Un autre objectif est d'utiliser ces informations pour l'élaboration et la planification des politiques par les gestionnaires impliqués dans le secteur des ressources en eau.

2.5.2 Tendances de l'aide au développement des ressources en eau par organisation internationale

Dans le développement des ressources en eau en Tunisie, les infrastructures hydrauliques liées à la collecte, à la transmission, au transport, à la distribution et à la prise d'eau pour les systèmes d'irrigation et d'approvisionnement en eau urbains et ruraux sont en cours de développement avec le soutien financier de divers pays et organisations internationales régionales. Les principales organisations internationales qui ont fourni une assistance en Tunisie et leurs réalisations sont énumérées ci-dessous.

Tableau 2-17 Grandes organisations internationales ayant une expérience en Tunisie

Abréviation	Organisation internationale
BM/BIRD	Banque Mondiale / Banque internationale pour la reconstruction et le développement
KfW	Société allemande de financement de la reconstruction
AFD	Agence Française de Développement
JICA/JBIC	Agence japonaise de coopération internationale / Banque japonaise pour la coopération internationale
BAD	Banque africaine de développement
OFFRE D'ACHAT	Banque islamique de développement
FONDS	Fonds arabe pour le développement économique et social
MODE	Fondation d'Abou Dhabi
FDS	Fonds national de développement (Arabie saoudite)
KDF	Fonds koweïtien pour le développement économique arabe
BEI	Banque européenne d'investissement

Source : Fourni par DGBGTH

Tableau 2-18 Réalisations de l'assistance des organisations internationales en Tunisie

Organisme	Nom du projet	Montant du prêt	Année de signature du contrat de prêt	Année de clôture du prêt
BIRD World bank	Alimentation en eau potable de Sfax	23 million USD	1974	1980
	Alimentation en eau potable de Tunis Cap Bon	21 million USD	1977	1984
	Approvisionnement en eau potable des villes moyennes et des centres ruraux	25 million USD	1979	1983
	Alimentation en eau potable des centres ruraux	20 million USD	1994	2003
	Alimentation en eau potable du Grand Tunis	29 million USD	1994	2003
	Alimentation en eau potable des villes	31 million EUR	2005	2014
KfW Société financière de reconstruction allemande	Alimentation en eau potable de Ghomrassen, Tataouine et rive sud de Bizerte	20 million DM	1979	1988
	L'eau potable du Sud de la Tunisie	70 million DM	1980	1988
	Amélioration de la qualité de l'eau dans le Sud de la Tunisie	25 million EUR	2004	2014
	Construction d'une station de dessalement d'eau de mer à Jerba	60 million EUR	2013	2017
BAD Banque africaine de développement	Alimentation en eau potable du Sahel	5 million UA	1978	1987
	Alimentation en eau potable de la Zone Industrielle de GABES	8 million UA	1979	1986
	Alimentation en eau potable du Cap Bon	19.2 million UA	1984	1990
"BID Banque islamique de développement"	Renforcement de la production d'eau potable pour la SAHEL et la SFAX à partir des eaux du Nord.	3.7 million USD	1997	2005
	Renforcement de la production d'eau potable pour la SAHEL et la SFAX à partir des eaux du Nord.	19 million USD	1997	2005
	Renforcement du système d'approvisionnement primaire de la région de KAIROUAN et de la SAHEL.	17 million USD	1999	2005
"SDF Fonds national de développement (Arabie saoudite)"	Alimentation en eau potable dans le Sahel	160 million SR	1977	1985
	Alimentation en eau potable de la ville de SFAX	161.5 million SR	1982	1995
KDF Fonds koweïtien pour le développement économique arabe	Alimentation en eau potable de Bizerte	7.8 million DK	1981	1988
	Alimentation en eau potable du Grand Tunis	6,3 million DK	1987	1995
FADES Fonds arabe pour le développement économique et social	Alimentation en eau potable de GABES	3.3 million DK	1979	1986
	Alimentation en eau potable au Sahel	4 million DK	1983	1988
AFD Agence française de développement	Alimentation en eau potable des centres ruraux - Programme 1	19.3 million EUR	1999	2003
	Approvisionnement en eau potable des centres ruraux - programme 2	33 million EUR	2003	2010
	Alimentation en eau potable dans le Sahel à partir de Kairouan	25 million EUR	2002	2008
	Alimentation en eau potable des centres ruraux	21 million EUR	2009	2014
	Programme SONEDE de sécurisation des capacités de production et d'approvisionnement en eau potable	40 million EUR	2012	2015
	Alimentation en eau potable des zones rurales	20 million EUR	2013	2019
OECF (Japon)	Projet d'eau potable et d'assainissement dans le Sud tunisien - Station de dessalement d'eau saumâtre à Jerba	5991.8 million JPY	1995	2002
JICA	Amélioration du taux de desserte en eau potable dans les zones rurales du gouvernorat de Jendouba et d'une partie de Béja	5412 million JPY	2006	2016
	Alimentation en eau potable en milieu urbain	6094 million JPY	2012	2020
	Station de dessalement à Sfax	36676 million JPY	2017	2024
BEI Banque européenne d'investissement	Doublement de la conduite d'alimentation primaire entre BELLI et SOUSSE	60 million EUR	2001	2008

Source: Équipe d'étude de la JICA

La DGBGTH envisage actuellement un programme de conduction d'eau révisé pour la région nord, appelé programme STPCI (Stockage et transfert d'eau, protection contre les inondations). Il s'agit d'un programme STPCI existant amélioré (Stockage de l'eau et protection contre les inondations) avec l'ajout d'une canalisation d'eau, dont le but est d'augmenter le transport de l'eau en ajoutant une canalisation d'eau aux barrages existants dans le nord.

Le tableau 2-19 présente la répartition des fonds du programme STPCI. Outre les fonds de la KfW (fonds versés et fonds de subvention en tant que projets de lutte contre les inondations et fonds versés liés aux barrages), le programme est cofinancé par l'UE, la Banque européenne d'investissement et le Fonds vert de la Corée. Le tableau 2-20 présente les projets financés par chaque donateur, dont B : Mesures de non regret est de 116 millions de TND et C-3 : Renforcement du réseau d'approvisionnement en eau entre OM3 et Nebhana est de 639 millions de TND, soit un total d'environ 755 millions de TND dans le cadre du " plan de développement triennal ". Le plan global devrait être achevé en 2035, pour un coût total de 3218 millions de TND.

Table 2-19 Répartition des fonds STPCI

Ccomposant			coût total DT	Liste
	1	Projet de lutte contre les inondations U1+M et U2	377 327 068	Amélioration de l'oued (excavation du canal) dans les zones U1, U2 et M
	2	Barrage de Raghai	191 345 083	Construction du barrage de Raghai
	3	Élevé Sidi Saad	55 824 484	Relèvement du barrage de Sidi Saad
UNE	Total du programme SPCI		624 496 635	
B	Mesures sans regret		116 304 885	Réhabilitation des stations de pompage et des installations d'exploitation, construction et réhabilitation des retenues, renforcement de la capacité d'approvisionnement en eau entre Sejnene et OM3, réhabilitation de la petite hydroélectricité, réhabilitation du canal Sejnene oust et du canal de drainage
	1.a	Montant Barrage Melah	291 720 000	Construction du barrage en amont de Melah
	1.b	Montant Melah-Sejnene	121 264 000	Développement d'un réseau d'eau gravitaire pour le canal Sejnene
	2	Sejnene - Bejaoua	876 425 264	Renforcement du réseau d'adduction d'eau entre Sejnene et Bejaoua (construction de stations de pompage et de canalisations)
	3	Béjaoua - Nebhana	639 437 656	Renforcement du réseau d'adduction d'eau entre Bejaoua et Nebhana (construction de stations de pompage et de canalisations)
	4	Nebhana - Sidi Saad	548 606 344	Renforcement du réseau d'adduction d'eau entre Nebhana et Sidi Saad (construction de stations de pompage et de canalisations)
C	Transfert total + Barrage Melah Amont (1~4)		2 477 453 264	
ré	Complément Bou Heurtema		29 616 446	Réhabilitation du barrage de Bou Heurtema
E	Supplément pour CMCB2		23 742 742	Réhabilitation du canal MCB
Coût pour STPCI (A. PCI + B. Melah A + C. Transfert)			3 218 254 784	

Source : DGBGTH

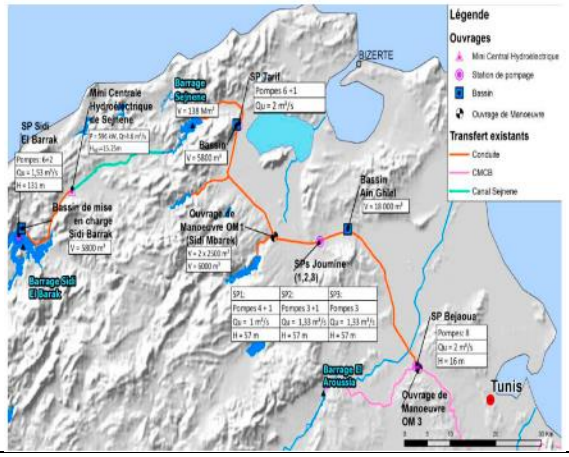
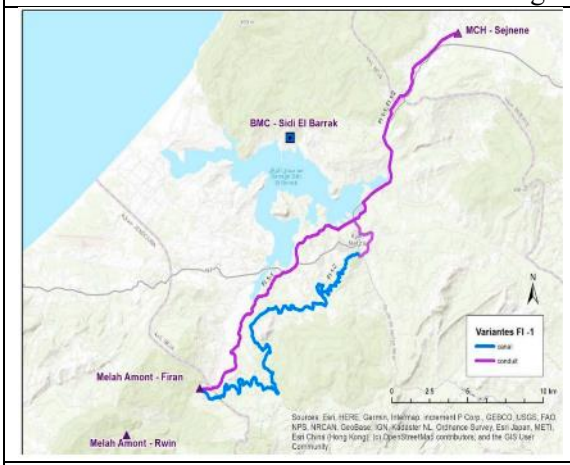
Table 2-20 Répartition des donateurs soutenant chaque projet

Ccomposant			coût total	Source de financement en millions d'euros					
			KfW. pci	KfW	KfW. don	UE. don	f. vert	BEI	KfW. pci
	1	PCI U1+M et U2	377 327 068	94,6					
	2	Barrage de Raghai	191 345 083		51.1				
	3	Élevé Sidi Saad	55 824 484	dix	4				
UNE	Total du programme SPCI		624 496 635						
B	Mesures de non regret		116 304 885		30				
	1. a	Barrage Melah Montant	291 720 000						
	1. b	Montant Melah-Sejnene	121 264 000						
	2	Sejnene - Bejaoua	876 425 264					100	127
	3	Béjaoua - Nebhana	639 437 656			73,3	40		
	4	Nebhana - Sidi Saad	548 606 344						
C	Transfert total + Barrage de Melah Amont		2 477 453 264						
ré	Complément BouHeurtema		29 616 446	6.4					
E	Supplément pour CMCB2		23 742 742		5.2				
Coût pour STPCI (A. PCI + B. Melah A + C. Transfert)			3 218 254 784	104.6	85.1	73,3	40	100	127

*pci : projet de contrôle des crues, don : don, UE, Union européenne, f.vert : fonds vert de Corée, BEI : Banque Européenne d'Investissement

Source : Fourni par DGBGTH

Tableau 2-21 Plan de chaque rubrique du programme STPCI

<table>
<tr><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">Mesures de non regret (Contre-mesure prioritaire)</td></tr>
<tr><td> 
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>1. a. Construction en amont du barrage de Melah
b. Construction du système d'approvisionnement en eau du canal de Sejnene</td><td>2. Amélioration de la capacité d'approvisionnement en eau pour
a) 4m3/s entre SEB et Sejenene
b) 10m3/s entre Sejnene et Bejaouda</td></tr>
<tr><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>3. Améliorer la capacité d'approvisionnement de 4m3/s entre le barrage de Bejaouna et celui de Nebhana.</td><td>4. Améliorer la capacité d'approvisionnement de 4m3/s entre le barrage de Nebhana et celui de Sidi Saad.</td></tr>
</table>

Source: DGBGTH

2.5.3 Aide au développement pour la lutte contre les inondations des organisations internationales

Les projets de lutte contre les crues mis en œuvre avec le soutien des donateurs dans le bassin de la Medjerda sont présentés dans le Table 2-22.

Des projets de lutte contre les crues sur la Medjerda ont été réalisés par le biais de projets de barrages et de cours d'eau soutenus par la coopération internationale telle que la JICA. En ce qui concerne les récents projets de lutte contre les inondations, la JICA a mené une étude de développement « Étude du plan de gestion intégrée du bassin de la Medjerda » de 2006 à 2008 en réponse aux inondations depuis 2000. Dans le cadre de l'étude, un plan directeur de lutte contre les inondations de la Medjerda (ci-après dénommé "M/P") a été formulé.

Par la suite, l'étude préparatoire à la coopération sur les projets prioritaires dénommée « Étude sur la gestion intégrée des bassins et les mesures de lutte contre les inondations tenant compte des impacts du changement climatique sur l'oued Medjerda » a été menée de 2010 à 2012. Parallèlement, l'étude « Impact du changement climatique L'évaluation du bassin de la Medjerda" (ci-après collectivement dénommée "F/S") a été menée pour réexaminer la distribution de débit de conception dans la zone en aval du barrage de Sidi Salem et les mesures de contrôle des crues proposées dans la zone D2. Les allocations de débit pour les zones D1 et D2 ont été légèrement modifiées depuis le M/P, avec des informations plus récentes et un modèle analytique plus adapté aux caractéristiques du bassin versant. Cependant, le F/S ne reconsidère pas les allocations de débit d'eau élevées prévues pour les zones U1, M et U2,

D'autre part, la Société allemande de financement de la reconstruction (ci-après dénommée "KfW") a lancé des projets de lutte contre les inondations dans la zone U1 en amont, et le débit d'eau élevé prévu comme condition de base pour de tels projets doit être compatible avec le bassin -plan de lutte contre les inondations à grande échelle que le Japon a promu jusqu'à présent. Pour cette raison, il est nécessaire d'étudier le plus tôt possible le débit de crue prévu pour l'ensemble du bassin. Conformément au F/S, le projet de lutte contre les inondations de la zone D2 en aval est mis en œuvre dans le cadre d'un prêt en yens signé en 2016. Actuellement, un accord d'entrepreneur a été signé.

Table 2-22 Projets de lutte contre les inondations par les bailleurs de fonds étrangers existants

Année de mise en œuvre	Type	Nom	Bailleur
1977	Prêt	Financement du projet de construction du barrage de Sidi Salem	Banque mondiale
1997	Prêt	Projet de contrôle des inondations dans les zones urbaines	JICA
2005	Étude	Phase 1 de l'étude de lutte contre les inondations du Grand Tunis	JICA
2006-2008	Enquête sur le développement	L'étude sur la gestion intégrée des bassins axée sur la lutte contre les inondations à Medjerda (M/P)	JICA
2007	Prêt	Projet de lutte contre les inondations du Grand Tunis	JICA
2010-2013	Étude de faisabilité	・Développement d'une mesure de prévention des inondations ・Analyse de l'impact du changement climatique	JICA
2012	Étude de faisabilité	Etude de protection contre les inondations dans la partie nord et ouest de Tunis	BAD
2016-2025	Prêt	Projet de lutte contre les inondations en D2	JICA

2017	Prêt	Amélioration du barrage de Larrousia	KfW
2019 ~	FS/Prêt	Travaux d'amélioration de l'oued dans les zones U1 et U2	KfW

Source : Équipe d'étude de la JICA

(1) Plan Directeur de Contrôle de Crue pour le Bassin de Medjerda

1) Stratégie Principale de Formulation du Plan Directeur

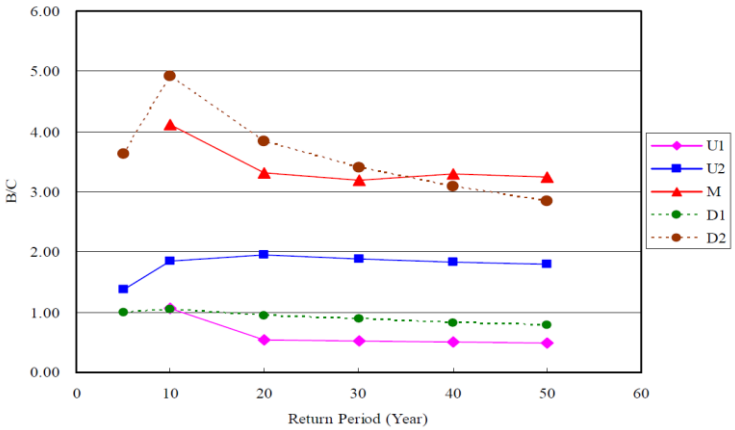
Le politique de base du M/P, défini pour l'horizon 2030, est comme suit :

- Approche globale de contrôle des crues basée sur le concept de gestion intégrée des crues, visant à combiner au mieux plusieurs mesures de contrôle des crues applicables.
- Harmonisation avec le plan d'utilisation de l'eau donnant la priorité à la réalisation de la sécurité d'approvisionnement en eau, car le risque d'approvisionnement en eau et celui de la maîtrise des inondations sont en position de compromis.
- Combinaison de mesures structurelles et non structurelles pour le contrôle des inondations afin de minimiser les dommages causés par les inondations, car une protection absolue contre les inondations n'est ni techniquement réalisable ni économiquement et écologiquement viable.
- Conformité aux attentes du public contre les risques d'inondations et les dégâts, en accordant une attention particulière aux personnes touchées.

2) Niveau de Sécurité pour le Contrôle de Crue

Le niveau de sécurité pour le contrôle des crues dans la Zone D1 sera établi à partir du Plan Directeur. Dans le Plan Directeur, le rapport B/C pour chaque niveau de sécurité du contrôle des crues est déterminé comme suit, et le niveau de sécurité pour le rapport B/C_{max} est adopté.

La relation entre B/C de chaque zone et son niveau de sécurité de contrôle de crues sont illustrés sur la Figure 2-33. D'après les résultats de l'examen, le niveau de sécurité du contrôle des crues pour la Zone D1 correspond à la période de retour de 1/10 an. Le ratio B/C de la période de retour de 1/10 an dans la Zone D1 dépasse 1,0.



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

Figure 2-33 Rapport Coût-Bénéfice (B/C) pour chaque zone dans le plan directeur de 2008

3) Projets de Contrôle de Crues Proposés dans le Plan Directeur

Le M/P a proposé un plan directeur contre les inondations comprenant les mesures structurelles et non structurelles suivantes pour un fonctionnement efficace des projets assurés d'ici 2030 qui présente l'année cible du Plan.

(a) **Mesures structurelles :** se concentrer sur la protection des villes/villages ainsi que des terres agricoles le long d'Oued Medjerda contre les crues pour les crues de conception.

- Projet d'aménagement de l'oued : pour empêcher tout débordement de l'oued jusqu'aux crues de conception. Le bassin de la Medjerda en Tunisie est aussi large que 15 830 km^2 et une division en 4 zones de D2, D1, U2 et U1 + M est proposée pour la mise en œuvre du projet d'aménagement de l'oued. La crue décennale est choisie comme niveau optimal de protection contre les crues pour chacune des zones D2, D1 et U1 + M, et la crue de 20 ans est sélectionnée pour la zone U2. Les travaux d'aménagement de l'oued proposés dans le bassin de Medjerda se composent principalement de l'aménagement de l'oued Medjerda et la mise en œuvre du bassin de retardement d'El Mabtouh et des canaux de dérivation pour les villes de Medjez El Bab et de Boussalem, dont les principales caractéristiques sont aussi indiquées ci-dessous.
- Projet de renforcement de la composante contrôle de crues des réservoirs : pour minimiser les débits de pointes des crues libérés par les 7 réservoirs (Sidi Salem, Mellegue 2, Siliana et autres) et également dans leurs cours d'eau en aval.

Tableau 2-23 Mesures structurelles proposées par le M/P

River Improvement Works		Unit	D2	D1	U2	U1+M
I. Improvement of Mejerda River						
1) Embankment						
a) Length		km	55.9	70.6	67.5	12.6
	(Left bank)	km	29.4	36.7	34.8	6.5
	(Right bank)	km	26.5	33.9	32.7	6.1
b) Height		m	0.5-2.5	0.5-2.5	2.5-4.5	1.0-3.0
2) Channel excavation/widening	Length	km	63.8	81.2	42.7	61.1
3) Sluice gate		nos.	47	72	42	6
4) Renewal of existing steel bridge/aqueduct		site	3	1	1	
5) Raising of existing railway bridge		site	1			
II. Construction of El Mabtouh Retarding Basin						
1) Inlet channel		km	11.9			
2) Outlet channel		km	7.8			
3) Surrounding dike	Length	km	10.1			
	Height	m	2.0-4.0			
4) Design storage capacity		m^3	50 mil.			
III. Construction of Bypass Channel						
1) Bypass channel	Length	km		4.5	7.7	
2) Channel bottom width		m		15	25	

Source: Etude sur la gestion intégrée du bassin portant sur la lutte contre les inondations dans la Medjerda

(b) **Mesures non-structurelles :** se concentrer non seulement sur l'atténuation des dégâts causés par les inondations excessives, mais aussi sur la durabilité de la fonction de protection contre les inondations des mesures structurelles.

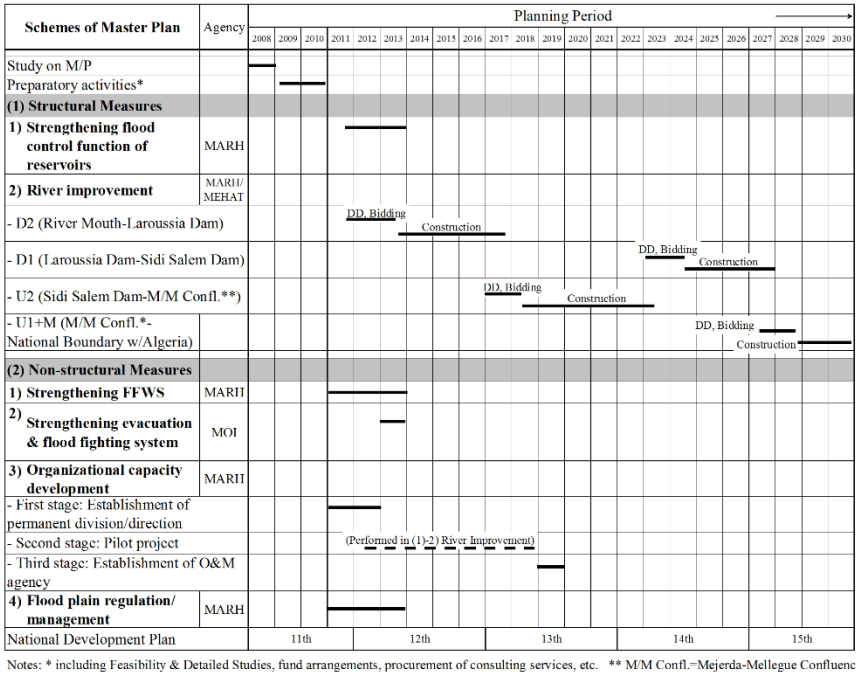
- Projet de renforcement du système existant de prévision et d'alerte des crues (FFWS): pour fournir, à l'avance, les informations sur les crues requises pour les projets de renforcement (i) de la fonction de contrôle des crues des réservoirs et (ii) du système d'évacuation et de lutte contre les inondations.
- Projet de renforcement du système d'évacuation et de lutte contre les inondations : pour éviter les pertes de vie humaine et minimiser les dégâts matériels lors des inondations.
- Projet de développement des capacités organisationnelles : fournir des dispositifs institutionnels bien organisés et habilités afin de faciliter la réalisation d'autres projets de lutte contre les inondations proposés dans le plan directeur, de la phase de planification jusqu'à l'exploitation / l'entretien.
- Projet sur la régulation / gestion des plaines inondables: pour minimiser les risques d'inondations / dégâts dans les plaines sujettes aux inondations lors des crues excessives le long d'Oued

Medjerda.

4) Plan Général d'Exécution des Projets

Le plan général d'exécution des projets de protection contre les inondations proposés dans le plan directeur est présenté ci-dessous.

Tableau 2-24 Plan général d'exécution



Notes: * including Feasibility & Detailed Studies, fund arrangements, procurement of consulting services, etc. ** M/M Confl.=Mejerda-Mellegue Confluenc

Source: Etude sur la gestion intégrée du bassin portant sur la lutte contre les inondations dans la Medjerda

5) Coûts des Projets

Les coûts des projets de protection contre les inondations dans le plan directeur sont estimés comme indiqué ci-dessous.

Tableau 2-25 Coûts des projets

(1) Structural measures			(2) Non-structural measures		
Projects	10^3 TND	10^6 Yen	Projects	10^3 TND	10^6 Yen
1) Strengthening flood control function of reservoirs	5,772	527	1) Strengthening existing FFWS	5,592	510
2) River improvement	553,785	50,502	2) Strengthening evacuation and flood fighting system	2,910	2,485
- D2 Zone	133,574	12,181	3) Organizational capacity development	7,135	651
- D1 Zone	173,657	15,837	4) Flood plain regulation/management	5,238	478
- U2 Zone	186,475	17,005			
- U1+M Zone	60,079	5,479			
Total of (1)	559,557	51,029	Total of (2)	20,875	1,904
Grand total: (1) + (2) = 580,432 10^3 TND (equivalent to 52,933 10^6 Yen)					

Source: Etude sur la gestion intégrée du bassin portant sur la lutte contre les inondations dans la Medjerda

6) Viabilité Economique des Projets

Tous les projets de protection contre les inondations proposés se sont avérés viables du point de vue économique, puisque le taux de rentabilité interne économique (TREI) se situe entre 12,1% et 33,7% au-dessus du coût d'opportunité du capital du secteur de la lutte contre les inondations en Tunisie (12%), la valeur actuelle nette économique (ENPV) et le rapport avantages-coûts dépassent respectivement «0» et «1», comme indiqué ci-dessous.

Tableau 2-26 Viabilité économique des projets

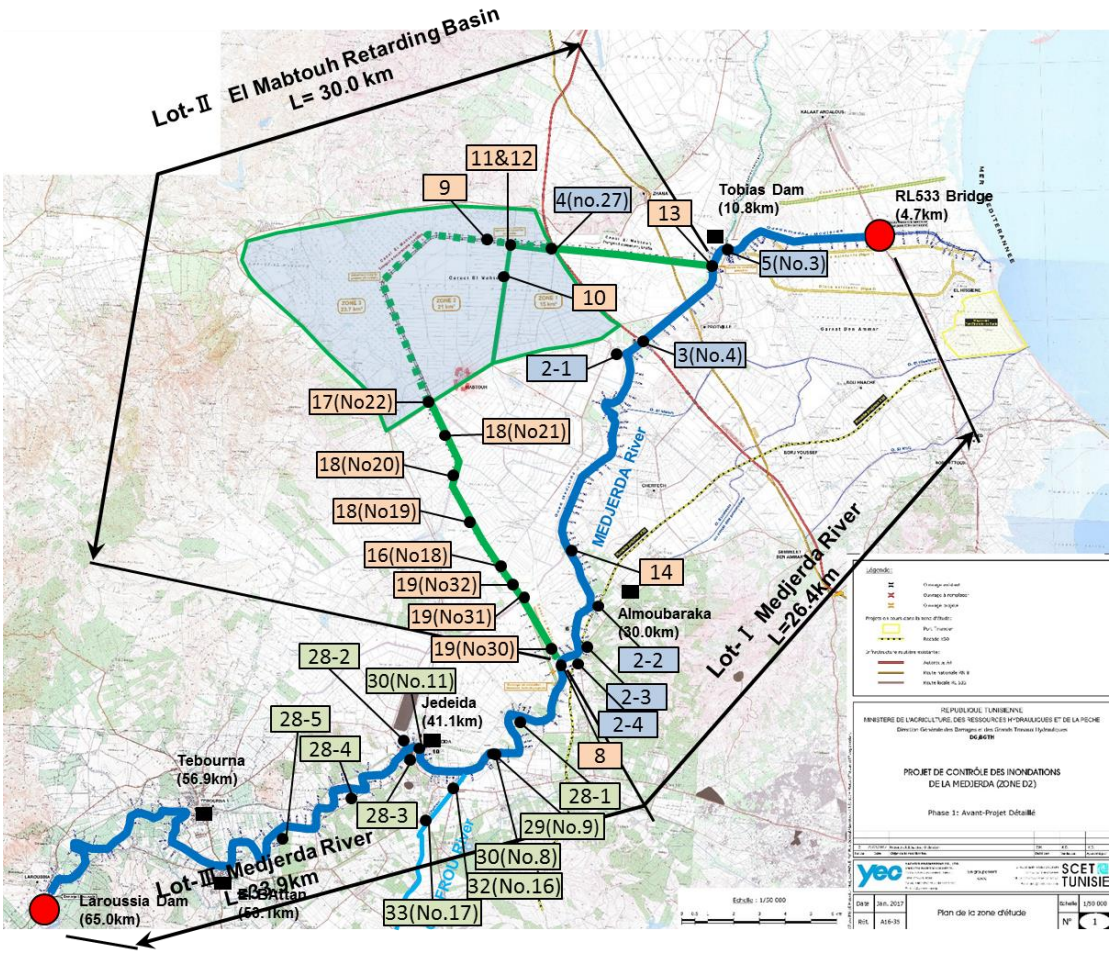
	Zone D2	Zone D1	Zone U2	Zone U1+M	Whole Projects
EIRR (%)	33.7	20.5	14.6	12.1	25.0
ENPV (10^6 TND)	230.31	19.96	13.60	0.29	264.16
B/C ration	5.83	2.73	1.28	1.01	3.04

Source: Etude sur la gestion intégrée du bassin portant sur la lutte contre les inondations dans la Medjerda

(2) Projet de Contrôle de Crue en Cours dans la Zone D2

1) Zone d'Etude

L'étude de faisabilité (F/S) a été menée entre 2010 et 2012 pour examiner la distribution des débits du projet en aval du barrage de Sidi Salem et proposer des mesures de contrôle des crues pour la Zone D2. De plus, le prêt pour la zone D2 en cours a été mis en œuvre en 2016 pour le projet de contrôle des inondations de la zone D2 basé sur la F/S. Actuellement la sélection de l'entreprise de construction a été achevée. Les projets de protection contre les inondations dans la zone D2 comprennent des mesures structurelles incluant une combinaison de travaux de réhabilitation du bassin de retardement d'EL Mabtouh, du canal de dérivation et du lit de l'oued. La longueur totale de l'oued dans la zone D2 est de 64,97 km. Le schéma du projet de contrôle des crues dans la zone D2 est présenté ci-dessous.

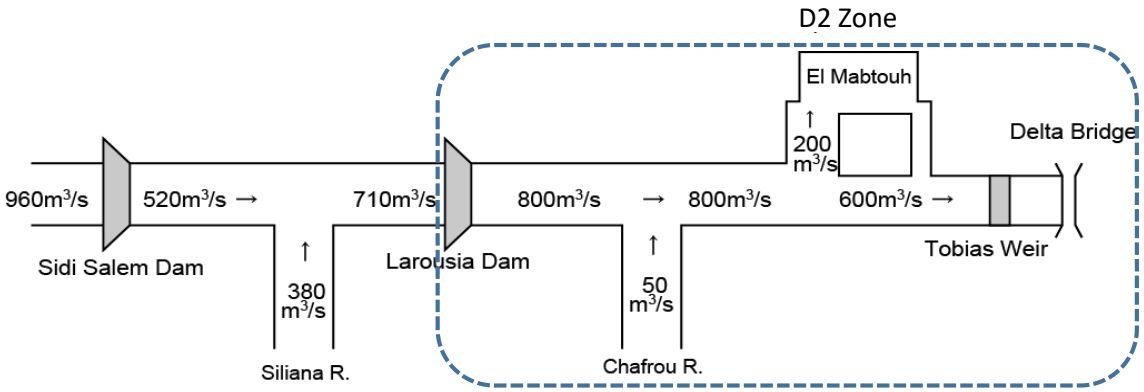


Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 2-34 Aperçu du projet de contrôle de crue dans la Zone D2

2) Echelle du Projet

Le projet de contrôle des crues d'Oued Medjerda doit mener des travaux d'aménagement de l'oued pour éviter les dégâts causés par les inondations à Jedeida et Tebourba en aval et sur les terres agricoles des deux côtés de l'oued. Les travaux d'aménagement de l'oued seront réalisés sur un tronçon de 60,4 kilomètres à partir du pont de Kalaat el Andalous jusqu'au barrage de Laroussia en amont. Pendant les crues, 200 m^3/s d'eau, faisant partie du débit de crue de conception de 800 m^3/s, seront détournés et stockés temporairement dans le bassin de retardement d'El Mabtouh. En tant que mesures contre les crues dépassant le niveau prévu et les inondations causées par le réchauffement climatique, un système de gestion des barrages et un système de protection contre les crues et d'évacuation doivent être mis en place en même temps que les mesures structurelles des travaux d'aménagement de l'oued.



Source: Enquête préparatoire sur le projet de gestion intégrée du bassin et de lutte contre les inondations pour la Medjerda (F/S), JICA (2012)

Figure 2-35 Allocation des débits de conception dans la Zone D2 (Probabilité 1/10-ans)

3) Mesures

(a) Travaux d'Aménagement de l'Oued et du Bassin de Retardement (Mesures Structurelles)

Pour les projets d'oued Medjerda, une section transversale suffisante a été assurée pour le débit de conception de 600 ~ 800m³/s avec une échelle de conception basée sur une période de retour de 10 ans. Les mesures structurelles du projet de contrôle de crues pour la Medjerda sont les travaux d'aménagement de l'oued (construction de digues et excavation du lit de l'oued) nécessaires pour le débit de conception, la construction d'un bassin de retardement pour le détournement et le stockage du débit de crue de conception, la construction de canaux d'évacuation vers le bassin de retardement et les canaux de drainage du bassin vers Oued Medjerda, et la construction des structures annexes des canaux d'évacuation et de drainage.

(b) Mesures Non-Structurelles

Les mesures non structurelles jouent des rôles complémentaires en tant que mesures contre les inondations dépassant le niveau d'inondation prévu et également en tant que mesures d'adaptation aux changements climatiques avec un coût d'investissement inférieur aux mesures structurelles et une utilité en tant que réponses et mesures à court terme.

(3) Aperçue du Barrage de Laroussia

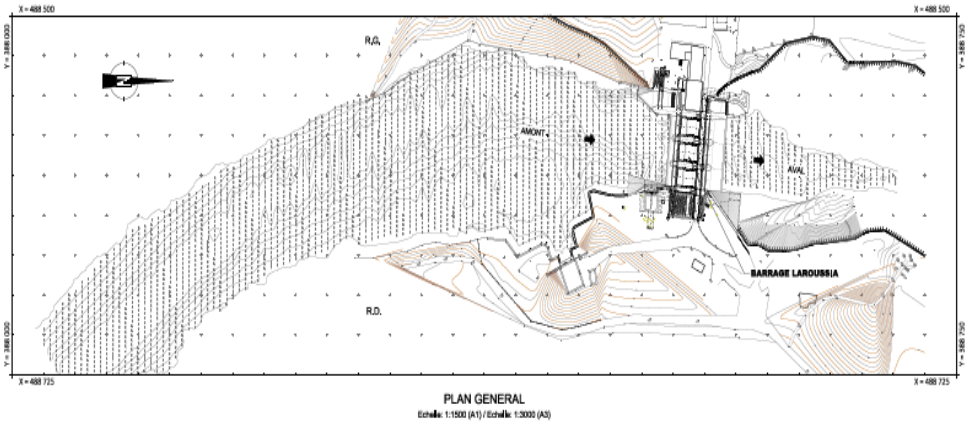
1) Situation Actuelle

Le barrage de Laroussia a été construit pour l'irrigation, l'approvisionnement en eau potable et la production d'électricité et il a été mis en service en 1957. Le barrage de Laroussia est situé à environ 10 km en amont de Tebourba, comme le montre la

Figure 2-36. La hauteur du barrage de Laroussia est de 42 (m. NGT), la longueur du barrage est de 106,3 m avec des vannes Tainter en acier (3 vannes, largeur 15 m). La puissance de production électrique est de 4 900 kVA. La voie navigable Medjerda-Cap Bon et la prise d'eau d'irrigation de terrain d'environ 4 000 hectares de Chouigui sont situées en amont en rive gauche du barrage. Une prise d'eau (13 m^3/s) pour l'irrigation des 32 000 ha de la basse vallée de la Medjerda est installée en amont, sur la rive droite du barrage. Un aperçu du barrage de Laroussia (emplacement, vue en plan, vues en coupe) est illustré ci-dessous.

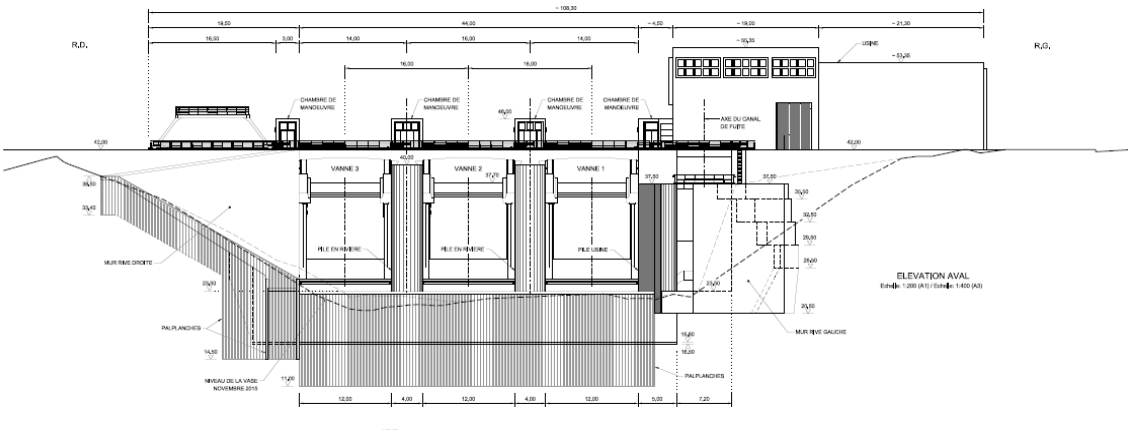
Source: Etude Détaillée Préliminaire d'Aménagement du Barrage de Laroussia en 2017, Kfw

Figure 2-36 Emplacement du barrage de Laroussia



Source: Etude Détaillée Préliminaire d'Aménagement du Barrage de Laroussia en 2017, Kfw

Figure 2-37 Vue en plan du barrage Laroussia



Source: Etude Détaillée Préliminaire d'Aménagement du Barrage de Laroussia en 2017, Kfw

Figure 2-38 Vue en coupe du barrage Laroussia (vue à partir de l'aval)

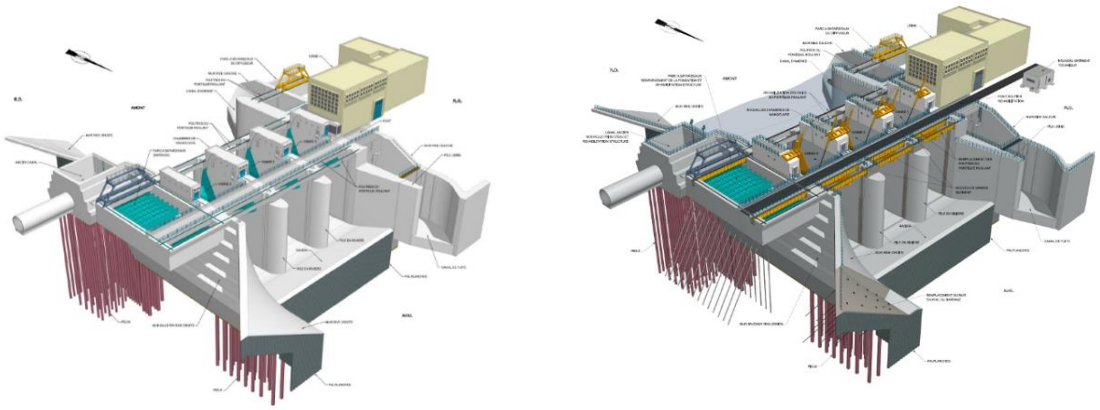
2) Plan d'Entretien du Barrage Laroussia

Le barrage Laroussia est en opération depuis plus de 60 ans, depuis 1957. Afin de prolonger la durée de vie du barrage et d'assurer sa sécurité, un projet d'entretien du barrage a été mis en œuvre par la Banque allemande de développement (KfW) en 2017. Le projet d'aménagement consiste à réaliser des travaux importants tels que la réhabilitation de la chambre d'opération, des installations de prise d'eau et le renforcement du corps principal. Le calendrier global du projet d'aménagement est de 36 mois, et le coût du projet d'aménagement et son contenu sont les suivants.

Tableau 2-27 Coûts du projet d'entretien du barrage de Laroussia

Travaux et Approvisionnement	Coûts (€)	Taxes (€)	TTC (€)
100 Installation de chantier	460,000		
200 Travaux d'entretien géotechnique	2,175,741		
300 Construction et entretien de l'infrastructure	3,769,490		
400 Entretien des équipements hydromécaniques	6,876,000		
500 Entretien des équipements électriques	338,625		
600 Installation du système d'auscultation pour le barrage	180,980		
700 Formation pour le personnel du barrage	220,000		
Total	14,020,836	2,523,750	16,544,586

Source: Etude Détaillée Préliminaire d'Aménagement du Barrage de Laroussia en 2017, Kfw



Situation Actuelle Après Entretien

Source: Etude Détaillée Préliminaire d'Aménagement du Barrage de Laroussia en 2017, Kfw

Figure 2-39 Aperçue du projet d'entretien du barrage Laroussia

CHAPITRE 3 HYDROLOGIE ET HYDRAULIQUE

3.1 Aperçu des Conditions Hydrologiques

3.1.1 Contexte et Objectifs

Le plan directeur de gestion des inondations (M/P) de la Medjerda a été formulé dans « l'Étude sur la gestion intégrée des bassins axée sur la lutte contre les inondations dans la Medjerda" (JICA), qui a été réalisée de 2006 à 2008. Puis, de 2010 à 2012 les études suivantes ont été menées : « l'Étude préparatoire sur la gestion intégrée du bassin et le projet de lutte contre les inondations de la Medjerda" : Développement d'un document de ressources sur les mesures de prévention des inondations" (JICA) et "Enquête préparatoire sur la gestion intégrée du bassin et le projet de lutte contre les inondations de la Medjerda : Analyse de l'impact du changement climatique" (JICA). Ces études ont été réalisées (appelées F/S pour les deux ouvrages ensemble), et l'allocation prévue de débit de crue dans la zone aval du barrage de Sidi Salem a été examinée à nouveau. Certains changements ont été apportés depuis le Plan Directeur. La Figure 3-1 illustre le diagramme de distribution du débit de la crue de conception du Plan Directeur et de l'Etude de Faisabilité en aval du barrage de Sidi Salem. Actuellement, le projet d'amélioration du canal dans la zone D2, qui est la zone la plus en aval, est basé sur l'allocation prévue de débit de crue, qui a été revue à nouveau dans l'Etude de Faisabilité. En revanche, le tronçon en amont du barrage de Sidi Salem n'a pas été examiné par l'Etude de Faisabilité. Par la suite, en novembre 2018, une "Assistance Spéciale à la Mise en Œuvre des Projets (SAPI) pour le Projet de Lutte Contre les Inondations de la Medjerda " (JICA) a été menée.

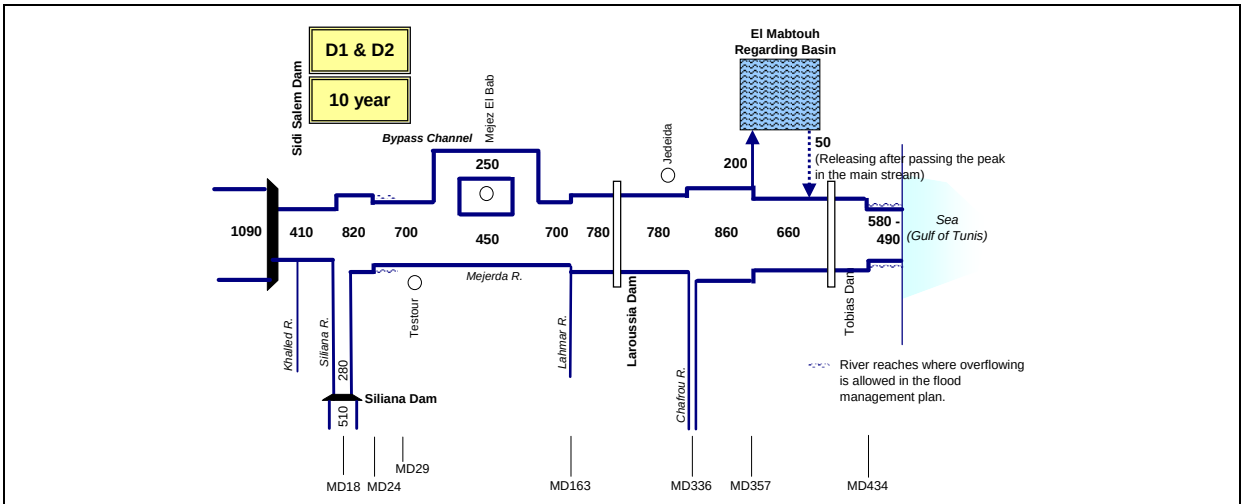


Diagramme de distribution du débit de conception P/D (Période de Retour 1/10)

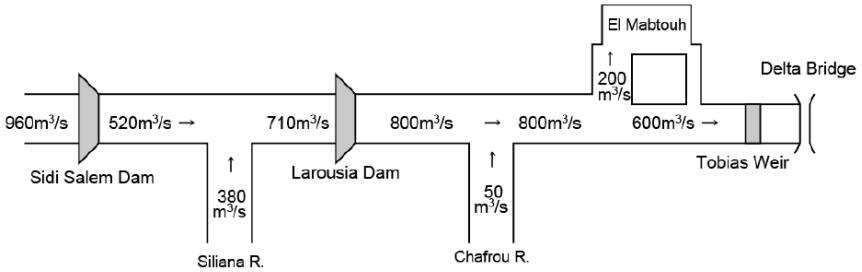


Diagramme de distribution du débit de conception (F/S)

Source : Rapport du Plan Directeur (2000) et F/S (2013)

Figure 3-1 Diagramme de distribution des débits par le P/D et l'etude de faisabilité en aval du barrage de Sidi Salem

Le P/D utilise les modèles HEC-HMS et MIKE-BASIN, et le F/S utilise le modèle WEB-DHM, et les méthodes d'analyse du ruissellement pour le P/D et le F/S sont différentes. En outre, le F/S ne correspond pas en terme de méthodes et conditions telles que l'extrapolation des données d'observation des précipitations avec les polygones de Thiessen près de la frontière de la Tunisie aux précipitations du côté

algérien, qui occupe la majeure partie du bassin supérieur de la Medjerda.

L'agence allemande de financement (KfW - Établissement de crédit pour la reconstruction) a commencé à étudier des projets de lutte contre les inondations dans la zone U1 en amont et il est nécessaire d'établir une répartition rationnelle du débit de crue pour une planification cohérente de la lutte contre les inondations pour l'ensemble du bassin.

L'objectif de cette étude est d'examiner une méthode très valable d'analyse hydrologique et d'analyse du ruissellement, et d'établir une distribution plus rationnelle du débit dans l'ensemble du bassin.

La Figure 3-2 illustre le diagramme de distribution des débits du P/D et du SAPI.

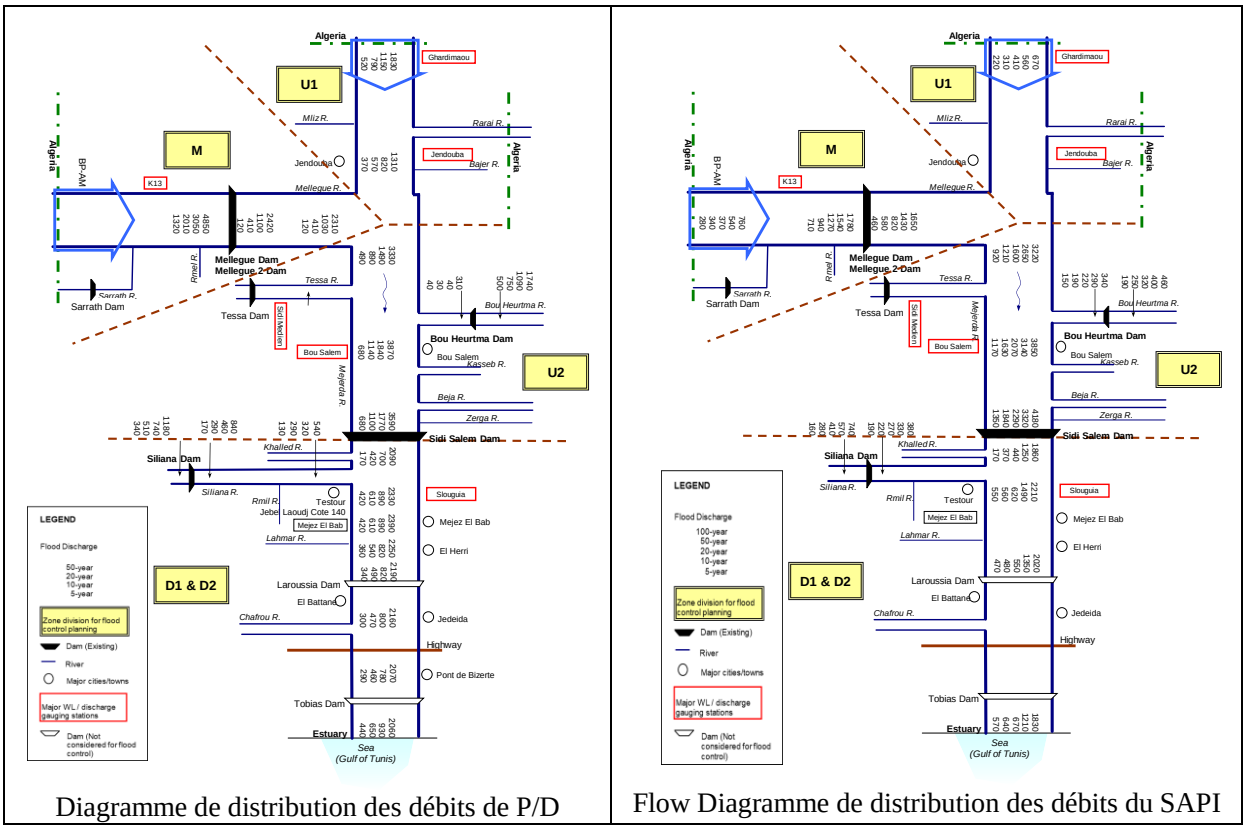


Diagramme de distribution des débits de P/D

Flow Diagramme de distribution des débits du SAPI

Source : Assistance spéciale à la mise en œuvre du projet (SAPI) pour le projet de lutte contre les inondations de Medjerda, JICA (2018).

Figure 3-2 Diagramme de distribution du débit du P/D et de SAPI

3.1.2 Politique de mise en œuvre

Afin d'envisager une répartition plus rationnelle des débits, les politiques suivantes seront prises en considération sur la base des M/P, F/S et SAPI des études précédentes.

- **Utilisation des données de réanalyse pour l'enregistrement des précipitations du côté algérien** : Utilisation de la méthode WFDEI (méthodologie WATCH Forcing Data appliquée aux données ERA-Interim) pour les données de réanalyse. Comme il s'agit de grille de données avec une résolution de 0,5 degré, elles ne peuvent pas être directement comparées aux données d'observation, mais on peut s'attendre à ce qu'elles aient une certaine précision lorsqu'elles sont utilisées pour les précipitations moyennes d'un bassin avec une plage spatiale tel qu'un bassin divisé pour l'analyse du ruissellement. Il s'agit de la meilleure procédure à suivre dans la situation où l'enregistrement des précipitations observées en Algérie n'est pas disponible. En outre, les données du WFDEI ont une durée de 3 heures ; elles peuvent être utilisées pour convertir les données d'observation des précipitations journalières du côté tunisien en une estimation des précipitations sur 3 heures en les pondérant avec les données sur 3 heures du WFDEI.

- **Mise en œuvre d'une analyse tenant compte de l'évapotranspiration** : En plus des précipitations, le WFDEI peut acquérir des données sur la température, l'humidité spécifique, la pression atmosphérique, le rayonnement d'ondes courtes et la vitesse du vent. À partir de ces données, il est possible d'estimer l'évapotranspiration. La Medjerda a une évapotranspiration annuelle moyenne de 1 200 mm, tandis que les précipitations annuelles moyennes sont d'environ 500 mm. On s'attend donc à ce que l'humidité du sol change radicalement en l'absence de précipitations. Par conséquent, on s'attend à ce que la quantité de ruissellement soit très différente même si la quantité de pluie est la même. C'est également un facteur important d'incertitude dans la détermination du débit de la crue nominale.
- **Application du modèle HEC-HMS** : Dans cette étude, il est décidé d'utiliser le modèle HEC-HMS. L'accent est mis sur le fait que la partie tunisienne le connaît bien, que la facilité de compréhension de ce processus d'étude et le point de partage du modèle sont plus élevés. En outre, le calibrage des paramètres du modèle, qui est effectué pour correspondre au modèle d'inondation réel, est simple et une compatibilité élevée peut être suffisamment assurée. Le modèle HEC-HMS est également utilisé dans les F/S et D/D dans les zones U1 et U2 dans la zone amont du barrage de Sidi Salem, qui est mis en œuvre par la KfW, et également à l'Université d'Algérie pour la Medjerda. HEC-HMS est utilisé pour l'analyse ; il s'agit d'un logiciel gratuit mis à disposition par le Corps des Ingénieurs de l'Armée Américaine et dispose d'une interface riche pour la création de données d'entrée et l'organisation des données de sortie. Par conséquent, lorsque la partie tunisienne recevra les résultats, celle-ci pourra à l'avenir mener de manière indépendante des études supplémentaires basées sur le modèle de décision d'allocation des débits de crue prévus.

3.1.3 Traitement pour la Collecte et l'analyse des Données Hydrologiques

(1) Données météorologiques et hydrologiques

Les données météorologiques et hydrologiques dans le bassin de la Medjerda et les zones adjacentes ont été recueillies auprès des deux principaux organismes responsables, à savoir le Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques (MARH), principalement la DGRE et la DGBGTH, et l'Institut National de Météorologie (INM). Les principales données collectées sont des données climatiques, les précipitations journalières et horaires, les débits journaliers et horaires. Les données collectées sur les précipitations et les débits des cours d'eau ont été examinées avant d'être utilisées dans les analyses ultérieures.

(2) Données de réanalyse WFDEI

La couverture du côté algérien où les enregistrements d'observations météorologiques ne sont pas disponibles, et parce que les données à intervalles de 3 heures sont avantageuses pour les analyses qui nécessitent des informations météorologiques à court terme comme les inondations, les données de réanalyse typiques sont utilisées. Les variables de données collectées sont les suivantes.

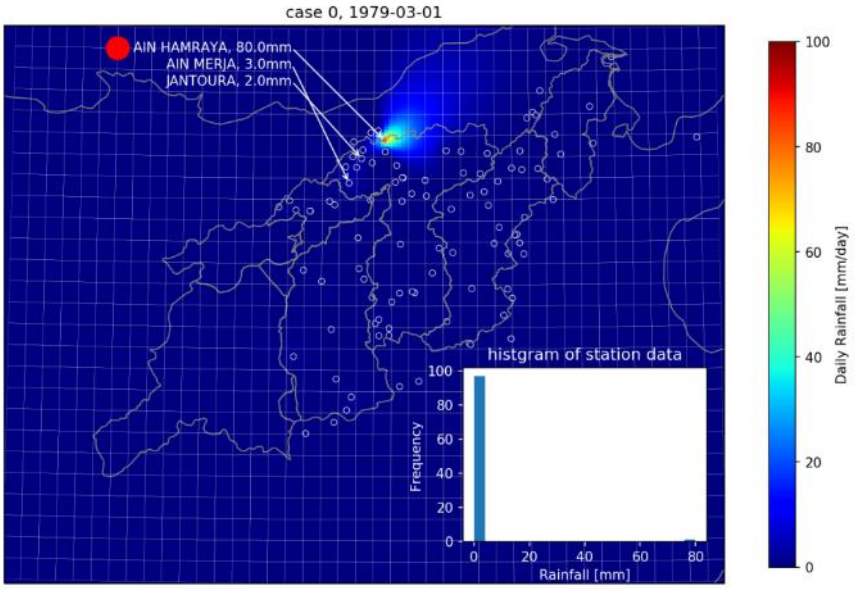
- 2m au-dessus du sol
- Flux descendant dans les ondes courtes
- Pluie
- Pression de surface
- Humidité spécifique de 2 m au-dessus du sol
- Vitesse du vent de 10 m au-dessus du sol

Des données (1979-2013) ont été collectées pour toutes les périodes disponibles (35 ans).

(3) Traitement pour la collecte et l'analyse des données d'observation des précipitations

1) Exclusion des valeurs anormales

Les enregistrements journaliers des précipitations sont collectés dans les stations d'observation des précipitations dans le bassin de la Medjerda et ses environs. Les données d'observation sont souvent manquantes. De plus, lorsque les valeurs d'observation des précipitations du même jour ont été tracées et confirmées dans l'espace, un seul point enregistre une grande quantité de pluie, mais il y a des données indiquant qu'il n'y a pas de pluie dans toute la région, y compris dans la station d'observation la plus proche. Toutes ces données ont été vérifiées visuellement et utilisées pour exclure les enregistrements de pluie non fiables. La figure ci-dessous montre un exemple de données pluviométriques non fiables exclues.

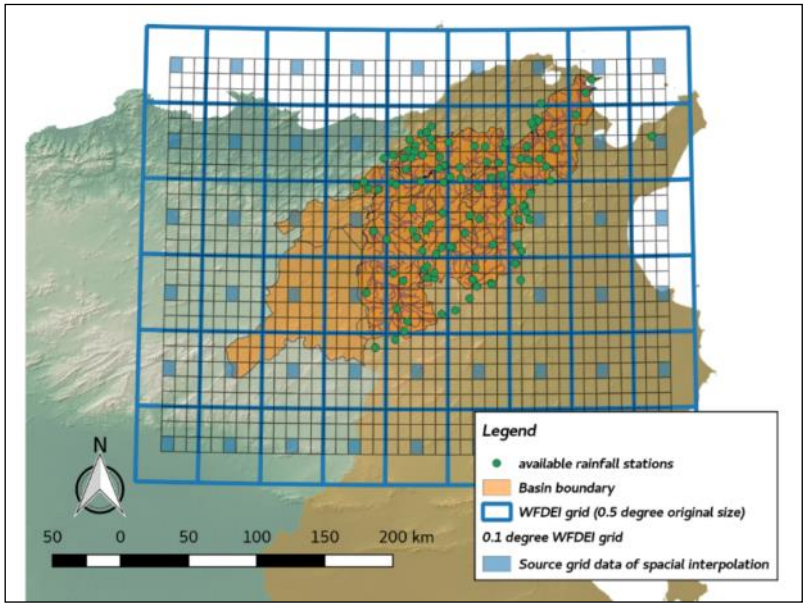


Source : Assistance Spéciale à la Mise en Œuvre des Projets (SAPI) pour le Projet de Lutte Contre les Inondations de la Medjerda, JICA (2018)

Figure 3-3 Exemple de données pluviométriques exclues en raison d'une faible fiabilité (seule la station d'Ain Hamraya avec un cercle rouge sur le nom de la station est de 80 mm, ce qui est jugé inexact par rapport aux autres enregistrements d'observation à proximité)

2) Création de grille de données à partir de données de station et de données de réanalyse

Une grille de 0,1 degré couvrant l'ensemble du bassin de la Medjerda a été créée à partir des données recueillies par la station et des données de la grille de réanalyse. La fonction de base radiale a été utilisée pour l'interpolation spatiale. La figure ci-dessous montre la station au sol et la grille de réanalyse utilisée pour les données pluviométriques de la grille.



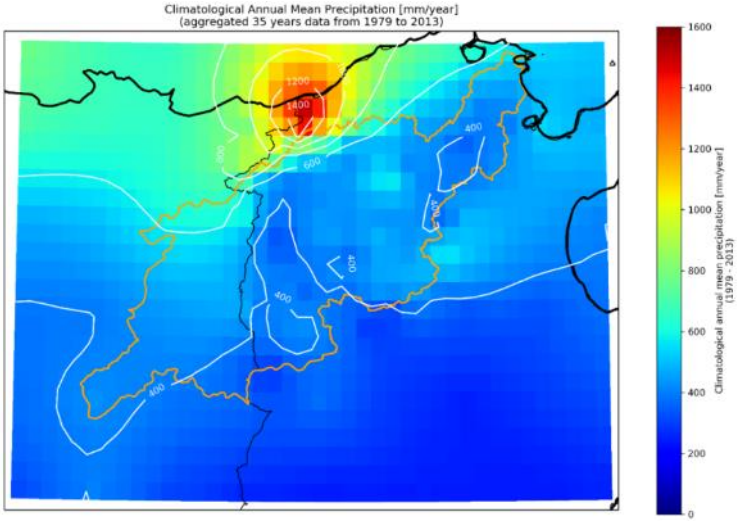
Source : Assistance Spéciale à la Mise en Œuvre des Projets (SAPI) pour le Projet de Lutte Contre les Inondations de la Medjerda, JICA (2018)

Figure 3-4 Stations pluviométriques utilisées pour créer des grilles de données de pluie et la distribution des données de réanalyse

(4) Calcul des données climatiques relatives aux précipitations et à l'évapotranspiration éventuelle

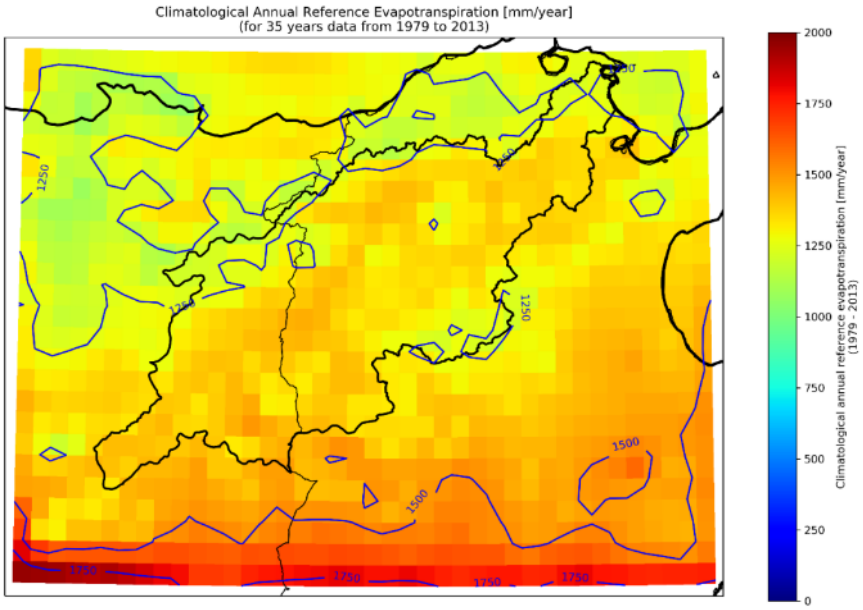
L'évapotranspiration de référence de la FAO a été calculée par la méthode Penman-Monteith modifiée de la FAO en utilisant les données de réanalyse recueillies à l'exception des précipitations. Les données de la grille des précipitations et de la grille d'évapotranspiration ont été organisées, et les valeurs climatiques pour 35 ans (1979-2013) ont été calculées et tracées. Les résultats des valeurs annuelles sont présentés dans les Figures 3-5 et 3-6. La pluviométrie annuelle est d'environ 500 mm/an, tandis que l'évapotranspiration est de 1 200 mm/an.

L'ensemble du bassin est pauvre en végétation, compte de nombreux terrains vagues et déserts, et l'on suppose que l'humidité du sol s'évapore rapidement et se perd pendant les périodes d'absence de pluie.



Source : Assistance Spéciale à la Mise en Œuvre des Projets (SAPI) pour le Projet de Lutte Contre les Inondations de la Medjerda, JICA (2018)

Figure 3-5 Valeur climatique des précipitations annuelles sur 35 ans



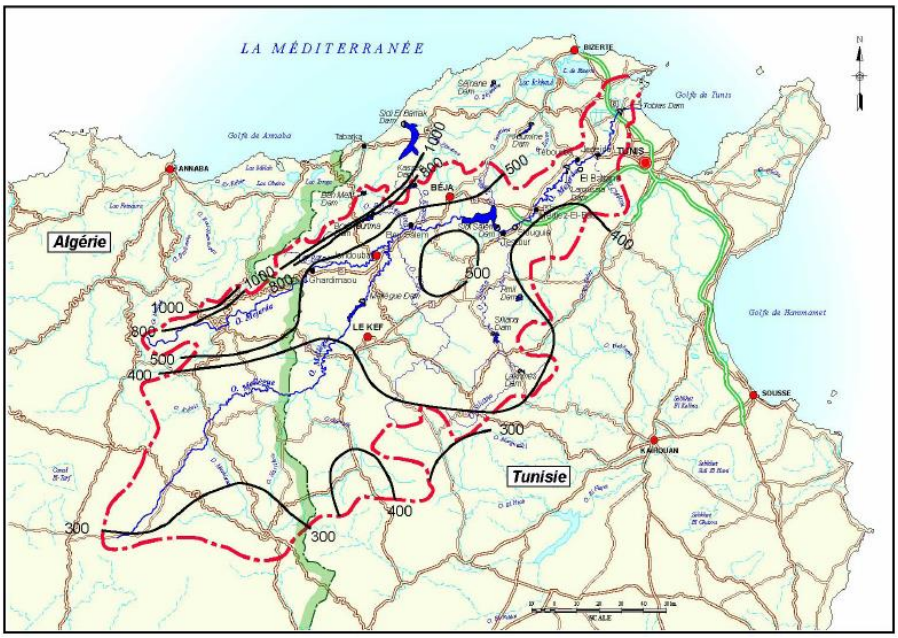
Source : Assistance Spéciale à la Mise en Œuvre des Projets (SAPI) pour le Projet de Lutte Contre les Inondations de la Medjerda, JICA (2018)

Figure 3-6 Valeur climatique de l'évapotranspiration potentielle sur 35 ans

3.1.4 Caractéristiques des Précipitations dans la Zone d'étude

(1) Variations régionales et saisonnières

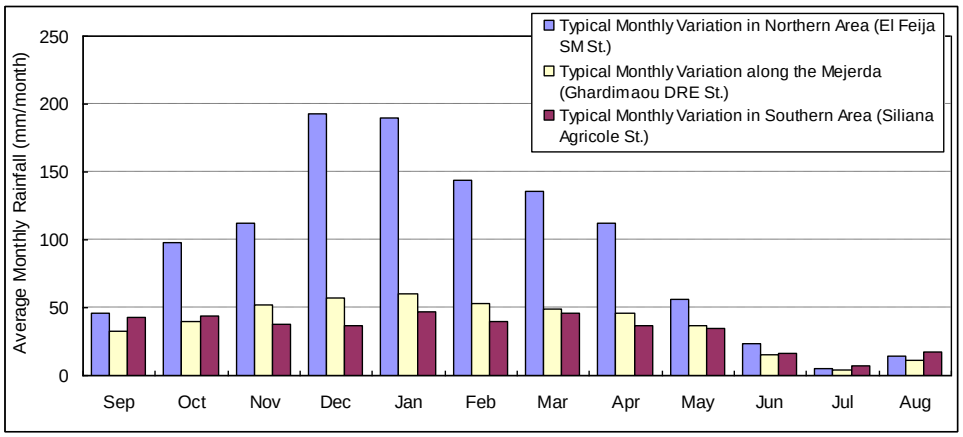
D'une manière générale, la pluviométrie annuelle moyenne montre une tendance à la baisse vers le sud en Tunisie. Elle atteint 1 500 mm dans les montagnes du Kmir, à la limite nord-ouest de la Tunisie, et se réduit à moins de 100 mm vers l'extrémité sud du pays. Une telle variation régionale des précipitations annuelles peut également être observée dans la zone d'étude, de plus de 1 000 mm au nord à environ 300 mm dans les parties méridionales, comme le montre la carte ci-dessous.



Source : L'Etude sur la Gestion Intégrée des Bassins Axée sur la Lutte Contre les Inondations dans la Medjerda, JICA (2009)

Figure 3-7 Carte isohyète du bassin de la Medjerda (précipitations annuelles moyennes : 1949-2006)

Cette différence est principalement due aux pluies abondantes notables pendant la saison des pluies dans les régions du nord. Comme l'indique le graphique suivant, les précipitations de la saison des pluies (d'octobre à avril) dans les parties nord de la zone d'étude (les zones de la rive gauche du bassin de la Medjerda) augmentent de manière significative, en particulier en décembre et en janvier. Ces mois n'indiquent pas de pic distinct dans les zones méridionales où se trouvent les affluents de la rive droite, y compris Oued Mellegue.



Source : L'Etude sur la Gestion Intégrée des Bassins Axée sur la Lutte Contre les Inondations dans la Medjerda, JICA (2009)

Figure 3-8 Variation mensuelle des précipitations dans différentes régions

L'occurrence de pluies intenses présente également des variations régionales. Dans les régions du nord, le maximum annuel de précipitations journalières est plus susceptible de se produire de novembre à janvier, tandis que dans les régions du sud, il pourrait se produire de septembre à juin.

(2) Variations annuelles

Le tableau ci-dessous présente les précipitations annuelles, les précipitations consécutives sur deux ans et les précipitations consécutives sur trois ans, au cours de la période allant de 1968/69 à 2005/06. Le tableau suivant indique les cinq plus faibles précipitations enregistrées au cours de ladite période. Ce résultat correspond au fait que les deux sécheresses les plus graves dans le bassin au cours des années 80 à 90, se sont produites en 1987-88-89 et 1993-94-95.

Tableau 3-1 Cinq enregistrements de Précipitations les plus Faibles (précipitations au bassin)

Ordre	Précipitations annuelles		2 ans de précipitations		3 ans de précipitations	
	période	mm/an	période	mm/an	période	mm/an
1	1993/1994	316	1993 sept. - 1995 août	675	1992 sept. - 1995 août	1092
2	1987/1988	347	1987 sept. - 1989 août	700	1987 sept. - 1990 août	1113
3	2001/2002	350	1992 sept. -1994 août	734	1999 sept. - 2002 août	1228
4	1988/1989	353	1988 Sept. -1990 Août	766	1991 sept. - 1994 août	1303
5	1994/1995	359	2000 sept. -2002 août	815	1976 sept. - 1979 août	1319

Source : L'Etude sur la Gestion Intégrée des Bassins Axée sur la Lutte Contre les Inondations dans la Medjerda, JICA (2009)

Les années qui ont enregistré des précipitations annuelles élevées correspondent aux années avec des inondations remarquables comme compilé ci-dessous.

Tableau 3-2 Cinq enregistrements de précipitations les plus élevées

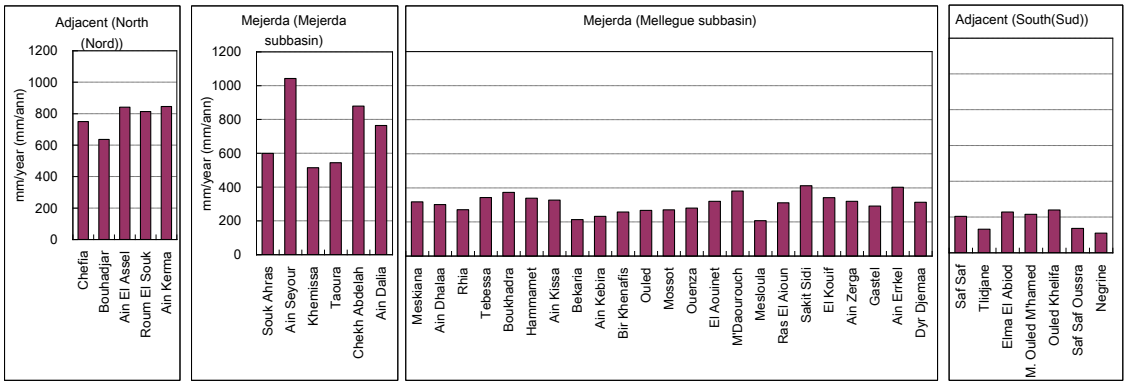
Ordre	Période	Précipitations annuelles du bassin (mm/an)	Inondations notables au cours de la période
1	2002/2003	780	Janv. 2003
2	1972/1973	721	Mar. 1973
3	2003/2004	701	Janvier-février 2004
4	1969/1970	691	Sept-Oct. 1969
5	1995/1996	676	-

Source : L'Etude sur la Gestion Intégrée des Bassins Axée sur la Lutte Contre les Inondations dans la Medjerda, JICA (2009)

(3) Précipitations mensuelles et annuelles sur le territoire algérien du bassin de la Medjerda

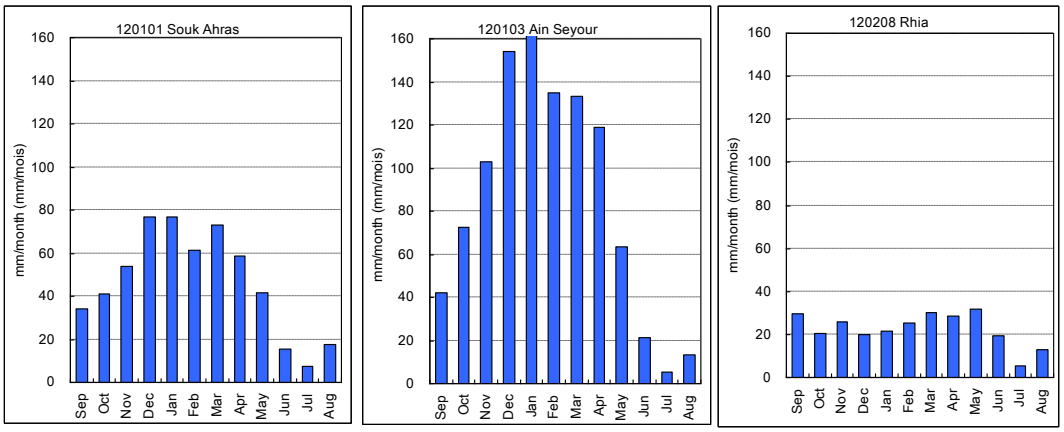
Les graphiques suivants présentent des exemples de précipitations mensuelles et annuelles dans certaines stations situées dans différentes parties du territoire algérien du bassin de la Medjerda. Les détails ne sont pas discutés en profondeur en raison du nombre limité de données. Cependant, les données existantes suggèrent que les précipitations annuelles et la variation mensuelle sur le territoire algérien présentent des caractéristiques similaires à celles du territoire tunisien, c'est-à-dire,

- La bordure nord reçoit les plus fortes précipitations annuelles, et les précipitations annuelles diminuent généralement vers le sud.
- Les stations des régions du nord indiquent des pics de précipitations mensuelles plus importants pendant la saison humide (octobre - avril) que celles des régions du sud.



Source : L'Etude sur la Gestion Intégrée des Bassins Axée sur la Lutte Contre les Inondations dans la Medjerda, JICA (2009)

Figure 3-9 Précipitations annuelles moyennes dans les stations du territoire Algérien du bassin de la Medjerda



(1) Medjerda sub-basin (2) Mellegue sub-basin

Source : L'Etude sur la Gestion Intégrée des Bassins Axée sur la Lutte Contre les Inondations dans la Medjerda, JICA (2009)

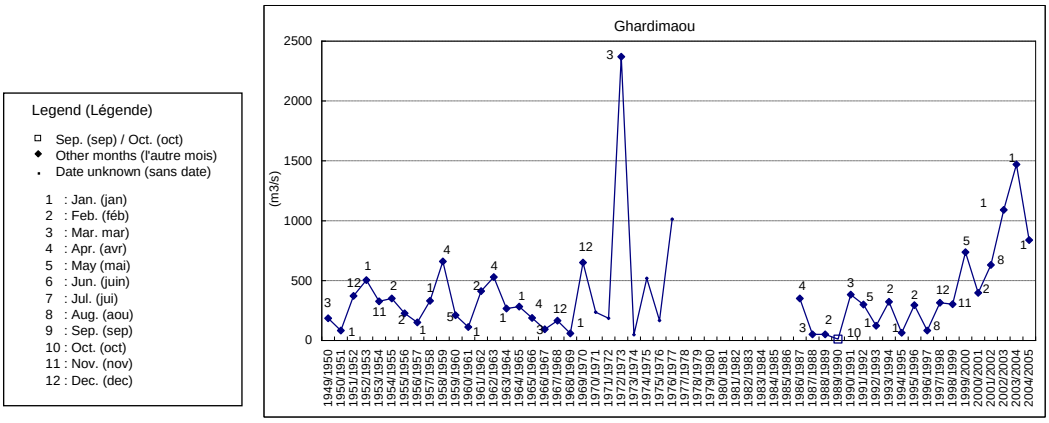
Figure 3-10 Pluviométrie mensuelle moyenne aux stations typiques du territoire Algérien du bassin de la Medjerda

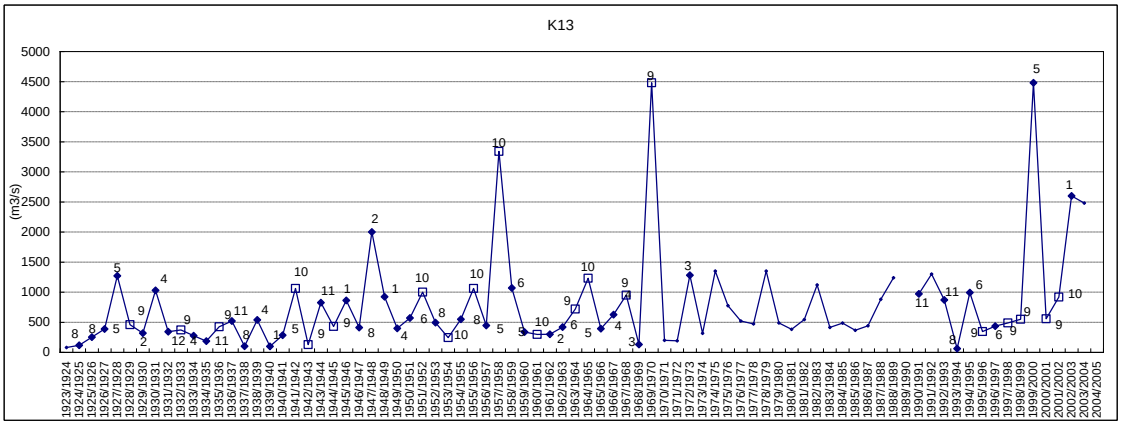
3.1.5 Caractéristiques des Débits D'inondation

Les graphiques suivants montrent les pics de débits annuels enregistrés et les mois de leur présence aux stations de jaugeage des cours d'eau Ghardimaou et Mellegue K13. Les caractéristiques suivantes peuvent être observées à partir des cartes.

- À la station K13, les mois de septembre et d'octobre sont les plus importants dans l'occurrence des pics de débits annuels tout au long de l'histoire (20 sur 60 enregistrements). Cependant, les pics annuels associés aux récentes grandes inondations ont été observés au cours d'autres mois, comme en janvier en 2003 et en mai en 2000.
- À la station de Ghardimaou, les mois de décembre à février sont ceux où le débit de pointe annuel prévaut (24 sur 41 enregistrements), y compris ceux causés par les récentes grandes inondations. Contrairement à la station K13, les pointes annuelles de débit à la station de Ghardimaou sont rarement observées en septembre et octobre.

Les pics des deux stations peuvent souvent se produire au cours du même mois (pendant la même série d'inondations) comme l'indiquent les cartes. La coïncidence des deux pics aux deux stations entraînerait de graves inondations dans le bassin de la Medjerda, comme celles de mars 1973 et de janvier 2003.





Source : L'Etude sur la Gestion Intégrée des Bassins Axée sur la Lutte Contre les Inondations dans la Medjerda, JICA (2009)

Figure 3-11 Débits annuels maximums enregistrés et mois de leur occurrence

L'analyse de la fréquence des pics annuels de débit dans les grandes stations a été effectuée dans l'étude existante ("Monograhies Hydrologiques") en utilisant les données jusqu'en 1975/76. Les probabilités excédentaires d'inondation ont été mises à jour dans l'étude courante en ajoutant les données récentes disponibles (1976/77 à 2003/2004), et en appliquant des méthodologies statistiques qui sont devenues populaires après les années 1980, telles que la GEV (Generalized Extreme Value).

Le tableau suivant résume les résultats obtenus aux stations Ghardimaou et Mellegue K13, deux des stations les plus importantes pour déterminer les conditions d'inondation dans le bassin de la Medjerda. Les différences entre les chiffres de l'étude existante et ceux de l'étude sont dues à la prise en compte de données supplémentaires récentes et à l'application de la nouvelle distribution de probabilité.

Tableau 3-3 Débits de pointe probables (Unité : m^3/s)

Période de Retour	Ghardimaou		Mellegue K13	
	Étude existante	Etude courante	Étude existante	Etude courante
2 ans	250	250	480	470
5 ans	500	520	1000	940
10 ans	750	790	1510	1430
20 ans	1050	1150	2100	2080
50 ans	1500	1830	3100	3340
100 ans	1870	2550	4050	4710
Distribution	Log Normal	GEV	Log Normal	GEV
Données utilisées	‘49/50-‘76/77	‘49/50-‘04/05	‘24/25-‘75/76	‘24/25 - ‘03/04

Source : L'Etude sur la Gestion Intégrée des Bassins Axée sur la Lutte Contre les Inondations dans la Medjerda, JICA (2009)

Il convient de noter que les valeurs pour la période de retour de 100 ans ne constituent qu'une estimation approximative. Le calcul d'une probabilité aussi faible en utilisant les données couvrant une période inférieure à 100 ans pourrait donner des résultats peu fiables.

Dans le bassin de la Medjerda, les archives existantes désignent des hydrogrammes plus irréguliers et plus aigus dans les affluents de la rive droite, tels que la Mellegue et Tessa, que ceux de la Medjerda et des affluents de la rive gauche.

3.2 Capacité de débit Actuelle de l'oued

3.2.1 État actuel des Systèmes d'eau

(1) Profils actuels du système fluvial et du lit de l'oued

1) Système fluvial et bassin versant

La Figure 3-10 présente de façon schématique le système fluvial actuel et les principaux affluents du bassin de la Medjerda. Les parties amont de la Medjerda, de Mellegue et de Rarai se trouvent sur le territoire algérien. Le tableau suivant résume la longueur du cours principal de la Medjerda et de ses principaux affluents, y compris les parties algériennes :

Tableau 3-4 Longueur du cours d'eau principal de Medjerda et de ses principaux affluents

Nom du cours d'eau (et de ses affluents en amont)	Longueur	Nom du cours d'eau (et de ses affluents en amont)	Longueur
Medjerda	484 km	Mellegue (Meskiana-Mellegue)	317 km
Siliana (Roumel-Ousafa-Siliana)	171 km	Tessa	143 km
Bou Heurtma (El Kebir-Rhezala-Bou Heurtma)	64 km		

Source : L'Etude sur la Gestion Intégrée des Bassins Axée sur la Lutte Contre les Inondations dans la Medjerda, JICA (2009)

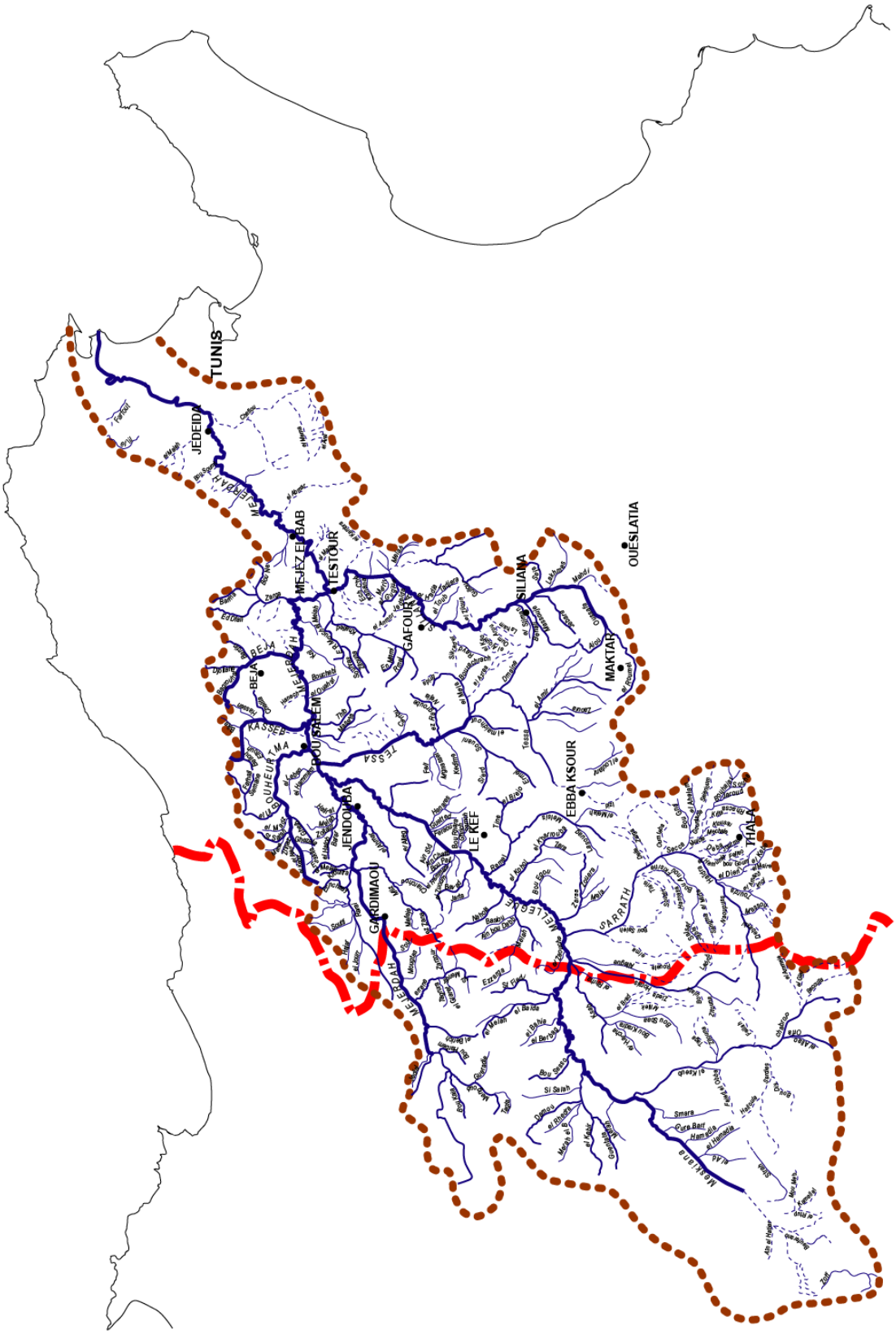
Il y avait auparavant deux points de sortie de la Medjerda, qui comprennent le canal initial de l'oued vers le nord et un canal artificiel vers l'est construit dans les années 1950, sous l'administration française. Cependant, le canal original de la Medjerda a été condamné au niveau du bras en 1990 et a été converti en canal d'irrigation transportant l'eau prise au barrage de Tobias (déversoir mobile) vers ses zones de desserte. La sortie actuelle de la Medjerda est le canal de dérivation artificiel construit dans les années 1950.

Le tableau suivant résume le bassin versant calculé. Le résultat a confirmé qu'un tiers de l'ensemble du bassin de la Medjerda se trouve en Algérie.

Tableau 3-5 Bassin hydrographique du bassin de la Medjerda

Affluent	Bassin Versant (km^2)		Total
	Tunisie	Algérie	
Chafrou	610	0	610
Lahmar	530	0	530
Siliana	2,190	0	2,190
Khalled	470	0	470
Zerga	220	0	220
Beja	340	0	340
Kasseb	280	0	280
Bou Heurtma	610	0	610
Tessa	2,420	0	2,420
Mellegue	4,430	6,360	10,790
Rarai	310	40	350
Autre zone	3,420	1,470	4,890
Total	15,830 (67%)	7,870 (33%)	23,700 (100%)

Source : L'Etude sur la Gestion Intégrée des Bassins Axée sur la Lutte Contre les Inondations dans la Medjerda, JICA (2009)



Source : L'Etude sur la Gestion Intégrée des Bassins Axée sur la Lutte Contre les Inondations dans la Medjerda, JICA (2009)

Figure 3-12 Plan du bassin de la Medjerda

La superficie totale du bassin versant de la Medjerda est de 23 700 km^2. Les eaux de ruissellement de 323 km^2 de la totalité du bassin versant, situé à l'extrémité aval du cours d'eau de la Medjerda d'origine, se déversent directement dans la mer en fonction de l'état topographique.

Sur ce bassin versant, 19 400 km^2 (environ 80 %) s'étendent en amont des barrages existants, ce qui est appelé "bassin versant contrôlé". Le principal contributeur est le barrage de Sidi Salem, avec un bassin versant de 18 100 km^2. Les 1 300 km^2 restants sont couverts par les barrages de Siliana et de R'Mil.

2) Profils et pentes du lit de l'oued

(a) Cours supérieur de la Medjerda : extrémité amont de la retenue de Sidi Salem - frontière algérienne (158 km)

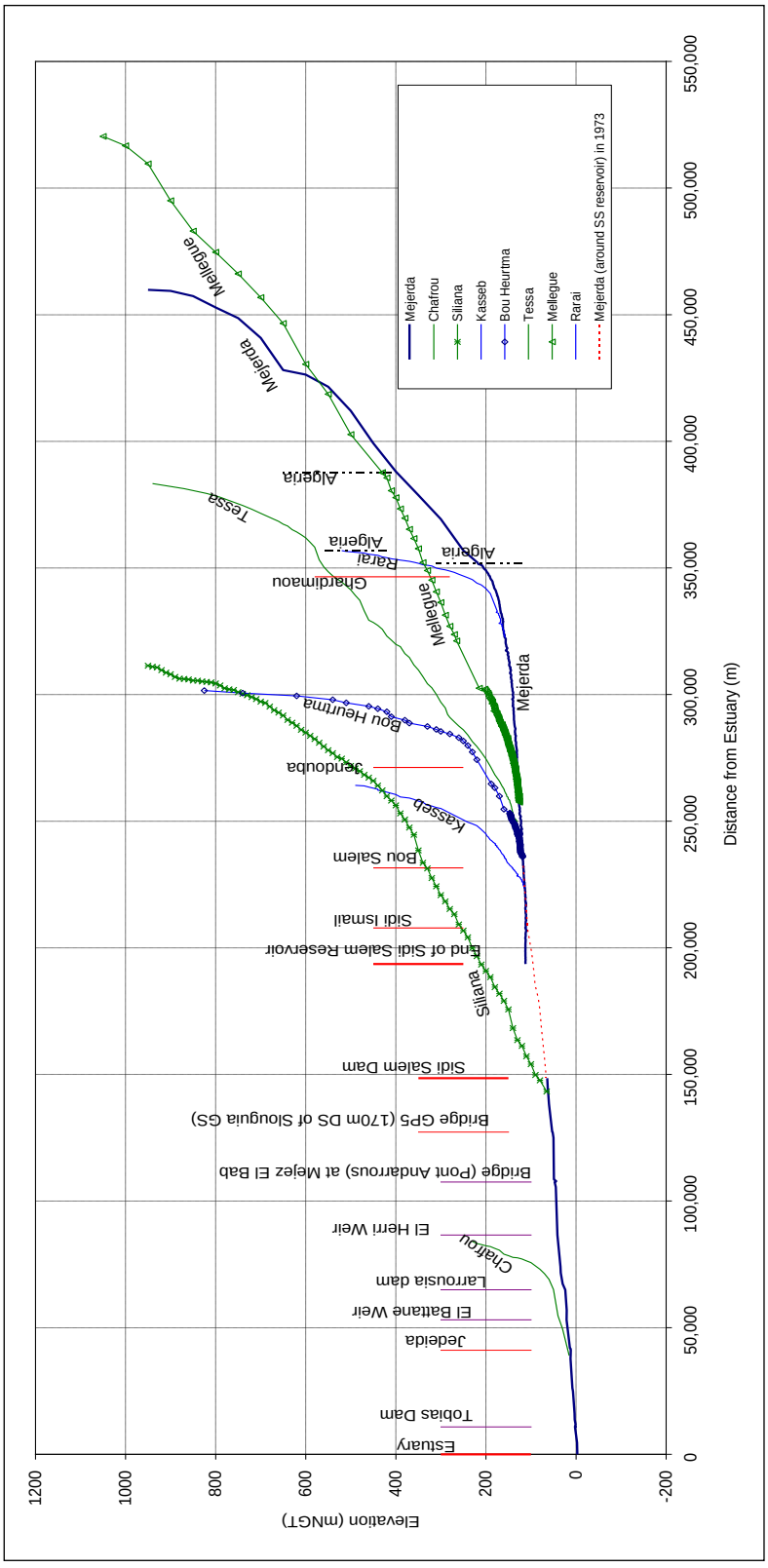
Le profil du lit de l'oued est présenté à la Figure 3-13, qui a été préparée sur la base des résultats de l'étude topographique réalisée en 2007 dans le cadre de l'Etude. Selon le profil, le tronçon situé près de la retenue de Sidi Salem sur environ 25 km présente une pente presque plate. Cela implique qu'un important dépôt de sédiments se produit autour de l'extrémité amont de la retenue.

(b) Cours inférieur de la Medjerda : en aval du barrage de Sidi Salem (148 km)

La Figure 3-13 représente le profil du lit de l'oued entre le Barrage de Sidi Salem et l'estuaire, préparé sur la base des résultats de l'enquête menée en 2007 par le MARH. Les pentes du lit de l'oued varient généralement entre environ 1/2 000 (0,0005) et 1/3 000 (0,0003333). Le profil indique un point d'inflexion du lit de l'oued au barrage de Larrousia, ce qui mène à un lit surélevé sur les tronçons supérieurs. Cela pourrait être dû à la sédimentation piégée par le barrage. Le pont Andalous à Mejez El Bab, l'ancien déversoir à El Battane et le barrage Tobias sont également étudiés pour la possibilité d'avoir causé la fluctuation du lit, mais semblent n'être que des phénomènes locaux.

(c) Tributaires

La figure suivante donne un aperçu des pentes du lit de la Medjerda et de ses affluents. La figure révèle les pentes plus raides des affluents de la rive gauche sur le cours supérieur (oueds Rarai, Bou Heurtma et Kasseb).



Source : L'Etude sur la Gestion Intégrée des Bassins Axée sur la Lutte Contre les Inondations dans la Medjerda, JICA (2009)

Figure 3-13 Profils de la Medjerda et de ses principaux affluents

3.2.2 Capacité de débit

(1) Méthodologie

La capacité de débit des canaux fluviaux existants a été calculée par la méthode de calcul du débit non uniforme. Les données sur la géométrie des oueds ont été acquises à partir des résultats de l'étude transversale menée en 2007 par le MARH et l'Equipe d'Etude. La capacité d'écoulement a été dérivée d'un débit de débordement de chaque section transversale, tandis que les capacités de plusieurs tronçons ont été déterminées en prenant la valeur minimale dans chaque tronçon.

(2) Zones en amont du Barrage de Sidi Salem

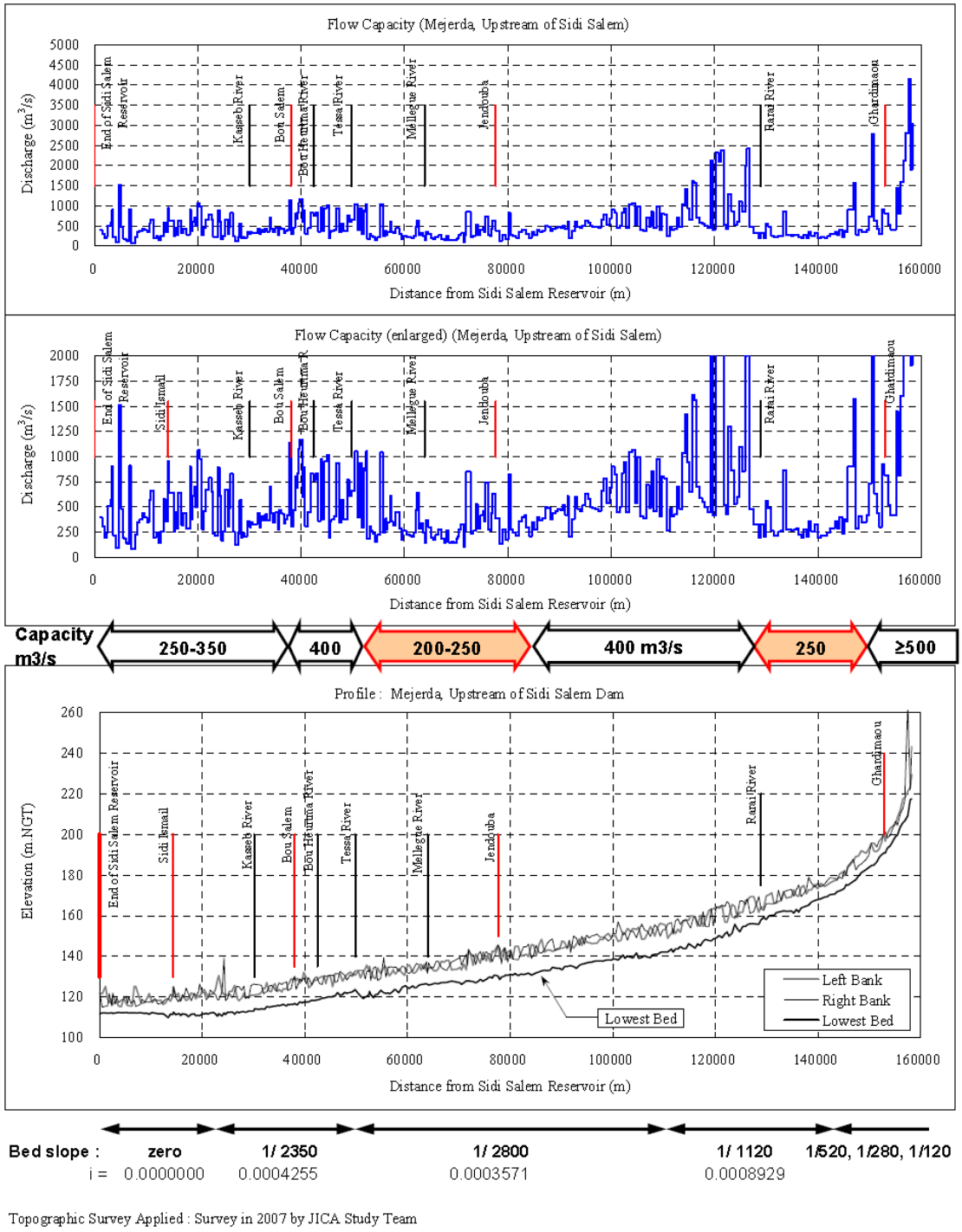
La Figure 3-14 présente la capacité de débit calculée ainsi que les pentes du lit. Bien que les capacités varient entre les différents tronçons, en général, on peut dire que la capacité du courant principal de la Medjerda varie de 200 à 600 m^3/s. Les tronçons de l'oued dont les capacités sont inférieures à celles des autres tronçons coïncident généralement avec des tronçons qui ont connu des inondations prolongées lors des grandes crues précédentes.

(3) Zones en aval du Barrage de Sidi Salem

La Figure 3-15 représente le profil longitudinal et la capacité de débit estimée sur le tronçon aval de la Medjerda (tronçon inférieur du Barrage de Sidi Salem). Les tronçons suivants présentent une capacité de débit considérablement faible.

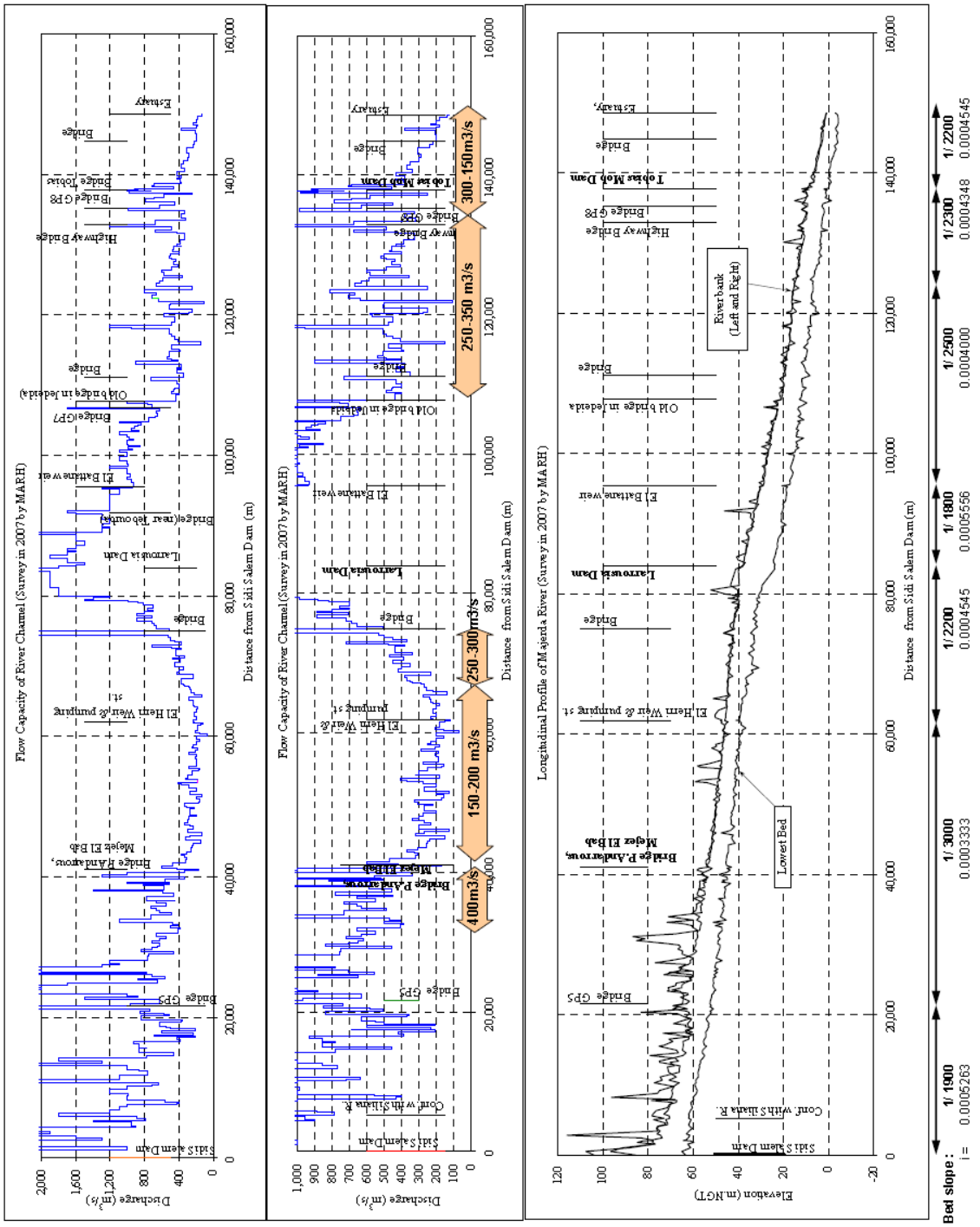
- En amont du barrage de Larrousia, y compris Mejez El Bab (150-400 m^3/s)
- En aval de Jedeida (250-300 m^3/s)
- En aval du barrage mobile de Tobias (150-300 m^3/s)

Ces zones coïncident avec les zones inondables fragiles confirmées par l'analyse des inondations ainsi que par les données existantes sur les inondations subies.



Source : L'Etude sur la Gestion Intégrée des Bassins Axée sur la Lutte Contre les Inondations dans la Medjerda, JICA (2009)

Figure 3-14 Profil du canal de l'oued et capacité de débit d'eau en 2007 (Oued Medjerda, partie supérieure du Barrage Sidi Salem)



Source : L'Etude sur la Gestion Intégrée des Bassins Axée sur la Lutte Contre les Inondations dans la Medjerda, JICA (2009)

Figure 3-15 Profil du canal de l'oued et capacité de débit en 2007 (Oued Medjerda, partie inférieure du Barrage de Sidi Salem)

3.2.3 Caractéristiques des inondations Passées

(1) Généralités

Le bassin de la rivière Medjerda a connu un certain nombre d'inondations. Cette section examine les caractéristiques des grandes inondations récentes suivantes d'un point de vue hydrologique.

- Inondation de mars 1973 (inondations de mars 1973)

- Inondation de mai 2000 (inondations de mai 2000)
- Inondation de janvier à février 2003 (inondation de janvier 2003)
- Inondation de décembre 2003 à février 2004 (inondation de janvier 2004)
- Inondation de janvier à mars 2005 (inondation de 2005)

(2) Caractéristiques générales des inondations

Dans le bassin d'oued Medjerda, des inondations importantes se sont produites pendant tous les mois de l'automne au printemps (septembre à mai), comme le montrent les inondations vécues. De fortes précipitations au milieu de la saison des pluies (de décembre à janvier) provoquent des inondations. Cependant, malgré le bassin relativement petit soumis à des précipitations mensuelles au printemps et en automne, de violentes inondations peuvent être observées également pendant ces saisons. Ceci est lié à une combinaison des caractéristiques hydrologiques suivantes dans le bassin :

- Les débits élevés avec des pics importants des affluents de la rive droite sont plus susceptibles d'être observés en septembre et octobre, tandis que les grandes inondations des affluents de la rive gauche et du courant principal de Medjerda (à Ghardimaou) ont tendance à être observées de décembre à février.
- Dans les zones des affluents de la rive droite, des pluies intenses peuvent se produire tout au long de l'automne et du printemps.
- Les affluents de la rive droite ont tendance à provoquer des inondations avec des hydrographies aiguës et brutales.

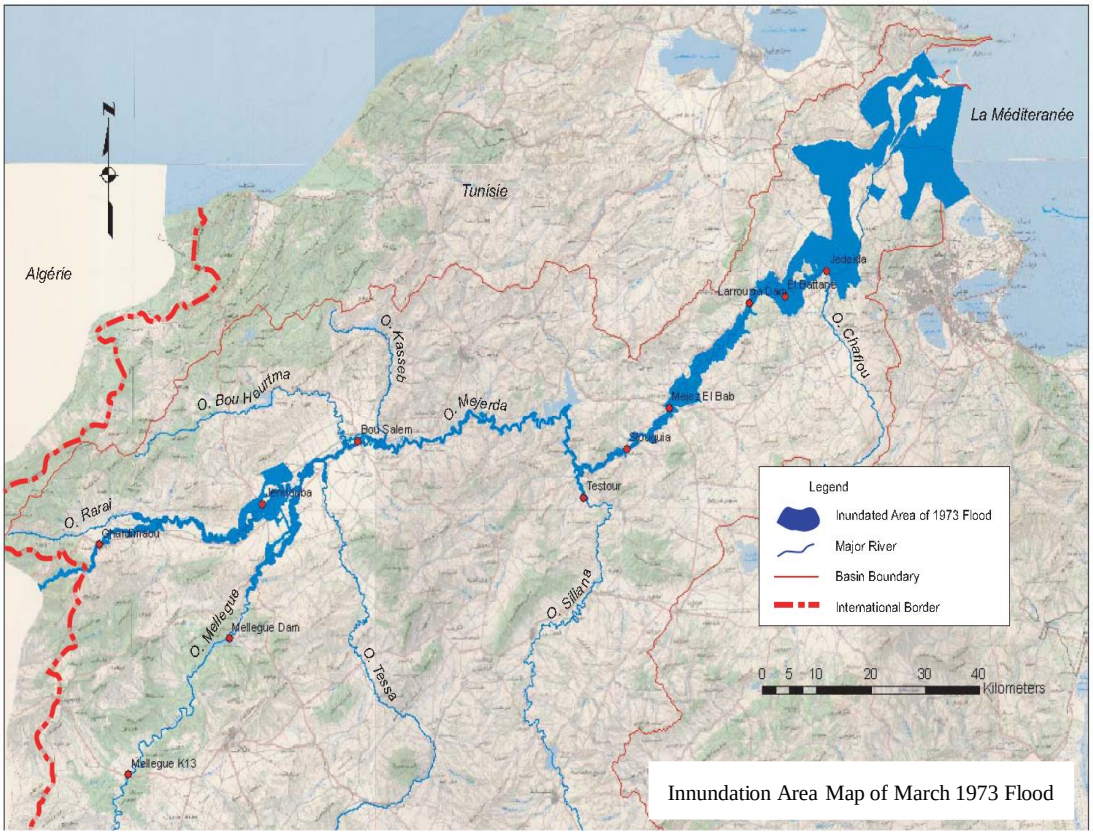
La coïncidence d'un pic de débit d'oued Medjerda en provenance d'Algérie, de celui d'oued Mellegue et de pluies abondantes du côté tunisien du bassin a souvent entraîné des inondations dévastatrices, comme celles de 1973 et 2003.

(3) Caractéristiques hydrologiques des inondations de mars 1973

L'inondation de mars 1973 a provoqué une crue étendue dans tout le tronçon d'oued Medjerda, comme le montre la Figure 3-16. Au moment de cet événement, le barrage de Sidi Salem n'existait pas encore et oued Medjerda possédait deux sorties (le cours d'eau d'origine et le canal de dérivation de Tobias). Les caractéristiques hydrologiques de cette inondation se distinguent par un pic unique élevé de précipitations, d'apports et de débits.

La probabilité du pic d'inondation à Ghardimaou est estimée à 1/80. Les fortes pluies avec des probabilités de 1/15 à 1/25 (6 jours de pluie en bassin) ont couvert l'ensemble du bassin de la Medjerda. Le ruissellement des eaux de crue résultant de ces fortes pluies, accompagné d'apports importants et aigus en provenance d'Algérie, a produit des débits de pointe élevés dans oued Medjerda et ses affluents. L'inondation s'est produite parce que les débits dans les canaux des cours d'eau ont dépassé leurs capacités de débit à de nombreux endroits.

La durée de la montée des eaux et de l'inondation de cette crue a été jugée assez courte (pas plus d'une semaine au maximum), compte tenu de la courte durée des précipitations.



Source : L'Etude sur la Gestion Intégrée des Bassins Axée sur la Lutte Contre les Inondations dans la Medjerda, JICA (2009)

Figure 3-16 Carte de la zone d'inondation pour la crue de mars 1973

(4) Caractéristiques hydrologiques de l'inondation de mai 2000

L'inondation de mai 2000 a provoqué une grave inondation le long d'oued Mellegue et dans le cours supérieur d'oued Medjerda. Les principales caractéristiques hydrologiques de cette inondation sont les suivantes :

- Un débit élevé dans oued Mellegue (K13) avec un seul pic, et
- Des précipitations importantes mais localisées.

La probabilité estimée du pic de décharge à Mellegue K13 a atteint 1/90, tandis que le pic à Ghardimaou est entre 1/5 et 1/10. Les précipitations se sont concentrées dans les sous-bassins de Mellegue, de Tessa et de Rarai.

En raison d'un afflux important et aigu, le barrage de Mellegue devait libérer de l'eau puisque le niveau d'eau de sa retenue avait déjà été maintenu à un niveau élevé afin d'être prêt pour l'approvisionnement en eau (pour la prochaine saison sèche) lorsque le débit entrant est arrivé. Le débit sortant du barrage de Mellegue dépassait les capacités de débit des canaux fluviaux en aval, et a donc dépassé les capacités de débit. L'inondation a été limitée aux zones en amont du barrage de Sidi Salem, car elle a permis d'atténuer le pic.

(5) Caractéristiques hydrologiques de l'inondation de janvier 2003

Cette inondation est caractérisée par :

- Les multiples pics de débits entrants à Ghardimaou et K13, et
- De multiples pics de précipitations élevés.

La probabilité du débit de pointe à Ghardimaou est estimée à environ 1/20, mais la probabilité du volume de la crue (197 millions de m^3, total pour 30 jours avec quatre pointes) est tombée à environ 1/70.

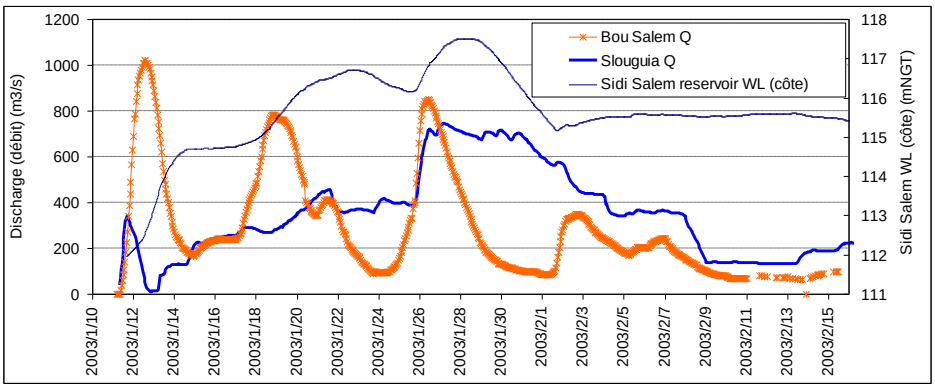
Le contraste entre les inondations de mai 2000 et de janvier 2003 illustre l'un des traits distinctifs de cette dernière inondation. Comme le montre le tableau ci-dessous, les pics de débit des deux inondations vers la retenue de Sidi Salem ont été presque identiques. Cependant, l'arrivée de la crue de janvier 2003, avec ses multiples pics élevés, n'a pas pu éviter le grand débit de pointe, contrairement à la crue de mai 2000.

Tableau 3-6 Débits entrants et sortants au barrage de Sidi Salem lors des inondations de mai 2000 et janvier 2003

Inondation	Max. Débits entrants. (Sidi Salem)	Volume des débits entrants (à Bou Salem pendant 30 jours)	Débit sortant max. (Sidi Salem)	Note
Inondation de mai 2000	1022 m^3/s	157 Mm^3	52 m^3/s	Un seul pic
Inondation de janvier 2003	1065 m^3/s	827 Mm^3	740 m^3/s	Quatre pics

Source : L'Etude sur la Gestion Intégrée des Bassins Axée sur la Lutte Contre les Inondations dans la Medjerda, JICA (2009)

Les hydrogrammes de Bou Salem et de Slouguia et le niveau d'eau de la retenue de Sidi Salem sont comparés dans le graphique suivant. L'hydrogramme de Bou Salem permet d'interpréter le débit entrant du barrage de Sidi Salem, et celui de Slouguia reflète le débit sortant du barrage.



Source : L'Etude sur la Gestion Intégrée des Bassins Axée sur la Lutte Contre les Inondations dans la Medjerda, JICA (2009)

Figure 3-17 Hydrographies des débits entrants et sortants du barrage de Sidi Salem (crue de janvier 2003)

Le premier pic violent à Slouguia le 11 janvier a été déclenché par le ruissellement d'oued Siliana, qui rejoint oued Medjerda en aval du barrage de Sidi Salem, et n'a pas pu être contrôlé par le barrage. La retenue de Sidi Salem a atténué les pics des première et deuxième vagues d'inondation de façon efficace, mais a dû augmenter le débit de décharge jusqu'à 740 m^3/s lorsque le troisième pic est arrivé. La présence de la quatrième pointe a prolongé le niveau élevé de l'écoulement.

Une des conséquences de ces multiples pics a été la longue durée des inondations en amont et en aval du barrage de Sidi Salem. L'inondation s'et prolongé jusqu'à un mois ou plus dans certaines zones, en particulier dans les zones en aval.

(6) Caractéristiques hydrologiques des inondations de janvier 2004 et 2005

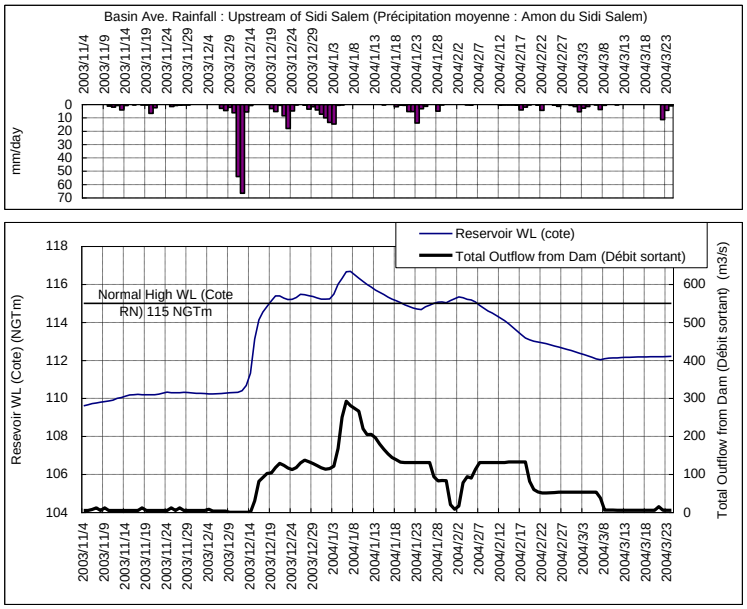
En outre, on distingue les caractéristiques hydrologiques de ces inondations suivantes :

- Multiples pics de débits entrants à Ghardimaou, et

- Multiples pics de précipitations.

Lors de l'inondation de janvier 2004, le pic de débit sortant du barrage de Sidi Salem a été observé le 6 janvier 2004, malgré des précipitations faibles à modérées pendant cette journée. Cette situation est plutôt

due à d'importantes précipitations antérieures (environ 50 ans de probabilité de 6 jours de pluie) du 10 au 13 décembre 2003, suivies par la montée du niveau d'eau élevé de la retenue. Lorsque les pluies modérées se sont produites entre le 29 décembre et le 3 janvier, il a fallu libérer de l'eau pour maintenir le niveau normal des plus hautes eaux (Cote RN), comme l'indiquent les graphiques suivants. Ainsi, des niveaux des plus hautes eaux d'oued Medjerda ont été observés dans les zones en aval malgré de faibles précipitations pendant cette journée. Des phénomènes similaires ont été observés lors de l'inondation de 2005.



Source : L'Etude sur la Gestion Intégrée des Bassins Axée sur la Lutte Contre les Inondations dans la Medjerda, JICA (2009)

Figure 3-18 Relations entre les précipitations, le niveau d'eau de la retenue et le débit sortant du barrage de Sidi Salem (inondation de janvier 2004)

(7) Implication des caractéristiques hydrologiques des grandes inondations passées

Les grandes inondations passées prouvent que les phénomènes hydrologiques suivants pourraient provoquer des inondations plus graves qui causeraient des dommages importants dans de nombreuses parties du bassin de la Medjerda.

- L'apparition simultanée de tous/quelques pics d'apports importants dans oueds Medjerda et Mellegue en provenance des parties algériennes et de pluies importantes dans la partie tunisienne du bassin, et
- Multiples pics de débits entrants et de précipitations

En outre, le comportement des inondations est déterminé par la combinaison de facteurs hydrauliques supplémentaires, tels que :

- Le niveau d'eau de la retenue recevant l'eau d'une inondation
- Les débits sortants des barrages
- Capacité des canaux fluviaux et structure des oueds

3.3 Collecte de données hydrologiques

3.3.1 Données atmosphériques observées pour les études hydrologiques

Cette section est une explication de la procédure qui a été réalisée pour développer les données atmosphériques requises comme données d'entrée de la modélisation hydrologique du bassin de la Medjerda. Tel qu'illustré sur la Figure 3-21, though Même si le réseau de stations de mesure in situ des

précipitations à travers la Tunisie peut être assez dense, en plus des stations dans la partie du bassin située sur le territoire algérien qui sont plus rares, les données n'étaient malheureusement pas disponibles pour le projet. En outre, il a fallu tenir compte du fait que les enregistrements de certaines stations sur le territoire tunisien n'étaient pas disponibles sur toute la période d'analyse. Pour ces raisons, nous avons choisi d'utiliser les données de réanalyse disponibles au niveau mondial dénommées WFDEI (méthodologie WATCH Forcing Data appliquée aux données ERA-Interim) pour compléter les données existantes.

En ce qui concerne la mesure in situ d'autres variables atmosphériques (par exemple, la vitesse du vent ou la température de l'air à la surface), la quantité limitée de données disponibles est actuellement analysée pour déterminer dans quelle mesure elle diffère des ensembles de données du WFDEI et si elle peut être utilisée dans le projet.

(1) Description des ensembles de données de réanalyse du WFDEI

Les ensembles de données du WFDEI sont une combinaison du résultat d'un modèle physique (ERA-Interim) corrigé avec des ensembles de données globales de précipitations et de température. Ces ensembles de données de variables atmosphériques sont disponibles toutes les trois heures pour la période 1979-2013 sur le sol avec une résolution spatiale de 0,5 degré. Les variables atmosphériques qui ont été utilisées dans cette étude sont détaillées dans le tableau ci-dessous. Les ensembles de données du WFDEI fournissent également l'altitude moyenne de chaque grille de 0,5º.

Tableau 3-7 Détails des variables atmosphériques utilisées dans les données de réanalyse du WFDEI

Description de la variable	Note	Unités	Conversion nécessaire
Température de l'air en surface (2 m)	Instantané	Kelvin	à des degrés Celsius
Flux descendant de rayonnement de surface dans les ondes longues (ondes courtes)	Moyenne sur les 3 heures précédentes	W/m^2	
Taux de précipitation, biais corrigé avec un ensemble de données mondiales en grille	Moyenne sur les 3 heures précédentes	Kg/m^2s	à mm/h
Pression de surface	Instantané	Pa	
Humidité spécifique de surface (2 m)	Instantané	kg/kg	
10 m de vitesse du vent	Instantané	m/s	à une vitesse de vent de 2m

Source : Assistance Spéciale à la Mise en Œuvre des Projets (SAPI) pour le Projet de Lutte Contre les Inondations de la Medjerda, JICA (2018)

Sur la base des dimensions du bassin fluvial, les variables atmosphériques ont été extraites des ensembles de données WFDEI dans une région limitée par le couple de coordonnées 6,5°E 34,5°N et 11,0°E 37,5°N.

La conversion des unités, comme indiqué dans le tableau ci-dessus, a été effectuée directement pour les précipitations et la température de l'air à 2 m. Cependant, la conversion de la vitesse du vent de 10 m à 2 m a été faite en appliquant l'expression de conversion proposée par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

(2) Génération de données pluviométriques en maille pour le projet

1) Description générale des mesures in-situ des précipitations disponibles

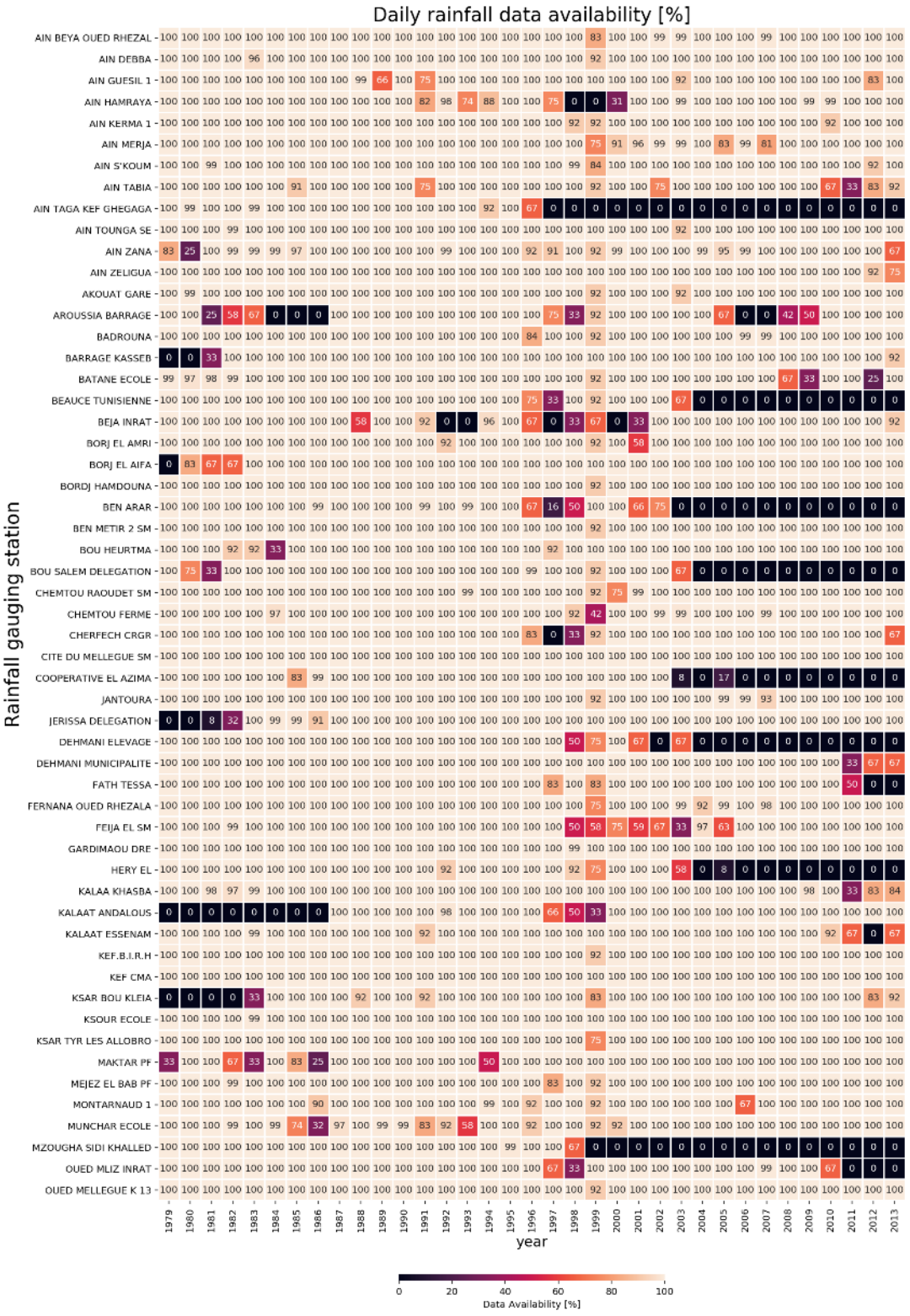
Même si les précipitations mesurées par les pluviomètres et les pluviographes étaient disponibles, dans ce projet, seules les données journalières des pluviomètres ont été utilisées. Le nombre de stations équipées de pluviomètres à proximité du bassin de la Medjerda était de 111. Comme les ensembles de données du WFDEI correspondent à la période 1979-2013, la disponibilité des mesures pendant cette période a été vérifiée pour chacun des 111 pluviomètres. Les chiffres ci-dessous indiquent le pourcentage de données disponibles par an entre 1979 et 2013. Il a notamment été remarqué qu'en 1999, de nombreuses stations présentaient un pourcentage élevé de données manquantes (ce qui correspond à un faible pourcentage de disponibilité dans la figure ci-dessous). En outre, il a été remarqué que de nombreuses stations ont cessé de fonctionner ou que les données ont été manquantes après l'année 2003. Après avoir identifié la disponibilité des données, les mesures ont fait l'objet d'une évaluation visant à éliminer les éventuelles valeurs aberrantes dans les données. La détection des valeurs aberrantes a été effectuée en deux étapes.

Premièrement, pour chaque jour de la période du 1er janvier 1979 au 31 décembre 2013, les mesures quotidiennes de toutes les stations ont été collectées et comparées statistiquement. Avec toutes les mesures non nulles d'une seule journée, deux tests statistiques ont été effectués pour détecter les éventuelles valeurs aberrantes. Les tests utilisés étaient le test de Grubb, qui est un test statistique utilisé pour détecter les valeurs aberrantes dans un ensemble de données univariées supposées provenir d'une population normalement distribuée, et les boxplots, dans lesquels toute valeur supérieure à 1,5 fois l'intervalle interquartile des données de l'échantillon est identifiée comme une valeur aberrante. Comme les deux tests supposent que les échantillons proviennent d'une distribution normale, les données ont d'abord été converties en logarithmes avant d'appliquer les tests. Sur les 35 années de données journalières de 111 stations, 196 valeurs aberrantes potentielles ont été détectées. Dans un deuxième temps, chacune des 196 valeurs aberrantes potentielles a été évaluée en inspectant visuellement l'histogramme des mesures de toutes les stations du jour correspondant. Un exemple de valeur aberrante est présenté à la Figure 3-19, où la mesure journalière du 1er mars 1979 à la station d'Ain Hamraya était de 80 mm. Cependant, les mesures des autres stations du même jour (même celles situées dans un rayon de 10 km environ) étaient presque égales à zéro. Après l'examen visuel des histogrammes, il a été décidé de n'exclure que les valeurs aberrantes détaillées dans le Tableau 3-8.

Tableau 3-8 Dates et stations dans lesquelles une valeur aberrante a été identifiée par examen visuel de l'histogramme des mesures du même jour

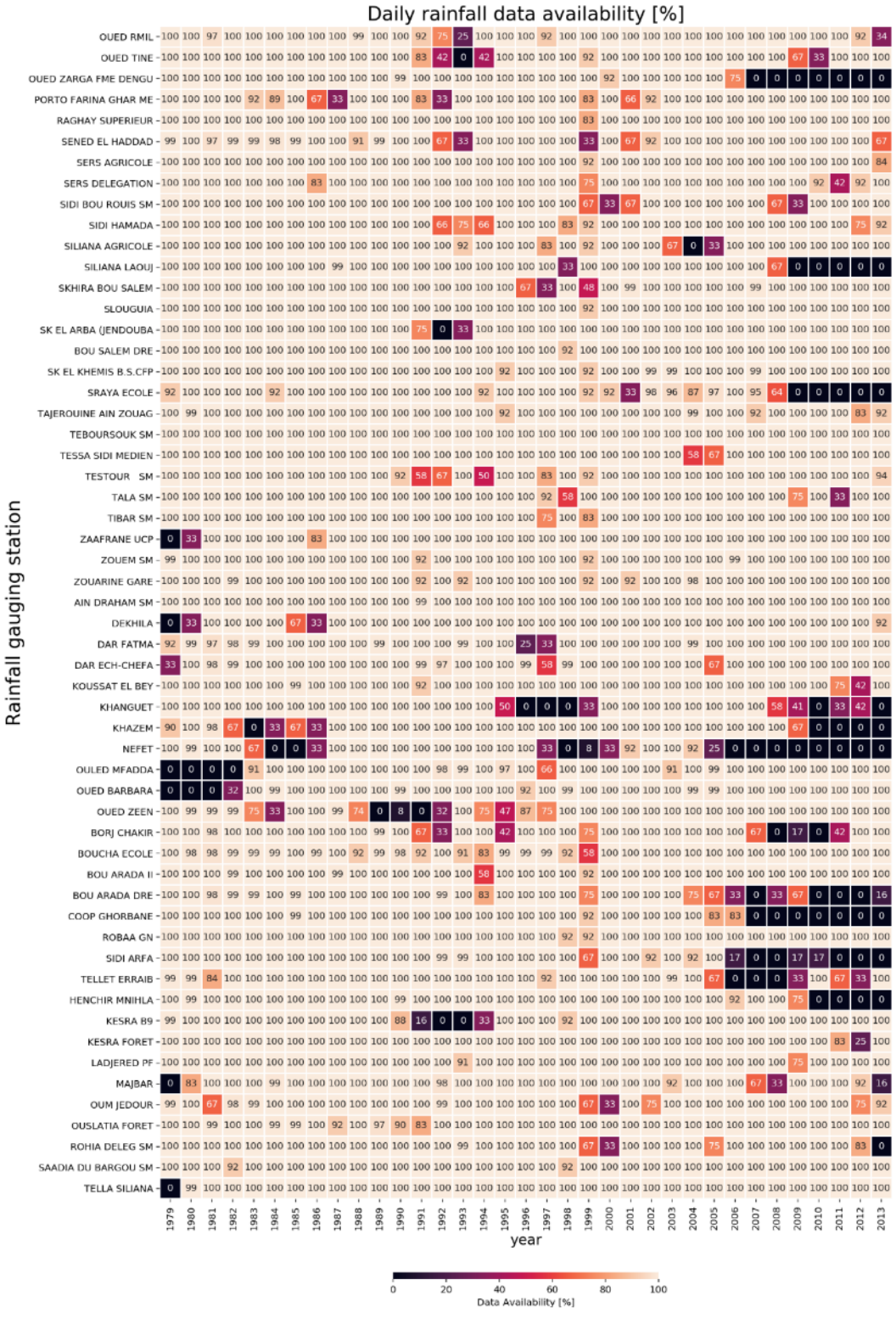
Cas n° 196	Date	Station	Cas n° 196	Date	Station
1	1979/Mars/01	AIN HAMRAYA	95	1997/décembre/09	OUED ZEEN
2	1979/Avril/09	KESRA B9	103	1999/Janvier/31	AIN DEBBA
24	1984/Avril/01	DAR FATMA	104	1999/Février/05	AIN BEYA OUED RHEZAL
26	1984/décembre/26	AIN ZANA	105	1999/Février/09	AIN BEYA OUED RHEZAL
27	1985/janvier/01	DAR FATMA	106	1999/Février/12	AIN TOUNGA SE
29	1985/décembre/13	DAR FATMA	107	1999/février/13	AIN TOUNGA SE
32	1986/septembre/27	DAR FATMA	108	1999/Mars/26	AIN BEYA OUED RHEZAL
35	16 décembre 1986	OUED BARBARA	109	1999/Mai/02	AIN BEYA OUED RHEZAL
42	1988/Mars/05	BEN METIR 2 SM	111	1999/novembre/30	AIN TOUNGA SE
52	1990/Janvier/02	DAR ECH-CHEFA	112	1999/décembre/05	JANTOURA
59	1991/Janvier/29	DAR ECH-CHEFA	123	2002/novembre/28	AIN BEYA OUED RHEZAL
60	1991/septembre/17	SILIANA AGRICOLE	126	2003/Janvier/27	SENED EL HADDAD
76	1994/octobre/23	OUED ZEEN	139	2004/Juin/19	AIN TOUNGA SE
80	1995/Septembre/18	SIDI BOU ROUIS SM	168	2008/Septembre/25	KHAZEM
84	1996/septembre/08	MAKTAR PF	172	2009/Janvier/09	AKOUAT GARE
85	1997/Janvier/09	OUED ZEEN	173	2009/Janvier/11	SK EL KHEMIS B.S.CFP
87	1997/Février/07	OULED MFADDA	178	2010/Octobre/19	DAR FATMA
89	1997/Avril/23	SRAYA ECOLE	189	2012/Avril/12	DEKHILA
93	1997/Septembre/17	DAR FATMA	193	2012/décembre/03	AIN HAMRAYA

Source : Assistance Spéciale à la Mise en Œuvre des Projets (SAPI) pour le Projet de Lutte Contre les Inondations de la Medjerda, JICA (2018)



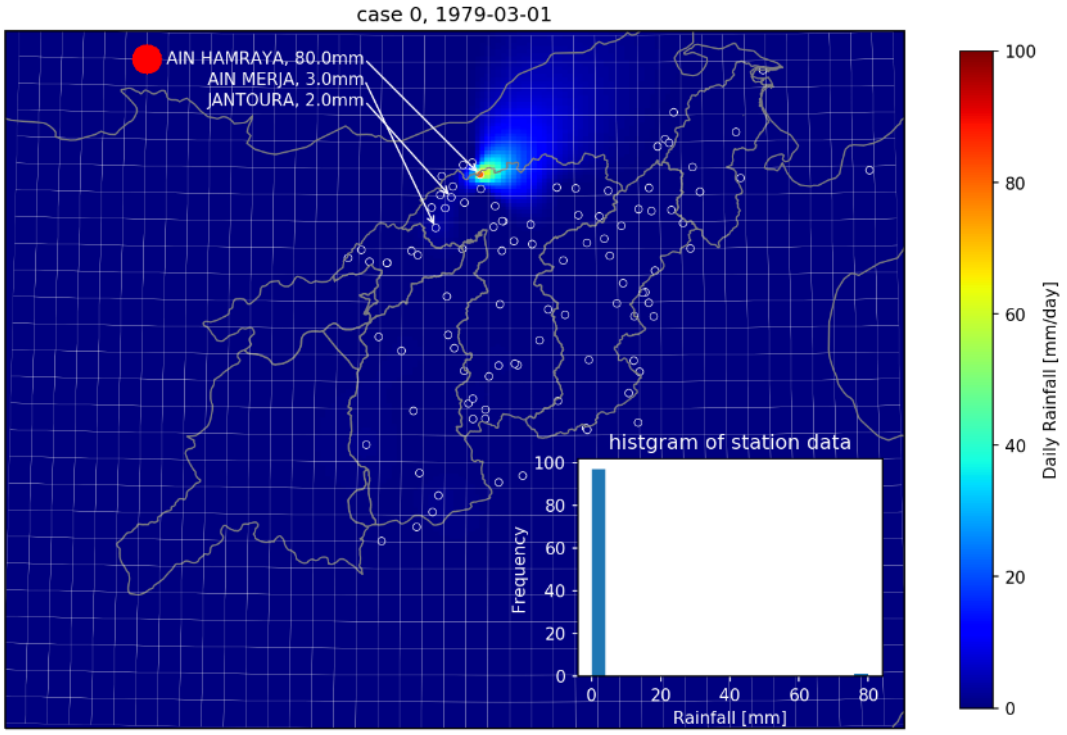
Source : Assistance Spéciale à la Mise en Œuvre des Projets (SAPI) pour le Projet de Lutte Contre les Inondations de la Medjerda, JICA (2018)

Figure 3-19 Pourcentage de disponibilité des mesures des précipitations par station et par an (1/2)



Source : Assistance Spéciale à la Mise en Œuvre des Projets (SAPI) pour le Projet de Lutte Contre les Inondations de la Medjerda, JICA (2018)

Figure 3-20 Pourcentage de disponibilité des mesures des précipitations par station et par an (2/2)

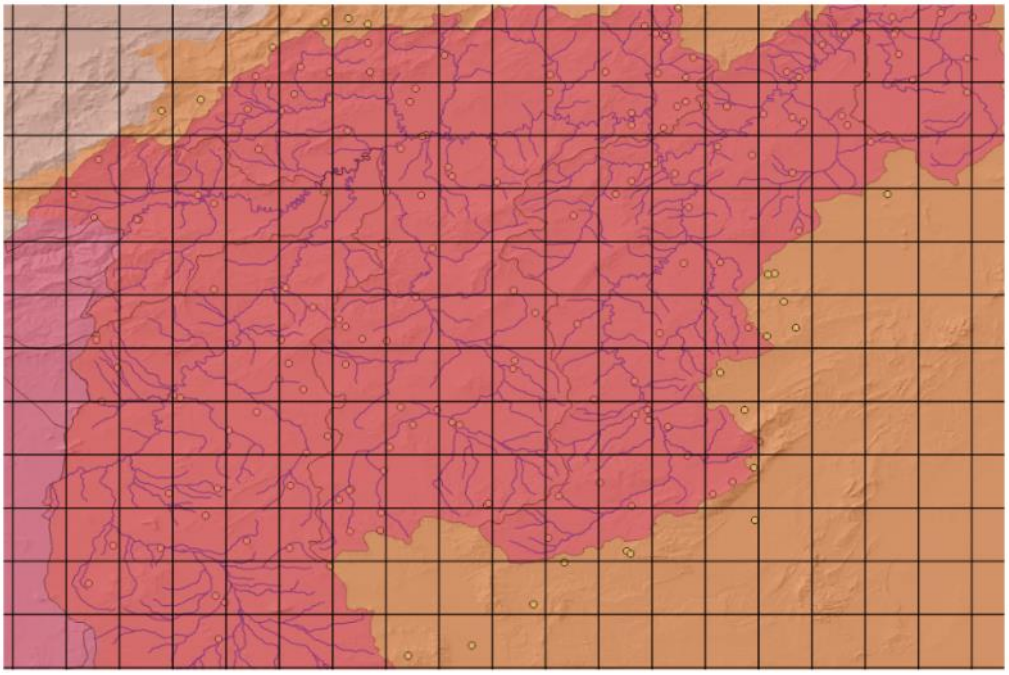


Source : Assistance Spéciale à la Mise en Œuvre des Projets (SAPI) pour le Projet de Lutte Contre les Inondations de la Medjerda, JICA (2018)

Figure 3-21 Exemple de vérification visuelle d'une valeur aberrante détectée statistiquement par comparaison avec les mesures des précipitations du même jour des stations voisines

(a) Détermination de la résolution spatiale des variables atmosphériques pour la modélisation hydrologique du bassin d'oued Medjerda

La résolution spatiale des ensembles de données WFDEI (c'est-à-dire 0,5°) est trop sommaire pour être utilisée dans la modélisation hydrologique. Par conséquent, en plus d'intégrer les données des stations de mesure in situ, il a été nécessaire de procéder à une certaine forme de réduction d'échelle spatiale. Parce que des résolutions trop fines pourraient générer des grilles dans lesquelles aucune station ne peut être trouvée et empêcher une intégration raisonnable des données mesurées in-situ, la résolution spatiale à laquelle les deux ensembles de données ont été fusionnés a été décidée en équilibrant la densité des stations par grille. La résolution spatiale choisie était de 0,1°, ce qui est approximativement égal à 10 km. Cette résolution spatiale a permis d'attribuer 1 à 3 stations dans une grande partie des grilles couvrant le bassin fluvial du territoire tunisien (Figure 3-20).



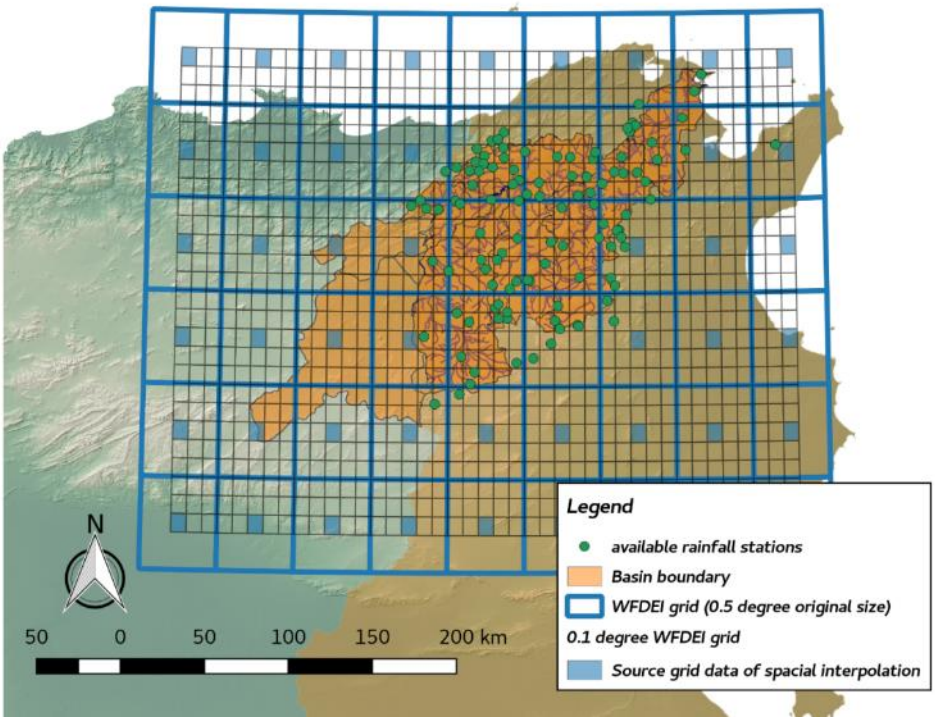
Source : Assistance Spéciale à la Mise en Œuvre des Projets (SAPI) pour le Projet de Lutte Contre les Inondations de la Medjerda, JICA (2018)

Figure 3-22 Schéma de l'emplacement des stations de mesure in-situ disponibles et d'une grille de 0,1

(b) Détails de la réduction d'échelle des données pluviométriques du WFDEI et intégration avec les mesures pluviométriques in-situ

Comme l'ensemble de données du WFDEI sont établis toutes les trois heures, il a été nécessaire, afin de les fusionner avec les mesures journalières in situ, d'accumuler les données pluviométriques du WFDEI dans les données journalières également. Les données journalières de précipitations des stations ont été enregistrées chaque jour à 7h00 du matin heure TUC+1. Pour générer des données de pluie en grille avec une résolution spatiale de 0,1° intégrant les données de pluie du WFDEI et les mesures in-situ, les étapes suivantes ont été réalisées :

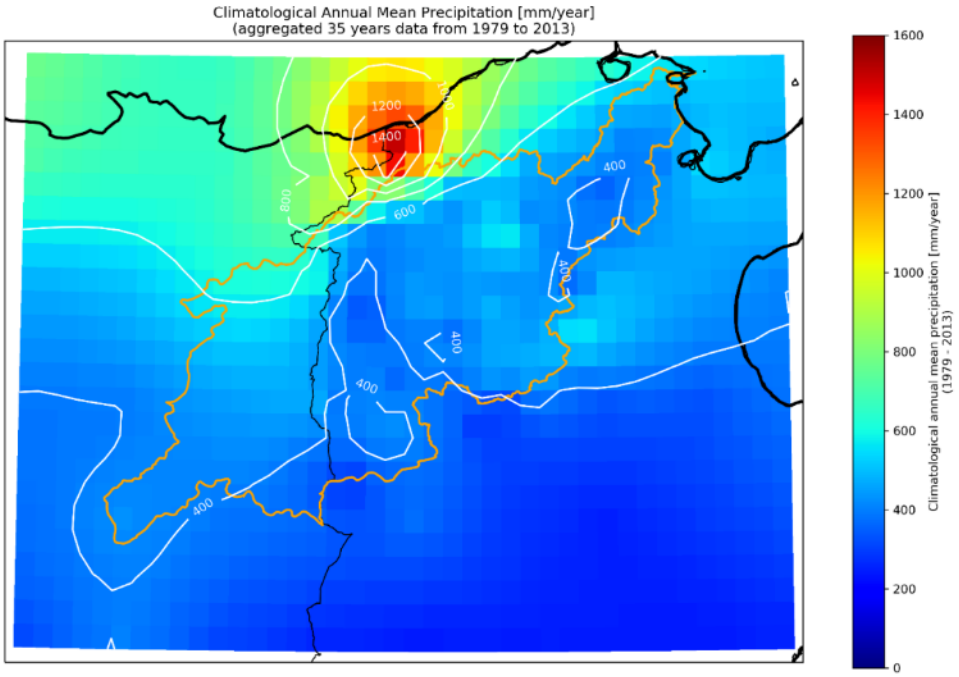
- Pour les grilles de 0,1° où l'interpolation n'était possible qu'avec des stations, seules les données des stations ont été utilisées.
- Pour les autres grilles de 0,1°, qui sont celles situées en dehors de la limite du bassin d'oued Medjerda et sur le territoire algérien, une pseudo-station contenant les données pluviométriques du WFDEI a été attribuée au centre de la grille de 0,5° correspondante (Figure 3-23).
- L'interpolation de la fonction de base radiale a été utilisée pour interpoler les données journalières des stations et des pseudo-stations en un ensemble de données pluviométriques en grille avec une résolution spatiale de 0,1°.



Source : Assistance Spéciale à la Mise en Œuvre des Projets (SAPI) pour le Projet de Lutte Contre les Inondations de la Medjerda, JICA (2018)

Figure 3-23 Localisation des stations dont les mesures de pluie étaient disponibles pour le projet et localisation des pseudo-stations qui ont été créées avec les données WFDEI de la grille correspondante pour effectuer l'interpolation en un ensemble de données pluviométriques en grilles de 0,1

La procédure détaillée ci-dessus a permis de privilégier les mesures in-situ par rapport aux données WFDEI et, en même temps, de créer des données pluviométriques dans les régions où les données n'étaient pas disponibles. La pluviométrie moyenne annuelle à long terme et la pluviométrie moyenne climatologique à long terme des 12 mois ont été calculés à partir des données intégrées avec une résolution spatiale de 0,1° et sont présentées dans les Figure 3-24.



Source : Assistance Spéciale à la Mise en Œuvre des Projets (SAPI) pour le Projet de Lutte Contre les Inondations de la Medjerda, JICA (2018)

Figure 3-24 Pluviométrie moyenne annuelle à long terme (de 1979 à 2013) calculée à partir des données pluviométriques en grilles créées pour le projet

(c) Décomposition des données pluviométriques journalières en données pluviométriques tri-horaires

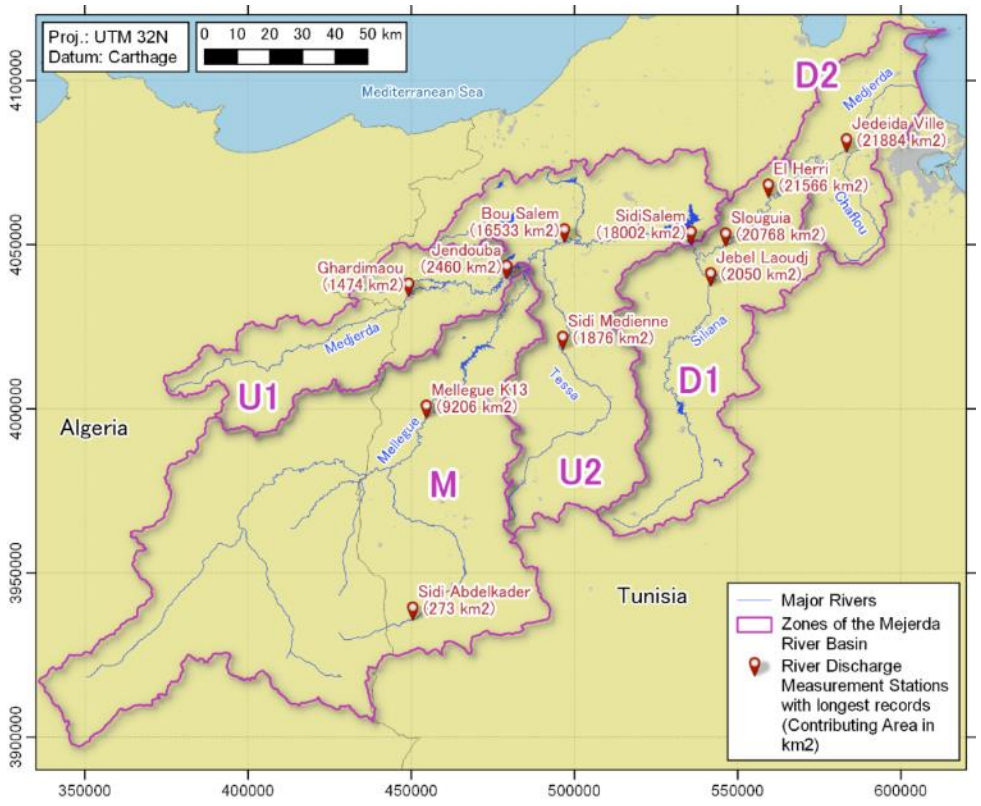
Afin de pouvoir utiliser les données pluviométriques dans l'analyse des événements extrêmes, les données pluviométriques journalières intégrées ont été décomposées en données pluviométriques sur 3 heures. La décomposition a été effectuée pour chaque grille de 0,1º de l'ensemble de données journalières intégrées, qui représentent les accumulations journalières de pluie des 24 heures précédant 7h00 du matin en heure TUC+1.

Pour décomposer les ensembles de données intégrés, on a utilisé les ensembles de données pluviométriques originaux du WFDEI, qui sont des accumulations de pluie de 3 heures en heure GMT. Pour une date donnée et pour chaque grille de 0,1º de l'ensemble de données journalières intégrées, la grille correspondante de 0,5º du WFDEI a été identifiée. Ensuite, les intensités de pluie sur 3 heures de l'ensemble de données WFDEI correspondant aux données entre 9h00 de la veille (10h00 en heure TUC+1) et 6h00 de la date cible (7h00 en heure TUC+1) ont été converties en poids en divisant chaque intensité de pluie sur 3 heures par la somme des huit intensités correspondant à la date cible (c'est-à-dire la somme des données WFDEI correspondant à 9h, 12h, 15h, 18h, 21h et 12h de la veille et à 3h et 6h de la date cible). Enfin, les précipitations journalières de la grille de 0,1º de l'ensemble de données intégrées ont été multipliées par chacun des huit poids correspondants et les intensités de pluie de trois heures résultantes ont été horodatées en temps UTC+1 (c'est-à-dire 10h00, 13h00, 16h00, 19h00, 22h00 de la veille et 1h00, 4h00 et 7h00 de la date cible).

3.3.2 Débit observé

Dans cette section a indiqué la période de disponibilité des observations de débits. Ces données sont essentielles pour le calibrage du modèle hydrologique du bassin versant. Les observations ont été fournies par les autorités locales ou correspondent aux enregistrements numériques du projet " L'Etude sur la Gestion Intégrée des Bassins Axée sur la Lutte Contre les Inondations dans la Medjerda, JICA (2009)" (Plan Directeur).

Même si des observations horaires de quelques stations étaient disponibles, dans cette étude, seules les observations journalières des débits ont été prises en compte. Comme indiqué dans la Figure 3-25, le réseau de stations pluviométriques au sol à travers la Tunisie est assez dense, la période 1979-2013, qui est la période de disponibilité des ensembles de données pluviométriques en grille, les stations ayant les enregistrements les plus longs sont indiquées sur la Figure 3-25.



Source : Assistance Spéciale à la Mise en Œuvre des Projets (SAPI) pour le Projet de Lutte Contre les Inondations de la Medjerda, JICA (2018)

Figure 3-25 Localisation des stations ayant les plus longs enregistrements de débits journaliers

3.4 Etude de Crue

3.4.1 Méthodologie

Dans la présente Etude, le Modèle HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System Model) a été utilisé pour les trois raisons suivantes :

- Option de partage du know-how du modèle supérieure et convenable pour la réutilisation.
- Reproduction suffisante de l'état actuel de crue a été assurée.
- Facilité de calibration des paramètres (Validation du Modèle)

HEC-HMS, développé par US Army Corps of Engineers, est mis gratuitement à la disposition du public et est très utilisé à l'échelle internationale. Ce system est également utilisé dans la F/S et le Plan Directeur des Zones U1 et U2, en amont du Barrage de Sidi Salem, réalisés par KfW (German Reconstruction Finance Corporation). HEC-HMS trouve son application aussi dans l'étude d'Oued Medjerda réalisée par l'Université d'Alger. Si les résultats de cette Etude sont fournis avec identification des paramètres, le modèle peut trouver d'autres applications dans le côté Tunisien, ce qui n'est pas offert par d'autres modèles.

Les deux modèles WEB-DHM et SHER, utilisés dans F/S et SAPI respectivement, sont des modèles avancés se basant sur des équations fondamentales de la physique, cependant ces modèles nécessitent une exécution sur Linux pour la création de données d'entrée et de sortie et pour l'organisation des résultats de sortie. Ces étapes sont nécessaires à la création de script mais elles entraînent des difficultés de partage des résultats de l'étude avec les personnes concernées dans le côté Tunisien. De plus, il est difficile d'obtenir les données des résultats de calcul avec le Modèle WEB-DHM et les affluents etc. ne sont pas calibrés

Comme le modèle SHER utilisé dans SAPI posent des complexités dans les calculs (Modèle basé sur la physique), plusieurs cas de calculs ont été menés avec l'absence de données d'observation exactes, des caractéristiques du sol et des données sur l'état géologique de l'aquifère. Dans le but de préparer les

paramètres convenables (complexes), beaucoup de temps doit être consacré aux calculs ce qui engendre des coûts considérables. Ainsi, pour les basins, tel que le Medjerda, qui manquent d'informations précises et exactes (Précipitations, Evapotranspiration, propriétés de sol saturé/ non saturé, état géologique de l'aquifère, etc.), l'identification des paramètres consomment beaucoup de temps.

De plus, sous le cadre de l'Etude, grâce à la simplicité du fonctionnement de HEC-HMS, le calibrage a pu être effectué pour plus de points et crues que ceux traités dans le cadre de F/S et SAPI, ce qui permit la reproduction des évents d'inondation actuels à grande précision. L'identification des paramètres a été établie.

3.4.2 Modèle HEC-HMS

Le Système de Modélisation Hydrologique (HEC-HMS) permet de simuler le processus global hydrologique des systèmes du bassin versant dendritique. Le logiciel comprend plusieurs procédures traditionnelles d'analyse hydrologique parmi lesquelles on cite : l'infiltration, l'hydrogramme unitaire et le routage hydrologique. Le HEC-HMS comprend également les procédures nécessaires à la simulation continue telles que l'évapotranspiration, la fonte des neiges et l'humidité du sol. Des options avancées sont également disponibles pour la simulation de ruissellement quadrillé à l'aide de la transformation linéaire de ruissellement quasi-distribuée (ModClark). Des outils d'analyse supplémentaires sont fournis pour l'optimisation du modèle, la prévision du débit, la réduction de la profondeur, l'évaluation de l'incertitude du modèle, l'érosion et le transport des sédiments et la qualité de l'eau.

HEC-HMS est une version Windows de HEC-1 qui applique un modèle de ruissellement concentré pour chaque bassin subdivisé et les relie à un modèle du cours d'eau pour calculer le ruissellement. Il s'agit d'un modèle composé de sous-bassins, de confluences et de cours d'eau qui les relient, de barrages / réservoirs, de branches (dérivations) et de sources. Ce sont des logiciels d'analyse intégrés avec une excellente interface graphique qui peuvent être facilement créés par la souris, et peuvent facilement sélectionner les modèles, définir les paramètres, connecter les modèles mutuels et même afficher les résultats de calcul. Il existe trois modèles : un modèle de perte pour calculer le volume de précipitation perdu par l'interception, l'infiltration et l'évapotranspiration, un modèle de conversion du ruissellement pour calculer le ruissellement direct à partir des précipitations effectives et un modèle de ruissellement de base pour le ruissellement des eaux souterraines.

Tableau 3-9 Modèle HEC-HMS de bassin

Modèle de Pertes	Modèle de Conversion du Ruissellement	Modèle de Ruissellement de Base
Modèle de Green-Apt	Hydrogramme Unitaire de ClarK	Méthode de la courbe de dégressivité
Méthode de perte initiale à taux constant	Hydrogramme Unitaire de Snyder	Loi Mensuelle
Méthode de SCS curve number	Hydrogramme Unitaire de SCS	Modèle Linaire de la Retenue
Méthode de Lattice curve number	Modèle d'Onde Cinématique	
Modèle de perte constante	Modèle ModClark	
Modèle de Calcul de la teneur en eau à long-terme	Hydrogramme Unitaire défini par l'utilisateur	
Modèle de maillage de calcul de la teneur en eau à long-terme	S-graph défini par l'utilisateur	

Note) SCS est une abréviation de US Soil Conservation Service.
Source: US Army Corps of Engineers

Le tableau suivant expose le modèle de cours d'eau, cependant dans ce dernier il n'est pas possible d'intégrer un modèle personnalisé.

Tableau 3-10 Modèle de cours d'eau HEC HMS

Modèle de Cours d'Eau	
Méthode du retard	Modèle de l'onde cinématique
Méthode de Plus Modifiée	Méthode de la profondeur normale
Méthode de Muskingum	Méthode de Straddle Stagger
Méthode de Muskingam-Cunge	

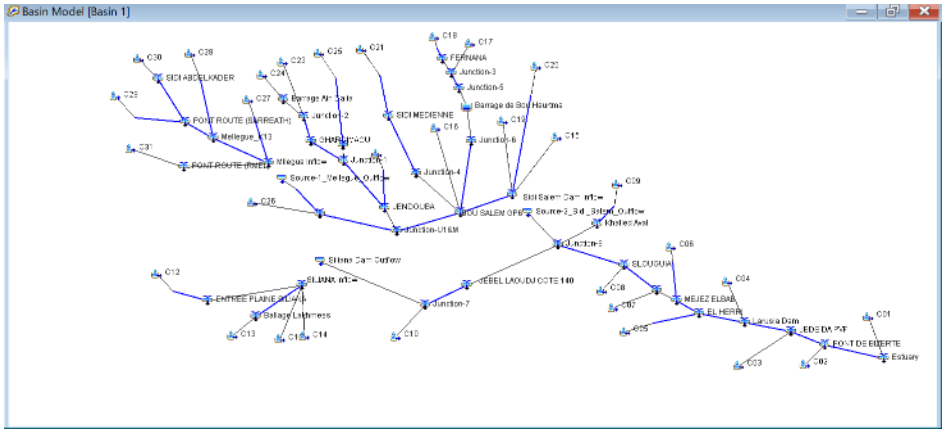
Source: US Army Corps of Engineers

Le logiciel dispose d'un cadre d'opération complètement intégré comprenant une base de données, des fonctionnalités de saisie de données, un moteur de calcul et des outils d'élaboration de rapports des résultats. Une interface graphique permet à l'utilisateur un mouvement transparent entre les différentes parties du logiciel. Les résultats de la simulation sont stockés dans HEC-DSS (Système de Stockage des Données) et peuvent être utilisés en conjonction avec d'autres logiciels pour les études de la disponibilité de l'eau, du drainage urbain, des prévisions de débit, de l'impact futur de l'urbanisation, de la conception du déversoir de réservoir, de la réduction des dégâts dus aux inondations, de la régulation des plaines inondables et le fonctionnement des systèmes.

HEC-HMS dispose d'un programme d'optimisation intégré des paramètres du modèle qui nécessite une compréhension complète de la signification des paramètres, dans le cas contraire, l'utilisateur risque d'obtenir des résultats satisfaisants à première vue, mais les paramètres identifiés ne seront pas réalistes. Par conséquent, dans le but d'une optimisation réaliste et adéquate, les données pluviométriques et l'expertise suffisantes sont indispensables.

3.4.3 Modèle de terrain sous bassins

Dans la présente Etude, l'analyse du ruissellement a été effectuée en subdivisant le bassin en 31 petits bassins versants, comme indiqué sur la Figure ci-dessous. En ce qui concerne les données topographiques, les éléments nécessaires au modèle (superficie, gradient topographique, pente du lit, extension du cours d'eau, etc.) ont été déterminés à l'aide de SIG.

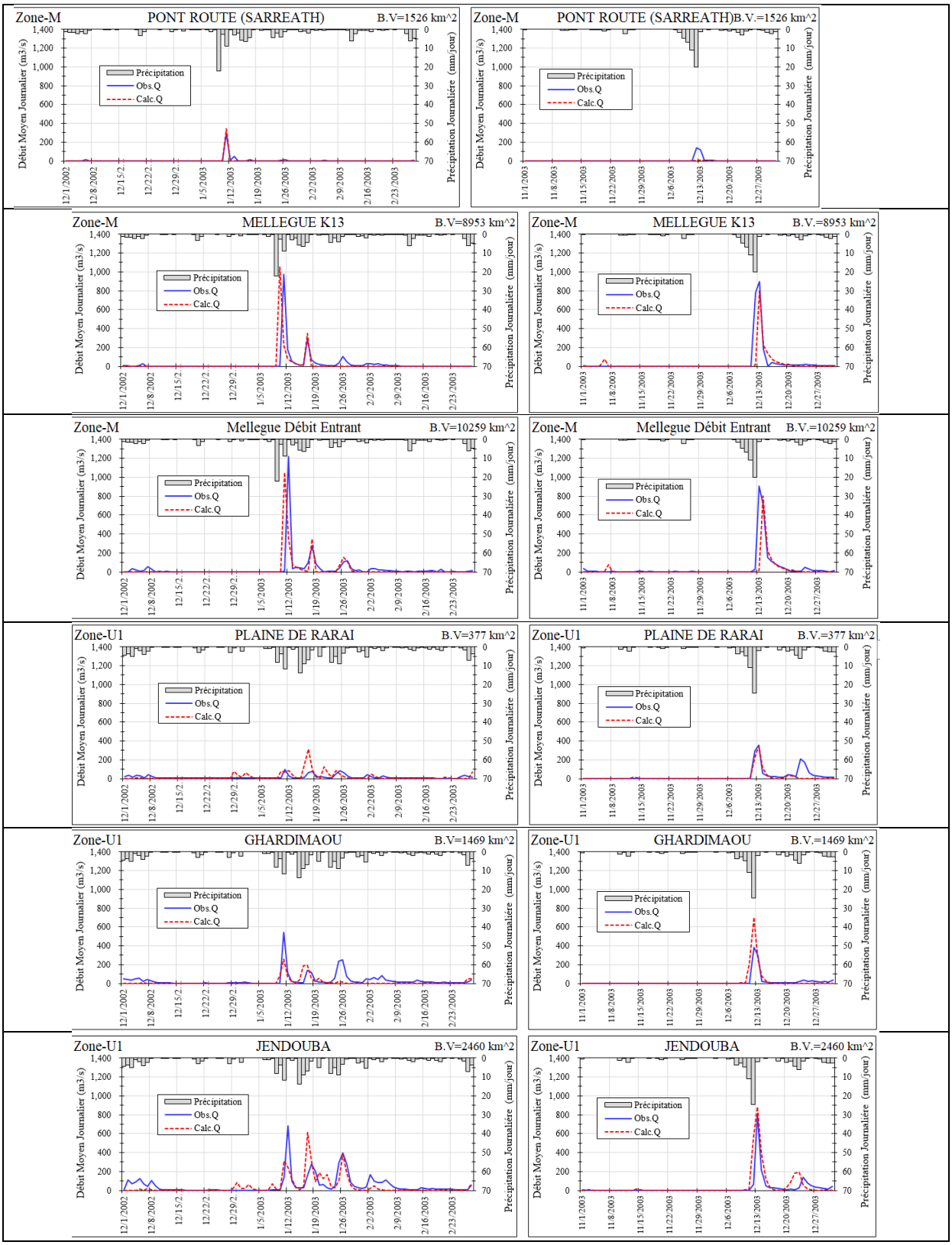


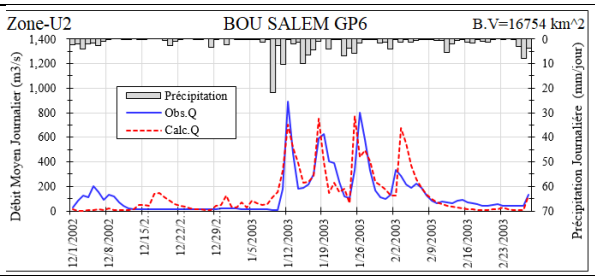
Source: Equipe d'Etude de la JICA

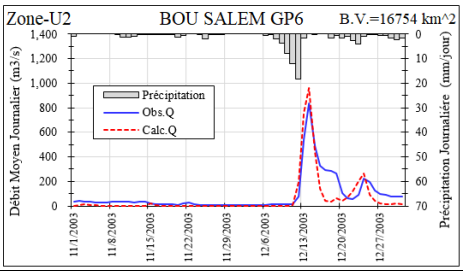
Figure 3-26 Modèle HEC-HMS des sous-bassins (31 Sous-bassins)

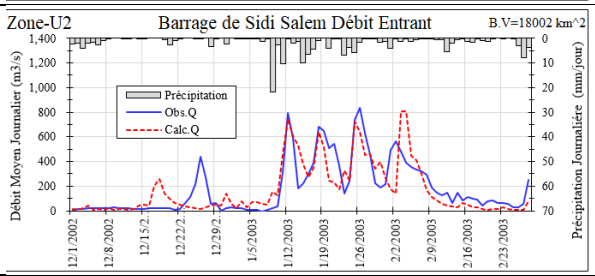
3.4.4 Calibrage du Modèle

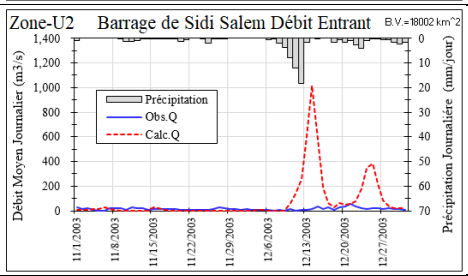
Le calibrage du modèle a été effectué en faisant correspondre les débits calculés à l'aide du modèle aux débits observés. Un tableau comparatif des débits observés et calculés aux stations principales est présenté ci-dessous. Il est clair que le modèle HEC-HMS a effectué une vérification de reproductibilité en plusieurs points et pour plusieurs cas.

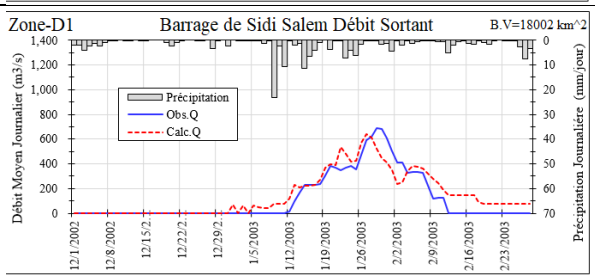

Zone-M
PONT ROUTE (SARREATH)
B.V=1526 km^2
Zone-M
PONT ROUTE (SARREATH)B.V.=1526 km^2
Zone-M
MELLEGUE K13
B.V=8953 km^2
Zone-M
MELLEGUE K13
B.V.=8953 km^2
Zone-M
Mellegue Débit Entrant
B.V=10259 km^2
Zone-M
Mellegue Débit Entrant
B.V.=10259 km^2
Zone-U1
PLAINE DE RARAI
B.V=377 km^2
Zone-U1
PLAINE DE RARAI
B.V.=377 km^2
Zone-U1
GHARDIMAOU
B.V=1469 km^2
Zone-U1
GHARDIMAOU
B.V.=1469 km^2
Zone-U1
JENDOUBA
B.V=2460 km^2
Zone-U1
JENDOUBA
B.V.=2460 km^2
Précipitation
Obs.Q
Calc.Q
Débit Moyen Journalier (m3/s)
Précipitation Journalière (mm/jour)

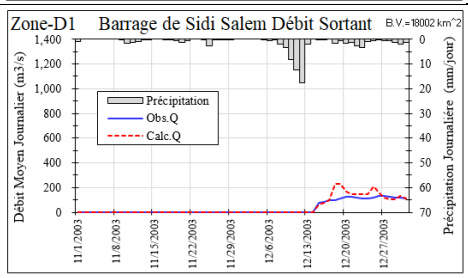

Zone-U2
BOU SALEM GP6
B.V=16754 km^2
Débit Moyen Journalier (m3/s)
Précipitation Journalière (mm/jour)
Précipitation
Obs.Q
Calc.Q

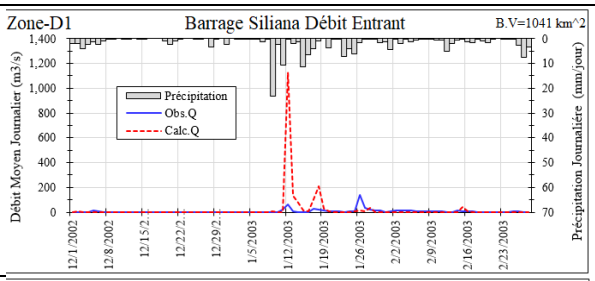

Zone-U2
BOU SALEM GP6
B.V.=16754 km^2
Débit Moyen Journalier (m3/s)
Précipitation Journalière (mm/jour)
Précipitation
Obs.Q
Calc.Q

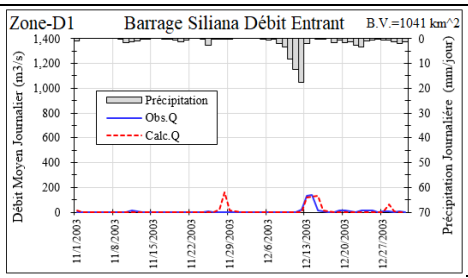

Zone-U2
Barrage de Sidi Salem Débit Entrant
B.V=18002 km^2
Débit Moyen Journalier (m3/s)
Précipitation Journalière (mm/jour)
Précipitation
Obs.Q
Calc.Q

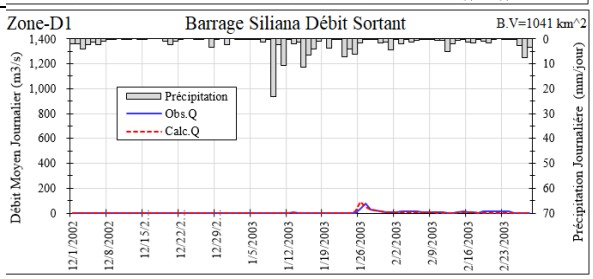

Zone-U2
Barrage de Sidi Salem Débit Entrant
B.V.=18002 km^2
Débit Moyen Journalier (m3/s)
Précipitation Journalière (mm/jour)
Précipitation
Obs.Q
Calc.Q

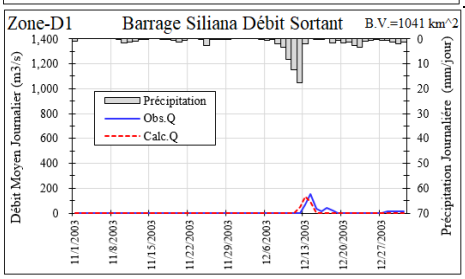

Zone-D1
Barrage de Sidi Salem Débit Sortant
B.V=18002 km^2
Débit Moyen Journalier (m3/s)
Précipitation Journalière (mm/jour)
Précipitation
Obs.Q
Calc.Q

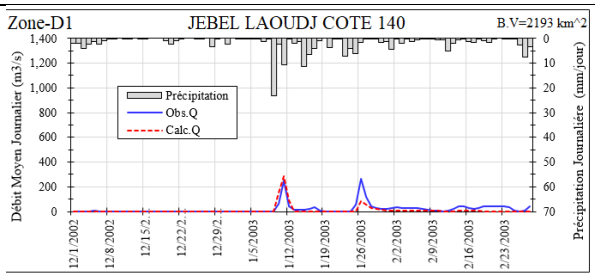

Zone-D1
Barrage de Sidi Salem Débit Sortant
B.V.=18002 km^2
Débit Moyen Journalier (m3/s)
Précipitation Journalière (mm/jour)
Précipitation
Obs.Q
Calc.Q

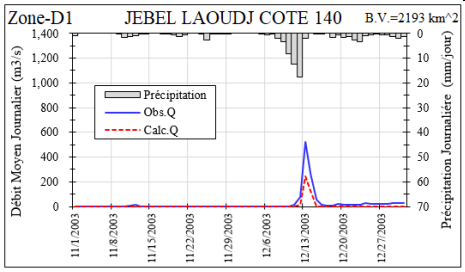

Zone-D1
Barrage Siliana Débit Entrant
B.V=1041 km^2
Débit Moyen Journalier (m3/s)
Précipitation Journalière (mm/jour)
Précipitation
Obs.Q
Calc.Q

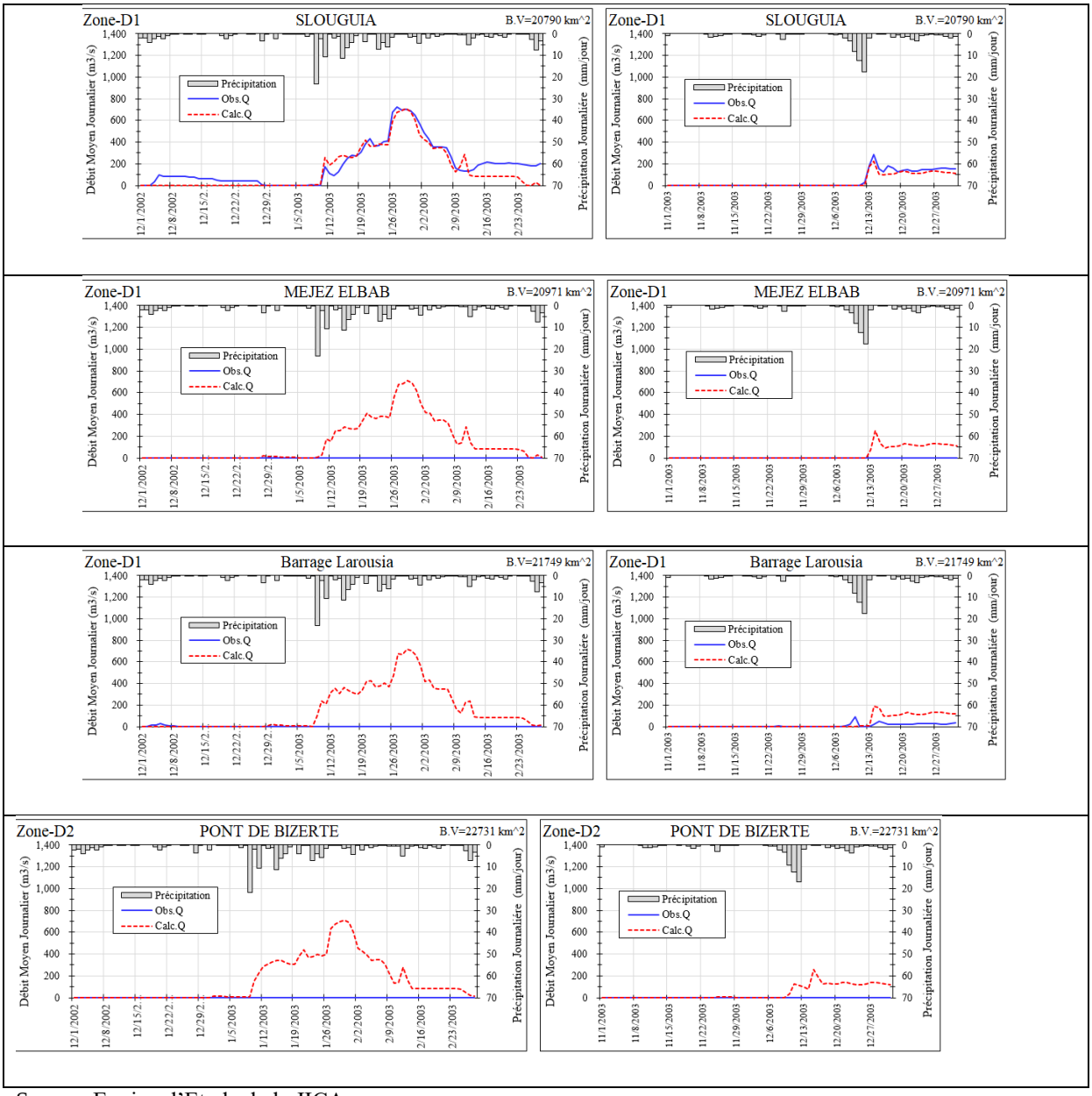

Zone-D1
Barrage Siliana Débit Entrant
B.V.=1041 km^2
Débit Moyen Journalier (m3/s)
Précipitation Journalière (mm/jour)
Précipitation
Obs.Q
Calc.Q


Zone-D1
Barrage Siliana Débit Sortant
B.V=1041 km^2
Débit Moyen Journalier (m3/s)
Précipitation Journalière (mm/jour)
Précipitation
Obs.Q
Calc.Q


Zone-D1
Barrage Siliana Débit Sortant
B.V.=1041 km^2
Débit Moyen Journalier (m3/s)
Précipitation Journalière (mm/jour)
Précipitation
Obs.Q
Calc.Q


Zone-D1
JEBEL LAOUDJ COTE 140
B.V=2193 km^2
Débit Moyen Journalier (m3/s)
Précipitation Journalière (mm/jour)
Précipitation
Obs.Q
Calc.Q

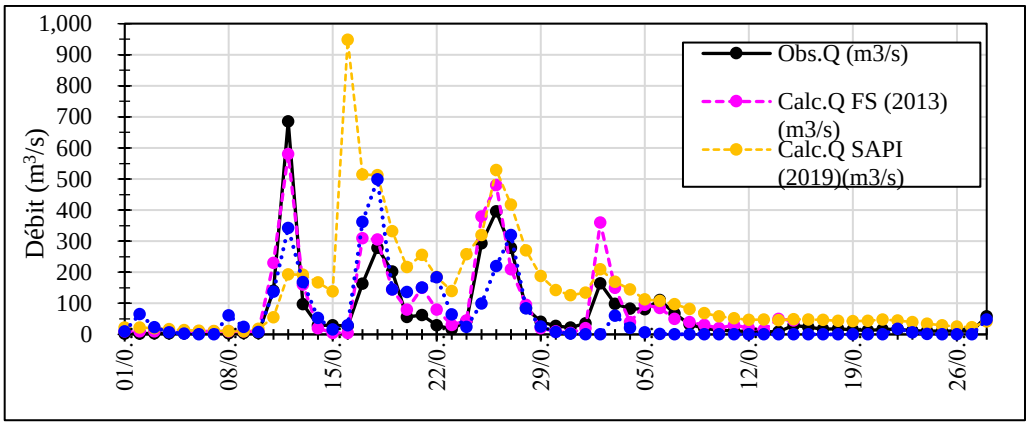

Zone-D1
JEBEL LAOUDJ COTE 140
B.V.=2193 km^2
Débit Moyen Journalier (m3/s)
Précipitation Journalière (mm/jour)
Précipitation
Obs.Q
Calc.Q



Source: Equipe d'Etude de la JICA

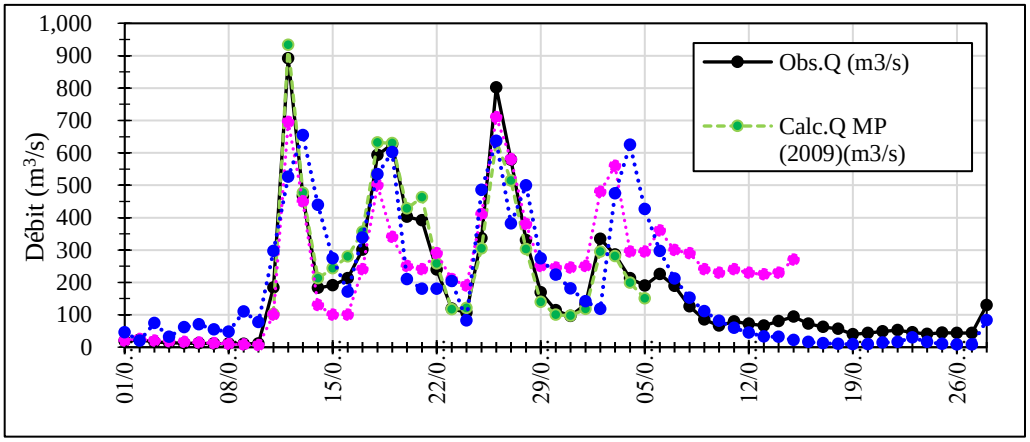
Figure 3-27 Résultats de calibrage du modèle HEC-HMS

La figure, ci-après, présente une comparaison des résultats de calibrage de P/D (2009), F/S (2013), SAPI (2018) et le modèle de la présente Etude. Le rapport du P/D présente des résultats de calibrage uniquement sur le site de Bou Salem, mais les valeurs observées et les résultats du calcul du modèle sont bien ajustés. La F/S présente le calibrage en deux points, Jendouba et Bou Salem. La valeur observée et le résultat calculé sont bien ajustés à Jendouba, mais moins bien ajustés au niveau de Bou Salem. En revanche, les résultats sont bien ajustés avec les valeurs observées et calculées à Jendouba et à Bou Salem, ce qui représente une amélioration par rapport aux résultats de calibrage du modèle SAPI. De plus, comme mentionné ci-dessus, le modèle HEC-HMS de cette étude est employé pour le calibrage, non seulement à Jendouba et Bou Salem, mais également à plusieurs autres points.



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-28 Comparaison des résultats de calibrage des modèles pour chaque etude (Jendouba)



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-29 Comparaison des résultats de calibrage des modèles pour chaque etude (Bou Salem)

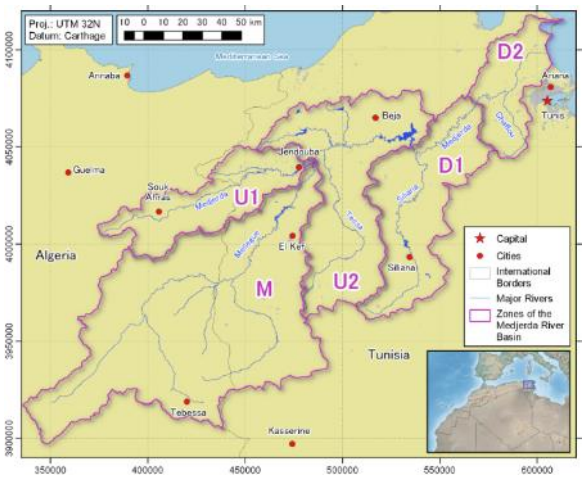
3.4.5 Définition des Précipitations de Conception

Les paramètres de précipitations de conception sont basés sur l'analyse fréquentielle, généralement utilisée dans la conception des infrastructures hydrauliques et des systèmes de ressources en eau. Ce type d'analyse statistique a pour objectif la détermination de la probabilité de non-dépassement des précipitations maximales annuelles avec différentes durées des événements.

(1) Détermination du Temps de Concentration de Crue

Le temps de concentration de crue correspond au temps de réponse du bassin versant aux précipitations. Il est défini comme le temps nécessaire pour une goutte d'eau provenant de la partie la plus éloignée du point-sujet dans le cours d'eau dans le plan de contrôle des crues pour parvenir à celui-ci. La pluviométrie de conception a été élaborée en fonction du temps de concentration de crue.

Dans le Plan Directeur de 2009, cinq zones hydrologiques ont été définies sur la base d'une analyse des régimes spatiaux des précipitations lors des grandes inondations. Les 5 zones hydrologiques, dénommées M, U1, U2, D1 et D2, sont représentées dans la Figure ci-après.



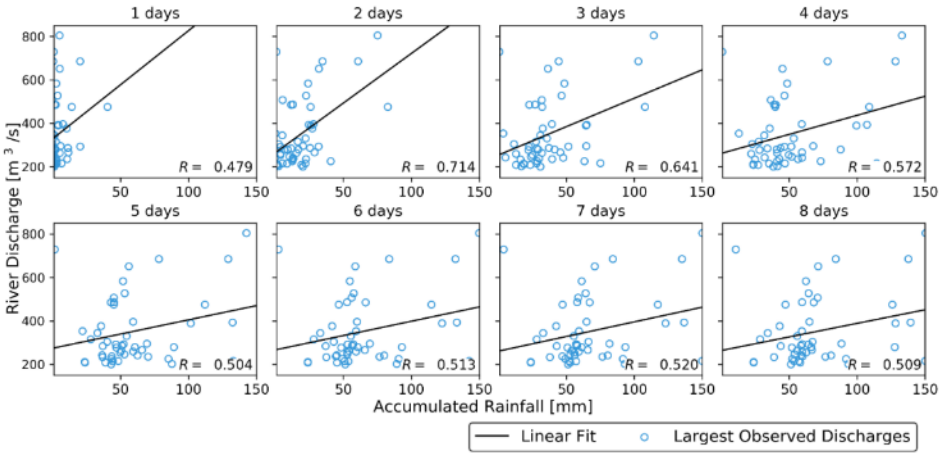
Source: Special Assistance for Project Implementation (SAPI) for Medjerda Flood Control Project, JICA (2018)

Figure 3-30 Subdivision du bassin de Medjerda en cinq zones Hydrologiques

Dans chaque zone hydrologique, une analyse des débits de pointe historiques et des précipitations accumulées précédentes a été menée pour examiner le temps de concentration de crue, qui est la période la plus fréquente, en jours, entre le début de l'événement pluvieux et le pic du débit. Les étapes de détermination dudit temps sont les suivantes :

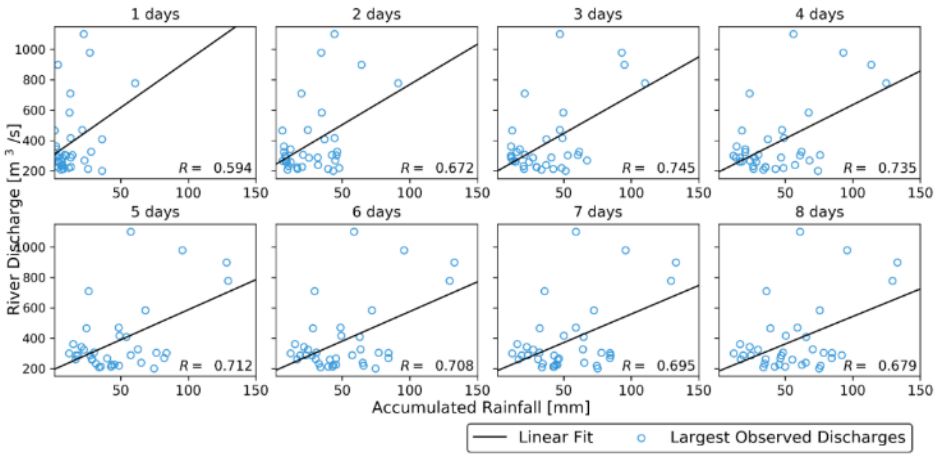
1. Pour la station d'observation du débit fluvial sélectionnée dans chaque zone, les événements de crue du débit de pointe au-dessus d'un certain seuil ont été collectés. Le seuil a été déterminé en fonction des crues observées existantes.
2. Les précipitations accumulées au cours des jours précédant les dates collectées en première étape sont calculées à l'aide de l'ensemble de données de précipitations maillées. Les précipitations sont accumulées pour les stations contribuant dans la surface du bassin versant.
3. Le débit de pointe de l'événement (étape 1) et les précipitations précédentes accumulées (étape 2) sont représentés sur un graphe. Le graphe est développé pour les différentes durées (nombre de jours avant que le débit maximal ne soit observé). Le temps de concentration de crues de chaque zone est déterminé en sélectionnant la durée qui produit la meilleure corrélation entre le débit de crue de pointe et les précipitations accumulées.

Les résultats de ces trois étapes sont présentés sur les Figure 3-31 à Figure 3-35, où les précipitations accumulées sont indiquées pour différentes durées (jours avant le débit de pointe).



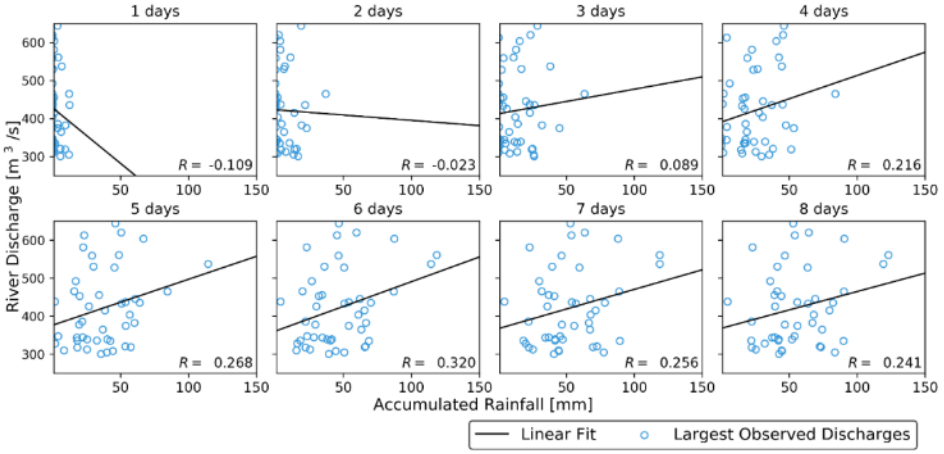
Source: Special Assistance for Project Implementation (SAPI) for Medjerda Flood Control Project, JICA (2018)

Figure 3-31 Corrélation entre les débits de pointe observés et les précipitations accumulées pour la station de Jendouba située au niveau de l'exutoire de la Zone U1



Source: Special Assistance for Project Implementation (SAPI) for Medjerda Flood Control Project, JICA (2018)

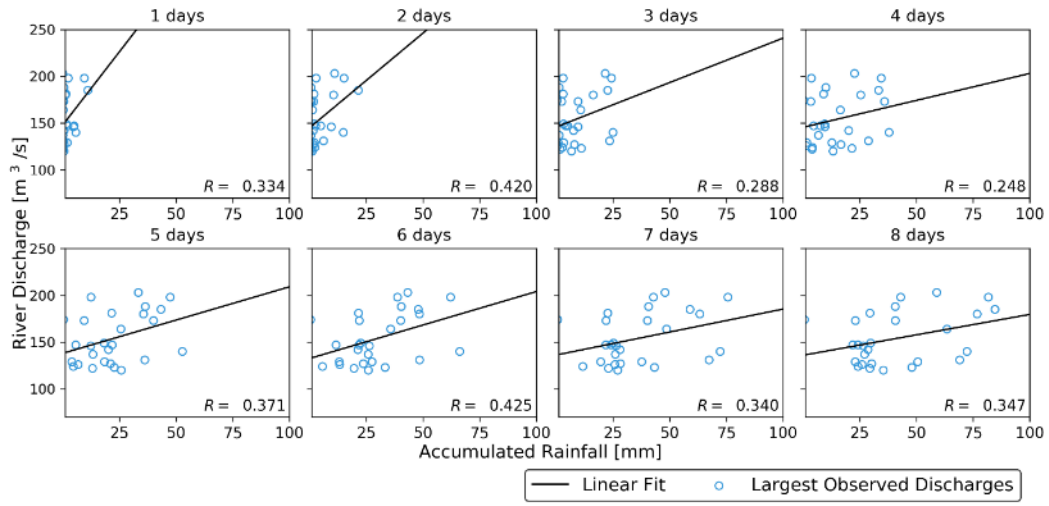
Figure 3-32 Corrélation entre les débits de pointe observés et les précipitations accumulées pour la station de Mellegue située au niveau de la Zone M



Source: Special Assistance for Project Implementation (SAPI) for Medjerda Flood Control Project, JICA (2018)

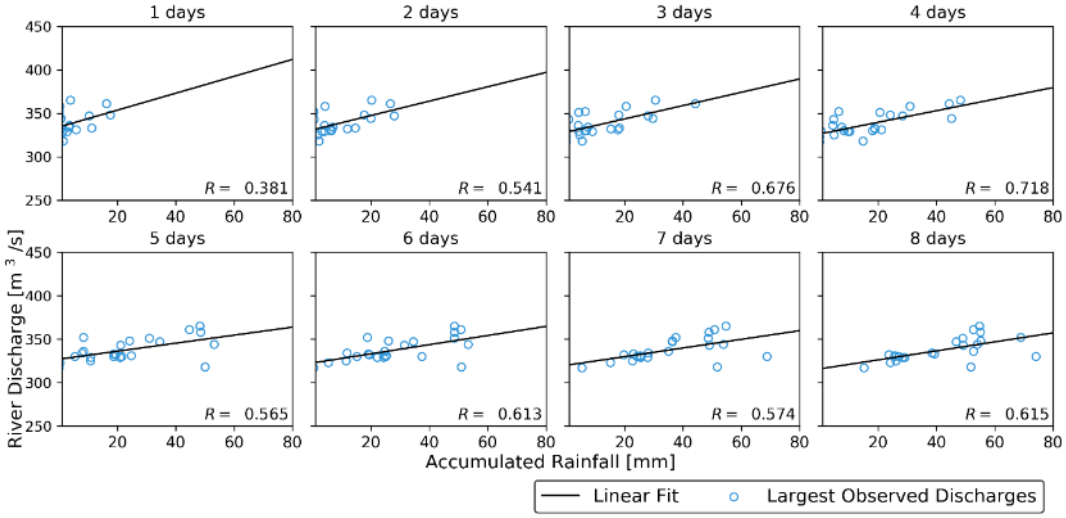
Figure 3-33 Corrélation entre les débits de pointe observés et les précipitations accumulées pour le barrage de sidi salem situé dans la Zone U2

Les corrélations relativement faibles indiquées sur les Figures ci-dessus résultent de l'utilisation des débits estimés et non des observations réelles. Les données relatives au débit qui atteint la retenue du Barrage de Sidi Salem n'ont pas été mesurées. Cependant, à partir du niveau d'eau de la Retenue et des apports et des écoulements de sortie enregistrées (par exemple, précipitations, débordements, écoulement du déversoir, évapotranspiration, production d'énergie électrique), des valeurs de débits ont pu être estimées.



Source: Special Assistance for Project Implementation (SAPI) for Medjerda Flood Control Project, JICA (2018)

Figure 3-34 Corrélation entre les débits de pointe observés et les précipitations accumulées de la station El Herri située dans la Zone D1



Source: Special Assistance for Project Implementation (SAPI) for Medjerda Flood Control Project, JICA (2018)

Figure 3-35 Corrélation entre les débits de pointe observés et les précipitations accumulées de la station Jedeida Ville située dans la Zone D2

Les courtes périodes d'observations disponibles du débit et le temps de latence causé par les barrages pourraient expliquer les corrélations relativement faibles observées sur les Figure 3-34 et Figure 3-35.

L'analyse de ces résultats a permis la détermination des durées de conception des événements pluviométrique pour chaque zone hydrologique présentées sur le Tableau 3-11. Il a été décidé que la durée des précipitations de conception pour la Zone U2 est de 5 jours, tandis que la durée des précipitations maximale obtenue par corrélation a été évaluée à 6 jours. Le débit d'écoulement pour le barrage de Sidi Salem a été estimé à partir du bilan hydrique au niveau de la Retenue et la précision ne pouvait être attendue. En raison du bilan de l'ensemble du bassin et de l'emplacement de la Zone U2, la durée de concentration des crues de 5 jours a été jugée appropriée pour la Zone U2.

Tableau 3-11 Conception des durées de précipitation pour chaque zone hydrologique

Bassin Versant	U1	M	U1+M+U2	U1+M+U2 +D1	U1+M+U2 +D1+D2
Surface du Bassin Versant (km^2)	2,460	10,769	18,002	21,749	23,264
Exutoire	Confluence d'Oued Mellegue & Medjerda	Confluence d'Oued Mellegue & Medjerda	Barrage de Sidi Salem	Barrage Laroussia	Estuaire
Station	Jendouba	Mellegue	Barrage Sidi Salem	El Herri	Jedeida Ville
Surface Contribuant dans les Débits (km^2)	2,460	9,206	18,002	21,566	21,884
Seuil du Débit (m^3/s)	200	200	300	125	320
Durée de Précipitation de Conception (Jours)	2	3	5	6	6

Source: Special Assistance for Project Implementation (SAPI) for Medjerda Flood Control Project, JICA (2018)

(2) Fréquences d'Analyse des Fortes Pluies

L'événement des plus grandes précipitations annuelles (précipitations maximales annuelles) a été identifié à partir des observations disponibles des débits des stations sélectionnées. L'échantillon des épisodes de précipitations maximales annuelles est souvent utilisé dans les analyses fréquentielles hydrologiques pour déterminer statistiquement l'occurrence des précipitations à fortes d'intensité.

Pour chacune des stations sélectionnées, différentes lois de probabilité ont été ajustées à l'échantillon des événements de précipitations maximales annuelles. Quatre (4) lois de probabilité ont été considérées dans le cadre de ce projet : la loi d'extremum généralisée (GEV), la loi de Gumbel (également connue sous le nom de la loi d'extremum généralisée type I), la loi exponentiel (SQQRT-ET) et la loi logarithmique Pearson de type III (Log-Pearson de type 3) (également appelée la loi gamma généralisée). L'ajustement des paramètres des lois de probabilités est restreint par les courtes périodes d'observations des débits disponibles, ce qui mène à la réduction de la taille des échantillons des épisodes de précipitations maximales annuelles. Pour faire face à ce revers, les techniques de JackKnife ont été utilisées pour ajustement des données disponibles. L'ajustement des lois aux données d'échantillonnage a été effectué en utilisant les moments de probabilités pondérés et les lois estimées ont été évaluées en tenant compte de deux aspects : l'erreur du nouvel échantillonnage et l'évaluation des moindres carrés SLSC (Switch Load and Signal Conditioning : SLSC $\leqq$ 0.04) d'ajustement. Les résultats du processus d'ajustement sont présentés sur les Tableau 3-12 à Tableau 3-17 et les Figure 3-36 à Figure 3-40. Dans ces tableaux, la loi des moindres carrés la plus faible et la loi avec l'erreur la plus faible de l'estimation JackKnife correspondant à la période de retour de 100 ans sont indiquées en gras.

Tableau 3-12 Précipitation moyenne annuelle maximale du j-jour par bassin par zone

Année	U1 Zone		M Zone		U1+M+U2 Zone		U1+M+U2+D1 Zone		U1+M+U2+D1+D2 Zone	
	Précipitation Annuelle_Max. 2-Jours (mm)	Date	Précipitation Annuelle_Max. 3-Jours (mm)	Date	Précipitation Annuelle_Max. 5-Jours (mm)	Date	Précipitation Annuelle_Max. 6-Jours (mm)	Date	Précipitation Annuelle_Max. 6-Jours (mm)	Date
1979	58.72	4/16/1979	52.45	4/17/1979	54.48	4/19/1979	57.79	4/16/1979	57.90	11/5/1979
1980	47.50	4/16/1980	54.48	3/6/1980	54.01	3/8/1980	60.45	3/9/1980	59.15	3/9/1980
1981	30.17	9/18/1981	29.14	1/1/1981	49.13	1/1/1981	55.81	1/2/1981	54.91	1/2/1981
1982	47.35	11/11/1982	50.46	11/11/1982	69.14	11/13/1982	84.02	11/15/1982	83.90	11/15/1982
1983	41.70	11/1/1983	39.65	6/22/1983	37.89	11/3/1983	38.94	10/5/1983	37.53	11/4/1983
1984	82.71	12/30/1984	66.95	12/30/1984	84.57	12/31/1984	85.64	12/31/1984	86.23	12/31/1984
1985	29.45	5/5/1985	41.82	1/1/1985	86.23	1/1/1985	84.67	1/2/1985	85.06	1/2/1985
1986	33.76	3/15/1986	31.27	3/20/1986	38.07	11/25/1986	43.80	3/19/1986	42.69	3/19/1986
1987	35.17	3/9/1987	39.13	3/10/1987	44.09	3/12/1987	41.79	3/13/1987	39.63	3/13/1987
1988	25.94	3/6/1988	30.92	6/8/1988	30.11	6/8/1988	33.73	3/10/1988	33.13	3/10/1988
1989	23.42	2/15/1989	31.70	9/1/1989	31.20	9/3/1989	33.38	9/4/1989	32.68	9/4/1989
1990	52.03	12/22/1990	75.37	12/23/1990	79.37	12/25/1990	77.50	12/26/1990	76.80	12/26/1990
1991	47.00	3/15/1991	52.43	3/16/1991	65.49	3/18/1991	66.04	3/19/1991	63.33	3/19/1991
1992	47.88	5/24/1992	59.82	5/25/1992	76.05	11/5/1992	86.34	11/6/1992	83.10	11/6/1992
1993	27.80	5/12/1993	30.12	3/27/1993	40.43	3/26/1993	44.37	3/27/1993	43.33	3/27/1993
1994	36.52	2/8/1994	34.10	2/18/1994	51.63	2/9/1994	57.50	2/9/1994	57.31	2/9/1994
1995	38.21	9/27/1995	40.93	9/21/1995	64.14	9/24/1995	67.12	9/24/1995	64.49	9/24/1995
1996	55.23	2/28/1996	33.12	2/7/1996	60.32	2/9/1996	66.40	2/9/1996	65.08	2/9/1996
1997	42.05	11/22/1997	42.70	11/23/1997	46.80	11/23/1997	48.31	11/12/1997	49.09	11/12/1997
1998	44.04	9/23/1998	46.14	11/28/1998	52.32	9/24/1998	55.07	9/25/1998	55.87	9/25/1998
1999	35.39	11/8/1999	45.59	11/29/1999	55.96	1/19/1999	66.95	1/20/1999	68.99	1/20/1999
2000	60.11	5/26/2000	49.62	5/26/2000	61.11	5/26/2000	56.64	5/27/2000	54.03	5/27/2000
2001	30.15	1/14/2001	37.41	5/5/2001	40.12	5/11/2001	43.49	5/11/2001	42.67	5/11/2001
2002	28.75	11/7/2002	34.21	11/7/2002	50.70	11/8/2002	50.72	11/9/2002	50.29	11/9/2002
2003	109.22	12/12/2003	109.65	12/12/2003	128.80	12/12/2003	135.83	12/13/2003	135.56	12/13/2003
2004	46.57	11/13/2004	55.33	6/16/2004	85.40	11/14/2004	85.15	11/15/2004	84.12	11/15/2004
2005	61.34	12/14/2005	58.80	12/14/2005	73.74	12/14/2005	79.02	12/14/2005	81.79	12/14/2005
2006	63.71	12/14/2006	48.56	12/15/2006	103.30	12/17/2006	118.23	12/18/2006	123.21	12/18/2006
2007	34.86	12/30/2007	50.80	3/10/2007	82.60	3/12/2007	89.65	3/12/2007	90.08	3/12/2007
2008	35.83	12/3/2008	30.95	4/1/2008	41.85	1/1/2008	42.88	1/1/2008	44.29	1/1/2008
2009	73.26	4/11/2009	73.74	4/12/2009	104.84	4/12/2009	108.94	4/12/2009	109.66	4/12/2009
2010	46.73	11/4/2010	47.59	4/18/2010	64.82	11/6/2010	70.03	11/7/2010	69.36	11/7/2010
2011	44.23	10/30/2011	42.67	11/1/2011	89.80	11/1/2011	104.11	11/2/2011	106.42	11/2/2011
2012	55.87	2/22/2012	45.62	9/2/2012	53.88	2/23/2012	62.62	3/10/2012	64.19	3/10/2012
2013	51.26	11/12/2013	32.83	11/13/2013	50.48	11/14/2013	50.12	11/15/2013	48.22	11/15/2013

Source: Equipe d'Etude de la JICA

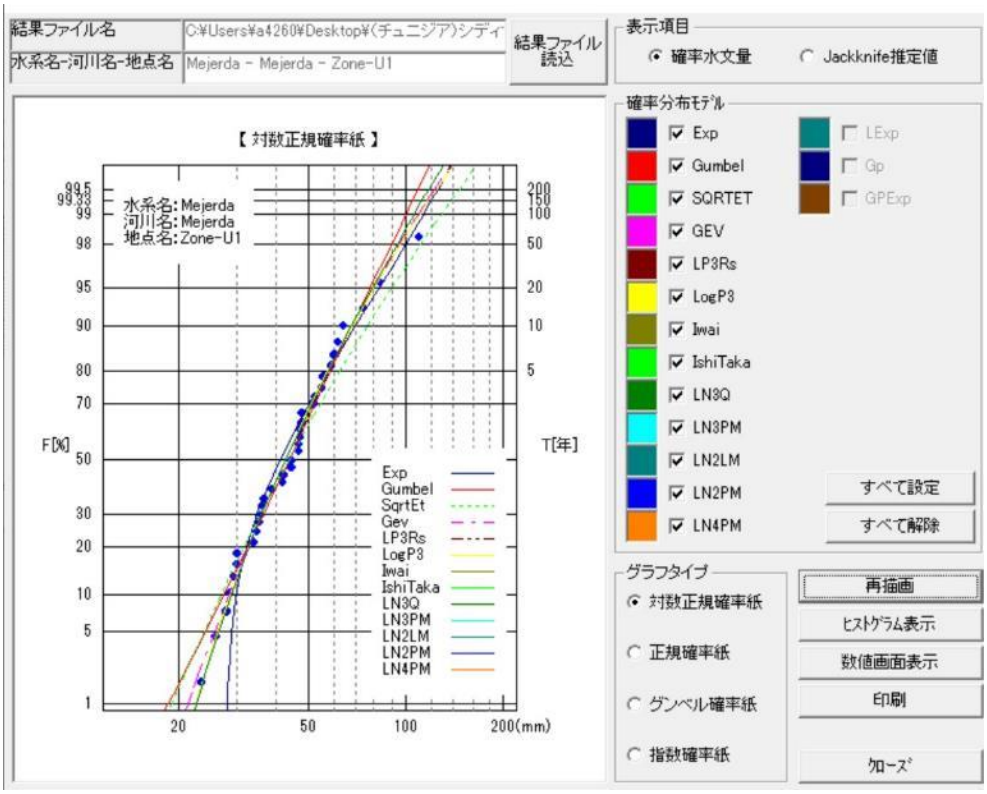
Tableau 3-13 Résultats de l'ajustement des distributions aux echantillons des précipitations annuelles maximales (Zone U1)

	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM	Lexp	Gp	GpExp
X-COR(99%)	0.987	0.982	0.993	0.992	—	0.992	—	—	0.99	—	—	—	—	—	—	—
P-COR(99%)	0.972	0.995	0.994	0.995	—	0.994	—	—	0.994	—	—	—	—	—	—	—
SLSC(99%)	**0.033**	**0.041**	**0.040**	**0.024**	—	**0.023**	—	—	**0.023**	—	—	—	—	—	—	—
Log likelihood 対数尤度	−136.9	−143.9	−144.4	−143.2	—	−143	—	—	−143	—	—	—	—	—	—	—
pAIC	277.8	291.7	292.7	292.4	—	292	—	—	291.9	—	—	—	—	—	—	—
X-COR(50%)	0.982	0.974	0.986	0.985	—	0.992	—	—	0.982	—	—	—	—	—	—	—
P-COR(50%)	0.98	0.983	0.976	0.985	—	0.994	—	—	0.985	—	—	—	—	—	—	—
SLSC(50%)	0.043	0.079	0.075	0.043	—	0.041	—	—	0.047	—	—	—	—	—	—	—

Valeur de JackKnife Estimée	Période de Retour	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM	Lexp	Gp	GpExp
	2	40.8	43.6	43.5	42.5	—	42.4	—	—	38.8	—	—	—	—	—	—	—
	3	48.2	50.7	52.0	49.5	—	49.4	—	—	46.6	—	—	—	—	—	—	—
	5	57.6	58.6	62.2	57.8	—	57.7	—	—	57.5	—	—	—	—	—	—	—
	10	70.3	68.6	76.2	68.8	—	68.9	—	—	74.3	—	—	—	—	—	—	—
	20	83.1	78.1	90.8	80.1	—	80.2	—	—	93.3	—	—	—	—	—	—	—
	30	90.5	83.6	99.7	86.9	—	87.0	—	—	105.5	—	—	—	—	—	—	—
	50	99.9	90.5	111.4	95.5	—	95.8	—	—	121.9	—	—	—	—	—	—	—
	80	108.6	96.8	122.6	103.5	—	104.1	—	—	138.2	—	—	—	—	—	—	—
	100	112.7	99.7	128.0	107.4	—	108.1	—	—	146.3	—	—	—	—	—	—	—
	150	120.1	105.1	138.2	114.4	—	115.4	—	—	161.6	—	—	—	—	—	—	—
	200	125.4	109.0	145.7	119.4	—	120.7	—	—	173.0	—	—	—	—	—	—	—
	400	138.1	118.2	164.4	131.5	—	133.8	—	—	202.3	—	—	—	—	—	—	—
	500	142.2	121.1	170.6	135.4	—	138.1	—	—	212.3	—	—	—	—	—	—	—
	1000	155	130.3	190.6	147.1	—	151.6	—	—	244.9	—	—	—	—	—	—	—
	10000	197.3	160.9	264.5	181.3	—	197.5	—	—	373.5	—	—	—	—	—	—	—
	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

JackKnife推定誤差 Erreur de JackKnife Estimée	Période de Retour	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM	Lexp	Gp	GpExp
	2	2.3	2.6	2.3	2.6	—	2.6	—	—	2.6	—	—	—	—	—	—	—
	3	3.2	3.6	2.5	3.1	—	3.2	—	—	3.2	—	—	—	—	—	—	—
	5	4.7	4.8	2.7	4.1	—	4.3	—	—	4.3	—	—	—	—	—	—	—
	10	6.9	6.5	2.9	6.4	—	6.7	—	—	6.7	—	—	—	—	—	—	—
	20	9.1	8.2	3.2	10.1	—	10.3	—	—	10.1	—	—	—	—	—	—	—
	30	10.5	9.2	3.3	13.0	—	13.0	—	—	12.4	—	—	—	—	—	—	—
	50	12.2	10.5	3.5	17.2	—	16.9	—	—	15.6	—	—	—	—	—	—	—
	80	13.7	11.6	3.6	21.8	—	21.1	—	—	18.9	—	—	—	—	—	—	—
	100	14.5	12.1	**3.7**	24.2	—	23.3	—	—	20.6	—	—	—	—	—	—	—
	150	15.8	13.1	3.9	29.0	—	27.7	—	—	23.9	—	—	—	—	—	—	—
	200	16.8	13.8	3.9	32.8	—	31.0	—	—	26.4	—	—	—	—	—	—	—
	400	19.1	15.5	4.2	43.1	—	40.2	—	—	32.8	—	—	—	—	—	—	—
	500	19.9	16.0	4.2	46.8	—	43.5	—	—	35.0	—	—	—	—	—	—	—
	1000	22.2	17.7	4.5	59.7	—	54.9	—	—	42.3	—	—	—	—	—	—	—
	10000	30	23.3	5.2	119.0	—	107.3	—	—	72.0	—	—	—	—	—	—	—
	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Note) SLSC (Standard Least Squares Criterion, Critère des Moindre Carrés Standard)
Note) LS: Least Squares Method Error, Méthode des Erreurs des Moindres Carrées
Source: Equipe d'Etude de la JICA (à la base de JICE Hydrological Statistics Utility)



Source: Equipe d'Etude de la JICA (à la base de JICE Hydrological Statistics Utility)

Figure 3-36 Résultats d'ajustement des précipitations annuelles maximales et du modèle de la loi de probabilité (Zone U1)

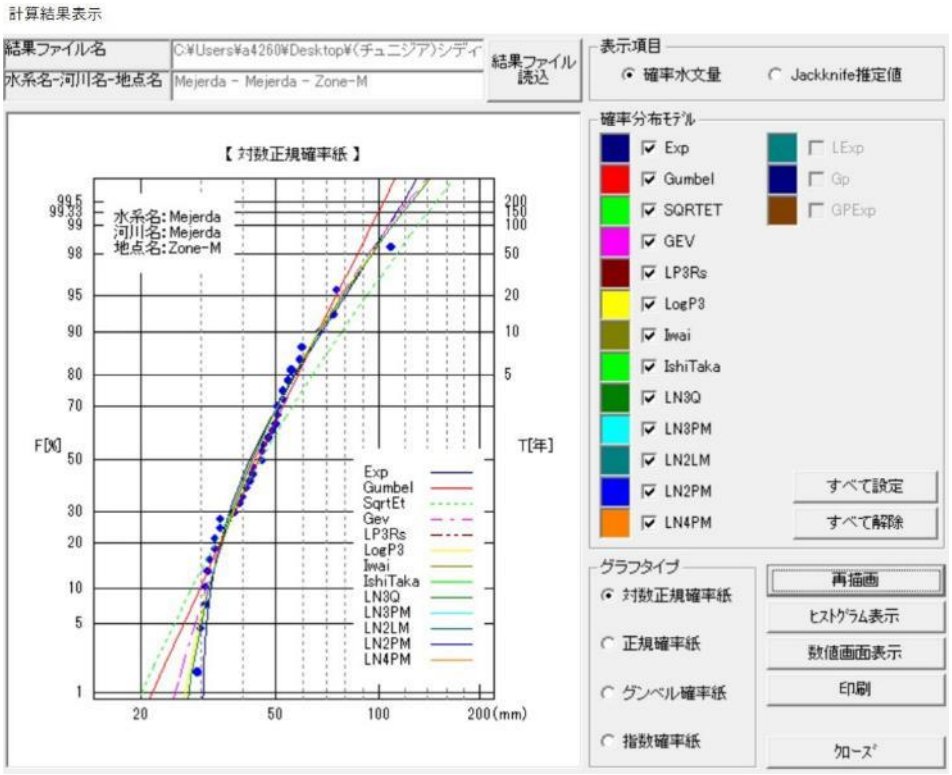
Tableau 3-14 Résultats de l'ajustement des distributions aux echantillons des précipitations annuelles maximales (Zone M)

	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM	Lexp	Gp	GpExp
X-COR(99%)	0.983	0.97	0.985	0.988	—	0.989	—	—	0.988	—	—	—	—	—	—	—
P-COR(99%)	0.984	0.994	0.992	0.993	—	0.991	—	—	0.99	—	—	—	—	—	—	—
SLSC(99%)	**0.038**	0.054	0.058	**0.029**	—	**0.029**	—	—	**0.033**	—	—	—	—	—	—	—
Log likelihood 対数尤度	−133.6	−140.2	−142.1	−138.8	—	−138.1	—	—	−137.9	—	—	—	—	—	—	—
pAIC	271.2	284.4	288.2	283.6	—	282.3	—	—	281.9	—	—	—	—	—	—	—
X-COR(50%)	0.969	0.96	0.975	0.979	—	0.989	—	—	0.979	—	—	—	—	—	—	—
P-COR(50%)	0.982	0.985	0.968	0.989	—	0.991	—	—	0.988	—	—	—	—	—	—	—
SLSC(50%)	0.058	0.102	0.105	0.047	—	0.045	—	—	0.05	—	—	—	—	—	—	—

Valeur de JackKnife Estimée	Période de Retour	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM	Lexp	Gp	GpExp
	2	41.9	44.5	45.1	43.1	—	42.8	—	—	47.0	—	—	—	—	—	—	—
	3	48.7	51.0	53.7	49.3	—	49.1	—	—	52.5	—	—	—	—	—	—	—
	5	57.2	58.2	64.0	56.8	—	56.8	—	—	56.8	—	—	—	—	—	—	—
	10	68.8	67.2	78.2	67.3	—	67.6	—	—	58.8	—	—	—	—	—	—	—
	20	80.4	75.9	92.9	78.4	—	78.8	—	—	56.7	—	—	—	—	—	—	—
	30	87.2	80.9	101.9	85.2	—	85.7	—	—	53.6	—	—	—	—	—	—	—
	50	95.7	87.1	113.7	94.1	—	94.8	—	—	47.5	—	—	—	—	—	—	—
	80	103.6	92.9	125.0	102.6	—	103.5	—	—	39.7	—	—	—	—	—	—	—
	100	107.3	95.6	130.5	106.7	—	107.7	—	—	35.3	—	—	—	—	—	—	—
	150	114.1	100.5	140.8	114.4	—	115.6	—	—	25.8	—	—	—	—	—	—	—
	200	118.9	104.0	148.4	120.0	—	121.4	—	—	18.0	—	—	—	—	—	—	—
	400	130.5	112.3	167.2	133.6	—	135.8	—	—	−4.9	—	—	—	—	—	—	—
	500	134.3	115.0	173.5	138.1	—	140.5	—	—	−13.5	—	—	—	—	—	—	—
	1000	145.9	123.4	193.6	152.0	—	155.7	—	—	−44.5	—	—	—	—	—	—	—
	10000	184.4	151.2	268.0	195.2	—	208.0	—	—	−200.7	—	—	—	—	—	—	—
	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

JackKnife推定誤差 Erreur de JackKnife Estimée	Période de Retour	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM	Lexp	Gp	GpExp
	2	2.1	2.4	2.1	2.3	—	2.4	—	—	2.7	—	—	—	—	—	—	—
	3	3.0	3.4	2.2	2.9	—	2.9	—	—	3.1	—	—	—	—	—	—	—
	5	4.5	4.7	2.4	3.8	—	4.0	—	—	4.0	—	—	—	—	—	—	—
	10	6.7	6.4	2.6	6.1	—	6.5	—	—	7.0	—	—	—	—	—	—	—
	20	8.9	8.0	2.8	9.9	—	10.5	—	—	11.9	—	—	—	—	—	—	—
	30	10.2	9.0	2.9	12.8	—	13.5	—	—	15.6	—	—	—	—	—	—	—
	50	11.9	10.2	3.1	17.3	—	17.9	—	—	21.0	—	—	—	—	—	—	—
	80	13.5	11.3	3.2	22.3	—	22.7	—	—	26.7	—	—	—	—	—	—	—
	100	14.2	11.9	**3.3**	24.9	—	**25.3**	—	—	29.7	—	—	—	—	—	—	—
	150	15.5	12.8	3.4	30.3	—	30.4	—	—	35.6	—	—	—	—	—	—	—
	200	16.5	13.5	3.5	34.5	—	34.4	—	—	40.1	—	—	—	—	—	—	—
	400	18.8	15.2	3.7	46.3	—	45.5	—	—	52.4	—	—	—	—	—	—	—
	500	19.5	15.7	3.8	50.7	—	49.6	—	—	56.7	—	—	—	—	—	—	—
	1000	21.8	17.3	4.0	65.9	—	63.7	—	—	71.6	—	—	—	—	—	—	—
	10000	29.4	22.8	4.6	140.8	—	132.7	—	—	137.3	—	—	—	—	—	—	—
	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Note) SLSC (Standard Least Squares Criterion, Critère des Moindre Carrés Standard)
Note) LS: Least Squares Method Error, Méthode des Erreurs des Moindres Carrées
Source: Equipe d'Etude de la JICA (à la base de JICE Hydrological Statistics Utility)



Source: Equipe d'Etude de la JICA (à la base de JICE Hydrological Statistics Utility)

Figure 3-37 Résultats d'ajustement des précipitations annuelles maximales et du modèle de la loi de probabilité (Zone M)

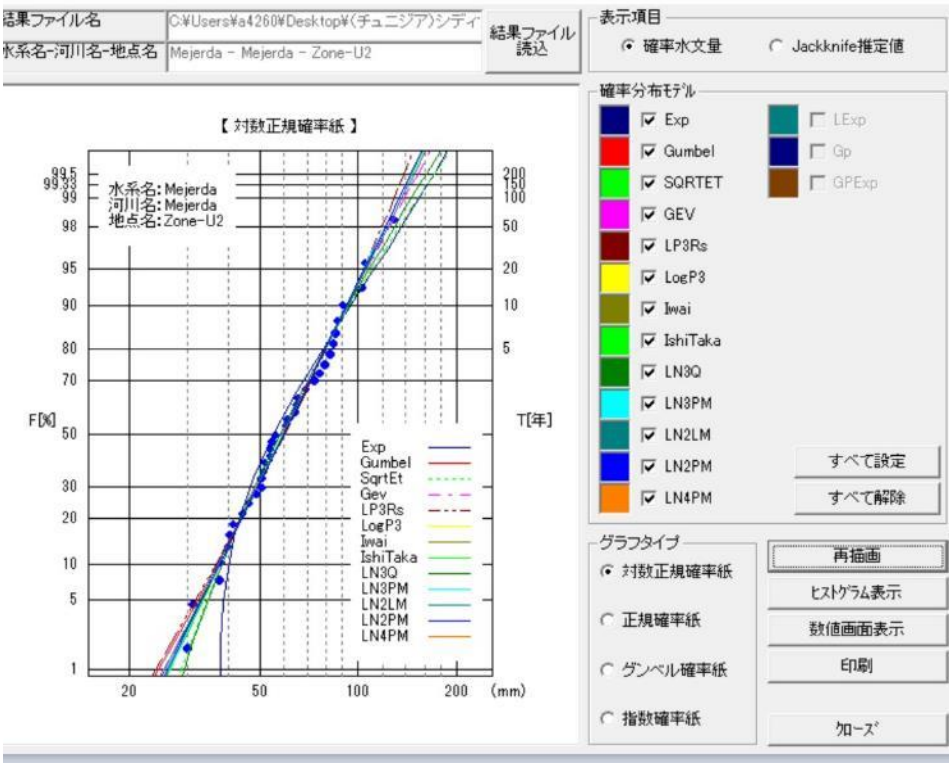
Tableau 3-15 Résultats de l'ajustement des distributions aux echantillons des précipitations annuelles maximales (Zone U2)

	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM	Lexp	Gp	GpExp
X-COR(99%)	0.982	0.995	0.992	0.995	1.0	—	0.995	0.995	1.0	0.995	0.995	0.995	—	—	—	—
P-COR(99%)	0.965	0.996	0.996	0.996	1.0	—	0.996	0.996	1.0	0.996	0.996	0.996	—	—	—	—
SLSC(99%)	**0.039**	**0.020**	**0.024**	**0.019**	0.0	—	**0.021**	**0.021**	0.0	**0.021**	**0.021**	**0.021**	—	—	—	—
Log likelihood 対数尤度	−148	−155.4	−155.3	−155.3	−155.5	—	−155.2	−155.2	−155.1	−155.2	−155.2	−155.2	—	—	—	—
pAIC	300	314.8	314.6	316.6	316.9	—	316.4	316.3	316.3	316.4	314.5	314.4	—	—	—	—
X-COR(50%)	0.987	0.99	0.986	0.989	1.0	—	0.99	0.99	1.0	0.99	0.99	0.99	—	—	—	—
P-COR(50%)	0.987	0.987	0.985	0.987	1.0	—	0.987	0.987	1.0	0.987	0.988	0.987	—	—	—	—
SLSC(50%)	0.054	0.034	0.044	0.035	0.0	—	0.042	0.043	0.0	0.042	0.038	0.042	—	—	—	—

Valeur de JackKnife Estimée	Période de Retour	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM	Lexp	Gp	GpExp
	2	55.2	59.1	56.7	58.7	59.1	—	67.2	59.1	51.4	59.4	59.2	59.2	—	—	—	—
	3	65.4	68.9	65.3	68.5	69.1	—	75.8	69.0	63.1	69.4	69.0	68.8	—	—	—	—
	5	78.3	79.7	75.5	79.6	80.0	—	81.5	80.0	79.8	80.3	79.9	79.5	—	—	—	—
	10	95.8	93.4	89.3	93.7	93.6	—	83.7	93.5	105.6	93.6	93.4	92.7	—	—	—	—
	20	113.3	106.5	103.4	107.4	106.4	—	81.5	106.2	135.1	106.0	106.2	105.2	—	—	—	—
	30	123.5	114.0	112.0	115.2	113.6	—	78.4	113.4	154.0	112.9	113.5	112.4	—	—	—	—
	50	136.4	123.5	123.2	125.0	122.5	—	73.0	122.2	179.5	121.4	122.7	121.3	—	—	—	—
	80	148.3	132.1	133.8	133.9	130.6	—	66.4	130.3	204.8	129.0	131.1	129.5	—	—	—	—
	100	153.9	136.2	139.0	138.0	134.3	—	62.8	134.1	217.4	132.6	135.1	133.4	—	—	—	—
	150	164.2	143.6	148.7	145.5	141.1	—	55.5	140.9	241.3	139.1	142.4	140.4	—	—	—	—
	200	171.4	148.8	155.7	150.8	145.9	—	49.7	145.7	259.0	143.6	147.5	145.5	—	—	—	—
	400	188.9	161.5	173.2	163.1	157.3	—	33.8	157.2	304.5	154.3	160.1	157.6	—	—	—	—
	500	194.5	165.5	179.0	166.9	160.9	—	28.1	160.9	320.0	157.7	164.1	161.6	—	—	—	—
	1000	212.0	178.2	197.6	178.5	172.0	—	8.4	172.3	370.7	168.2	176.8	173.9	—	—	—	—
	10000	270.1	220.1	265.5	211.5	207.3	—	−77.1	209.8	569.8	202.2	220.5	216.1	—	—	—	—
	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

JackKnife推定誤差 Erreur de JackKnife Estimée	Période de Retour	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM	Lexp	Gp	GpExp
	2	3.3	3.5	3.4	4.1	4.0	—	3.6	4.1	4.8	4.1	3.5	3.5	—	—	—	—
	3	4.0	4.4	4.1	4.9	4.8	—	4.4	4.9	5.1	4.9	4.3	4.3	—	—	—	—
	5	5.4	5.6	5.1	5.8	5.7	—	5.5	5.8	5.4	5.8	5.6	5.5	—	—	—	—
	10	7.6	7.2	6.5	7.3	7.4	—	7.5	7.3	7.3	7.3	7.6	7.3	—	—	—	—
	20	9.8	8.9	8.1	9.8	9.7	—	10.2	9.6	11.2	9.6	9.8	9.3	—	—	—	—
	30	11.2	9.9	9.1	11.8	11.4	—	12.0	11.3	14.2	11.3	11.1	10.5	—	—	—	—
	50	12.9	11.2	10.5	14.9	13.7	—	14.5	13.8	18.7	13.7	12.9	12.2	—	—	—	—
	80	14.5	12.3	11.8	18.5	16.2	—	17.1	16.4	23.5	16.3	14.6	13.7	—	—	—	—
	100	15.3	12.9	**12.5**	20.4	17.4	—	18.4	17.7	26.0	17.6	15.4	14.5	—	—	—	—
	150	16.7	13.9	13.7	24.1	19.8	—	20.9	20.2	30.8	20.1	16.9	15.9	—	—	—	—
	200	17.6	14.6	14.6	27.1	21.7	—	22.8	22.2	34.4	22.0	18.1	16.9	—	—	—	—
	400	20.0	16.3	16.9	35.2	26.4	—	27.7	27.2	44.1	27.0	20.9	19.5	—	—	—	—
	500	20.8	16.8	17.7	38.1	28.0	—	29.3	29.0	47.4	28.7	21.8	20.4	—	—	—	—
	1000	23.2	18.6	20.2	47.9	33.3	—	34.8	34.7	58.7	34.4	24.9	23.2	—	—	—	—
	10000	31.2	24.3	29.6	90.7	53.8	—	56.7	57.5	105.2	56.9	36.1	33.4	—	—	—	—
	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Note) SLSC (Standard Least Squares Criterion, Critère des Moindre Carrés Standard)
Note) LS: Least Squares Method Error, Méthode des Erreurs des Moindres Carrées
Source: Equipe d'Etude de la JICA (à la base de JICE Hydrological Statistics Utility)



Source: Equipe d'Etude de la JICA (à la base de JICE Hydrological Statistics Utility)

Figure 3-38 Résultats d'ajustement des précipitations annuelles maximales et du modèle de la loi de probabilité (Zone U2)

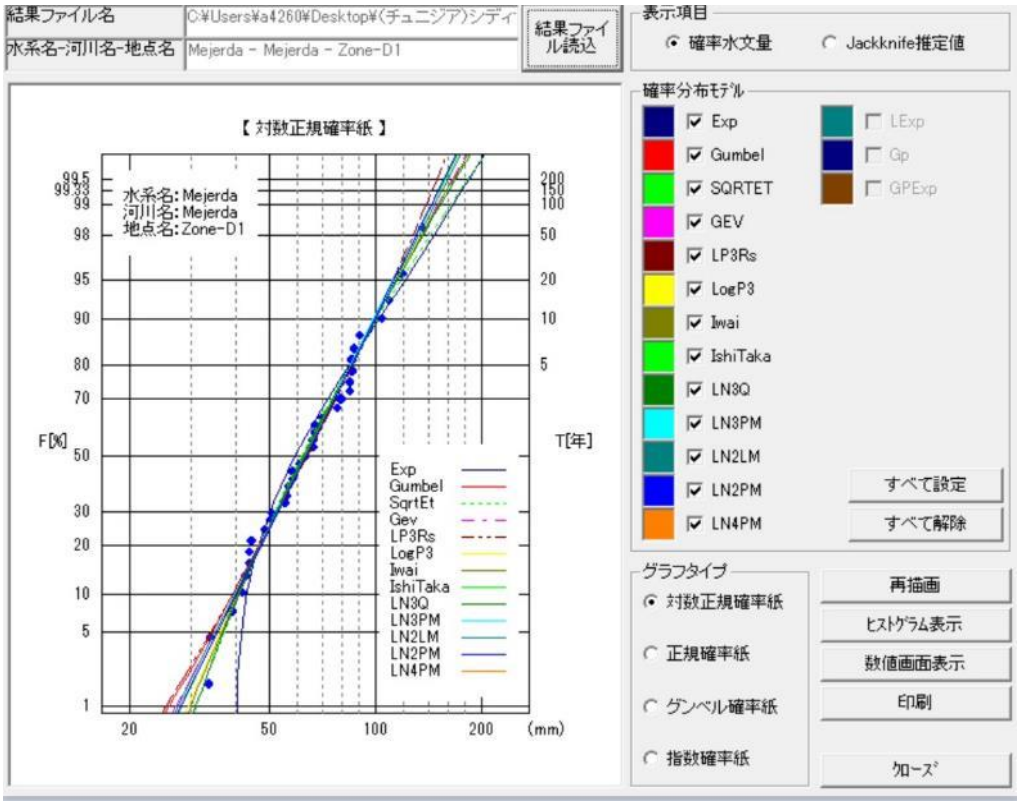
Tableau 3-16 Résultats de l'ajustement des distributions aux echantillons des précipitations annuelles maximales (Zone D1)

	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM	Lexp	Gp	GpExp
X-COR(99%)	0.982	0.995	0.992	0.995	0.993	0.995	0.995	0.995	0.994	0.995	0.995	0.995	–	–	–	–
P-COR(99%)	0.972	0.996	0.995	0.996	0.995	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	–	–	–	–
SLSC(99%)	**0.038**	**0.021**	**0.024**	**0.020**	**0.028**	**0.022**	**0.022**	**0.024**	**0.023**	**0.024**	**0.023**	**0.024**	–	–	–	–
Log likelihood 対数尤度	−150.7	−158	−157.7	−157.9	−158	−157.6	−157.5	−157.7	−157.5	−157.7	−157.8	−157.7	–	–	–	–
pAIC	305.3	319.9	319.4	321.7	322.1	321.3	321.1	321.4	321	321.5	319.5	319.5	–	–	–	–
X-COR(50%)	0.987	0.989	0.986	0.989	0.989	0.995	0.989	0.989	0.988	0.989	0.989	0.989	–	–	–	–
P-COR(50%)	0.982	0.982	0.981	0.981	0.982	0.996	0.981	0.981	0.981	0.981	0.982	0.981	–	–	–	–
SLSC(50%)	0.055	0.036	0.044	0.036	0.049	0.042	0.043	0.045	0.045	0.045	0.041	0.045	–	–	–	–

Valeur de JackKnife Estimée	Période de Retour	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM	Lexp	Gp	GpExp
	2	58.9	63.1	61.5	62.6	63.3	62.5	55.7	63.2	58.6	63.5	63.2	63.2	–	–	–	–
	3	69.9	73.6	72.0	73.2	74.0	73.0	67.3	73.9	69.8	74.2	73.7	73.5	–	–	–	–
	5	83.8	85.4	84.5	85.1	85.7	84.8	83.8	85.6	84.4	85.9	85.4	85.0	–	–	–	–
	10	102.7	100.1	101.5	100.4	100.2	100.0	109.0	100.1	105.1	100.2	100.0	99.2	–	–	–	–
	20	121.6	114.2	119.1	115.2	113.8	114.7	137.2	113.6	127.3	113.4	113.9	112.7	–	–	–	–
	30	132.6	122.4	129.8	123.7	121.5	123.3	155.2	121.3	141.1	120.8	121.8	120.4	–	–	–	–
	50	146.5	132.5	143.8	134.4	130.9	134.1	179.3	130.8	159.2	129.9	131.8	130.1	–	–	–	–
	80	159.3	141.8	157.2	144.0	139.4	144.1	203.0	139.4	176.7	138.1	140.9	138.9	–	–	–	–
	100	165.4	146.3	163.7	148.6	143.4	148.9	214.8	143.5	185.2	142.0	145.2	143.1	–	–	–	–
	150	176.5	154.3	175.8	156.8	150.6	157.6	237.0	150.8	201.3	148.9	153.1	150.7	–	–	–	–
	200	184.3	159.9	184.7	162.6	155.7	163.9	253.4	156.0	213.0	153.8	158.7	156.2	–	–	–	–
	400	203.2	173.6	206.8	176.2	167.8	179.0	295.3	168.4	242.6	165.4	172.3	169.3	–	–	–	–
	500	209.2	178.0	214.1	180.4	171.6	183.9	309.4	172.4	252.6	169.1	176.7	173.6	–	–	–	–
	1000	228.1	191.6	237.7	193.4	183.4	199.4	355.7	184.8	284.6	180.6	190.5	186.9	–	–	–	–
	10000	290.8	236.8	324.4	231.0	221.3	251.8	534.3	225.7	405.3	217.8	238.1	232.7	–	–	–	–
	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

JackKnife推定誤差 Erreur de JackKnife Estimée	Période de Retour	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM	Lexp	Gp	GpExp
	2	3.5	3.8	3.7	4.4	4.3	4.3	4.0	4.4	5.2	4.4	3.8	3.8	–	–	–	–
	3	4.4	4.7	4.7	5.2	5.2	5.1	4.8	5.3	5.6	5.3	4.7	4.6	–	–	–	–
	5	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.1	6.0	6.3	6.0	6.3	6.1	5.9	–	–	–	–
	10	8.2	**7.8**	8.3	7.9	7.9	7.9	8.0	7.8	7.5	7.8	8.2	7.9	–	–	–	–
	20	10.6	9.7	10.6	10.6	9.9	10.5	10.4	9.9	10.7	9.9	10.5	10.0	–	–	–	–
	30	12.1	10.7	12.2	12.8	11.2	12.4	12.1	11.4	13.3	11.4	11.9	11.3	–	–	–	–
	50	14.0	12.1	14.2	16.3	13.2	15.3	14.5	13.6	17.3	13.5	13.8	13.1	–	–	–	–
	80	15.7	13.3	16.1	20.1	15.3	18.4	17.0	15.9	21.5	15.8	15.6	14.7	–	–	–	–
	100	16.5	**13.9**	17.1	22.2	16.3	20.1	18.3	17.0	23.7	17.0	16.5	15.6	–	–	–	–
	150	18.0	15.0	18.9	26.3	18.4	23.3	20.7	19.3	28.1	19.2	18.2	17.1	–	–	–	–
	200	19.1	15.8	20.3	29.5	20.0	25.8	22.5	21.1	31.4	21.0	19.4	18.2	–	–	–	–
	400	21.7	17.6	23.7	38.2	24.1	32.7	27.3	25.6	40.1	25.5	22.4	20.9	–	–	–	–
	500	22.5	18.2	24.8	41.3	25.5	35.1	29.0	27.2	43.1	27.1	23.4	21.8	–	–	–	–
	1000	25.1	20.1	28.5	52.0	30.2	43.3	34.4	32.5	53.3	32.3	26.7	24.8	–	–	–	–
	10000	33.7	26.3	42.5	98.3	48.7	79.6	56.5	53.6	95.4	53.3	38.7	35.7	–	–	–	–
	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Note) SLSC (Standard Least Squares Criterion, Critère des Moindre Carrés Standard)
Note) LS: Least Squares Method Error, Méthode des Erreurs des Moindres Carrées
Source: Equipe d'Etude de la JICA (à la base de JICE Hydrological Statistics Utility)



Source: Equipe d'Etude de la JICA (à la base de JICE Hydrological Statistics Utility)

Figure 3-39 Résultats d'ajustement des précipitations annuelles maximales et du modèle de la loi de probabilité (Zone D1)

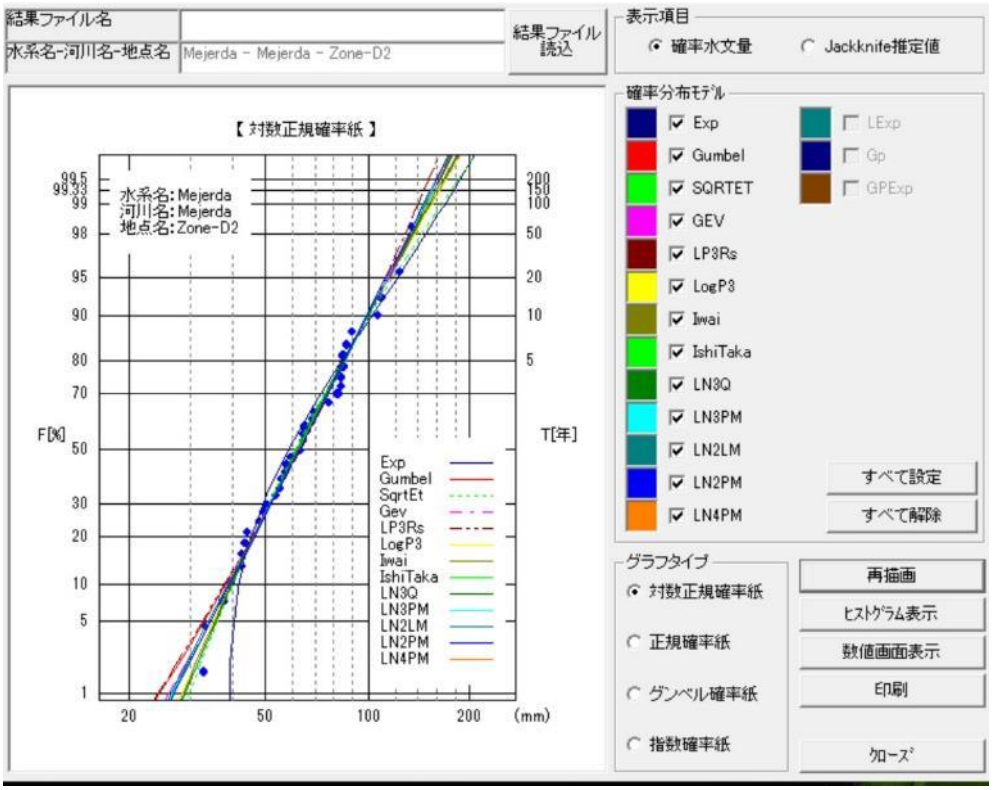
Tableau 3-17 Résultats de l'ajustement des distributions aux echantillons des précipitations annuelles maximales (Zone D2)

	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM	Lexp	Gp	GpExp
X-COR(99%)	0.982	0.994	0.991	0.994	0.992	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	–	–	–	–
P-COR(99%)	0.974	0.996	0.996	0.996	0.995	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	–	–	–	–
SLSC(99%)	**0.038**	**0.023**	**0.025**	**0.022**	**0.029**	**0.022**	**0.022**	**0.024**	**0.023**	**0.024**	**0.023**	**0.024**	–	–	–	–
Log likelihood 対数尤度	−151.6	−158.8	−158.5	−158.6	−158.9	−158.4	−158.3	−158.5	−158.3	−158.5	−158.6	−158.5	–	–	–	–
pAIC	307.2	321.6	320.9	323.3	323.7	322.8	322.6	323	322.6	323	321.1	321	–	–	–	–
X-COR(50%)	0.984	0.986	0.982	0.985	0.986	0.994	0.985	0.986	0.985	0.986	0.986	0.986	–	–	–	–
P-COR(50%)	0.981	0.98	0.979	0.98	0.981	0.996	0.98	0.98	0.98	0.98	0.981	0.98	–	–	–	–
SLSC(50%)	0.056	0.041	0.047	0.041	0.054	0.046	0.046	0.049	0.048	0.049	0.045	0.049	–	–	–	–

Valeur de JackKnife Estimée	Période de Retour	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM	Lexp	Gp	GpExp
	2	58.4	62.7	61.0	62.1	62.9	62.0	58.1	62.8	68.4	63.1	62.7	62.7	–	–	–	–
	3	69.7	73.5	71.8	72.9	73.9	72.7	69.5	73.8	78.1	74.2	73.5	73.3	–	–	–	–
	5	84.0	85.6	84.6	85.2	86.0	84.9	84.3	85.8	85.9	86.2	85.6	85.1	–	–	–	–
	10	103.4	100.7	102.0	101.0	100.9	100.6	105.8	100.7	91.6	100.8	100.6	99.8	–	–	–	–
	20	122.8	115.2	120.1	116.5	114.8	116.0	128.9	114.6	93.3	114.4	115.0	113.8	–	–	–	–
	30	134.1	123.6	131.2	125.5	122.7	125.0	143.3	122.5	92.6	122.0	123.3	121.9	–	–	–	–
	50	148.4	134.0	145.6	136.8	132.4	136.4	162.4	132.4	90.1	131.5	133.7	131.9	–	–	–	–
	80	161.6	143.6	159.3	147.1	141.1	147.0	180.9	141.3	86.3	140.0	143.2	141.2	–	–	–	–
	100	167.8	148.1	166.1	152.0	145.3	152.1	189.9	145.5	83.9	144.0	147.8	145.6	–	–	–	–
	150	179.1	156.3	178.6	160.8	152.7	161.4	207.0	153.1	78.9	151.1	156.0	153.6	–	–	–	–
	200	187.2	162.2	187.7	167.1	157.9	168.0	219.5	158.5	74.7	156.2	161.9	159.3	–	–	–	–
	400	206.6	176.2	210.5	182.0	170.3	184.2	251.2	171.4	62.4	168.3	176.2	173.1	–	–	–	–
	500	212.8	180.7	218.1	186.7	174.2	189.5	261.9	175.6	57.7	172.1	180.9	177.6	–	–	–	–
	1000	232.2	194.7	242.5	201.1	186.4	206.2	296.5	188.5	41.2	184.1	195.4	191.6	–	–	–	–
	10000	296.6	241.1	332.1	244.4	225.6	263.4	428.0	231.5	−37.5	223.1	245.9	240.2	–	–	–	–
	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

JackKnife推定誤差 Erreur de JackKnife Estimée	Période de Retour	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM	Lexp	Gp	GpExp
	2	3.6	3.9	3.8	4.4	4.4	4.3	4.2	4.5	5.2	4.6	3.8	3.8	–	–	–	–
	3	4.5	4.9	4.9	5.3	5.5	5.2	5.0	5.5	5.7	5.5	4.8	4.8	–	–	–	–
	5	6.1	6.3	6.4	6.4	6.6	6.3	6.2	6.6	6.3	6.6	6.3	6.1	–	–	–	–
	10	8.5	8.2	8.6	8.2	8.1	8.2	8.2	8.1	7.6	8.1	8.5	8.2	–	–	–	–
	20	11.1	10.0	11.1	11.0	9.8	10.8	10.7	9.9	10.4	9.9	11.0	10.5	–	–	–	–
	30	12.6	11.2	12.7	13.2	10.9	12.8	12.3	11.2	12.7	11.2	12.5	11.9	–	–	–	–
	50	14.5	12.6	14.8	16.7	12.6	15.8	14.7	13.1	16.2	13.1	14.5	13.7	–	–	–	–
	80	16.3	13.9	16.9	20.7	14.3	19.0	17.2	15.2	20.0	15.1	16.5	15.5	–	–	–	–
	100	17.2	**14.5**	17.9	22.8	15.2	20.7	18.4	16.2	22.0	16.2	17.4	16.3	–	–	–	–
	150	18.7	15.6	19.8	27.0	16.9	24.0	20.8	18.3	25.9	18.2	19.2	18.0	–	–	–	–
	200	19.8	16.4	21.2	30.3	18.3	26.6	22.6	19.8	28.9	19.8	20.5	19.1	–	–	–	–
	400	22.5	18.3	24.8	39.5	21.8	33.8	27.3	24.0	36.8	24.0	23.8	22.1	–	–	–	–
	500	23.4	18.9	26.0	42.7	23.1	36.3	28.9	25.4	39.6	25.4	24.9	23.1	–	–	–	–
	1000	26.1	20.9	29.9	54.0	27.2	45.0	34.3	30.3	48.9	30.2	28.4	26.3	–	–	–	–
	10000	35.0	27.3	44.5	104.2	44.1	83.6	55.9	50.0	87.4	50.0	41.5	38.0	–	–	–	–
	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

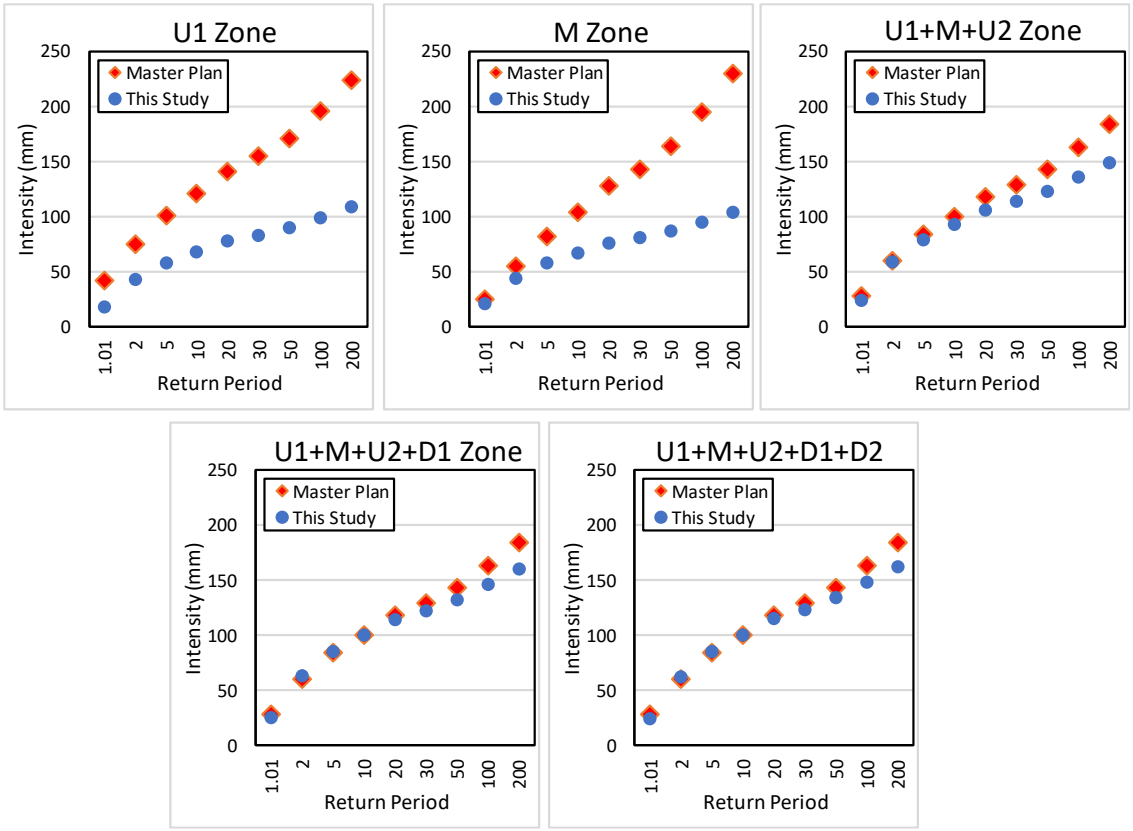
Note) SLSC (Standard Least Squares Criterion, Critère des Moindre Carrés Standard)
Note) LS: Least Squares Method Error, Méthode des Erreurs des Moindres Carrées
Source: Equipe d'Etude de la JICA (à la base de JICE Hydrological Statistics Utility)



Source: Equipe d'Etude de la JICA (à la base de JICE Hydrological Statistics Utility)

Figure 3-40 Résultats d'ajustement des précipitations annuelles maximales et du modèle de la loi de probabilité (Zone D2)

Il est à noter que dans le cadre du Plan Directeur de 2009, la durée de l'épisode de précipitations est prise égale à 6 jours pour toutes les zones hydrologiques, alors que pour la présente Etude, les durées optimales pour chaque zone ont été déterminées. Une comparaison des intensités des précipitations déterminées dans le présent projet avec celles déterminées sous le cadre de Plan Directeur de 2009 est présentée sur la figure ci-dessous. Les précipitations de conception pour chaque zone hydrologique pour les périodes de retour de 5, 10, 20, 50 et 100 ans sont résumées sur le Tableau 3-18.



Source: Special Assistance for Project Implementation (SAPI) for Medjerda Flood Control Project, JICA (2018)

Figure 3-41 Comparaison entre les intensités des précipitations calculées dans la présente etude et celles déterminées dans le plan directeur de 2009

Tableau 3-18 Résumé des Précipitations de Conception

Zone	Durée des Précipitations de Conception [Jour]	Hauteur de Précipitations en Fonction des Périodes de Retour [mm]				
		5-ans	10-ans	20-ans	50-ans	100-ans
U1	2 jours	62.2 mm	76.2 mm	90.8 mm	111.4 mm	128.0 mm
M	3 jours	56.8 mm	67.6 mm	85.7 mm	94.8 mm	107.7 mm
U1 + M + U2	5 jours	75.5 mm	89.3 mm	103.4 mm	123.2 mm	139.0 mm
U1 + M + U2 + D1	6 jours	85.4 mm	100.1 mm	114.2 mm	132.5 mm	146.3 mm
U1 + M + U2 + D1 + D2	6 jours	85.6 mm	100.7 mm	115.2 mm	134.0 mm	148.1 mm

Source: Equipe d'Etude de la JICA (à la base de JICE Hydrological Statistics Utility)

3.4.6 Définition du Débit de Crue de Conception

(1) Stratégie d'Etude du Débit de Crue de Conception

Afin de renforcer le plan d'étude, un nombre considérable de scénarios de crue de conception doit être examiné pour tenir compte de l'incertitude de l'intensité de crue. Les scénarios d'inondation ont été établis suivant le processus suivant :

1. Sélection de l'événement de crue par la quantité de précipitation du temps de concentration de la crue pour chaque zone hydrologique. La valeur moyenne de précipitations par zone a été utilisée pour la sélection des événements d'inondation.
2. La précipitation maximale du temps de concentration des crues a été agrandie par la précipitation de

référence.

Le débit de crue pour chaque scénario de crue relatif à chaque zone hydrologique a été obtenu par un modèle de ruissellement calibré. Les débits de crue de pointe pour chaque scénario de crue relatif à chaque zone hydrologique ont également été déterminés.

(2) Sélection de l'Episode de Crue

Les événements de crue pour chaque zone hydrologique ont été sélectionnés par la précipitation maximale pendant la période de concentration des crues de chaque zone. Les valeurs de pointes des précipitations ont été sélectionnées pour être supérieures à la moitié de la précipitation de conception, parce que la conservation de la rationalité de la précipitation de pointe amplifiant pour concevoir les précipitations. Le nombre d'événements pour chaque zone étaient différents. Les événements de crue sélectionnés pour chaque zone ont été compilés sur les Tableau 3-19 au Tableau 3-22. Afin de simplifier le calcul, la précipitation de la Zone D1 a également été appliquée à la Zone D2.

Tableau 3-19 Episodes de crue sélectionnés (Pour la Zone U1)

Précipitations				Pointe 2-jours de Précipitations		Quantité Totale des
No.	Date de Début	Date de Fin	Durée [Jours]	Quantité [mm]	Date de Début	Précipitations[mm]
1	2003-12-06	2003-12-15	10	106.7	2003-12-11	149.4
2	1984-12-19	1985-01-05	18	96.4	1984-12-29	220.4
3	2005-12-06	2005-12-18	13	76.1	2005-12-13	109.1
4	2009-03-29	2009-04-15	18	73.2	2009-04-10	173.4
5	1996-02-26	1996-03-06	10	67.9	1996-02-27	89.1
6	2003-01-06	2003-01-22	17	67.6	2003-01-15	189.2
7	1979-04-09	1979-04-21	13	67.1	1979-04-15	112.8
8	2000-05-21	2000-05-29	9	66.8	2000-05-25	104.7
9	2009-01-03	2009-01-15	13	65.6	2009-01-12	104.1
10	2013-11-09	2013-11-17	9	64.4	2013-11-11	104.0
11	2006-12-13	2006-12-20	8	63.8	2006-12-13	105.3
12	2012-02-20	2012-02-25	6	57.9	2012-02-21	77.4
13	2005-04-09	2005-04-14	6	56.6	2005-04-09	84.9
14	1995-09-11	1995-09-29	19	56.4	1995-09-26	132.0
15	2011-10-19	2011-11-03	16	52.9	2011-10-29	109.2
16	2004-11-10	2004-11-18	9	52.5	2004-11-13	83.4
17	2010-11-01	2010-11-09	9	51.7	2010-11-02	119.1
18	2004-06-12	2004-06-19	8	50.9	2004-06-15	82.1
19	1992-05-21	1992-05-28	8	49.9	1992-05-24	85.1

Source: Special Assistance for Project Implementation (SAPI) for Medjerda Flood Control Project, JICA (2018)

Tableau 3-20 Episodes de crue sélectionnés pour la Zone M

Précipitations				Pointe 3-jours de Précipitations		Quantité Totale des
No.	Date de Début	Date de Fin	Durée [Jours]	Quantité [mm]	Date de Début	Précipitations[mm]
1	2003-12-08	2003-12-16	9	112.8	2003-12-10	135.3
2	2003-01-07	2003-01-29	23	101.2	2003-01-09	207.8
3	2009-03-29	2009-04-16	19	74.7	2009-04-10	136.7
4	1984-12-19	1985-01-11	24	74.4	1984-12-28	139.0
5	1990-12-21	1990-12-31	11	70.4	1990-12-21	96.5
6	1992-05-17	1992-05-31	15	63.2	1992-05-23	82.9
7	2005-12-09	2005-12-17	9	59.6	2005-12-12	72.2
8	2004-10-30	2004-11-17	19	59.1	2004-10-31	151.8
9	2004-06-07	2004-06-20	14	58.4	2004-06-14	85.7
10	1979-04-09	1979-04-21	13	56.6	1979-04-15	88.4
11	2000-05-06	2000-05-30	25	54.5	2000-05-24	108.9
12	2006-12-13	2006-12-20	8	49.6	2006-12-13	88.7
13	1991-03-14	1991-03-22	9	49.4	1991-03-14	64.1
14	2003-03-28	2003-04-08	12	49.3	2003-04-03	77.8
15	1992-12-17	1992-12-21	5	48.9	1992-12-16	48.2
16	2012-01-22	2012-02-26	36	48.5	2012-02-20	133.0
17	2009-01-09	2009-01-16	8	48.3	2009-01-11	57.6
18	1982-11-09	1982-11-20	12	48.3	1982-11-09	72.8
19	1992-11-01	1992-11-10	10	47.9	1992-11-03	85.9

Source: Special Assistance for Project Implementation (SAPI) for Medjerda Flood Control Project, JICA (2018)

Tableau 3-21 Episodes de crue sélectionnés pour la Zone U1+M+U2

Précipitations				Pointe 5-jours de Précipitations		Quantité Totale des
No.	Date de Début	Date de Fin	Durée [Jours]	Quantité [mm]	Date de Début	Précipitations[mm]
1	2003-12-06	2004-01-08	34	132.1	2003-12-08	227.7
2	2003-01-06	2003-02-25	51	110.3	2003-01-09	328.7
3	2009-03-29	2009-04-28	31	109.0	2009-04-08	231.9
4	2006-12-05	2006-12-30	26	106.6	2006-12-13	144.8
5	1984-12-19	1985-01-13	26	106.2	1984-12-28	162.6
6	2011-09-20	2011-11-10	52	97.5	2011-10-28	176.0
7	2004-10-24	2004-11-20	28	86.6	2004-11-10	168.8
8	2007-03-06	2007-04-10	36	81.2	2007-03-08	147.9
9	1990-12-10	1991-01-02	24	79.6	1990-12-21	117.2
10	2005-12-07	2005-12-23	17	78.4	2005-12-10	88.8
11	2004-06-07	2004-06-22	16	73.8	2004-06-13	86.0
12	2010-10-08	2010-11-21	45	73.8	2010-11-02	144.0
13	1992-11-01	1992-11-15	15	70.3	1992-11-01	82.4
14	1992-05-17	1992-05-31	15	70.1	1992-05-21	79.4

Source: Special Assistance for Project Implementation (SAPI) for Medjerda Flood Control Project, JICA (2018)

Tableau 3-22 Episodes de crue sélectionnés pour la Zone U1+M+U2+D1+D2

Précipitations				Pointe 6-jours de Précipitations		Quantité Totale des
No.	Date de Début	Date de Fin	Durée [Jours]	Quantité [mm]	Date de Début	Précipitations[mm]
1	2003-12-06	2004-01-09	35	137.9	2003-12-08	224.8
2	2006-12-05	2006-12-31	27	119.1	2006-12-13	157.7
3	2002-12-28	2003-03-06	69	117.4	2003-01-09	399.9
4	2009-03-29	2009-04-29	32	114.3	2009-04-07	235.9
5	2011-09-13	2011-11-11	60	108.5	2011-10-28	188.8
6	1984-12-19	1985-02-04	48	100.8	1984-12-28	189.3
7	2004-10-23	2004-11-21	30	87.5	2004-11-10	166.2
8	2007-03-06	2007-05-13	69	86.3	2007-03-07	240.3
9	2005-08-16	2005-12-26	133	84.5	2005-12-09	297.2
10	1992-11-01	1992-11-13	13	81.3	1992-11-01	83.0
11	1982-10-20	1982-11-24	36	80.4	1982-11-10	188.0
12	1990-10-28	1991-01-03	68	78.4	1990-12-21	239.3
13	2004-06-07	2004-06-24	18	77.1	2004-06-12	85.5
14	2010-10-08	2010-11-22	46	76.9	2010-11-02	140.1
15	2005-12-27	2006-02-19	55	75.5	2006-01-03	229.0

Source: Special Assistance for Project Implementation (SAPI) for Medjerda Flood Control Project, JICA (2018)

3.4.7 Contrôle de Crue dans la retenue

Dans le cadre du Plan Directeur de 2009, on a identifié 9 barrages en opération et 6 autres prévus ou en cours de construction dans le bassin d'Oued Medjerda. Sur les 9 barrages, seuls deux barrages peuvent fonctionner complétement dans contrôle des crues : le barrage de Mellegue (d'une capacité de 147 millions de mètres cubes dont 103,1 millions de mètres cubes peuvent être utilisés pour le contrôle des crues) et le barrage de Sidi Salem (d'une capacité de 959,5 millions de mètres cubes dont 285,5 millions de mètres cubes peuvent être utilisés pour le contrôle des crues).

A partir des relevés des débits d'écoulement et des niveaux d'eau dans les réservoirs, il est constaté que les barrages de Mellegue et de Sidi Salem ont mobilisé respectivement 96% et 55% de leurs capacités de contrôle des crues lors de la crue exceptionnelle de 2003. Du fait que les sorties (c'est-à-dire le déversoir et l'évacuateur de fond) peuvent être contrôlées, le barrage de Mellegue est en mesure d'utiliser presque pleinement sa capacité de contrôle des crues. Le barrage de Sidi Salem comprend deux types de déversoirs : le déversoir principal contrôlé par trois vannes et un déversoir non-contrôlé de type 'morning-glory'. Le déversoir non-contrôlé est relativement de petite capacité, permettant un débit maximal de 700 m^3/s, ce qui équivaut à un débit de crue ordinaire de l'oued sur ce site. Vu La capacité relativement faible de ce déversoir non-contrôlé, le niveau d'eau augmente et la capacité de contrôle des crues est utilisée.

Le principal objectif des autres réservoirs existants est de stocker et de distribuer l'eau pendant les saisons

sèches ou de fournir des eaux de retenue pour prélèvement. Ces barrages sont équipés de déversoirs non-contrôlés et n'atteignent généralement pas leur pleine capacité de contrôle des crues lors des crues réelles.

Sous les conditions actuelles, le contrôle des crues est effectué en prenant en compte l'apport potentiel, qui est estimé par l'analyse fréquentielle, la topologie du réseau fluvial (les confluences des rivières et les distances entre réservoirs) et le niveau d'eau régulier par rapport au déversoir et la capacité de débordement du déversoir de chaque barrage et des autres exutoires. Les caractéristiques des quatre barrages ayant les plus grands volumes de réservoirs sont présentées sur le Tableau 3-23.

Tableau 3-23 Caractéristiques des barrages pris en considération dans les calculs de crue régularisée dans la conception des crues

Nom du Barrage		Bou Heurtma	Mellegue	Sidi Salem	Siliana
Déversoir	Côte de Crête (m)	221	255.2	105	388.5
	Non-contrôlé / contrôlé	Non-contrôlé	contrôlé	contrôlé	Non-contrôlé
Niveau d'Eau Ordinaire	Côte (m)	221	260	115	388.5
	Capacité Initiale (Million m^3)	117.5	182.2	762	70
	Capacité Totale Actuelle (Million m^3)	117.5	44.4	674	70
Niveau Maximal des Plus Hautes Eaux (Evacuation)	Côte de la Crête du Barrage (m)	228	270	122	398
	Côte (m)	226	269	119.5	395.5
	Volume Totale (Million m^3)	164	147.54	959.48	125.05
	Capacité du Déversoir (m^3/s)	2500	5261	4870	3200
	Exutoire de Fond (m^3/s)	163	625	550	183

Source: Special Assistance for Project Implementation (SAPI) for Medjerda Flood Control Project, JICA (2018)

3.4.8 Définition de l'Hydrogramme de Conception (Méthode Prenant en Considération le Taux d'Expansion et les Distributions Spatiales et Temporelles)

(1) Détermination de la Distribution Temporelle et Régionale des Précipitations Définies

Selon "Les Spécifications Techniques pour les Ouvrages Fluviaux : Guide Pratique pour la Planification Editoriale" (2005) du Ministère du Territoire, des Infrastructures, des Transports et du Tourisme du Japon, la détermination de la distribution temporelle et régionale de précipitations définies est décrite comme suit.

2.6.4 Détermination des distributions temporelles et de superficie des précipitations définies

Les distributions temporelles et spatiales des précipitations en question doivent être déterminées pour un nombre considérable de sorte que chaque précipitation ait une quantité de pluie égale à celle de l'échelle de planification déterminée à la section 2.5.1 de ce chapitre. Au cas où une incohérence significative résulte de la simple extension des distributions, elle doit être corrigée.

Explication

Une fois que la précipitation totale est donnée, les deux éléments restants - c'est-à-dire les distributions temporelles et spatiales - doivent être déterminées pour définir les précipitations en question.

Après avoir obtenu le volume total des précipitations en question, on doit déterminer la distribution temporelle et spatiale de ces dernières.

En général, les deux méthodes suivantes sont possibles.

La première méthode consiste à éclaircir les relations statistiques ou météorologiques entre ces trois éléments (la quantité de précipitations, la distribution temporelle et la distribution spatiale) et de déterminer les distributions temporelles et spatiales pour des précipitations données à partir de ces relations.

La deuxième méthode consiste à déterminer la quantité de précipitations, puis à créer la distribution

temporelle et la distribution spatiale en élargissant ou en réduisant simplement certains modèles de précipitations précédentes. À moins qu'elles ne soient considérées comme peu probables compte tenu des rapports statistiques entre ces éléments, elles seront adoptées.

Comme elle est généralement simple et facile à comprendre, cette dernière méthode est utilisée dans la présente Etude. Lors de la sélection des événements de précipitations précédents, il faut veiller à ce que ceux qui ont engendré d'importantes inondations ou qui présentent des schémas de récurrence élevés dans le bassin ne soient pas exclus. Le nombre d'événements pluvieux à sélectionner varie en fonction de la durée pendant laquelle les données existent ; le taux d'extension maximal est fixé à environ 200% dans de nombreux cas.

Les modèles de précipitations qui présentent des différences importantes dans la distribution spatiale ou qui ont une intensité élevée pendant une partie de la distribution temporelle peuvent entraîner des écarts remarquables car l'intensité des précipitations pendant les heures de débit de pointe a tendance à être extrêmement élevée dans ces modèles de précipitations.

Les exemples suivants sont considérés comme des méthodes de traitement spécifiques :

1. Si l'extension de précipitations, présentant de grandes différences dans la distribution spatiale, entraîne une précipitation importante dans certaines parties du bassin et que la période de retour de cette dernière est significativement différente de la période de retour de l'échelle de conception, alors l'augmentation des précipitations de ce modèle de précipitations doit être exclue des précipitations en question, vu que son intégration est jugée inappropriée.

2. Si l'extension d'un modèle dont les précipitations de courte durée et d'intensité élevée font que la période de retour de l'intensité des précipitations pendant la durée qui prédomine sur le débit de pointe d'une crue est remarquablement différente de la période de retour de l'échelle de conception, alors la précipitation avec extension de ce modèle de précipitations devrait être exclue des précipitations en question car son inclusion est jugée inappropriée.

3. Les précipitations définies pour les modèles de précipitations décrits aux points 1 et 2 ci-dessus doivent être adoptées après correction des distributions spatiales et temporelles ainsi que de toute différence notable dans la période de retour.

(2) Détermination de la Crue de Conception

Selon "Les Spécifications Techniques pour les Ouvrages Fluviaux : Guide Pratique pour la Planification Editoriale" (2005) du Ministère du Territoire, des Infrastructures, des Transports et du Tourisme du Japon, la détermination de la Crue de Conception est décrite dans ce qui suit.

2.7.1 Détermination de la Crue de Conception

La crue de conception doit être déterminée à partir des hydrogrammes de crue pour les précipitations en question sélectionnées dans la section 2.6 de ce chapitre. Un modèle de ruissellement approprié sera utilisé accompagné d'un examen complet des propriétés des inondations précédentes, des installations du projet, etc.

Explication

Étant donné que les précipitations en question ont déjà été sélectionnées, il est facile de calculer l'hydrogramme d'une crue à l'aide d'un modèle de ruissellement approprié, mais un examen soigneux est nécessaire pour sélectionner l'hydrogramme qui sera utilisé comme base pour déterminer la crue de conception.

Le processus de détermination de la crue de conception est illustré sur la figure ci-dessous.

Pour sélectionner (un groupe de) les précipitations concernées, les distributions spatiale et temporelle doivent être examinées comme décrit dans la section 2.6.4 de ce chapitre. Le taux d'extension devrait être d'environ 200% dans la plupart des cas.

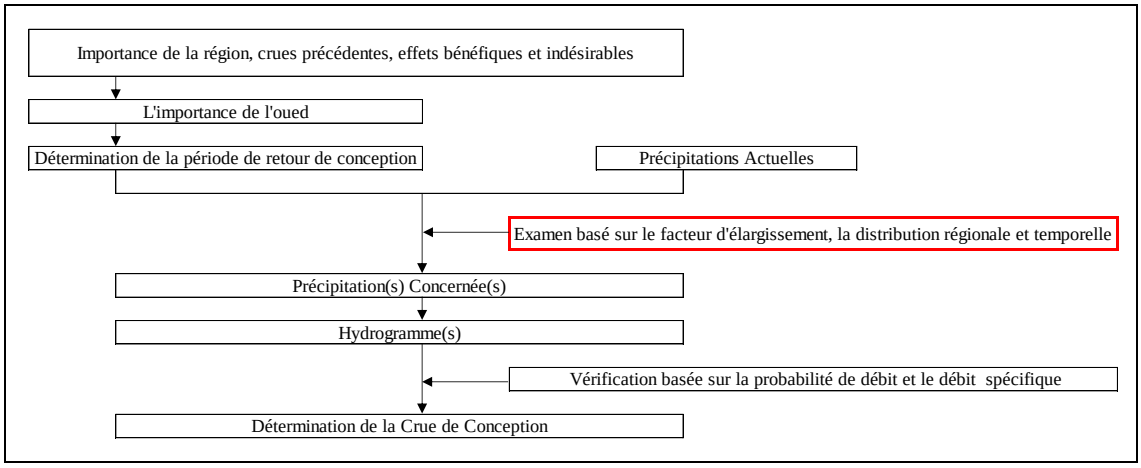
Les installations de contrôle des crues telles que les barrages et les bassins de contrôle des crues ne

doivent être considérées dans les calculs de l'hydrogramme, et pour les barrages d'eau utile tels que les réservoirs hydroélectriques, les règles d'exploitation pour les évènements de crue doivent être prises en considération.

Dans la plupart des cas, étant donné que des précipitations inappropriées ont déjà été éliminées lors de l'examen des distributions spatiales et temporelles, etc., l'hydrogramme ayant le débit maximal parmi ceux calculés dans le groupe doit être sélectionné pour exprimer le débit maximal de la crue de conception.

Lors de la disponibilité de données suffisantes de débit, une probabilité de débit doit être utilisée. Pour les rivières de petite et moyenne taille, le débit de pointe de la crue de conception doit être vérifié par une méthode telle que la formule rationnelle. Il est également nécessaire d'utiliser le débit unitaire pour vérifier l'équilibre relatif entre le cours d'eau principal et les affluents, entre l'amont et l'aval, les caractéristiques climatiques et d'autres rivières d'échelle de conception similaire.

Une autre méthode de détermination de la crue de conception consiste à déterminer le débit de pointe pour l'échelle de conception en évaluant les probabilités de précipitations de différentes magnitudes ainsi que leurs distributions spatiales et temporelles basées sur de quantités considérables de données accumulées.



Source: "Technical Criteria for River Works: Practical Guide for Planning Editorial", Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan (2005)

Figure 3-42 Détermination de la crue de conception selon " les spécifications techniques pour les ouvrages fluviaux"

Selon le « Conseil pour le développement des infrastructures, sous-comité fluvial » du Ministère du Territoire, des Infrastructures, des Transports et du Tourisme (28 novembre 2003), le « Facteur de Couverture dans la Conception des Crues » est donné par ce qui suit.

- En général, le débit de pointe de la crue de conception est défini à l'aide d'un modèle de ruissellement à partir d'un hyétogramme (la distribution des précipitations) créé par extension des précipitations de plusieurs précipitations précédentes (des groupes de précipitations concrètes) aux précipitations de conception.
- Parmi les pluies concrètes y figurent celles qui s'écartent dans le temps ou dans l'espace, donc si ces dernières sont étendues aux précipitations de conception, les écarts seront encore plus importants. Il est possible que des précipitations extrêmement rares se produisent.
- Par conséquent, du point de vue du calcul adéquat du débit correspondant à l'échelle planifiée, l'excès de probabilité de la distribution temporelle et régionale de précipitations est bien grand parmi les groupes de précipitations qui étendent le groupe de précipitations concrètes à la quantité de précipitations prévues, et il est utilisé pour la planification. Il est souhaitable de rejeter ces précipitations qui ne sont pas convenable.
- Le «Facteur de Couverture» correspond au rapport du niveau de satisfaction (couvert) du débit de

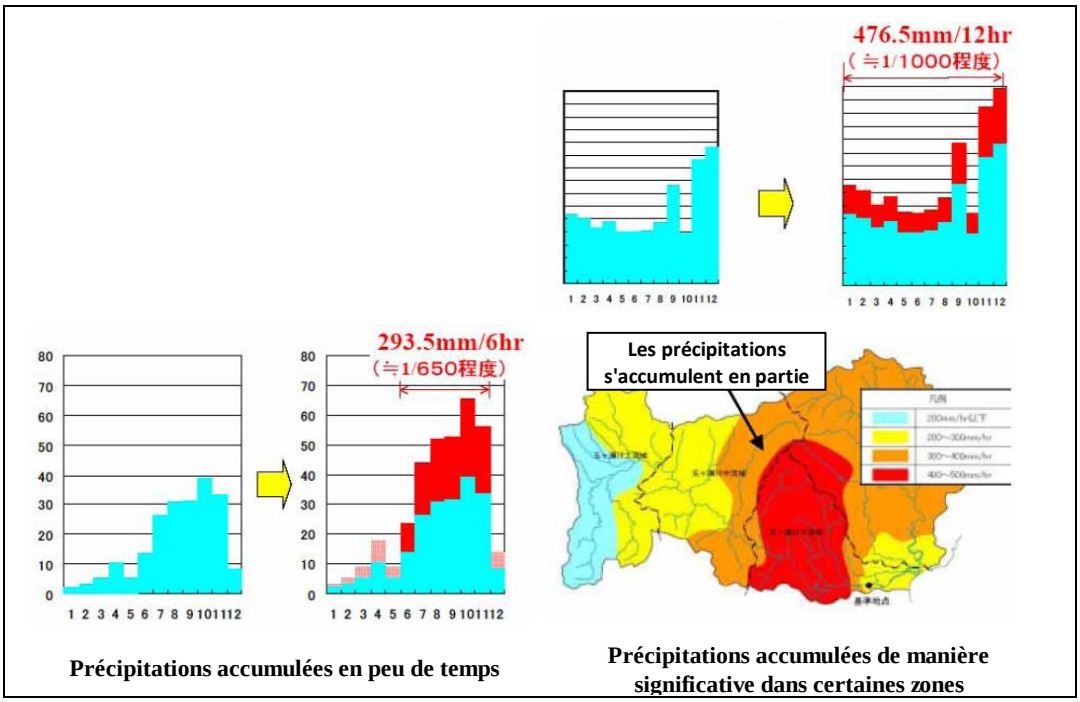
pointe de la crue de conception dans le groupe de débit calculé par extension du groupe de précipitations réel à la quantité d'averses prévues. On considère que la méthode de détermination du débit de pointe de la crue de conception en utilisant ce facteur de couverture est une méthode empirique pour éliminer le débit calculé à partir des précipitations avec un biais significatif dans la distribution temporelle et la distribution régionale.

- Cependant, dans les plans de contrôle des crues pour les rivières directement contrôlées à l'échelle nationale au Japon, il n'y a presque pas de rivières dont le débit de pointe de la crue de conception est déterminé à partir du facteur de couverture (il y en a quelques-uns, mais les deux sont calculés à partir de précipitations avec un biais important). Le débit de pointe de la crue de conception est actuellement déterminé par la méthode suivante.
- Parmi les précipitations étendues aux précipitations prévues, les précipitations, dont la distribution temporelle et la distribution régionale sont extrêmement inégales, sont identifiées à l'aide des données de précipitations accumulées et de divers modèles de distribution de probabilité, et le débit de pointe de la crue de conception est déterminé. De telles précipitations sont éliminées de la précipitation en question.
- Les groupes de précipitations, éliminés par l'élimination des précipitations avec une distribution temporelle et régionale extrêmement inégale, doivent être pris en compte dans les plans de contrôle des crues, de sorte que ces groupes de précipitations sont utilisés comme débit de pointe de la crue de conception. La valeur maximale du débit de calcul calculé sera adoptée.

(3) Elimination des Précipitations Atypiques

Par extension des précipitations du groupe de précipitations concret aux précipitations prévues, si la distribution temporelle et la distribution régionale des précipitations sont significativement aberrantes comme indiqué ci-dessous, elles sont éliminées des précipitations prévues.

1. Lorsque les précipitations s'accumulent en peu de temps.
2. Lorsque les précipitations sont extrêmement accumulées dans certaines régions.



Source: Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan, "Council for Infrastructure Development, River Subcommittee" (November 28, 2003)

Figure 3-43 Principe de vérification des précipitations atypiques

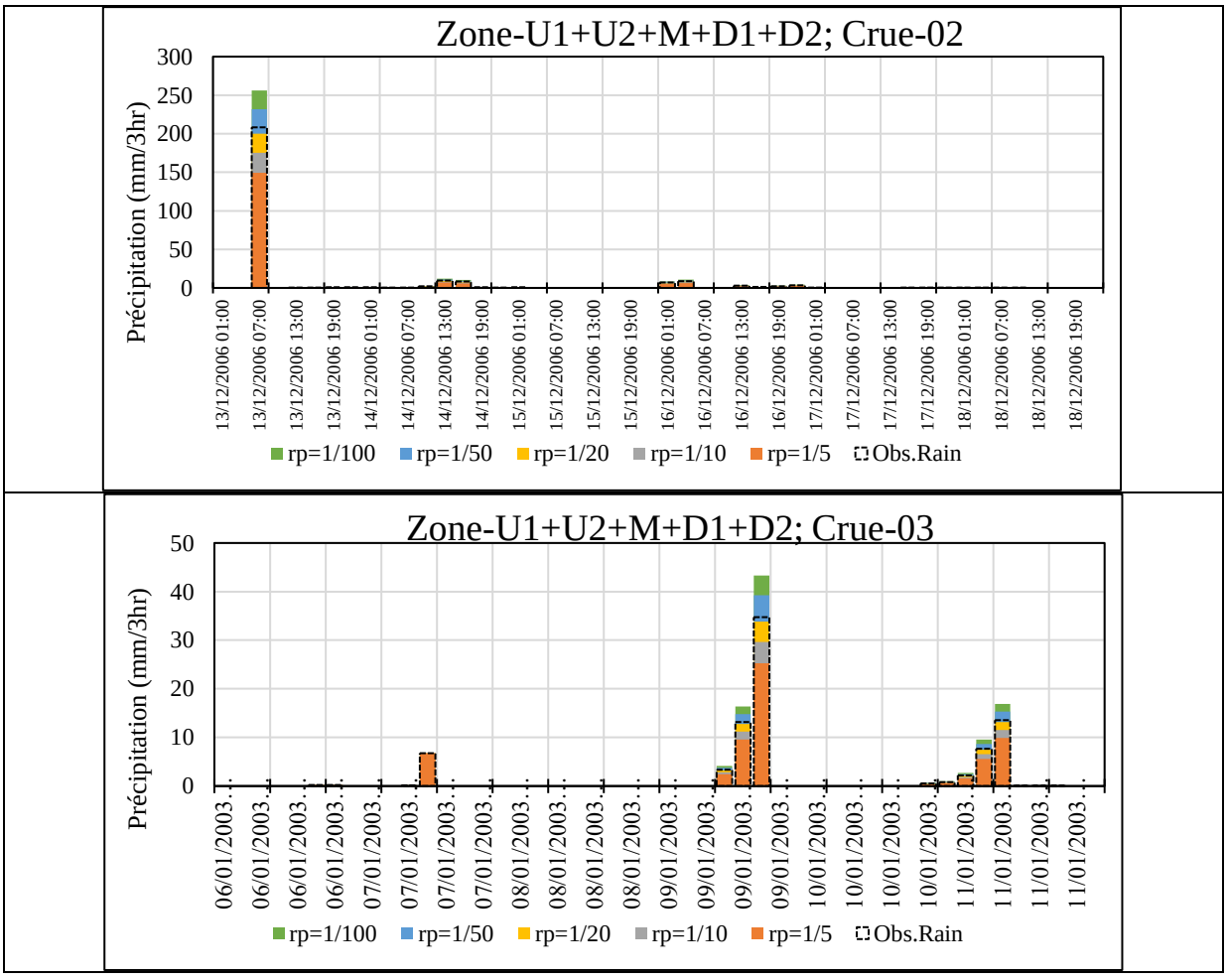
Dans cette étude, pour les 14 cas de précipitations planifiées dans chacune des zones mentionnées ci-dessus, les précipitations atypiques ont été éliminées sur la base des critères suivants.

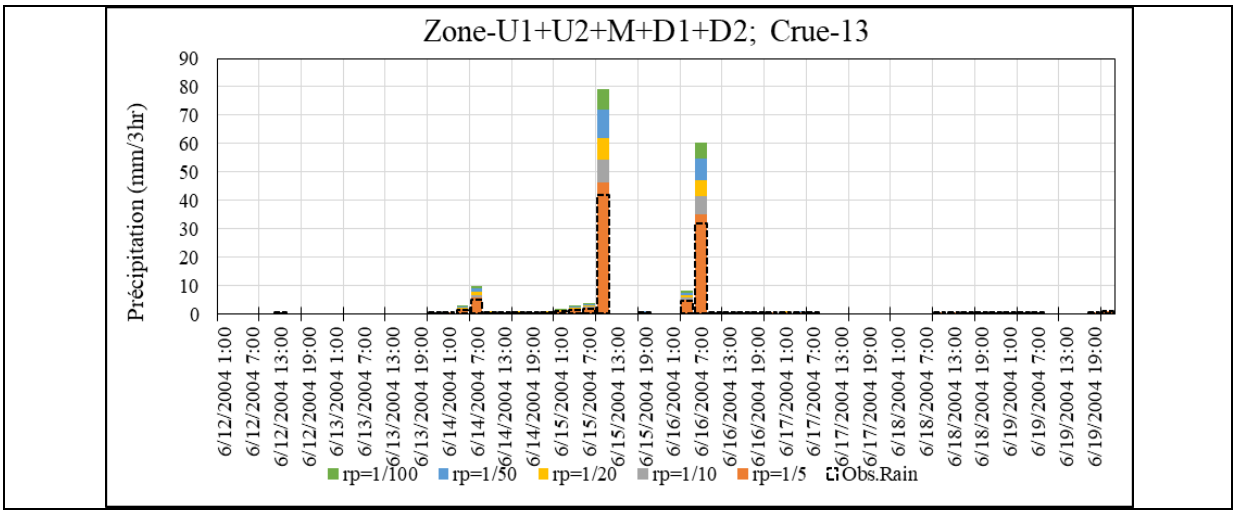
Tableau 3-24 Critères d'elimination des précipitations atypiques de conception définis dans l'etude

No.	Eléments Eliminés	Critères de Description	Valeur du Critère
1	Distribution Temporelle	(Intensité maximale de précipitations d'une crue de période de retour de 100 ans) / (Montant total des précipitations pendant la période de précipitations de conception)	>20%
2	Taux d'Extension	(Intensité maximale de précipitations d'une crue de période de retour de 100 ans) / (Intensité maximale de précipitations des Précipitations Concrètes)	>2.0
3	Période de Retour	Période de Retour (Année) de l'Intensité maximale des précipitations de crue à période de retour de 100 ans.	>La Période de Retour Maximale Observée
4	Distribution Spatiale	Période de Retour (Année) du maximum de n-jours de précipitations totales (mm/n-jour) de la période de retour de 100 ans à chaque sous-bassin.	>La Période de Retour Maximale Observée

Source: Equipe d'Etude de la JICA

La figure ci-dessous montre un exemple de précipitations de conception (exemple de la Zone D1) qui a été rejetée par la distribution temporelle (le cas où les précipitations sont concentrées en peu de temps a été rejeté).





Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-44 Exemple de précipitations de conception rejetées par la distribution temporelle (Zone-U1+M+U2+D1)

Dans le tableau ci-dessous sont présentés les résultats des éliminations par la distribution spatiale des précipitations de conception.

Tableau 3-25 Elimination des précipitations de conception par la distribution spatiale (Zone-U1)

	Précipitation Totale (mm/2-jours) pour le Période de Retour de 100 ans				
Type de Crue	JENDOUBA	GHARDIMAOU	Barrage Ain Dalia	RARAI PLAINE	**Précipitations Moyennes par Bassin**
No.Bassin Versant	C22	C23	C24	C25	
B.V. (km2)	555.8	1,273.4	195.5	377.4	**2,402.0**
f01	118.59	133.57	131.10	123.53	**128.32**
f02	95.98	134.19	139.98	153.32	**128.82**
f03	71.39	154.54	126.86	147.28	**131.91**
f04	174.55	77.91	64.66	229.29	**122.98**
f05	76.98	145.10	140.21	162.54	**131.68**
f06	198.26	88.37	50.04	197.46	**127.82**
f07	77.53	153.87	161.79	118.38	**131.27**
f08	82.77	143.56	184.52	137.79	**131.92**
f09	71.72	150.37	156.45	136.93	**130.55**
f10	115.95	125.55	111.86	150.66	**126.16**
f11	179.53	94.44	76.33	173.87	**125.14**
f12	101.30	146.58	149.79	117.56	**131.80**
f13	185.14	75.26	73.76	237.59	**126.07**
f14	195.38	83.00	82.74	162.52	**121.47**

					Obs.Max.=	**495-ans**
Période de Retour (ans) de la Précipitation Totale (mm/2-jours) pour la Crue de 100 ans					**Intensité Max. des Précipitations**	Décision d'Elimination Par la Distribution Spatiale
Type de Crue	JENDOUBA	GHARDIMAOU	Barrage Ain Dalia	RARAI PLAINE		
No.Bassin Versant	C22	C23	C24	C25		
B.V. (km2)						
f01	35.94	67.40	50.35	18.74	**67.4**	
f02	14.13	69.01	70.19	52.68	**70.2**	
f03	5.12	149.84	42.96	42.72	**149.8**	
f04	362.51	8.09	4.20	735.35	**735.3**	Eliminer
f05	6.45	104.57	70.79	72.54	**104.6**	
f06	965.47	12.04	2.43	243.68	**965.5**	Eliminer
f07	6.59	146.07	158.71	15.67	**158.7**	
f08	8.19	98.63	371.35	30.74	**371.4**	
f09	5.19	127.83	129.94	29.83	**129.9**	
f10	32.23	49.66	24.52	48.03	**49.7**	
f11	445.34	15.18	6.49	107.48	**445.3**	
f12	17.60	110.65	101.30	15.23	**110.6**	
f13	561.49	7.31	5.90	980.81	**980.8**	Eliminer
f14	857.17	9.81	8.25	72.49	**857.2**	Eliminer

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Tableau 3-26 Elimination des précipitations de conception par la distribution spatiale (Zone-M)

Type de Crue	Précipitation Totale (mm/6-jours) pour le Période de Retour de 100 ans						
	MELLEGUE GP17-Jendou	Barrage Mellegue	MELLEGUE K13	PONT ROUTE (SARREATH)	SIDI ABDELKADER	PONT ROUTE (RMEL)	**Précipitations Moyennes par Bassin**
No. Bassin Versant	26	27	28	29	30	31	
B.V. (km2)	242.0	913.1	7,427.1	1,268.3	257.6	392.9	**10,501.0**
f01	106.33	102.68	195.50	182.97	117.08	115.06	**178.92**
f02	93.04	99.17	122.12	98.31	56.64	82.52	**113.49**
f03	120.42	139.82	262.80	218.80	45.98	106.66	**232.35**
f04	112.42	139.15	293.84	258.45	110.49	139.86	**261.67**
f05	97.10	103.37	166.45	154.35	71.88	85.60	**152.56**
f06	96.08	111.95	112.38	161.14	85.56	66.18	**115.47**
f07	120.73	114.12	244.50	135.27	127.43	159.34	**211.06**
f08	71.41	107.48	136.38	141.43	48.93	74.01	**128.50**
f09	154.54	150.71	167.48	125.72	118.13	141.98	**158.51**
f10	81.51	91.04	160.52	147.35	62.90	68.74	**145.24**
f11	69.50	72.25	51.19	61.71	67.44	57.58	**55.35**
f12	367.96	220.13	273.13	202.20	338.33	443.42	**270.11**
f13	41.68	49.87	146.08	88.99	66.03	86.16	**124.21**
f14	71.37	86.57	138.54	168.80	83.02	64.60	**132.00**

Obs.Max.= **211-ans**

Type de Crue	Période de Retour (ans) de la Précipitation Totale (mm/6-jours) pour la Crue de 100 ans						**Intensité Max. des Précipitations**	Décision d'Elimination Par la Distribution Spatiale
	MELLEGUE GP17-Jendou	Barrage Mellegue	MELLEGUE K13	PONT ROUTE (SARREATH)	SIDI ABDELKADER	PONT ROUTE (RMEL)		
No. Bassin Versant	26	27	28	29	30	31		
B.V. (km2)	242.0	913.1	7,427.1	1,268.3	257.6	392.9		
f01	8.17	13.73	931.46	262.44	35.73	9.07	**931.5**	Eliminer
f02	3.98	12.08	107.99	9.11	1.18	2.77	**108.0**	
f03	15.96	53.24	3,610.17	1,088.48	0.44	6.92	**3,610.2**	Eliminer
f04	11.02	51.95	6,019.92	5,252.78	27.22	18.20	**6,019.9**	Eliminer
f05	5.01	14.08	445.95	84.26	3.62	3.16	**446.0**	Eliminer
f06	4.73	19.25	73.81	110.30	8.20	1.26	**110.3**	
f07	16.18	20.84	2,594.36	39.50	53.18	28.98	**2,594.4**	Eliminer
f08	0.96	16.36	179.05	50.44	0.60	1.88	**179.1**	
f09	61.13	79.23	458.67	27.04	37.26	19.20	**458.7**	Eliminer
f10	1.95	8.97	377.66	63.81	1.94	1.44	**377.7**	Eliminer
f11	0.83	4.52	2.01	2.13	2.68	0.77	**4.5**	
f12	6,528.30	998.38	4,307.51	563.08	5,200.58	1,118.31	**6,528.3**	Eliminer
f13	0.05	2.00	245.29	6.29	2.43	3.23	**245.3**	Eliminer
f14	0.95	7.62	192.42	149.50	7.12	1.16	**192.4**	

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Tableau 3-27 Elimination des précipitations de conception par la distribution spatiale (Zone-U1+M+U2)

Type de Crue	Précipitation Totale (mm/(-jours) pour le Période de Retour de 100 ans																	**Précipitations Moyennes par Bassin**
	Sidi Salem Dam	BOU SALEM GP6	KEF RHIRA (Barrage de Bou Heurtma)	FERNANA	AVAL	PONT GP6	SIDI MEDIENNE	JENDOUBA	GHARDIMAOU	Barrage Ain Dalia	RARAI PLAINE	MELLEGUE GP17-Jendou	Barrage Mellegue	MELLEGUE K13	PONT ROUTE (SARREATH)	SIDI ABDELKADER	PONT ROUTE (RMEL)	
No. Bassin Versant	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	
B.V. (km2)	1,211.3	1,281.3	230.1	150.8	166.7	176.5	1,845.8	555.8	1,273.4	195.5	377.4	242.0	913.1	7,427.1	1,268.3	257.6	392.9	**17,965.5**
f01	122.74	124.57	229.12	219.42	133.12	132.25	133.56	144.43	148.53	142.30	158.16	145.95	143.81	138.41	135.54	154.75	123.28	**139.04**
f02	111.52	118.22	147.85	118.87	67.26	98.26	240.45	101.80	91.06	89.92	97.57	136.42	192.63	106.98	221.53	121.66	359.49	**138.87**
f03	174.61	170.56	269.38	221.14	129.24	177.74	173.95	164.44	136.93	114.08	212.59	158.11	180.22	98.89	141.13	100.11	218.60	**138.91**
f04	253.09	169.45	222.23	185.42	225.84	291.47	152.02	189.04	100.32	81.61	191.42	176.50	193.08	93.69	145.62	113.09	190.66	**138.99**
f05	131.02	142.56	347.79	303.08	150.70	177.65	104.72	147.04	217.89	236.13	263.41	150.70	149.86	122.16	91.35	87.64	137.73	**138.87**
f06	398.15	280.88	433.59	295.69	207.01	413.81	160.74	157.46	85.97	94.35	127.81	172.41	118.73	67.01	102.34	70.41	119.57	**139.00**
f07	142.77	140.65	254.81	157.21	141.40	170.01	148.44	122.53	116.94	123.61	131.73	111.43	158.93	126.82	178.21	119.67	174.75	**138.79**
f08	111.04	106.43	178.99	134.86	118.59	111.37	193.78	97.83	160.00	158.57	124.73	117.79	123.56	118.68	231.14	206.94	152.37	**138.86**
f09	129.39	134.94	249.94	205.22	94.10	124.86	136.85	123.49	130.73	130.13	158.22	116.20	138.94	124.57	219.60	175.89	162.15	**138.95**
f10	146.76	139.06	270.29	146.86	152.30	192.50	171.44	84.51	196.64	178.71	165.55	135.85	140.38	114.01	144.76	90.24	181.42	**138.98**
f11	167.30	158.47	174.63	131.14	130.89	150.38	131.95	139.34	153.16	150.71	156.40	166.65	105.01	133.93	135.41	128.42	104.89	**138.90**
f12	176.78	169.88	292.18	243.22	83.24	202.85	95.76	196.35	181.21	168.99	236.77	156.00	141.86	123.79	86.09	105.18	120.30	**138.86**
f13	109.02	129.66	88.58	85.07	95.15	110.57	200.07	95.24	153.61	154.41	110.38	123.79	114.93	114.05	278.77	172.93	141.76	**138.72**
f14	114.46	135.73	138.58	195.63	99.56	78.53	129.24	161.11	166.36	175.95	158.80	167.39	119.80	138.11	155.21	119.02	133.39	**138.84**

Obs.Max. **200-ans**

Type de Crue	Période de Retour (ans) de la Précipitation Totale (mm/5-jours) pour la Crue de 100 ans																	**Intensité Max. des Précipitations**	Décision d'Elimination Par la Distribution Spatiale
	Sidi Salem Dam	BOU SALEM GP6	KEF RHIRA (Barrage de Bou Heurtma)	FERNANA	AVAL	PONT GP6	SIDI MEDIENNE	JENDOUBA	GHARDIMAOU	Barrage Ain Dalia	RARAI PLAINE	MELLEGUE GP17-Jendou	Barrage Mellegue	MELLEGUE K13	PONT ROUTE (SARREATH)	SIDI ABDELKADER	PONT ROUTE (RMEL)		
No. Bassin Versant	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31		
B.V. (km2)	1,211.3	1,281.3	230.1	150.8	166.7	176.5	1,845.8	555.8	1,273.4	195.5	377.4	242.0	913.1	7,427.1	1,268.3	257.6	392.9		
f01	6.75	0.90	6.39	14.69	16.79	4.34	17.04	32.62	49.41	37.60	16.87	40.48	36.71	231.18	16.12	133.53	6.38	**231.2**	Eliminer
f02	4.57	0.80	1.40	1.10	1.19	1.12	1,078.11	5.47	3.96	3.77	1.85	26.16	279.80	36.78	489.78	26.92	346.41	**1,078.1**	Eliminer
f03	28.48	2.14	13.56	15.35	14.37	16.74	81.69	75.46	29.70	10.89	123.04	70.64	166.98	22.91	20.13	9.49	54.10	**167.0**	
f04	129.62	2.09	5.61	6.11	697.97	160.09	34.88	211.49	5.95	2.62	56.82	163.97	285.04	16.90	24.05	17.78	32.47	**698.0**	Eliminer
f05	8.82	1.27	58.75	127.17	34.04	16.70	5.57	36.40	1,038.30	2,311.97	786.56	50.31	47.22	89.39	2.79	5.19	9.65	**2,312.0**	Eliminer
f06	824.08	16.81	292.28	105.09	327.38	792.78	48.92	56.32	3.17	4.58	5.57	136.01	12.93	3.55	4.31	2.25	5.69	**824.1**	Eliminer
f07	12.52	1.22	10.32	2.95	23.42	13.67	30.35	13.03	12.35	16.55	6.43	8.33	68.86	117.36	87.70	24.45	23.46	**117.4**	
f08	4.49	0.64	2.50	1.66	9.36	1.98	176.28	4.63	81.78	76.79	4.98	11.14	15.81	72.90	717.15	1,669.14	14.06	**1,669.1**	Eliminer
f09	8.38	1.10	9.43	10.18	3.50	3.34	19.36	13.57	22.62	22.04	16.91	10.36	29.98	102.88	453.61	371.46	17.74	**453.6**	Eliminer
f10	14.01	1.19	13.79	2.26	36.30	24.10	74.11	2.65	408.44	185.88	22.10	25.49	31.82	55.48	23.24	5.88	26.98	**408.4**	Eliminer
f11	23.91	1.70	2.31	1.51	15.35	7.81	16.01	26.35	60.56	54.40	15.83	104.45	7.31	177.89	16.04	37.33	3.49	**177.9**	
f12	29.95	2.11	20.77	27.15	2.26	30.61	3.93	287.30	207.48	121.33	297.43	64.14	33.85	98.31	2.26	12.12	5.82	**297.4**	Eliminer
f13	4.16	0.99	0.46	0.46	3.65	1.92	224.99	4.15	61.78	63.98	2.95	14.67	11.04	55.62	4,750.71	321.90	10.74	**4,750.7**	Eliminer
f14	5.08	1.11	1.17	7.95	4.36	0.40	14.41	65.64	108.11	164.73	17.28	108.05	13.52	227.23	35.20	23.69	8.56	**227.2**	Eliminer

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Tableau 3-28 Elimination des précipitations de conception par la distribution spatiale (Zone-U1+M+U2+D1&D2)

Précipitation Totale (mm/6-jours) pour la Période de Retour de 100 ans

Type de Crue	Estuary	PONT DE BIZERTE	JEDEIDA PVF	Lansaia Dam	EL HERRI	MEJEZ ELBAB	Mejez El Bab GP5	SLOUGUIA	Khalled Aval	JEBEL LAOUDJ COTE 140	Barrage Siliana	ENTREE PLAINE SILIANA	Ballage Lakhmess	Ballage Siliana	Sidi Salem Dam	BOU SALEM GP6	KEF RHIBA (Barrage de Bou Heurtma)	FERNANA	AVAL	PONT GP6	SIDI MEDIENNE	JENDOUBA	GHARDIMAOU	Barrage Ain Dalia	RARAI PLAINE	MELLEGUE GP17 Jendou	Barrage Mellegue	MELLEGUE K13	PONT ROUTE (SARBETH)	SIDI ABDELKADER	PONT ROUTE (RMEL)	**Précipitations Moyennes par Bassin**
No. Bassin Versant	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
B.V. (km2)	474.4	233.6	748.6	195.5	593.6	83.3	97.8	145.0	449.5	1,152.6	507.2	387.8	137.6	8.0	1,211.3	1,281.3	230.1	150.8	166.7	176.5	1,845.8	555.8	1,273.4	195.3	377.4	242.0	913.1	7,427.1	1,268.3	257.6	392.9	**23,180.2**
f01	139.38	132.74	146.74	121.40	107.74	105.81	107.15	110.78	134.70	145.13	221.43	214.52	193.28	225.26	128.98	129.38	235.29	225.59	139.73	137.35	147.77	147.95	160.97	153.90	161.91	148.40	146.52	145.73	139.14	162.53	125.39	**147.12**
f02	235.16	231.61	326.02	355.13	361.51	310.50	309.66	256.06	219.54	177.49	192.19	163.51	409.25	139.85	265.27	178.61	235.69	195.55	236.54	206.15	159.64	198.21	169.09	90.41	200.42	185.25	202.37	98.34	152.53	118.30	199.67	**169.77**
f03	52.02	48.55	70.77	97.71	112.25	95.37	102.54	118.16	151.04	167.58	255.18	231.81	332.32	236.43	114.35	121.68	150.69	121.16	68.56	100.15	247.00	103.76	93.64	91.75	99.45	139.04	205.20	116.40	231.62	124.01	379.99	**145.09**
f04	169.93	164.06	194.32	223.55	204.72	210.84	206.50	149.28	181.51	128.57	169.75	154.16	224.91	159.63	182.26	179.66	277.56	227.86	135.05	189.97	188.35	169.44	141.53	118.25	219.05	162.92	190.32	103.61	150.75	107.13	234.38	**152.01**
f05	170.19	159.28	230.40	241.93	219.02	245.72	214.68	134.20	298.23	183.58	293.75	193.23	504.23	207.56	420.21	295.12	454.89	312.16	220.78	440.15	169.78	164.79	91.46	99.15	153.81	180.25	124.17	70.20	107.23	73.61	125.25	**163.78**
f06	126.91	125.66	122.15	120.78	97.99	96.80	89.13	82.06	89.51	83.93	81.58	73.82	141.76	63.62	146.96	149.39	375.81	324.39	171.19	203.77	108.58	152.65	229.64	249.10	274.81	155.93	155.13	127.28	95.53	92.38	142.51	**135.61**
f07	116.98	112.01	123.94	139.09	122.24	120.38	108.38	111.17	139.95	131.83	185.16	159.98	146.78	210.20	153.61	147.41	286.23	172.90	154.44	185.98	153.48	127.68	137.11	130.68	147.45	115.09	164.35	131.18	184.06	123.60	180.49	**143.55**
f08	133.10	131.24	161.12	136.23	183.40	119.77	137.27	133.93	153.43	215.91	215.16	176.34	297.33	234.23	115.46	110.42	185.65	141.07	123.88	115.51	203.54	104.61	168.59	164.63	131.31	129.60	137.79	123.89	245.91	218.00	168.85	**152.50**
f09	192.31	199.45	215.89	91.76	128.93	122.00	132.19	155.75	219.29	198.75	186.30	141.41	126.98	240.13	156.94	149.51	303.39	171.04	167.96	202.46	177.46	90.97	209.29	195.79	181.76	138.79	141.64	119.55	147.61	93.01	182.97	**153.68**
f10	68.90	64.95	70.78	67.17	102.66	109.04	119.09	136.70	157.55	167.37	207.65	221.02	207.91	215.26	101.09	120.42	82.10	78.61	88.58	102.40	190.87	89.10	159.66	172.23	102.42	114.45	110.73	134.28	296.42	189.84	140.40	**143.42**
f11	155.10	152.79	162.72	141.47	264.60	360.46	356.72	318.56	248.72	210.30	310.28	204.91	412.21	271.06	233.12	163.20	139.97	130.49	183.84	227.16	163.20	161.39	154.90	146.05	116.06	205.46	158.01	108.32	213.57	118.85	128.30	**164.02**
f12	139.82	146.45	99.15	100.43	77.04	78.14	78.96	84.49	133.23	123.29	136.94	124.35	133.73	128.30	133.37	139.09	257.63	211.54	96.99	128.70	142.30	127.29	134.75	134.14	163.09	119.77	144.28	131.78	243.04	190.81	172.65	**139.47**
f13	170.55	175.73	173.39	177.22	155.59	129.36	141.62	169.14	195.51	120.51	112.27	117.55	48.94	154.78	170.79	165.13	180.09	131.61	130.84	154.88	147.05	146.22	153.92	150.03	158.97	175.83	123.09	137.64	153.82	134.99	131.33	**146.28**
f14	108.19	103.79	104.20	97.88	82.74	65.10	57.26	27.49	100.88	90.65	113.29	101.65	150.36	89.55	171.75	162.61	277.29	231.30	80.91	197.22	92.65	188.09	206.68	202.91	227.22	148.62	136.80	141.85	84.18	110.48	120.69	**135.01**

Période de Retour (ans) de la Précipitation Totale (mm/6-jours) pour la Crue de 100 ans.

Obs.Max.= **347-ans**

Type de Crue	Estuary	PONT DE BIZERTE	JEDEIDA PVF	Lansaia Dam	EL HERRI	MEJEZ ELBAB	Mejez El Bab GP5	SLOUGUIA	Khalled Aval	JEBEL LAOUDJ COTE 140	Barrage Siliana	ENTREE PLAINE SILIANA	Ballage Lakhmess	Ballage Siliana	Sidi Salem Dam	BOU SALEM GP6	KEF RHIBA (Barrage de Bou Heurtma)	FERNANA	AVAL	PONT GP6	SIDI MEDIENNE	JENDOUBA	GHARDIMAOU	Barrage Ain Dalia	RARAI PLAINE	MELLEGUE GP17 Jendou	Barrage Mellegue	MELLEGUE K13	PONT ROUTE (SARBETH)	SIDI ABDELKADER	PONT ROUTE (RMEL)	Précipitation Maximale	Décision d'Elimination Par la Distribution Spatiale
No. Bassin Versant	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
B.V. (km2)	474.4	233.6	748.6	195.5	593.6	83.3	97.8	145.0	449.5	1,152.6	507.2	387.8	137.6	8.0	1,211.3	1,281.3	230.1	150.8	166.7	176.5	1,845.8	555.8	1,273.4	195.3	377.4	242.0	913.1	7,427.1	1,268.3	257.6	392.9		
f01	13.86	9.58	18.31	9.26	7.10	3.41	3.85	7.92	7.96	22.80	60.84	120.15	9.99	82.09	7.45	8.31	6.01	13.73	16.02	4.18	20.24	53.13	57.07	43.24	16.22	41.29	34.75	92.84	*14.22*	*23.85*	7.41	120.15	
f02	419.32	301.97	466.22	4,127.52	1,937.36	1,050.08	1,607.02	535.21	71.05	58.17	26.52	21.53	124.92	6.78	125.68	25.04	6.06	6.42	634.49	200.40	27.86	886.31	6.59	2.80	66.41	232.58	343.12	15.26	*20.75*	8.54	29.08	4,127.52	Eliminer
f03	0.62	0.51	0.95	4.99	7.85	2.54	3.35	9.81	12.13	44.52	158.64	215.12	61.96	113.76	4.65	7.00	1.27	0.98	1.07	0.91	292.15	4.47	3.47	2.97	1.65	26.63	385.31	30.37	*164.33*	9.91	802.65	802.65	Eliminer
f04	41.12	28.58	57.19	133.11	60.58	64.48	74.29	24.39	26.63	12.98	14.02	15.71	16.64	12.08	28.88	25.63	13.08	14.54	13.41	20.01	60.31	177.02	25.42	9.30	131.32	81.59	209.35	18.65	*19.91*	6.38	55.08	209.35	
f05	41.50	24.19	114.09	215.09	83.10	171.23	94.79	15.62	541.10	68.04	474.93	58.63	252.27	48.96	762.27	340.40	341.81	122.70	348.64	1,156.12	36.60	135.77	3.17	4.08	5.80	183.92	13.90	5.22	*6.39*	2.66	7.39	1,156.12	Eliminer
f06	8.89	7.48	8.70	9.11	5.73	2.65	2.25	3.44	2.48	1.78	1.15	1.05	3.52	0.73	12.42	12.99	79.77	167.19	52.95	28.08	7.05	69.14	993.02	2,616.72	1,010.92	58.78	49.45	45.97	*4.71*	4.34	10.16	2,616.72	Eliminer
f07	6.24	4.65	9.23	14.69	9.79	5.12	3.99	8.01	9.11	14.58	21.72	19.12	3.95	52.88	14.78	12.45	15.35	3.62	28.02	18.06	23.61	17.07	21.15	15.84	9.55	8.66	72.19	53.33	*47.49*	9.80	20.43	72.19	
f08	11.08	9.09	26.75	13.63	37.82	5.03	9.44	15.50	12.90	144.71	50.92	33.18	12.65	166.65	4.83	5.44	2.41	1.62	8.77	1.81	90.77	4.69	72.08	68.65	5.29	17.10	24.30	40.40	*238.72*	*115.16*	16.49	238.72	
f09	91.21	88.29	87.63	4.27	11.35	5.36	8.11	29.18	70.59	98.44	22.43	10.23	2.43	126.74	16.07	13.05	21.04	3.45	46.84	27.22	45.00	2.19	425.95	262.99	33.55	26.32	28.44	34.24	*18.34*	*4.41*	21.38	425.95	Eliminer
f10	1.13	0.90	0.95	2.25	6.35	3.73	5.49	16.79	14.35	44.27	41.13	149.56	12.77	61.29	2.87	6.80	0.36	0.33	2.25	1.01	64.55	1.97	54.04	95.28	1.84	8.40	8.01	60.01	*891.74*	55.23	9.77	891.74	Eliminer
f11	24.25	19.29	27.85	15.63	227.57	4,254.03	6,531.29	3,277.99	150.85	128.03	758.65	86.89	127.99	312.66	75.76	17.73	1.04	1.24	85.63	47.45	30.66	112.74	44.34	30.83	3.03	599.95	55.66	22.33	*102.59*	8.66	7.82	6,531.29	Eliminer
f12	14.08	15.46	3.74	5.35	3.61	1.57	1.66	3.70	7.66	10.68	5.52	5.75	2.89	4.84	8.49	10.33	9.07	5.62	3.16	3.06	17.48	16.70	19.18	18.45	16.93	10.79	31.70	54.57	*221.37*	56.65	17.69	221.37	
f13	42.03	42.94	36.02	39.72	20.46	6.59	10.74	43.02	38.22	9.60	2.74	4.58	0.10	10.48	22.39	18.51	2.18	1.27	11.43	7.47	19.86	48.22	42.56	36.59	14.57	149.52	13.29	68.23	*21.57*	*13.20*	8.27	149.52	
f14	4.57	3.49	4.57	5.01	4.09	1.09	0.87	0.71	3.33	2.55	2.82	2.68	4.29	1.56	22.88	17.50	13.02	15.86	1.71	23.98	4.60	503.07	382.17	357.40	177.08	41.74	23.33	80.07	3.50	6.96	6.80	503.07	Eliminer

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Les tableaux suivants présentent les résultats pour lesquels la précipitation réelle pendant la période d'extension des pluies et la précipitation maximale de 3 heures de la précipitation probable et du rejet dû à la distribution temporelle sont éliminées par l'année de probabilité.

Tableau 3-29 Elimination des précipitations de conception par la distribution temporelle (Zone-U1)

Type de Crue	Période Date Début		Période Date Fin	Préci.Obs. Pointe	Intensité des Précipitations Prouvable 5-ans	10-ans	20-ans	50-ans	100-ans	Taux d'Extension 5-ans	10-ans	20-ans	50-ans	100-ans	2.00 Eliminer par Taux d'Extension
				(mm/3hr)	(mm/3hr)	(mm/3hr)	(mm/3hr)	(mm/3hr)	(mm/3hr)	(mm/3hr)	(mm/3hr)	(mm/3hr)	(mm/3hr)	(mm/3hr)	
f01	2003/Dec/11	~	2003/Dec/12	16.08	9.38	11.49	13.69	16.79	19.30	0.58	0.71	0.85	1.04	1.20	
f02	1984/Dec/29	~	1984/Dec/30	11.49	7.41	9.08	10.82	13.28	15.25	0.65	0.79	0.94	1.16	1.33	
f03	2005/Dec/13	~	2005/Dec/14	13.49	11.02	13.50	16.08	19.73	22.67	0.82	1.00	1.19	1.46	1.68	
f04	2009/Apr/10	~	2009/Apr/11	14.77	12.55	15.37	18.32	22.47	25.82	0.85	1.04	1.24	1.52	1.75	
f05	1996/Feb/27	~	1996/Feb/28	15.13	13.85	16.97	20.22	24.81	28.51	0.92	1.12	1.34	1.64	1.88	
f06	2003/Jan/15	~	2003/Jan/16	13.70	12.60	15.44	18.40	22.57	25.94	0.92	1.13	1.34	1.65	1.89	
f07	1979/Apr/15	~	1979/Apr/16	11.81	10.95	13.42	15.99	19.62	22.54	0.93	1.14	1.35	1.66	1.91	
f08	2000/May/25	~	2000/May/26	11.15	10.37	12.71	15.15	18.58	21.35	0.93	1.14	1.36	1.67	1.92	
f09	2009/Jan/12	~	2009/Jan/13	11.07	10.49	12.85	15.31	18.79	21.59	0.95	1.16	1.38	1.70	1.95	
f10	2013/Nov/11	~	2013/Nov/12	8.10	7.83	9.59	11.43	14.02	16.11	0.97	1.18	1.41	1.73	1.99	
f11	2006/Dec/13	~	2006/Dec/14	43.58	42.46	52.01	61.98	76.04	87.37	0.97	1.19	1.42	1.74	2.01	Eliminer
f12	2012/Feb/21	~	2012/Feb/22	13.14	14.12	17.29	20.61	25.28	29.05	1.07	1.32	1.57	1.92	2.21	Eliminer
f13	2005/Apr/9	~	2005/Apr/10	17.53	19.25	23.58	28.10	34.47	39.61	1.10	1.35	1.60	1.97	2.26	Eliminer
f14	1995/Sep/26	~	1995/Sep/27	20.31	22.40	27.44	32.70	40.12	46.10	1.10	1.35	1.61	1.98	2.27	Eliminer

Obs.Max.= 110-ans

Type de Crue	Période Date Début		Période Date Fin	Précipitation Observée	Période de Retour (ans) de l'Intensité Maximale des Précipitations 5-ans	10-ans	20-ans	50-ans	100-ans	Eliminer par la Période de Retour
				(mm/3hr)	(mm/3hr)	(mm/3hr)	(mm/3hr)	(mm/3hr)	(mm/3hr)	
f01	2003/Dec/11	~	2003/Dec/13	2.63	0.35	0.75	1.44	3.10	5.21	
f02	1984/Dec/29	~	1984/Dec/31	0.75	0.14	0.31	0.60	1.28	2.16	
f03	2005/Dec/13	~	2005/Dec/15	1.36	0.64	1.37	2.63	5.66	9.53	
f04	2009/Apr/10	~	2009/Apr/12	1.92	1.04	2.22	4.29	9.22	15.51	
f05	1996/Feb/27	~	1996/Feb/29	2.09	1.51	3.22	6.21	13.35	22.46	
f06	2003/Jan/15	~	2003/Jan/17	1.44	1.06	2.26	4.36	9.38	15.78	
f07	1979/Apr/15	~	1979/Apr/17	0.83	0.63	1.34	2.58	5.55	9.33	
f08	2000/May/25	~	2000/May/27	0.67	0.51	1.09	2.10	4.52	7.61	
f09	2009/Jan/12	~	2009/Jan/14	0.65	0.53	1.14	2.19	4.72	7.93	
f10	2013/Nov/11	~	2013/Nov/13	0.20	0.18	0.38	0.73	1.57	2.65	
f11	2006/Dec/13	~	2006/Dec/15	110.08	99.86	213.58	411.76	885.49	1,489.66	Eliminer
f12	2012/Feb/21	~	2012/Feb/23	1.24	1.62	3.46	6.66	14.33	24.11	
f13	2005/Apr/9	~	2005/Apr/11	3.63	5.16	11.04	21.28	45.76	76.98	
f14	1995/Sep/26	~	1995/Sep/28	6.32	9.11	19.49	37.57	80.80	135.93	Eliminer

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Tableau 3-30 Elimination des précipitations de conception par la distribution temporelle (Zone- M)

													2.00
Type de Crue	Période		Précipitation	Intensité des Précipitations Prouvable					Taux d'Extension					Eliminer par
	Date Début	Date Fin	Observée (mm/3hr)	5-ans (mm/3hr)	10-ans (mm/3hr)	20-ans (mm/3hr)	50-ans (mm/3hr)	100-ans (mm/3hr)	5-ans (mm/3hr)	10-ans (mm/3hr)	20-ans (mm/3hr)	50-ans (mm/3hr)	100-ans (mm/3hr)	Taux d'Extension
f01	2003/Dec/12	2003/Dec/14	13.97	7.03	8.37	9.76	11.74	13.34	0.50	0.60	0.70	0.84	0.95	
f02	2003/Jan/10	2003/Jan/12	21.20	11.90	14.17	16.51	19.87	22.57	0.56	0.67	0.78	0.94	1.06	
f03	2009/Apr/11	2009/Apr/13	13.05	9.93	11.81	13.77	16.57	18.82	0.76	0.90	1.05	1.27	1.44	
f04	1984/Dec/29	1984/Dec/31	9.12	6.97	8.29	9.67	11.63	13.21	0.76	0.91	1.06	1.27	1.45	
f05	1990/Dec/22	1990/Dec/24	11.06	8.92	10.62	12.38	14.89	16.92	0.81	0.96	1.12	1.35	1.53	
f06	1992/May/24	1992/May/26	11.23	10.08	12.00	13.99	16.83	19.12	0.90	1.07	1.25	1.50	1.70	
f07	2005/Dec/13	2005/Dec/15	9.38	8.94	10.63	12.40	14.91	16.94	0.95	1.13	1.32	1.59	1.81	
f08	2004/Nov/1	2004/Nov/3	6.69	6.42	7.65	8.91	10.72	12.18	0.96	1.14	1.33	1.60	1.82	
f09	2004/Jun/15	2004/Jun/17	7.10	6.90	8.22	9.58	11.52	13.09	0.97	1.16	1.35	1.62	1.84	
f10	1979/Apr/16	1979/Apr/18	11.78	11.82	14.07	16.40	19.73	22.41	1.00	1.19	1.39	1.67	1.90	
f11	2000/May/25	2000/May/27	6.98	7.27	8.65	10.08	12.13	13.78	1.04	1.24	1.44	1.74	1.97	
f12	2006/Dec/14	2006/Dec/16	26.22	30.01	35.72	41.64	50.09	56.91	1.14	1.36	1.59	1.91	2.17	Eliminer
f13	1996/Mar/15	1996/Mar/17	3.37	9.92	11.80	13.76	16.55	18.80	2.94	3.50	4.09	4.91	5.58	Eliminer
f14	2003/Apr/4	2003/Apr/6	15.68	18.06	21.50	25.06	30.15	34.25	1.15	1.37	1.60	1.92	2.19	Eliminer

								Obs.Max=	60-ans
Type de Crue	Période		Période de Retour (ans) de l'Intensité de Précipitation Maximale						Eliminer par
	Date Début	Date Fin	Préci. Obs (mm/3hr)	5-ans (mm/3hr)	10-ans (mm/3hr)	20-ans (mm/3hr)	50-ans (mm/3hr)	100-ans (mm/3hr)	Période de Retour
f01	2003/Dec/12	2003/Dec/14	2.7	0.5	0.7	0.9	1.6	2.3	
f02	2003/Jan/10	2003/Jan/12	17.0	1.6	2.9	5.2	12.1	24.0	
f03	2009/Apr/11	2009/Apr/13	2.2	1.0	1.6	2.6	5.3	9.3	
f04	1984/Dec/29	1984/Dec/31	0.8	0.5	0.7	0.9	1.5	2.3	
f05	1990/Dec/22	1990/Dec/24	1.3	0.8	1.2	1.8	3.5	5.8	
f06	1992/May/24	1992/May/26	1.4	1.0	1.7	2.8	5.6	10.1	
f07	2005/Dec/13	2005/Dec/15	0.9	0.8	1.2	1.8	3.5	5.8	
f08	2004/Nov/1	2004/Nov/3	0.4	0.4	0.6	0.8	1.2	1.7	
f09	2004/Jun/15	2004/Jun/17	0.5	0.5	0.6	0.9	1.5	2.2	
f10	1979/Apr/16	1979/Apr/18	1.6	1.6	2.8	5.1	11.7	23.1	
f11	2000/May/25	2000/May/27	0.5	0.5	0.7	1.0	1.7	2.6	
f12	2006/Dec/14	2006/Dec/16	60.3	156.9	661.6	2,943.0	24,816.0	138,445.5	Eliminer
f13	1996/Mar/15	1996/Mar/17	0.2	1.0	1.6	2.6	5.3	9.3	
f14	2003/Apr/4	2003/Apr/6	4.2	7.7	18.3	45.0	162.5	457.3	Eliminer

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Tableau 3-31 Elimination des précipitations de conception par la distribution temporelle (Zone-U1+M+U2)

													2.00
Type de Crue	Période		Précip.	Intensité des Précipitations Prouvable					Taux d'Extension					Eliminer
	Date Début	Date Fin	Obs. (mm/3hr)	5-ans (mm/3hr)	10-ans (mm/3hr)	20-ans (mm/3hr)	50-ans (mm/3hr)	100-ans (mm/3hr)	5-ans (mm/3hr)	10-ans (mm/3hr)	20-ans (mm/3hr)	50-ans (mm/3hr)	100-ans (mm/3hr)	Par Taux d'Extension
f01	2003/Dec/11	2003/Dec/15	15.81	9.04	10.69	12.38	14.75	16.64	0.57	0.68	0.78	0.93	1.05	
f02	2003/Jan/12	2003/Jan/16	20.96	14.34	16.97	19.64	23.41	26.41	0.68	0.81	0.94	1.12	1.26	
f03	2009/Apr/11	2009/Apr/15	15.78	10.93	12.92	14.96	17.83	20.12	0.69	0.82	0.95	1.13	1.27	
f04	2006/Dec/16	2006/Dec/20	49.27	34.91	41.29	47.81	56.96	64.27	0.71	0.84	0.97	1.16	1.30	
f05	1984/Dec/31	1985/Jan/4	8.14	5.79	6.84	7.93	9.44	10.65	0.71	0.84	0.97	1.16	1.31	
f06	2011/Oct/31	2011/Nov/4	14.01	10.85	12.83	14.86	17.70	19.97	0.77	0.92	1.06	1.26	1.43	
f07	2004/Nov/13	2004/Nov/17	9.96	8.69	10.28	11.90	14.18	15.99	0.87	1.03	1.19	1.42	1.61	
f08	2007/Mar/11	2007/Mar/15	12.27	11.41	13.50	15.63	18.63	21.01	0.93	1.10	1.27	1.52	1.71	
f09	1990/Dec/24	1990/Dec/28	10.29	9.76	11.54	13.36	15.92	17.96	0.95	1.12	1.30	1.55	1.75	
f10	2005/Dec/13	2005/Dec/17	9.19	8.84	10.46	12.11	14.43	16.28	0.96	1.14	1.32	1.57	1.77	
f11	2004/Jun/16	2004/Jun/20	9.11	9.32	11.03	12.77	15.21	17.16	1.02	1.21	1.40	1.67	1.88	
f12	2010/Nov/5	2010/Nov/9	4.86	4.98	5.88	6.81	8.12	9.16	1.02	1.21	1.40	1.67	1.88	
f13	1992/Nov/4	1992/Nov/8	10.48	11.26	13.31	15.42	18.37	20.73	1.07	1.27	1.47	1.75	1.98	
f14	1992/May/24	1992/May/28	13.60	14.64	17.32	20.05	23.89	26.96	1.08	1.27	1.47	1.76	1.98	

								Obs.Max.=	414-ans
Type de Crue	Période		Précip.	Période de Retour (ans) de l'Intensité de Précipitation Maximale					Eliminer par
	Date Début	Date Fin	Obs. (mm/3hr)	5-ans (mm/3hr)	10-ans (mm/3hr)	20-ans (mm/3hr)	50-ans (mm/3hr)	100-ans (mm/3hr)	Période de Retour
f01	2003/Dec/11	2003/Dec/13	3.14	1.17	1.49	1.90	2.69	3.54	
f02	2003/Jan/12	2003/Jan/14	6.65	2.53	3.71	5.49	9.51	14.73	
f03	2009/Apr/11	2009/Apr/13	3.12	1.54	2.06	2.77	4.21	5.88	
f04	2006/Dec/16	2006/Dec/18	413.80	50.92	129.16	334.36	1,271.39	3,691.12	Eliminer
f05	1984/Dec/31	1985/Jan/2	1.03	0.73	0.85	0.99	1.24	1.48	
f06	2011/Oct/31	2011/Nov/2	2.41	1.52	2.03	2.73	4.14	5.76	
f07	2004/Nov/13	2004/Nov/15	1.34	1.11	1.40	1.77	2.47	3.22	
f08	2007/Mar/11	2007/Mar/13	1.87	1.65	2.24	3.06	4.73	6.71	
f09	1990/Dec/24	1990/Dec/26	1.40	1.30	1.68	2.20	3.19	4.30	
f10	2005/Dec/13	2005/Dec/15	1.19	1.14	1.44	1.83	2.57	3.36	
f11	2004/Jun/16	2004/Jun/18	1.18	1.22	1.56	2.01	2.88	3.82	
f12	2010/Nov/5	2010/Nov/7	0.64	0.65	0.74	0.84	1.02	1.19	
f13	1992/Nov/4	1992/Nov/6	1.44	1.62	2.18	2.96	4.56	6.43	
f14	1992/May/24	1992/May/26	2.27	2.65	3.91	5.83	10.21	15.96	

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Tableau 3-32 Elimination des précipitations de conception par la distribution temporelle (Zone- U1+M+U2+D1&2)

													2.00
Type de Crue	Période		Précipitation	Intensité des Précipitations Prouvable					Taux d'Extension					Eliminer par Taux d'Extension
	Date Début	Date Fin	Observée (mm/3hr)	5-ans (mm/3hr)	10-ans (mm/3hr)	20-ans (mm/3hr)	50-ans (mm/3hr)	100-ans (mm/3hr)	5-ans (mm/3hr)	10-ans (mm/3hr)	20-ans (mm/3hr)	50-ans (mm/3hr)	100-ans (mm/3hr)	
f01	2003/Dec/8	2003/Dec/13	17.99	11.24	13.17	15.03	17.44	19.25	0.62	0.73	0.84	0.97	1.07	
f02	2006/Dec/13	2006/Dec/18	68.18	54.31	63.66	72.62	84.26	93.03	0.80	0.93	1.07	1.24	1.36	
f03	2003/Jan/9	2003/Jan/14	24.09	18.06	21.17	24.15	28.02	30.94	0.75	0.88	1.00	1.16	1.28	
f04	2009/Apr/7	2009/Apr/12	15.43	11.83	13.87	15.82	18.36	20.27	0.77	0.90	1.03	1.19	1.31	
f05	2011/Oct/28	2011/Nov/2	13.11	11.41	13.37	15.26	17.70	19.55	0.87	1.02	1.16	1.35	1.49	
f06	1984/Dec/28	1985/Jan/2	7.37	5.83	6.83	7.79	9.04	9.99	0.79	0.93	1.06	1.23	1.35	
f07	2004/Nov/10	2004/Nov/15	10.77	10.43	12.22	13.95	16.18	17.87	0.97	1.13	1.29	1.50	1.66	
f08	2007/Mar/7	2007/Mar/12	12.30	12.76	14.96	17.06	19.80	21.86	1.04	1.22	1.39	1.61	1.78	
f09	2005/Dec/9	2005/Dec/14	11.29	11.72	13.74	15.67	18.18	20.08	1.04	1.22	1.39	1.61	1.78	
f10	1992/Nov/1	1992/Nov/6	10.87	11.59	13.59	15.50	17.98	19.86	1.07	1.25	1.43	1.65	1.83	
f11	1982/Nov/10	1982/Nov/15	11.21	13.39	15.69	17.91	20.77	22.94	1.19	1.40	1.60	1.85	2.05	Eliminer
f12	1990/Dec/21	1990/Dec/26	9.62	10.10	11.84	13.51	15.67	17.31	1.05	1.23	1.40	1.63	1.80	
f13	2004/Jun/12	2004/Jun/17	11.47	12.55	14.72	16.79	19.48	21.51	1.09	1.28	1.46	1.70	1.87	
f14	2010/Nov/2	2010/Nov/7	4.25	4.43	5.20	5.93	6.88	7.59	1.04	1.22	1.39	1.62	1.79	

							Obs.Max.=	540 -ans
Type de Crue	Période		Période de Retour (ans) de l'Intensité Maximale des Précipitations					Eliminer par Période de Retour
	Date Début	Date Fin	Préc. Obs. (mm/3hr)	5-ans (mm/3hr)	10-ans (mm/3hr)	20-ans (mm/3hr)	50-ans (mm/3hr)	100-ans (mm/3hr)	
f01	2003/Dec/8	2003/Dec/10	3.92	2.02	2.45	2.93	3.72	4.44	
f02	2006/Dec/13	2006/Dec/15	539.74	138.36	346.16	834.24	2,612.67	6,179.65	Eliminer
f03	2003/Jan/9	2003/Jan/11	7.14	3.95	5.36	7.18	10.50	13.98	
f04	2009/Apr/7	2009/Apr/9	3.05	2.15	2.62	3.17	4.07	4.91	
f05	2011/Oct/28	2011/Oct/30	2.43	2.06	2.50	3.00	3.82	4.57	
f06	1984/Dec/28	1984/Dec/30	1.38	1.19	1.31	1.44	1.63	1.79	
f07	2004/Nov/10	2004/Nov/12	1.93	1.87	2.23	2.64	3.29	3.88	
f08	2007/Mar/7	2007/Mar/9	2.25	2.35	2.91	3.58	4.68	5.73	
f09	2005/Dec/9	2005/Dec/11	2.03	2.12	2.59	3.13	4.00	4.82	
f10	1992/Nov/1	1992/Nov/3	1.95	2.09	2.55	3.07	3.92	4.71	
f11	1982/Nov/10	1982/Nov/12	2.02	2.50	3.13	3.89	5.16	6.38	
f12	1990/Dec/21	1990/Dec/23	1.73	1.81	2.15	2.53	3.13	3.67	
f13	2004/Jun/12	2004/Jun/14	2.07	2.30	2.85	3.49	4.54	5.54	
f14	2010/Nov/2	2010/Nov/4	1.02	1.04	1.12	1.20	1.32	1.42	

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Les Tableau 3-33 à Tableau 3-36 présentent la distribution temporelle et la distribution spatiale du groupe de précipitations de conception pour chaque zone, et les résultats de l'élimination selon l'échelle de probabilité.

Tableau 3-33 Résultats d'elimination par la distribution temporelle et spatiale et echelle de probabilité des groupes de précipitations de conception (Zone U1)

								20%					
Type de Crue	Période		Préci. Obs.	Quantité Total de Précipitation de la Précipitation de Conception					Intensité/ Quantité Tot.	Eliminer par Distribution Temporelle	Eliminer par Taux d'Extension	Eliminer par Période de Retour	Eliminer par Distribution Spatiale	Judgement Global d'Elimination
	Date Début	Date Fin	(mm/48hr)	5-ans (mm/48hr)	10-ans (mm/48hr)	20-ans (mm/48hr)	50-ans (mm/48hr)	100-ans (mm/48hr)						
f01	2003/Dec/11	2003/Dec/12	229.91	134.09	164.27	195.75	240.15	275.94	7.0%					
f02	1984/Dec/29	1984/Dec/30	205.51	132.61	162.46	193.59	237.51	272.90	5.6%					
f03	2005/Dec/13	2005/Dec/14	170.41	139.21	170.55	203.22	249.33	286.48	7.9%					
f04	2009/Apr/10	2009/Apr/11	155.49	132.07	161.79	192.79	236.53	271.78	9.5%				Eliminer	Eliminer
f05	1996/Feb/27	1996/Feb/28	154.87	141.83	173.75	207.04	254.01	291.86	9.8%					
f06	2003/Jan/15	2003/Jan/16	148.68	136.83	167.62	199.74	245.06	281.57	9.2%				Eliminer	Eliminer
f07	1979/Apr/15	1979/Apr/16	149.34	138.53	169.72	202.23	248.12	285.09	7.9%					
f08	2000/May/25	2000/May/26	148.92	138.59	169.78	202.31	248.21	285.19	7.5%					
f09	2009/Jan/12	2009/Jan/13	144.90	137.37	168.29	200.54	246.03	282.70	7.6%					
f10	2013/Nov/11	2013/Nov/12	135.01	130.44	159.80	190.41	233.61	268.42	6.0%					
f11	2006/Dec/13	2006/Dec/14	168.40	164.07	201.00	239.52	293.86	337.64	25.9%	Eliminer	Eliminer	Eliminer		Eliminer
f12	2012/Feb/21	2012/Feb/22	132.38	142.21	174.22	207.60	254.70	292.66	9.9%		Eliminer			Eliminer
f13	2005/Apr/9	2005/Apr/10	129.10	141.77	173.68	206.95	253.91	291.74	13.6%		Eliminer		Eliminer	Eliminer
f14	1995/Sep/26	1995/Sep/27	127.36	140.46	172.07	205.04	251.56	289.05	15.9%		Eliminer	Eliminer	Eliminer	Eliminer

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Tableau 3-34 Résultats d'elimination par distribution temporelle et spatiale et echelle de probabilité des groupes de précipitations de conception (Zone M)

								20%					
Type de Crue	Période		Préci. Obs.	Quantité Total de Précipitation de la Précipitation de Conception					Intensité/ Quantité Tot.	Eliminer par Distribution Temporelle	Eliminer par Taux d'Extension	Eliminer par Période de Retour	Eliminer par Distribution Spatiale	Judgement Global d'Elimination
	Date Début	Date Fin	(mm/3jrs)	5-ans (mm/3jrs)	10-ans (mm/3jrs)	20-ans (mm/3jrs)	50-ans (mm/3jrs)	100-ans (mm/3jrs)						
f01	2003/Dec/12	2003/Dec/14	245.41	123.54	147.03	171.39	206.20	234.25	5.7%				Eliminer	Eliminer
f02	2003/Jan/10	2003/Jan/12	223.67	125.59	149.47	174.23	209.61	238.13	9.5%					
f03	2009/Apr/11	2009/Apr/13	161.77	123.01	146.40	170.65	205.30	233.24	8.1%				Eliminer	Eliminer
f04	1984/Dec/29	1984/Dec/31	157.38	120.20	143.06	166.76	200.62	227.92	5.8%				Eliminer	Eliminer
f05	1990/Dec/22	1990/Dec/24	151.78	122.44	145.72	169.87	204.36	232.16	7.3%				Eliminer	Eliminer
f06	1992/May/24	1992/May/26	137.27	123.29	146.73	171.04	205.77	233.77	8.2%					
f07	2005/Dec/13	2005/Dec/15	128.99	122.91	146.28	170.51	205.13	233.05	7.3%				Eliminer	Eliminer
f08	2004/Nov/1	2004/Nov/3	124.60	119.69	142.45	166.05	199.77	226.95	5.4%					
f09	2004/Jun/15	2004/Jun/17	123.37	119.91	142.71	166.36	200.13	227.37	5.8%				Eliminer	Eliminer
f10	1979/Apr/16	1979/Apr/18	125.23	125.65	149.55	174.32	209.72	238.26	9.4%				Eliminer	Eliminer
f11	2000/May/25	2000/May/27	116.38	121.20	144.25	168.15	202.29	229.82	6.0%					
f12	2006/Dec/14	2006/Dec/16	124.64	142.67	169.80	197.93	238.12	270.52	21.0%	Eliminer	Eliminer	Eliminer	Eliminer	Eliminer
f13	1996/Mar/15	1996/Mar/17	42.12	124.01	147.59	172.04	206.98	235.14	8.0%		Eliminer		Eliminer	Eliminer
f14	2003/Apr/4	2003/Apr/6	114.33	131.75	156.80	182.78	219.89	249.81	13.7%		Eliminer	Eliminer		Eliminer

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Tableau 3-35 Résultats d'elimination par distribution temporelle et spatiale et echelle de probabilité des groupes de précipitations de conception (Zone U1+M+U2)

Type de Crue	Période Date Début	Période Date Fin	Préci. Obs. (mm/5jrs)	Quantité Totale de Précipitation de la Précipitation de Conception 5-ans (mm/5jrs)	10-ans (mm/5jrs)	20-ans (mm/5jrs)	50-ans (mm/5jrs)	100-ans (mm/5jrs)	20% Intensité/ Quantité Tot.	Eliminer par Distribution Temporelle	Eliminer par Taux d'Extension	Eliminer par Période de Retour	Eliminer par Distribution Spatiale	Judgement Global d'Elimination
f01	2003/Dec/11	2003/Dec/15	280.00	160.08	189.34	219.23	261.21	294.71	5.6%				Eliminer	Eliminer
f02	2003/Jan/12	2003/Jan/16	241.37	165.20	195.40	226.25	269.57	304.14	8.7%				Eliminer	Eliminer
f03	2009/Apr/11	2009/Apr/15	233.68	161.83	191.41	221.63	264.08	297.94	6.8%					
f04	2006/Dec/16	2006/Dec/20	262.37	185.90	219.88	254.59	303.35	342.25	18.8%			Eliminer	Eliminer	Eliminer
f05	1984/Dec/31	1985/Jan/4	220.33	156.64	185.27	214.53	255.60	288.39	3.7%				Eliminer	Eliminer
f06	2011/Oct/31	2011/Nov/4	208.94	161.85	191.43	221.66	264.10	297.97	6.7%				Eliminer	Eliminer
f07	2004/Nov/13	2004/Nov/17	182.86	159.46	188.60	218.38	260.20	293.57	5.4%					
f08	2007/Mar/11	2007/Mar/15	174.41	162.27	191.92	222.23	264.78	298.74	7.0%				Eliminer	Eliminer
f09	1990/Dec/24	1990/Dec/28	169.47	160.70	190.08	220.09	262.23	295.87	6.1%				Eliminer	Eliminer
f10	2005/Dec/13	2005/Dec/17	166.00	159.82	189.03	218.88	260.79	294.24	5.5%				Eliminer	Eliminer
f11	2004/Jun/16	2004/Jun/20	156.61	160.22	189.50	219.42	261.44	294.97	5.8%					
f12	2010/Nov/5	2010/Nov/9	152.25	155.82	184.30	213.40	254.26	286.87	3.2%				Eliminer	Eliminer
f13	1992/Nov/4	1992/Nov/8	150.84	161.96	191.56	221.80	264.28	298.17	7.0%				Eliminer	Eliminer
f14	1992/May/24	1992/May/28	153.72	165.46	195.71	226.61	270.00	304.63	8.8%				Eliminer	Eliminer

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Tableau 3-36 Résultats d'elimination par distribution temporelle et spatiale et echelle de probabilité des groupes de précipitations de conception (Zone U1+M+U2+D1&D2)

Type de Crue	Période Date Début	Période Date Fin	Préci. Obs. (mm/6jrs)	Quantité Totale de Précipitation de la Précipitation de Conception 5-ans (mm/6jrs)	10-ans (mm/6jrs)	20-ans (mm/6jrs)	50-ans (mm/6jrs)	100-ans (mm/6jrs)	20% Intensité/ Quantité Tot.	Eliminer par Distribution Temporelle	Eliminer par Taux d'Extension	Eliminer par Période de Retour	Eliminer par Distribution Spatiale	Judgement Global d'Elimination
f01	2003/Dec/8	2003/Dec/13	292.94	183.00	214.50	244.71	283.92	313.49	6.1%					
f02	2006/Dec/13	2006/Dec/18	317.02	252.50	295.97	337.66	391.76	432.57	21.5%	Eliminer		Eliminer	Eliminer	Eliminer
f03	2003/Jan/9	2003/Jan/14	250.02	187.45	219.71	250.66	290.83	321.12	9.6%				Eliminer	Eliminer
f04	2009/Apr/7	2009/Apr/12	246.84	189.30	221.88	253.14	293.70	324.29	6.3%					
f05	2011/Oct/28	2011/Nov/2	232.82	202.62	237.50	270.95	314.37	347.11	5.6%				Eliminer	Eliminer
f06	1984/Dec/28	1985/Jan/2	207.64	164.14	192.40	219.50	254.67	281.20	3.6%				Eliminer	Eliminer
f07	2004/Nov/10	2004/Nov/15	183.92	178.02	208.66	238.05	276.20	304.96	5.9%					
f08	2007/Mar/7	2007/Mar/12	184.43	191.27	224.19	255.77	296.75	327.66	6.7%					
f09	2005/Dec/9	2005/Dec/14	172.88	179.42	210.30	239.92	278.37	307.36	6.5%				Eliminer	Eliminer
f10	1992/Nov/1	1992/Nov/6	167.92	179.03	209.84	239.40	277.76	306.69	6.5%				Eliminer	Eliminer
f11	1982/Nov/10	1982/Nov/15	171.58	204.87	240.14	273.96	317.87	350.97	6.5%		Eliminer		Eliminer	Eliminer
f12	1990/Dec/21	1990/Dec/26	164.63	172.93	202.70	231.25	268.31	296.25	5.8%					
f13	2004/Jun/12	2004/Jun/17	167.51	183.33	214.89	245.16	284.44	314.07	6.8%					
f14	2010/Nov/2	2010/Nov/7	155.47	162.05	189.94	216.70	251.42	277.61	2.7%				Eliminer	Eliminer

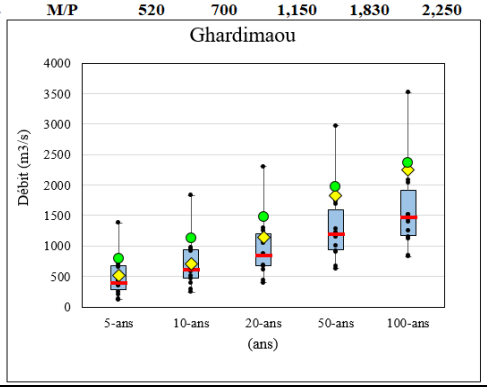
Source: Equipe d'Etude de la JICA

(4) Débit de pointe maximal de la crue de conception après une pluie exceptionnelle

Le débit de pointe de la crue de conception après l'élimination des précipitations atypiques, la moyenne du cadre des présentations, le facteur de couverture de 75% et le débit de pointe de crue du Plan Directeur sont indiqués ci-dessous.

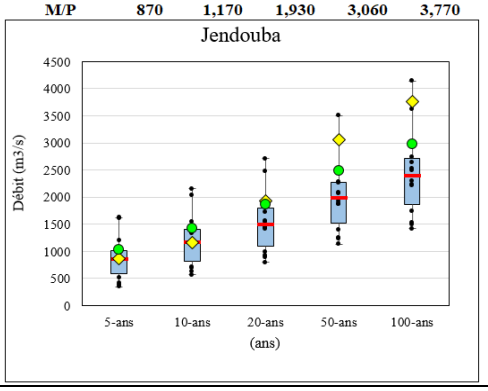
Ghardimaou

	5-ans	10-ans	20-ans	50-ans	100-ans
75%	680	930	1,200	1,590	1,910
médiane	400	610	850	1,190	1,470
25%	280	480	680	940	1,170
Rejecté Max.	790	1,130	1,480	1,970	2,370
M/P	520	700	1,150	1,830	2,250



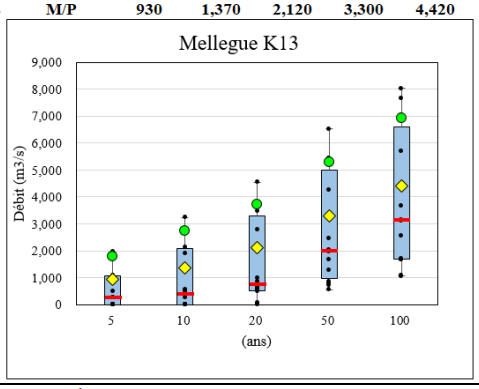
Jendouba

	5-ans	10-ans	20-ans	50-ans	100-ans
75%	1,020	1,410	1,810	2,280	2,720
médiane	860	1,160	1,500	1,990	2,400
25%	590	810	1,090	1,520	1,860
Rejecté Max.	1,030	1,430	1,860	2,480	2,980
M/P	870	1,170	1,930	3,060	3,770



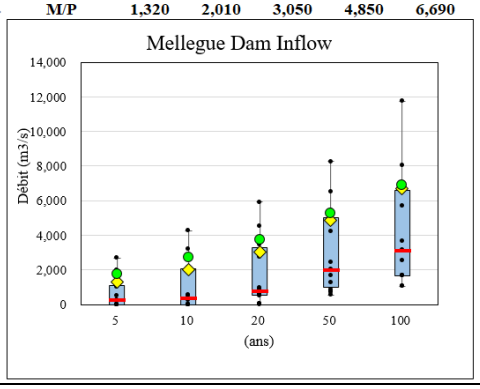
Mellegue K13

	5-ans	10-ans	20-ans	50-ans	100-ans
75%	1,080	2,090	3,300	5,010	6,610
médiane	270	390	770	2,000	3,130
25%	0	0	520	970	1,680
Rejeté Max.	1,780	2,730	3,730	5,280	6,920
M/P	930	1,370	2,120	3,300	4,420



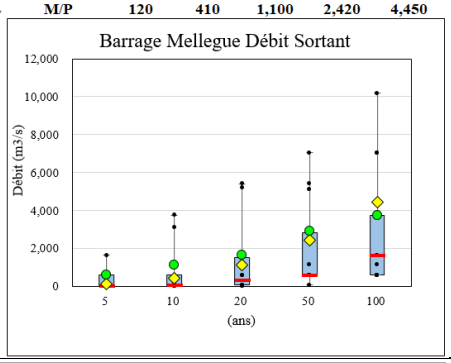
Barrage Mellegue Débit Entrant

	5-ans	10-ans	20-ans	50-ans	100-ans
75%	1,080	2,090	3,300	5,020	6,620
médiane	270	390	770	2,000	3,130
25%	0	0	520	970	1,680
Rejeté Max.	1,780	2,730	3,730	5,280	6,920
M/P	1,320	2,010	3,050	4,850	6,690



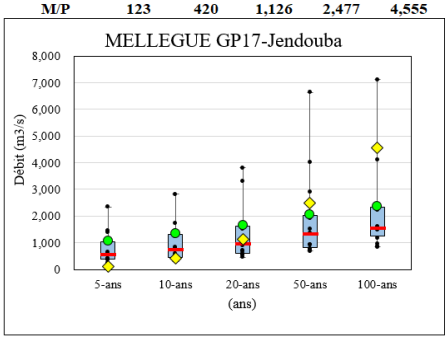
Barrage Mellegue Débit Sortant

	5-ans	10-ans	20-ans	50-ans	100-ans
75%	590	590	1,510	2,810	3,750
médiane	10	60	330	590	1,630
25%	0	10	50	590	590
Rejeté Max.	590	1,130	1,630	2,890	3,750
M/P	120	410	1,100	2,420	4,450



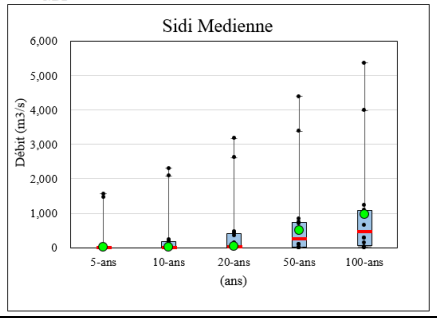
MELLEGUE GP17-Jendouba (En aval de Barrage Mellegue)

	5-ans	10-ans	20-ans	50-ans	100-ans
75%	1,041	1,324	1,612	2,018	2,342
médiane	560	750	940	1,340	1,550
25%	380	460	610	820	1,260
Rejeté Max.	1,060	1,350	1,640	2,050	2,380
M/P	123	420	1,126	2,477	4,555



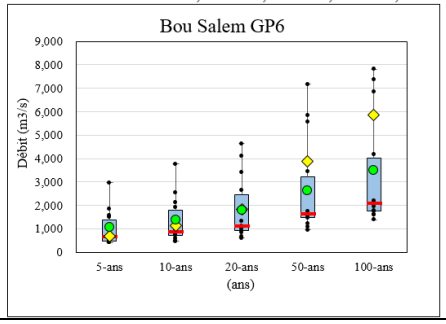
Sidi Medienne

	5-ans	10-ans	20-ans	50-ans	100-ans
75%	10	170	410	740	1,080
médiane	10	10	30	260	470
25%	10	10	10	10	60
Rejeté Max.	10	10	50	500	960
M/P					



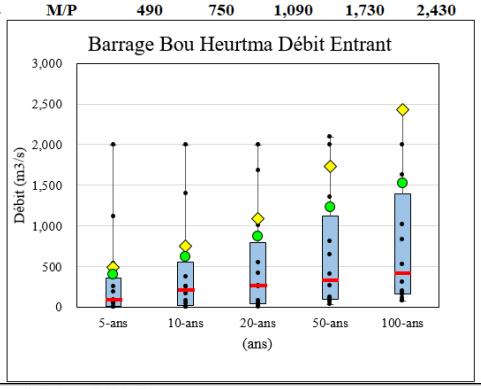
Bou Salem GP6

	5-ans	10-ans	20-ans	50-ans	100-ans
75%	1,380	1,780	2,440	3,230	4,020
médiane	660	870	1,100	1,630	2,100
25%	470	720	930	1,480	1,760
Rejeté Max.	1,080	1,380	1,780	2,620	3,510
M/P	670	1,130	1,840	3,870	5,860



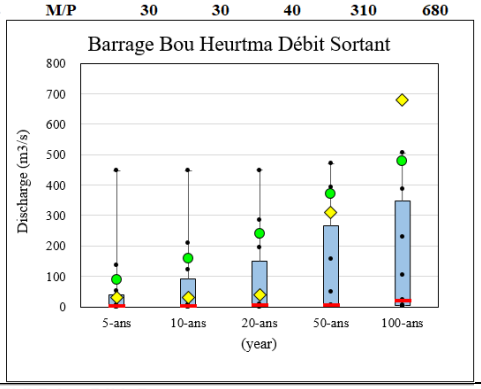
Barrage Bou Heurtma Débit Entrant

	5-ans	10-ans	20-ans	50-ans	100-ans
75%	360	550	790	1,130	1,400
médiane	90	210	260	330	410
25%	10	10	50	100	160
Rejeté Max.	400	620	870	1,230	1,520
M/P	490	750	1,090	1,730	2,430



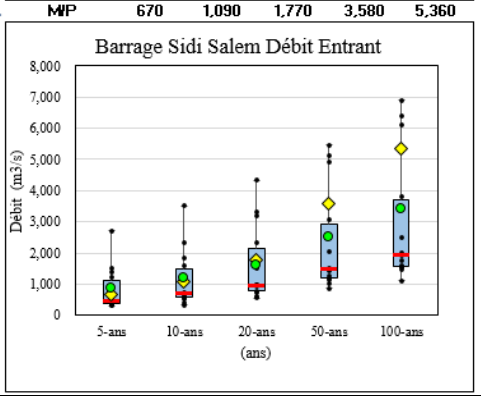
Barrage Bou Heurtma Débit Sortant

	5-ans	10-ans	20-ans	50-ans	100-ans
75%	40	90	150	270	350
médiane	10	10	10	10	30
25%	0	0	0	0	0
Rejeté Max.	90	160	240	370	480
M/P	30	30	40	310	680



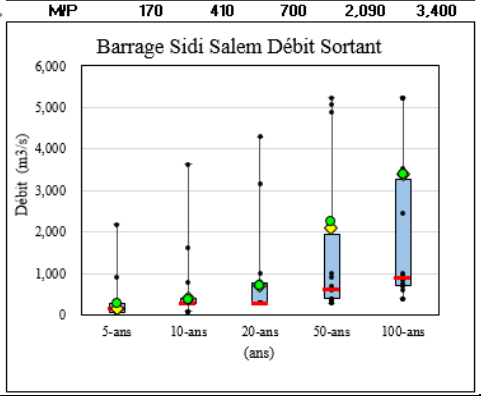
Barrage Sidi Salem Débit Entrant

	5-ans	10-ans	20-ans	50-ans	100-ans
75%	1,130	1,500	2,160	2,940	3,700
médiane	500	710	980	1,490	1,960
25%	400	580	790	1,190	1,560
Rejeté Max.	880	1,190	1,600	2,520	3,400
M/P	670	1,090	1,770	3,580	5,360



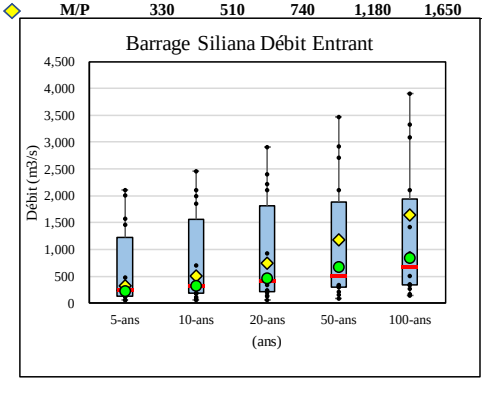
Barrage Sidi Salem Débit Sortant

	5-ans	10-ans	20-ans	50-ans	100-ans
75%	290	390	780	1,950	3,250
médiane	180	280	290	650	910
25%	80	280	280	390	710
Rejeté Max.	280	360	720	2,260	3,400
M/P	170	410	700	2,090	3,400



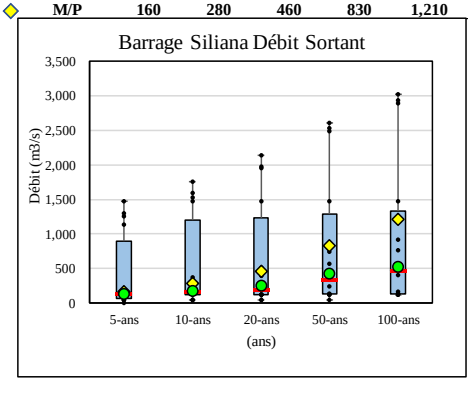
Barrage Siliana Débit Entrant

	5-ans	10-ans	20-ans	50-ans	100-ans
75%	1,220	1,570	1,820	1,890	1,940
médiane	240	330	400	510	680
25%	130	180	210	300	340
Rejeté Max.	230	320	470	680	840
M/P	330	510	740	1,180	1,650



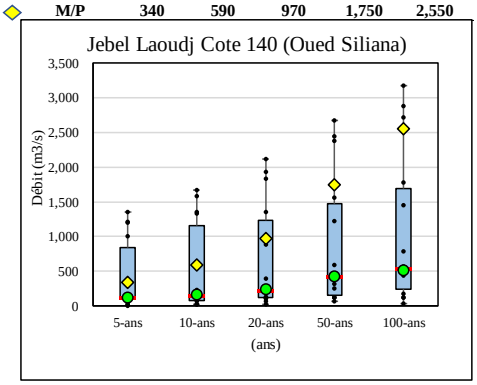
Barrage Siliana Débit Sortant

	5-ans	10-ans	20-ans	50-ans	100-ans
75%	900	1,200	1,240	1,290	1,340
médiane	130	150	190	340	470
25%	70	130	120	130	130
Rejeté Max.	130	180	250	430	530
M/P	160	280	460	830	1,210



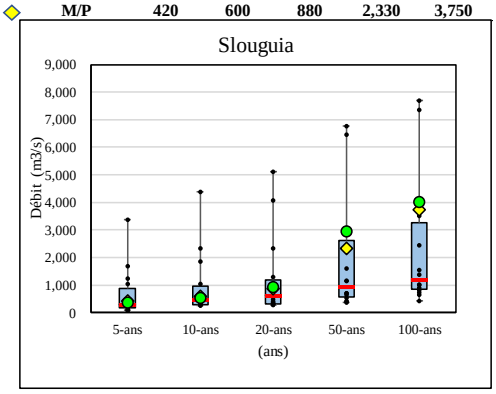
Jebel Laoudj Cote 140 (Oued Siliana)

	5-ans	10-ans	20-ans	50-ans	100-ans
75%	840	1,160	1,240	1,480	1,700
médiane	120	150	210	410	540
25%	110	80	120	160	240
Rejecté Max.	120	170	240	430	510
M/P	340	590	970	1,750	2,550



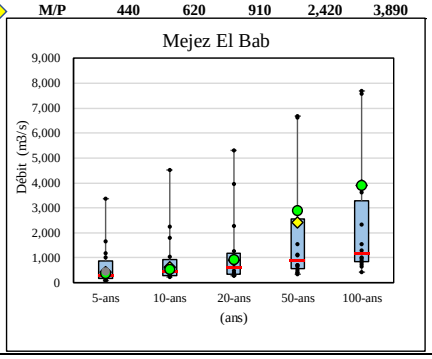
Slouguia

	5-ans	10-ans	20-ans	50-ans	100-ans
75%	880	950	1,200	2,610	3,250
médiane	300	470	620	930	1,190
25%	180	290	330	560	840
Rejecté Max.	360	530	920	2,950	4,010
M/P	420	600	880	2,330	3,750



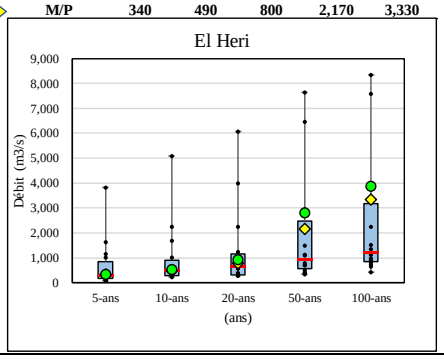
Mejez El Bab

	5-ans	10-ans	20-ans	50-ans	100-ans
75%	860	930	1,180	2,550	3,290
médiane	290	460	610	910	1,160
25%	180	290	330	550	840
Rejecté Max.	360	530	920	2,890	3,900
M/P	440	620	910	2,420	3,890



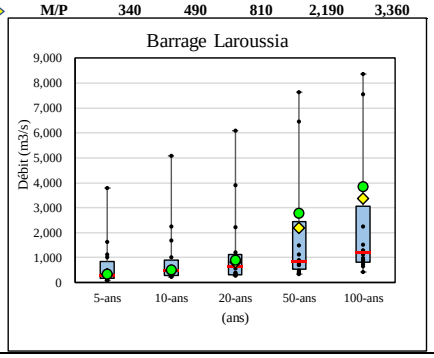
El Heri

	5-ans	10-ans	20-ans	50-ans	100-ans
75%	860	910	1,150	2,480	3,160
médiane	300	500	660	940	1,240
25%	170	290	330	550	840
Rejecté Max.	350	530	920	2,800	3,890
M/P	340	490	800	2,170	3,330



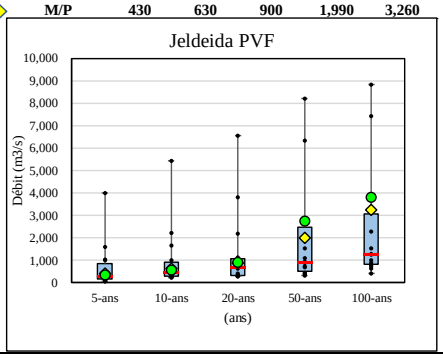
Barrage Laroussia

	5-ans	10-ans	20-ans	50-ans	100-ans
75%	860	900	1,130	2,450	3,070
médiane	290	470	650	860	1,210
25%	170	280	320	530	830
Rejecté Max.	350	520	910	2,770	3,850
M/P	340	490	810	2,190	3,360



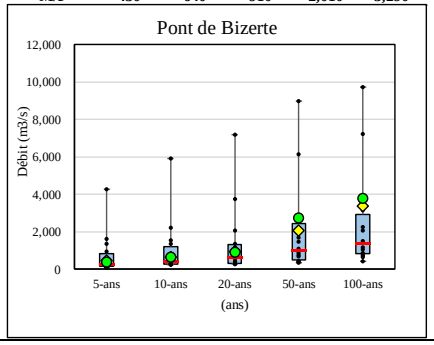
Jeldeida PVF

	5-ans	10-ans	20-ans	50-ans	100-ans
75%	850	910	1,070	2,460	3,060
médiane	290	470	660	920	1,270
25%	170	280	320	500	830
Rejecté Max.	350	560	910	2,770	3,810
M/P	430	630	900	1,990	3,260



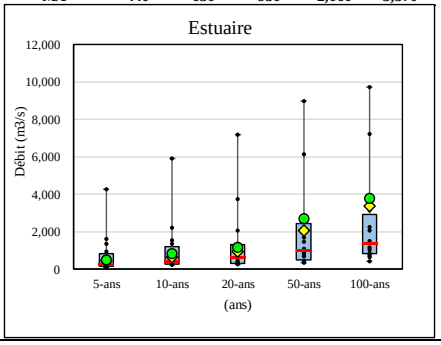
Pont de Bizerte

	5-ans	10-ans	20-ans	50-ans	100-ans
75%	830	990	1,060	2,420	3,030
médiane	280	450	650	990	1,300
25%	160	280	320	490	820
Rejecté Max.	390	640	910	2,750	3,800
M/P	430	640	910	2,010	3,290



Estuaire

	5-ans	10-ans	20-ans	50-ans	100-ans
75%	840	1,210	1,310	2,450	2,930
médiane	280	420	640	980	1,340
25%	150	280	320	490	820
Rejecté Max.	510	810	1,170	2,700	3,780
M/P	440	650	930	2,060	3,370



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-45 Débit de pointe de crue calculé et débit de pointe de crue maximum planifié après elimination des précipitations atypiques, moyennes avec les cadres de présentation et couverture de 75%

Pour les Zones D1 et D2 en aval du barrage de Sidi Salem, le débit de pointe de crue après l'élimination des précipitations atypiques était d'environ 1/5 à 1/20 de l'échelle de probabilité et était presque le même que celui du Plan Directeur (2009), mais il était plus important à l'échelle de probabilité 1/50 et plus.

Le tableau ci-dessous montre une comparaison entre le débit de pointe de crue de conception après l'élimination des précipitations atypiques et le débit de pointe de crue de conception du Plan Directeur.

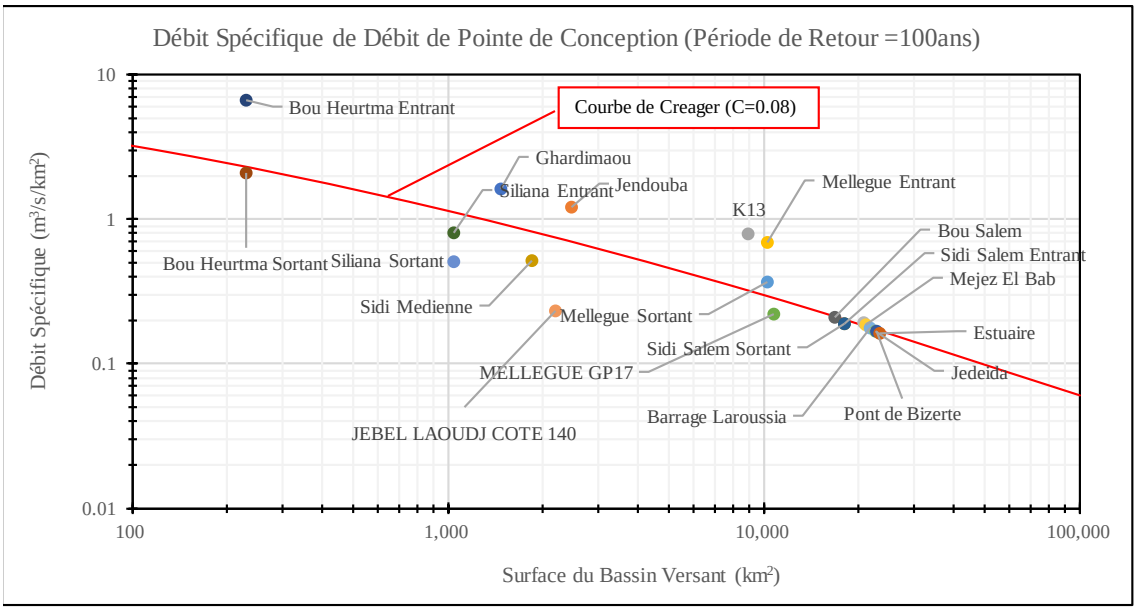
Tableau 3-37 Débit de pointe de crue de conception après elimination des précipitations atypiques et le débit de pointe de crue de conception du plan directeur (2009)

Unité: m^3/s

Zone	Site	Bassin Versant (km^2)	5-ans			10-ans			20-ans			50-ans			100-ans		
			Cette Etude	MP (2009)	Ecart (%)	Cette Etude	MP (2009)	Ecart (%)	Cette Etude	MP (2009)	Ecart (%)	Cette Etude	MP (2009)	Ecart (%)	Cette Etude	MP (2009)	Ecart (%)
U1	Ghardimaou	1,469	790	520	34%	1,130	790	30%	1,480	1,150	22%	1,970	1,830	7%	2,370	2,250	5%
	Jendouba	2,460	1,030	*871*	15%	1,430	*1,323*	7%	1,860	*1,926*	-4%	2,480	*3,065*	-24%	2,980	*3,768*	-26%
M	K13	8,953	1,780	930	48%	2,730	1,370	50%	3,730	2,120	43%	5,450	3,300	39%	7,040	4,420	37%
	Entrant Mellegue	10,259	1,780	1,320	26%	2,730	2,010	26%	3,730	3,050	18%	5,450	4,850	11%	7,040	6,690	5%
	Sortant Mellegue	10,259	590	120	80%	1,130	410	64%	1,630	1,100	33%	2,890	2,420	16%	3,750	4,450	-19%
	Mellegue GP17 Jendouba	10,501	1,060	*1,351*	-27%	1,350	*2,057*	-52%	1,640	*3,122*	-90%	2,050	*4,964*	-142%	2,380	*6,848*	-188%
U2	U1+M	12,961	1,080	480	56%	1,380	890	36%	1,700	1,490	12%	2,140	3,330	-56%	2,500	5,240	-110%
	Entrant Bou Heurtma	230	400	490	-23%	620	750	-21%	870	1,090	-25%	1,230	1,730	-41%	1,520	2,430	-60%
	Sortant Bou Heurtma	230	90	30	67%	160	30	81%	240	40	83%	370	310	16%	480	680	-42%
	Sidi Medienne (Oued Tessa)	1,846	10	-	-	10	-	-	50	-	-	500	-	-	960	-	-
	Bou Salem GP6	16,754	1,080	670	38%	1,380	1,130	18%	1,780	1,640	8%	2,620	3,870	-48%	3,510	5,860	-67%
	Entrant Sidi Salem	18,002	880	670	24%	1,190	1,090	8%	1,600	1,770	-11%	2,520	3,580	-42%	3,400	5,360	-58%
	Sortant Sidi Salem	18,002	280	170	39%	360	410	-14%	720	700	3%	2,260	2,090	8%	3,400	3,400	0%
D1	Entrant Siliana	1,041	230	330	-43%	320	510	-59%	470	740	-57%	680	1,180	-74%	840	1,650	-96%
	Sortant Siliana	1,041	130	160	-23%	180	280	-56%	250	460	-84%	430	830	-93%	530	1,210	-128%
	Jebel Laoudj Cote 140	2,193	120	*337*	-181%	170	*590*	-247%	240	*969*	-304%	430	*1,749*	-307%	510	*2,549*	-400%
	Slouguia	20,790	360	420	-17%	530	600	-13%	920	880	4%	2,950	2,330	21%	4,010	3,750	6%
	Medjez El Bab	20,888	360	*327*	9%	530	*471*	11%	920	*778*	15%	2,890	*2,103*	27%	3,900	*3,419*	12%
	Barrage Laroussia	21,749	350	340	3%	520	490	6%	910	810	11%	2,770	2,190	21%	3,850	3,560	8%
D2	Jedeida PVF	22,498	350	*352*	-0%	560	*507*	9%	910	*838*	8%	2,770	*2,265*	18%	3,810	*3,683*	3%
	Pont de Bizerte	22,731	390	*355*	9%	640	*512*	20%	910	*847*	7%	2,750	*2,289*	17%	3,800	*3,721*	2%
	Estuaire	23,264	510	440	14%	810	650	20%	1,170	930	21%	2,700	2,060	24%	3,780	3,370	11%
Moyenne	Moyenne (Ensemble)	-	-	-	7%	-	-	-4%	-	-	-14%	-	-	-29%	-	-	-53%
	Moyenne (Zone-U1)	-	-	-	25%	-	-	19%	-	-	9%	-	-	-8%	-	-	-11%
	Moyenne (Zone-M)	-	-	-	31%	-	-	22%	-	-	1%	-	-	-19%	-	-	-41%
	Moyenne (Zone-U2)	-	-	-	33%	-	-	18%	-	-	12%	-	-	-27%	-	-	-56%
	Moyenne (Zone-D1)	-	-	-	-42%	-	-	-60%	-	-	-69%	-	-	-67%	-	-	-100%
	Moyenne (Zone-D2)	-	-	-	7%	-	-	16%	-	-	12%	-	-	20%	-	-	5%

Note: Les données en Italiques sont estimées à la base du rapport des surfaces des bassins versants.
Source: Equipe d'Etude de la JICA

La figure ci-dessous montre la relation entre le débit spécifique et la surface du bassin versant du débit de pointe maximal de conception après l'élimination des précipitations atypiques. Globalement, il se situe dans l'enveloppe de la courbe de Krieger, et on peut juger que les échelles de probabilité de l'amont et de l'aval et le principal et les affluents sont cohérentes. L'amont du barrage de Mellegue a un débit spécifique assez important.



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-46 Relation entre le débit spécifique du débit de pointe maximal prévu et la surface de drainage après l'elimination des précipitations atypiques

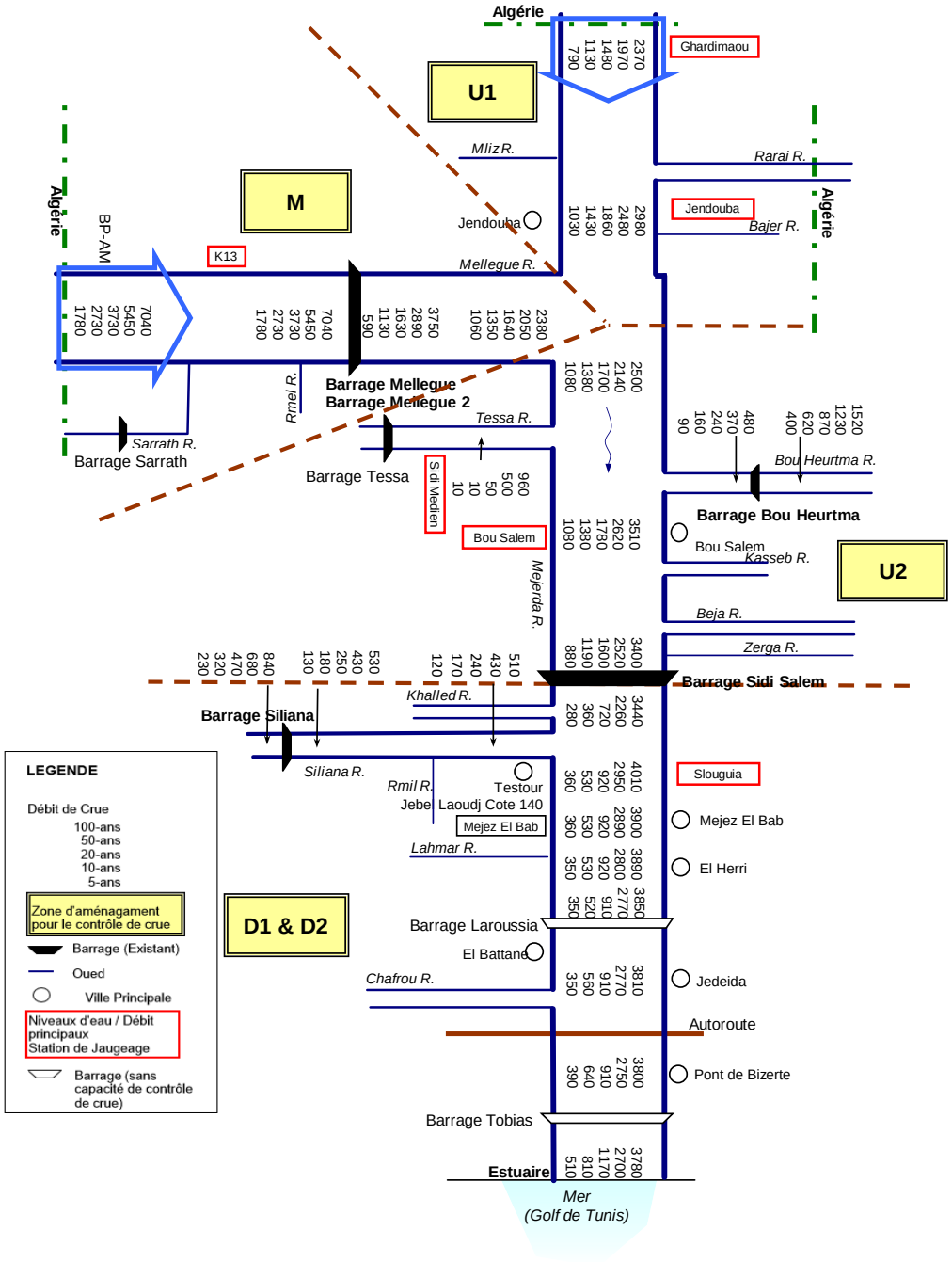
3.5 Plan de Distribution des Ecoulements

La distribution des débits probables, utilisée dans l'étude du niveau de protection contre les inondations, est présentée sur les figures ci-dessous. Une période de retour de 20 ans a été choisie comme niveau de protection contre les crues pour chacun des sous-bassins versants.

Les niveaux de conception de protection contre les crues pour chaque zone hydrologique du Plan Directeur (2009) n'étaient pas uniformes pour les cinq zones hydrologiques, la période de retour pour la Zone U2 était fixée à 20 ans et celles des quatre autres zones était fixée à 10 ans. Ces niveaux ont été déterminés de telle sorte à assurer l'efficacité maximale du rapport avantages-coûts pour chaque zone. Bien que les ratios B/C d'une période de retour de 20 ans pour chaque zone soient supérieurs à 1.0.

Le débit probable sur 20 ans (valeur maximale après l'élimination des précipitations atypiques) du tronçon aval du barrage de Sidi Salem dans cette étude est d'environ 920 m^3/s, ce qui est légèrement supérieur au débit de crue de conception défini dans le Plan Directeur de 800 m^3/s.

En se référant aux considérations ci-dessus, le niveau de conception de protection contre les crues pour l'aval du bassin de Sidi Salem est d'une période de retour de 20 ans.



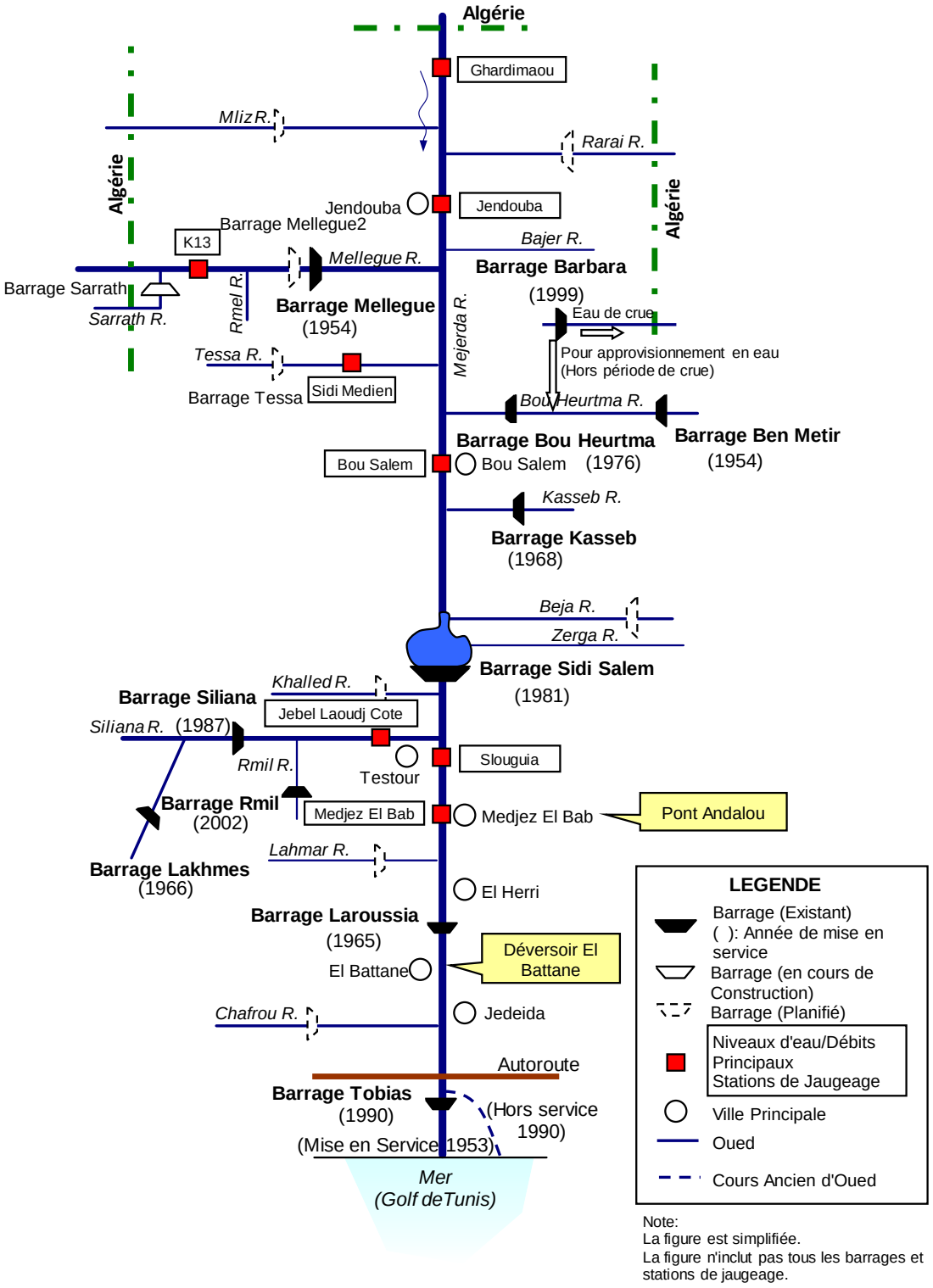
Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-47 Distribution des débits probables (avec barrage) [après elimination des précipitations atypiques de conception]

3.6 Exploitation Optimale des Barrages Existants

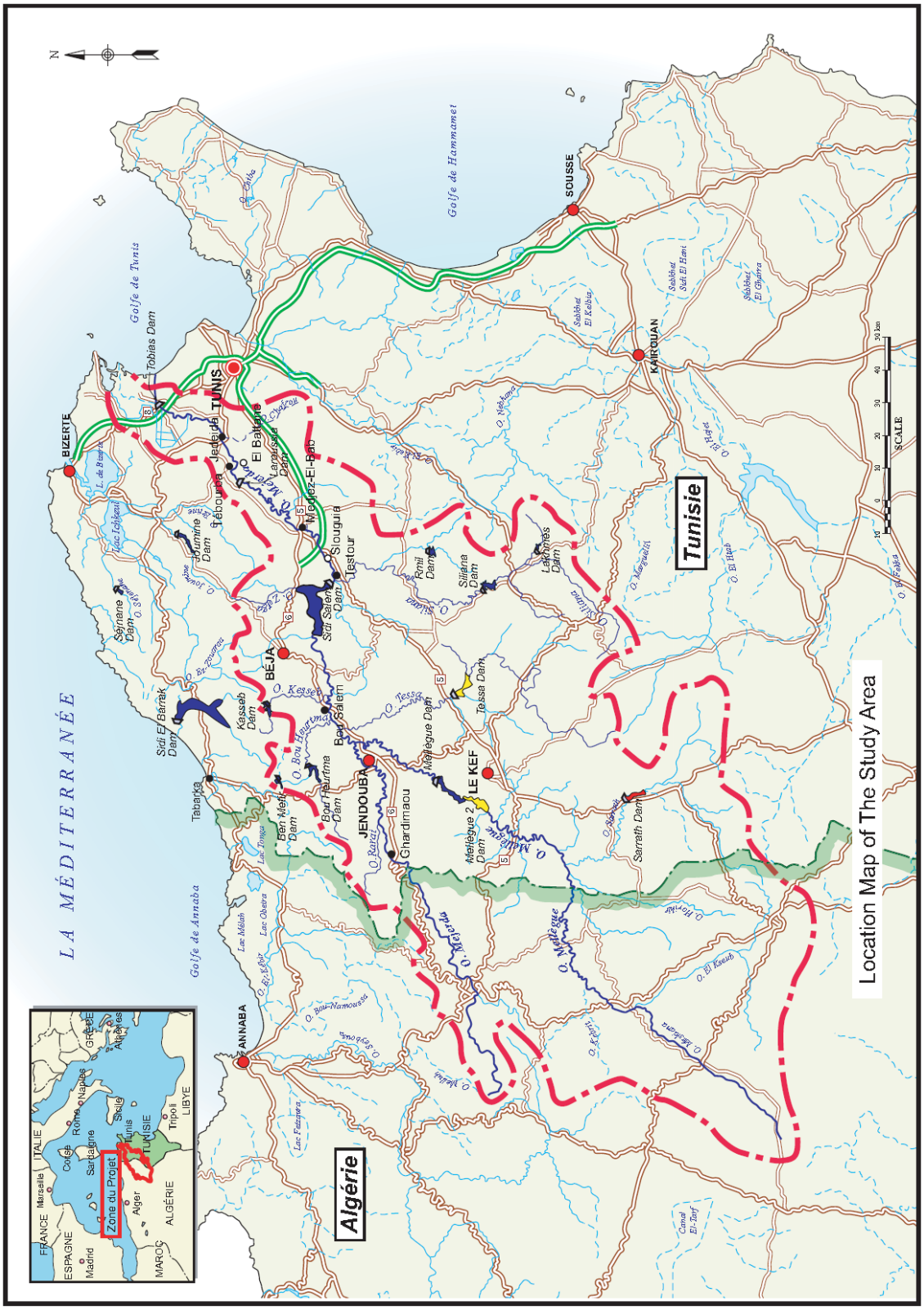
3.6.1 Caractéristiques des Barrages Existants et Projetés dans le Bassin de Medjerda

Les plans de situation (Schéma Conceptuel) des barrages existants et projetés dans le bassin de Medjerda sont présentés sur la figure ci-dessous.



Source: Etude sur la Gestion Intégrée des Bassins Axée sur le Contrôle des Crues dans Oued Medjerda, JICA (2009)

Figure 3-48 Plan de situation des barrages existants et projetés dans le bassin de Medjerda (Schéma Conceptuel)



Source: Etude sur la Gestion Intégrée des Bassins Axée sur le Contrôle des Crues dans Oued Medjerda, JICA (2009)

Figure 3-49 Plan de situation des barrages existants et projetés dans le bassin de Medjerda

Sur la base des résultats de l'enquête menée lors de l'élaboration du Plan Directeur (2009), les caractéristiques de conception du barrage dans le bassin de Medjerda, la quantité de sédiments et la capacité de stockage effective sont résumées dans le tableau ci-dessous. Suite à un entretien avec le Ministère de l'Agriculture, sur les cinq barrages ; Sarrat, Mellegue-2, Tessa, Khalled et Beja, inachevés au moment du Plan Directeur, Barrage Sarrat a été achevé en 2018. Mellegue-2 est actuellement en cours de construction et devrait être accompli en 2022. La conception détaillée de Tessa et Khalled a été achevée et le Gouvernement est en processus de lancement d'appel d'offre pour la construction. La construction de Beja a été suspendue car il a été jugé irréalisable au niveau de F/S.

La quantité de sédiments indiquée dans le tableau est sur la base des données du rapport final du Plan Directeur (2009). On estime que la quantité annuelle de sédiments dans chaque barrage est basée sur les résultats des levés topographiques de EAU2000 (plan de développement des ressources en eau horizon 2000) et DGBGTH.

Tableau 3-38 Caractéristiques des barrages existants et projetés dans le bassin de Medjerda

ダム名		状況(2019)	完成年	Caractéristiques										Volume de sédimentation et Capacité effective de stockage d'eau (Jusqu'en 2030)								年間堆砂量（10^6m^3 per year)	
				目的	流域面積(km2)	ダム高(m)	設計最高水位(m)	常時満水位(m)	総貯水容量(Mm3)	利水容量(Mm3)	治水容量(Mm3)	2010				2020				2030			
												堆砂量(Mm3)	有効貯水容量(Mm3)	Stockage Perdu en 2010(Mm3)	Stockage Actif en 2010(Mm3)	堆砂量(Mm3)	有効貯水容量(Mm3)	Stockage Perdu en 2020(Mm3)	Stockage Actif en 2020(Mm3)	堆砂量(Mm3)	有効貯水容量(Mm3)	Stockage Perdu en 2030(Mm3)	Stockage Actif en 2030(Mm3)	Volume Annuel de Sédiments (10^6m^3 par an)	
	Barrage	Etat Actuel (2019)	Achèvement des Travaux	Objectif	Aire B.V (km2)	Hauteur du Barrage (m)	P.H.E Maximale(m)	Niveau d'eau en exploitation normale N.E.N(m)	Volume de stockage à P.H.E.M(Mm3)	Volume de stockage en N.E.N(Mm3)	Capacité de contrôle de crue(Mm3)	Stockage Perdu en 2010(Mm3)	Stockage Actif en 2010(Mm3)	Stockage Perdu en 2020(Mm3)	Stockage Actif en 2020(Mm3)	Stockage Perdu en 2030(Mm3)	Stockage Actif en 2030(Mm3)						
メレグ	Mellegue	En service	1954	F, A, P	10,309	70	269.00	260.00	147.5	44.40	103.10	16.87	27.53	44.97	-0.57	73.07	-28.67					2.81	DBGTH actuel
ベンムティール	Ben Metir	En service	1954	W	103	78	440.00	435.10	73.4	57.20	16.20	5.92	51.28	7.32	49.88	8.72	48.48					0.14	DBGTH actuel
ラクメス	Lakhmes	En service	1966	A	127	36	521.20	517.00	8.4	7.22	1.18	0.18	7.04	0.48	6.74	0.78	6.44					0.03	Eau2000
カッセブ	Kasseb	En service	1968	W	101	58	294.40	292.00	92.6	81.88	10.72	19.86	62.02	21.86	60.02	23.86	58.02					0.2	DBGTH actuel
ブヘルトゥマ	Bou Heurtma	En service	1976	A	390	44	226.00	221.00	164.0	117.50	46.50	7.70	109.80	8.90	108.60	10.10	107.40					0.12	DBGTH actuel
シディサレム	Sidi Salem	En service	1981	F, A, P, W	18,191	50	119.50	115.00	959.5	814.00	145.50	170.90	643.10	215.90	598.10	260.90	553.10					4.5	Eau2000
シリアナ	Siliana	En service	1987	A	1,040	53	395.50	388.50	125.1	70.00	55.10	20.14	49.86	30.74	39.26	41.34	28.66					1.06	DBGTH actuel
ルミル	Rmil	En service	2002	A	232	18	288.00	285.00	6.0	4.00	2.00	0.00	4.00	3.50	0.50	7.00	-3.00					0.35	Eau2000
サラ	Sarrath	En service	2018		1,850		552.00	546.00	48.5	20.95	27.55	0.47	20.48	4.57	16.38	8.67	12.28					0.41	Rapport de DGB
メレグ2	Mellegue2	En construction	2022		10,100		304.00	295.00	334.0	195.00	139.00												
テッサ	Tessa	Conception Détaillée			1,420		369.00	361.00	125.0	44.40	80.60												
カレッド	Khalled	Conception Détaillée			303		213.60	207.00	37.0	34.00	3.00												
ベジャ	Beja	Discontinue (Non-faisable)			72		234.00	230.00	46.0	26.40	19.60												

Source: Equipe d'Etude de la JICA (Selon les données du Ministère d'Agriculture)

3.6.2 Règles de Base d'Exploitation Coordonnée des Réservoirs pendant la Période de Crues

Les règles de base pour l'ajustement de l'exploitation des réservoirs pendant les crues énumérées dans le Tableau 3-39 du rapport final du Plan Directeur (2009) sont résumées comme suit.

Tableau 3-39 Règles de base d'exploitation coordonnée des réservoirs pendant la période de crues

Nom du Barrage	**Barrage de Sidi Salem (Existant)**
Barrages à coordonnés	Barrages de Mellegue (Mellegue2), Bou Heurtma et Siliana.
Points de Référence des Débits	Stations de jaugeage Ghardimaou, Jendouba, Bou Salem, Jebel Laoudj (GSs)
Fonctionnement de la Retenue	- Si le niveau d'eau effectif dans la retenue de Sidi Salem (la retenue) est au niveau d'eau normal (ou proche de ce niveau) et le débit en amont de la Retenue (ex: sortie du barrage de Mellegue, aux Station de Jendouba ou Bou Salem) est supérieur à la capacité maximale du cours d'eau fluvial en aval de la Retenue, il est recommandé de pré-libérer la retenue en libérant la capacité maximale du cours d'eau fluvial. - La pré-libération de la Retenue est limitée par les apports d'Oued Khalled et Oued Siliana. La pré-libération doit être coordonnée avec le débit au niveau de la station de Jebel Laoudj. - Si le débit sortant du barrage de Mellegue ou le débit des stations de Ghardimaou, Jendouba ou Bou Salem augmente à 3 000 m^3/s, il est recommandé d'ouvrir immédiatement et complètement les deux sorties de fond et une vanne du déversoir principal. - Si le débit sortant du barrage de Mellegue ou le débit des stations de Ghardiamou, Jendouba ou Bou Salem augmente à 5000 m^3/s et que le débit à un tel point de contrôle a encore une tendance à l'augmentation, il est recommandé d'ouvrir immédiatement et complètement les deux sorties de fond et les 3 vannes du déversoir principal et libérer autant de débit que possible de la Retenue. - Dès que le niveau d'eau dans la retenue atteint le niveau maximal des plus hautes eaux (MPHE) = 119,50 m, il est nécessaire d'ouvrir immédiatement autant de sorties ou de vannes de déversoir que nécessaire pour arrêter l'augmentation du niveau d'eau.
Nom du Barrage	**Barrage de Mellegue (Existant)**
Barrages à coordonnés	Barrages de Bou Heurtma et Tessa
Points de Référence des Débits	Frontiére Algérienne, Oued Sarrat, Station de Jaugeage K 13, Station de Jaugeage de Jendouba
Fonctionnement de la Retenue	- Si le niveau d'eau effectif dans la retenue de Mellegue (la retenue) est au niveau d'eau normal (ou proche de ce niveau) et le débit en amont de la Retenue (ex: apport d'Algérie, débit mesuré sur Oued Sarrat ou à la Station K 13) est supérieur à la capacité maximale du cours d'eau fluvial en aval de la Retenue, il est recommandé de pré-libérer la retenue en libérant la capacité maximale du cours d'eau fluvial. - La pré-libération de la Retenue doit être coordonnée avec le débit réel à la station de Jendouba et en fonction de la situation des crues sur Oued Bou Heurtma et Oued Tessa, de sorte que la capacité maximale du cours d'eau de Medjerda de Jendouba au réservoir de Sidi Salem n'est pas dépassée. - Si le débit en amont de la Retenue (Oued Mellegue à la frontière algérienne, Oued Sarrat, etc.) dépasse 1500 m^3/s il est recommandé d'ouvrir immédiatement et complètement les deux sorties de fond, c'est-à-dire une décharge jusqu'à 600 m^3/s. - Dès que le niveau d'eau dans la retenue atteint MPHE (269,00 m), il est nécessaire d'ouvrir immédiatement autant de sorties ou de vannes du déversoir que nécessaire pour arrêter l'augmentation du niveau d'eau.
Nom du Barrage	**Barrage de Bou Heurtma (Existant)**

Barrages à coordonnés	Barrages de Mellegue (Mellegue2), Tessa, Ben Metir, Mellegue
Points de Référence des Débits	Stations de Jaugeage de Fernana, de Jendouba
Fonctionnement de la Retenue	- Si le niveau d'eau effectif dans la retenue de Bou Heurtma (la retenue) est au niveau d'eau normal (ou proche de ce niveau) et que le débit en amont de la Retenue (par exemple, le débit sortant de la Retenue de Ben Metir ou à la station de Fernana) est supérieur à la capacité maximale du cours d'eau fluvial en aval de la Retenue, il est recommandé de pré-libérer la retenue en libérant la capacité maximale du canal fluvial par la sortie de fond. - La pré-libération de la Retenue doit être coordonnée avec le débit effectif à la station de Jendouba, la libération de la Retenue de Mellegue et selon la situation de crue sur la rivière Tessa, de sorte que la capacité maximale du cours d'eau d'Oued Medjerda de Jendouba au réservoir de Sidi Salem n'est pas dépassée. - Dès que le niveau d'eau de la Retenue atteint la crête du déversoir non-contrôlé (221,00 m), la sortie de fond du barrage de Bou Heurtma est progressivement fermée pour libérer un débit de sortie constant (égal à la capacité maximale du cours d'eau en aval de la Retenue) tant que possible. La sortie de fond est complètement fermée pendant le point culminant de la vague de crue. - Dès que le niveau d'eau dans la retenue atteint MPHE (226,00 m), il est nécessaire d'ouvrir immédiatement les sorties de fond (partiellement ou complètement) si nécessaire pour arrêter l'augmentation du niveau d'eau. - Après l'apogée du niveau d'eau dans la retenue, il est nécessaire de libérer le stockage de contrôle des crues. Pendant la première période de décharge, l'eau se répand automatiquement sur le déversoir non-contrôlé. Après la diminution du stockage par le déversoir, l'eau de la Retenue est libérée avec la capacité maximale d'Oued Bou Heurtma en aval de la Retenue. Au cours de cette deuxième période, la sortie de fond s'ouvre progressivement et la décharge de la Retenue se poursuit jusqu'à ce que le niveau d'eau normal effectif dans la retenue soit atteint (c'est-à-dire que le stockage de contrôle des crues de la Retenue est libre).
Nom du Barrage	**Barrage de Siliana (Existant)**
Barrages à coordonnés	Barrages de Sidi Salem et Lakhmes
Points de Référence des Débits	Stations de Jaugeage de Jendouba, Bou Salem, Oussafa, Slouguia
Fonctionnement de la Retenue	- Si le niveau d'eau effectif dans la retenue de Siliana (la retenue) est au niveau d'eau normal (ou proche de ce niveau) et que le débit en amont de la Retenue (par exemple, le débit sortant de la Retenue de Lakhmes ou à la station de Oussafa) est supérieur à la capacité maximale du canal fluvial en aval de la Retenue, il est recommandé de pré-libérer la retenue en libérant la capacité maximale du canal fluvial par la sortie de fond. - La pré-libération de la Retenue doit être coordonnée avec le débit effectif à la station de Slouguia et la décharge à partir de la Retenue de Sidi Salem, de sorte que la capacité maximale d'Oued Medjerda en aval du barrage de Sidi Salem ne soit pas dépassée. - Dès que le niveau d'eau dans la retenue atteint la crête du déversoir non-contrôlé (388,50 m), la sortie de fond du barrage de Siliana se ferme progressivement pour libérer un débit constant (égal à la capacité maximale du cours d'eau en aval de la Retenue) aussi longtemps que possible. La sortie de fond est complètement fermée pendant la pointe de la crue. - Dès que le niveau d'eau dans la retenue atteint MPHE (395,50 m), il est nécessaire d'ouvrir immédiatement les sorties de fond (partiellement ou complètement) si nécessaire pour arrêter l'augmentation du niveau d'eau. - Après l'apogée du niveau d'eau dans la retenue, il est nécessaire de libérer le stockage de contrôle des crues. Au cours de la première période de décharge, l'eau de la Retenue se répand automatiquement sur le déversoir non-contrôlé. Après la diminution du stockage par

	le déversoir, l'eau de la Retenue est libérée avec la capacité maximale d'Oued Siliana en aval de la Retenue. Au cours de cette deuxième période, la sortie de fond est progressivement ouverte et la décharge de la Retenue se poursuit jusqu'à ce que le niveau d'eau normal effectif dans la retenue soit atteint (c'est-à-dire que le stockage de contrôle des crues de la Retenue est libre).
Nom du Barrage	**Barrage de Mellegue2 (Etude de la Conception Détaillée en cours)**
Barrages à coordonnés	Barrages de Mellegue, Bou Heurtma and Tessa
Points de Référence des Débits	Frontière Algérienne, Oued Sarrat, Stations de Jaugeage de K 13 et de Jendouba
Fonctionnement de la Retenue	- Les réservoirs de Mellegue 2 et Mellegue sont exploités comme des réservoirs en cascade. Il est recommandé de remplir la retenue supérieure dans un premier temps et pendant la période de descente de crue de vider d'abord la retenue supérieure également. - S'il est nécessaire de libérer un grand débit sortant de la Retenue de Mellegue (par exemple en cas de crue majeure dans le bassin versant de Mellegue), la sortie de fond de la Retenue de Mellegue 2 (la retenue) peut être ouverte (jusqu'à la capacité maximale) pendant la période de montée des crues pour supporter un débit de décharge plus élevé de la Retenue de Mellegue. Dans ce cas, il est recommandé de refermer complètement la sortie inférieure de la Retenue au moment de débits d'entrée de pointes dans la retenue. Cette opération permet d'exploiter le volume maximum de stockage de contrôle des crues et de diminuer et retarder la sortie de pointe de la Retenue. - Dès que le niveau d'eau dans la retenue atteint MPHE (304,00 m), il est nécessaire d'ouvrir immédiatement les sorties de fond (partiellement ou complètement) si nécessaire pour arrêter l'augmentation du niveau d'eau. Lors de cette opération, il est également nécessaire de prendre en compte les risques relatifs à la sécurité des deux barrages. - Après le niveau maximal d'eau dans la retenue, il est nécessaire de libérer le stockage de contrôle des crues. Au cours de la première période de décharge, l'eau de la Retenue se répand automatiquement par le déversoir non-contrôlé dans la retenue Mellegue ce dernier est utilisé comme réservoir tampon. Après la diminution du stockage par le déversoir, le niveau d'eau dans la retenue est libéré avec la capacité maximale d'Oued de Mellegue en aval du barrage de Mellegue. Dans une seconde période, le niveau d'eau de la Retenue de Mellegue reste stable: seul la retenue est libérée. La décharge de la Retenue de Mellegue se poursuit après que la retenue ait atteint le niveau d'eau normal (c'est-à-dire que le stockage de contrôle des crues de la Retenue est libre).
Nom du Barrage	**Barrage de Sarrat (Existant)**
Barrages à coordonnés	Barrage de Mellegue (Mellegue 2), Tessa and Ben Metir
Points de Référence des Débits	Station de Jaugeage de Sidi Abdelkader, Sarrat Pont Route, K 13
Fonctionnement de la Retenue	- Si le niveau d'eau effectif dans la retenue de Sarrat (la retenue) est au niveau d'eau normal (ou proche de ce niveau) et que le débit en amont de la Retenue (par exemple à la station de Sidi Abdelkader ou à la station Sarrat Pont Route) est supérieur à la capacité maximale du canal fluvial en aval de la Retenue, il est recommandé de pré-libérer la retenue en libérant la capacité maximale du canal fluvial par la sortie de fond. - La pré-libération doit être coordonnée avec l'apport réel de Mellegue en provenance d'Algérie ou en fonction du débit réel ou du débit prévu pour la station de K 13 et également en fonction de la situation réelle de la Retenue de Mellegue (Mellegue 2). - Dès que le niveau d'eau dans la retenue atteint le niveau de la crête non-contrôlée du déversoir (546,00 m), la sortie inférieure du barrage de Sarrat est progressivement fermée pour libérer un débit constant (égal à la capacité maximale du cours d'eau en aval de la Retenue) aussi longtemps que possible. La sortie de fond est complètement fermée pendant la période de pointe de la crue.

	- Dès que le niveau d'eau dans la retenue atteint MPHE (552,00 m), il est nécessaire d'ouvrir immédiatement les sorties de fond (partiellement ou complètement) si nécessaire pour arrêter l'augmentation du niveau d'eau. - Après le niveau maximal d'eau dans la retenue soit atteint, il est nécessaire de libérer le stockage de contrôle des crues. Pendant la première période de décharge, l'eau de la Retenue se répand automatiquement sur le déversoir non-contrôlé. Après la diminution du stockage dans le déversoir, l'eau de la Retenue est déchargée avec la capacité maximale d'Oued Sarrat en aval de la Retenue. Au cours de cette deuxième période, la sortie de fond est progressivement ouverte et la décharge de la Retenue se poursuit jusqu'à ce que le niveau d'eau normal effectif dans la retenue soit atteint (c'est-à-dire que le stockage de contrôle des crues de la Retenue est libre).
Nom du Barrage	**Barrage de Tessa (en cours d'Etude de Conception Détaillée)**
Barrages à coordonnés	Barrages de Mellegue (Mellegue2) et Bou Heurtma
Points de Référence des Débits	Station de Jaugeage Sers Ville, Jendouba
Fonctionnement de la Retenue	- Si le niveau d'eau effectif dans la retenue de Tessa (la retenue) est au niveau d'eau normal (ou proche de ce niveau) et que le débit en amont de la Retenue (par exemple à la Station de Sers Ville) est supérieur à la capacité maximale du canal en aval de la Retenue, il est recommandé de pré-libérer la retenue en libérant la capacité maximale du cours d'eau par la sortie de fond. - La pré-libération doit être coordonnée avec le débit effectif à la station de Jendouba et la décharge des réservoirs de Mellegue et de Bou Heurtma, afin que la capacité maximale d'Oued Medjerda entre Jendouba et la retenue de Sidi Salem ne soit pas dépassée. - Dès que le niveau d'eau dans la retenue atteint le niveau de la crête du déversoir non-contrôlé (361,00 m), la sortie de fond du barrage de Tessa est progressivement fermée pour libérer un débit constant (égal à la capacité maximale du cours d'eau en aval de la Retenue) aussi longtemps que possible. La sortie de fond est complètement fermée pendant la pointe de la crue. - Dès que le niveau d'eau dans la retenue atteint MPHE (369,00 m), il est nécessaire d'ouvrir immédiatement les sorties de fond (partiellement ou complètement) si nécessaire pour arrêter l'augmentation du niveau d'eau. - Après avoir atteint le niveau d'eau maximal dans la retenue, il est nécessaire de libérer le stockage de contrôle des crues. Pendant la première période de décharge, l'eau de la Retenue se répand automatiquement sur le déversoir non-contrôlé. Après la diminution du stockage par le déversoir, le niveau d'eau dans la retenue est libéré avec la capacité maximale d'Oued Tessa en aval de la Retenue. Au cours de cette deuxième période, la sortie de fond est progressivement ouverte et la décharge de l'eau de la Retenue se poursuit jusqu'à ce que le niveau d'eau normal effectif dans la retenue soit atteint (c'est-à-dire que le stockage de contrôle des crues de la Retenue est libre).

Source: Etude sur la Gestion Intégrée des Bassins Axée sur le Contrôle des Crues dans Oued Medjerda, JICA (2009)

3.6.3 Caractéristiques et Exploitation Effective des Deux Principaux Barrages Existants

(1) Barrage de Sidi Salem

Le Barrage de Sidi Salem est un barrage distinct en Tunisie. En effet, en plus d'avoir le plus grand volume de stockage, il est situé dans le cours principale d'Oued Medjerda, qui est l'oued le plus grand et le plus important en Tunisie. En d'autres termes, il est situé au centre du système de gestion d'eau en Tunisie. En plus du tableau des caractéristiques du barrage, des informations de référence sont présentées ci-dessous.

- Le Barrage polyvalent de Sidi Salem a été construit entre 1975 et 1981. Barrage de remblai rocheux central.

- Surface irriguée = 10,600 ha.
- Hauteur du barrage 70m, Longueur de crête du barrage 340m, Volume du Barrage 4.5MCM, Surface du Bassin Versant=18,259km^2, Surface de la Retenue= 90km^2.
- Retenue de contrôle des crues = 427MCM, retenue d'eau à usage = 695MCM (de 550MCM à 695MCM en 1999), Retenue totale= 977MCM. (Certaines données indiquent une retenue de contrôle de crues=205MCM, retenue d'eau à usage=722MCM).
- Déversoir d'urgence (Vanne Radiale) = Largeur 15m x Hauteur 13.5m x 3 Vannes, Débit du Déversoir = 1,400 x 3 = 4,200 m^3/s, côte de la crête du déversoir=EL.105m.
- Niveau d'eau normal = EL.115m, Niveau d'eau de Surcharge = EL.118.5m, Niveau de crue de conception = EL.119.5m, côte de la crête du barrage = EL.122.66m.
- Installation de production d'électricité 1 turbine (turbine Kaplan à axe vertical), capacité installée = 36 MW (généralement 20 MW), la production électrique générale pour l'eau à usage est de 65 à 90 m^3/s, 19 000 W, 32 000 V. Elle est gérée par la Société Tunisienne d'Electricité et de Gaz (STEG).
- La STEG décharge la quantité requise d'eau d'irrigation et d'eau potable en tant que quantité d'énergie produite à la suite de la demande du Ministère d'Agriculture. Le débit de production d'électricité varie de 80 à 100 m^3/s, et l'eau est évacuée pendant les heures de pointe de la demande d'électricité (8: 00 à 12:00, 18:00 à 21:00). Elle fonctionne 24 heures sur 24 pendant la période des crues.
- La quantité d'eau utilisée pour la production d'électricité en été est de 2 MCM, et celle utilisée en saison normale est d'environ 5 000 m^3/jour.
- Pendant la période de crue, si l'évacuation d'eau excédant la consommation électrique (maximum 100m^3/s) est nécessaire, la vanne d'évacuation de sable (maximum 600m^3/s) est ouverte et fonctionne.
- Installation d'évacuation de sable (vanne de fond, tunnel d'évacuation de sable) Q = 600m^3/s.
- Déversoir permanent (de type de débordement naturel et de type Morning Glory) Conception Q = 700m^3/s, Crête = El.115m.
- Apport annuel en sédiments du Plan Initial (B.M, F/S) 4,0MCM, évacuation de sable prévu (plan) = 3,2MCM, Plan Directeur (1981-2006, 25 ans) Apport en sédiments = 5,1-5,9MCM, apport moyen en sédiments de 2006 à 2014 (8 ans) = 12,9 MCM.
- Crues majeures: 2000, 2003, 2004, 2005, 2012, 2015. L'apport en sédiments en 2003 était de 40 MCM.
- 2016-2018 ont été des années de sécheresse.
- Le déversoir permanent (de type : débordement naturel de type Morning Glory) a été construit à une hauteur de 110 m. Il a ensuite été surélevé de 3,5 m à un total de 5 m à sa côte actuelle de EL.115m ce qui a augmenté sa capacité de 145 MCM.
- Le Bureau d'Etude français (Coyne et Bellier) a revu les règles d'exploitation du barrage en 1999, et les fonctionnements actuels du barrage sont conformes à ces dernières. La feuille de calcul Excel pour cette règle d'exploitation du barrage est disponible.
- Barrage Sidi Salem est le seul calcul de prévision des entrées de crues en Tunisie et qui opère le barrage.
- Compte tenu de la décharge préalable 5 jours à l'avance. Le débit préliminaire est déterminé par la vitesse de montée du niveau d'eau dans la retenue toutes les 2 heures.
- Suite à la révision menée par le bureau d'étude français en 1999, le déversement sera opéré par le déversoir régulier (débordement naturel de type Morning Glory) jusqu'à EL.118m, et par le déversoir d'urgence à partir de EL.118m. Cependant, le déversoir d'urgence jusqu'à

présent n'a jamais été utilisé.

- Le bureau d'étude a révisé, en 1999, les débits de pointe de conception de crue comme suit : 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. La durée de crue de conception est de 72 heures (3 jours).
- Lorsque le niveau d'eau dans la retenue est de EL. 115m, la longueur de la Retenue sera de 30 km.
- Au début de la période de crues, la vanne d'évacuation du sable est ouverte et le niveau d'eau dans la retenue est réglé à environ EL.114m.
- A partir des données de la crue de février 2018, le niveau d'eau de la Retenue a été régulé à environ 114,35 m, le débit de la production électrique était de 70 ~ 80m^3/s, et le débit de la vanne d'évacuation du sable est 60 ~ 140m^3/s. Le débit de sortie total était d'environ 140m^3/s (V = 540 MCM).
- Il est important d'améliorer la précision des prévisions de crues du fait des décharges préalables, l'Agence Météorologique de Tunisie (INM) et l'Agence Météorologique française (Météo France) prévoient d'installer conjointement un radar météorologique en amont d'Oued Medjerda au cours des dernières années. Le radar météorologique permet de couvrir également la partie algérienne.
- Actuellement, la vanne d'évacuation de sable (tunnel) est utilisée uniquement pour le contrôle du niveau d'eau et non pour l'évacuation du sable pendant la période de crues.
- L'eau est collectée au niveau de la vanne d'évacuation de sable et est déchargée lorsque la turbidité est faible.
- L'évacuation de sable a était réalisée à partir du tunnel de la vanne d'évacuation de sable pendant la période de crue jusqu'à l'année 2005, par la suite cette évacuation a été arrêtée. Pendant les crues de 2009, 2012 et 2015, aucune décharge d'eau n'a été effectuée pour l'évacuation des sables.
- Cependant, la vanne d'évacuation de sable est mise en fonctionnement régulièrement (tous les 10 jours) pour éviter le colmatage, par sédiments, des vannes d'évacuation de sables et de la conduite. L'ouverture de vanne est d'environ 50 cm.
- Une plaque de trop-plein a été installée au niveau de la partie supérieure de la vanne de Tainter du déversoir d'urgence, et la structure a permis le débordement sur la partie supérieure de la vanne.

- L'équipe d'étude de la JICA a visité le couloir d'inspection à l'intérieur du barrage où plusieurs fuites d'eau ont été observées. La quantité des pertes d'eau n'est ni mesurée ni surveillée.
- Bien qu'il soit considéré comme la limite du niveau d'eau pendant la période pluviale, l'exploitation actuelle de la Retenue limite le niveau d'eau à El. 110,0 m pendant la saison pluviale de septembre à janvier.
- Les résultats des études de sédiments ont enregistré des volumes de 52 MCM en 1991, 87 MCM en 1997 et 140 MCM en 2002.
- Dans la partie avale, Il y a 5 sorties avec un débit maximum (dans le cas d'une vanne complètement ouverte):

- Déversoir d'urgence (débordement supérieur de EL. 110.0m au fond de la vanne): 4,200 m^3/s.
- Déversement régulier /sortie (Débordement extrémité supérieure EL 115 m): 600 m^3/s.
- Sortie pour digue (pour irrigation de fond): 100 m^3/s.
- Sortie hydroélectrique : 100 m^3/s.
- Sortie des sédiments : 600 m^3/s.

Parmi ce qui précède, la sortie de gravier a été ouverte lors de la crue de 2003.

- Pendant la crue de 2003, un volume total de 2,000 MCM a été évacué avec un débit maximal de 704 m^3/s.
- Le niveau d'eau actuel d'exploitation du barrage est principalement de 105-115m de Mai jusqu'à Août et de 105-108m au début de Septembre. Le PHE atteint 115m en mois de Mars.

Selon un entretien avec le Ministère d'Agriculture, le fonctionnement actuel du Barrage de Sidi Salem est comme suit :

- Le manuel de contrôle du barrage de Sidi Salem 1999 et le logiciel d'exploitation de la Retenue supportant le logiciel macro Excel créé par le bureau d'étude français Coyne et Bellier ne sont plus utilisés sur terrain (Bureau de Gestion de Sidi Salem) depuis 1999.
- L'opérateur du barrage maintient le fonctionnement de chaque vanne selon les instructions du siège du Ministère de l'Agriculture Tunis.
- L'exploitation du barrage est décidée et instruite sur site (Bureau de Gestion de Barrage) par le Comité de Gestion des Crues suite aux Réunions Continues avec le siège du Ministère de l'Agriculture.
- Cet organisme est organisé par le Ministre du Ministère d'Agriculture (présidé par le Ministre) ou le Secrétaire d'État avec un personnel spécialisé pour toutes les directions.
- Durant l'épisode de crue, le site (Bureau de Gestion de Barrage) partage les données du niveau d'eau et de chaque ouverture de vanne avec le Comité toutes les heures. Le Comité donne les instructions de décharge du barrage en tenant compte des conditions en amont et en aval de la Retenue et des conditions de crue à l'aval.
- Le Comité a décidé sur les fréquences de décharge de sorte que la capacité de décharge en aval au moment de crue soit de 300 m^3/s (le débit d'écoulement de 1300 m^3/s est actuellement réduit par la sédimentation dans le cours d'eau).
- Depuis 1999, le niveau d'eau de la Retenue est régulé afin de maintenir le niveau d'eau cible à El.112m. Pour un niveau de EL.110m, l'eau à usage dispose d'une faible capacité, et pour un niveau de El.115m (NEN) a une capacité de contrôle de crues trop faible, ce qui est dangereux.
- Même pendant la crue de janvier 2003, le fonctionnement des vannes sur le site a été opéré selon les instructions du Comité du siège du Ministère d'Agriculture. Lors de la même période, le contrôle des crues a commencé à partir d'environ EL.112m, et devait revenir à EL.112m après la crue.
- Depuis la crue de 2003, le niveau d'eau limite en période de crues est de EL.112 m.

(2) Barrage de Mellegue

Le barrage de Mellegue est situé sur le premier affluent d'Oued Mellegue, mais le bassin de Mellegue est plus grand que le bassin principal du cours d'eau en amont de la confluence. De plus, parmi les barrages du bassin de la Medjerda, seuls les barrages de Sidi Salem et de Mellegue incluent la composante de contrôle de crues. En plus du tableau des caractéristiques des barrages, des informations de référence sont présentées ci-dessous.

- Barrage en béton à plusieurs voûtes (cinq) + barrage secondaire en rive droite achevé en 1954.
- Hauteur du Barrage 65m, Longueur de la crête du Barrage 470m, Capacité totale de la Retenue 360MCM, Surface de la Retenue 1 600 ha, longueur de la Retenue 18 km.
- Barrage polyvalent pour contrôle de crues, l'irrigation et l'hydroélectricité.
- Conçu par le bureau d'étude français Coyne et Belie.
- Bassin versant 10.400 km^2. Capacité moyenne en eau 192MCM. Niveau d'eau maximum EL.270.0m.

- Côte de la crête du barrage : EL. 270m (hors hauteur de parapet de 1m), PHE : EL. 260m.
- Les sédiments occupent environ 70% de la capacité totale de la Retenue de 360 MCM. Le niveau des sédiments est à 49 m du fond du barrage (EL. 70 m). La capacité totale actuelle de stockage d'eau est de 109 MCM.
- L'apport en sédiments est évalué à 3,6 MCM/an.
- Vanne d'évacuation de sable : 2 vannes (10 m^3/s x 2 vannes). Elle a été utilisée entre la fin des travaux en 1954 et les années 1990, mais depuis, elle n'est plus utilisée en raison d'une défaillance de la valve à bille métallique dans l'installation d'évacuation de sable.
- L'installation d'évacuation de sable permet le mélange des sédiments et de l'air comprimé avec du venturi et les évacuent. Vue l'ancienneté de l'installation, elle ne peut pas être réparée en cas de panne. C'était une vanne à commande manuelle (non automatique).
- Trois déversoirs d'urgence (15m x 15m x 3 contrepoids et vannes de Tainter). Le débit total de drainage est de 5,400 m^3/s (1 800 m^3/s x 3 vannes). Il y a deux déversoirs permanents. 600m^3/s x 2 vannes.
- Zone d'irrigation en aval de 400 ha. Le niveau d'eau pendant l'irrigation est de EL.216 m (le même que pour la production d'électricité).
- Dans les dernières années, la crue importante de 2013 a enregistré un apport de 50 MCM.
- Le bassin est semi-aride. Lorsque le bassin est sec et que la végétation est réduite pendant l'année sèche, l'apport en sédiments augmente.
- L'apport en sédiments est faible au printemps et augmente ente l'été et l'automne.
- Il y a un cycle de périodes sèches et humides tous les 4 à 5 ans. (Il peut être dû au phénomène d'El-Nino)
- L'érosion des sédiments varie selon l'emplacement, cependant le gradient topographique moyen dans le bassin de Mellegue est raide et l'érosion des sédiments est généralement sévère.
- Les crues majeures enregistrées sur le site du barrage de Mellegue ont été en 1969, 1973, 2000, 2003 et 2008, auxquelles le déversoir d'urgence a été mis en service.
- Le barrage actuel devrait avoir une durée de vie d'environ 2020. En raison de la progression de la sédimentation, la profondeur de la Retenue a été mesurée en 2000, mais la quantité d'eau qui était de 330MCM en 1954 est tombée à 163MCM en 2000. En d'autres termes, 54% ont été pourvus. Par simple calcul, cela signifie qu'environ 1% d'eau stockée est réduite par an.
- Pendant la saison des pluies de septembre à février et en mai 2000 ; saison sèche, de fortes pluies ont été enregistrées dans le cours supérieur, et qui ont nécessité la décharge d'eau d'urgence, et par conséquent ont engendrée des inondations en aval.
- Un projet de barrage de même ampleur en amont est prévu actuellement, et il sera achevé dans 3 à 4 ans à partir de 2010 ou 2011. (Capacité de la Retenue prévue est de 190 MCM).

Les règles d'exploitation du Barrages de Mellegue obtenue à partir de la présente étude sont décrites dans ce qui suit :

Tableau 3-40 Règles d'exploitation du barrage de Mellegue (Crue)

Débits entrant dans la retenue (m^3/s)	Fonctionnement des Vannes du Barrage	
Entre 700 et 2300	Ouverture des 2 vidages à 1/1 : 287 m^3/s x 2 : Turbine à 20 m^3/s: Débit:	574 m^3/s 20 m^3/s 594 m^3/s
Entre 2300 et 2800	Maintenir ce qui précède Ouverture des 2 vannes principales à 2 m: 270 m^3/s x 2: Débit:	594 m^3/s 540 m^3/s 1134 m^3/s
Entre 2800 et 3350	Ouverture des 2 vidages à 1/1 : 287 m^3/s x 2 : Turbine à 20 m^3/s: Ouverture des 2 vannes principales à 4 m: 520 m^3/s x 2 Débit d'écoulement:	574 m^3/s 20 m^3/s 1040 m^3/s 1634 m^3/s
Au-delà de 3350	Toutes les vannes à pleine ouverture: Le débit d'écoulement augmente de 2,500 à 3,750 m^3/s à la côte 268.	

Source: Ministère d'Agriculture

Tableau 3-41 Règles d'exploitation du barrage de Mellegue (Diminution)

Niveau d'eau dans le Barrage	Débit à K13	Retour d'Ecoulement
Au-dessus de 265.5	Entre 300 et 2100 m^3/s Moins de 300 m^3/s	294 m^3/s (Ouverture des 2 vidages à 1/1 et de la Turbine à 20 m^3/s) 287 m^3/s (1/1 Ouverture de la vidange)
De 265.5 à 265.0	Entre 1000 et 2300 m^3/s Entre 100 et 1000 m^3/s Moins de 100 m^3/s	287 m^3/s (1/1 Ouverture de la vidange) 74 m^3/s (Ouverture d'une vidange à ¼ et de la Turbine à 20 m^3/s) 20 m^3/s (Turbine à 20 m^3/s)

Source: Ministère d'Agriculture

Les débits entrants sont évalués continuellement au niveau du barrage sur la base d'enregistrement des variations d'eau et de la connaissance des débits libérés en sortie. Le réajustement des débits libérés se fait toutes les demi-heures.

Tableau 3-42 Période de remontée du niveau d'eau

Niveau d'Eau	Fonctionnement des Vannes
Niveau d'eau au-dessous de 265m	Dès le commencement de la crue, faire tourner la turbine à la vitesse maximale. Observer les vitesses n'engendrant plus de baisses. - A moins que le calibre atteint et le débit d'alimentation à un moment donné ne nécessitent un déclencheur, relâcher immédiatement le débit de coupure (voir tableau ci-dessus) par ouverture de vidanges et décharge si nécessaire. Si le débit dépasse la capacité de décharge en dessous de la valeur nominale atteinte, ouvrir pleinement toutes les vannes.
Niveau d'eau au-dessus de 265m	Essayer de stabiliser le niveau d'eau par la turbine et par ouverture de vidange et des sorties sans dépasser 2000 m^3/s de décharge.

Source: Ministère d'Agriculture

(3) Fonctionnement de la Retenue pendant la Période de Crue

A partir des données d'exploitation des barrages, le niveau d'eau maximal précédant n'a jamais atteint le niveau d'eau supplémentaire pour de nombreux barrages. Cela signifie que la capacité de contrôle des inondations n'a pas été pleinement utilisée lors des crues précédentes (par exemple, la crue de 2003).

Selon les rapports opérationnels, 13% de la capacité de contrôle des crues de la Retenue de Siliana a été utilisée pour le contrôle de crue en décembre 2003 et 18% de la capacité de contrôle des crues de la Retenue de Bou Heurtma a été utilisée en janvier 2003. Les deux barrages disposent d'un déversoir à débordement naturel pour le contrôle de crues. Le barrage de Sidi Salem à deux déversoirs ; un déversoir principal qui est contrôlé par trois vannes, et le déversoir secondaire qui est contrôlé par débordement naturel (type Morning Glory). Pendant la crue de janvier 2003, grâce à sa capacité de contrôle des crues

relativement importante, le barrage a permis un stockage de 55% du volume total.

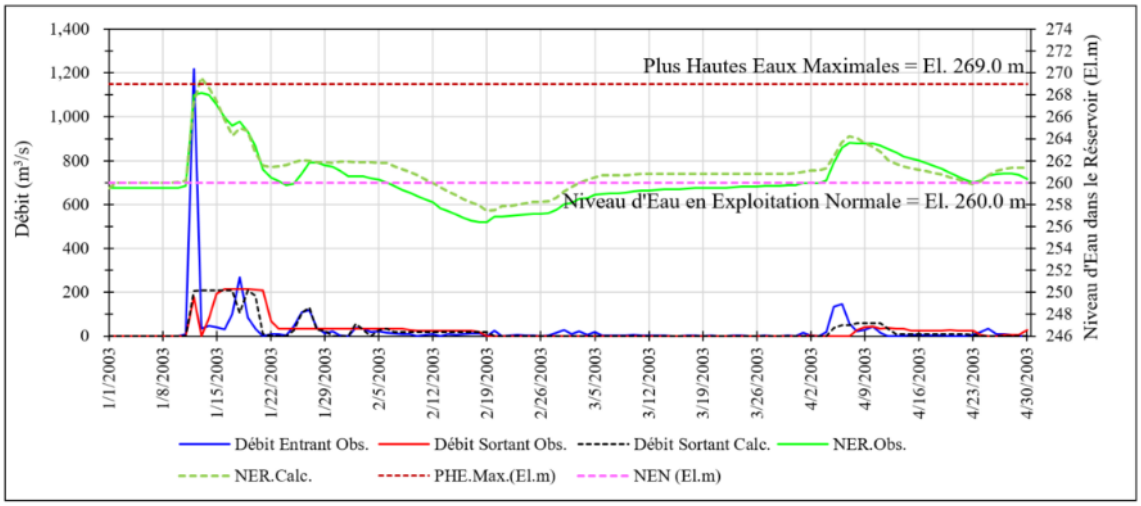
D'autre part, un déversoir de type vanne est installé au barrage de Mellegue. Le déversement et le débit de la sortie de fond sont ajustés pendant les crues. Pour la crue de décembre 2003, la quasi-totalité de la capacité de contrôle des crues prévue (98,6 millions de m^3 = 96% de la capacité de contrôle des crues prévue) a été mobilisée pour réduire le débit de crue de pointe.

Bien que des questions d'échelle, d'emplacement, de distribution temporelle des inondations et d'autres restent posées, il est possible de dire qu'au moins environ la moitié de la capacité totale de contrôle des crues des barrages a été utilisée pour le contrôle des crues précédentes dans le bassin de Medjerda.

3.6.4 Calibrage de l'Option « Contrôle de Crues » des Barrages Principaux Existants

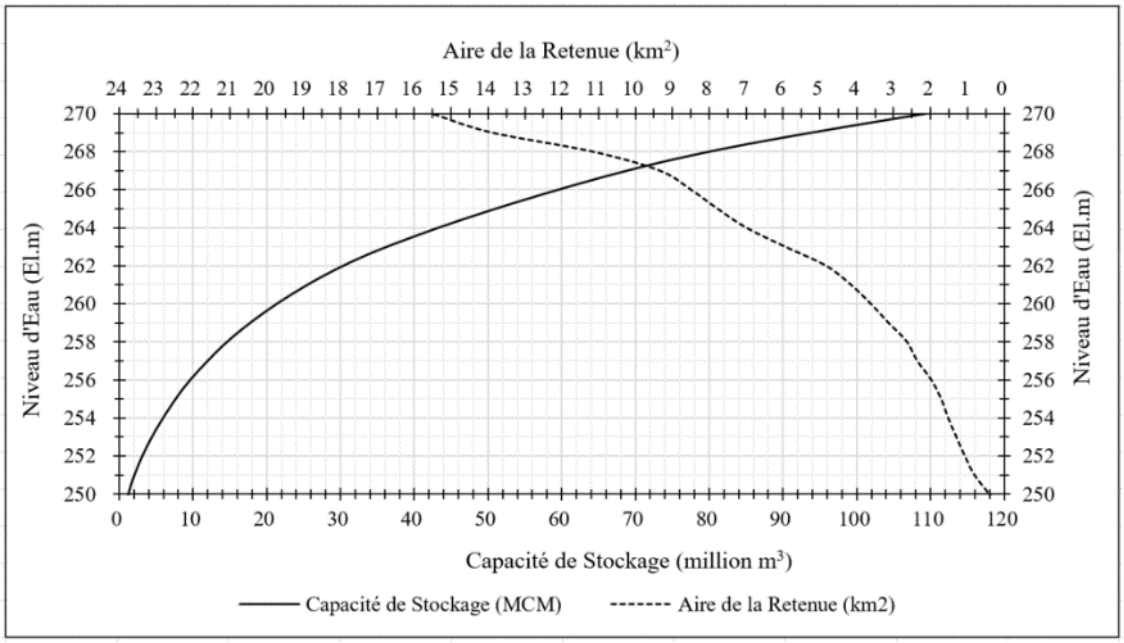
(1) Barrage de Mellegue

En se basant sur les règles d'exploitation de la Retenue du barrage de Mellegue présentées ci-dessus, certaines règles ont été révisées en fonction des données d'exploitation enregistrées, et des simulations d'exploitation de la Retenue ont été effectuées pour les crues. Les résultats de la simulation du modèle d'exploitation de la Retenue sont présentés sur la figure ci-dessous. Les niveaux d'eau et les débits observés et simulés sont bien ajustés.



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-50 Résultat de calibrage de la simulation d'exploitation de la retenue du barrage de Mellegue

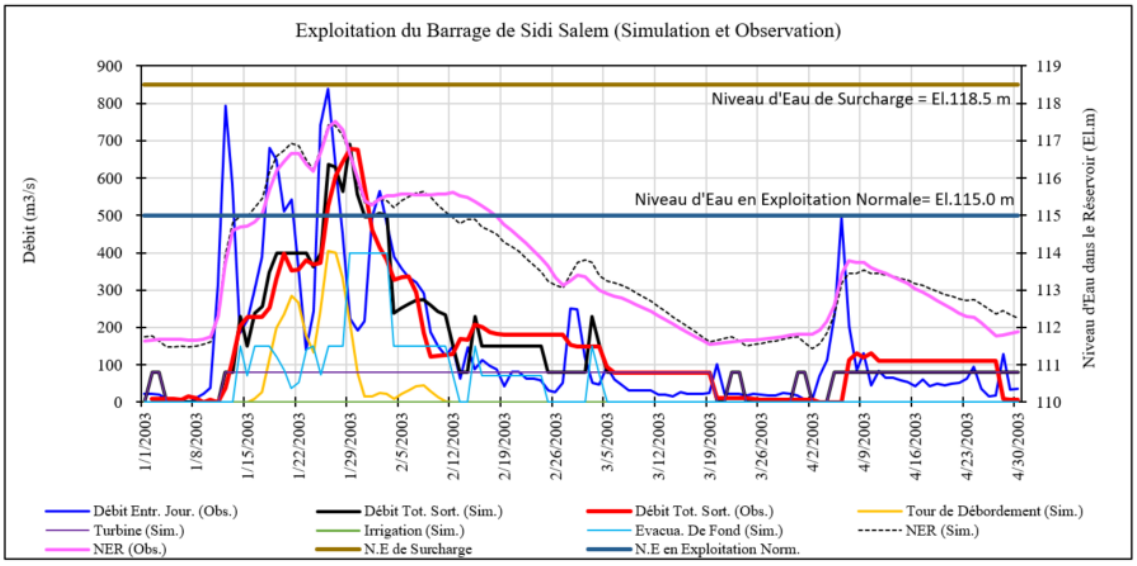


Source : Equipe d'Etude de la JICA (A la base des données du Ministère d'Agriculture)

Figure 3-51 Courbe du niveau de la retenue – superficie – capacité du barrage de Mellegue (2014)

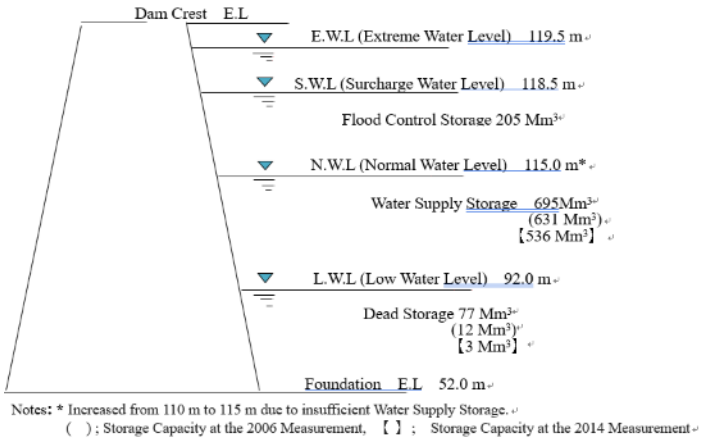
(2) Barrage de Sidi Salem

En se basant sur les règles d'exploitation de la Retenue du barrage de Sidi Salem collectées auprès du Ministère d'Agriculture, certaines règles ont été révisées en fonction des données d'exploitation enregistrées, et des simulations d'exploitation de la Retenue ont été effectuées pour les crues. Les résultats de la simulation du modèle d'exploitation de la Retenue sont présentés sur la figure ci-dessous. Les niveaux d'eau observés et simulés ainsi que les débits calculés sont bien ajustés.



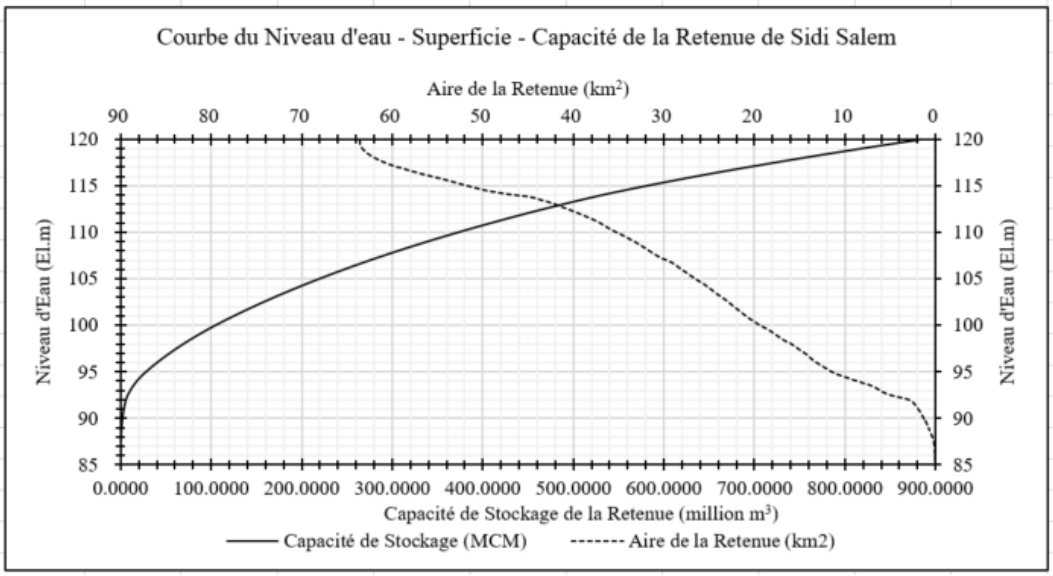
Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-52 Résultat de calibrage de la simulation d'exploitation de la retenue du Barrage de Sidi Salem



Source: Manuel de la Gestion des Crue au niveau du Barrage de Sidi Salem, Septembre 2017, Yachiyo Engineering Co., Ltd./SCET

Figure 3-53 Niveaux d'eau de la retenue et capacités de stockage du barrage de Sidi Salem

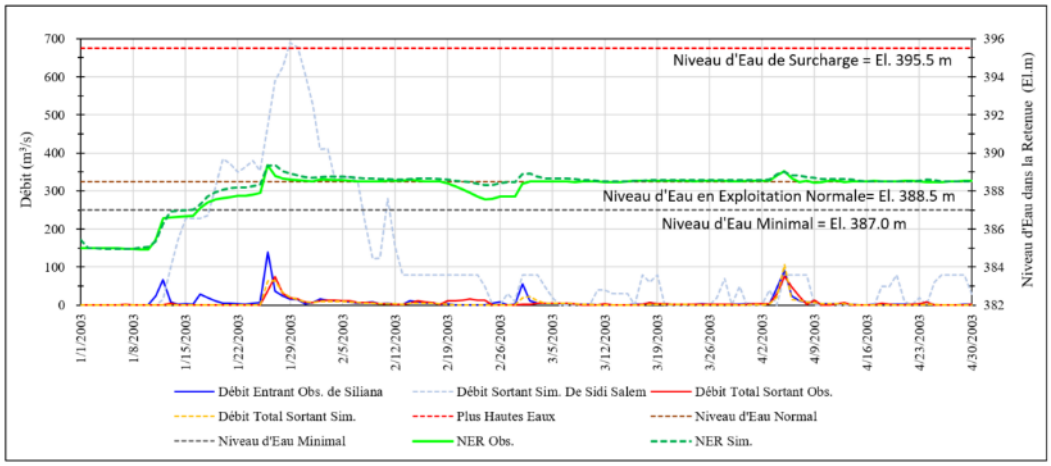


Source: Equipe d'Etude de la JICA (A la base des données du Ministère d'Agriculture)

Figure 3-54 Courbe du niveau d'eau – superficie – capacité du barrage de Sidi Salem (2018)

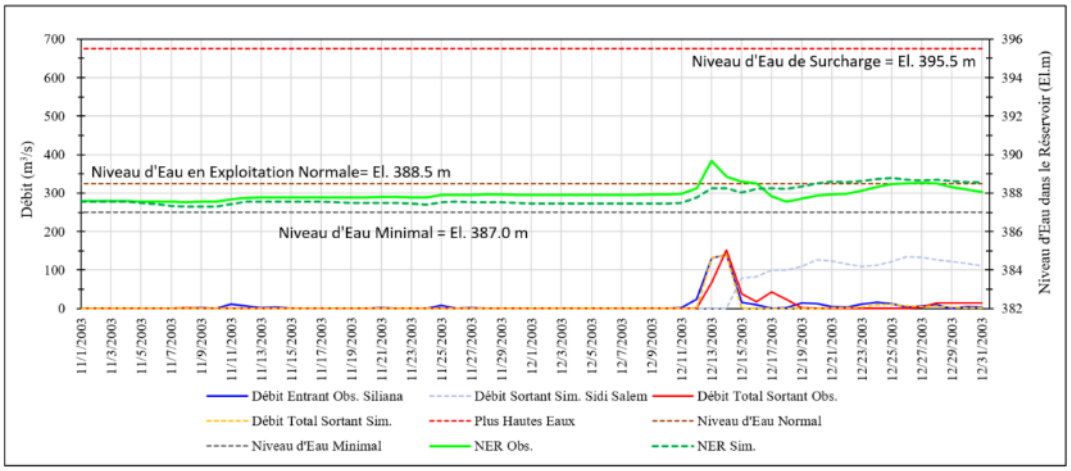
(3) Barrage de Siliana

Les règles d'exploitation ont été estimées à partir des données réelles d'exploitation du Barrage de Siliana, obtenues auprès du Ministère d'Agriculture, les données d'exploitation de la Retenue pendant la crue ont été simulées. De plus, le fonctionnement de la Retenue pendant la crue de ce barrage a tenu en compte non seulement l'apport du barrage de Siliana mais également l'écoulement du barrage de Sidi Salem. Les résultats de calibrage du modèle d'exploitation de la Retenue sont indiqués sur la figure ci-dessous. Les niveaux d'eau et les débits observés et simulés sont bien ajustés.



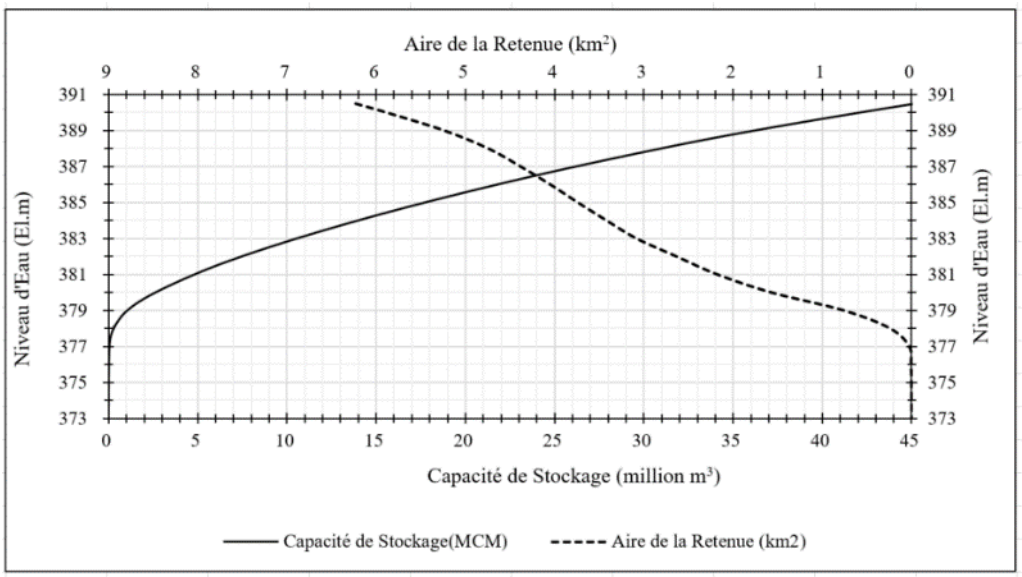
Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-55 Résultats de calibrage de la simulation d'exploitation de la retenue du barrage de Siliana (1/2)



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-56 Résultats de calibrage de la simulation d'exploitation de la retenue du barrage de Siliana (2/2)



Source: Equipe d'Etude de la JICA (A la base des données du Ministère d'Agriculture)

Figure 3-57 Courbe du niveau d'eau– superficie – capacité du barrage de Siliana (2012)

3.6.5 Etude de la Méthode Optimale d'Exploitation des Barrages Principaux Existants sous la Fonction « Contrôle de Crues »

La méthode optimale d'exploitation sous la fonction « contrôle de crues » des trois barrages du bassin de Medjerda ayant d'importants effets sur le contrôle des crues (barrage de Mellegue, barrage de Sidi Salem et barrage de Siliana) sera étudiée selon la procédure suivante :

1. D'abord, une vérification de la sécurité du barrage sera effectuée si la crue maximale probable (CMP) se produit, sur la base des règles actuelles d'exploitation de la Retenue. Si le barrage n'est pas sûr pendant la période CMP, les règles d'exploitation de la Retenue et le niveau d'eau initial optimal pendant la saison des crues seront étudiés.
2. Même si la CMP se produit, s'il est confirmé que le barrage est sûr, les hydrogrammes de crue de conception (2 cas) seront étudiés pour la capacité maximale des Eaux à Usage et pour la sécurité du barrage.

(1) Précipitations Maximales Probables (PMP)

Les précipitations maximales probables (PMP) du bassin du barrage de Mellegue (Zone M), du bassin du barrage de Sidi Salem (Zone U1 + M + U2) et du bassin du barrage de Siliana (Zone U1 + M + U2 + D1) sont indiquées sur les tableaux 3-44 à 3-46, estimées par la méthode de Hershfield. Les PMP de 3 jours, 5 jours et 3 jours étaient respectivement de 290 mm/72 heures, 457 mm/120 heures et 678 mm/72 heures.

(2) Probabilité des Précipitations dans l'Emplacement de chaque Barrage

Le tableau suivant présente les résultats du calcul de la probabilité de précipitations dans le bassin du barrage de Mellegue (Zone M), le bassin du barrage de Sidi Salem (Zone U1 + M + U2) et le bassin du barrage de Siliana (Zone D1).

Tableau 3-43 Probabilité de précipitations sur le site de chaque barrage

Barrage	Bassin du Barrage de Mellegue		Bassin du Barrage de Sidi Salem		Bassin du Barrage de Siliana	
X-COR(99%)	0.970		0.995		0.996	
P-COR(99%)	0.994		0.996		0.995	
SLSC(99%)	0.054		0.020		0.020	
Log-Probabilité	-140.2		-155.4		-170.4	
pAIC	284.4		314.8		344.8	
X-COR(50%)	0.960		0.990		0.994	
P-COR(50%)	0.985		0.987		0.985	
SLSC(50%)	0.102		0.034		0.034	
Année de Probabilité	Probabilité de Précipitations de 3-jours par LogP3 (mm)	Erreur de JackKnife Estimée	Probabilité de Précipitations de 5-jours par SqrtEt (mm)	Erreur de JackKnife Estimée	Probabilité de Précipitations de 5-jours par GEV (SqrtEt)	Erreur de JackKnife Estimée
2	42.8	2.4	56.7	3.4	72.7	5.4
3	49.1	2.9	65.3	4.1	87.2	7.0
5	56.8	4.0	75.5	5.1	104.6	9.3
10	67.6	6.5	89.3	6.5	128.6	12.8
20	78.8	10.5	103.4	8.1	153.6	16.7
30	85.7	13.5	112.0	9.1	168.9	19.2
50	94.8	17.9	123.2	10.5	189.0	22.5
80	103.5	22.7	133.8	11.8	208.2	25.8
100	107.7	25.3	139.0	12.5	217.6	27.4
150	115.6	30.4	148.7	13.7	235.2	30.4
200	121.4	34.4	155.7	14.6	248.1	32.7
400	135.8	45.5	173.2	16.9	280.3	38.4
500	140.5	49.6	179.0	17.7	291.0	40.3
1,000	155.7	63.7	197.6	20.2	325.5	46.5
10,000	208.0	132.7	265.5	29.6	453.1	69.9

Source: Equipe d'Etude de la JICA (Selon l'Utilitaire de Statistiques Hydrologiques JICE)

Tableau 3-44 Précipitations maximales possibles pour la durée de 3 jours dans le bassin du barrage de Mellegue (Zone M)

Station: Zone M B.V (km^2) = 10,769

No.	Année	Préci. Annu. Max. de n-jours (mm) Durée (heure) 72 hr (3 jours)	
1	1979		52.4
2	1980		54.5
3	1981		29.1
4	1982		50.5
5	1983		39.6
6	1984		66.9
7	1985		41.8
8	1986		31.3
9	1987		39.1
10	1988		30.9
11	1989		31.7
12	1990		75.4
13	1991		52.4
14	1992		59.8
15	1993		30.1
16	1994		34.1
17	1995		40.9
18	1996		33.1
19	1997		42.7
20	1998		46.1
21	1999		45.6
22	2000		49.6
23	2001		37.4
24	2002		34.2
25	2003	M	109.7
26	2004		55.3
27	2005		58.8
28	2006		48.6
29	2007		50.8
30	2008		30.9
31	2009		73.7
32	2010		47.6
33	2011		42.7
34	2012		45.6
35	2013		32.8

			Durée (heure) 72 hr (3 jours)
n	Numbre de Donnée (Durée des Observations)	(ans)	35
m	Maximum	(mm)	109.7
X_n	Précipitation Moyenne Annuelle Maximale	(mm)	47.0
$X_{n\text{-}m}$	Moyenne (maximum exclu)	(mm)	45.2
S_n	Ecart-Type	(mm)	16.3
$S_{n\text{-}m}$	Ecart Type (w/o.max)	(mm)	12.3
$X_{n\text{-}m} / X_n$			0.96
$S_{n\text{-}m} / S_n$			0.75
Ajustement des menas (Xn) de la quantité maximale observée et de la durée des observations			
F_{x1}	Facteur d'ajustement (X_n) de la quantité maximale observée (de la **Figure 2.4.25**)	(%)	98%
F_{x2}	Facteur d'ajustement (X_n) de la durée des observatiosn (de la **Figure 2.4.27**)	(%)	101%
ADX_n	X_n Ajusté $(ADX_n = Xn * F_{x1} * F_{x2})$	(mm)	**46.3**
Ajustement de l'écart-type de la quantité maximale observée et de la durée des observations			
F_{s1}	Facteur d'ajustement (S_n) de la quantité maximale observée (de la **Figure 2.4.26**)	(%)	84%
F_{s2}	Facteur d'ajustement (S_n) de la durée des observatiosn (de la **Figure 2.4.27**)	(%)	103%
ADS_n	S_n Ajusté $(ADS_n = Sn * F_{s1} * Fs_2)$		**14.0**
K_m	Fonction de la durée des précipitations et de la moyenne des séries annuelles (de la **Figure 2.4.24**)		17
Valeurs des points de non-ajustement de PMP			
$X_{m(ua)}$	Valeurs des points de non-ajustement de PMP: $(X_{m(ua)} = ADX_n + K_m * ADS_n)$	(mm)	**284**
Ajustement des PMP à la base des données horaires aux valeurs maximales réelles			
T	Nombre d'unité d'observation (Intervalle de temps fixe des observations de précipitation)	(heure)	3
F_o	Facteur d'ajustement (T) des unités d'observation (de la **Figure 2.4.28**)	(%)	101%
$X_{m(t)}$	Ajustement du PMP basé sur des données horaires aux vraies valeurs maximales: $(X_{m(t)} = X_{m(ua)} * F_o)$	(mm)	**287**
(Remarque: si les données de la série annuelle ont été compilées à partir d'un intervalle de temps d'observation fixe au lieu des données horaires, le facteur d'ajustement pour toute la durée aurait été de 1.13)			
Ajustement des Points PMP à la Zone d'Etude (Aire du Bassin Versant)			
CA_b	Zone couverte de données de précipitations (pour une précipitation ponctuelle : 25 km^2)	(km^2)	25
CA	Zone d'Etude (Aire du Bassin Verssant)	(km^2)	10,769
F_{CA}	Facteur de Réduction de l'Aire pour les Précip. Ponctuelles sur l'Aire (depuis l'Analyse Hauteur-Aire)	(%)	**100.0%**
PMP	**PMP de la Zone d'Etude** $(PMP = X_{m(t)} * F_{CA})$	(mm)	**287**
	(arrondie PMP)	(mm)	**290**

Source: Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation, WMO-No. 1045

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Tableau 3-45 Précipitations maximales possibles pour la durée de 5 jours dans le bassin du barrage de Sidi Salem (Zone U1+M+U2)

Station: Zone U1+M+U2 B.A (km^2) = 18,002

No.	Année		Préci. Annu. Max. de n-jours (mm) Durée (heure) 120 hr (5 jours)
1	1979		54.5
2	1980		54.0
3	1981		49.1
4	1982		69.1
5	1983		37.9
6	1984		84.6
7	1985		86.2
8	1986		38.1
9	1987		44.1
10	1988		30.1
11	1989		31.2
12	1990		79.4
13	1991		65.5
14	1992		76.0
15	1993		40.4
16	1994		51.6
17	1995		64.1
18	1996		60.3
19	1997		46.8
20	1998		52.3
21	1999		56.0
22	2000		61.1
23	2001		40.1
24	2002		50.7
25	2003	M	128.8
26	2004		85.4
27	2005		73.7
28	2006		103.3
29	2007		82.6
30	2008		41.9
31	2009		104.8
32	2010		64.8
33	2011		89.8
34	2012		53.9
35	2013		50.5

			Durée (heure) 120 hr (5 jours)
n	Numbre de Donnée (Durée des Observations)	(ans)	35
m	Maximum	(mm)	128.8
X_n	Précipitation Moyenne Annuelle Maximale	(mm)	62.9
X_{n-m}	Moyenne (maximum exclu)	(mm)	61.0
S_n	Ecart-Type	(mm)	22.6
S_{n-m}	Ecart Type (w/o.max)	(mm)	19.8
X_{n-m} / X_n			0.97
S_{n-m} / S_n			0.88
Ajustement des menas (Xn) de la quantité maximale observée et de la durée des observations			
F_{x1}	Facteur d'ajustement (X_n) de la quantité maximale observée (de la **Figure 2.4.25**)	(%)	99%
F_{x2}	Facteur d'ajustement (X_n) de la durée des observatiosn (de la **Figure 2.4.27**)	(%)	101%
ADX_n	X_n Ajusté ($ADX_n = Xn * F_{x1} * F_{x2}$)	(mm)	**62.6**
Ajustement de l'écart-type de la quantité maximale observée et de la durée des observations			
F_{s1}	Facteur d'ajustement (S_n) de la quantité maximale observée (de la **Figure 2.4.26**)	(%)	99%
F_{s2}	Facteur d'ajustement (S_n) de la durée des observatiosn (de la **Figure 2.4.27**)	(%)	103%
ADS_n	S_n Ajusté ($ADS_n = Sn * F_{s1} * Fs_2$)		**22.9**
K_m	Fonction de la durée des précipitations et de la moyenne des séries annuelles (de la **Figure 2.4.24**)		17
Valeurs des points de non-ajustement de PMP			
$X_{m(ua)}$	Valeurs des points de non-ajustement de PMP: ($X_{m(ua)} = ADX_n + K_m * ADS_n$)	(mm)	**452**
Ajustement des PMP à la base des données horaires aux valeurs maximales réelles			
T	Nombre d'unité d'observation (Intervalle de temps fixe des observations de précipitation)	(heure)	3
F_o	Facteur d'ajustement (T) des unités d'observation (de la **Figure 2.4.28**)	(%)	101%
$X_{m(t)}$	Ajustement du PMP basé sur des données horaires aux vraies valeurs maximales: ($X_{m(t)} = X_{m(ua)} * F_o$)	(mm)	**457**
(Remarque: si les données de la série annuelle ont été compilées à partir d'un intervalle de temps d'observation fixe au lieu des données horaires, le facteur d'ajustement pour toute la durée aurait été de 1.13)			
Ajustement des Points PMP à la Zone d'Etude (Aire du Bassin Versant)			
CA_b	Zone couverte de données de précipitations (pour une précipitation ponctuelle : 25 km^2)	(km^2)	25
CA	Zone d'Etude (Aire du Bassin Verssant)	(km^2)	18,002
F_{CA}	Facteur de Réduction de l'Aire pour les Précip. Ponctuelles sur l'Aire (depuis l'Analyse Hauteur-Aire	(%)	**100.0%**
PMP	**PMP de la Zone d'Etude** ($PMP = X_{m(t)} * F_{CA}$)	(mm)	**457**
	(arrondie PMP)	(mm)	**460**

Source: Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation, WMO-No. 1045

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Tableau 3-46 Précipitations maximales possibles pour la durée de 3 jours dans le bassin du barrage de Siliana (Zone D1)

Station: Siliana Dam Basin CA (km^2) = 1,041

No.	Year	Annual Max.n-days Rainfall (mm) Duration (hour) 72 hr (3 days)	
1	1979		71.7
2	1980		121.5
3	1981		61.2
4	1982		152.3
5	1983		114.8
6	1984		61.3
7	1985		52.2
8	1986		37.5
9	1987		51.1
10	1988		45.1
11	1989		36.0
12	1990		59.9
13	1991		64.5
14	1992		70.0
15	1993		46.1
16	1994		78.0
17	1995		78.3
18	1996		99.2
19	1997		85.0
20	1998		58.8
21	1999		58.3
22	2000		56.2
23	2001		95.8
24	2002		92.1
25	2003		168.1
26	2004		69.7
27	2005		104.2
28	2006	M	199.7
29	2007		98.8
30	2008		32.8
31	2009		102.9
32	2010		52.3
33	2011		128.1
34	2012		92.2
35	2013		60.4

			Duration (hour) 72 hr (3 days)
n	Number of Data (Length of Record)	(years)	35
m	Maximum	(mm)	199.7
X_n	Mean Annual Maximum Rainfall	(mm)	81.6
X_{n-m}	Mean (excluding maximum)	(mm)	78.1
S_n	Standard Deviation	(mm)	38.0
S_{n-m}	Standard Dev.(w/o.max)	(mm)	32.4
X_{n-m} / X_n			0.96
S_{n-m} / S_n			0.85
Adjustment of menas (X_n) for maximum observed amount and record length:			
F_{x1}	Adjustment Factor (X_n) for maximum observed amount (from **Figure 2.4.25**)	(%)	98%
F_{x2}	Adjustment Factor (X_n) for record length (from **Figure 2.4.27**)	(%)	101%
ADX_n	Adjusted X_n ($ADX_n = Xn * F_{x1} * F_{x2}$)	(mm)	**80.4**
Adjustment of standard deviation for maximum observed amount and record length:			
F_{s1}	Adjustment Factor (S_n) for maximum observed amount (from **Figure 2.4.26**)	(%)	95%
F_{s2}	Adjustment Factor (S_n) for record length (from **Figure 2.4.27**)	(%)	103%
ADS_n	Adjusted S_n ($ADS_n = Sn * F_{s1} * Fs_2$)		**36.9**
K_m	Function of rainfall duration and mean of annual series (from **Figure 2.4.24**)		16
Unadjustment point values of PMP:			
$X_{m(ua)}$	Unadjustment point values of PMP: ($X_{m(ua)} = ADX_n + K_m * ADS_n$)	(mm)	**671**
Adjustment of PMP based on hourly data to true maximum values:			
T	Number of observation unit (fixed tim interval of rainfall observation)	(hour)	3
F_o	Adjustment Factor (T) for observation unit (from **Figure 2.4.28**)	(%)	101%
$X_{m(t)}$	Adjustment of PMP based on hourly data to true maximum values: ($X_{m(t)} = X_{m(ua)} * F_o$)	(mm)	**678**
(Note: If annual series data had been compiled from fixed observational time interval instead of hourly data, the adjustment factor for all duration would have been 1.13)			
Adjustment of point PMP to study area (catchment area):			
CA_b	Covered Area of Rainfall Data (if point rainfall : 25 km^2)	(km^2)	25
CA	Study Area (Catchment Area)	(km^2)	1,041
F_{CA}	Area Reduction Factor for point rainfall to area (from Depth - Area Analysis)	(%)	**100.0%**
PMP	**PMP for study area** ($PMP = X_{m(t)} * F_{CA}$)	(mm)	**678**
	(rounded PMP)	(mm)	**680**

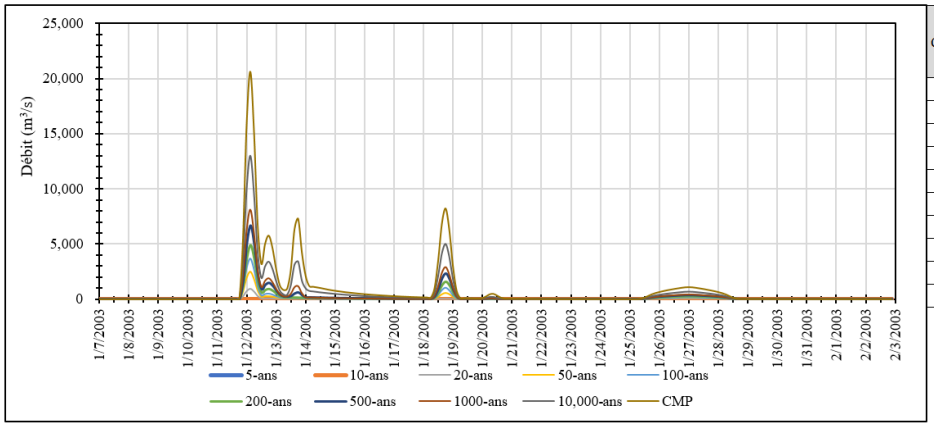
Source: Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation, WMO-No. 1045

Source: Equipe d'Etude de la JICA

(3) Débit de Crue Probable et Hydrogramme de la Crue Maximale Probable du Barrage de Mellegue

1) Barrage de Mellegue

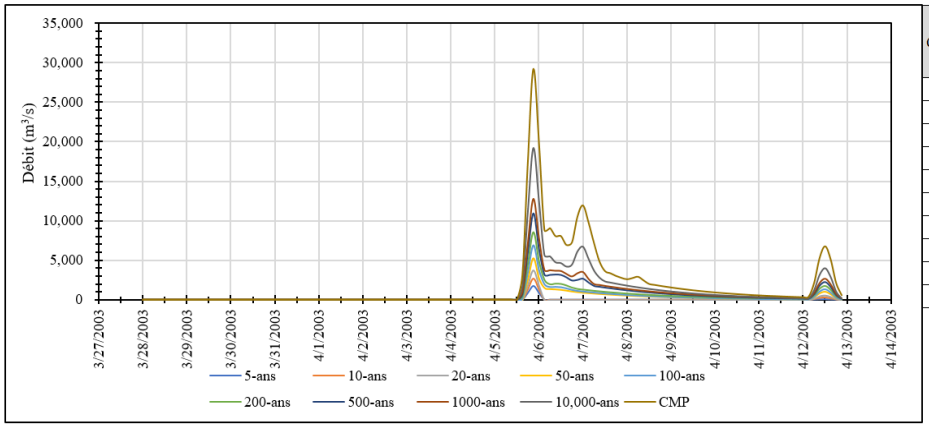
Les schémas de l'hydrogramme de la crue de janvier 2003 et de l'hydrogramme de la crue de conception (crue de mars 2003) sélectionnés à la section 3.4.9 ont été étirés en utilisant la probabilité de précipitations et les précipitations maximales probables (PMP) sur le site du barrage de Mellegue. Les hydrogrammes de crue établies et de crue maximale probable (CMP) établis par le modèle HEC-HMS sont présentés dans la figure ci-dessous.



Période de Retour (ans)	Débit de Pointe (m^3/s)
5	0.7
10	7.6
20	978
50	2,465
100	3,664
200	4,938
500	6,713
1,000	8,127
10,000	12,989
CMP	20,612

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-58 Crue probable et hydrogramme de CMP pour le modèle de la crue de janvier 2003 au niveau du barrage Mellegue



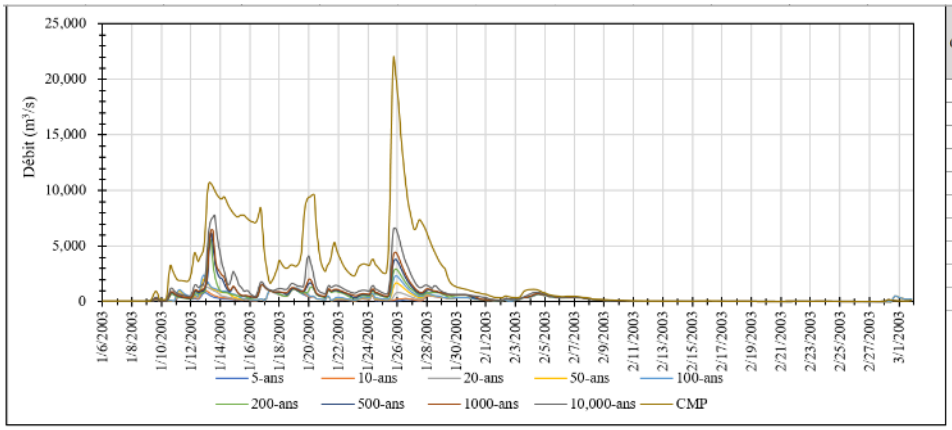
Période de Retour (ans)	Débit de Pointe (m^3/s)
5	1,777
10	2,734
20	3,727
50	5,281
100	6,920
200	8,598
500	10,936
1,000	12,798
10,000	19,202
CMP	29,242

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-59 Hydrogramme de la crue de conception et CMP par utilisation du modèle de la crue de Mars 2003 pour le barrage de Mellegue

2) Barrage de Sidi Salem

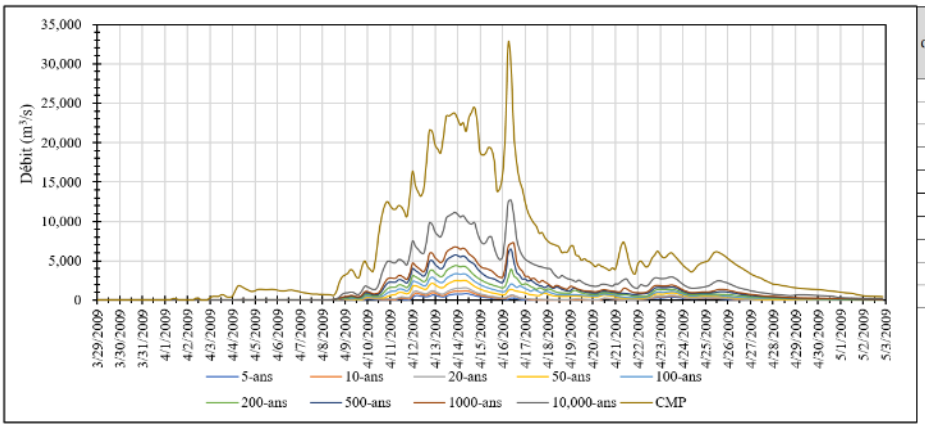
Les schémas de l'hydrogramme de la crue de janvier 2003 et de l'hydrogramme de la crue de conception (crue d'Avril 2009) sélectionnés dans la section 3.4.9 ont été étirés en utilisant la probabilité de précipitations et les précipitations maximales probables (PMP) sur le site du barrage de Sidi Salem. Les hydrogrammes de crues établies et de crue maximale probable (CMP) établis par le modèle HEC-HMS sont présentés dans la figure ci-dessous.



Période de Retour (ans)	Débit de Pointe (m^3/s)
5	1,130
10	1,131
20	1,471
50	2,023
100	2,401
200	5,817
500	6,158
1,000	6,473
10,000	7,792
CMP	21,938

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-60 Hydrogramme de crue probable et de cmp pour le modèle de la crue de janvier 2003 au barrage de Sidi Salem



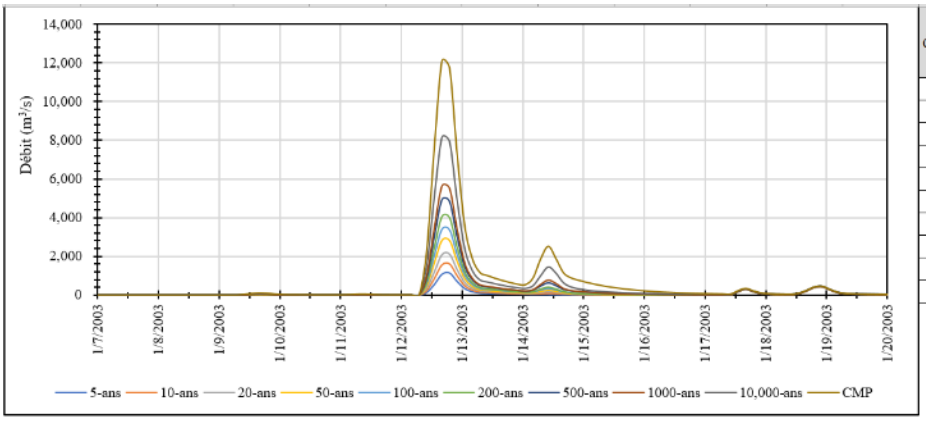
Période de Retour (ans)	Débit de Pointe (m^3/s)
5	883
10	1,185
20	1,600
50	2,517
100	3,402
200	4,367
500	6,478
1,000	7,291
10,000	12,677
CMP	32,575

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-61 Hydrogramme de la crue de conception et CMP par utilisation du modèle de la crue d'avril 2009 pour le barrage de Sidi Salem

3) Barrage de Siliana

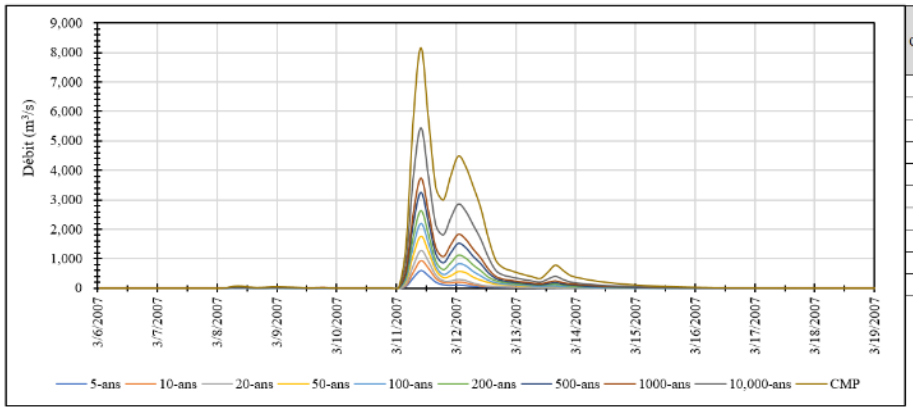
Les schémas de l'hydrogramme de la crue de janvier 2003 et de l'hydrogramme de la crue de conception (crue de Mars 2003) sélectionnés dans la section 3.4.9 ont été étirés en utilisant la probabilité de précipitations et les précipitations maximales probables (PMP) sur le site du barrage de Siliana. Les hydrogrammes de crues établies et de crue maximale probable (CMP) établis par le modèle HEC-HMS sont présentés dans la figure ci-dessous.



Période de Retour (ans)	Débit de Pointe (m^3/s)
5	1,153
10	1,622
20	2,111
50	2,815
100	3,413
200	4,048
500	4,943
1,000	5,657
10,000	8,157
CMP	12,111

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-62 Hydrogramme de crue probable et de CMP (modèle de la crue de janvier 2003) au barrage de Siliana



Période de Retour (ans)	Débit de Pointe (m^3/s)
5	587
10	929
20	1,282
50	1,783
100	2,193
200	2,629
500	3,244
1,000	3,735
10,000	5,453
CMP	8,171

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-63 Hydrogramme de la crue de conception et CMP (modèle de la crue de mars 2007) pour le barrage de Siliana

3.6.6 Simulation d'Exploitation de la Retenue et Etude des Mesures de Sécurité de Barrage

D'abord, en considérant le fonctionnement optimal des 3 barrages existants (barrage de Mellegue, barrage de Sidi Salem et barrage de Siliana), la sécurité de ces barrages a été confirmée pour les apports de la crue de conception, et si nécessaire, des mesures ont été envisagées. Par la suite, les règles d'exploitation optimales des barrages existants ont été examinées.

(1) Barrage de Mellegue

1) Résultats des Calculs à la Base des Règles d'Exploitation Existantes de Réservoir et des Caractéristiques du Barrage

Sur les figures et les tableaux suivants sont présentés les résultats de la simulation d'exploitation de la Retenue de l'hydrogramme de crue de conception selon les règles d'exploitation de la Retenue existantes et les caractéristiques actuelles du barrage. Jusqu'à la probabilité de 1/200 ans, la hauteur de la crête du barrage n'est pas dépassée, cependant, un dépassement de cette dernière sera entrainé pour les probabilités de plus de 1/500 ans. Le barrage de Mellegue est un barrage à voûtes multiples en béton, et bien que certains dépassements soient considérés comme acceptables, le CMP devrait avoir une hauteur de franchissement de près de 10 m, ce qui est dangereux. Par conséquent, certaines mesures sont jugées nécessaires. Il est difficile de modifier la structure du déversoir et il n'est pas réaliste d'élever la hauteur du barrage au-dessus de 10 m. Étant donné que la hauteur de franchissement dans une année de probabilité 1/10 000 est estimée à 4,75 m, si la hauteur du barrage peut être élevée à environ 5 m, il peut être considère que la sécurité du barrage est assurée.

Par ailleurs, un nouveau barrage (dit barrage de Mellegue-2) est en cours de construction en amont du barrage de Mellegue. Dans le rapport de F/S de ce barrage, le débit de pointe de crue de conception avec la probabilité de 1/10 000 ans est pris égal à 30 000 m^3/s. Ainsi, il est considéré que le contrôle des crues sera assuré au niveau du barrage de Mellegue 2 en amont du barrage de Mellegue, et si possible, il est souhaitable de surélever la hauteur d'environ 1,5 m comme mesure contre le débit de pointe de la crue de conception avec une probabilité de 1/1 000 ans.

Il est à noter qu'en cas d'inondation au-dessus du barrage, une extrapolation de la courbe de capacité de la Retenue a été effectuée, la crue se produirait ainsi sur toute la largeur de la crête du barrage. De plus, il a été supposé que le barrage ne subit pas de rupture.

Tableau 3-47 Résultats des simulations d'exploitation de la retenue pour les crues pour le barrage de Mellegue (règles actuelles/ caractéristiques actuelles, crue de conception)

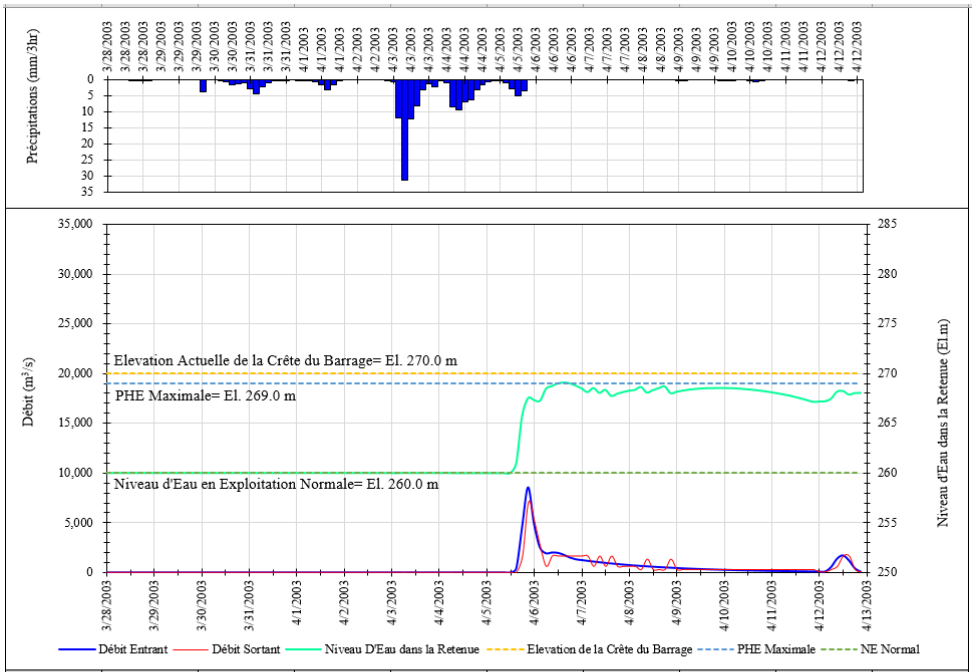
Année Probable	Débit Entrant de Pointe (m^3/s)	Débit Sortant de Pointe (m^3/s)	Débit Sortant pour le Débit de Pointe Entrant (m^3/s)	Niveau d'Eau Maximum (El.m)	(Elevation de la Crête du Barrage) - (NE Maximum) (m)	Débit Régulé (m^3/s)	Volume de Contrôle de Crue (A) (million m^3)	N.E de Début de Contrôle de Crue (El.m)	Volume pour le Contrôle de Crue (B) (million m^3)	Taux du Volume de Crue pour le Contrôle de Crue A/B (%)	Note
5-ans	1,777	594	0	263.59	-6.41	1,777	25.42	260.00	72.7	35%	-
10-ans	2,734	1,134	0	265.49	-4.51	2,734	40.28	260.00	72.7	55%	-
20-ans	3,727	1,634	0	267.23	-2.77	3,727	56.34	260.00	72.7	78%	-
50-ans	5,281	2,894	0	268.80	-1.20	5,281	85.00	260.00	72.7	117%	-
100-ans	6,920	3,750	2,116	268.76	-1.24	4,804	97.68	260.00	72.7	134%	-
200-ans	8,598	7,034	5,400	269.07	-0.93	3,198	128.81	260.00	72.7	177%	-
500-ans	10,936	7,280	5,400	271.01	1.01	5,536	173.60	260.00	72.7	239%	Débordement
1,000-ans	12,798	8,156	5,400	271.43	1.43	7,398	190.50	260.00	72.7	262%	Débordement
10,000-ans	19,202	13,829	5,400	274.75	4.75	13,802	266.77	260.00	72.7	367%	Débordement
CMP	29,242	27,048	5,400	279.76	9.76	23,842	423.41	260.00	72.7	583%	Débordement

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Tableau 3-48 Résultats des simulations d'exploitation de la retenue pour les crues pour le barrage de Mellegue (règles actuelles/ caractéristiques actuelles, modèle de la crue de janvier 2003)

Année Probable	Débit Entrant de Pointe (m^3/s)	Débit Sortant de Pointe (m^3/s)	Débit Sortant pour le Débit de Pointe Entrant (m^3/s)	Niveau d'Eau Maximum (El.m)	(Elevation de la Crête du Barrage) - (NE Maximum) (m)	Débit Régulé (m^3/s)	Volume de Contrôle de Crue (A) (million m^3)	N.E de Début de Contrôle de Crue (El.m)	Volume pour le Contrôle de Crue (B) (million m^3)	Taux du Volume de Crue pour le Contrôle de Crue A/B (%)	Note (%)
2003	1,219	594	0	267.61	-2.39	1,219	60.54	260.00	72.7	83%	-
5-ans	1	10	0	260.00	-10.00	1	0.04	260.00	72.7	0%	-
10-ans	4	10	0	260.00	-10.00	4	0.04	260.00	72.7	0%	-
20-ans	978	594	0	262.67	-7.33	978	16.12	260.00	72.7	22%	-
50-ans	2,465	1,134	0	267.24	-2.76	2,465	56.45	260.00	72.7	78%	-
100-ans	3,664	1,634	0	268.76	-1.24	3,664	72.21	260.00	72.7	99%	-
200-ans	4,938	3,750	1,210	268.54	-1.46	3,728	92.44	260.00	72.7	127%	-
500-ans	6,713	5,400	3,766	268.43	-1.57	2,947	122.53	260.00	72.7	169%	-
1,000-ans	8,127	7,034	5,400	268.88	-1.12	2,727	140.50	260.00	72.7	193%	-
10,000-ans	12,989	9,147	5,400	272.18	2.18	7,589	205.85	260.00	72.7	283%	Débordement
CMP	20,612	19,164	5,400	276.99	6.99	15,212	330.57	260.00	72.7	455%	Débordement

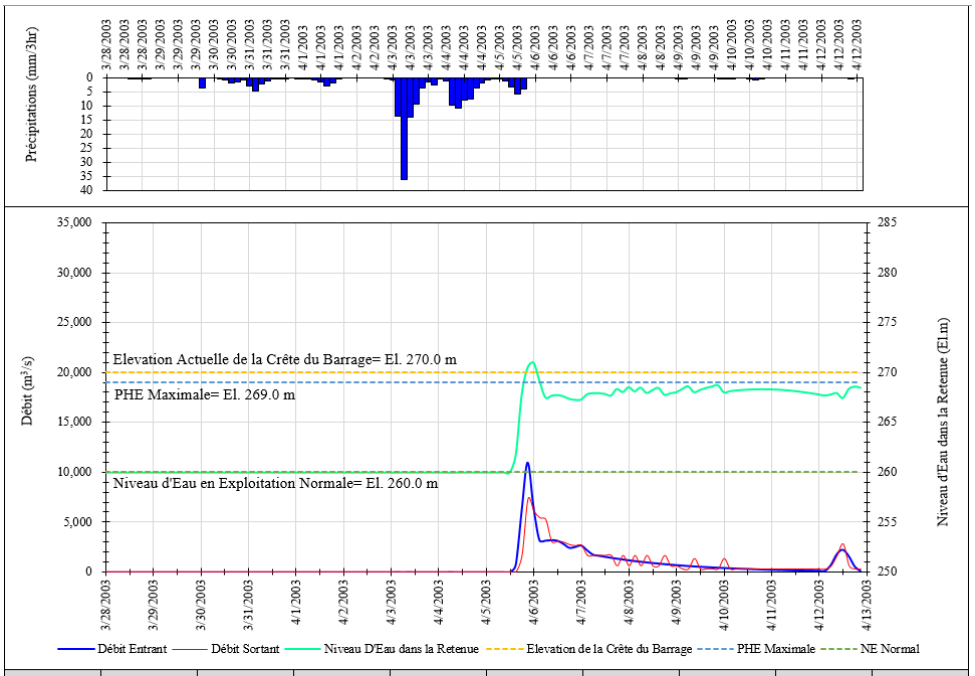
Source: Equipe d'Etude de la JICA



Débit Entrant de Pointe (m^3/s)	Débit Sortant de Pointe (m^3/s)	Débit Sortant pour le Débit de Pointe Entrant (m^3/s)	PHE Maximale (El.m)	(Elevation de la Crête du Barrage) - (PHE Maximale) (m)	Débit Régulé (m^3/s)	Volume de Contrôle de Crue (A) (million m^3)	NE de Débit de Contrôle de Crue (El.m)	Volume pour le Contrôle de Crue (B) (million m^3)	Taux du Volume de Crue pour le Contrôle de Crue A/B (%)
8,598	7,034	5,400	269.07	-0.93	3,198	128.81	260.00	72.7	177%

Source: Equipe d'Etude de la JICA

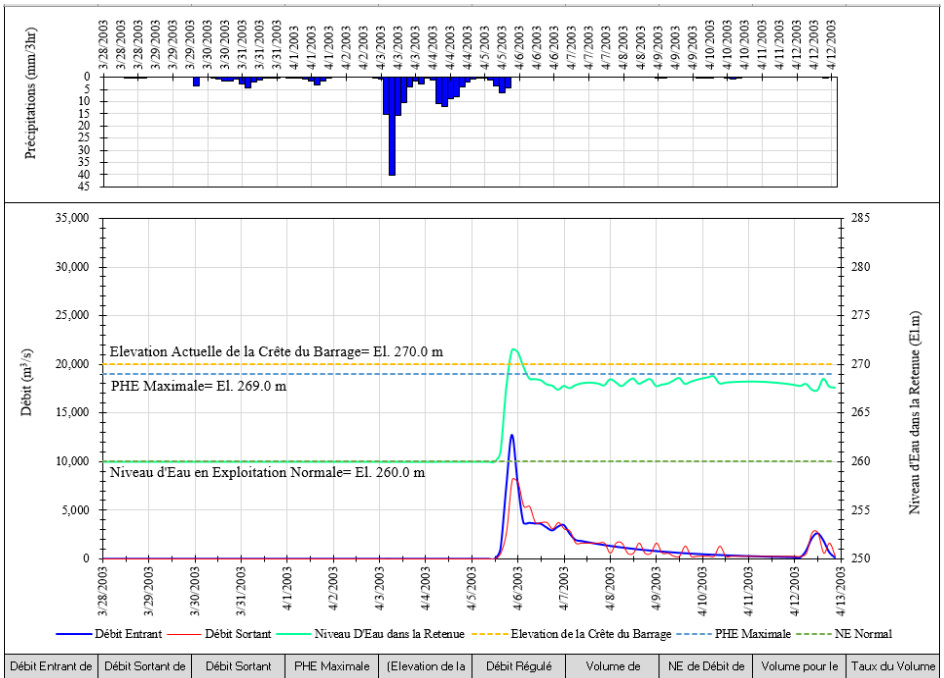
Figure 3-64 Résultats des calculs d'exploitation de la retenue du barrage de Mellegue (règles actuelles/ caractéristiques actuelles, crue de conception probable de 1/200)



Débit Entrant de Pointe	Débit Sortant de Pointe	Débit Sortant pour le Débit de Pointe Entrant	PHE Maximale	(Elevation de la Crête du Barrage) - (PHE Maximale)	Débit Régulé	Volume de Contrôle de Crue (A)	NE de Débit de Contrôle de Crue	Volume pour le Contrôle de Crue (B)	Taux du Volume de Crue pour le Contrôle de Crue A/B
(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	(El.m)	(m)	(m³/s)	(million m³)	(El.m)	(million m³)	(%)
10,936	7,280	5,400	271.01	1.01	5,536	173.60	260.00	72.7	239%

Source: Equipe d'Etude de la JICA

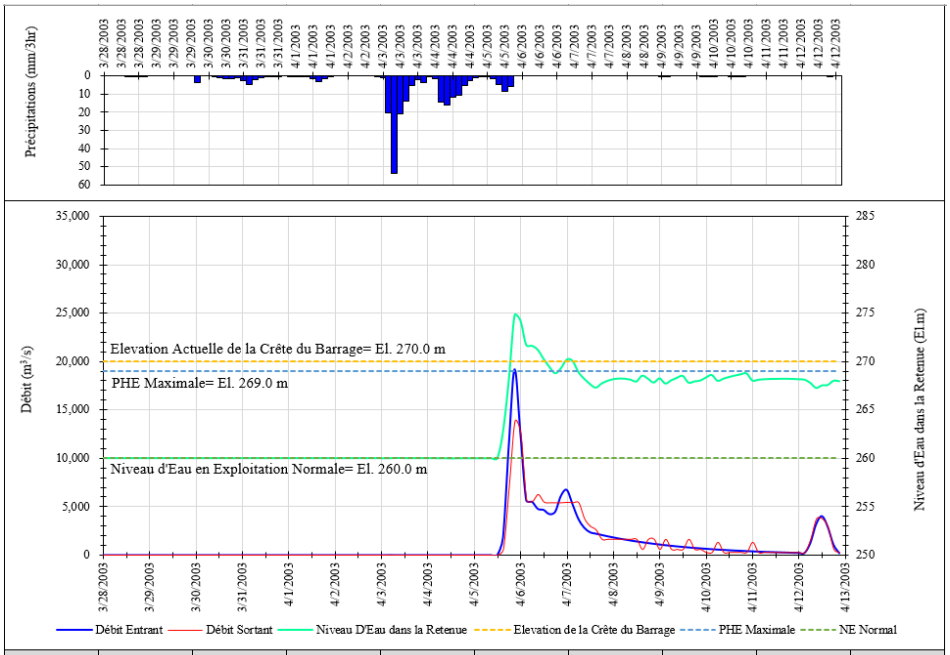
Figure 3-65 Résultats des calculs d'exploitation de la retenue du barrage de Mellegue (règles actuelles/ caractéristiques actuelles, crue de conception probable de 1/500)



Débit Entrant de Pointe	Débit Sortant de Pointe	Débit Sortant pour le Débit de Pointe Entrant	PHE Maximale	(Elevation de la Crête du Barrage) - (PHE Maximale)	Débit Régulé	Volume de Contrôle de Crue (A)	NE de Débit de Contrôle de Crue	Volume pour le Contrôle de Crue (B)	Taux du Volume de Crue pour le Contrôle de Crue A/B
(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	(El.m)	(m)	(m³/s)	(million m³)	(El.m)	(million m³)	(%)
12,798	8,156	5,400	271.43	1.43	7,398	190.50	260.00	72.7	262%

Source: Equipe d'Etude de la JICA

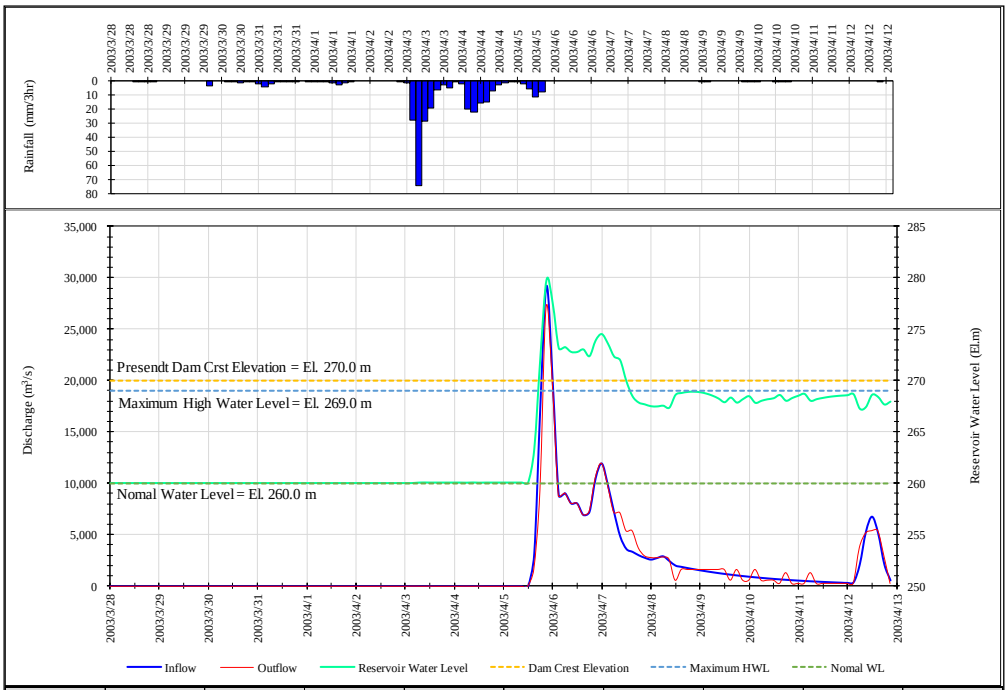
Figure 3-66 résultats des calculs d'exploitation de la retenue du barrage de Mellegue (règles actuelles/ caractéristiques actuelles, crue de conception probable de 1/1,000)



Débit Entrant de Pointe (m³/s)	Débit Sortant de Pointe (m³/s)	Débit Sortant pour le Débit de Pointe Entrant (m³/s)	PHE Maximale (El.m)	(Elevation de la Crête du Barrage) - (PHE Maximale) (m)	Débit Régulé (m³/s)	Volume de Contrôle de Crue (A) (million m³)	NE de Débit de Contrôle de Crue (El.m)	Volume pour le Contrôle de Crue (B) (million m³)	Taux du Volume de Crue pour le Contrôle de Crue A/B (%)
19,202	13,829	5,400	274.75	4.75	13,802	266.77	260.00	72.7	367%

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-67 Résultats des calculs d'exploitation de la retenue du barrage de Mellegue (règles actuelles/ caractéristiques actuelles, crue de conception probable de 1/10,000)



Peak Inflow (m³/s)	Peak Outflow (m³/s)	Outflow at Peak Inflow (m³/s)	Highest Water Level (El.m)	(Dam Crest Elevation) - (Highest WL) (m)	Regulated Flow (m³/s)	Flood Control Volume (A) (million m³)	Flood Control Starting W.L (El.m)	Volume for Flood Control (B) (million m³)	Rate of Flood Volume for Flood Control A/B (%)
29,242	27,048	5,400	279.76	9.76	23,842	423.41	260.00	72.7	583%

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-68 Résultats des calculs d'exploitation de la retenue du barrage de Mellegue (règles actuelles/ caractéristiques actuelles, crue de conception de CMP)

2) Règles Optimales d'Exploitation de la Retenue Proposées pour les Périodes de Crue et Plan de Remise en Etat du Barrage

Le niveau d'eau actuel du barrage de Mellegue est supposé commencer à l'élévation 268,0 m. Il est proposé d'abaisser ce niveau de début de contrôle des crues de -8,0 m et de commencer à une élévation de 260,0 m. En outre, il est recommandé que le niveau d'eau limite pendant la période des crues soit abaissé de -7,0 m à El. 253,0 m au-dessus du niveau d'eau normal actuel (NWL) à l'El. 260,0 m. De plus, le niveau supérieur de la crête du barrage sera relevé de +1,0 m. Grâce à ces mesures, il est possible de faire face à des crues de conception jusqu'à une probabilité de 1/1000 ans, et la crête du barrage ne sera pas dépassée. Les règles actuelles d'exploitation des réservoirs ne seront pas modifiées.

Il est possible de faire face à une crue probable de 1/1000 par augmentation de la hauteur de crête du barrage de +1,0 m, si possible du point de vue structurel, comme indiqué dans le tableau ci-dessous. En outre, il est clair que la crue probable de 1/10 000 et la CMP ne peuvent être supportées même si ces mesures sont prises. Les mesures ci-dessus sont résumées comme suit.

- Les règles d'exploitation existantes de la Retenue ne sont pas modifiées.
- Cependant, Il est proposé d'abaisser ce niveau de début de contrôle des crues de -8,0 m et de commencer à une élévation de 260,0 m.
- Il est recommandé que le niveau d'eau limite pendant la période des crues soit abaissé de -7,0 m à El. 253,0 m au-dessus du niveau d'eau normal actuel (NWL) à l'El. 260,0 m.
- Il est suggéré de surélever le niveau de la crête du barrage de +1.0m si la surélévation est possible de point de vue structurel.

Tableau 3-49 Résultats de simulation d'exploitation de la retenue en période de crue pour le barrage de Mellegue (règles proposées/ élévation de la hauteur du barrage de +1.0m, crue de conception)

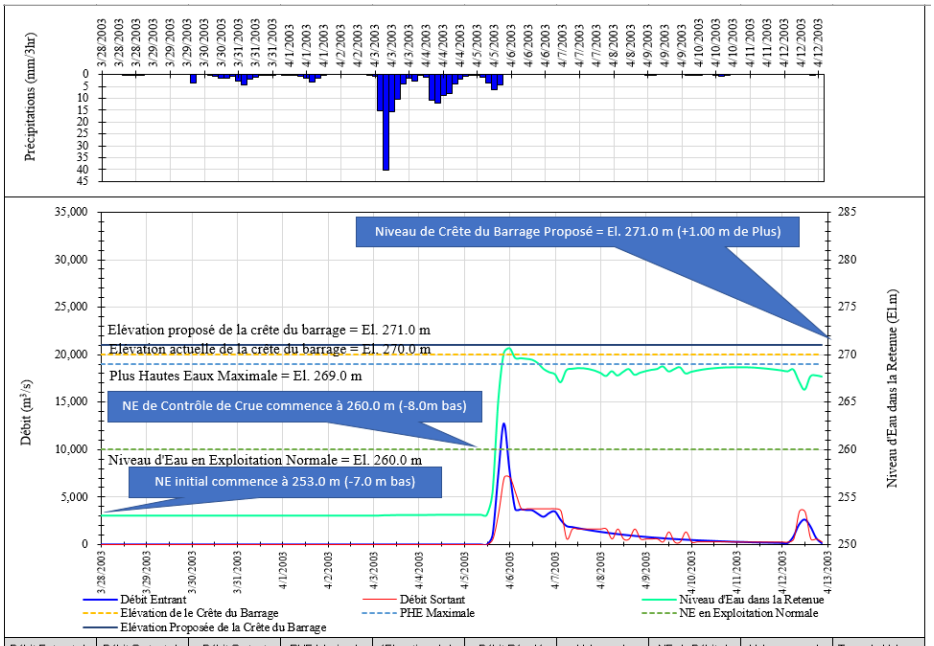
Année Probable	Débit Entrant de Pointe (m^3/s)	Débit Sortant de Pointe (m^3/s)	Débit Sortant pour le Débit de Pointe Entrant (m^3/s)	Niveau d'Eau Maximum (El.m)	(Elevation de la Crête du Barrage) - (NE Maximum) (m)	Débit Régulé (m^3/s)	Volume de Contrôle de Crue (A) (million m^3)	N.E de Début de Contrôle de Crue (El.m)	Volume pour le Contrôle de Crue (B) (million m^3)	Taux du Volume de Crue pour le Contrôle de Crue A/B (%)	Note
5-ans	1,777	594	0	260.78	-10.22	1,777	8.61	253.00	72.7	12%	-
10-ans	2,734	2,720	1,586	261.98	-9.02	1,148	20.94	253.00	72.7	29%	-
20-ans	3,727	2,914	1,280	264.45	-6.55	2,448	37.01	253.00	72.7	51%	-
50-ans	5,281	3,193	1,548	268.79	-2.21	3,733	76.07	253.00	72.7	105%	-
100-ans	6,920	3,391	1,704	268.77	-2.23	5,217	82.63	253.00	72.7	114%	-
200-ans	8,598	3,750	2,116	268.84	-2.16	6,482	110.90	253.00	72.7	153%	-
500-ans	10,936	7,034	5,400	269.19	-1.81	5,536	140.06	253.00	72.7	193%	-
1,000-ans	12,798	7,034	5,400	270.70	-0.30	7,398	176.71	253.00	72.7	243%	-
10,000-ans	19,202	13,175	5,400	275.44	4.44	13,802	285.52	253.00	72.7	393%	Débordement
CMP	29,242	23,878	5,400	279.70	8.70	23,842	421.34	253.00	72.7	580%	Débordement

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Tableau 3-50 résultats de simulation d'exploitation de la retenue en période de crue pour le barrage de Mellegue (règles proposées/ élévation de la hauteur du barrage de +1.0m, modèle de la crue de janvier 2003)

Année Probable	Débit Entrant de Pointe (m^3/s)	Débit Sortant de Pointe (m^3/s)	Débit Sortant pour le Débit de Pointe Entrant (m^3/s)	Niveau d'Eau Maximum (El.m)	(Elevation de la Crête du Barrage) - (NE Maximum) (m)	Débit Régulé (m^3/s)	Volume de Contrôle de Crue (A) (million m^3)	N.E de Début de Contrôle de Crue (El.m)	Volume pour le Contrôle de Crue (B) (million m^3)	Taux du Volume de Crue pour le Contrôle de Crue A/B (%)	Note (%)
2003	1,219	594	0	265.95	-5.05	1,219	44.21	253.00	72.7	61%	-
5-ans	1	0	0	253.05	-17.95	1	-16.89	253.00	72.7	-23%	-
10-ans	4	0	0	254.49	-16.51	4	-16.80	253.00	72.7	-23%	-
20-ans	978	594	0	261.98	-9.02	978	2.42	253.00	72.7	3%	-
50-ans	2,465	2,895	1,761	264.29	-6.71	703	30.51	253.00	72.7	42%	-
100-ans	3,664	2,988	1,311	265.40	-5.60	2,353	39.07	253.00	72.7	54%	-
200-ans	4,938	3,225	1,525	267.11	-3.89	3,413	59.36	253.00	72.7	82%	-
500-ans	6,713	3,750	1,883	268.50	-2.50	4,830	105.18	253.00	72.7	145%	-
1,000-ans	8,127	5,400	2,116	269.76	-1.24	6,011	142.81	253.00	72.7	197%	-
10,000-ans	12,989	8,713	5,400	272.87	1.87	7,589	220.95	253.00	72.7	304%	Débordement
CMP	20,612	16,226	5,400	276.81	5.81	15,212	325.35	253.00	72.7	448%	Débordement

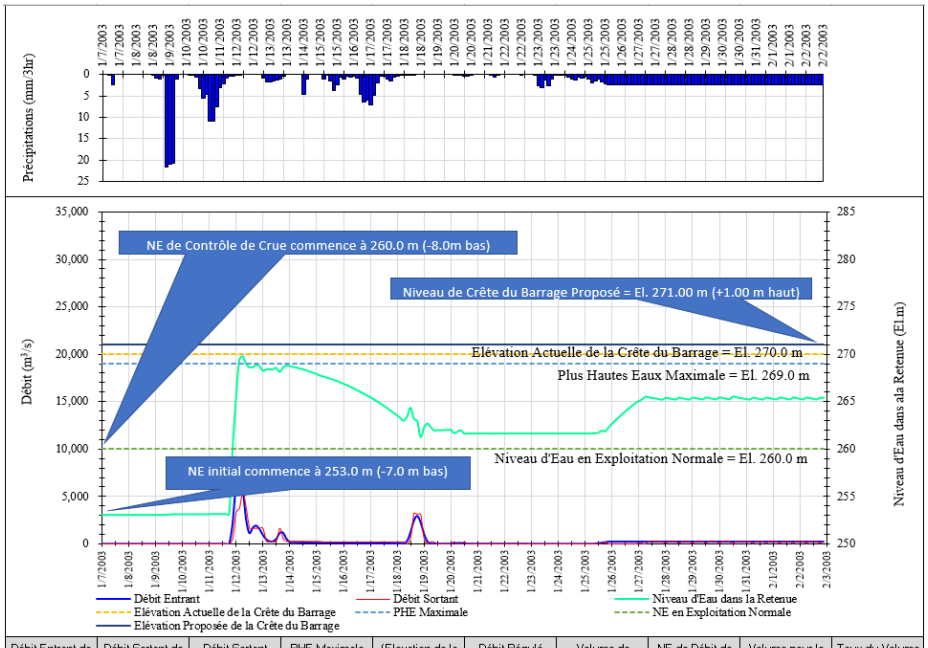
Source: Equipe d'Etude de la JICA



Débit Entrant de Pointe	Débit Sortant de Pointe	Débit Sortant pour le Débit de Pointe Entrant	PHE Maximale	(Elevation de la Crête du Barrage) - (PHE Maximale)	Débit Régulé	Volume de Contrôle de Crue (A)	NE de Débit de Contrôle de Crue	Volume pour le Contrôle de Crue (B)	Taux du Volume de Crue pour le Contrôle de Crue A/B
(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	(El.m)	(m)	(m³/s)	(million m³)	(El.m)	(million m³)	(%)
12,798	7,034	5,400	270.70	-0.30	7,398	176.71	253.00	72.7	243%

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-69 résultats de calcul d'exploitation de la retenue du barrage de Mellegue (règles proposées/ elévation de la crête du barrage de +1.0m, crue probable de 1/1000 ; modèle de crue de conception)



Débit Entrant de Pointe	Débit Sortant de Pointe	Débit Sortant pour le Débit de Pointe Entrant	PHE Maximale	(Elevation de la Crête du Barrage) - (PHE Maximale)	Débit Régulé	Volume de Contrôle de Crue (A)	NE de Débit de Contrôle de Crue	Volume pour le Contrôle de Crue (B)	Taux du Volume de Crue pour le Contrôle de Crue A/B
(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	(El.m)	(m)	(m³/s)	(million m³)	(El.m)	(million m³)	(%)
8,127	5,400	2,116	269.76	-1.24	6,011	142.81	253.00	72.7	197%

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-70 Résultats de calcul d'exploitation de la retenue en période de crue pour le barrage de Mellegue (règles proposées/ elévation de la crête du barrage de +1.0mcrue probable de 1/1000 ; modèle de la crue de janvier 2003)

La règle d'exploitation du Barrage de Mellegue en cas de prise des mesures susmentionnées est comme suit :

Tableau 3-51 Règles d'exploitation du barrage de Mellegue (Crue)

Débits entrant dans la retenue (m^3/s)	Fonctionnement des Vannes du Barrage	
Entre 700 et 2300	Ouverture des 2 vidanges à 1/1 : 287 m^3/s x 2 : Turbine à 20 m^3/s: Débit:	574 m^3/s 20m^3/s 594 m^3/s
Entre 2300 et 2800	Maintenir ce qui précède. Ouverture des 2 vannes principales à 2 m: 270 m^3/s x 2: Débit:	594 m^3/s 540 m^3/s 1134 m^3/s
Entre 2800 et 3350	Ouverture des 2 vidanges à 1/1 : 287 m^3/s x 2 : Turbine à 20 m^3/s: Ouverture des 2 vannes principales à 4 m: 520 m^3/s x 2 Débit d'écoulement:	574 m^3/s 20 m^3/s 1040 m^3/s 1634 m^3/s
Au-delà de 3350	Toutes les vannes en pleine ouverture: Le débit d'écoulement augmente de 2,500 à 3,750 m^3/s à la côte 268.	

Source: Ministère d'Agriculture

Tableau 3-52 Règles d'exploitation du barrage de Mellegue (Diminution)

Niveau d'Eau dans le Barrage	Ecoulement à K13	Retour d'Ecoulement
Au-dessus de 265,5	Entre 300 et 2100 m^3/s Moins de 300 m^3/s	294 m^3/s (Ouverture des 2 vidanges à 1/1 et de la Turbine à 20 m^3/s) 287 m^3/s (1/1 Ouverture de la vidange)
Entre 265,5 et 265,0	Entre 1000 et 2300 m^3/s Entre 100 et 1000 m^3/s Moins de 100 m^3/s	287 m^3/s (1/1 Ouverture de la vidange) 74 m^3/s (Ouverture d'une vidange à ¼ et de la Turbine à 20 m^3/s) 20 m^3/s (Turbine à 20 m^3/s)

Source: Ministère d'Agriculture

(2) Barrage de Sidi Salem

1) Résultats des Calculs à la Base des Règles d'Exploitation Existantes de la Retenue et des Caractéristiques du Barrage

Les résultats du calcul d'exploitation de la Retenue par usage d'hydrogrammes des règles d'exploitation de la Retenue existantes et des crues de conception des caractéristiques actuelles du barrage et de la crue de Janvier 2003 sont présentés sur les figures et tableaux suivants. Dans le cas d'une crue de conception utilisant les modèles hydrographiques de la crue d'Avril 2009, jusqu'à la crue de probable de 1/1000 ans, l'élévation de la crête du barrage ne sera pas dépassée, mais la crue probable de 1/10,000 ans et la CMP entraîneront un dépassement du niveau supérieur de la crête du barrage. Le barrage de Sidi Salem est un barrage en enrochement à noyau central, et un certain dépassement est acceptable. Cependant, la CMP devrait augmenter la hauteur de franchissement à plus de 10 m, ce qui est dangereux. Certaines mesures peuvent s'avérer nécessaires pour assurer la CMP. Il est jugé nécessaire de modifier (ajouter) le déversoir d'urgence et d'augmenter la hauteur de la crête du barrage. Il est également nécessaire de surélever le noyau central du barrage au cas où la hauteur de la crête du barrage est élevée et si la surélévation est possible de point de vue technique.

Il est à noter que, le calcul pour la crue de dépassement du sommet du barrage, une extrapolation de la courbe de capacité de la Retenue a été effectuée, et la crue est calculée se produisant sur toute la largeur de la crête du barrage. De plus, il a été supposé que le barrage ne subit pas de rupture.

Tableau 3-53 Résultats des simulations d'exploitation de la retenue pour les crues pour le barrage de Sidi Salem (règles actuelles/ caractéristiques actuelles, crue de conception)

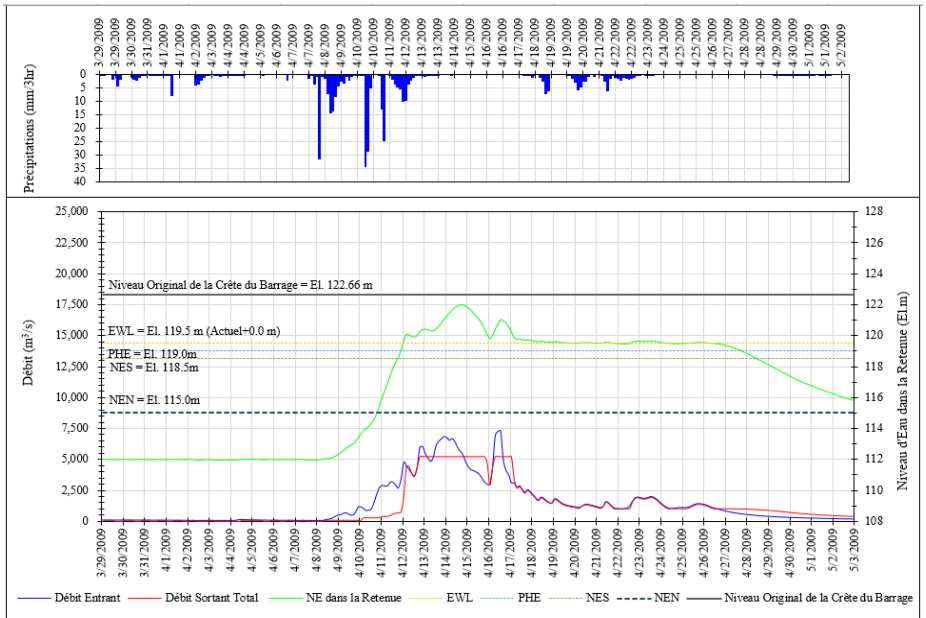
Année Probable	Débit Entrant de Pointe (m^3/s)	Débit Sortant de Pointe (m^3/s)	Débit Sortant pour le Débit de Pointe Entrant (m^3/s)	Niveau d'Eau Maximum (El.m)	(Elevation de la Crête du Barrage) - (NE Maximum) (m)	Débit Régulé (m^3/s)	Volume de Contrôle de Crue (A) (million m^3)	N.E de Début de Contrôle de Crue (El.m)	Volume pour le Contrôle de Crue (B) (million m^3)	Taux du Volume de Crue pour le Contrôle de Crue A/B (%)	Note
5-ans	883	280	280	114.86	-7.80	603	-6.77	112.00	269.0	-3%	-
10-ans	1,185	375	308	116.00	-6.66	877	53.63	112.00	269.0	20%	-
20-ans	1,600	743	400	117.45	-5.21	1,200	138.55	112.00	269.0	51%	-
50-ans	2,517	2,258	772	119.72	-2.94	1,745	285.03	112.00	269.0	106%	-
100-ans	3,402	3,519	3,372	119.90	-2.76	31	297.04	112.00	269.0	110%	-
200-ans	4,367	4,340	4,340	120.01	-2.65	27	304.78	112.00	269.0	113%	-
500-ans	6,478	5,230	5,230	120.48	-2.18	1,248	337.77	112.00	269.0	126%	-
1,000-ans	7,291	5,230	5,230	121.97	-0.69	2,061	446.99	112.00	269.0	166%	-
10,000-ans	12,677	9,714	8,853	126.81	4.15	3,824	851.65	112.00	269.0	317%	Débordement
CMP	32,575	23,457	21,477	133.23	10.57	11,098	1,508.32	112.00	269.0	561%	Débordement

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Tableau 3-54 Résultats des simulations d'exploitation de la retenue pour les crues pour le barrage de Sidi Salem (règles actuelles/ caractéristiques actuelles, modèle de la crue de janvier 2003)

Année Probable	Débit Entrant de Pointe (m^3/s)	Débit Sortant de Pointe (m^3/s)	Débit Sortant pour le Débit de Pointe Entrant (m^3/s)	Niveau d'Eau Maximum (El.m)	(Elevation de la Crête du Barrage) - (NE Maximum) (m)	Débit Régulé (m^3/s)	Volume de Contrôle de Crue (A) (million m^3)	N.E de Début de Contrôle de Crue (El.m)	Volume pour le Contrôle de Crue (B) (million m^3)	Taux du Volume de Crue pour le Contrôle de Crue A/B (%)	Note (%)
2003	2,448	740	0	117.73	-4.93	2,448	155.97	112.00	269.0	58%	-
5-ans	1,130	358	286	115.88	-6.78	843	47.22	112.00	269.0	18%	-
10-ans	1,131	400	349	116.51	-6.15	782	82.50	112.00	269.0	31%	-
20-ans	1,471	670	280	117.16	-5.50	1,191	121.19	112.00	269.0	45%	-
50-ans	2,023	850	280	117.92	-4.74	1,743	167.74	112.00	269.0	62%	-
100-ans	2,401	846	281	117.90	-4.76	2,120	166.36	112.00	269.0	62%	-
200-ans	5,817	1,016	400	119.26	-3.40	5,417	253.63	112.00	269.0	94%	-
500-ans	6,158	2,979	400	119.80	-2.86	5,758	290.11	112.00	269.0	108%	-
1,000-ans	6,473	3,907	496	119.94	-2.72	5,977	300.12	112.00	269.0	112%	-
10,000-ans	7,792	5,230	4,980	120.91	-1.75	2,812	368.76	112.00	269.0	137%	-
CMP	21,938	9,268	6,753	126.53	3.87	15,185	1,009.36	112.00	269.0	375%	Débordement

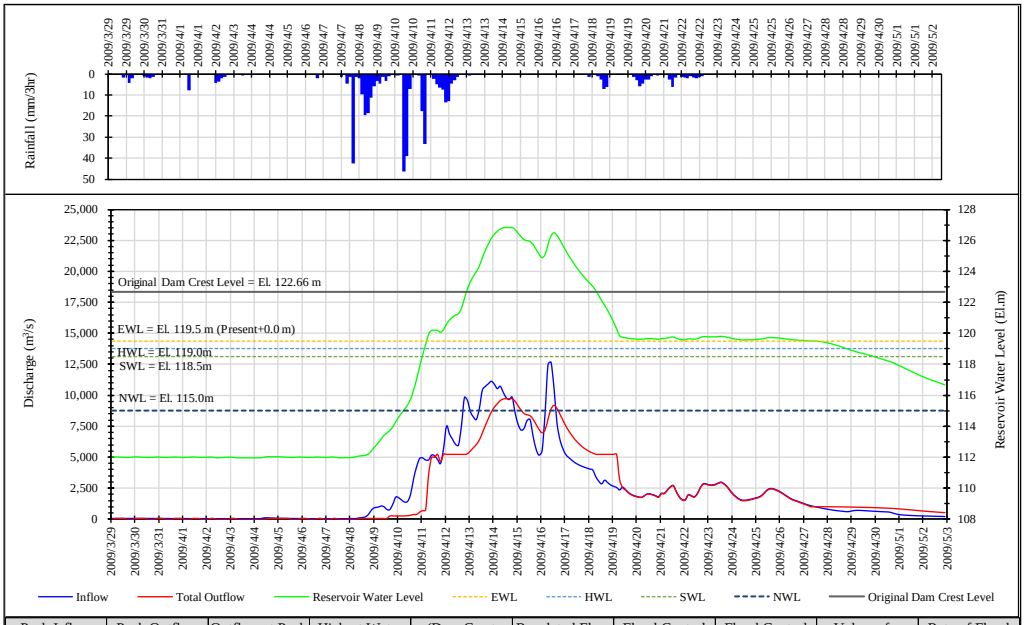
Source: Equipe d'Etude de la JICA



Débit Entrant de Pointe (m^3/s)	Débit Sortant de Pointe (m^3/s)	Débit Sortant pour le Débit de Pointe Entrant (m^3/s)	PHE Maximale (El.m)	(Elevation de la Crête du Barrage) - (PHE Maximale) (m)	Débit Régulé (m^3/s)	Volume de Contrôle de Crue (A) (million m^3)	NE de Débit de Contrôle de Crue (El.m)	Volume pour le Contrôle de Crue (B) (million m^3)	Taux du Volume de Crue pour le Contrôle de Crue A/B (%)
7,291	5,230	5,230	121.97	-0.69	2,061	446.99	112.00	269.0	166%

Source: Equipe d'Etude de la JICA

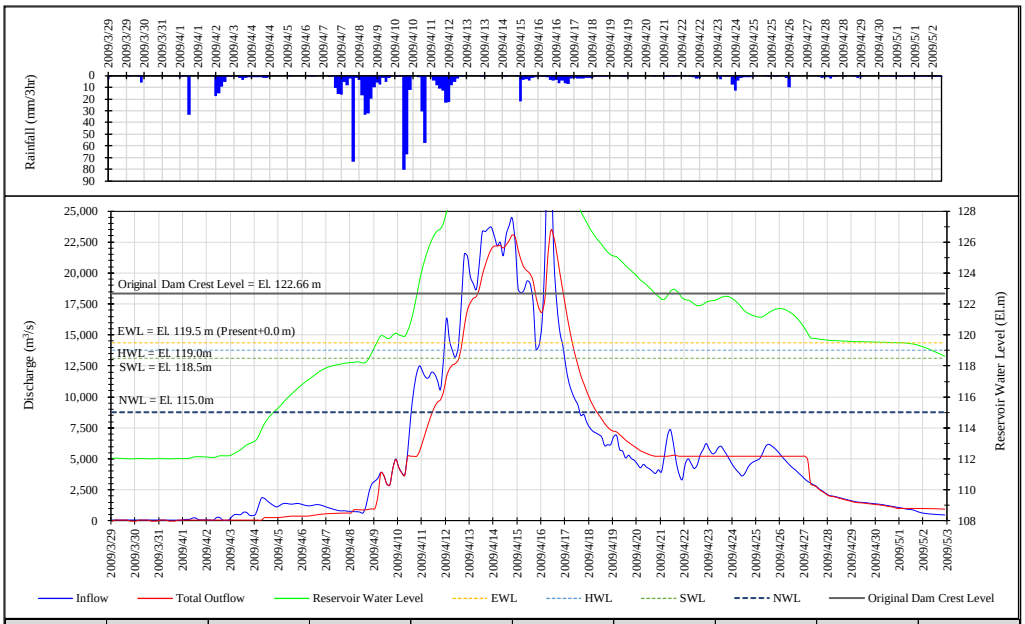
Figure 3-71 Résultats des calculs d'exploitation de la retenue pour les crues pour le barrage de Sidi Salem (règles actuelles/ caractéristiques actuelles, crue probable de conception de 1/1,000)



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 (%)
12,677	9,714	8,853	126.81	4.15	3,824	851.65	112.00	269.0	317%

Source: Equipe d'Etude de la JICA

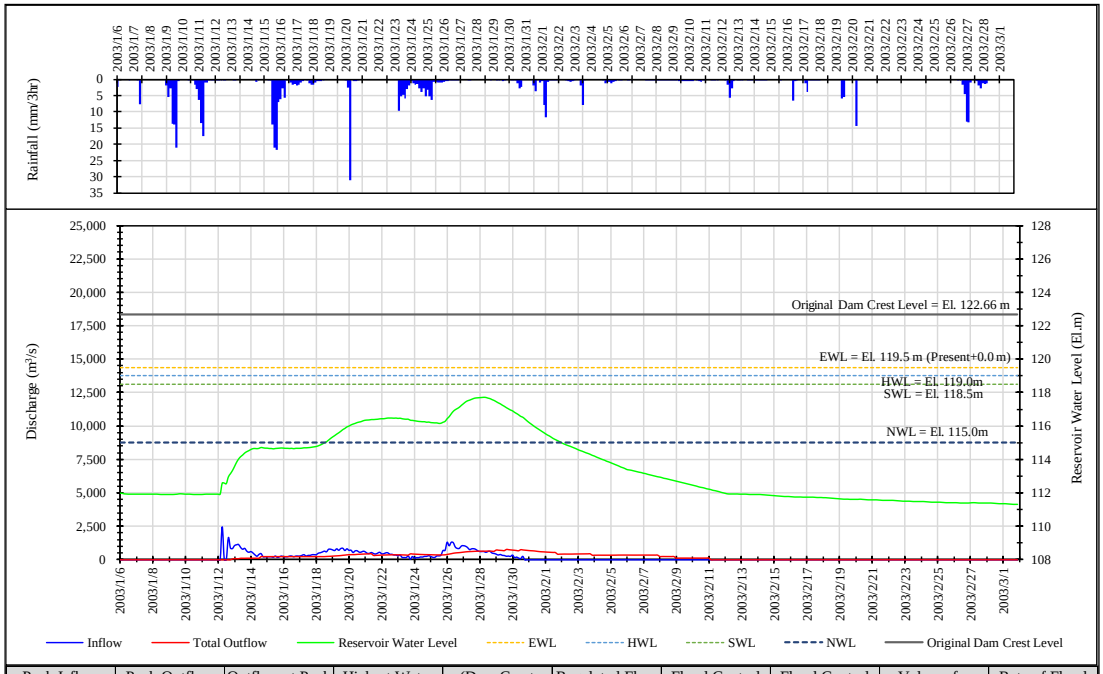
Figure 3-72 Résultats des calculs d'exploitation de la retenue pour les crues pour le barrage de Sidi Salem (règles actuelles/ caractéristiques actuelles, crue probable de conception de 1/10,000)



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 (%)
32,575	23,457	21,477	133.23	10.57	11,098	1,508.32	112.00	269.0	561%

Source: Equipe d'Etude de la JICA

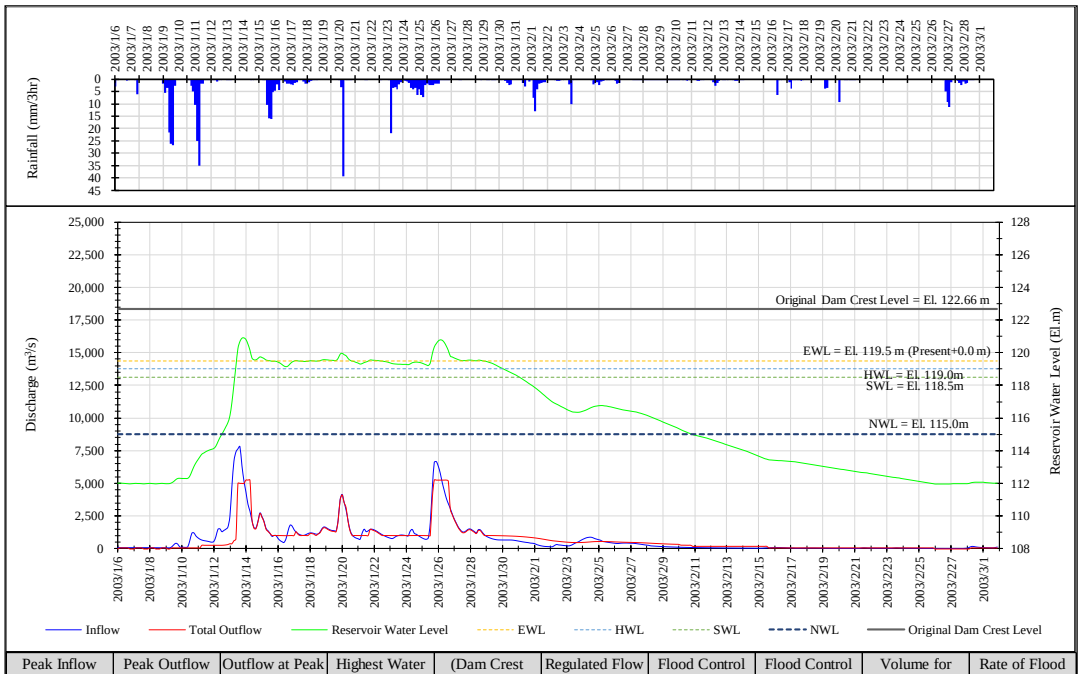
Figure 3-73 Résultats des calculs d'exploitation de la retenue pour les crues pour le barrage de Sidi Salem (règles actuelles/ caractéristiques actuelles, crue probable de conception de CMP)



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 (%)
2,448	740	0	117.73	-4.93	2,448	155.97	112.00	269.0	58%

Source: Equipe d'Etude de la JICA

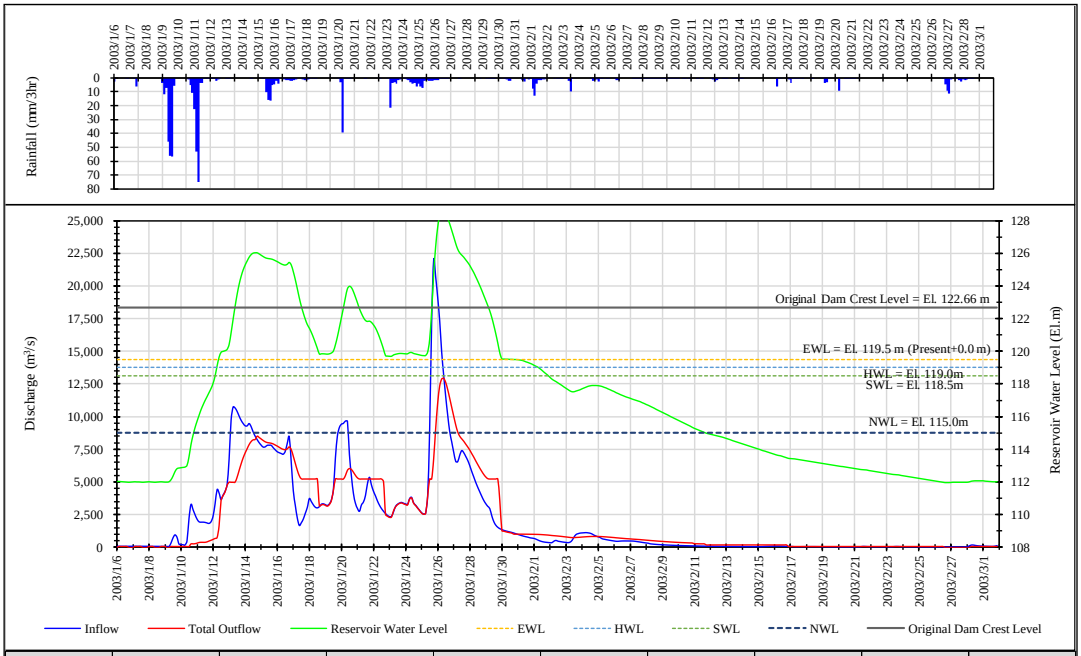
Figure 3-74 résultats des calculs d'exploitation de la retenue pour les crues pour le barrage de Sidi Salem (règles actuelles/ caractéristiques actuelles, résultats enregistrés de la crue de janvier 2003)



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 (%)
7,792	5,230	4,980	120.91	-1.75	2,812	368.76	112.00	269.0	137%

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-75 Résultats des calculs d'exploitation de la retenue pour les crues pour le barrage de Sidi Salem (règles actuelles/ caractéristiques actuelles, modèle de crue de janvier 2003 pour 1/10,000)



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 (%)
21,938	12,909	6,753	128.60	5.94	15,185	1,020.90	112.00	269.0	379%

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-76 Résultats des calculs d'exploitation de la retenue pour les crues pour le barrage de Sidi Salem (règles actuelles/ caractéristiques actuelles, crue de janvier 2003 CMP)

2) Règles Optimales d'Exploitation de la Retenue Proposées pour les Périodes de Crue et Plan de Remise en Etat du Barrage

Selon les règles actuelles d'exploitation de la Retenue et les caractéristiques du barrage, le sommet de la crête du barrage ne sera pas dépassé par la crue de conception (modèle de crue d'Avril 2009) jusqu'à une probabilité de 1/1 000 et par le modèle de crue de janvier 2003 jusqu'à une probabilité de 1/10 000. Dans la crue de conception (modèle de crue d'Avril 2009), comme le montre la figure ci-dessous, même si les règles d'exploitation actuelles sont utilisées, si les vannes du déversoir d'urgence sont doublées par rapport à l'actuelle, elles ne seront pas dépassées par le haut de la crête du barrage jusqu'à une probabilité de 1/10 000. Dans ce cas, les règles d'exploitation du barrage proposées sont indiquées sur le tableau ci-dessous.

Tableau 3-55 Règles d'exploitation proposées pour le barrage de Sidi Salem (mesures pour la crue de probabilité de 1/10,000)

[Règles d'Exploitation de la Vanne du Déversoir d'Urgence]

Conditions	Débit
Niveau d'eau dans la retenue est 119,5 m ou plus et le débit d'entrée égale à 8,400 m^3/s ou moins.	Débit de Sortie = Débit d'Entrée
Niveau d'eau dans la retenue est 119,5 m ou plus et le débit d'entrée égale à 8,400 m^3/s ou plus.	Débit de Sortie = 8,400m^3/s （1,400m^3/s x 6-Vannes）

[Règles d'Exploitation de la Turbine de Production d'Energie]

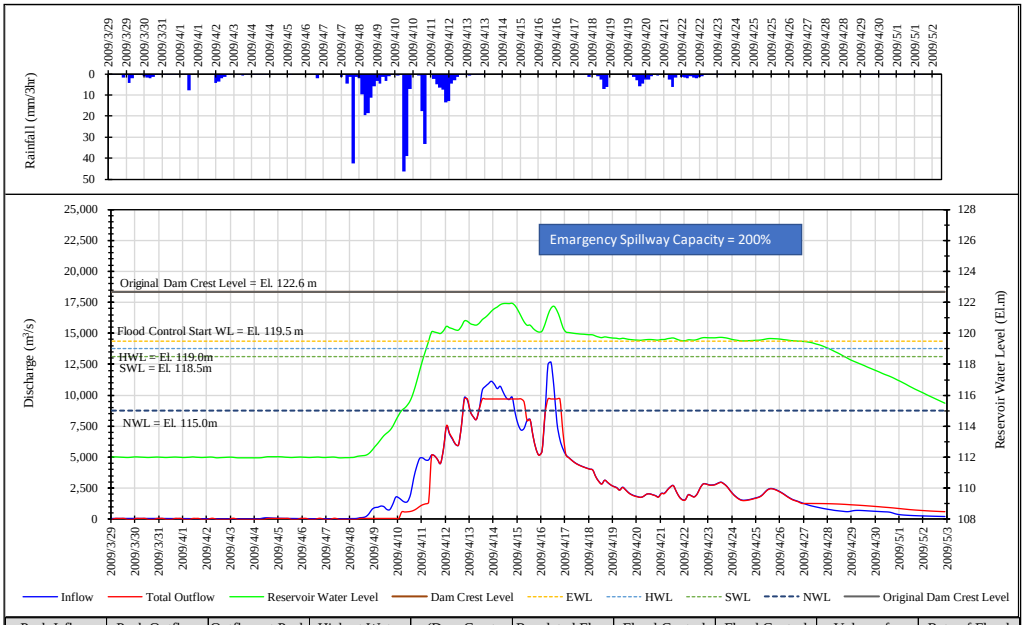
Conditions	Débit
Niveau d'eau dans la retenue est de 112,0 m ou plus.	Débit de Sortie = 80m^3/s

[Règles d'Exploitation de Vanne du Fond d'Evacuation de Sable]

Conditions	Débit
Niveau d'eau dans la retenue est moins de 113,5m	Débit de Sortie = 0 m^3/s
Niveau d'eau dans la retenue est de 115,3 m ou plus et le débit dans la vanne de fond d'évacuation de Sables une	Débit de Sortie＝250 m^3/s

Conditions	Débit
heure à l'avance est de 250 m^3/s ou plus	
Niveau d'eau dans la retenue est de 115,0m ou plus et le débit total du barrage est de 400 m^3/s ou moins	Débit de Sortie＝600 m^3/s
Niveau d'eau dans la retenue est entre 115,0m et 116,0m	Débit de Sortie ＝ 600 m^3/s – Débit d'autres vannes sans la vanne de fond d'évacuation de sable
Niveau d'eau dans la retenue est plus de 116,0m et le niveau d'eau en phase d'augmentation	Débit de Sortie＝Capacité du cours d'eau en aval du Barrage de Sidi Salem river (400m^3/s) - Débit d'autre vannes sans la vanne de fond d'évacuation de sable
Niveau d'eau dans la retenue est de 117,0m ou plus et le niveau d'eau est en phase d'augmentation et 600m^3/s - Débit d'autres vannes sans la vanne de fond d'évacuation de sable est inférieur à la capacité du cours d'eau en aval du Barrage de Sidi Salem (400m^3/s)	Débit de Sortie＝600m^3/s
Niveau d'eau dans la retenue est de 116.0m ou plus et moins de 117,0m, et le débit du déversoir normal (déversoir de type Morning Glory) est inférieur à 300m^3/s pendant la période de diminution du niveau d'eau et 600m^3/s - Débit d'autres vannes sans la vanne de fond d'évacuation de sable est inférieur à la capacité du cours d'eau en aval du Barrage de Sidi Salem (400m^3/s)	Débit de Sortie＝600m^3/s
Niveau d'eau dans la retenue est de 115,7 m ou plus et le débit du déversoir normal (déversoir de type Morning Glory) est de 260 m^3/s ou plus pendant la période de diminution du niveau d'eau.	Débit de Sortie＝250m^3/s
Niveau d'eau dans la retenue est de 115,0 m ou plus	Débit de Sortie ＝250m^3/s - Débit d'autres vannes sans la vanne de fond d'évacuation de sable
Niveau d'eau dans la retenue est moins de 115,0m	Débit de Sortie＝600m^3/s - Débit d'autres vannes sans la vanne de fond d'évacuation de sable

Source: Equipe d'Etude de la JICA



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 (%)
12,677	9,693	9,693	121.95	-0.71	2,984	445.15	112.00	235.7	189%

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-77 Résultats des calculs d'exploitation de la retenue du barrage de Sidi Salem (règles d'exploitation actuelles, déversoir d'urgence à double capacité, crue de conception de probabilité de 1/10 000 ans)

3) Plan de Remise en Etat du Barrage pour la CMP

Dans les deux cas de crue de projet et de crue de Janvier 2003, le niveau supérieur du barrage sera dépassé dans le cas de CMP, ce qui est dangereux dans le cas d'un réservoir à grande échelle tel que le barrage de Sidi Salem. Par conséquent, dans cette étude, les règles d'exploitation de la Retenue et les caractéristiques du barrage nécessaires pour faire face à la CMP sont examinées.

D'abord, les caractéristiques actuelles du barrage ont été conservées, et seules les règles d'exploitation de la Retenue ont été considérées, cependant, aucun des cas d'étude n'a permis de se prémunir contre la CMP. Ensuite, le cas de modification des caractéristiques du barrage et des règles d'exploitation de la Retenue a été examiné. Les cinq cas suivants sont considérés :

1. Cas d'ajout d'un déversoir d'urgence.
2. Cas de surélévation de la hauteur du barrage (Actuellement, l'élévation de la crête du barrage est de EL. 122,66m).
3. Modification de la hauteur de dépassement du déversoir régulier (Type de déversement naturel de Morning Glory) (NEN).
4. Cas de Changement du niveau d'eau d'urgence (NEU Actuel = EL.119,5m).
5. Cas de définition d'un niveau d'eau initial faible (Borne du Niveau d'eau) pendant les périodes de crue (Borne du Niveau d'eau actuelle est de EL. 112,0m).
6. Cas de modification du débit de la vanne d'évacuation des sables (Sortie du fond) au fond du barrage (Débit actuel 600 m^3/s).

De plus, une combinaison des 6 cas susmentionnés a également été examinée.

L'élévation de la crête du déversoir régulier (type à débordement naturel Morning Glory) a été augmentée de 5,0 m en 1999 par rapport à sa valeur de 110 m au moment de la construction, actuellement son élévation est de 115,0 m (NEN). La hauteur de ce déversoir régulier a également été définie comme

paramètre. En outre, le débit dans le tunnel de la vanne d'évacuation du sable (sortie du fond) a également été examiné. Cependant, de point de vue techniques, il est difficile de modifier la structure du tunnel de la vanne d'évacuation du sable et d'augmenter le débit de décharge, ainsi le niveau d'eau de début de décharge de la vanne d'évacuation de sable a été défini comme paramètre (NEN-1,5 m). À la suite de l'examen des cas ci-dessus, les mesures suivantes sont nécessaires pour traiter la CMP de l'hydrogramme de crue de projet.

- Les règles d'exploitation existantes de la Retenue ne sont pas modifiées pour éviter la confusion sur site.
- Cependant, il est recommandé d'abaisser le niveau d'eau de commencement de contrôle de crue pour le déversoir d'urgence de -2,0m de son élévation actuelle de El. 119,50m et de commencer à partir de l'élévation de El.117,5m.
- Il est nécessaire de quintupler la capacité du déversoir d'urgence.
- Il est nécessaire de surélever la hauteur du barrage de 0,8m. Dans ce cas, il est également nécessaire d'élever le noyau central du barrage.
- Le débit de décharge de la vanne d'évacuation de sable est de 600 m^3/s, mais compte tenu de la capacité d'écoulement à l'aval du barrage de Sidi Salem lors des crues normales, elle a été fixée à 200 m^3/s. Un supplément de 400m^3/s sera libéré en tant que décharge supplémentaire lorsqu'une crue anormale telle que la CMP se produit.

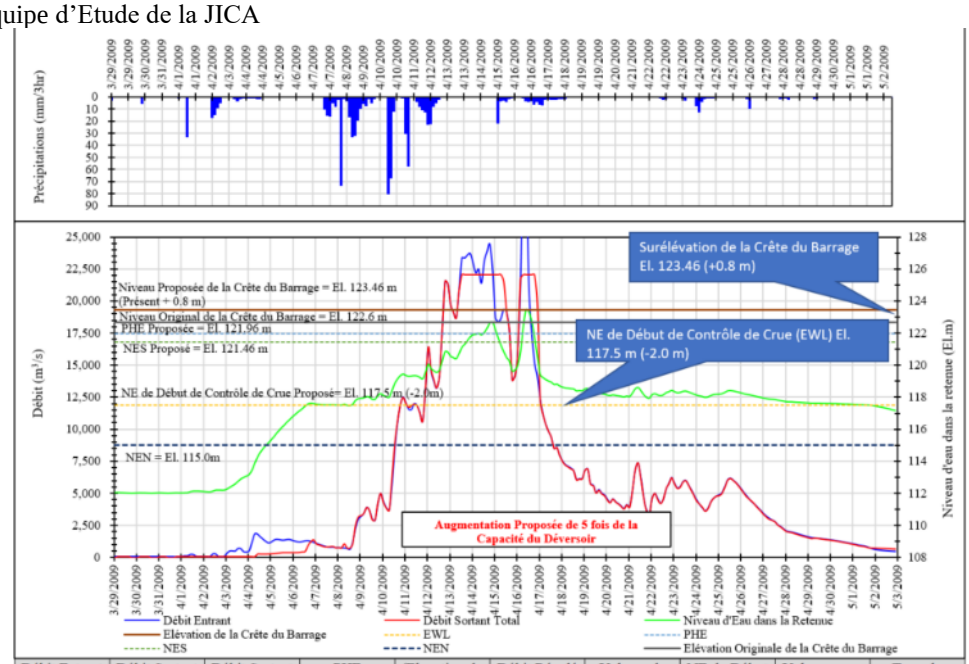
De plus, afin de garantir la capacité maximale de l'eau à usage, le niveau de crête du déversoir de crue ordinaire de type Morning Glory est maintenu à El. 115,00 m, et la limite du niveau d'eau pendant la période de crues (niveau d'eau initial) est fixée à El. 112,00 m.

Si les mesures ci-dessus sont prises, la capacité du déversoir d'urgence est quintuplée (5 fois) et la crête du barrage est surélevée de + 0,8 m, le niveau des plus hautes eaux (PHE) sera à El. 121,96 m. La capacité de contrôle des crues de la Retenue du barrage de Sidi Salem augmentera de 1,66 fois entre PHE (El. 121,96 m) et NEN (El. 115,00 m), passant de la capacité actuelle de 269,0 millions m^3 à 445,7 millions m^3.

Tableau 3-56 Résultats de la simulation d'exploitation de la retenue de barrage de Sidi Salem pour crues (règles proposées/caractéristiques proposées, hauteur du barrage + 0,8m de surélévation, capacité quintuplée du déversoir d'urgence, crue de conception CMP)

No	Cas d'Etude	Résultats	Dimension de l'évacuateur d'urgence (%)	Au dessus de la Cote de la Crête du Barrage (m)	Cote de la Crête de l'Evacuateur Régulier (NEN) (El. m)	NEEx (El. m)	Niveau d'Eau Limite en Période de Crue (NE Initial) (El. m)	Débit de Conception de l'Evacuateur de Fond (m3/s)	Niveau d'Eau le Plus Elevé (El. m)	Cote de le Crête du Barrage (El. m)	Tirant d'Air (m)	Débordement de la Crête du Barrage
1	Ajout de l'évacuateur d'urgence uniquement	Augmenter la capacité de l'évacuateur d'urgence de 6 fois	600%	+0.00	115.00	119.50	112.00	200	124.35	122.66	-2.00	Débordement
3	Elévation de la hauteur du barrage uniquement	Augmentation de + 3.9m	100%	+11.00	115.00	119.50	112.00	200	142.69	133.66	-9.00	Débordement
2	Modification de la hauteur de débordement (NEN) de l'évacuateur régulier uniquement (Type morning glory type débordement naturel)	Pas possible même avec la diminution du NEN de -5.0m	100%	+0.00	110.00	119.50	112.00	200	133.23	122.66	-11.00	Débordement
4	Modification du niveau d'Eau d'Urgence (NEEx) Augmentation	Pas possible même avec la diminution du NEEx à El. 115m	100%	+0.00	115.00	115.00	112.00	200	133.23	122.66	-11.00	Débordement
5	Définir un bas niveau d'eau limite de la période de crue (Niveau d'Eau Initial)	Pas possible même avec la diminution du niveau d'eau limite (Niveau d'eau initial) par -5.0m	100%	+0.00	115.00	119.50	107.00	200	133.23	122.66	-11.00	Débordement
6	Modification du débit de conception de l'évacuateur de fond	Pas possible même si l'évacuateur de fond est augmenté à 600 m3/s	100%	+0.00	115.00	119.50	112.00	600	133.12	122.66	-10.00	Débordement
9	Combinaison optimale des 6 proposées en dessus	Se référer à droite	500%	+0.80	115.00	117.50	112.00	200	123.08	123.46	0.00	-

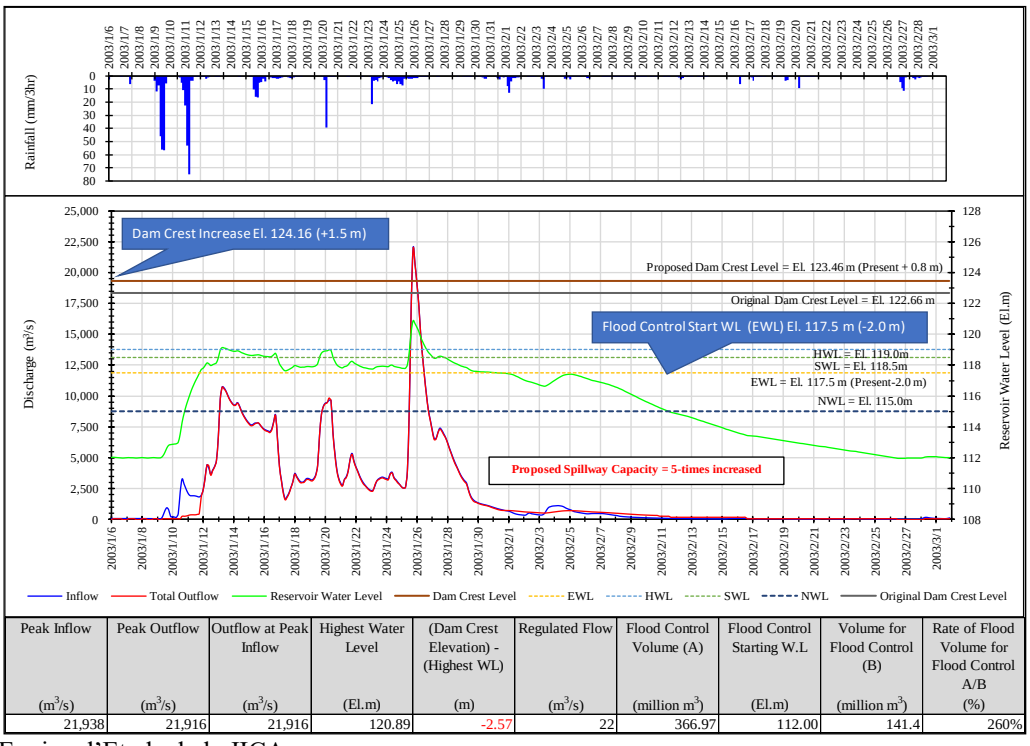
Source: Equipe d'Etude de la JICA



Débit Entrant de Pointe (m^3/s)	Débit Sortant de Pointe (m^3/s)	Débit Sortant pour le Débit de Pointe Entrant (m^3/s)	PHE Maximale (El.m)	(Elevation de la Crête du Barrage) - (PHE Maximale) (m)	Débit Régulé (m^3/s)	Volume de Contrôle de Crue (A) (million m^3)	NE de Début de Contrôle de Crue (El.m)	Volume pour le Contrôle de Crue (B) (million m^3)	Taux du Volume de Crue pour le Contrôle de Crue A/B (%)
32,575	22,030	22,030	123.46	0.00	10,545	563.13	112.00	445.7	126%

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-78 résultats des calculs d'exploitation de la retenue du barrage de Sidi Salem (règles proposées/caractéristiques proposées, hauteur du barrage + 0,8m de surélévation, capacité quintuplée du déversoir d'urgence, crue de conception CMP)

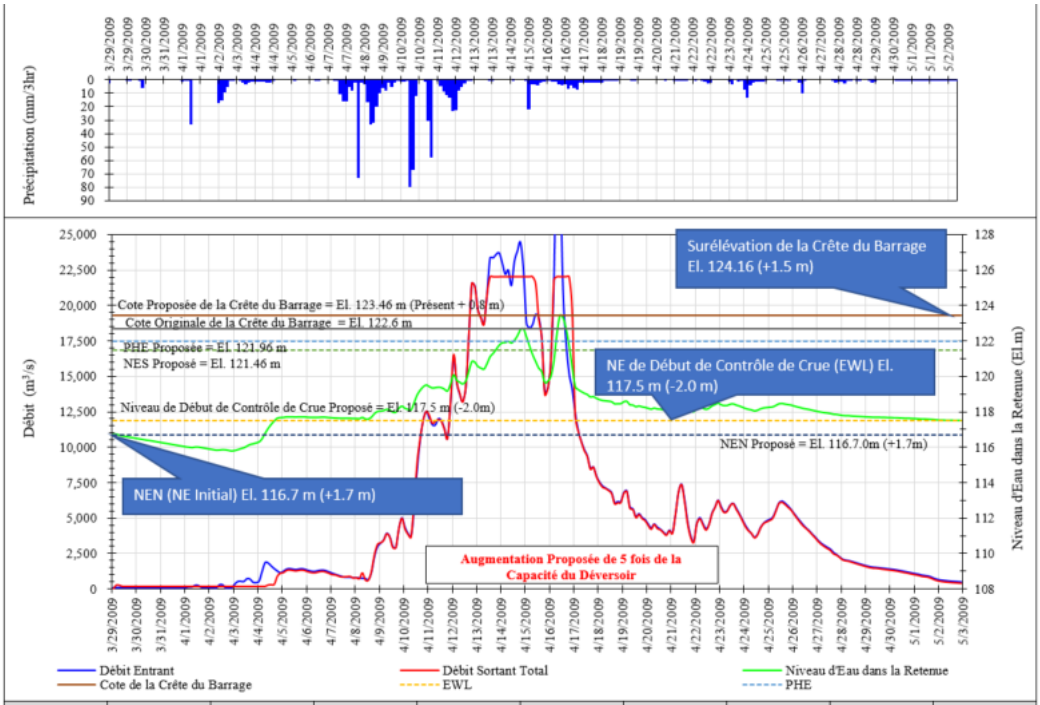


Peak Inflow (m^3/s)	Peak Outflow (m^3/s)	Outflow at Peak Inflow (m^3/s)	Highest Water Level (El.m)	(Dam Crest Elevation) - (Highest WL) (m)	Regulated Flow (m^3/s)	Flood Control Volume (A) (million m^3)	Flood Control Starting W.L (El.m)	Volume for Flood Control (B) (million m^3)	Rate of Flood Volume for Flood Control A/B (%)
21,938	21,916	21,916	120.89	-2.57	22	366.97	112.00	141.4	260%

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-79 Résultats des calculs d'exploitation de la retenue du barrage de Sidi Salem (règles proposées/caractéristiques proposées, hauteur du barrage + 0,8m de surélévation, capacité quintuplée du déversoir d'urgence, modèle de crue de janvier 2003 CMP)

De plus, afin d'augmenter la capacité d'eau à utilisation tout en mettant en œuvre des mesures (règle proposée, quintupler la capacité du déversoir d'urgence et élévation de la hauteur du barrage + 0,8 m) correspondant à la CMP des crues de conception, la côte de la crête du déversoir régulier de type Morning Glory peut être surélevée. La capacité d'alimentation en eau peut être augmentée par surélévation de la crête du déversoir régulier de type Morning Glory de El. 115,0 m à El. 116,7 m (+ 1,7 m) et le réglage du NEN et du niveau d'eau limite pour la période de crues (niveau d'eau initial) à ce niveau d'eau (El. 116,7 m). Même dans ce cas, comme indiqué sur la figure ci-dessous, il est possible de régler la CMP de la crue de conception et le niveau supérieur de la crête du barrage ne sera pas dépassée. En conséquence, la capacité d'eau à utilisation (NEN-NEL) de la Retenue du barrage de Sidi Salem sera augmentée de 574,53 millions m^3 à 667,89 millions de m^3, soit environ 1,16 fois.



Débit Entrant de Pointe (m^3/s)	Débit Sortant de Pointe (m^3/s)	Débit Sortant pour le Débit de Pointe Entrant (m^3/s)	PHE Maximale (El.m)	(Elevation de la Crête du Barrage) - (PHE Maximale) (m)	Débit Régulé (m^3/s)	Volume de Contrôle de Crue (A) (million m^3)	NE de Début de Contrôle de Crue (El.m)	Volume pour le Contrôle de Crue (B) (million m^3)	Taux du Volume de Crue pour le Contrôle de Crue A/B (%)
32,575	22,030	22,030	123.46	0.00	10,545	469.78	116.70	352.3	133%

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-80 Résultats des calculs d'exploitation de la retenue du barrage de Sidi Salem (Règles proposées/caractéristiques proposées, hauteur du barrage + 0,8m de surélévation, capacité quintuplée du déversoir d'urgence, (niveau de la crête du déversoir régulier de type morning glory + 1.7m de surélévation, crue de conception CMP)

(3) Barrage de Siliana

1) Résultats des Calculs à la Base des Règles d'Exploitation Existantes de la Retenue et des Caractéristiques du Barrage

Les figures et tableaux suivants présentent les résultats des calculs de l'exploitation de la Retenue à l'aide d'hydrogrammes des règles d'exploitation de la Retenue existantes et des crues de conception dans les caractéristiques actuelles du barrage et de la crue de Janvier 2003. Pour la crue de conception (modèle de crue en Mars 2007), jusqu'à la probabilité de 1/1 000 ans, le niveau supérieur de la crête du barrage ne sera pas dépassé, mais pour les résultats de 1/10 000 ans et de la CMP, il sera dépassé. Dans le cas de la crue de conception utilisant le modèle hydrographique de la crue de Janvier 2003, elle a entraîné un dépassement de la crête du barrage pour une probabilité de 1/500 ans ou plus et de la CMP.

Le barrage de Siliana est un barrage en enrochement à noyau central. Bien qu'un certain dépassement soit

considéré comme acceptable, la CMP du modèle de crues de Mars 2007 risque d'atteindre une hauteur de franchissement de plus de 3,38 m, ce qui est dangereux. Certaines mesures peuvent être nécessaires pour soutenir CMP. Il est jugé nécessaire de modifier (ajouter) un déversoir d'urgence et de surélever la hauteur de la crête du barrage. Il est également nécessaire d'augmenter le noyau central du barrage si cela est possible de point de vue technique et si la hauteur de la crête du barrage est augmentée.

Il est à noter que pour le calcul de crue dépassant le niveau supérieur du barrage, l'extrapolation de la courbe de capacité de la Retenue a été réalisée en considérant un dépassement de crue sur toute la largeur de la crête du barrage. De plus, il a été supposé que le barrage ne subit pas de rupture.

Tableau 3-57 Résultats de simulation d'exploitation de la retenue du barrage de Siliana pour crues (règles actuelles/ caractéristiques actuelles, crue de conception)

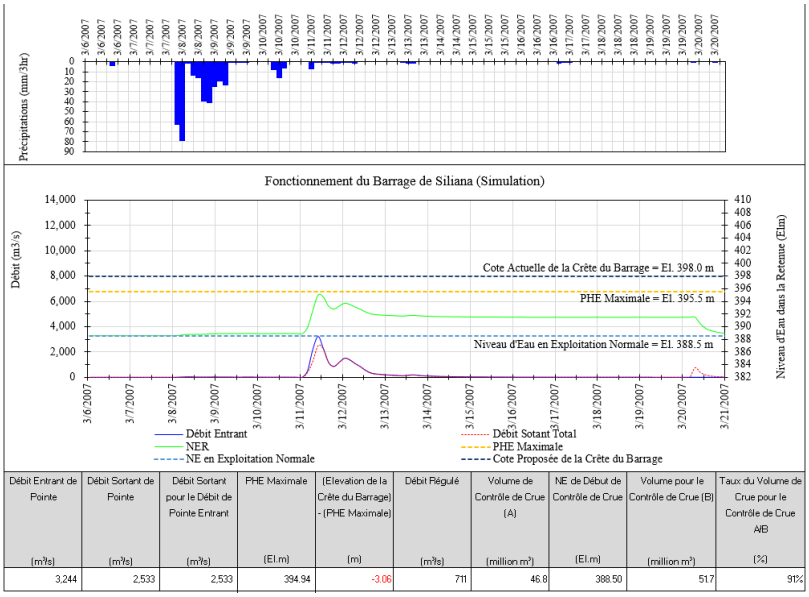
Année Probable	Débit Entrant de Pointe (m^3/s)	Débit Sortant de Pointe (m^3/s)	Débit Sortant pour le Débit de Pointe Entrant (m^3/s)	Niveau d'Eau Maximum (El.m)	(Elevation de la Crête du Barrage) - (NE Maximum) (m)	Débit Régulé (m^3/s)	Volume de Contrôle de Crue (A) (million m^3)	N.E de Début de Contrôle de Crue (El.m)	Volume pour le Contrôle de Crue (B) (million m^3)	Taux du Volume de Crue pour le Contrôle de Crue A/B (%)	Note
5-ans	587	401	397	389.85	-8.15	191	7.74	388.50	51.7	15%	-
10-ans	929	631	592	390.53	-7.47	336	13.39	388.50	51.7	26%	-
20-ans	1,282	871	812	391.48	-6.52	470	19.69	388.50	51.7	38%	-
50-ans	1,783	1,296	1,296	392.53	-5.47	486	27.27	388.50	51.7	53%	-
100-ans	2,193	1,630	1,630	393.25	-4.75	562	32.73	388.50	51.7	63%	-
200-ans	2,629	2,047	2,047	394.06	-3.94	582	39.31	388.50	51.7	76%	-
500-ans	3,244	2,533	2,533	394.94	-3.06	711	46.78	388.50	51.7	91%	-
1,000-ans	3,735	3,171	3,171	395.87	-2.13	564	55.13	388.50	51.7	107%	-
10,000-ans	5,453	4,784	4,784	398.26	0.26	669	78.65	388.50	51.7	152%	Débordement
CMP	8,171	8,171	8,171	401.38	3.38	0	113.84	388.50	51.7	220%	Débordement

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Tableau 3-58 Résultats de simulation d'exploitation de la retenue du barrage de Siliana pour crues (règles actuelles/ caractéristiques actuelles, modèle de crue de janvier 2003)

Année Probable	Débit Entrant de Pointe (m^3/s)	Débit Sortant de Pointe (m^3/s)	Débit Sortant pour le Débit de Pointe Entrant (m^3/s)	Niveau d'Eau Maximum (El.m)	(Elevation de la Crête du Barrage) - (NE Maximum) (m)	Débit Régulé (m^3/s)	Volume de Contrôle de Crue (A) (million m^3)	N.E de Début de Contrôle de Crue (El.m)	Volume pour le Contrôle de Crue (B) (million m^3)	Taux du Volume de Crue pour le Contrôle de Crue A/B (%)	Note (%)
5-ans	1,153	802	802	391.29	-6.71	350	18.42	388.50	51.7	36%	-
10-ans	1,622	1,371	1,371	392.69	-5.31	251	28.49	388.50	51.7	55%	-
20-ans	2,111	1,848	1,848	393.68	-4.32	264	36.17	388.50	51.7	70%	-
50-ans	2,815	2,592	2,081	395.05	-2.95	734	47.71	388.50	51.7	92%	-
100-ans	3,413	3,257	2,652	396.01	-1.99	760	56.40	388.50	51.7	109%	-
200-ans	4,048	3,812	3,344	396.87	-1.13	703	64.57	388.50	51.7	125%	-
500-ans	4,943	4,670	4,179	398.11	0.11	764	77.03	388.50	51.7	149%	Débordement
1,000-ans	5,657	5,527	4,849	399.02	1.02	808	86.76	388.50	51.7	168%	Débordement
10,000-ans	8,157	8,157	8,157	401.18	3.18	0	111.44	388.50	51.7	216%	Débordement
CMP	12,111	12,111	12,111	403.64	5.64	0	142.53	388.50	51.7	276%	Débordement

Source: Equipe d'Etude de la JICA

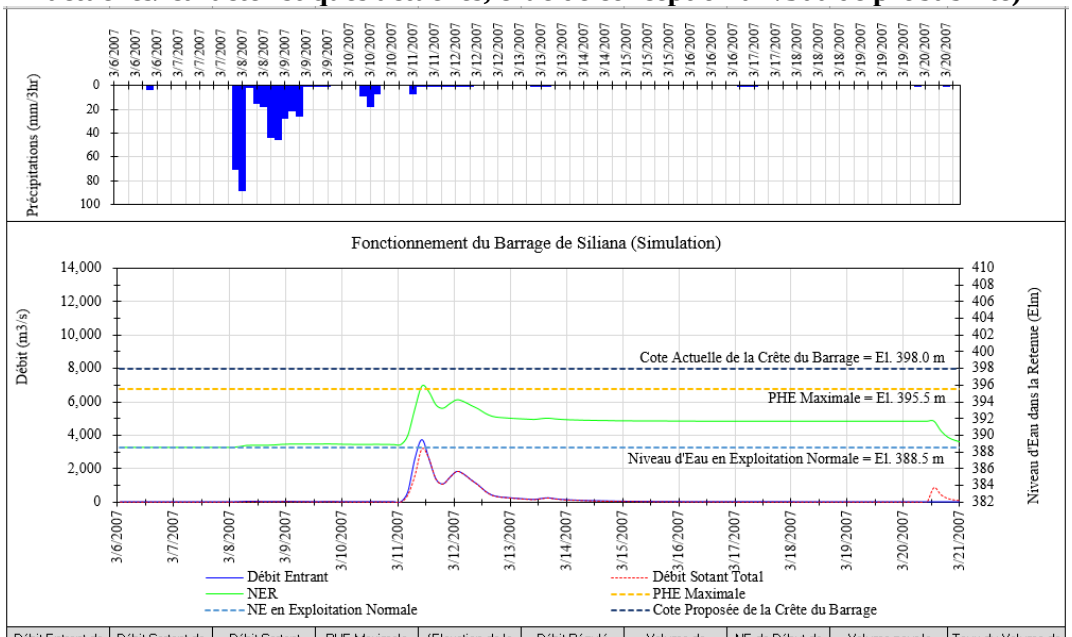


Débit Entrant de Pointe (m^3/s)	Débit Sortant de Pointe (m^3/s)	Débit Sortant pour le Débit de Pointe Entrant (m^3/s)	PHE Maximale (El.m)	(Elevation de la Crête du Barrage) - (PHE Maximale) (m)	Débit Régulé (m^3/s)	Volume de Contrôle de Crue (A) (million m^3)	NE de Début de Contrôle de Crue (El.m)	Volume pour le Contrôle de Crue (B) (million m^3)	Taux du Volume de Crue pour le Contrôle de Crue A/B (%)
3,244	2,533	2,533	394.94	-3.06	711	46.8	388.50	51.7	91%

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-81 Résultats de calculs d'exploitation de la retenue du barrage de Siliana (règles

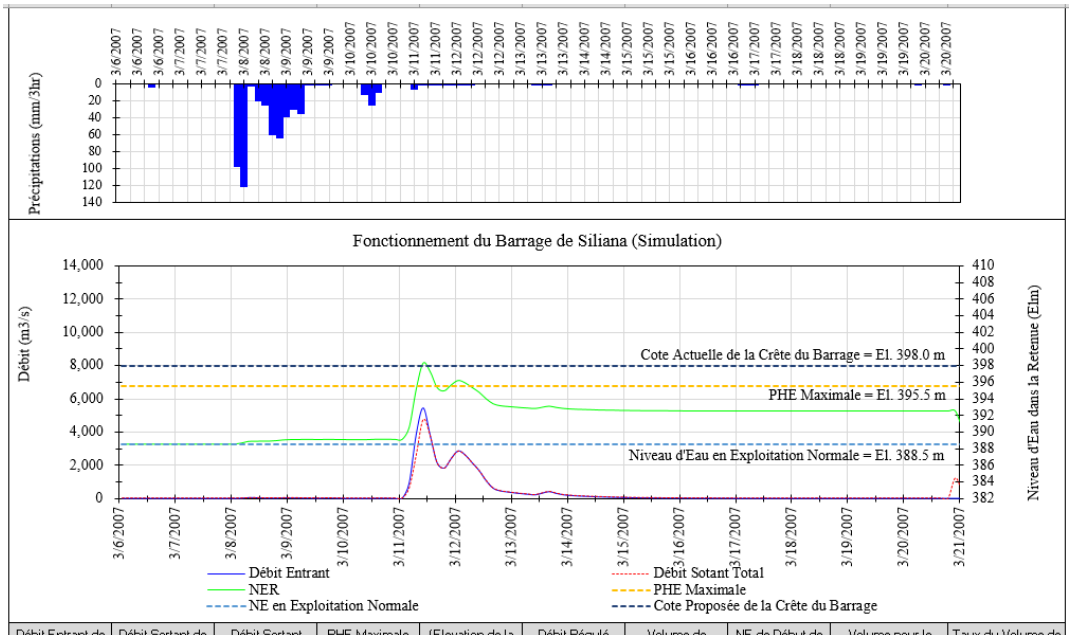
actuelles/ caractéristiques actuelles, crue de conception à 1/500 de probabilité)



Débit Entrant de Pointe	Débit Sortant de Pointe	Débit Sortant pour le Débit de Pointe Entrant	PHE Maximale	(Elevation de la Crête du Barrage) - (PHE Maximale)	Débit Régulé	Volume de Contrôle de Crue (A)	NE de Début de Contrôle de Crue	Volume pour le Contrôle de Crue (B)	Taux du Volume de Crue pour le Contrôle de Crue A/B
(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	(El.m)	(m)	(m³/s)	(million m³)	(El.m)	(million m³)	(%)
3,735	3,171	3,171	395.87	-2.13	564	55.1	388.50	51.7	107%

Source: Equipe d'Etude de la JICA

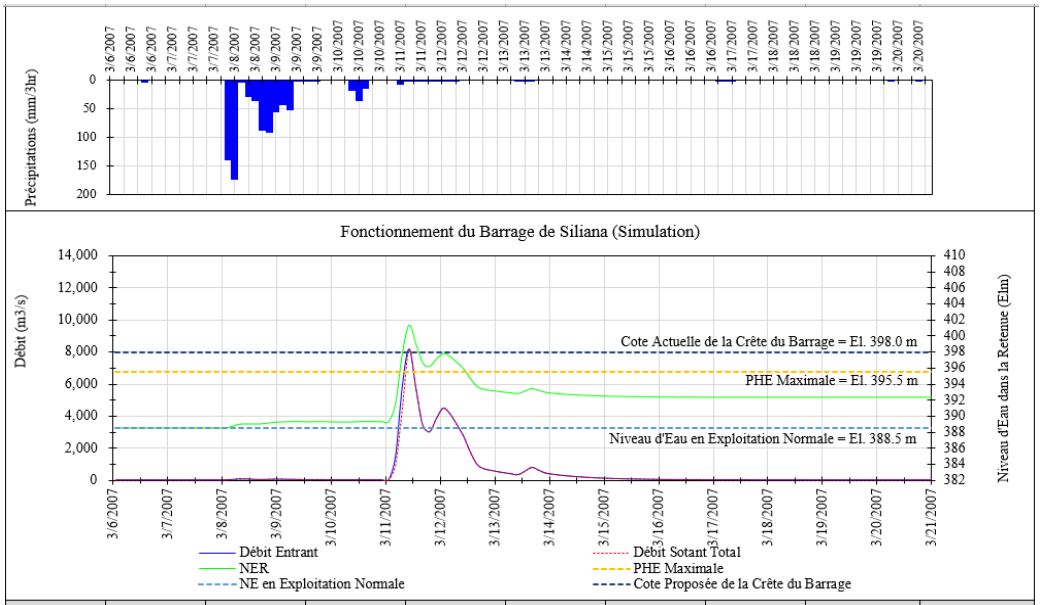
Figure 3-82 Résultats de calculs d'exploitation de la retenue du barrage de Siliana (règles actuelles/ caractéristiques actuelles, crue de conception à 1/1 000 de probabilité)



Débit Entrant de Pointe	Débit Sortant de Pointe	Débit Sortant pour le Débit de Pointe Entrant	PHE Maximale	(Elevation de la Crête du Barrage) - (PHE Maximale)	Débit Régulé	Volume de Contrôle de Crue (A)	NE de Début de Contrôle de Crue	Volume pour le Contrôle de Crue (B)	Taux du Volume de Crue pour le Contrôle de Crue A/B
(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	(El.m)	(m)	(m³/s)	(million m³)	(El.m)	(million m³)	(%)
5,453	4,784	4,784	398.26	0.26	669	78.7	388.50	51.7	152%

Source: Equipe d'Etude de la JICA

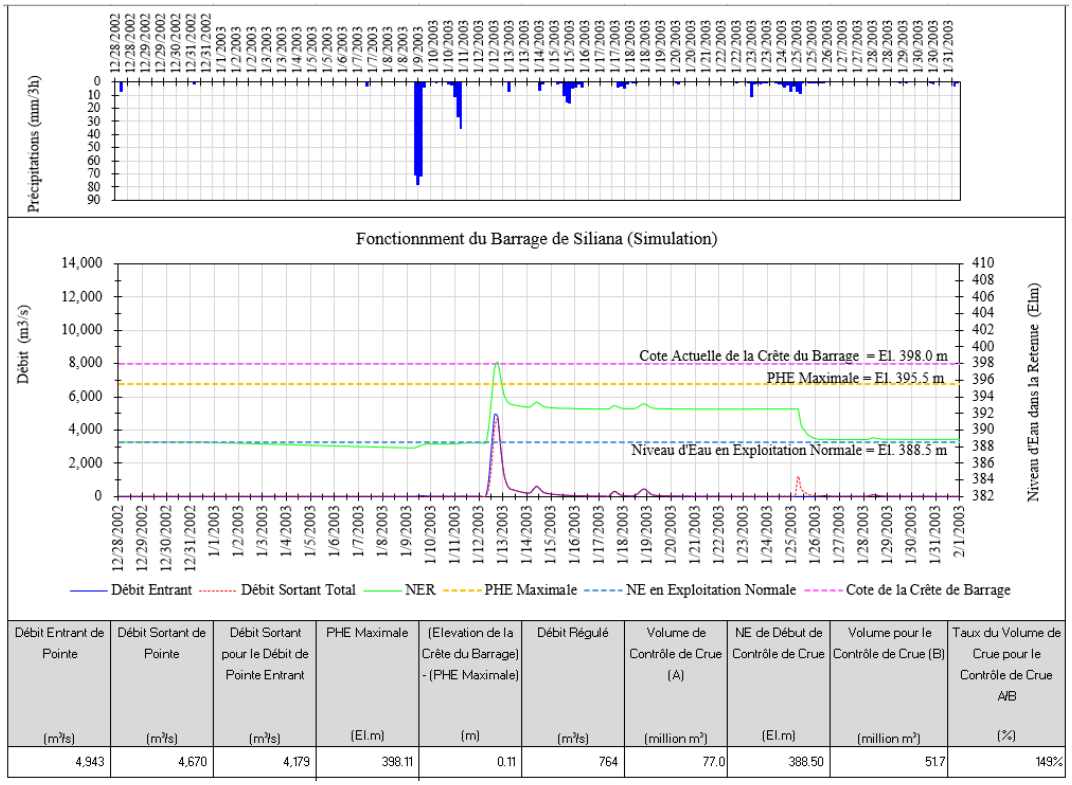
Figure 3-83 Résultats de calculs d'exploitation de la retenue du barrage de Siliana (règles actuelles/ caractéristiques actuelles, crue de conception à 1/10 000 de probabilité)



Débit Entrant de Pointe (m³/s)	Débit Sortant de Pointe (m³/s)	Débit Sortant pour le Débit de Pointe Entrant (m³/s)	PHE Maximale (El.m)	(Elevation de la Crête du Barrage) - (PHE Maximale) (m)	Débit Régulé (m³/s)	Volume de Contrôle de Crue (A) (million m³)	NE de Début de Contrôle de Crue (El.m)	Volume pour le Contrôle de Crue (B) (million m³)	Taux du Volume de Crue pour le Contrôle de Crue A/B (%)
8,171	8,171	8,171	401.38	3.38	0	113.8	388.50	51.7	220%

Source: Equipe d'Etude de la JICA

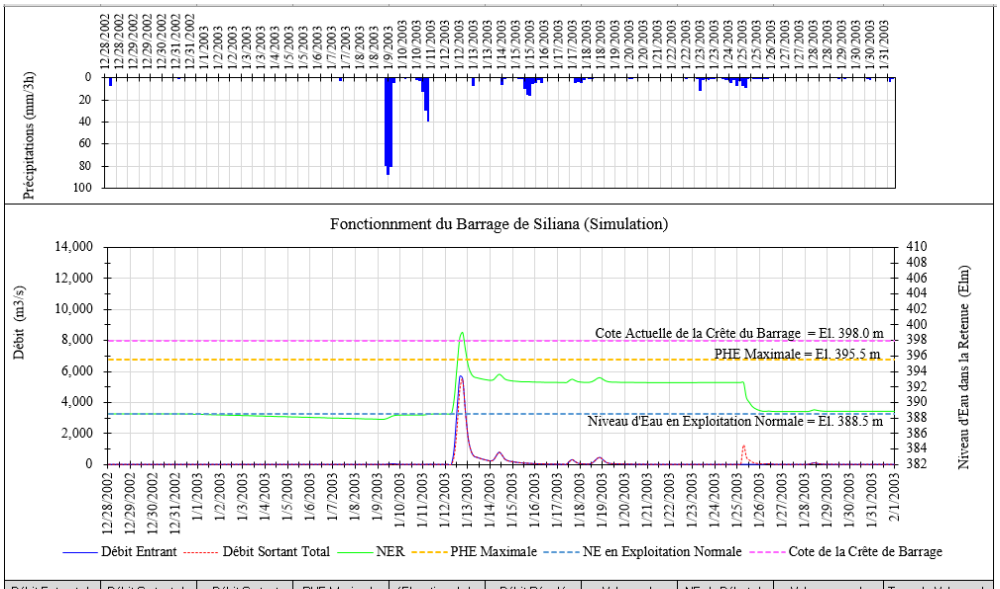
Figure 3-84 Résultats de calculs d'exploitation de la retenue du barrage de Siliana (règles actuelles/ caractéristiques actuelles, crue de conception CMP)



Débit Entrant de Pointe (m³/s)	Débit Sortant de Pointe (m³/s)	Débit Sortant pour le Débit de Pointe Entrant (m³/s)	PHE Maximale (El.m)	(Elevation de la Crête du Barrage) - (PHE Maximale) (m)	Débit Régulé (m³/s)	Volume de Contrôle de Crue (A) (million m³)	NE de Début de Contrôle de Crue (El.m)	Volume pour le Contrôle de Crue (B) (million m³)	Taux du Volume de Crue pour le Contrôle de Crue A/B (%)
4,943	4,670	4,179	398.11	0.11	764	77.0	388.50	51.7	149%

Source: Equipe d'Etude de la JICA

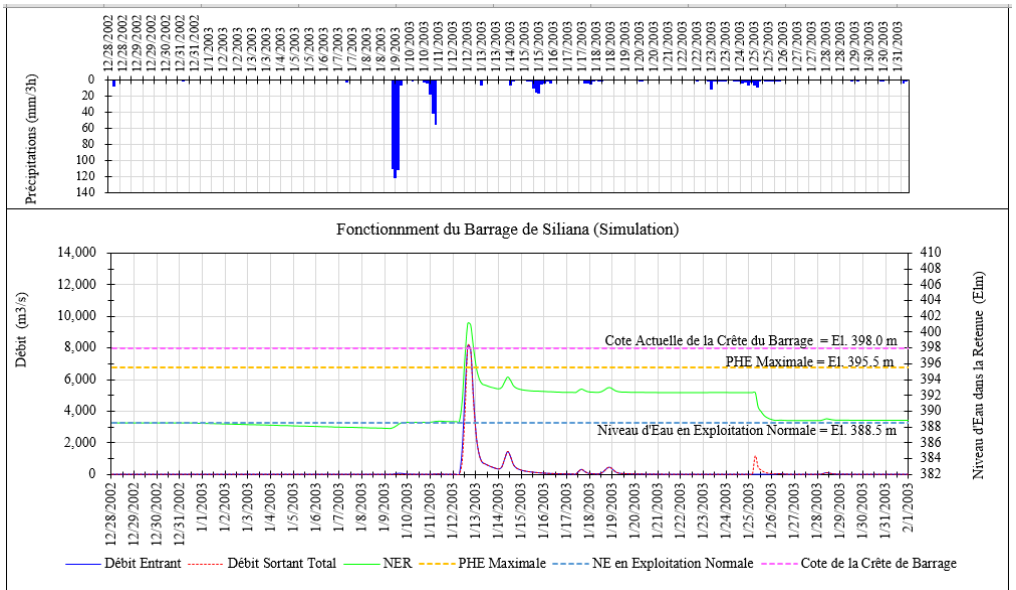
Figure 3-85 Résultats de calculs d'exploitation de la retenue du barrage de Siliana (règles actuelles/ caractéristiques actuelles, modèle de crue de janvier 2003 à 1/500)



Débit Entrant de Pointe (m³/s)	Débit Sortant de Pointe (m³/s)	Débit Sortant pour le Débit de Pointe Entrant (m³/s)	PHE Maximale (El.m)	(Elevation de la Crête du Barrage) - (PHE Maximale) (m)	Débit Régulé (m³/s)	Volume de Contrôle de Crue (A) (million m³)	NE de Début de Contrôle de Crue (El.m)	Volume pour le Contrôle de Crue (B) (million m³)	Taux du Volume de Crue pour le Contrôle de Crue A/B (%)
5,657	5,527	4,849	399.02	1.02	808	86.8	388.50	51.7	168%

Source: Equipe d'Etude de la JICA

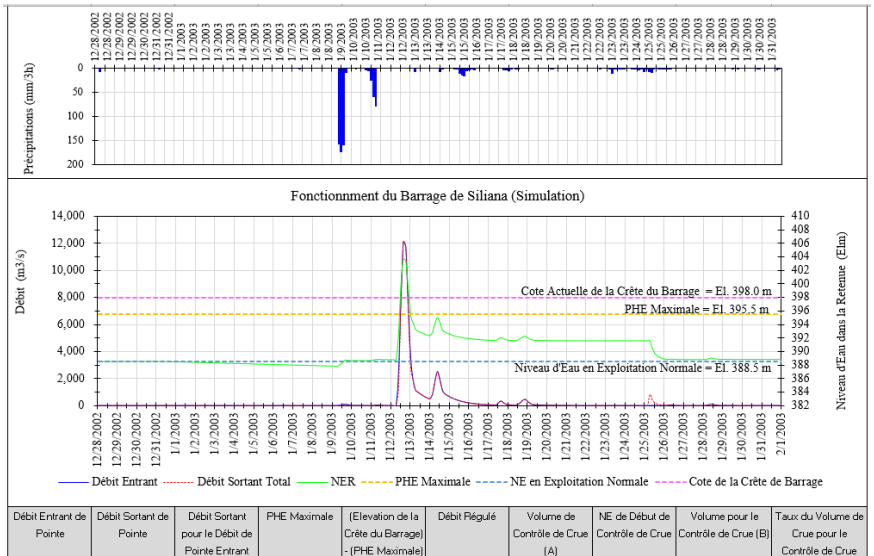
Figure 3-86 Résultats de calculs d'exploitation de la retenue du barrage de Siliana (règles actuelles/ caractéristiques actuelles, modèle de crue de janvier 2003 à 1/1 000)



Débit Entrant de Pointe (m³/s)	Débit Sortant de Pointe (m³/s)	Débit Sortant pour le Débit de Pointe Entrant (m³/s)	PHE Maximale (El.m)	(Elevation de la Crête du Barrage) - (PHE Maximale) (m)	Débit Régulé (m³/s)	Volume de Contrôle de Crue (A) (million m³)	NE de Début de Contrôle de Crue (El.m)	Volume pour le Contrôle de Crue (B) (million m³)	Taux du Volume de Crue pour le Contrôle de Crue A/B (%)
8,157	8,157	8,157	401.18	3.18	0	111.4	388.50	51.7	216%

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-87 Résultats de calculs d'exploitation de la retenue du barrage de Siliana (règles actuelles/ caractéristiques actuelles, modèle de crue de janvier 2003 à 1/10 000)



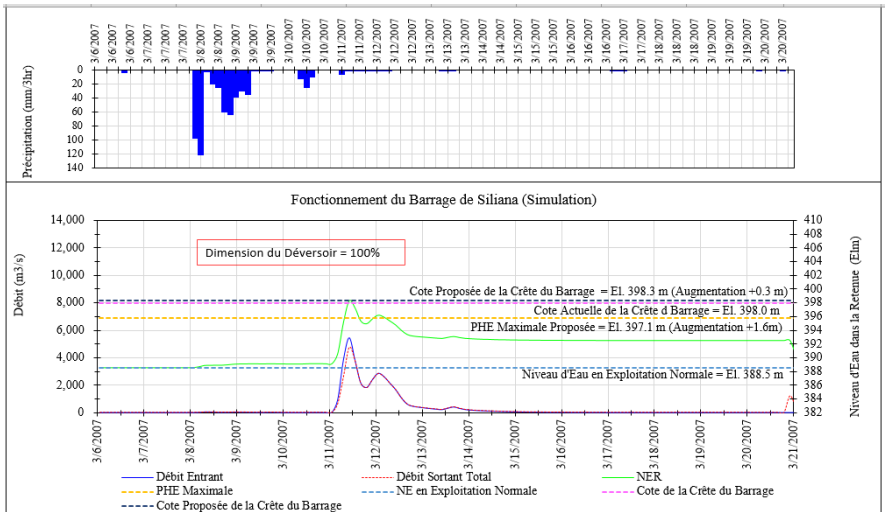
Débit Entrant de Pointe (m³/s)	Débit Sortant de Pointe (m³/s)	Débit Sortant pour le Débit de Pointe Entrant (m³/s)	PHE Maximale (El.m)	(Elevation de la Crête du Barrage) - (PHE Maximale) (m)	Débit Régulé (m³/s)	Volume de Contrôle de Crue (A) (million m³)	NE de Début de Contrôle de Crue (El.m)	Volume pour le Contrôle de Crue (B) (million m³)	Taux du Volume de Crue pour le Contrôle de Crue A/B (%)
12,111	12,111	12,111	403.64	5.64	0	142.5	388.50	51.7	276%

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-88 Résultats de calculs d'exploitation de la retenue du barrage de Siliana (règles actuelles/ caractéristiques actuelles, modèle de crue de janvier 2003 CMP)

2) Plan de Remise en Etat du Barrage pour la Crue 1/10 000

Selon les règles actuelles d'exploitation de la Retenue et les caractéristiques du barrage, le niveau supérieur de la crête du barrage ne sera pas dépassé par la crue de conception (modèle de crue de Mars 2007) jusqu'à une probabilité de 1/1 000 et par le modèle de crue de janvier 2003 jusqu'à une probabilité de 1 / 500. Afin de faire face à la crue de conception (modèle de crue de Mars 2007) jusqu'à une probabilité de 1/10 000, il est nécessaire de surélever la crête du barrage de + 0,3 m comme indiqué sur la figure ci-dessous. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire de modifier le déversoir d'urgence.

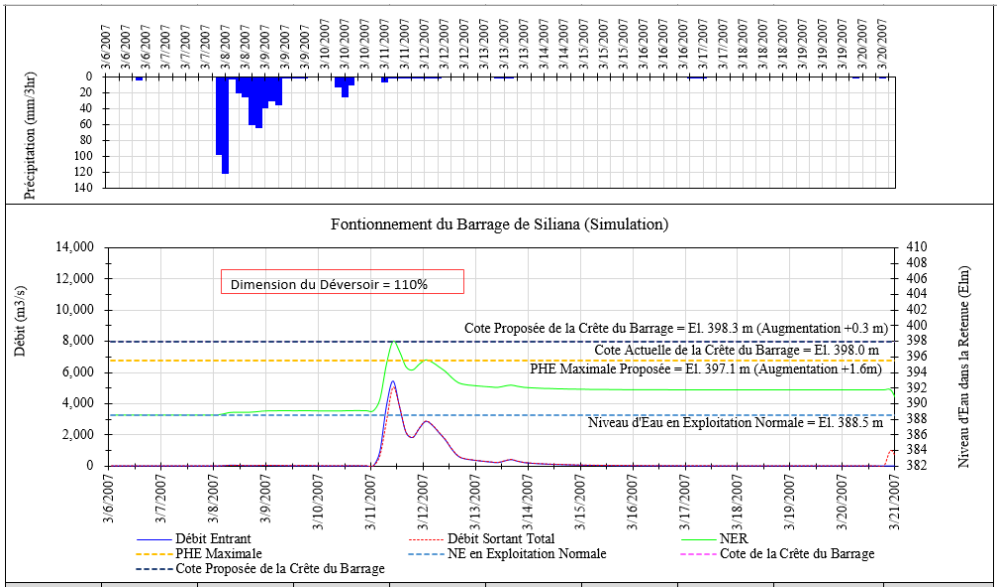


Débit Entrant de Pointe (m³/s)	Débit Sortant de Pointe (m³/s)	Débit Sortant pour le Débit de Pointe Entrant (m³/s)	PHE Maximale (El.m)	(Elevation de la Crête du Barrage) - (PHE Maximale) (m)	Débit Régulé (m³/s)	Volume de Contrôle de Crue (A) (million m³)	NE de Début de Contrôle de Crue (El.m)	Volume pour le Contrôle de Crue (B) (million m³)	Taux du Volume de Crue pour le Contrôle de Crue A/B (%)
5,453	4,784	4,784	398.26	-0.04	669	78.6	388.50	54.4	144%

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-89 Résultats de calculs d'exploitation de la retenue du barrage de Siliana (règles actuelles/ caractéristiques proposées, hauteur du barrage+0,3m de surélévation, pas de changement pour le déversoir d'urgence, modèle de crue de conception de 1/10 000)

D'autre part, si uniquement le déversoir d'urgence est modifié en augmentant la longueur de débordement du déversoir d'urgence de 1,1 fois, la crue de conception (modèle de crue de Mars 2007) ne dépassera pas la crête du barrage pour la probabilité de 1/10 000 ans, comme indiqué sur la Figure ci-dessous.



Débit Entrant de Pointe	Débit Sortant de Pointe	Débit Sortant pour le Débit de Pointe Entrant	PHE Maximale	(Elevation de la Crête du Barrage) - (PHE Maximale)	Débit Régulé	Volume de Contrôle de Crue (A)	NE de Début de Contrôle de Crue	Volume pour le Contrôle de Crue (B)	Taux du Volume de Crue pour le Contrôle de Crue A/B
(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(El.m)	(m)	(m^3/s)	(million m^3)	(El.m)	(million m^3)	(%)
5,453	5,015	5,015	397.98	-0.02	438	75.7	388.50	51.7	147%

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-90 Résultats de calculs d'exploitation de la retenue du barrage de Siliana (règles actuelles/ caractéristiques proposées, pas de changement pour la hauteur du barrage, augmentation 1,1 fois du longueur de débordement du déversoir d'urgence, modèle de crue de conception de 1/10 000)

3) Plan de Remise en Etat pour la CMP

Dans les deux cas de crue de conception et de crue de Janvier 2003, le niveau supérieur du barrage sera dépassé dans le cas de la CMP, ce qui est dangereux dans le cas d'un réservoir à grande échelle comme le barrage de Siliana. Par conséquent, dans cette étude, les règles d'exploitation de la Retenue et les caractéristiques du barrage nécessaires pour faire face à la CMP seront examinées.

Tout d'abord, les caractéristiques actuelles du barrage ont été conservées, et il n'a été tenu compte que des règles d'exploitation de la Retenue, mais dans aucun des cas d'étude, il n'a été possible de se conformer à la CMP. Ensuite, le cas de la modification des caractéristiques du barrage et des règles d'exploitation de la Retenue a été examiné. Les cinq cas suivants sont considérés :

1. Cas d'ajout de déversoir d'urgence.
2. Cas de surélévation de la hauteur du barrage (Actuellement, la côte de la crête du barrage est EL. 398.0m).
3. Modification de la hauteur du débordement du déversoir régulier (de type débordement naturel) (Actuellement, la hauteur de la crête est El. 388,5 m).
4. Cas de définition d'un faible niveau d'eau initial (Niveau d'eau limite) pendant le période de crue (le niveau d'eau limite actuel est égale à El.112,0m).

De plus, une combinaison des 4 cas en-dessus a également été examinée. À la suite de l'examen des cas ci-dessus, les mesures suivantes sont nécessaires pour supporter la CMP de l'hydrogramme de crue de conception :

- Les règles d'exploitation de la Retenue existantes ne sont pas modifiées pour éviter la confusion sur

site.

- Il est nécessaire de doubler la capacité du déversoir d'urgence. Il est nécessaire de doubler la longueur de débordement naturel de la crête du déversoir d'urgence.
- Il est nécessaire de surélever la hauteur du barrage de 1.6m. Dans ce cas, il est également nécessaire d'augmenter le noyau central du barrage.

De plus, afin de garantir la capacité maximale d'eau à utilisation, le niveau de crête du déversoir de crue régulier de type Morning Glory est maintenu à EL. 388,5 m, et la limite du niveau d'eau pendant la période de crues (niveau d'eau initial) est fixée à EL. 388,5 m.

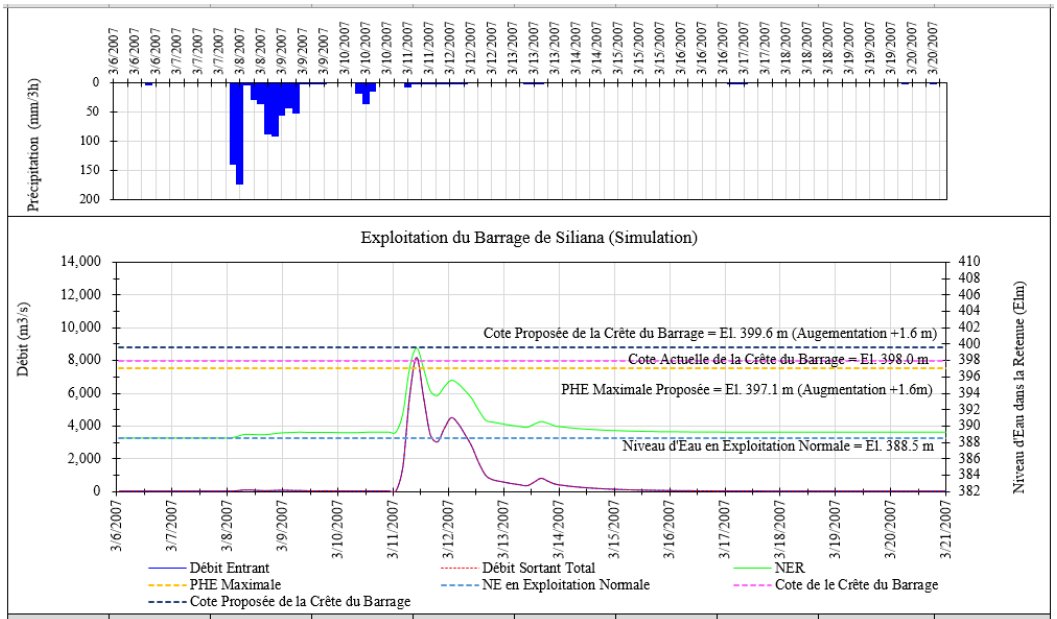
Si les mesures ci-dessus sont prises, la capacité du déversoir d'urgence doublée (2 fois) et la crête du barrage surélevée de + 1,6 m, le niveau des plus hautes eaux (PHE) sera à El. 397,1 m. La capacité de contrôle des crues de la Retenue du barrage de Siliana entre PHE (El. 397,1 m) et NEL (El. 388,5 m), augmentera de 1,29 fois de 51,7 millions de m^3 actuellement à 66,8 millions de m^3. En raison de ces mesures, la crue de conception (modèle de crue de Mars 2007) ne dépassera pas la crête supérieure du barrage avant la CMP et le modèle de crue de Janvier 2003 jusqu'à la probabilité de 1/10 000 ans.

En ce qui concerne l'exploitation du barrage de Siliana, il est recommandé de suivre les règles d'exploitation actuelles comme indiqué ci-dessous.

Tableau 3-59 Règles d'Exploitation de la Retenue du Barrage de Siliana (Règles Actuelles)

1. Si le niveau d'eau effectif dans la retenue de Siliana (la retenue) est au niveau d'eau normal (ou proche de ce niveau) et que le débit en amont de la Retenue (par exemple, le débit sortant de la Retenue Lakhmes ou à la Station d'Oussafa) est supérieur à la capacité maximale du canal de l'oued en aval de la Retenue, il est recommandé de pré-libérer la retenue par décharge de la capacité maximale du canal de l'oued par la sortie de fond.
2. La pré-libération de la Retenue doit être coordonnée avec le débit réel à la station de Slouguia et la décharge de la Retenue de Sidi Salem, de sorte que la capacité maximale d'oued Medjerda en aval du barrage de Sidi Salem ne soit pas dépassée.
3. Dès que le niveau d'eau dans la retenue atteint la crête non-contrôlée du déversoir (388,50 m), la sortie de fond du barrage de Siliana est progressivement fermée pour libérer un débit constant (égal à la capacité maximale du canal en aval de la Retenue) le plus longtemps possible. La sortie de fond est complètement fermée pendant la culmination de la vague de crue.
4. Dès que le niveau d'eau dans la retenue atteint PHEM (395,50 m), il est nécessaire d'ouvrir immédiatement les sorties de fond (partiellement ou complètement) si nécessaire pour arrêter l'augmentation du niveau d'eau.
5. Après la culmination du niveau d'eau dans la retenue, il est nécessaire de libérer le stockage de contrôle des crues. Au cours de la première période de décharge, l'eau de la Retenue déborde automatiquement du déversoir non-contrôlé. Après la diminution du stockage par le déversoir, l'eau de la Retenue est libérée avec la capacité maximale du canal d'oued Siliana en aval de la Retenue. Au cours de cette deuxième période, la sortie de fond est progressivement ouverte et la décharge à partir de la Retenue se poursuit jusqu'à ce que le niveau d'eau normal effectif dans la retenue soit atteint (c'est-à-dire que le stockage de contrôle des crues de la Retenue est libre).

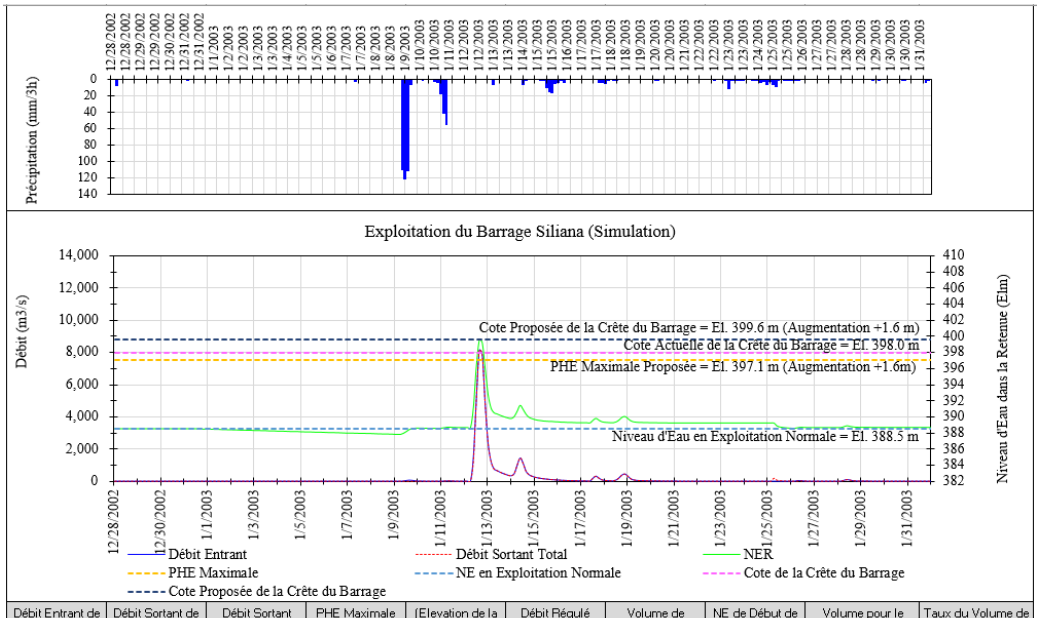
Source: Etude sur la Gestion Intégrée du Bassin Centrée sur la Lutte contre les Inondations dans le Bassin Medjerda JICA (2009)



Débit Entrant de Pointe	Débit Sortant de Pointe	Débit Sortant pour le Débit de Pointe Entrant	PHE Maximale	(Elevation de la Crête du Barrage) - (PHE Maximale)	Débit Régulé	Volume de Contrôle de Crue (A)	NE de Début de Contrôle de Crue	Volume pour le Contrôle de Crue (B)	Taux du Volume de Crue pour le Contrôle de Crue A/B
(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	(El.m)	(m)	(m³/s)	(million m³)	(El.m)	(million m³)	(%)
8,171	8,171	8,171	399.52	-0.08	0	92.2	388.50	66.8	138%

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-91 Résultats de calculs d'exploitation de la retenue du barrage de Siliana (règles actuelles/ caractéristiques proposées, hauteur du barrage+1,6m de surélévation, capacité du déversoir d'urgence doublée, modèle de crue de conception de 1/10,000)



Débit Entrant de Pointe	Débit Sortant de Pointe	Débit Sortant pour le Débit de Pointe Entrant	PHE Maximale	(Elevation de la Crête du Barrage) - (PHE Maximale)	Débit Régulé	Volume de Contrôle de Crue (A)	NE de Début de Contrôle de Crue	Volume pour le Contrôle de Crue (B)	Taux du Volume de Crue pour le Contrôle de Crue A/B
(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	(El.m)	(m)	(m³/s)	(million m³)	(El.m)	(million m³)	(%)
8,157	8,157	8,157	399.47	-0.13	0	91.6	388.50	66.8	137%

Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 3-92 Résultats de calculs d'exploitation de la retenue du barrage de Siliana (règles actuelles/ caractéristiques proposées, hauteur du barrage+1,6m de surélévation, capacité du déversoir d'urgence doublée, modèle de la crue de janvier 2003 de 1/10,000)

CHAPITRE 4 IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA ZONE CIBLE

4.1 Objectifs de l'étude

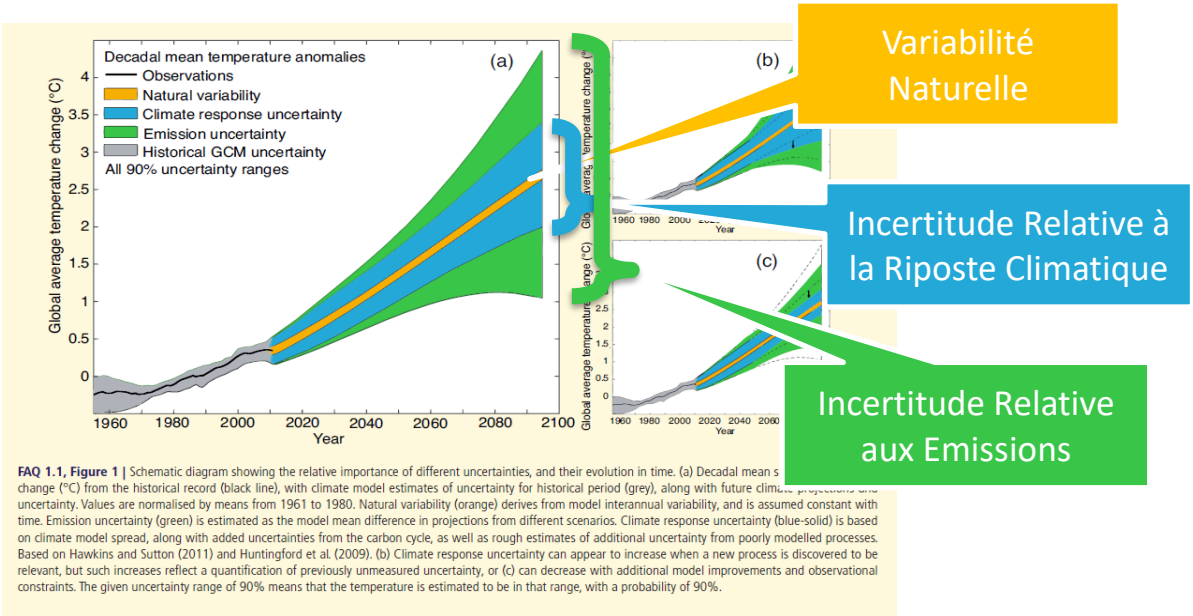
Les impacts futurs du changement climatique sur la zone cible ont été évalués et les effets de l'atténuation des risques du projet ont été discutés en référence au "JICA Climate-FIT". Les risques de changement climatique liés aux inondations ont été évalués étant donné que l'objectif du projet est de contrôler les inondations, de réduire l'apport de sédiments au barrage de Sidi Salem et de maintenir le fonctionnement des retenues.

4.2 Méthodologie

Les résultats des modèles MCG CMIP5, qui constituent les informations de base du cinquième rapport d'évaluation du GIEC, la source la plus autorisée au niveau international pour les projections des changements climatiques futurs, ont été utilisés comme source principale pour cette étude.

Étant donné que les résolutions spatiales de la grille de calcul des MCG sont d'environ 100 à 300 km et que l'échelle spatiale de la grille des MCG est trop approximative pour analyser le risque d'inondation pour le bassin versant de la Medjerda et que les MCG contiennent des erreurs systématiques, une correction de biais et une réduction d'échelle appropriées ont été appliquées aux résultats du MCG CMIP5 dans cette étude.

Les projections futures du changement climatique présentent une grande diversité qui est due à divers facteurs. Afin de comprendre les risques futurs induits par le changement climatique, il est souhaitable de couvrir les incertitudes contenues dans les projections du changement climatique. La Figure 4-1 présente une image schématique des types d'incertitudes contenues dans les projections des MCG. L'incertitude liée à la réponse climatique signifie que les différents MCG font des prévisions différentes pour l'avenir, même si les conditions sociales et de concentration des GES (gaz à effet de serre) sont établies dans les mêmes conditions. L'incertitude sur les émissions montre une grande diversité qui a été induite par différents scénarios sociaux et scénarios d'émissions de GES.



FAQ 1.1, Figure 1 | Schematic diagram showing the relative importance of different uncertainties, and their evolution in time. (a) Decadal mean s change (°C) from the historical record (black line), with climate model estimates of uncertainty for historical period (grey), along with future clim uncertainty. Values are normalised by means from 1961 to 1980. Natural variability (orange) derives from model interannual variability, and is assumed constant with time. Emission uncertainty (green) is estimated as the model mean difference in projections from different scenarios. Climate response uncertainty (blue-solid) is based on climate model spread, along with added uncertainties from the carbon cycle, as well as rough estimates of additional uncertainty from poorly modelled processes. Based on Hawkins and Sutton (2011) and Huntingford et al. (2009). (b) Climate response uncertainty can appear to increase when a new process is discovered to be relevant, but such increases reflect a quantification of previously unmeasured uncertainty, or (c) can decrease with additional model improvements and observational constraints. The given uncertainty range of 90% means that the temperature is estimated to be in that range, with a probability of 90%.

Source : 5E RAPPORT D'ÉVALUATION DU GIEC

Figure 4-1 Schéma des types d'incertitude et de leur ampleur

Dans cette étude, les politiques suivantes seront appliquées pour évaluer les risques de changement climatique liés aux inondations dans la zone cible.

- Les données horaires terrestres de l'ERA5 du CEPMMT (Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme) sont utilisées pour les informations climatiques actuelles ou historiques. Le Tableau 4-1 résume les spécifications de l'ERA5.
- Les scénarios RCP couvrent RCP 4.5 et 8.5, pour lesquels de nombreux résultats issus des MCG ont été publiés.
- 28 MCG sont couverts, pour lesquels les résultats RCP4.5 et 8.5 étaient disponibles. La liste des 28 MCG est présentée dans le Tableau 4-2.
- Pour la correction du biais et la réduction d'échelle à une grille de 0,5 degré, une méthode appelée TR3S qui a été développée chez NIPPON KOEI Co. a été appliquée. La TR3S est une méthode qui préserve les tendances climatiques tout en permettant une variabilité interannuelle en plus des caractéristiques statistiques prises en compte par les méthodes de biais courantes, telles que les valeurs climatiques mensuelles et leur distribution d'occurrence. Une description détaillée de la TR3S est disponible dans Water Resource Research, volume 55, numéro 5. Le site web, NK Climvault, fournit des informations sur les changements futurs des précipitations et des températures qui ont été évalués par la méthode de correction du biais TR3S pour les ensembles de données CMIP5. (Voir Figure 4-2).
- La réduction de la projection climatique future à 0,1 degré a été effectuée en utilisant la Méthode du Changement Delta (Delta Change Method), qui donne le taux de changement des précipitations climatiques futures par rapport aux précipitations climatiques actuelles.

Tableau 4-1 Résumé des données horaires terrestres de ERA-5

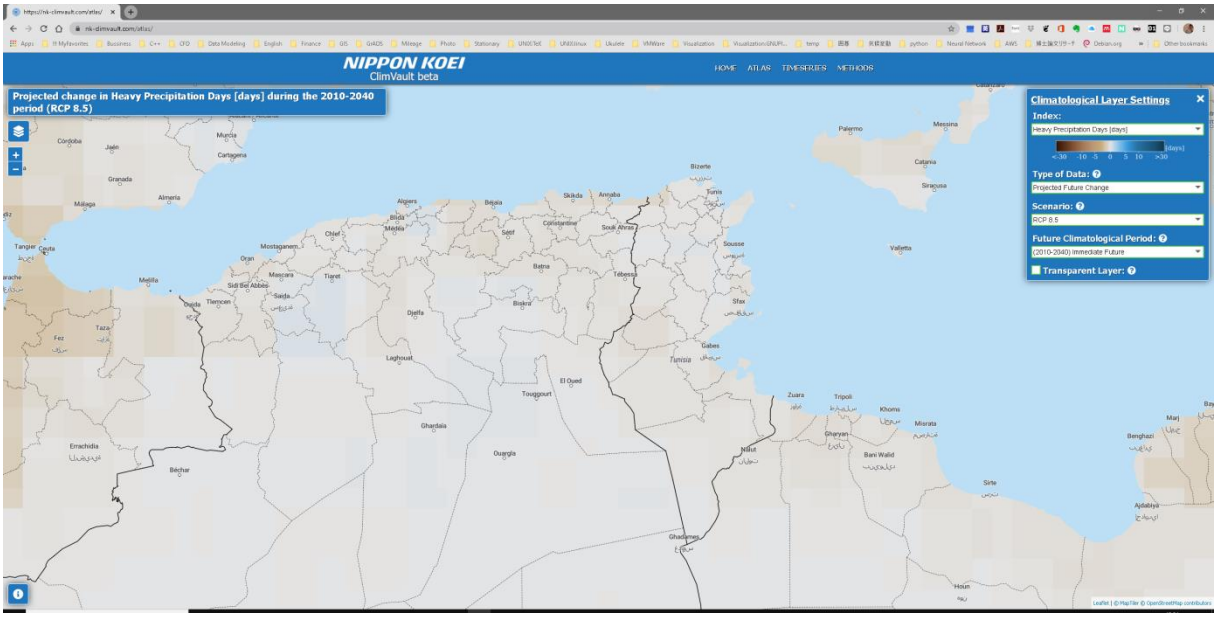
Elément	Description
Type de Donnée	Grille
Couverture horizontale	Global
Résolution horizontale	0,10×0,10 ; la résolution initiale est de 9 km.
Couverture verticale	De 2 m au-dessus de la surface, à une profondeur de 289 cm
Résolution verticale	"4 niveaux du modèle de surface du CEPMMT ; Couche 1 : 0-7cm Couche 2 : 7-28cm Couche 3 : 28-100cm Couche 4 : 100-289cm Certains paramètres sont définis à 2m de la surface".
Couverture temporelle	De janvier 1981 à aujourd'hui
Résolution temporelle	Toutes les heures
Format de fichier	GRIB
Fréquence de mise à jour	Tous les mois, avec un retard d'environ trois mois par rapport aux données réelles.

Source: https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-land?tab=overview

Tableau 4-2 Liste des MCG utilisés dans l'évaluation

No.	Nom du Modèle	No.	Nom du Modèle
1	ACCESS1-0	15	GFDL-ESM2M
2	ACCESS1-3	16	HadGEM2-CC
3	bcc-csm1-1-m	17	HadGEM2-ES
4	BNU-ESM	18	inmcm4
5	CanESM2	19	IPSL-CM5A-LR
6	CCSM4	20	IPSL-CM5A-MR
7	CESM1-BGC	21	IPSL-CM5B-LR
8	CESM1-CAM5	22	MIROC5
9	CMCC-CM	23	MIROC-ESM-CHEM
10	CMCC-CMS	24	MIROC-ESM
11	CNRM-CM5	25	MPI-ESM-LR
12	CSIRO-Mk3-6-0	26	MPI-ESM-MR
13	FGOALS-g2	27	MRI-CGCM3
14	GFDL-ESM2G	28	NorESM1-M

source: Equipe d'Etude de la JICA



Source: https://nk-climvault.com/

Figure 4-2 Image d'écran de NK-Climvault

4.3 Évaluation des Risques d'Inondation Liés au Changement Climatique

4.3.1 Indices d'Evaluation

Les indices de changement climatique de l''équipe d'experts sur le « Climate Change Detection Monitoring and Indices "ETCCDI/CRD" » ont été développés pour détecter le changement climatique par le groupe de recherche conjoint de l'équipe d'experts CCI/CLIVAR/JCOMM sur la détection et les indices de changement climatique (ETCCDI). Les indices liés aux inondations dans l'ETCCDI sont énumérés dans le Tableau 4-3.

Dans cette étude, les indices énumérés ci-dessous ont été appliqués pour évaluer le risque de changement climatique futur lié aux inondations. Ces indices ont été modifiés par rapport aux indices ETCCDI d'origine afin de rendre plus sensible la mesure du risque dans la zone cible.

- Moyenne des précipitations annuelles
- D99 : Le nombre annuel moyen de jours dans le climat futur pour dépasser le seuil des précipitations journalières qui est défini comme le 99e percentile des précipitations journalières dans le climat actuel ou historique.
- R99 : La quantité totale moyenne des précipitations journalières qui sont comptées en D99.
- Ipr: Valeur hydrologique extrême de l'intensité des précipitations pour des périodes de retour de 5, 10, 20, 50 et 100 ans.

Les précipitations quotidiennes moyennes du bassin versant par rapport à l'extrémité aval des blocs qui ont été adoptés dans le plan de lutte contre les inondations dans le cadre de ce projet ont été calculées et les indices ci-dessus ont été calculés et analysés dans un ensemble de 28 MCG, deux scénarios RCP.

Tableau 4-3 Indices ETCCDI pour la détection du climat extrême lié aux inondations

Indice	Description
R10mm	Comptage annuel des jours où PRCP>= 10mm : Soit RRij les précipitations quotidiennes amont du jour I dans la période j. Comptez le nombre de jours où : RRij >= 10mm
R20mm	Comptage annuel des jours où PRCP>= 20mm : Soit RRij les précipitations quotidiennes amont du jour i dans la période j. Comptez le nombre de jours où : RRij >= 20mm
Rnnmm	Comptage annuel des jours où PRCP>=nnmm, nn est un seuil défini par l'utilisateur : Soit RRij la quantité de précipitations quotidiennes du jour i de la période j. Comptez le nombre de jours où : RRij >= nnmm
R95pTOT	Total annuel de PRCP lorsque RR > 95p. Soit RRwj la quantité de précipitations quotidiennes lors d'un jour humide w (RR >= 1,0mm) dans la période I et soit RRwn95 le 95e centile des précipitations lors des jours humides dans la période 1961-1990. si w représente le nombre de jours humides dans la période, alors : R95pj = Somme(RRwj où RRwj > RRwn95
R99pTOT	Total annuel de PRCP lorsque RR > 99p. Soit RRwj la quantité de précipitations quotidiennes lors d'un jour humide w (RR >= 1,0mm) dans la période I et soit RRwn99 le 95e percentile des précipitations lors des jours humides dans la période 1961-1990. Si w représente le nombre de jours humides dans la période, alors : R99pj = somme(RRwj where RRwj > RRwn99

Source: http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml

4.3.2 Précipitations Annuelles Moyennes

L'évolution future des précipitations annuelles moyennes pour 28 MCG et 2 scénarios RCP a été tracée dans les diagrammes encadrés de la Figure 4-3.

Les précipitations annuelles dans tous les blocs ont été projetées à la baisse dans le futur. Certains modèles prévoient plus de précipitations que les conditions actuelles, mais pour la médiane et le quartile des distributions d'ensemble, la probabilité d'une diminution des précipitations annuelles est élevée.

Le scénario le plus chaud, le scénario RCP 8.5, se traduit par une diminution des précipitations annuelles plus importante que le scénario RCP 4.5. Dans le même scénario RCP, la diminution des précipitations annuelles est plus importante à mesure que le temps avance. Il est entendu que les précipitations annuelles dans la région du bassin fluvial de Medjerda continueront à diminuer au fur et à mesure que le réchauffement se poursuivra.

4.3.3 D99

D99 est le nombre de jours de pluie de la moyenne annuelle qui dépasse un seuil de 99 percentiles de pluie quotidienne dans les conditions climatiques actuelles. D99 est un indicateur simple de la fréquence des jours de pluie de forte intensité. La Figure 4-4 montre les changements de D99 dans le climat futur.

Le nombre de jours de pluie de forte intensité devrait également diminuer à mesure que le changement climatique futur évolue. Cependant, les évaluations dans un avenir proche, 2010-2039, montrent une légère augmentation du D99 dans tous les bassins versants.

4.3.4 R99

La Figure 4-5 montre l'évolution future de la quantité totale annuelle moyenne de précipitations quotidiennes qui dépasse un seuil de 99 percentiles de précipitations quotidiennes dans les conditions climatiques actuelles.

Comme pour l'évaluation de D99 mentionnée ci-dessus, il peut être confirmé que R99 diminuera au fur et à mesure que le changement climatique évoluera. Dans un avenir proche (2019-2039), R99 est légèrement supérieur à la valeur du climat actuel.

4.3.5 Ipr

Les intensités pluviométriques probables pour des périodes de retour de 5, 10, 20, 50 et 100 ans ont été calculées pour les climats actuel et futur sur la base des précipitations maximales annuelles de la durée prévue des précipitations (voir Tableau 4-4) pour les zones de bassins versants du plan de lutte contre les inondations, et le taux de changement du climat actuel vers le climat futur a été évalué.

Les Figure 4-6 àFigure 4-10 montrent les diagrammes de distribution de la variation des précipitations probables pour chaque zone de bassin versant pour chaque période de retour.

Dans le futur proche, la médiane de la distribution projetée des MCG a été évaluée comme étant légèrement supérieure à celle du climat actuel. Dans le futur à moyen terme, elle est presque la même ou légèrement plus élevée que celle du climat actuel. Dans un avenir à long terme, la médiane sera presque la même que celle du climat actuel ou légèrement moins élevée.

Tableau 4-4 Durée prévue des précipitations pour les zones du plan de lutte contre les inondations

Zones du plan de lutte contre les inondations	Durée prévue des précipitations (jours)
U1	2 Jours
M	3 Jours
U1+M+U2	5 Jours
U1+M+U2+D1	6 Jours
U1+M+U2+D1+D2	6 Jours

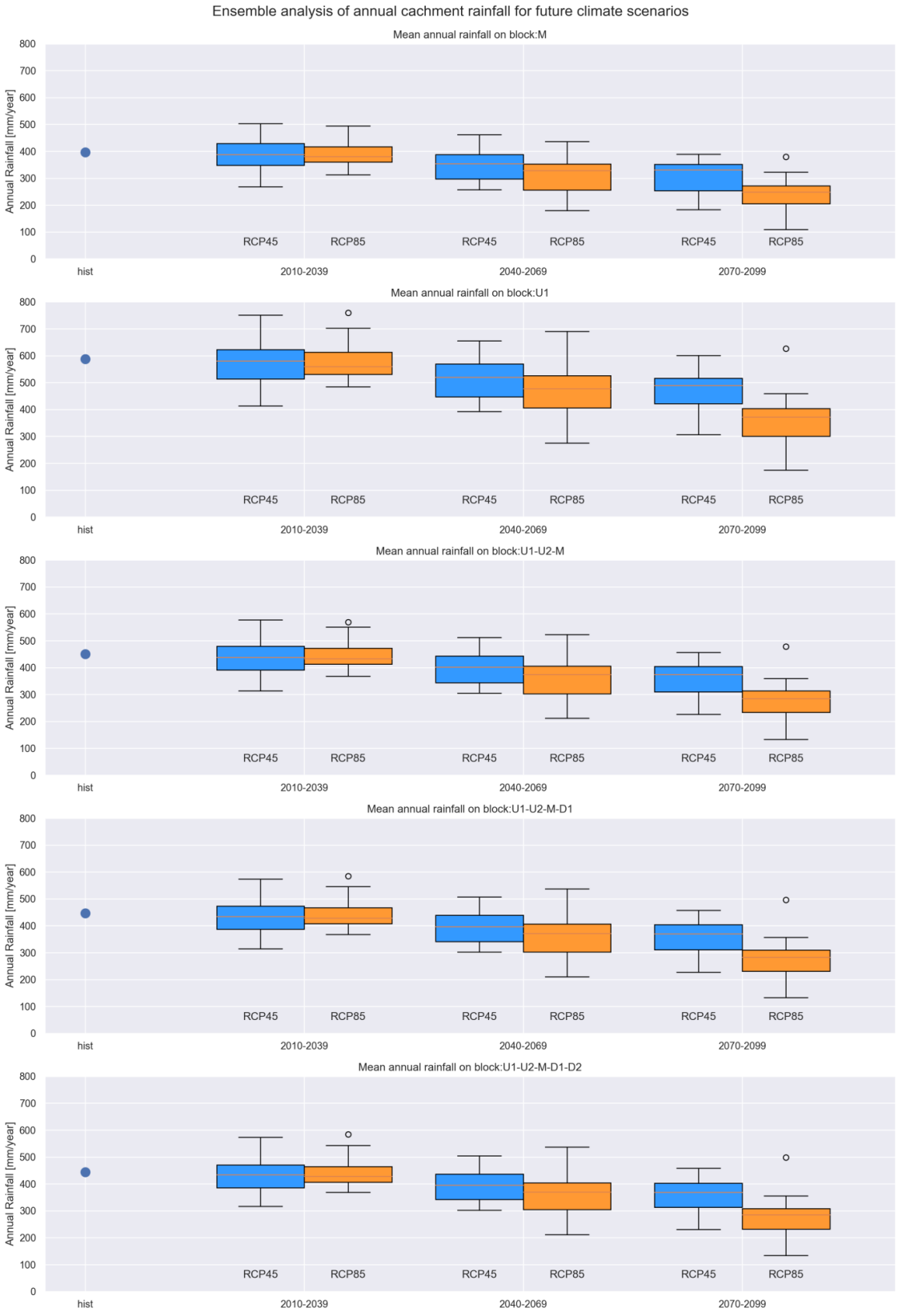
4.4 Changement Climatique : Risque d'Inondation dans le Bassin de la Medjerda

Une analyse d'ensemble des précipitations dans un avenir proche, moyen et à long terme a été réalisée à l'aide de la projection climatique future CMIP5. L'analyse a permis d'identifier le risque de changement climatique suivant dans le bassin de la Medjerda.

- Les précipitations annuelles moyennes vont diminuer à l'avenir. Comme les émissions de gaz à effet de serre augmenteront, on prévoit que la baisse des précipitations annuelles sera plus importante.
- La fréquence et la quantité des inondations provoquant des précipitations dans le climat du futur proche 2010-2039 devraient être à peu près identiques à la situation actuelle ou légèrement supérieure. Toutefois, la fréquence et la quantité des précipitations diminuent à moyen terme (2030-2069) et à long terme (2070-2099).
- Par conséquent, le risque de changement climatique lié aux inondations dans la région de la

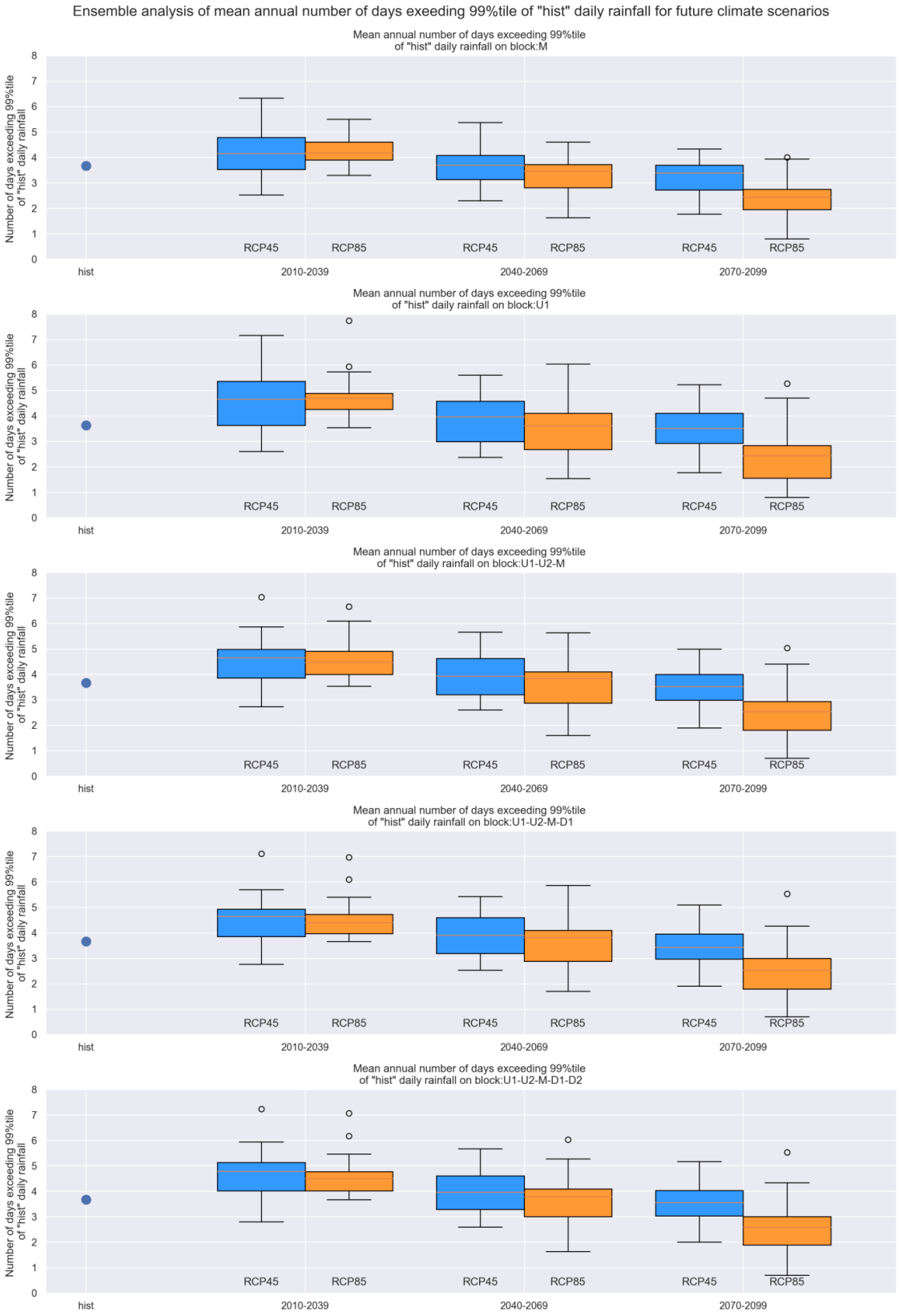
Medjerda devrait devenir moins important, car la situation reste largement inchangée par rapport à la situation actuelle.

- D'autre part, il est certain que les températures vont augmenter à l'échelle mondiale, et le risque lié aux ressources en eau devrait être considérablement plus grave en raison de la diminution des précipitations annuelles.
- Pour lutter contre la sédimentation dans la retenue du barrage de Sidi Salem étudié dans ce projet, il est absolument nécessaire d'évacuer les eaux de crue contenant de fortes concentrations de sédiments plusieurs fois par an à partir du tunnel de dérivation. Il est important de promouvoir une gestion durable de l'eau du barrage en combinaison avec l'amélioration du canal de la rivière en aval.



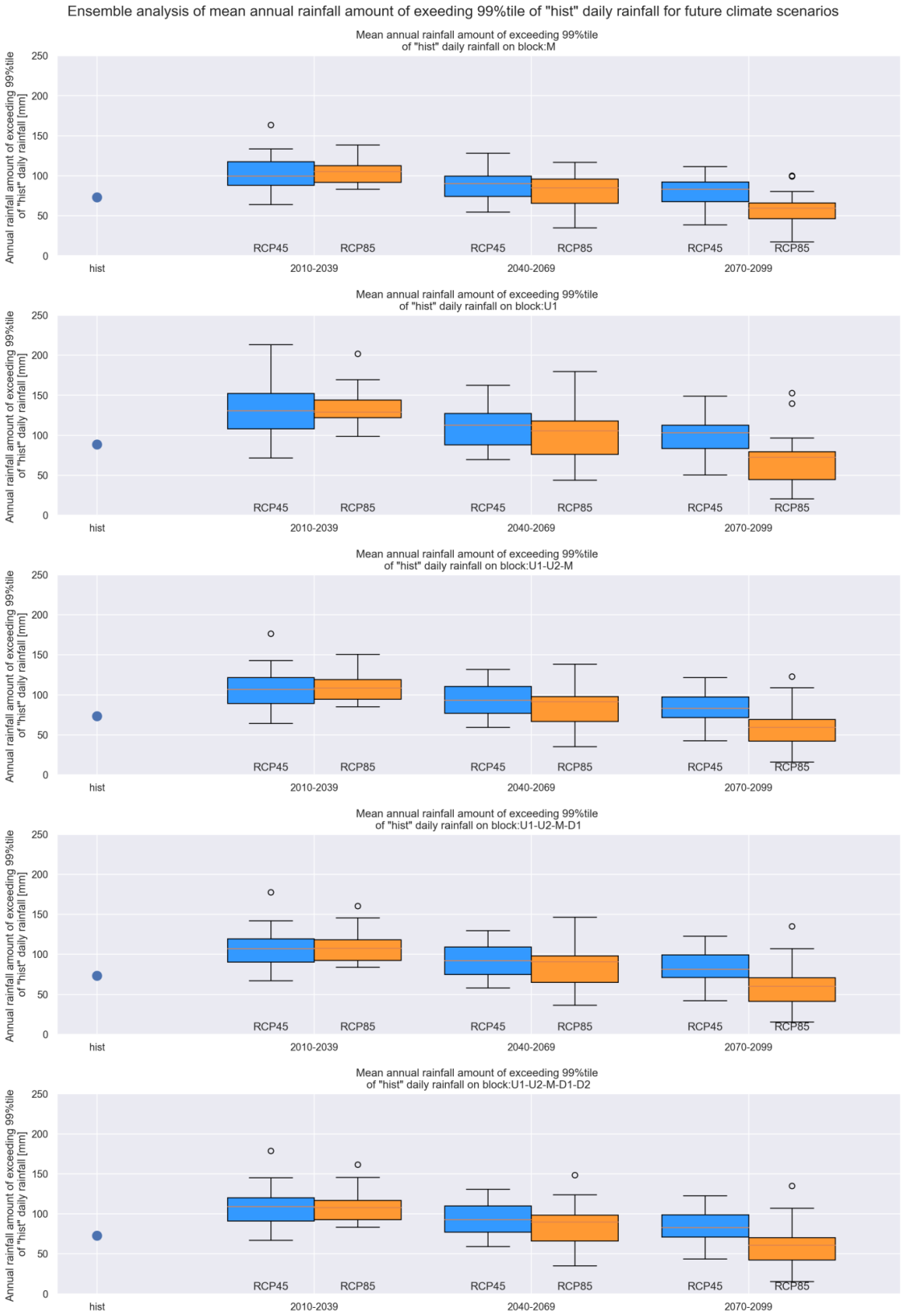
Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 4-3 Évolution de la pluviométrie annuelle moyenne pour les scénarios climatiques futurs



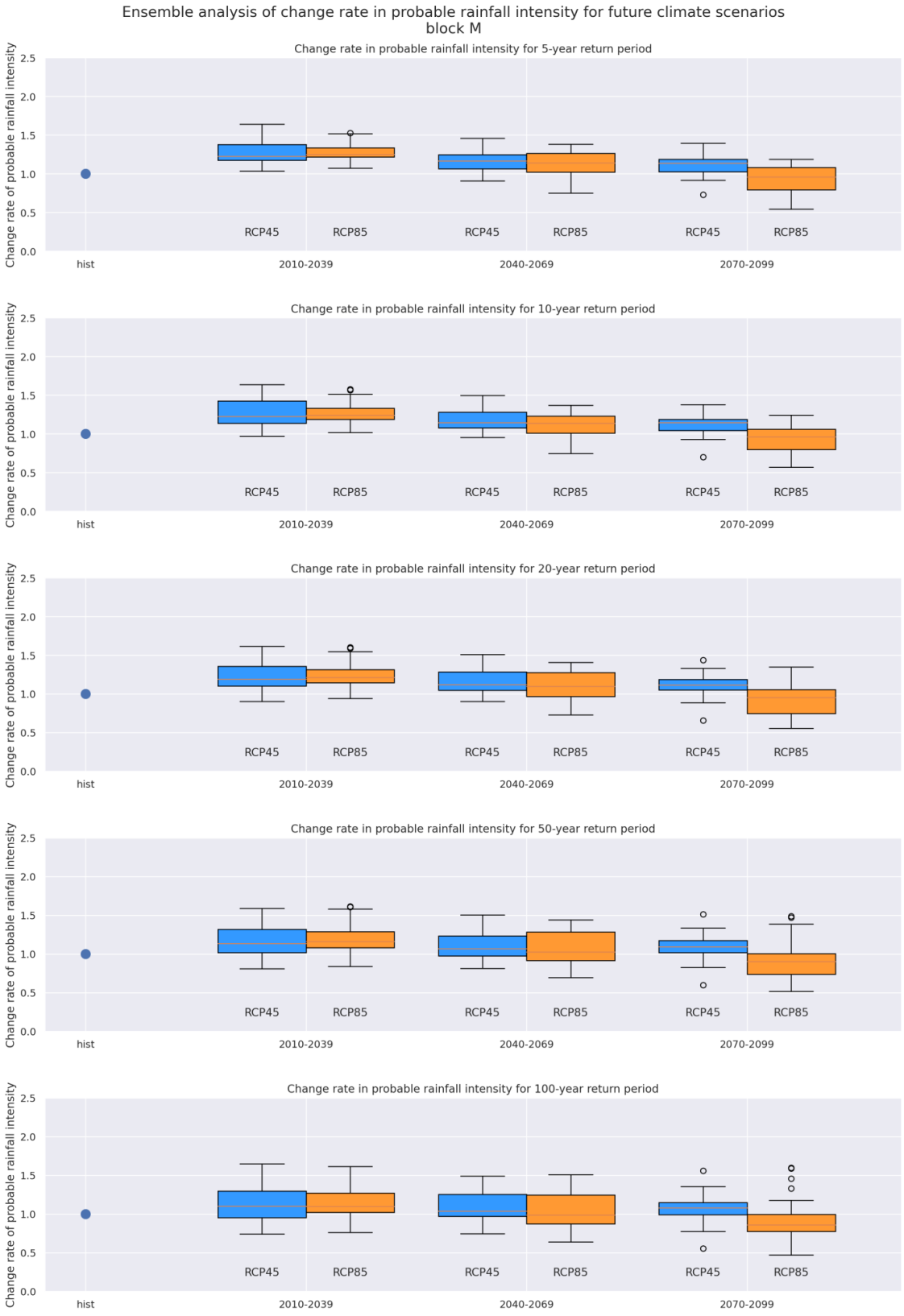
Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 4-4 Changements dans le D99 pour les futurs scénarios climatiques



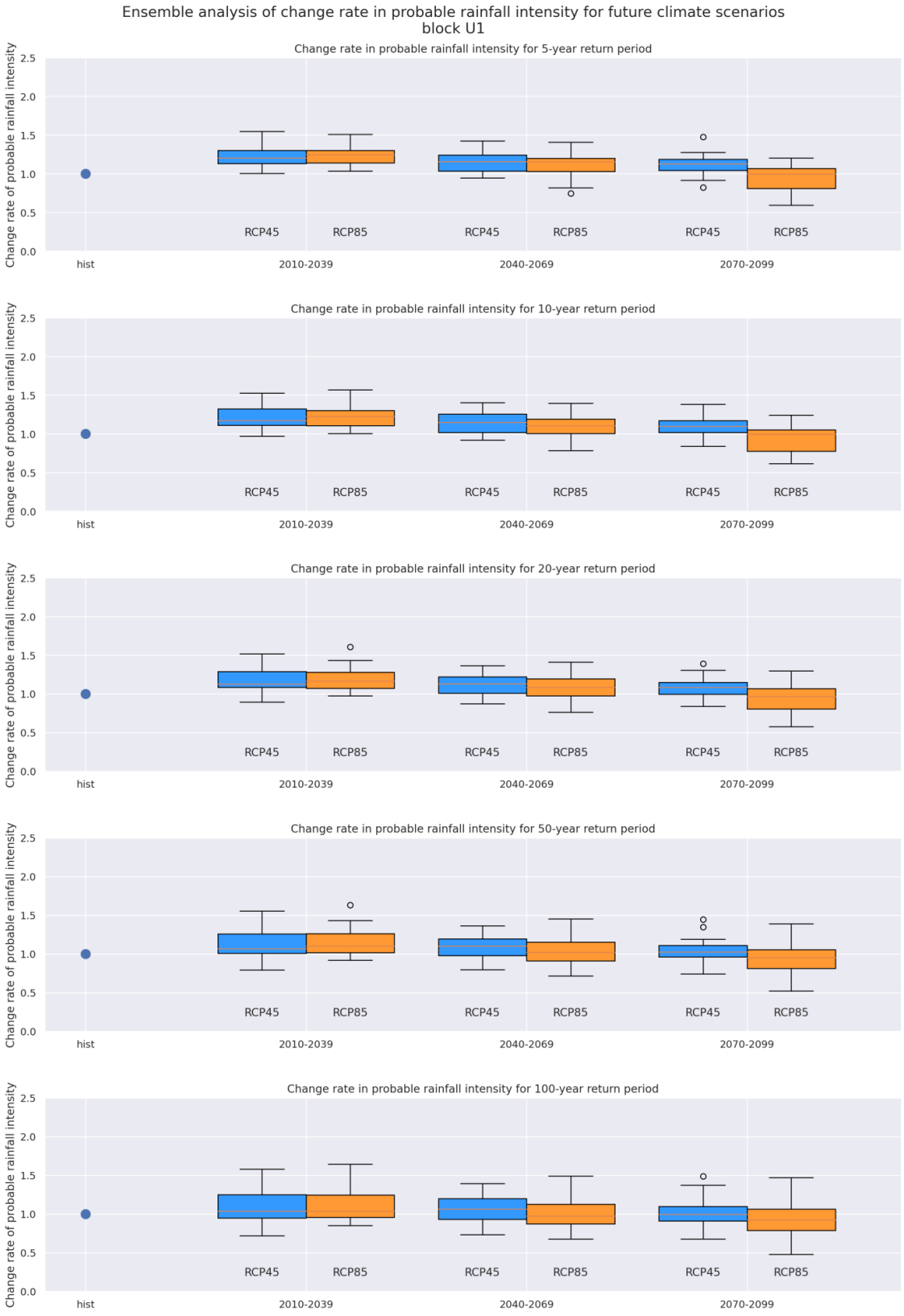
Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 4-5 Changements dans le R99 pour les futurs scénarios climatiques



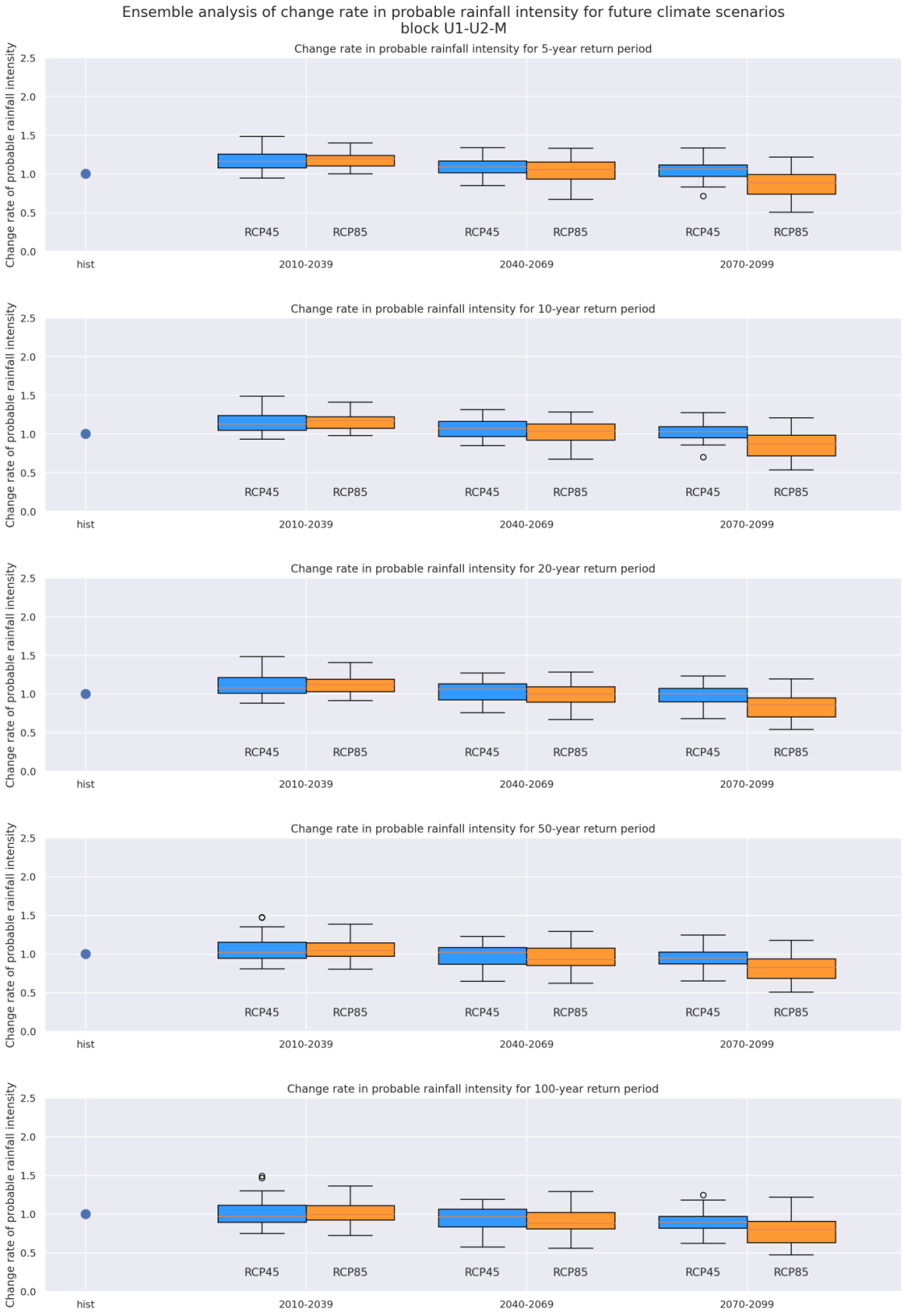
Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 4-6 Analyse d'ensemble du taux de changement de l'intensité des précipitations probables pour les scénarios climatiques futurs pour le bloc M



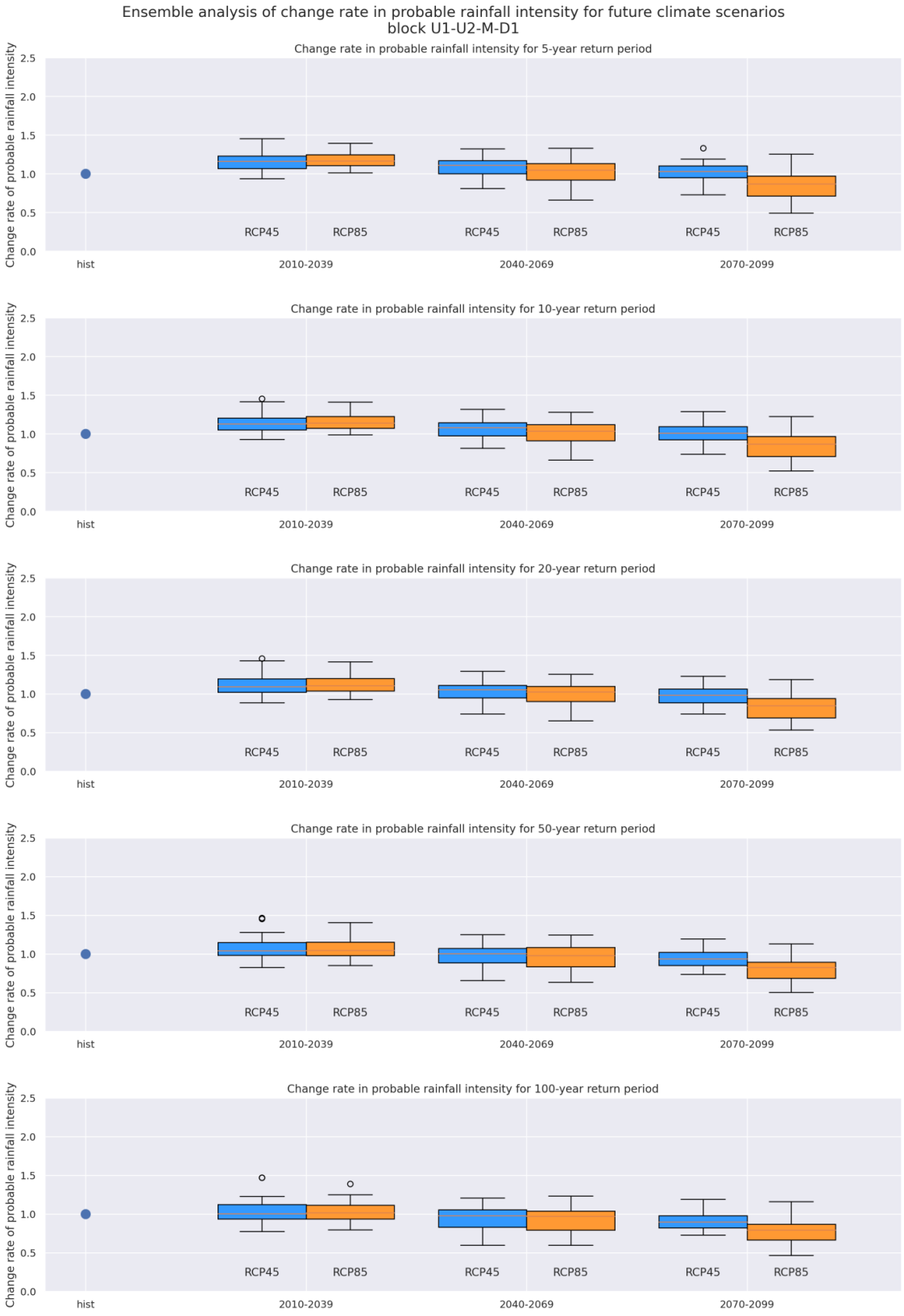
Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 4-7 Analyse d'ensemble du taux de changement de l'intensité des précipitations probables pour les scénarios climatiques futurs pour le bloc U1



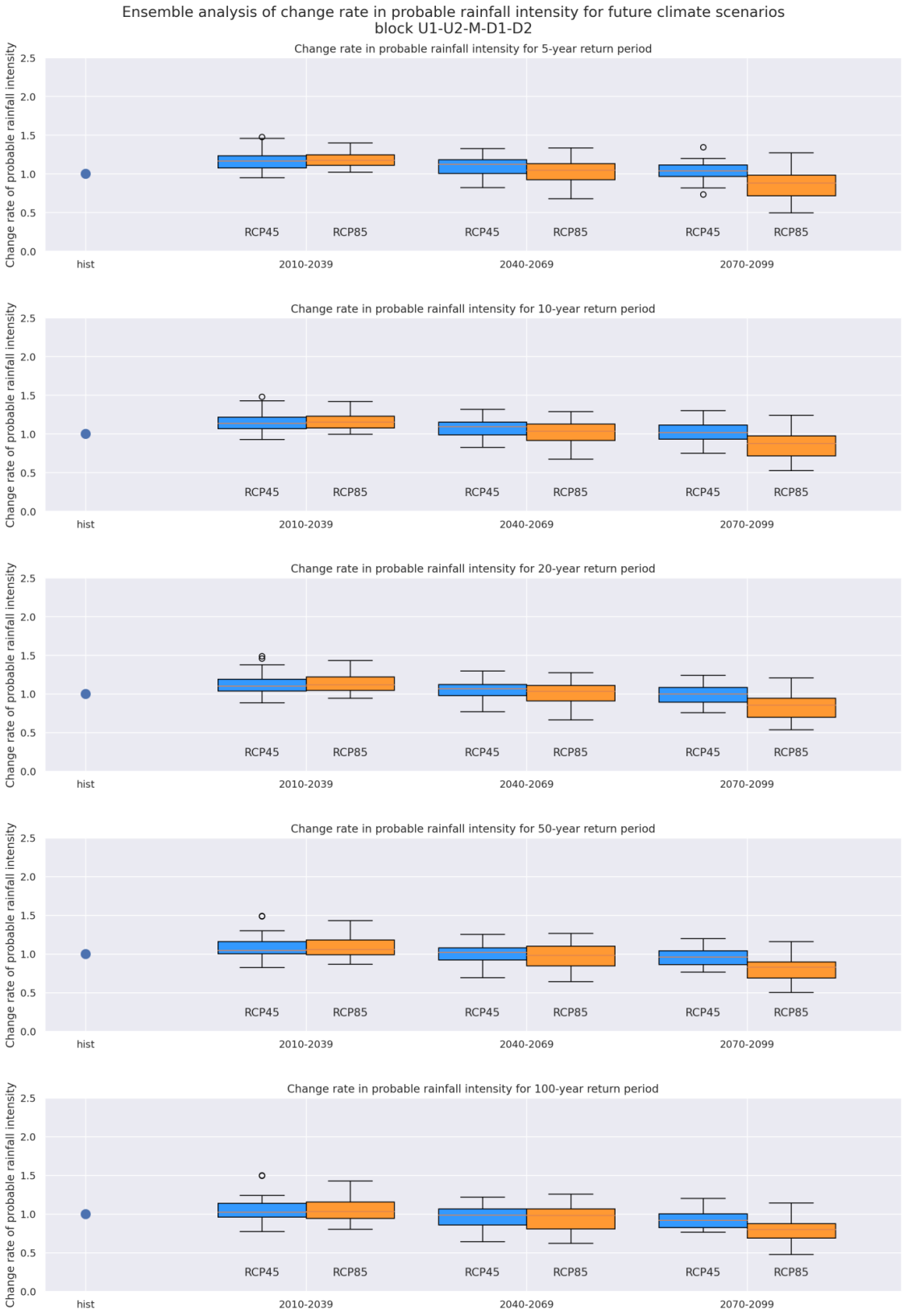
Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 4-8 Analyse d'ensemble du taux de changement de l'intensité des précipitations probables pour les scénarios climatiques futurs pour le bloc U1-U2-M



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 4-9 Analyse d'ensemble du taux de changement de l'intensité des précipitations probables pour les scénarios climatiques futurs pour le bloc U1-U2-M-D1



Source: Equipe d'Etude de la JICA

Figure 4-10 Analyse d'ensemble du taux de changement de l'intensité des précipitations probables pour les scénarios climatiques futurs pour les blocs U1-U2-M-D1-D2

CHAPITRE 5 SITUATION ACTUELLE DE LA SEDIMENTATION DU BARRAGE DE SIDI SALEM ET DU RESERVOIR

5.1 Barrage de Sidi Salem

5.1.1 Caractéristiques Principale du Barrage de Sidi Salem

Le barrage de Sidi Salem est le plus grand barrage de la Tunisie réalisé en 1981. C'est un barrage polyvalent qui a des fonctions de contrôle de crues, d'utilisation de l'eau, y compris l'eau municipale / eau d'irrigation et la production d'électricité avec 20-36 MW. Il contribue au contrôle de crues, au développement agricole en aval par l'eau d'irrigation, l'approvisionnement en eau municipale et la production d'énergie. Il a de grands effets économiques à Tunis et dans ses environs.

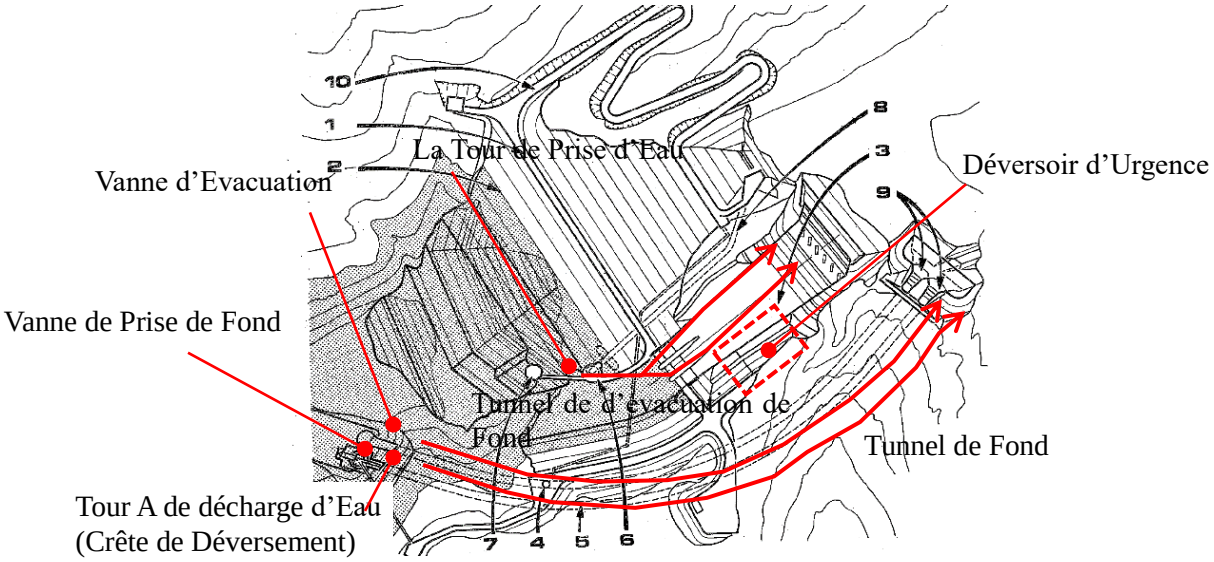
Le barrage est un barrage polyvalent en enrochement avec un réservoir de superficie de 80 à 90 km^2 et un volume de 977 millions de m^3.

Les principales caractéristiques du barrage et du réservoir de Sidi Salem sont présentées dans le Tableau 5-1.

Tableau 5-1 Caractéristiques principale du barrage de Sidi Salem et son réservoir

Achèvement	1981	Niveau d'Eau Normal	*EL.115,0 m
Objective	Irrigation, Eau Potable, Production d'Energie, Contrôle d'Inondation	Niveau d'Eau de Surcharge	EL.118,5 m
Type de Barrage	En Enrochement	Niveau d'Eau Maximum	EL.119,5 m
Hauteur du Barrage	70 m	Déversoir (Vanne Radiale)	15 m x13,50 m x 3 nos.
Longueur de la Crête	340 m	Hauteur de la Crête	EL.122,0 m
Volume du Réservoir	977, 000, 000 m^3	Capacité d'Energie Hydroélectrique Installée	36 MW (Fct. Normal 20 MW)
Bassin Versant	18,250 km^2	Débit d'évacuation (Tour de Prise)	700 m^3/sec
Surface du Réservoir	About 90 km^2	Débit d'évacuation (Déversoir d'Urgence)	Max 4,200 m^3/sec
Périmètre Irrigué	16,600 ha (Amélioré 32,800 ha)	Débit d'évacuation (Installation d'Evacuation des Sédiments)	600 m^3/sec

*Un changement important du barrage de Sidi Salem a eu lieu avec l'élévation de la tour de débordement, à savoir le niveau normal de l'eau, qui a été augmenté de la côte initiale de 110,0 m à 111,5 m (en 1997) puis à 115,0 m (automne 1999).



Source: Barrage Sidi Salem sur l'Oued Medjerda, Ministère d'Equipment, Tunisie

Figure 5-1 Plan et photo du barrage de Sidi Salem

5.1.2 Fonctionnement du Barrage de Sidi Salem

Le barrage de Sidi Salem a principalement deux fonctions : le contrôle de crues et l'utilisation de l'eau. La répartition de la capacité de stockage du barrage de Sidi Salem est illustrée à la Figure 5-2. En général, la capacité de sédiments du barrage est attribuée à la partie inférieure de la capacité de stockage effective constituée de la capacité de contrôle des crues et de la capacité d'utilisation de l'eau. Cependant, ce plan principal n'a pas été clairement indiqué dans les rapports ou documents de la phase initiale d'aménagement du barrage par la DGBGTH (MoA).

Dans cette étude SAPI, l'état des sédiments est classé en fonction de l'attribution de la capacité de stockage illustrée ci-dessus.

Il existe plusieurs installations d'entrées et de sorties selon les besoins. Ces installations sont exploitées comme suit.

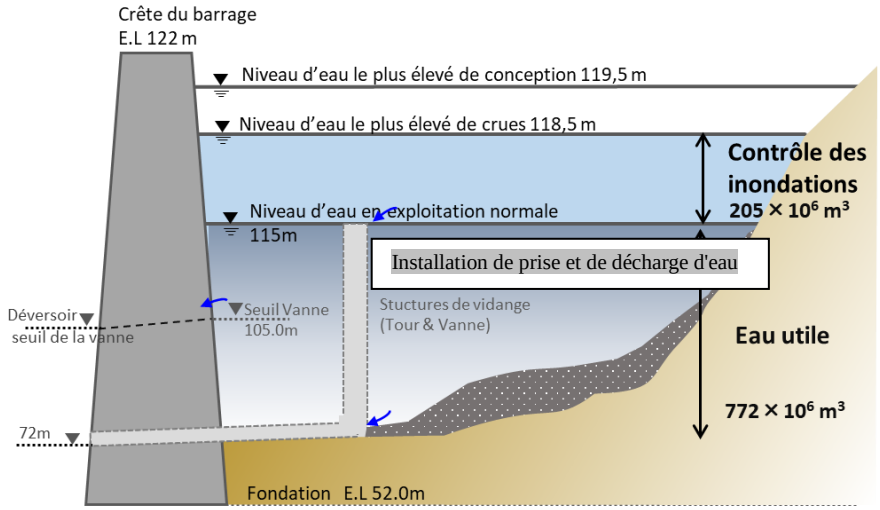


Figure 5-2 Répartition des capacités de la retenue du barrage de Sidi Salem

(1) Contrôle de Crues

Le contrôle de crues est opéré par un débordement naturel depuis le sommet de la tour de prise. La tour de prise a une prise et une vanne de 2 m × 2 m au fond. Cependant, cette vanne n'a pas été utilisée pour la prise d'eau pendant les dernières années. Le déversoir d'urgence est situé sur la rive droite. Cependant, la vanne n'a jamais été ouverte depuis le début d'exploitation du barrage.

(2) Utilisation de l'Eau

La plupart d'eau, y compris celle d'irrigation et d'utilisation domestique, provient de la tour de prise pour la production d'énergie hydroélectrique. L'eau arrive par une tour à 3 vannes, dont deux à la côte 89,00 m et la troisième à 97,50 m. L'eau s'écoule à travers un tunnel au fond dans le côté droit du barrage.

(3) Evacuation

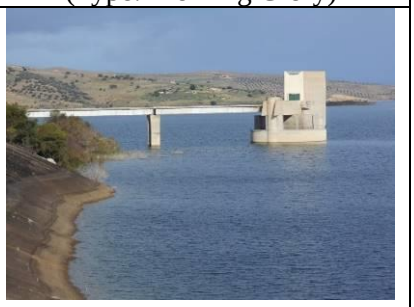
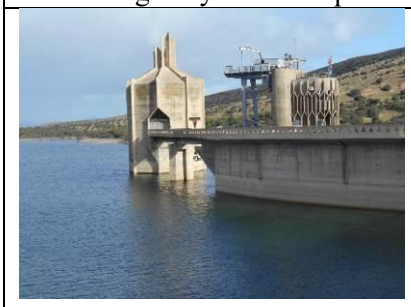
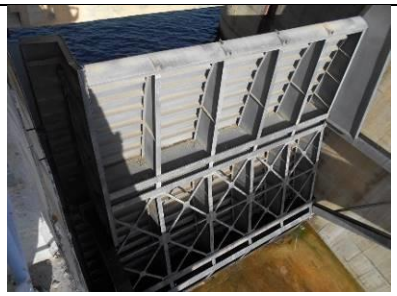
Entre 1982 et 2005, l'une des opérations importantes de barrage appelée « opération d'évacuation » a été adoptée pendant chaque crue. L'installation pour "l'opération de désensablement" est située à côté de la tour de prise d'eau (contrôle des inondations) susmentionnée, qui a une capacité de décharge maximale de 600 m^3/s et est équipée d'une vanne au fond de la retenue. Des essais de laboratoire relatifs aux caractéristiques physiques / chimiques et à la qualité d'eau ont été effectués pour l'identification des caractéristiques des sédiments. Bien que « l'opération d'évacuation » soit reconnue par son efficacité contre la sédimentation, elle n'a pas été menée depuis 2005 en raison du contexte économique d'économie d'eau.

5.1.3 Entretien du Barrage de Sidi Salem

Les installations mécaniques telles que le déversoir d'urgence et les vannes d'évacuation sont régulièrement entretenus par le personnel de la direction. Le déversoir d'urgence a une étanchéité appropriée et il n'y a pas de fuite d'eau. L'entretien régulier des vannes d'évacuation a été réalisé pour éviter le colmatage de la vanne d'évacuation par les sédiments.

Lors de la visite de l'équipe d'étude du barrage, la vanne d'évacuation a été actionnée et aucun problème n'a été détecté. Le levé bathymétrique du réservoir n'a été réalisé que quatre fois entre son achèvement (1981) et 2018.

Tableau 5-2 Installations du barrage de Sidi Salem

Bureau d'O&E	Crête du Barrage	Tour de Prise (Type: Morning Glory)
		
Tour de Prise pour la Production d'Energie Hydroélectrique	**Chute du Déversoir d'Urgence**	**Déversoir d'Urgence – Vanne Tainter**
		
Crête du Barrage (Coté Amont)	**Entretien de la Vanne d'Evacuation**	**Réparation du Déversoir d'Urgence**

5.1.4 Amélioration de l'Installation de la Tour de Prise du Barrage de Sidi Salem

La côte initiale de la tour de prise était de 110,0 m. Après le démarrage de l'exploitation du barrage, la crête de la tour a été surélevée de 5,0 m entre 1997 et 1999 dans le but d'augmenter la capacité de stockage pour l'utilisation de l'eau du réservoir. La crête est passée de l'élévation initiale de 110,0 m à 111,5 m en 1997, puis à 115,0 m en 1999.

Cette amélioration de la tour a augmenté la capacité d'utilisation d'eau de conception de 40%, passant de 550 millions de m^3 à 772 millions de m^3. En revanche, la capacité de conception de contrôle des crues a été réduite de 52%, passant de 427 millions de m^3 à 205 millions de m^3.

Par conséquent, avec la capacité actuelle de contrôle des crues, le barrage de Sidi Salem n'est pas en mesure de faire face au volume de crue centennale considéré dans le plan d'exploitation initial.

Actuellement, le niveau d'eau moyen après aménagement est d'environ 111,0 m, et l'eau est rarement

stockée jusqu'à la cote 115,0 m (le niveau actuel de pleine eau), sauf pendant les inondations.

5.2 Etat de la Sédimentation dans le Barrage de Sidi Salem

L'état récent de la sédimentation du barrage de Sidi Salem est décrit ci-dessous.

5.2.1 Etat de la Sédimentation dans le Réservoir du Barrage

(1) Historique d'Evolution du Volume de Sédimentation dans le Réservoir

L'évolution historique du volume de sédimentation du réservoir est résumée sur la Figure 5-3. Le volume total de sédimentation a atteint 191 millions de m^3 en 2018.

Il est communément considéré que les inondations à grande échelle affectent grandement la progression de la sédimentation. Cependant, il est difficile d'établir la relation entre les crues et l'occurrence réelle de la sédimentation, vu que les relevés bathymétriques précédents ne correspondent pas aux mêmes périodes d'inondations. La relation entre l'occurrence des crues précédentes et la sédimentation est examinée au Chapitre 7, sur la base des résultats du calcul de récurrence, à l'aide de l'analyse unidimensionnelle de fluctuation du lit de l'oued.

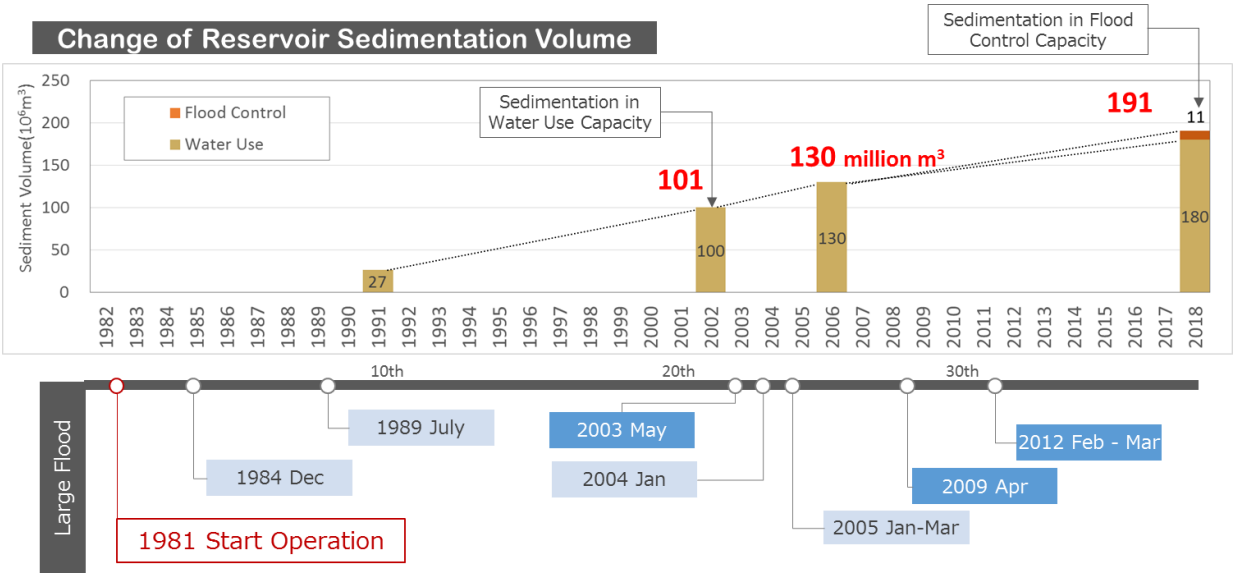


Figure 5-3 Historique d'evolution du volume de sédimentation dans le réservoir

(2) Perte de la Capacité du Barrage

En raison de la sédimentation, la capacité du réservoir a été perdue. Il est à noter que la sédimentation totale de 191 millions de m^3 est piégée dans le réservoir au cours des trente-six (36) dernières années depuis le début de l'exploitation du barrage. En d'autres termes, la capacité totale effective actuelle est de 786 millions de m^3. Environ 20% du stockage brut initial, soit 977 millions de m^3, ont été perdus engendrant une diminution de la capacité de contrôle de crue de 6% et de la capacité d'utilisation de l'eau de 23% comme illustrée sur la Figure 5-4.

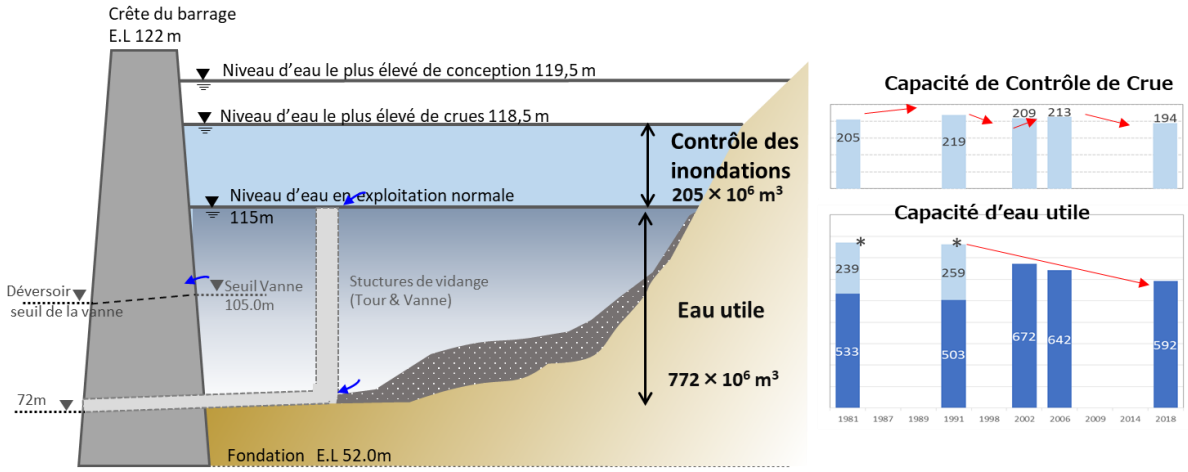


Figure 5-4 Variation de la capacité du réservoir

(3) Distribution en Plan de la Sédimentation dans le Réservoir

La distribution en plan de la hauteur des sédiments dans le réservoir, montrant la différence d'élévation entre 1972 et 2018, est illustrée sur la Figure 5-5. La distribution confirme que la sédimentation est présente dans toutes les zones du réservoir. La hauteur des sédiments, évaluée par la variation de la côte du lit original de l'oued (1972) et l'état actuel, est supérieure à 12 m. La quantité de sédiments est en augmentation dans les zones C, D et E. Une sédimentation s'est également produite dans la zone de capacité de contrôle des crues des zones E et F où le lit d'origine est élevé. En ce qui concerne le pourcentage du volume total de sédiments, 191 millions de m^3, la distribution est de 12% en A, 8,5% en B, 21,4% en C, 23% en D, 22,7% en E et 12,4% en F.

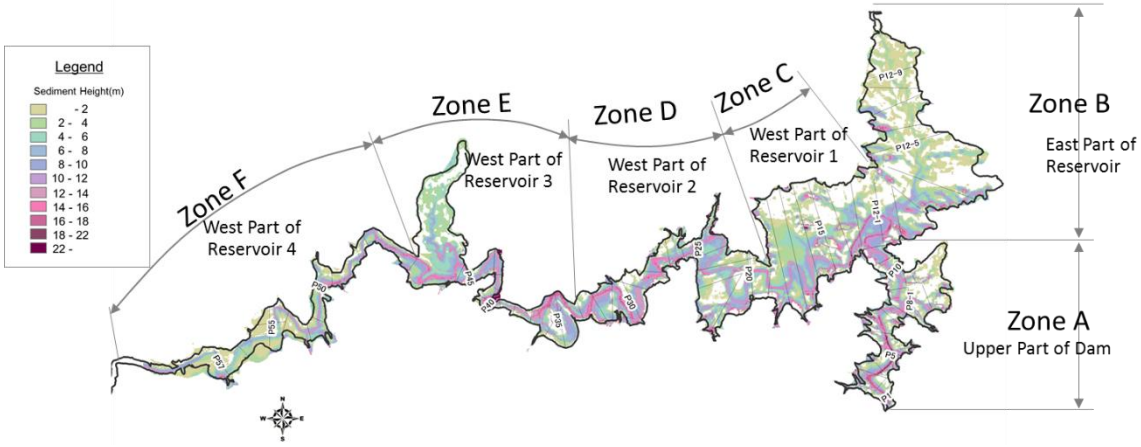


Figure 5-5 Hauteur des sédiments dans la retenue de Sidi Salem (2018)

(4) Analyse Granulométrique de la Sédimentation dans la retenue

La distribution granulométrique de la sédimentation dans le réservoir est illustrée sur la Figure 5-6: Ces sédiments sont composés d'argile à raison de 30 à 45% et de limon à raison de 55 à 70% dans chaque zone.

Aucune différence significative entre les zones du réservoir n'a été observée. Les échantillons de sédiments sont tous consolidés.

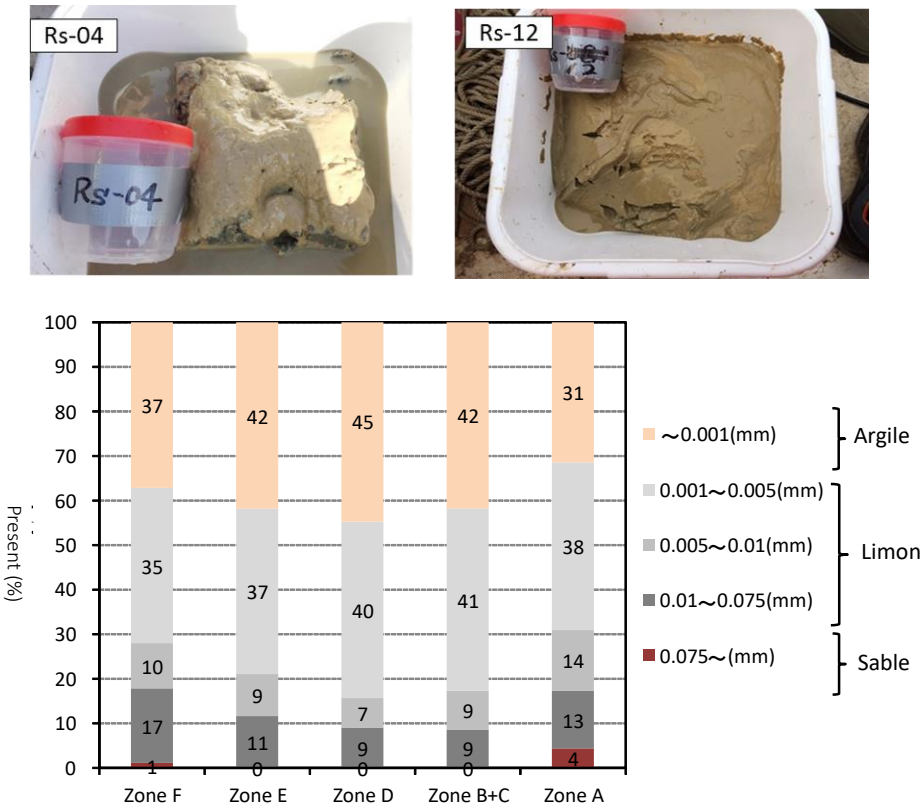


Figure 5-6 Echantillon de sédiment et distribution granulométrique dans chaque zone

5.3 Mécanisme de la Sédimentation dans le Réservoir de Sidi Salem

(1) Profil en Long de la Sédimentation (Lit le plus bas)

La Figure 5-7 montre le profil longitudinal des sédiments le long du lit le plus bas de l'oued. Une sédimentation épaisse est répartie sur tout le réservoir. L'épaulement sédimentaire se forme entre la zone E et D. Le niveau d'eau devient plus profond à partir de la zone D vers l'aval.

Il devient soudainement plus profond en aval de la zone D. En comparant les données de 2006 et 2018, il a été confirmé que l'épaulement de sédiments s'est déplacé de l'extrémité amont de la zone E à l'extrémité amont de la Zone D d'environ 8 à 10 km. L'épaisseur des sédiments de la zone B est inférieure à celle de la zone E de la même altitude. Par conséquent, on suppose que l'apport de sédiments des petits affluents dans la zone B est faible.

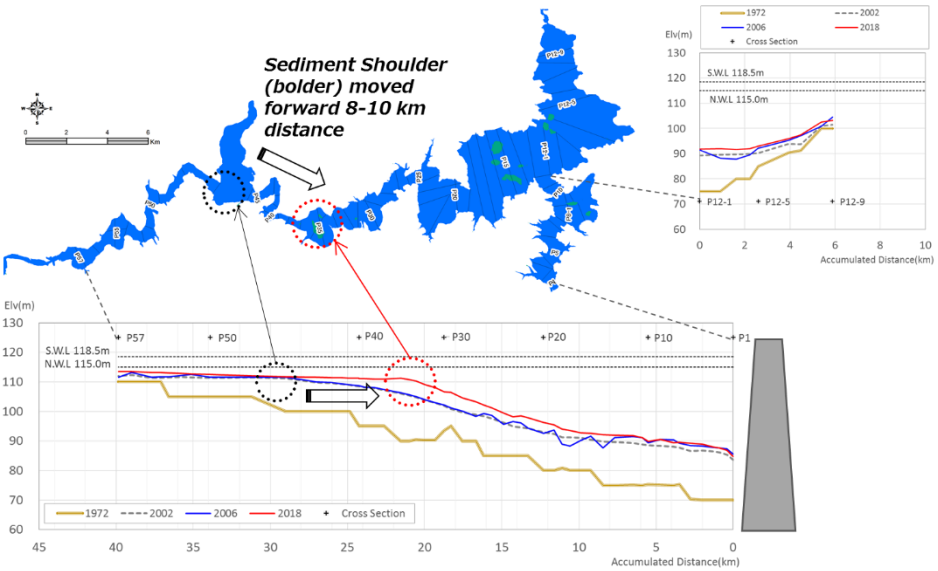


Figure 5-7 Variation du profil en long

(2) Mécanisme de la Sédimentation dans le Réservoir de Sidi Salem

Sur la base de la distribution granulométrique du dépôt des sédiments et les résultats des levés topographiques, le mécanisme de sédimentation dans le réservoir de Sidi Salem est résumé comme suit.

- La plupart des sédiments entrants proviennent du cours principal de Medjerda. Ils se composent de limon et d'argile avec des diamètres inférieurs à 5 μm représentant 70 à 80%.
- La vitesse de sédimentation étant très faible, le dépôt en section peu profonde est petit et grand en section profonde. L'eau avec une turbidité élevée est plus lourde que l'eau propre et elle coule au fond du réservoir sous forme d'écoulement de densité. Le débit se propage sur tout le réservoir et dépose les sédiments.
- Dans les sections peu profondes telles que les zones F et E, les sédiments s'écoulent sans sédimentation, sauf dans les sections larges. Des plaines inondables de méandres et d'affluents, comme Oued Beja, existent dans ces zones. La rétention d'eau trouble dans ces zones avec des sections plus larges peut provoquer des dépôts locaux.
- Dans les sections profondes telles que les zones D à A, l'eau avec turbidité élevée s'écoule vers le fond sous forme d'écoulement de densité. Il y a un épaulement delta dans la zone D et on s'attend à ce qu'il progresse dans l'avenir. Les zones B et C sont des zones profondes avec de larges sections. L'eau trouble s'est largement répandue, entraînant une sédimentation sur toute la zone.

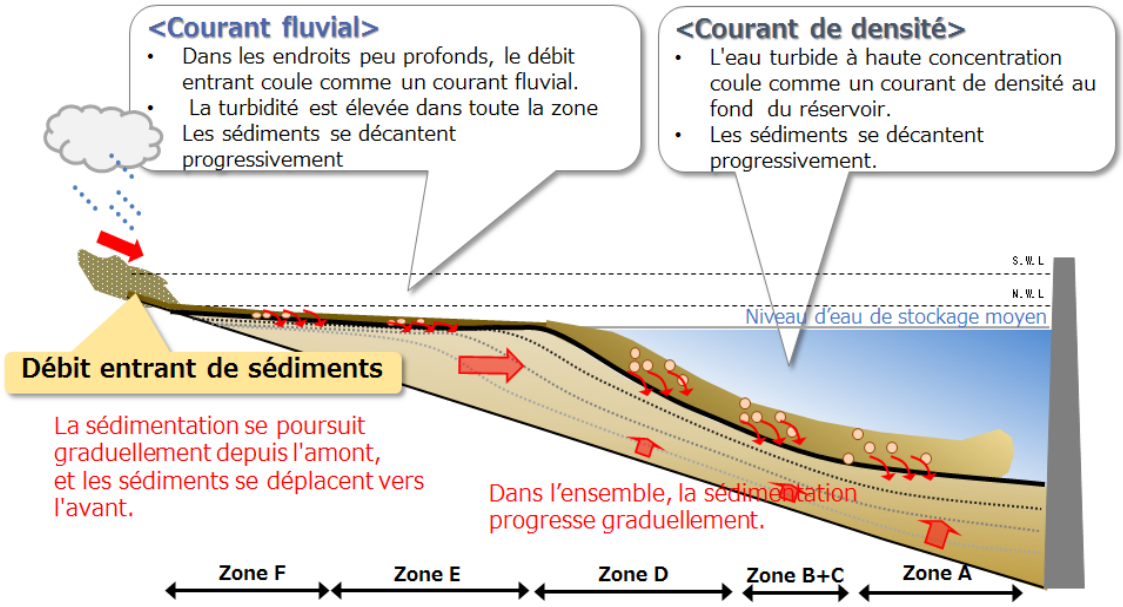


Figure 5-8 Processus de sédimentation dans le réversoir de Sidi Salem

5.4 Etude détaillée de la sédimentation autour des installations du barrage

5.4.1 Situation de la sédimentation autour du barrage

La Figure 5-9 montre l'état de la sédimentation autour des installations du barrage en trois dimensions sur la base des résultats du levé bathymétrique.

La surface actuelle des sédiments a atteint la vanne de prise de l'installation de production d'énergie hydroélectrique. Si la sédimentation se poursuit, non seulement le barrage de Sidi Salem perdra sa capacité de stockage d'eau, mais il y a un risque supérieur que l'installation de prise ne fonctionne plus correctement en raison du colmatage des vannes.

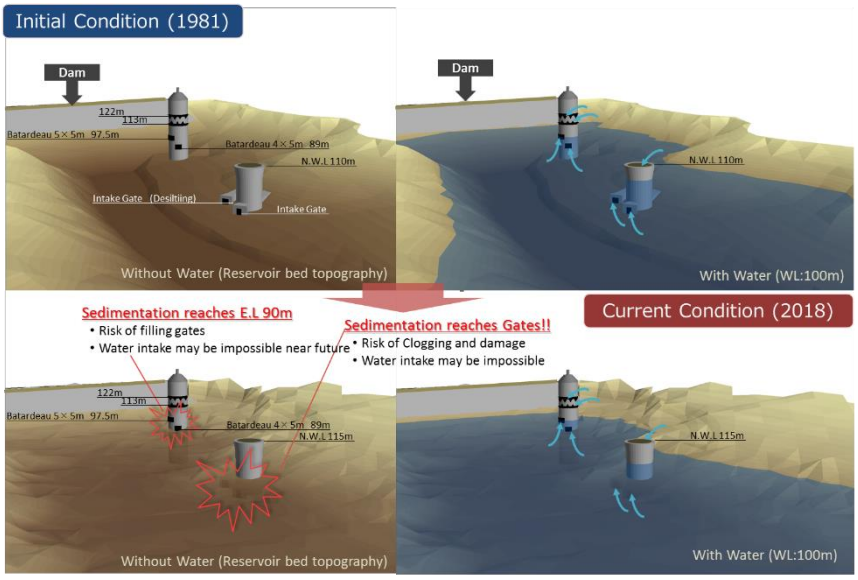


Figure 5-9 Etat de la sédimentation aux alentours des installations du barrage (Plan Cavalier)

- Selon les résultats détaillés de l'étude topographique réalisée autour de l'installation de prise d'eau en janvier 2020, les situations suivantes sont clarifiées.
- Une topographie en forme de mortier a été formée autour de la vanne de dessablement avec une hauteur de lit de EL. 72,6 m. Le dépôt de sédiments a progressé jusqu'à EL.80,0 m selon la topologie en forme de mortier formée autour du déversoir. Par conséquent, la vanne de

désenvasement est actuellement enterrée d'au moins 7,0 m. Elle risque d'être bientôt obstruée.

- L'évacuateur de crues pour la production d'énergie hydroélectrique a deux voies d'entrée, qui sont situées à EL. 89,0 m et EL. 97,5 m, respectivement. Le dépôt de sédiments a progressé jusqu'à 89,5 m EL. 89,5 m. Cependant, une topographie en forme de mortier ne s'est pas formée car l'eau est constamment prise. Tant que cette situation perdure, le risque d'enfouissement de la vanne de désensablement est relativement faible.

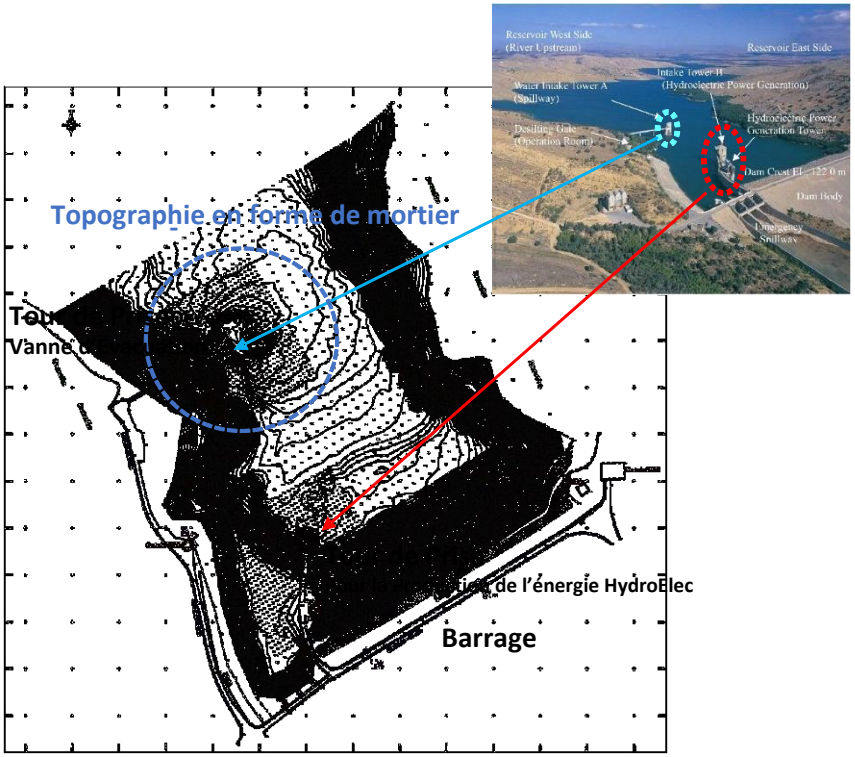


Figure 5-10 Forme de la sédimentation aux alentours de l'installation de prise (Janvier 2020)

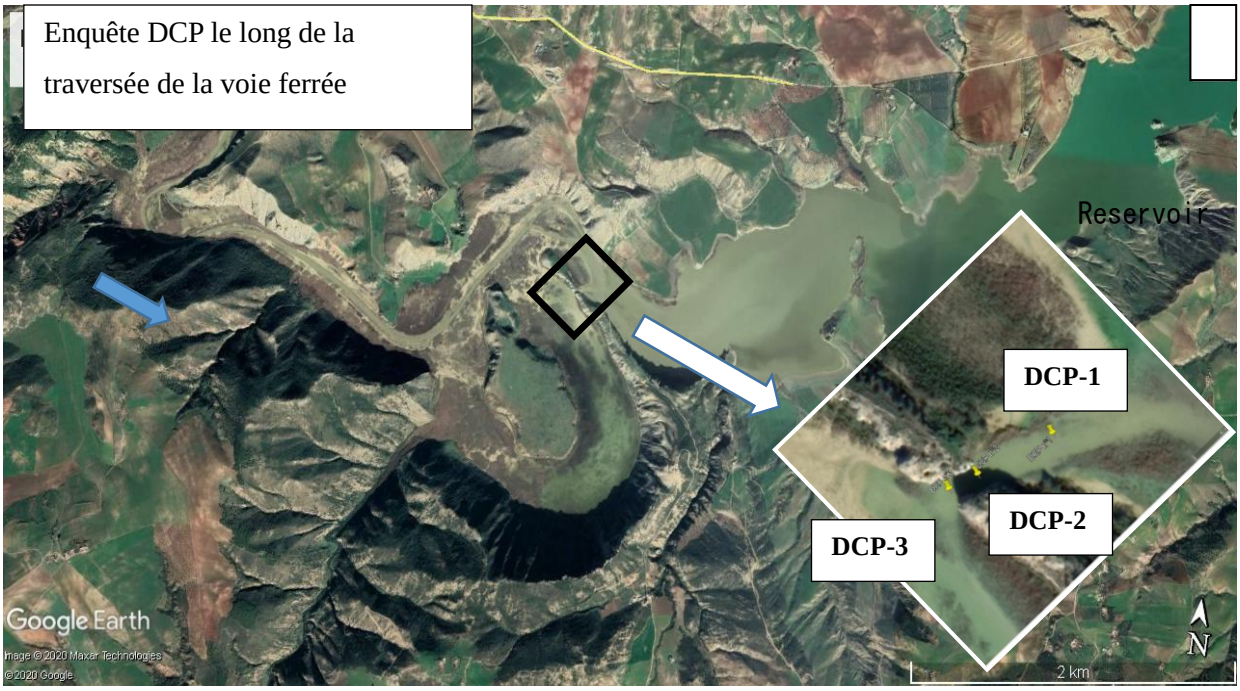
5.4.2 Étude de la sédimentation de l'ancienne traversée de chemin de fer dans le réservoir

(1) Résumé et emplacement du levé de la pénétration dynamique par cône (DCP)

Des levés DCP le long de l'ancienne voie ferrée dans le méandre de la Medjerda en amont du réservoir ont été menés aux trois points indiqués sur le Tableau 5-3 et la Figure 5-11. Le DCP a été réalisé jusqu'à la profondeur du sol de fond, principalement dans le but de confirmer l'épaisseur et la profondeur des sédiments déposés après la construction du barrage de Sidi Salem.

Tableau 5-3 Liste des levés DCP

No.	Profondeur (m)	Note
DCP-1	11.4	Sédiments à partir de 0m
DCP-2	11.0	Réservoir d'eau jusqu'à 2m de profondeur
DCP-3	11.2	Réservoir d'eau jusqu'à 2.6m de profondeur



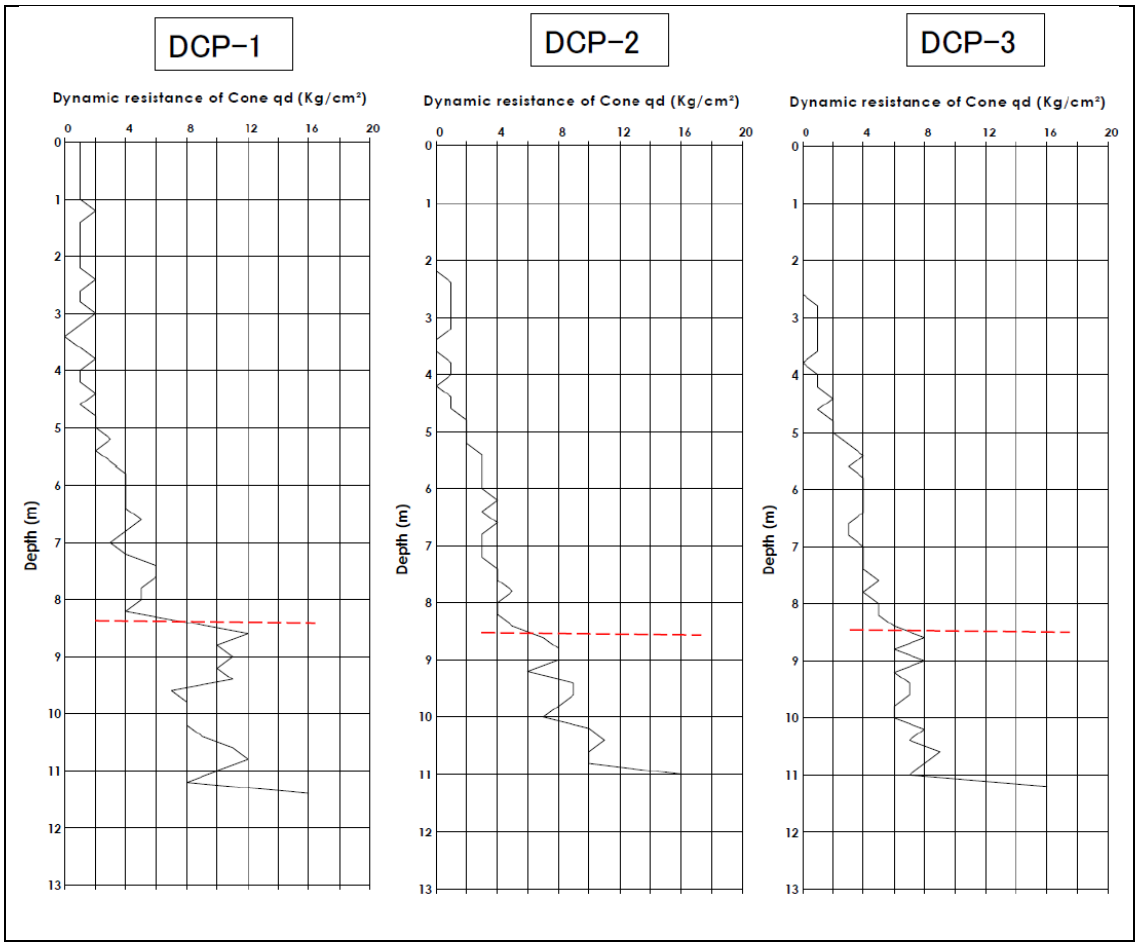
Source : Equipe d'Etude de la JICA

Figure 5-11 Emplacement des levés DCP

(2) Résultat des levés DCP

Les résultats de chaque point DCP menés dans ce levé sont illustrés sur la Figure 5-12 La valeur 0 m à chaque point correspond au niveau de la surface du réservoir au moment de l'observation. Dans DCP-1, le niveau d'eau du réservoir est presque le même que la surface du sol constituée de sédiments. Il est montré que DCP-2 et DCP-3 atteignent la surface supérieure des sédiments à environ 2 m et 2,5 m de la surface de l'eau, respectivement.

De plus, en raison du changement de la résistance à la pénétration, il est probable qu'après la construction du barrage des sédiments se sont accumulés à tous les points du levé jusqu'à une profondeur d'environ 8 m à partir de la surface du réservoir au moment du levé.

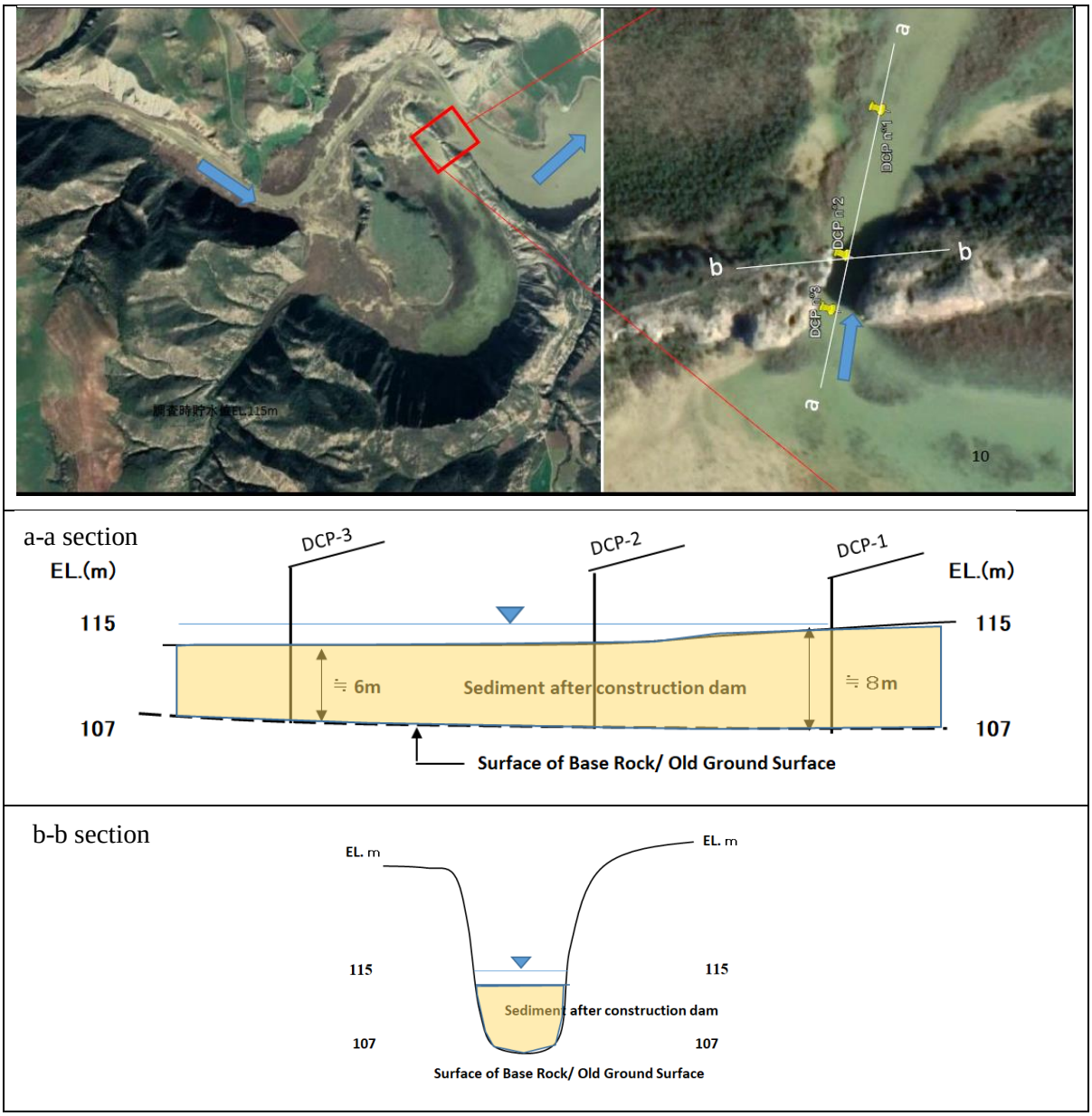


Source : Equipe d'Etude de la JICA

Figure 5-12 Résultats du Levé DCP

(3) Section géologique estimée

La Figure 5-13 montre la localisation du levé le long de la voie ferrée, l'emplacement en coupe transversale et la distribution géologique schématique pour chaque coupe transversale. Au moment de l'enquête (17 juillet 2020), le niveau d'eau du réservoir était EL. 115 m. Une coupe transversale a été créée avec la profondeur de 0 m de chaque résultat DCP comme altitude de 115 m. La profondeur de la surface de l'eau jusqu'au fond des sédiments est d'environ 8 m, l'épaisseur des sédiments est d'environ 6 à 8 m, et la côte de la surface où la voie ferrée est posée avant la construction du barrage de Sidi Salem est considérée comme étant d'environ 107 m.



Source : Equipe d'Etude de la JICA

Figure 5-13 Coupe géologique estimée le long de la coupe de la voie ferrée

5.4.3 Aspect Géologique dans le Réservoir du Barrage

(1) Occupation du Sol

La zone autour du réservoir est principalement utilisée comme terres agricoles et pâturages pour les olives et le blé. Les terres agricoles sont cultivées le long des courbes de niveau et d'autres mesures sont prises pour empêcher l'érosion des ravines.

(2) Erosion des Berges

On s'attend à ce que les sédiments du réservoir soient affectés non seulement par l'écoulement des sédiments du bassin, mais aussi par l'érosion des berges autour du réservoir. La pente distribuée autour du réservoir est faible dans la zone où les strates se sont formées du Crétacé au Néogène, mais la pente est généralement raide dans la zone où se répartissent les strates formées au Trias et les failles. On considère qu'une érosion s'est produite.

Zone-D: Berge Gauche dans le Réservoir	Zone-E: Berge Gauche dans le Réservoir

Figure 5-14 Erosion des berges aux alentours du réservoir du barrage de Sidi Salem

5.4.4 Etat Géologique le Long du Tunnel de Drainage de Déviation

(1) Résultat de l'Etude Géologique (Forage)

1) Emplacement des Forages

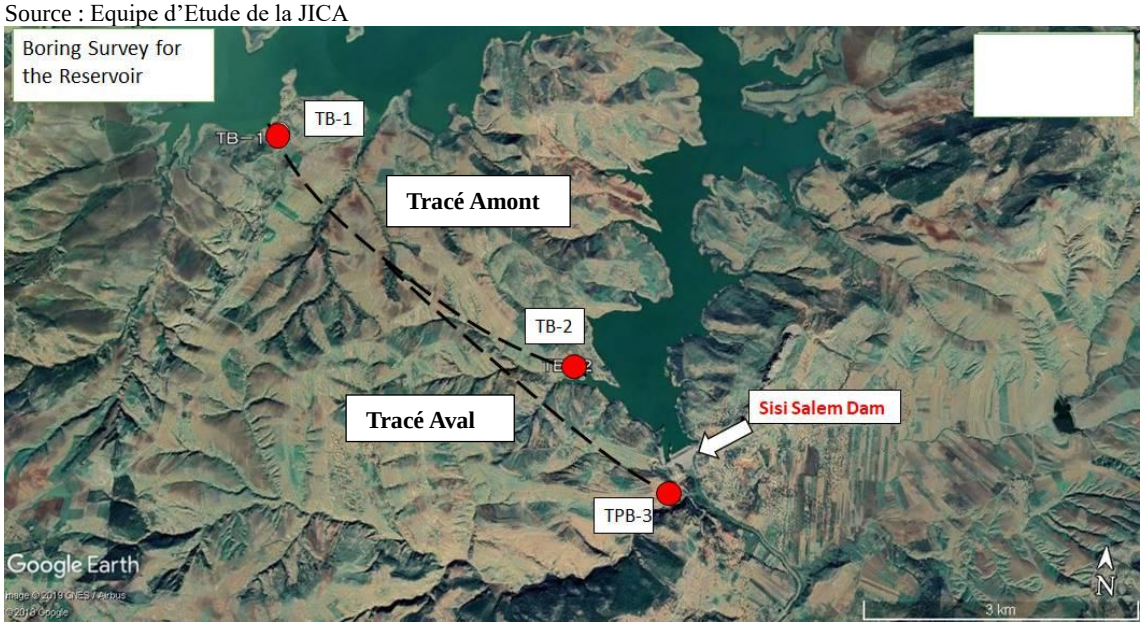
Des forages le long du tracé du tunnel de dérivation de drainage ont été réalisés dans trois emplacements indiqués sur le Tableau 5-4 et la Figure 5-15.

TB-1 a été mené dans le but de comprendre la géologie et l'état du substrat rocheux près de l'embouchure du tunnel de dérivation de drainage. TB-2 a été mené dans le but de comprendre la géologie et l'état du substrat rocheux près de la sortie (sortie) du tracé amont du tunnel, et TB-3 près de la sortie (sortie) du tracé aval.

Tableau 5-4 Emplacement des forages (tunnel de drainage de déviation)

No. Forage	Profondeur (m)	Elévation (masl)*	Latitude	Longitude
TB-1	20	131	36 °37' 15.9" N	9°20'32.80" E
TB-2	20	121	36 °35' 52.7" N	9°22'53.1" E
TB-3	20	80	36 °35' 11.5" N	9°23'43.9" E
Total	60			

Source : Equipe d'Etude de la JICA



Source : Equipe d'Etude de la JICA

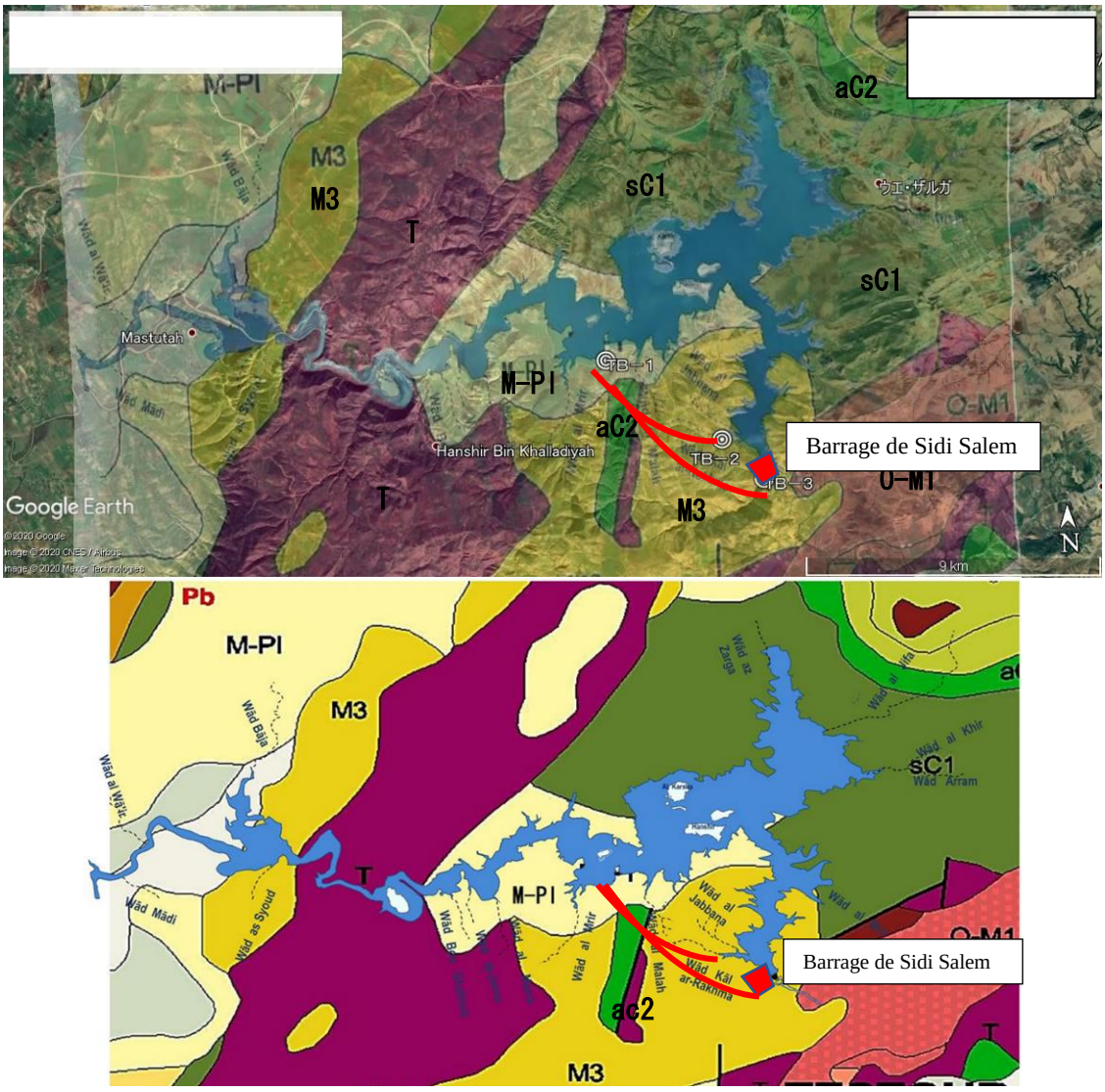
Figure 5-15 Plan de situation des forages (tunnel de drainage de déviation)

2) Géologie de la Zone d'Etude

(a) Aperçu du Contexte Géologique

Les détails de l'état géologique le long du tunnel de dérivation de drainage sont décrits dans les paragraphes 8.8.3 et 8.8.4, dans ce qui suit un résumé de cet état est reporté.

Les roches sédimentaires telles que le schiste et le grès formés dans le néogène cénozoïque sont principalement réparties le long du tracé amont et aval. Les roches sédimentaires principalement composées de grès et d'ardoise formées dans le Trias du Mésozoïque sont réparties près de la sortie du tracé aval du tunnel. Les couches du Crétacé mésozoïque (acl2) et du Trias (T) près de l'embouchure du tunnel, qui sont illustrées sur la Figure 5-16, n'ont pas pu être confirmées par l'étude de terrain réalisée.

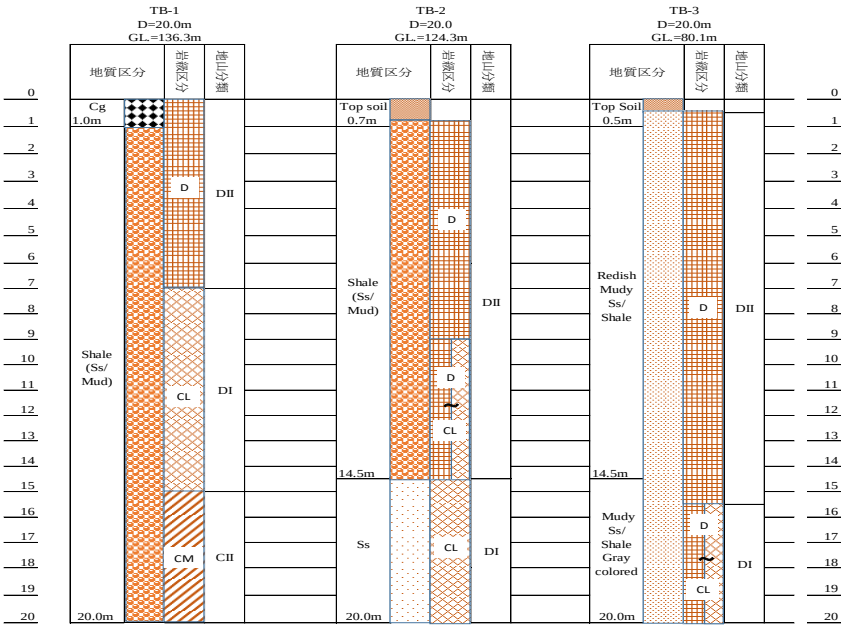


Source : carte_geologique_500_000.pdf traitée par l'Equipe d'Etude

Figure 5-16 Aperçue géologique le long du tunnel de drainage de dérivation

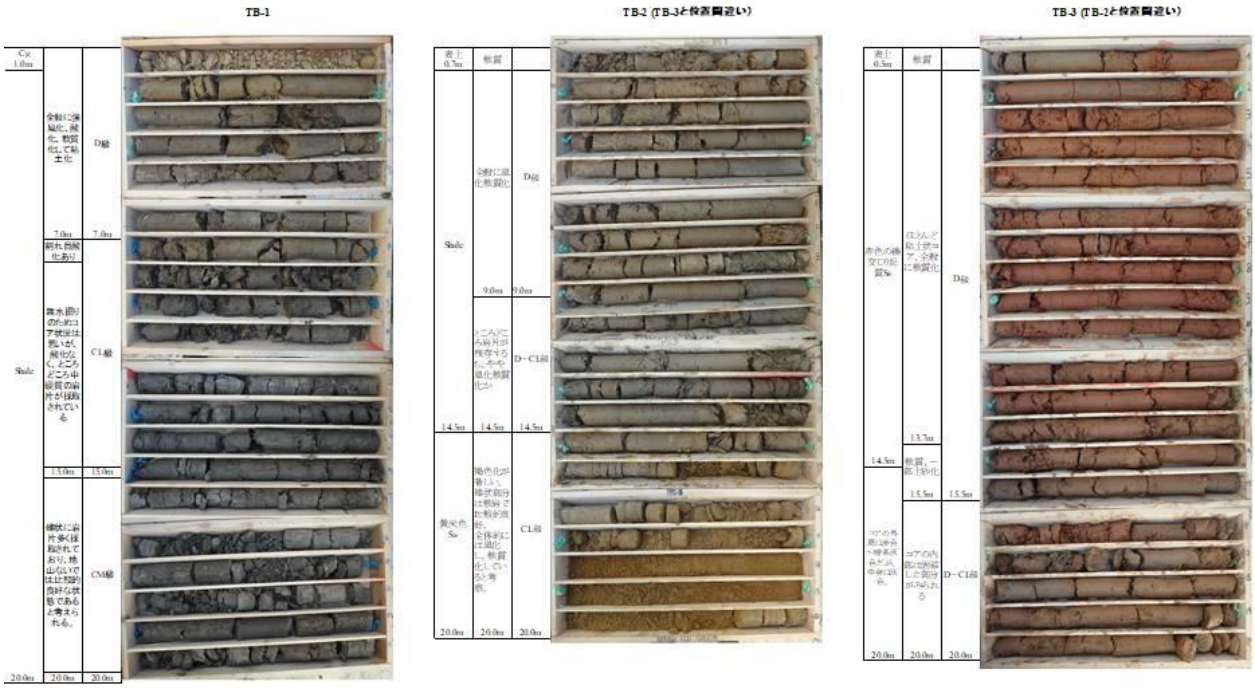
(b) Résultats du Forage

Les résultats de chaque forage dans cette étude sont présentés dans le diagramme à colonnes simplifié de la Figure 5-17 et les images du noyau sur la Figure 5-18.



Source : Equipe d'Etude de la JICA

Figure 5-17 Représentation schématique de forage pour le tunnel de dérivation de drainage



Source : Equipe d'Etude de la JICA

Figure 5-18 Images du noyau de forage du tunnel de dérivation de drainage

L'état géologique de chaque forage est le suivant.

- TB-1: Principalement composé de schiste formé dans le Néogène Tertiaire.
- TB-2: Le schiste est distribué comme TB-1 jusqu'à une profondeur d'environ 10 m, du grès est distribué sous le schiste.
- TB-3: Il est composé de roches boueuses rougeâtres ou de grès. Il s'agit d'un grès / ardoise formé au Trias de l'ère mésozoïque, et est présumé avoir été ramolli principalement par les intempéries.

(c) Etat de la Masse Rocheuse

La classification de la masse rocheuse a été effectuée sur le noyau de forage pour définir l'état de la masse rocheuse. Les résultats sont présentés sur les Figure 5-17 et Figure 5-18.

Dans la classification des roches, on part du principe que tous les échantillons prélevés par forage ont été prélevés par creusement sans eau, donc l'état du sol a été perturbé au moment du forage. Une attention particulière a été portée à ce point lors de l'observation du noyau.

Le Tableau 5-5 montre un exemple de critères de classification de masses rocheuses.

Généralement, la classification des masses rocheuses est divisée en trois éléments : « dureté des morceaux de roche », « état des fissures » et « intervalle de fissures ». La classification des masses rocheuses classe ces dernières en associant ces éléments à des caractéristiques techniques. Les roches de la zone cible seront classées sur la base d'essais en laboratoire, des résultats de reconnaissance de sol et des valeurs de vitesse obtenues par l'exploration des ondes élastiques dans le cas des levés pour tunnel. Ensuite, par exemple, il s'agit de comprendre comment la roche de classe CL est distribuée.

Dans cette étude, trois sondages ont été réalisés à l'entrée et à la sortie du tunnel. Et les conditions géologiques le long du tracé du tunnel ont également été confirmées par une reconnaissance de terrain. La classification des masses rocheuses associée à la classe rocheuse est décrite plus loin, cependant, les résultats de ce levé ne sont qu'un aperçu.

Les critères de classification des roches sont décrits au paragraphe 6.4.4 (2) 1) Classification des roches.

Tableau 5-5 Schéma de classification de la masse rocheuse le long du tracé du tunnel planifié

Classification de la Masse Rocheuse	Description
CM	L'oxydation et la coloration brunâtre n'ont pas été observées dans les carottes collectées. De nombreuses roches dures sous forme de cailloux ont été collectées. On considère que le noyau est dans un état relativement bon.
CL	Une partie du noyau en forme de bâtonnet est échantillonnée, mais de nombreuses fissures se développent et un brunissement le long des fissures et des fragments de roche est observé. Alternativement, les fragments de roche ne sont pas oxydés, mais des fragments moyennement durs sont mélangés.
D～CL	Des fragments de roche sont présents dans les parties solidifiées et les parties du noyau, mais ils sont mous.
D	Il est généralement érodé, ramolli et modifié en argile. Brunâtre en raison des érosions.

Source : Equipe d'Etude de la JICA

(2) Essai en Laboratoire

1) Eléments d'Essai

Les essais en laboratoire réalisés dans cette étude sont les suivants.

Tableau 5-6 Eléments et caractéristiques des essais en laboratoire

Eléments d'Essai	Caractéristiques	Note
Densité	NF P94 054	
Essai de Compression Triaxiale	BS1377 part 7	

Ces essais ont été menés pour comprendre les caractéristiques techniques de la géologie répartie dans la zone d'étude. Le résumé des résultats des essais est décrit ci-dessous.

2) Résultats de l'Essai

Les résultats des essais en laboratoire réalisés dans le cadre de la présente étude sont présentés dans le Tableau 5-7.

Tableau 5-7 Résultats des essais en laboratoire

N. du Forage /Profondeur		Essai de Compression Simple		Gravité Spécifique
N du Forage	Profondeur	kpa	kgf/cm^3	(t/m^3)
TB-1	GL.-1.8m	623.98	6.4	2.25
	GL.-6.8m	971.37	9.9	2.23
	GL.-17.8m	142.12	1.4	2.40
	Moyenne	579.16	5.91	2.29
TB-2	GL.-4.8m	946.65	9.7	2.24
	GL.-8.5m	698.12	7.1	2.68
	GL.-19.8m	436.00	4.4	2.40
	Moyenne	693.59	7.07	2.44
TB-3	GL.-8.7m	519.00	5.3	2.45
	GL.-14.8m	629.38	6.4	2.22
	GL.-19.8m	996.56	10.2	2.85
	Moyenne	714.98	7.29	2.51

Source : Equipe d'Etude de la JICA

Le schéma de chaque résultat d'essai est décrit ci-dessous.

(a) Essai de Compression Simple

L'essai en laboratoire est réalisé sur des carottes de forage obtenues par creusement sans eau. Étant donné que le noyau sans eau est collecté comme échantillon dans lequel l'état du sol est perturbé au moment du forage, la carotte de forage échantillonnée est significativement différente de l'état à l'intérieur du sol, et la dureté et la gravité spécifique des fragments rocheux sont plus petits des données actuelles.

La géologie de l'échantillon d'essai à chaque point de forage est que le TB-1 et le TB-2 sont des roches sédimentaires du Néogène cénozoïque appartenant à la roche tendre (la résistance à la compression simple est inférieure à 200 kgf/cm^2), et le TB-3 est de la roche dure (Roches sédimentaires du Trias mésozoïque avec une résistance à la compression simple de 200 kgf / cm^2 ou plus, généralement 500 kgf / cm^2 ou plus).

Les résultats des essais montrent les résultats des essais de fragments de roche altérés à la surface de chaque point. Dans le cas général, selon la méthode d'échantillonnage (méthode d'excavation), la résistance à la compression simple a tendance à être faible. Dans les études futures, il est nécessaire de réaliser un essai en laboratoire (essai de roche) à partir d'un échantillon prélevé par une méthode de forage appropriée.

(b) Essai de Densité

La géologie des échantillons d'essai à chaque point de forage est que TB-1 et TB-2 sont des roches sédimentaires du Néogène cénozoïque et BP-3 sont des roches sédimentaires du Trias mésozoïque.

Bien qu'il existe des variations dans chaque résultat, TB-3 a la densité la plus élevée par rapport à la valeur moyenne, et les résultats des essais individuels ont une densité plus élevée que les autres points de forage (TB-1 et TB-2). Cela indique que TB-3 a une densité élevée due à la période de formation rocheuse ancienne.

En ce qui concerne les résultats de TB-1 et TB-2, on considère qu'il n'y a pas de différence significative, bien qu'il y ait une certaine différence dans la valeur moyenne compte tenu de la

variation de valeur pour chaque essai.

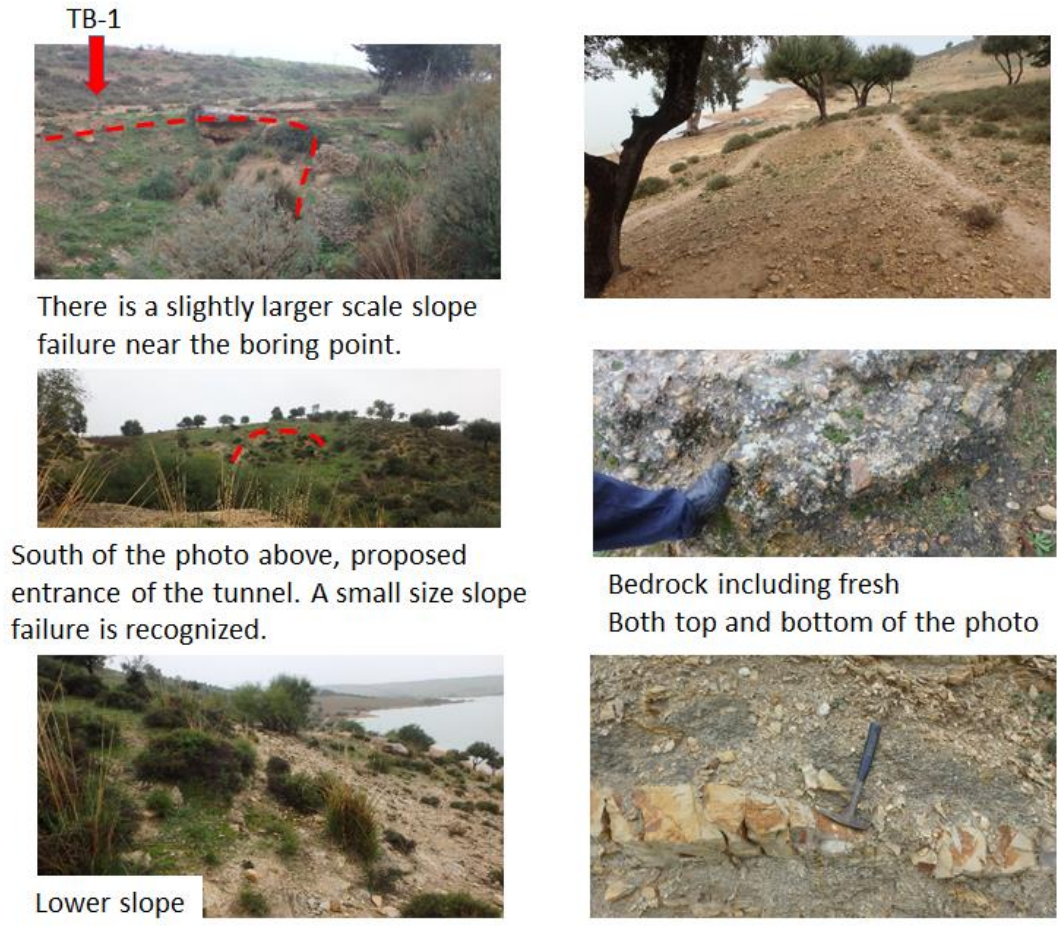
Comme pour l'essai de compression uniaxiale, l'étude géologique à mener pour comprendre les caractéristiques géologiques et géotechniques (topographie, géologie, eaux souterraines, etc.) afin d'examiner les conditions de conception du tunnel par la méthode NATM sera réalisée à l'aide d'échantillons collectés par la méthode de forage appropriée.

Les éléments de l'étude géologique et leur déroulement qui sont considérés comme nécessaires pour examiner les conditions de conception du tunnel avant la conception ou la construction du tunnel sont décrits dans les chapitres suivants.

(3) Résultats de la Reconnaissance Géologique le long du Tunnel de Dérivation

1) Géologie et Etat de la Masse Rocheuse à l'Entrée du Tunnel

La zone près de l'entrée du tunnel est constituée de couches alternées de conglomérat cénozoïque et de schiste / grès. Les fragments de roche sont bruns et ramollis en raison de l'altération près de la surface du sol, et des dépôts épars similaire à du gravier sont observés, mais les fragments de roche ont un degré de consolidation relativement élevé. L'entrée du tunnel doit être choisie de sorte à éviter une zone d'effondrement à grande échelle.



Source : Equipe d'Etude de la JICA

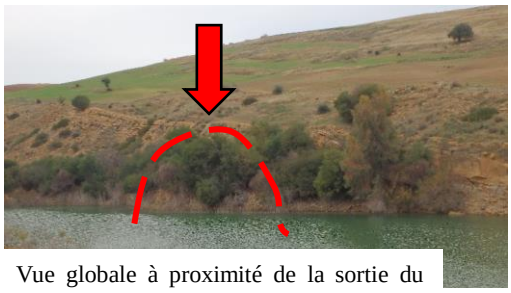
Figure 5-19 Etat géologique et de la roche aux alentours de l'entrée du tunnel de dérivation de drainage (tb-1)

2) Géologie et Etat de la Masse Rocheuse à la Sortie du Tunnel (Tracé Amont)

La zone près de la sortie du tunnel est constituée de couches alternées de conglomérat cénozoïque et de schiste / grès.

Les fragments de roche sont bruns et ramollis près de la surface du sol en raison d'érosion, cependant le degré de consolidation est relativement bon même sur les pentes. Toutefois, comme le terrain forme une pente faible, on estime que la profondeur d'altération aux hautes altitudes de la crête est épaisse.

Une partie de la roche a des trous sur la pente, cependant comme la strate n'est pas érodée la cause reste inconnue.



Vue globale à proximité de la sortie du tunnel de drainage

En Haut : Conglomérat et Grès
En Bas : Photo agrandi du Conglomérat.

En Haut : Erosion Partielle de Grès
En Bas : Vue Globale

Source : Equipe d'Etude de la JICA

Figure 5-20 Géologie et etat de la roche aux alentours de la sortie du tunnel de drainage de dérivation: tracé amont (tb-2)

3) Géologie et Etat de la Masse Rocheuse de la Sortie du Tunnel (Tracé Aval)

Le conglomérat et le schiste cénozoïques sont répartis de manière irrégulière dans la zone de haute altitude de la crête au-dessus des strates du Trias du Mésozoïque inférieur. Ces strates cénozoïques sont devenues molles et graveleuses en raison d'érosions.

Près de la sortie du tunnel, des couches alternées d'ardoise, de grès et de conglomérat du Trias mésozoïque sont déposées. Bien que des traces d'érosions soient observées dans ces sédiments du Trias, les fragments de roche ont de nombreuses parties dures (à la suite de la reconnaissance de terrain). De plus, des joints le long du plan de litière se sont développés en ardoise.

Les fragments de roche sont généralement rouges.
Les fragments de roche sont extrêmement durs dans la zone fraîche.
Les types de roches sont principalement le grès, l'ardoise et les conglomérats.

Sortie du Tunnel

Les grès de couleur rouge sont le conglomérat triasique mésozoïque et l'ardoise (mudstone)

En bas à gauche : Vue Panoramique à proximité de la sortie du tunnel.
La zone près du sommet du tunnel est directement en dessous de la limite entre le conglomérat supérieur et le grès rouge inférieur.
Le fond est plus profond que l'aval
Source : Equipe d'Etude de la JICA

Figure 5-21 Géologie et etat de la roche aux alentours de la sortie du tunnel de drainage de dérivation: tracé aval (tb-3)

(4) Examen géotechnique du tracé prévu du tunnel d'évacuation de sable

1) Etat Géologique

(a) Stratigraphie Géologique

Le Tableau 5-8 montre la stratigraphie géologique supposée à proximité du site prévu du tunnel de drainage. La stratigraphie géologique a été préparée par l'équipe d'étude à partir de la littérature existante et des résultats de la reconnaissance de terrain. Le tableau montre également les caractéristiques géotechniques des différentes couches confirmées par l'étude du site.

Tableau 5-8 Stratigraphie géologique autour du tunnel de dérivation

Age Géologique		Symbole	Nom	Description	Caractéristiques Géotechniques
Cénozoïque	Quaternaire	**dt**	Détritus	Sédiments secondaires répartis sous la topographie du talus. Les propriétés dépendent de la roche hôte. Il est non-consolidé et de mauvaise étanchéité. La distribution est généralement mince.	Tendre
		al	Alluvion	Il est distribué dans le lit des petites et moyennes rivières. La distribution est généralement faible et l'épaisseur est mince.	Tendre
	Néogène	**TS h**	Schiste Argileux	Il correspond à M-Pl dans la carte géologique existante. Sédiment principalement constitué de schiste pris en sandwich par de fines couches de grès et de conglomérat. Il est distribué dans la région de Taguchi le long du tunnel.	Similaire au grès Une petite trace de glissement de terrain peut être observée autour de cette zone.
		TC g	Conglomérat	Il est flanqué de M-Pl et de son subordonné M3. Un sédiment principalement composé de conglomérat avec de fines couches de grès et de schiste intervenant. Il a une distribution légèrement épaisse à la bouche et une distribution mince au jet.	Similaire au grès Le gravier dans le conglomérat est principalement constitué de galets ronds, et le diamètre du gravier varie légèrement en fonction de l'emplacement, mais il est d'environ 5 cm ou moins.
		TS s	Grès	Correspond à M3 dans la carte géologique du document existant. De fines couches de conglomérat sont intercalées ici et là. En général, la pente de la strate est faible du côté aval et légèrement raide du côté amont.	C'est une roche tendre. Largement distribuée le long du tracé du tunnel. La partie érodée est tendre. La partie récente est relativement solide
Mésozoïque	Mésozoïque	**MSs**	Grès/ Ardoise	De couleur rouge à brun rougeâtre caractéristique. Principalement grès et ardoise. Largement distribué à proximité de la sortie du plan aval du tunnel.	Les fragments de roche sont durs dans la nouvelle partie et sont constitués de roche dure. La zone d'ardoise présente des joints légèrement développés le long du plan de litière. La partie patinée devient tendre.

Source : Equipe d'Etude de la JICA

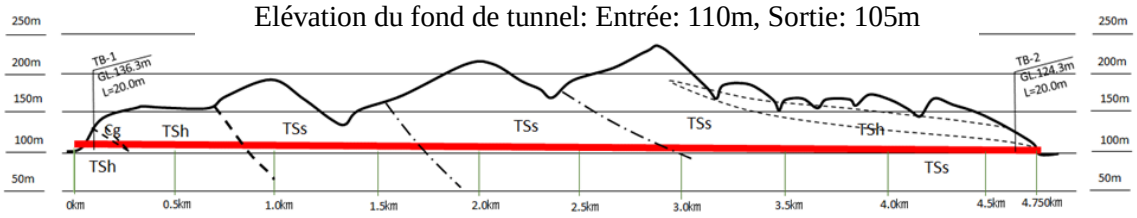
(b) Etat Géologique le Long du Tracé du Tunnel Prévu

Concernant le tracé amont et aval, les coupes géologiques présumées le long du tunnel de drainage sont représentées en ① et ②.

En ce qui concerne les conditions géologiques, il n'y a pas de grande différence dans la composition géologique et la structure de l'entrée à la sortie du tunnel, mais comme le montre la Figure 5-22, le sol près de la sortie du tunnel du Tracé aval ② est principalement constitué de grès du Trias mésozoïque / ardoise. Et la couche néogène recouvre les strates du Trias mésozoïque de manière incohérente dans ce voisinage, cette couche néogène a un faible degré de consolidation et la couche de gravier basale à perméabilité légèrement élevée est considérée prise entre les limites.

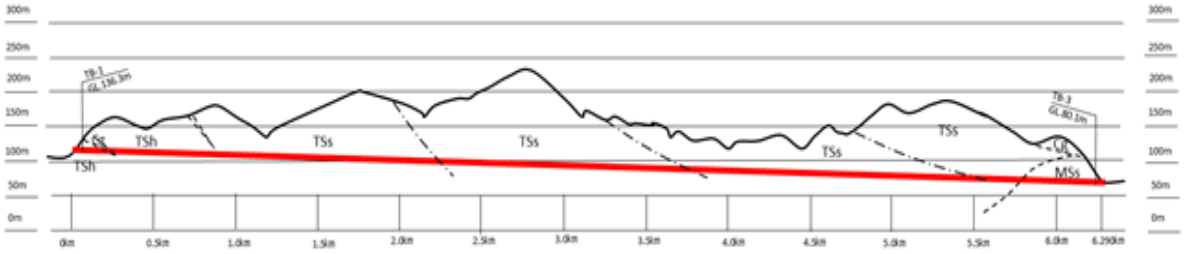
De plus, selon les résultats du levé géologique de surface réalisé dans cette étude, le plan d'assise de la strate Néogène est faible près de la sortie du tunnel, mais il tend à être progressivement plus raide vers l'entrée du tunnel. Surtout, le schiste (TSh) distribué autour de l'entrée a un angle de plan de pose relativement élevé en général, et bien que la limite entre TSs et TSh dans ce domaine ne soit pas définie, il y a une possibilité de répartir une faille.

① Tracé planifié (Amont)



Source : Equipe d'Etude de la JICA

② Tracé planifié (Aval)



Source : Equipe d'Etude de la JICA

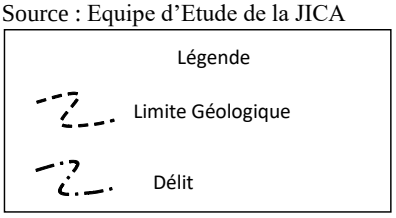


Figure 5-22 Coupe transversale géologique estimée le long du tunnel prévu

2) Etat de la Masse Rocheuse et sa Classification

(a) Classification de la Masse Rocheuse

La classification des roches est effectuée en se concentrant sur les trois facteurs suivants: (1) la dureté des morceaux de roche, (2) la forme du noyau et (3) l'état des fissures pour les carottes de forage obtenues par sondage de la masse rocheuse.

Il est effectué pour classer la masse rocheuse en fonction du résultat. De plus, les caractéristiques techniques de la masse rocheuse sont définies pour chaque classification et la structure est conçue. Les critères de classification des roches ont des indicateurs qualitatifs approximatifs comme le montre le Tableau 5-9. Cependant, la classification des roches ou la classification du substrat rocheux et chaque caractéristique technique peuvent être définies en association avec les caractéristiques de chaque site.

Tableau 5-9 Exemples de critères de classification de la masse rocheuse

Classe	Description
A	La masse rocheuse est très nouvelle et les minéraux et grains constituant la roche ne subissent ni érosion ni détérioration. Les joints sont extrêmement serrés et leur surface ne présente aucun signe visible de vieillissement. Le son du coup de marteau est clair.
B	La masse rocheuse est solide. Il n'y a pas de joint d'ouverture et de fissure (même de 1 mm). Mais les minéraux et les grains constituant la roche subissent un peu d'érosion et de détérioration partielle. Le son du coup de marteau est clair.
CH	La masse rocheuse est relativement solide. Les minéraux et les grains constituant la roche subissent de l'érosion à l'exception du quartz. La roche est contaminée par de la limonite, etc. La cohésion des joints et des fissures est légèrement réduite et les blocs rocheux sont séparés par coup de marteau ferme le long des joints. Les minéraux argileux restent sur la surface de séparation. Le son de coup de marteau est un peu faible.
CM	La masse rocheuse est un peu molle. Les minéraux et les grains formant la roche sont quelque peu ramollis par les intempéries, sauf pour le quartz. La cohésion des joints et des fissures est quelque peu réduite et les blocs de roche sont séparés par un simple coup de marteau le long des joints. Les matériaux argileux restent sur la surface de séparation. Le son des coups de marteau est faible.
CL	La masse rocheuse est molle. Les minéraux et les grains constituant la roche sont ramollis par l'érosion. La cohésion des joints et des fissures est réduite et les blocs de roche sont séparés par un léger coup de marteau le long des joints. Les matériaux argileux restent sur la surface de séparation. Le son du coup de marteau est faible.
D	La masse rocheuse est remarquablement molle. Les minéraux et les grains constituant la roche sont ramollis par l'érosion. La cohésion des joints et des fissures est presque absente. La masse rocheuse s'effondre sous un léger coup de marteau. Les matériaux argileux restent sur la surface de séparation. Le son du coup de marteau est remarquablement faible.

Source: Kikuchi rock mass classification criteria (massive rock mass) (Kikuchi, 1990, 106-107)

Tableau 5-10 Exemples des critères de classification de la masse rocheuse

Classe de la Roche	Sous-Division	Observation de l'Evaluation des Essais
		Etat de la Roche
A	A, I, a	Nouvelle et dure, aucune détérioration des minéraux constituant la roche. Espacement des fissures supérieur à 50 cm. Les fissures sont étroitement collées, aucune détérioration ni décoloration.
B	A, II-III, b	Dure: La couleur de la roche est brun clair. Espacement des fissures d'environ 15 à 50 cm. La limonite a adhéré le long des fissures.
CH	B, III - IV, b~c	Relativement dure: le biotitique et le plagioclase sont quelque peu détériorés. Espacement des fissures d'environ 5-30 cm. Une couche très fine d'argile est prise en sandwich le long de l'ouverture.
CM	C, IV - V, c	Se brise sous coup de marteau. Une détérioration du plagioclase s'est développée. Espacement des fissures inférieur à 15 cm. Couche d'argile est prise en sandwich le long de la face d'ouverture.
CL	C-D, III, a-b; C, IV - V, d	Le biotitique devient doré, mais les particules de quartz sont dures. Le plagioclase est détérioré. Se brise en morceaux sous coup de marteau. Espacement des fissures inférieur à 5 cm.
DH	D, II- III, b, D, III, a~b	Peut-être écrasée à la main. Il est facile de briser avec un marteau. Biotitique virant à la couleur dorée, et brune en périphérie. Les particules, de petites formes, sont dures. Des morceaux de sable. Espacement apparent.
DM	E1, I - II, b-c E1, II, b	Brisée à la main, elle devient un cristal de quartz et de feldspath potassique qui ressemble à du sable. Le mica perd sa forme cristalline et le plagioclase est en grande partie détérioré. L'espacement apparent des fissures devient encore plus large.
DL	E2, I, c	Se réduit principalement en poudre par écrasement à la main, possible formation partielle de sable. La plupart du feldspath est détériorée et devient un sol argileux. Les niveaux de joints d'origine deviennent indiscernables.

Tableau 5-11 Exemples de classification du noyau de forage

1. Classification de la Dureté

Classe	Critères de Classification
A	Difficile de briser la roche par coup de marteau, avec un son métallique. Nouvelle, pas de détérioration des minéraux constituant la roche.
B	Production de son métallique résonnant sous coup de marteau. Les joints sont adhérents, nouveaux
C	La roche se brise sous coup léger de marteau produisant un son résonnant. (Fracassant par pression du doigt plus de 20 fois, le morceau de roche reste presque intact)
D	L'écrasement par pression des doigts étant à peine possible, chaque pièce est dure avec du feldspath resté à la périphérie du quartz, (fragment de sable) (morceau de roche cassé par 7 à 10 fois l'écrasement des doigts avec plus de 70% de pièces moyennes à petites)
E1	Écrasé par pression des doigts, particules restantes de quartz et de feldspath potassique. (Les morceaux se cassent par 3-5 fois l'écrasement des doigts avec 30 à 50% sous forme de poudre, 50 à 90% en petits morceaux)
E2	Généralement se réduit en poudre lors de l'écrasement par pression des doigts, et en sable en partie dans la paume. (Les pièces se cassent par écrasement des doigts de 1 à 3 mm avec plus de 50 à 70% sous forme de poudre)

2. Classification par Espacement des Fissures

Classe	Critères
I	Plus de 50cm
II	50-30cm
III	30-15cm
IV	15-5cm
V	Moins de 5cm

3. Classification par Etat des Fissures

Classe	Critères
a	Adhérée étroitement, Pas de détérioration ou de décoloration
b	Adhérence de la limonite le long des fissures adhérées, ou présence de couche très fine d'argile (de couleur brune) prise en sandwich.
c	Détérioration le long des fissures, couche d'argile (Blanche-Blanche grisâtre) de 1-2cm est prise en sandwich
d	Ouverture

(b) Classification de la Masse Rocheuse pour la Construction du Tunnel

La classification de la roche décrite jusqu'à maintenant est effectuée afin de comprendre l'état général de la masse rocheuse le long du tracé prévu. Dans ce paragraphe, un examen de la classification du type de tunnel pour la construction d'un tunnel en béton en fonction de l'état des roches du sol est examiné. Les critères suivants ont été utilisés comme critères pour la conception du tunnel fluvial.

«Norme de Conception et de Planification, d'Exploitation et d'Explication pour Projet d'Aménagent du Territoire, Conception - Tunnel de Drainage» Ministère de l'Agriculture, Des Forêts et de la Pèche Maritime (2014).

Tableau 5-12 Détails du type de tunnel de MAFA

Type de Tunnel		Etat Géologique		Pile de siège en acier		Boulons de béton projeté / roche					
				Supports de tunnel	Revêtement	Epaisseur de conception du béton projeté	Longueur des boulons de rock	Distribution des boulons de roches		Espacements des supports en acier	Revêtement
						(cm)	(cm)	Espacement (m)	Longueur (m)	(m)	
A		Roches récentes avec quelques fissures		Pas de support de tunnel ou boulons d'ancrage	Béton sans armature ou béton projeté	0 or 5	-	-	-	-	Béton sans armature ou béton projeté
B	B 1	Roche fissurée, légèrement altérée ou Roche molle		Support en acier (Voûte et paroi latérale: palplanche suspendue)	Béton sans armature	5	0.4 De	1.5	2.0	-	Béton sans armature
	B 2					10			1.5		
C		Roche altérée, zone de fracture, sol dur		Support en acier (Arc: palplanche à coudre, paroi latérale: palplanche suspendue et palplanche à coudre)	Béton sans armature	10	0.5 De	1.2 – 1.0	1.2	1.2 (H-100)	Béton sans armature
D	D 1	Roche fortement altérée, zone de fracture, sol mou… etc	Sol a face stable		Béton sans armature	15	0.6 De	Moins de 1.0	1.0	1.0	Béton sans armature
	D 2				Béton Armé						Béton Armé
E			Sol résultant de travaux de stabilité de la face vu qu'elle n'est pas indépendante, naufrage des supports du tunnel et extrusion de la face.		Béton Armé	20			0.8	0.8 (H-100)	Béton Armé

Source: Ministère d'Agriculture, Des Forêts et de la Pèche Maritime (2014)

Tableau 5-13 Norme de détermination du type de Tunnel

Type	Etat de la Roche ou du Sol			exploration des ondes élastiques (km/sec)	Ration de la Résistance Apparente du Sol Fc	Classification de la masse de la roche
A	Roches avec quelques fissures	Etat de Fissures	α: De massif au grand β: De peu à quelques γ: rare	Groupe α: Plus de 4.5 Groupe β: Plus de 4.0 Groupe γ: Plus de 3.0	Plus de 10	A, B
		Résistance a la compression	α: Plus de 1.200 kgf/cm^2 β: Plus de 800 kgf/cm^2 γ: Plus de 500 kgf/cm^2			
		Coefficient de Poisson	0.16 - 0.23			
		Pression des terres	Pas d'effet			
B	Roche faiblement altérée ou molle avec fissures	Etat de Fissures, cisaillement et souplesse de la Roche et du sol	α: Fissures fréquentes, petites failles, zone de cisaillement dans quelques endroits. β: Plusieurs fissures avec quelques failles. γ: Roche Molle avec quelques fissures. δ : Roche Molle.	Groupe α: 3.0 - 4.5 Groupe β: 2.5 – 4.0 Groupe γ: 2.0 – 3.0 Groupe δ: Plus de 2.0	6 - Plus de 10	CH, CM
		Résistance a la compression	α: 600 – 1.200 kgf/cm^2 β: 400 – 1.000 kgf/cm^2 γ: 200 – 500 kgf/cm^2 δ : 50 – 200 kgf/cm^2			
		Coefficient de Poisson	0.18 – 0.35			
		Pression des terres	En général pas d'effet, cependant un effet est due à la zone de cisaillement et aux sources d'eau.			
C	Roche altérée, Zone de faille, Sol dure	Etat de Fissures et cisaillement	α: Zone de cisaillement. β: Zone de cisaillement ou plusieurs fissures avec petites failles. γ: Plusieurs fissures et zone de cisaillement ou roche molles. δ : Roche Molle ou faible consolidation (incluant sol dure bien consolidé) Appliqué en général lorsque tout ou une partie de la face s'effondre.	Groupe α: 1.8 – 3.0 Groupe β: 1.5 – 2.5 Groupe γ: 1.0 – 2.0 Groupe δ: 0.8 – 2.0	2 - 6	CM, CL
		Résistance a la compression	Moins de 50 kgf/cm^2			

Type	Etat de la Roche ou du Sol			exploration des ondes élastiques (km/sec)	Ration de la Résistance Apparente du Sol Fc	Classification de la masse de la roche
		Pression des terres	Avec effet			
D	Roche considérablement altérée, Zone de faille, Sédiments mous.	Appliquée en général lorsque toute ou une partie de la face est effondrée	α, β: Zone de cisaillement et section avec eau de source. γ: Zone de cisaillement ou roche molle faiblement consolidé. δ : Zone de cisaillement ou, roche ou sol à très faible consolidation. Appliqué en général pour les sédiments non consolidé, où la face entière est fluidisée par l'eau de source au lieu d'être autonome, ou appliquée à la zone de cisaillement avec une grande quantité de source d'eau.	Groupe α: Moins de 1.8 Groupe β: Moins de 1.5 Groupe γ: Moins de 1.0 Groupe δ: Moins de 0.8	Moins de 2	CL, D
		Résistance a la compression	Moins de 50 kgf/cm^2			
		Pression des terres	Avec effet			

Source: Ministère d'Agriculture, Des Forêts et de la Pèche Maritime(2014)

Tableau 5-14 Groupes de roches dans le tableau 5-13

Groupe	Nom de la Roche
α	1: Paléozoïque, mésozoïque (ardoise, grès, conglomérat, chart, calcaire, Shalstein, etc.)
	2: roches plutoniques (granit, diorite, etc.)
	3: Roches hypabyssales (porphyre, porphyrique, diabase, etc.)
	4: roches volcaniques (dolérite, basalte, etc.)
	5: Roches Métamorphiques (Schiste, Gneiss, Phyllite, Hornfels, etc.)
β	1: Roches métamorphiques à amovibilité remarquable (Schiste, Gneiss)
	2: Couche paléozoïque et couche mésozoïque avec une amovibilité remarquable et une couche mince (Phyllite, Ardoise, Schiste, etc.)
	3: Roches volcaniques (rhyolite, liparite, andésite, etc.)
	4: Une partie de la strate du Paléogène (schiste siliceux, grès siliceux, etc.)
γ	Couche paléozoïque à néogène (schiste, grès, conglomérat, tuf, lave bréchique en cuve, etc.)
δ	1: Néogène (Mudstone, Roche Limoneuse, Tuff, etc.)
	2: Diluvium, couche néogène (couche faiblement consolidée, couche non consolidée, calcin, sable, etc.)
	3: Couche superficielle, sol colluvial

Source: Ministère d'Agriculture, Des Forêts et de la Pèche Maritime (2014)

3) Classification de Type de Tunnel le Long du Tracé du Tunnel

Le Tableau 5-15 montre le résultat de la classification des types de tunnel en fonction des critères de classification indiqués sur les Tableau 5-12 au Tableau 5-14 en fonction des conditions du sol le long du tunnel.

Tableau 5-15 Classification de tunnel type selon MOAFA

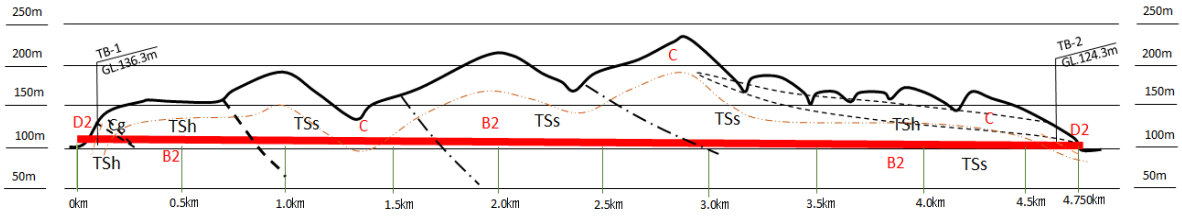
Topographie/ Géologie	Type de Tunnel	Remarque
Entrée du Tunnel	D2	Supposée à environ 10 m de la surface du sol
Partie de roche altérée autour de l'entrée du tunnel ou autre partie de roche altérée	C	Partie de roche altérée à l'entrée du tunnel La partie le long de la couverture du sol est mince
À l'intérieur du sol	B2	Section profonde le long de la crête avec nouvelle roche

Source : Equipe d'Etude de la JICA

Les caractéristiques de chaque itinéraire sont décrites ci-dessous.

(a) Tracé Amont

On considère que les roches qui se trouvent au fond de la crête ont un degré de consolidation relativement élevé et sont en bon état. Dans cette section, on suppose que l'érosion s'est propagée, bien qu'elles ne soient pas aussi remarquables autant que la couche superficielle. Le long du plan du cours supérieur, une topographie de la vallée légèrement profonde se forme en un point situé à environ 1,5 km de l'entrée en amont, et la topographie de la partie supérieure du tunnel devient peu profonde dans cette section, par conséquent la masse rocheuse le long du tunnel est légèrement altérée dans cette section.

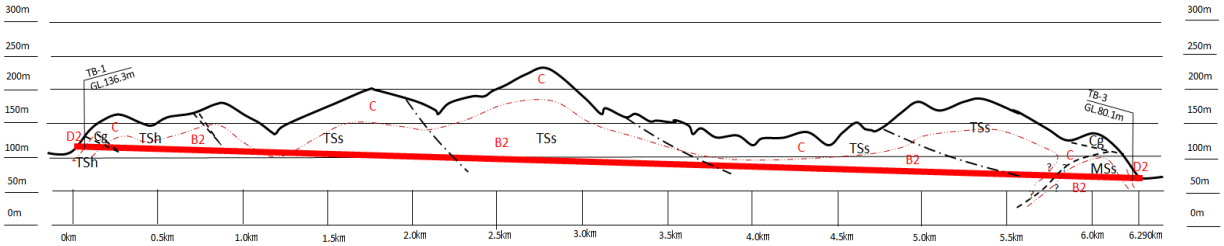


Source : Equipe d'Etude de la JICA

Figure 5-23 Coupe transversale géologique estimée le long du tracé prévu du tunnel

(b) Tracé Aval

L'état d'érosion principale du substrat rocheux est considéré le même que celui du tracé amont. Des roches sédimentaires avec une bonne consolidation dans le Trias du Mésozoïque sont réparties à proximité de l'exutoire aval le long du plan aval. Cependant, dans cette zone, la roche sédimentaire est recouverte par le conglomérat de la couche néogène. Puisqu'une discordance entre la roche sédimentaire et le conglomérat se forme à la limite, on suppose que l'érosion sera plus épaisse dans une certaine mesure.



Source : Equipe d'Etude de la JICA

Figure 5-24 Coupe transversale géologique estimée le long du tracé prévu tunnel

4) Eléments à Considérer pendant la Construction du Tunnel

(a) Aperçu Général

a) Aperçu de l'étude géologique jusqu'à présent

Dans cette étude, un total de trois sondages ont été réalisés avec un sondage à l'entrée du tunnel le long de l'alignement amont et aval, et un sondage à la sortie du tunnel de chaque alignement. En même temps, une reconnaissance sur le terrain de la géologie de surface autour du tracé du tunnel a été effectuée. Cependant, ces études ne sont qu'un stade préliminaire de l'étude géologique du tunnel.

Les sondages effectués dans le cadre de cette étude ont permis de saisir les conditions géologiques et du substratum rocheux d'une zone/partie très limitée près de l'entrée et de la sortie du tunnel prévu. En outre, la reconnaissance sur le terrain de la géologie de surface a permis de confirmer l'état géologique et l'état de la masse rocheuse qui se répartit autour du tracé du tunnel à la surface.

b) Considérations Topographiques and Géologiques

- Comme mentionné ci-dessus, l'enquête menée dans le cadre de cette étude est une enquête préliminaire, mais les résultats ont confirmé ou estimé ce qui suit.
- La géologie le long du tracé du tunnel prévu est principalement constituée de schistes, de grès et de conglomérats formés au Miocène et au Pliocène du Néogène. En outre, il a été confirmé que du grès et de l'ardoise formés à la période triasique de l'ère mésozoïque sont répartis près de la sortie du tunnel.
- Les schistes, les grès et les conglomérats qui sont principalement distribués dans les trajets de tunnel sont fondamentalement classés comme des "roches tendres". Cette étude par forage a été réalisée dans la couche de surface à l'entrée et à la sortie du tunnel, et ces roches sont ramollies à ces points de forage en raison de l'influence de l'altération sur la surface du sol. Cependant, elles sont présumées être consolidées dans la partie fraîche de la partie profonde du sol.
- Le grès et l'ardoise distribués près de la sortie du tunnel sont également jugés mous en raison de l'altération de la surface du sol. En revanche, il a été confirmé que ces grès et ardoises sont composés de roches extrêmement dures dans le lit de l'affluent. Par conséquent, on estime que le grès et l'ardoise sont essentiellement composés de roches extrêmement dures dans la partie fraîche. On suppose que la roche est extrêmement dure dans la section où l'influence de l'altération dans la partie profonde du sol le long du tunnel n'est pas affectée ou l'influence est faible.
- Une zone topographiquement effondrée et un effondrement possible sont observés à l'entrée et à la sortie du tunnel. Puisque ces terrains sont de petite taille, il est considéré possible de les traiter en aménageant et en concevant l'entrée et la sortie du tunnel.

c) Eau souterraines

Jusqu'à présent, il n'existe pas de données sur le niveau des eaux souterraines. Cependant, d'après les résultats de la reconnaissance géologique de surface effectuée autour du site du tunnel prévu dans cette étude, on considère que le niveau des eaux souterraines du sol est relativement élevé. Cela peut suggérer que le substratum rocheux est en bon état, avec peu d'instabilité dans la partie fraîche profonde, à l'exception de la partie altérée de la couche de surface. D'autre part, si une faille existe dans le substratum rocheux, il est possible qu'une grande quantité d'eau de source soit générée lorsque la faille est excavée dans un tunnel. Il sera nécessaire d'appréhender la distribution, la continuité et les propriétés de la zone de failles par le biais d'études géologiques et de refléter les résultats dans l'examen des conditions de conception.

L'enquête menée dans le cadre de cette étude constitue un stade préliminaire d'investigation. La méthode NATM est une méthode de tunnel de montagne qui est applicable à des sols mous jusqu'à des fondations rocheuses en roche dure. Sur la base des résultats de l'étude et de la reconnaissance sur le terrain, on considère qu'il n'y a pas de problèmes majeurs dans la topographie et la géologie de ce site,

donc on estime que l'excavation du tunnel par la méthode NATM est applicable pour la construction du tunnel dans cette zone.

Les points suivants peuvent être cités comme considération topographique et géologique.

(b) Conditions topographiques et géologiques

Sur la base des résultats de la reconnaissance de terrain et du sondage réalisé, les points suivants à considérer en termes de topographie et de géologie sont répertoriés le long du tracé du tunnel.

a) Topographie du Glissement de Terrain Potentiel et d'Effondrement à l'Entrée du Tunnel

- Des glissements de terrain ou une topographie d'effondrements potentiels sont observés près de l'entrée du côté du réservoir TB-1 et près de la sortie aval TB-3 du tunnel. Ces topographies près de l'entrée TB-1 du côté du réservoir sont petites. Par conséquent, il est possible de prévoir l'entrée du tunnel en évitant ces topographies.
- Au voisinage de la sortie TB-3 en aval du tunnel, le Tertiaire Cénozoïque couvre la discordance des strates mésozoïques. Les glissements de terrain et la topographie d'effondrement ne se retrouvent pas dans les strates mésozoïques. Cependant, la formation du tertiaire cénozoïque est généralement érodée et une topographie d'effondrement à petite échelle est observée. Il faut y faire face en concevant des têtes de puits.

b) Failles

- D'après la carte géologique existante, il n'y a pas de failles le long du tracé prévu du tunnel. Cependant, parmi les formations néogènes proches de l'entrée du réservoir TB-1, il est reconnu que la formation de schiste (Tsh) du côté ouest a tendance à avoir une structure géologique plus raide que la formation de grès (Tss) du côté est. Par conséquent, bien qu'aucun affleurement de faille n'ait été confirmé lors de la reconnaissance de terrain menée jusqu'ici dans le voisinage, la possibilité de distribution de failles dans ce voisinage ne peut être niée.
- En cas de présence de faille, le tracé du tunnel passera par cette dernière. Dans ce cas, une zone hautement perméable se forme le long de la zone de cisaillement de la faille et on considère que l'eau souterraine est susceptible de s'accumuler.

c) Eaux Souterraines, autres

- Il n'y a pas de données jusqu'à présent sur le niveau des eaux souterraines le long du tracé du tunnel, mais le niveau des eaux souterraines peut être relativement élevé.
- Près des strates triasiques de l'ère mésozoïque sont couvertes par les strates néogène avec discordance près de la sortie du tunnel prévu (TB-3). Il est concevable qu'une couche de gravier basale ayant un faible degré de solidification et une perméabilité légèrement élevée soit prise en sandwich entre les parties limites de discordance à proximité.
- À une distance d'environ 1,5 km du côté de l'entrée (TB-1) du tracé du plan en amont et en aval, une topographie de vallée légèrement creusée est observée. Puisque de l'eau courante est observée le long de la rivière près de cette zone, la topographie des crêtes près de cette zone est relativement faible, mais le niveau d'eau souterraine est considéré comme relativement élevé.

(c) Enquête géologique future pour l'examen des conditions de conception des tunnels par le NATM

Le classement du type de tunnel selon les résultats de cette enquête est basé sur la "Norme de conception et de planification, et d'exploitation et d'explication pour un projet d'amélioration des terres, conception - tunnel de drainage" Ministère de l'agriculture, des forêts et de la pêche (2014)". D'autre part, on juge qu'il n'y a pas de problème grave dans la construction de tunnel par la méthode NATM, qui est une méthode générale de construction de tunnel de montagne. À l'avenir, il sera nécessaire de réaliser des sondages plus détaillés, etc. Il faudra ensuite procéder à une classification détaillée du type

de tunnel et à la conception du tunnel pour sa construction selon la méthode NATM.

Les chapitres suivants décrivent les éléments de l'étude géologique et leur déroulement qui sont considérés comme nécessaires pour examiner les conditions de conception du tunnel au moment de la construction.

5.4.5 État géologique du barrage de dérivation prévu

(1) Éléments et emplacement de l'investigation

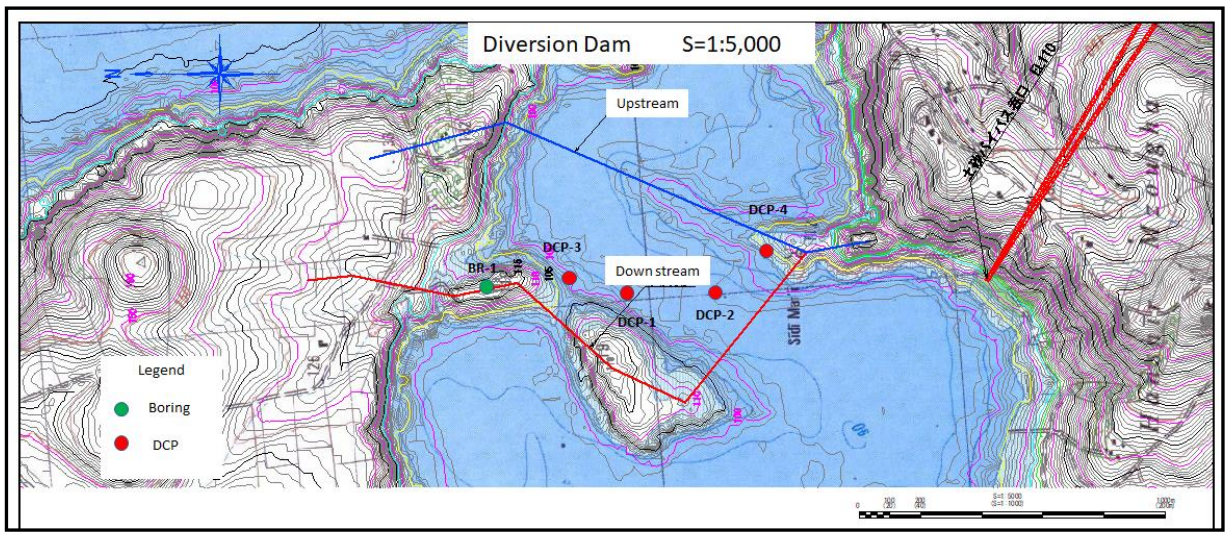
Des forages au long du tracé du tunnel de dérivation ont été effectués aux emplacements indiqués sur le Tableau 5-16 et la Figure 5-25. Le sondage a été effectué près du tracé aval, comme indiqué sur la Figure.

Le Forage BR-1 a été réalisé sur l'île dans le réservoir. Tous les DCP ont été réalisés à partir de la surface du lac dans le réservoir.

Le forage BR-1 a été réalisé dans le but de saisir la géologie et l'état de la roche du socle. De plus, le DCP a été réalisé jusqu'à la profondeur atteignant la roche du socle, principalement dans le but de confirmer l'épaisseur et la profondeur des sédiments déposés après la construction du barrage de Sidi Salem.

Tableau 5-16 Caractéristiques de l'investigation

No.	Profondeur (m)	Coordonnées		Note
		X	Y	
BR-1	**15.0**	36°38'10.44" N	9°20'31.16" E	**Forage**
DCP-1	**21.6**	36°37'52.86" N	9°20'28.20" E	**Essai DCP**
DCP-2	**21.2**	36°37'44.30" N	9°20'29.10" E	**Idem**
DCP-3	**5.0**	36°38'1.28" N	9°20'30.96" E	**Idem**
DCP-4	**4.0**	36°37'38.62" N	9°20'33.60" E	**Idem**

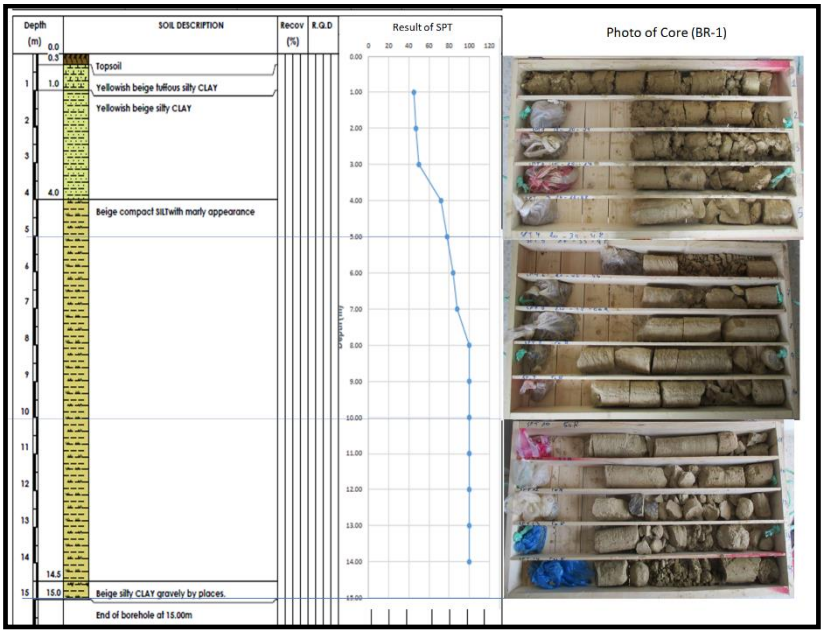


Source : Equipe d'Etude de la JICA

Figure 5-25 Emplacement des forages d'investigation

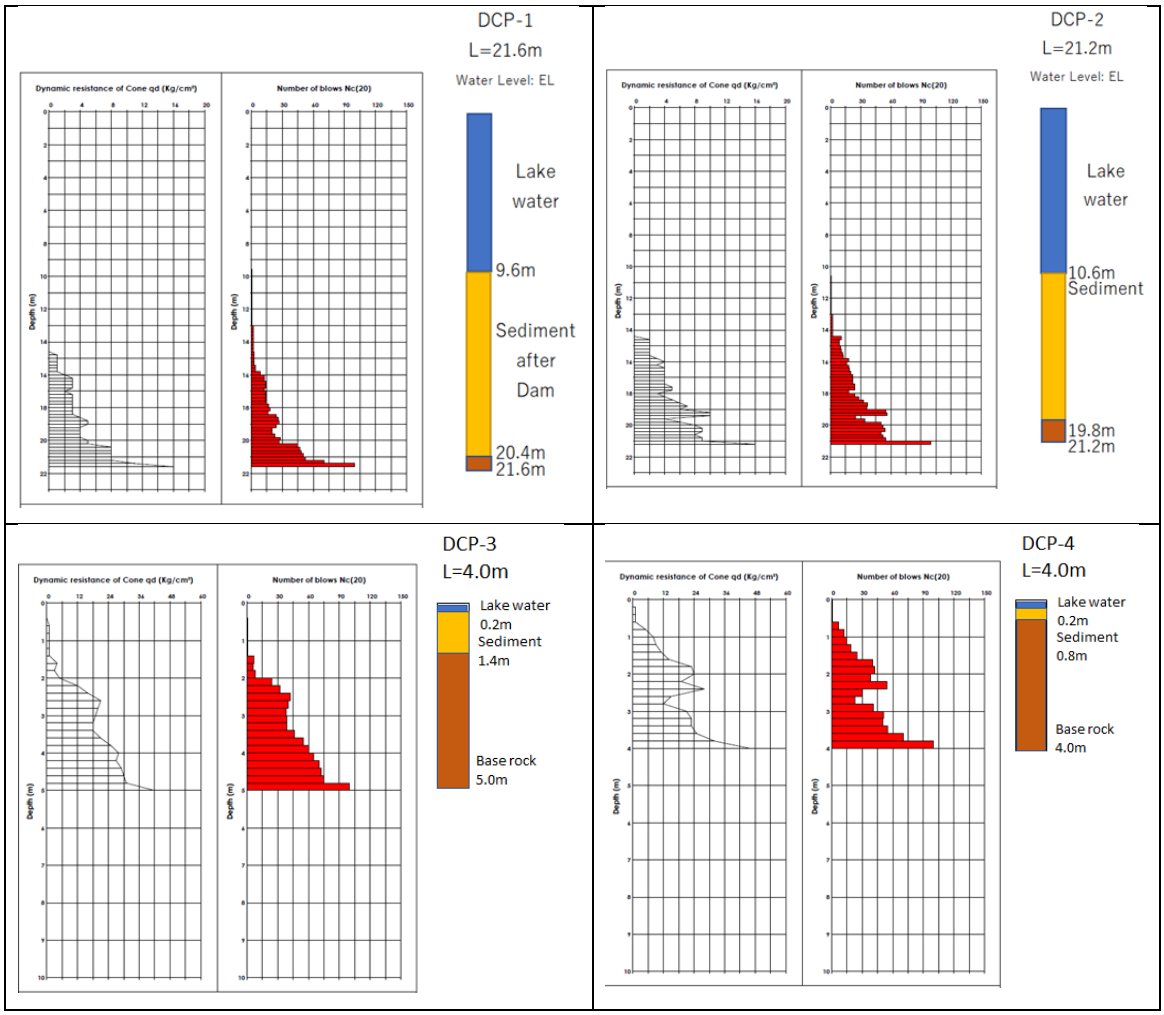
(2) Résultat des forages et du DCP

Les résultats de tous les forages sont présentés sans le graphe et la photographie de la carotte sur la Figure 5-26, et les résultats des essais du DCP sont présentés sur la Figure 5-27.



Source : Equipe d'Etude de la JICA

Figure 5-26 Résultat des forages



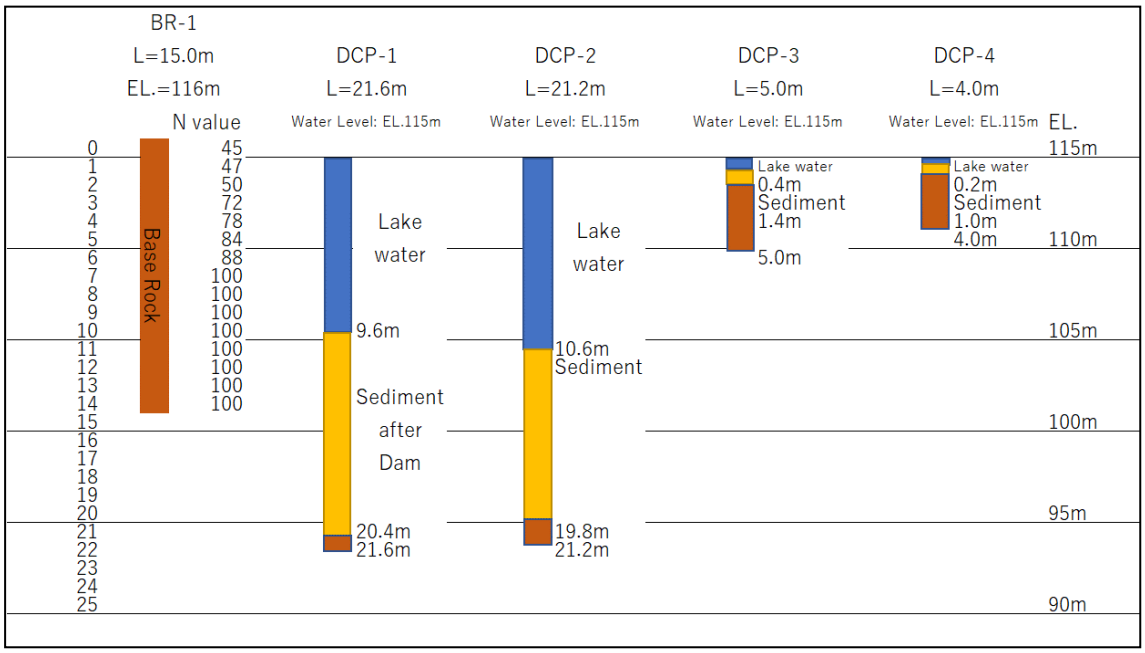
Source : Equipe d'Etude de la JICA

Figure 5-27 Résultats des essais du DCP

Les conditions géologiques et pédologiques en chaque point confirmées ou supposées par les sondages et les essais du DCP sont les suivantes.

- TB-1 : La géologie est principalement composée de grès et de schiste formés dans le Néogène, qui est le substratum rocheux de la surface du sol. La profondeur de la partie altérée est peu profonde et l'état de la roche est relativement bon immédiatement après avoir atteint la zone d'absence d'altération, et la valeur N de 50 ou plus est atteintes aux profondeurs plus de 3 m.
- DCP-1 : La surface supérieure du sédiment peut être confirmée à partir d'une profondeur de 9,6 m. Les sédiments sont déposés jusqu'à 20,4 m de profondeur avec une épaisseur de 10,8 m. Les dépôts sont très tendres.
- DCP-2 : Les sédiments peuvent être confirmés à partir d'une profondeur de 10,6 m. Les sédiments sont déposés jusqu'à une profondeur environ 19,8 m avec une épaisseur d'environ 9,2 m. Comme le DCP-1, les dépôts sont très tendres.
- DCP-3 : Les sédiments peuvent être confirmés à partir d'une profondeur de 0,4 m. L'épaisseur des sédiments est d'environ 1 m et on pense que le substrat rocheux se répartit sous les sédiments.
- DCP-4 : Les sédiments peuvent être confirmés à partir d'une profondeur de 0,2 m. L'épaisseur des sédiments est d'environ 0,8 m et on pense que le substrat rocheux se répartit sous les sédiments.
- Il est confirmé que l'épaisseur des sédiments près de la zone cible est de 9 à 11 m, avec une épaisseur moyenne d'environ 10 m, bien qu'il existe quelques différences selon l'emplacement. De plus, il est confirmé que les sédiments ne sont pas très épais sur la pente sous la surface de l'eau.

Les résultats sont indiqués sur la Figure 5-28 avec l'élévation du BR-1 à EL.116m et l'élévation de la surface de l'eau du réservoir à EL.115m au moment de l'essai DCP.



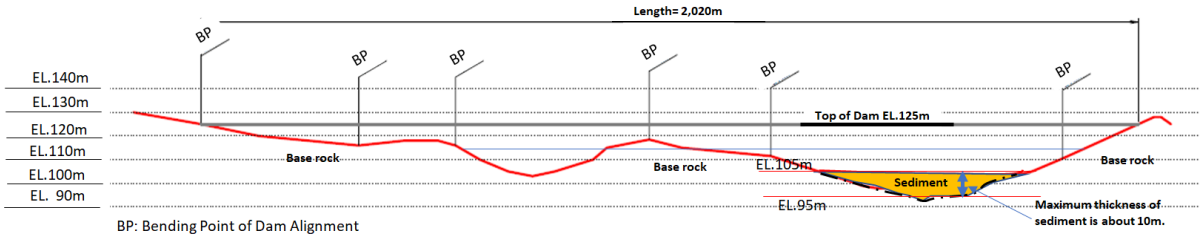
Source : Equipe d'Etude de la JICA

Figure 5-28 Résultat de des essais

(3) Répartition géologique

A partir des résultats des forages et des quatre essais de DCP, l'état géologique du substrat rocheux près du déversoir n'est pas entièrement compris. Cependant, concernant l'épaisseur des sédiments déposés dans la retenue après la construction du barrage de Sidi Salem, une tendance grossière a pu être appréhendée à partir des résultats des quatre DCP.

La Figure 5-29 montre une coupe géologique estimée près du déversoir le long du tracé aval.



Source : Equipe d'Etude de la JICA

Figure 5-29 Section géologique estimée près du déversoir

La condition géologique à proximité du barrage de dérivation est la suivante :

- Le socle rocheux à proximité du déversoir projeté est principalement composé de conglomérat, de grès et de schiste, qui sont des roches sédimentaires formées au Néogène.

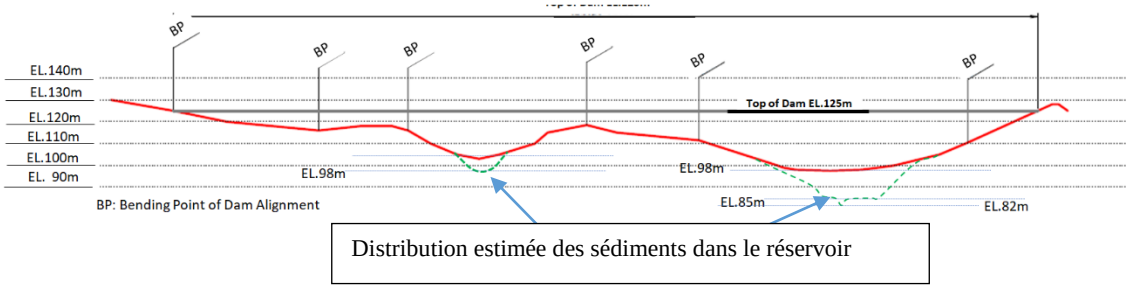
- La surface de la terre avant la construction du barrage de Sidi Salem est recouverte de sédiments déposés après la construction du barrage. L'épaisseur de ces sédiments est d'environ 10 m dans la plaine de fond de la vallée de la topographie ancienne. De plus, l'épaisseur des sédiments sur la pente

plus profonde que le niveau d'eau de 105 m dans le réservoir semble être faible.

- On considère que les dépôts en surface se sont déposés sur les roches supérieures de la plaine du fond de la vallée avant la construction du barrage, mais les résultats du DCP suggèrent que ces dépôts en surface sont de faible épaisseur.

(4) Comparaison de la distribution des sédiments entre les relevés bathymétriques en 2018

La Figure 5-30 montre la répartition des sédiments le long du tracé aval du déversoir projeté estimée sur la base des résultats du levé bathymétrique réalisé lors du SAPI 2018. Selon les résultats du levé bathymétrique, l'élévation de la surface des sédiments a été observée à environ EL. 98 m le long du cours principal d'oued Medjerda. De plus, l'élévation de l'ancienne surface (lit de l'oued) d'oued Medjerda a été supposée être d'environ EL. 85 m sur la carte topographique avant la construction du barrage (EL. 82 m à la partie profonde de l'oued).



Source : Equipe d'Etude de la JICA

Figure 5-30 Section géologique estimée le long du déversoir prévu (SAPI 2018)

D'autre part, sur la base des résultats de l'essai du DCP menée dans le cadre de cette investigation, il est confirmé que l'élévation de la surface des sédiments est d'environ EL.105 m, comme indiqué sur la Figure 5-30. En outre, il a été confirmé que l'élévation de l'ancienne surface du sol (niveau du lit de l'oued avant la construction du barrage de Sidi Salem) est d'environ EL. 95 m à partir de l'épaisseur des sédiments.

Les résultats d'observation de ces deux éléments sont considérés comme suit.

Dans l'essai DCP, le niveau d'eau du réservoir au moment de l'observation est pris comme altitude de référence. Dans l'essai, il est possible de définir physiquement avec précision la profondeur supérieure du sédiment et la profondeur limite entre le socle rocheux et le sédiment avec une tige métallique.

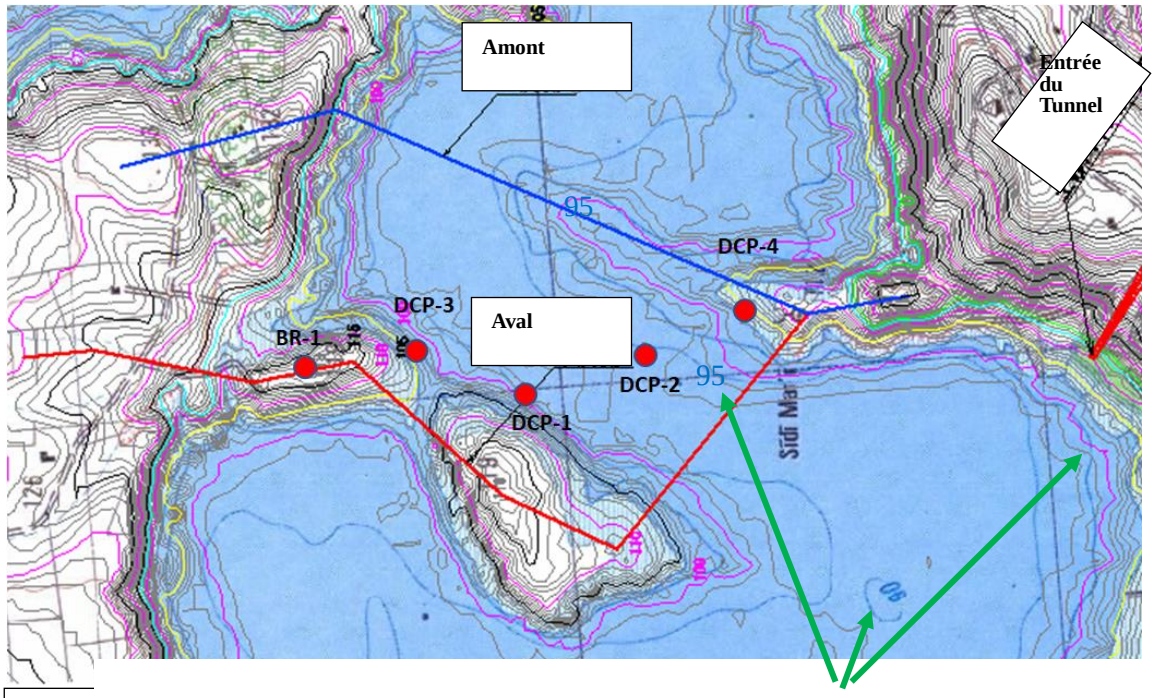
D'autre part, dans le relevé bathymétrique, le niveau d'eau de la retenue au moment de l'observation est utilisé comme altitude de référence, tout comme dans l'essai DCP, mais on suppose que la profondeur de la surface supérieure des sédiments est mesurée par réflexion des ondes sonores émises à proximité de la surface de l'eau sur la surface supérieure des sédiments au fond du lac. Par conséquent, on ne peut nier que les ondes sonores sont reflétées par les matières en suspension existant au-dessus des sédiments déposés au fond du lac dans le relevé bathymétrique. D'autre part, dans l'essai DCP, la surface supérieure du dépôt peut être confirmée à l'aide d'une tige métallique, donc en comparant les deux, on considère que l'essai DCP a une plus grande précision d'observation.

À partir de l'estimation ci-dessus, on considère que la confirmation de la profondeur par DCP menée dans cet essai est plus précise, et on estime que la situation autour de l'emplacement concerné est la suivante :

- L'élévation de l'ancienne surface (lit de l'oued) dans cette zone avant l'accumulation de sédiments dans le réservoir est d'environ EL. 95 m.
- L'altitude maximale actuelle des sédiments aux alentours est d'environ EL. 105 m.

- L'épaisseur maximale de sédiments est d'environ 10 m.
- Une petite quantité de dépôts est répartie au niveau d'eau peu profond en rive gauche du tracé amont.

La Figure 5-31 montre la topographie donnée par l'ancienne carte topographique avant la construction du barrage et les résultats de l'essai peu profond (2018). Sur la base de l'ancienne carte topographique, l'élévation de l'ancienne surface du sol (lit de l'oued) près de DCP-2 est d'environ EL. 95 m. Ceci est proche de la profondeur estimée à partir de ce sondage DCP.



La ligne bleue et les chiffres au bout de la flèche verte indiquent les contours de surface et les élévations sur les anciennes cartes topographiques. L'intervalle de contour est de 5 m et le contour près de DCP-2 est de 95 m.

Source : SAPI 2018 JICA

Figure 5-31 Carte topographique par ancienne carte et levé bathymétrique

(5) État du substrat rocheux et des sédiments

1) Masse rocheuse État du substrat rocheux

(a) Masse rocheuse État du substratum rocheux d'après les résultats des forages

À la suite de l'enquête par forage, la valeur N est de 50 ou plus à une profondeur d'environ 3 m de la surface du sol, et on considère que la profondeur d'altération est relativement faible même à la surface du sol. Le Tableau 5-17 montre les résultats de l'essai de compression simple mené sur la carotte de forage, et la résistance à la compression est d'environ 11 à 24 kgf/cm^2.

Tableau 5-17 Résultats de l'essai de compression simple

Nb. D'Essai	Profondeur d'Echantillonage (GL.-m)	Résistance à la Compression	
		kpa	Kgf/cm^2
BR-1-1	8.50-8.70	1320.2	13.6
BR-1-2	10.40-10.70	1074.1	10.95
BR-1-3	13.20- 13.50	2391.6	24.38

(b) Masse rocheuse État du substratum rocheux d'après les résultats de l'essai du DCP

En considérant la valeur N du substratum rocheux à partir de la résistance à la pénétration basée sur le résultat du DCP, la valeur N est d'environ 10 à une profondeur de 4 m (environ 3 m après basculement) de DCP-3 et de 4,5 m (environ 4 m après basculement) de DCP-4.

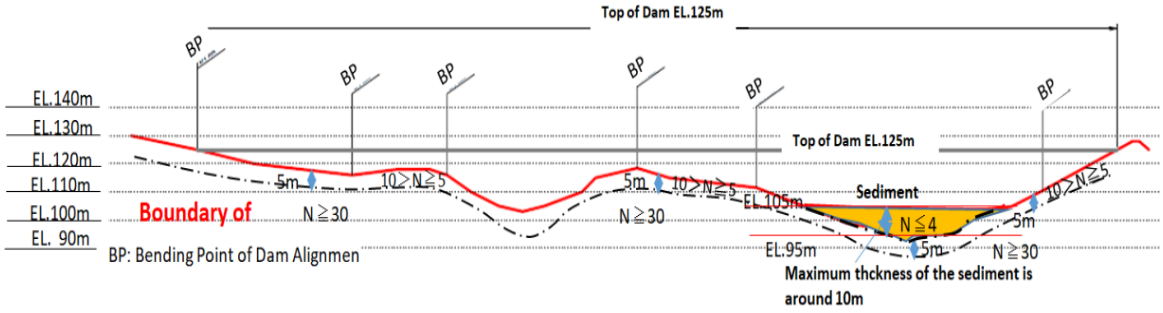
D'après les résultats ci-dessus, on considère que la profondeur d'altération du substratum rocheux est généralement faible. La valeur N du substrat rocheux est supposée être prise entre 5 et 10 jusqu'à une profondeur d'environ 5 m de la surface du substrat rocheux, et au-delà de 5m de profondeur la valeur N est supérieure ou égale à 30.

2) État des sédiments

Les sédiments déposés après la construction du barrage de Sidi Salem sont des sédiments très tendres sur la base des résultats de ce DCP, des résultats du levé DCP mené sur des coupes de la voie ferrée, et des résultats du précédent sondage de pénétration test standard. La valeur N est généralement de 4 ou moins, et on considère que la valeur N est de 1 ou moins dans la couche superficielle du sédiment.

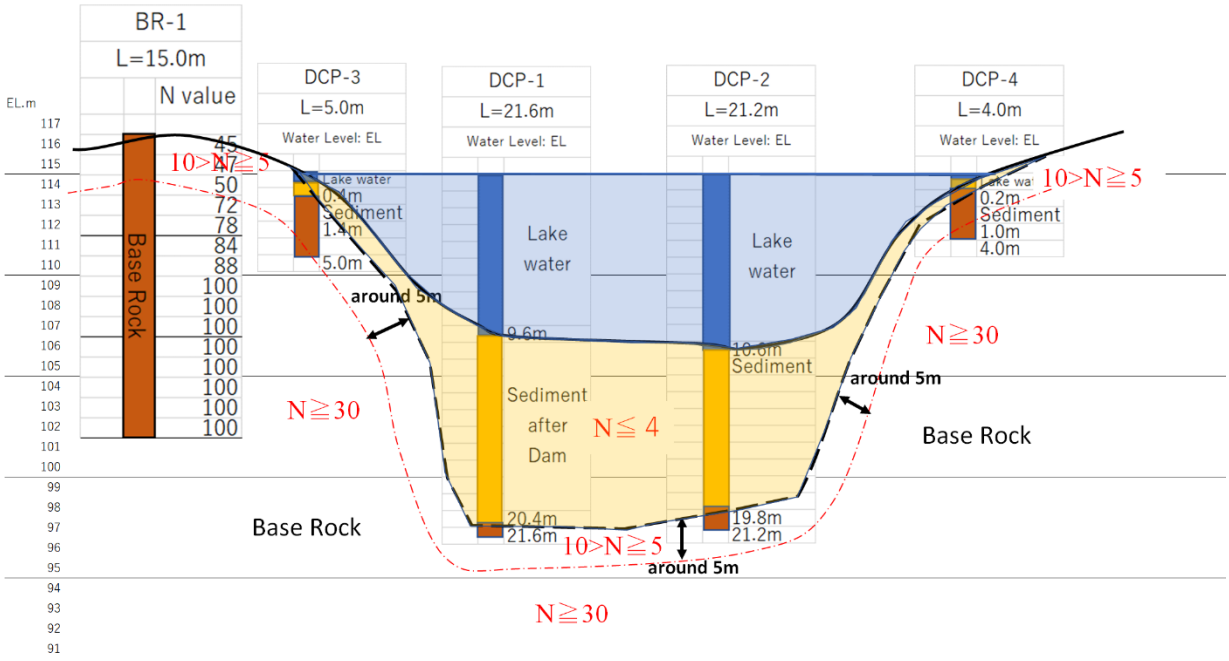
3) Distribution de la Valeur N du substratum rocheux et des sédiments

La Figure 5-32 montre schématiquement la distribution des valeurs N du substratum rocheux et des sédiments au barrage de dérivation (Tracé aval) estimée sur la base des résultats de ce levé. De plus, la Figure 5-33 est une coupe transversale schématique montrant la distribution de la valeur N des sédiments et des substrats rocheux.



Source : Equipe d'Etude de la JICA

Figure 5-32 Carte de distribution des valeurs N le long du déversoir (Tracé aval)



Source : Equipe d'Etude de la JICA

Figure 5-33 Coupe transversale schématique de la distribution de la valeur N du substratum rocheux et des sédiments

Le Tableau 6-18 montre la résistance à la compression (qu) et la cohésion (c) des dépôts convertis sur la base de la résistance à la pénétration des résultats de l'essai du DCP menée dans cette investigation comme valeurs de référence.

Tableau 5-18 Résistance au cône, qu et C du sédiment (Référence)

No. de DCP	Profondeur des Sédiments (m)	Résistance au Cône de Pénétration (kg/cm^2)	Résistance à la compression convertie qu (Kgf/cm^2)	Cohésion Convertie c = qu/2 (Kgf/cm^2)
DCP-1	**20.4**	**1-5**	**0.2 – 1.0**	**0.1 – 0.5**
DCP-2	**19.8**	**2-5**	**0.4 – 1.0**	**0.2 – 0.5**
DCP-3	**1.4**	**1-5**	**0.2 – 1.0**	**0.1 – 0.5**
DCP-4	**1.0**	**5**	**1.0**	**0.5**

Remarque : Force non confinée : qu=0,2 x Résistance au cône、Cohésion : c=0,1 x Résistance au cône

5.4.6 Etude de Turbidité dans le Réservoir du Barrage

On suppose que la forte concentration d'eau trouble qui s'écoule pendant les crues est la principale cause de sédimentation du barrage de Sidi Salem. Cependant, la situation réelle n'a pas encore été clarifiée. Puisqu'il est important de comprendre la condition réelle afin d'examiner les mesures contre la sédimentation, une étude de turbidité est en cours dans cette étude préliminaire. Dans le présent rapport, l'état de la mise en œuvre de l'étude de turbidité est présenté.

(1) Observation Amovible Multipoint

L'observation amovible multipoint est effectuée à l'aide d'un bateau pour mesurer la distribution verticale de la température et de la turbidité de l'eau en plusieurs points dans le réservoir. L'observation devrait être effectuée une fois par mois en temps normal et lors d'événements immédiatement après les

crues. À l'heure actuelle, l'observation n'a été effectuée qu'en temps normal puisque aucune crue ne s'est produite. En janvier et février 2020, l'observation mobile par bateau n'a pas été réalisée pour des raisons de sécurités vu que les vagues à la surface de l'eau ont augmenté par la présence de forts vents.

(2) Observation Continue à Points Fixes

Une observation en point fixe est effectuée afin de confirmer le changement temporel de la turbidité dans 6 points ; 4 points au-dessus du réservoir, 1 pointe à l'entrée du réservoir et 1 point en zone d'évacuation en aval du barrage.

Tableau 5-19 Méthodes d'Etude de la Turbidité

Méthode	Eléments	Description
Observation Continue à Points Fixes	Période	2020.1.26 -
	Emplacement	Entrée 1, Réservoir 4, Evacuation 1
	Durée des Mesures	20 minutes d'intervalle
	Paramètres	Turbidité, Température d'eau
Observation Amovible Multipoint	Période	Normal : 1 / mois Evènement : Après la Crue
	Emplacement	Environ 12 points
	Durée des Mesures	1.0 m de distance dans la direction verticale
	Paramètres	Turbidité, Température d'eau, Hauteur d'eau

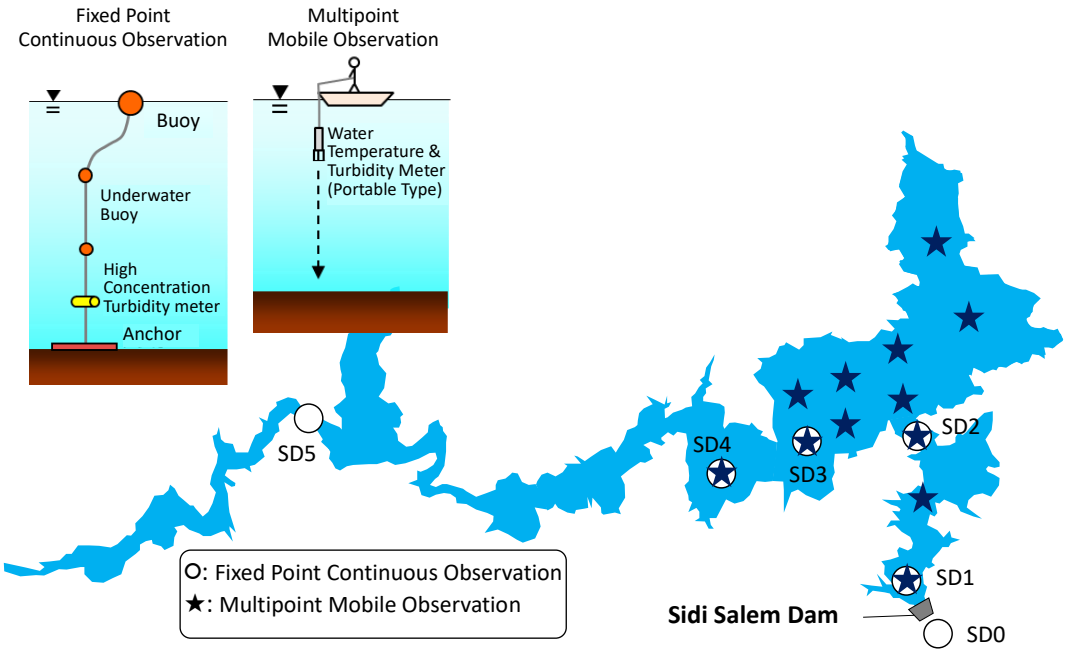
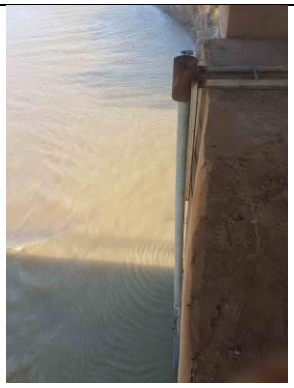


Figure 5-34 Points d'observation de la turbidité

Figure 5-35 Equipment d'etude de turbidité installé dans le réservoir du barrage

Tableau 5-20 Etat de l'Installation d'Equipment d'Etude de Turbidité

SD-0	SD-1	SD-2
SD-3	**SD-4**	**SD-5**
		

(3) Résultats de l'Etude de Turbidité

1) Observation Amovible Multipoint

Les résultats de l'observation amovible multipoint du 3 mars 2020 sont présentés sur le Tableau 5-21.

La température de l'eau était d'environ 13°C en tous points et était presque uniforme le long de la direction verticale. Pendant la saison de pluies en Tunisie, entre décembre et mai, la température de l'eau est basse et la stratification de la température de l'eau ne se forme pas.

Il y a une partie avec une turbidité légèrement élevée dans la zone inférieure. Ces turbidités sont de 10

à 40 degrés au plus haut, cependant, elles sont extrêmement faibles par rapport à la concentration de turbidité qui se produit pendant les crues, 1 000-10 000. Par conséquent, la possibilité d'une augmentation de la turbidité due aux inondations est faible.

2) Observation Continue à Points Fixes

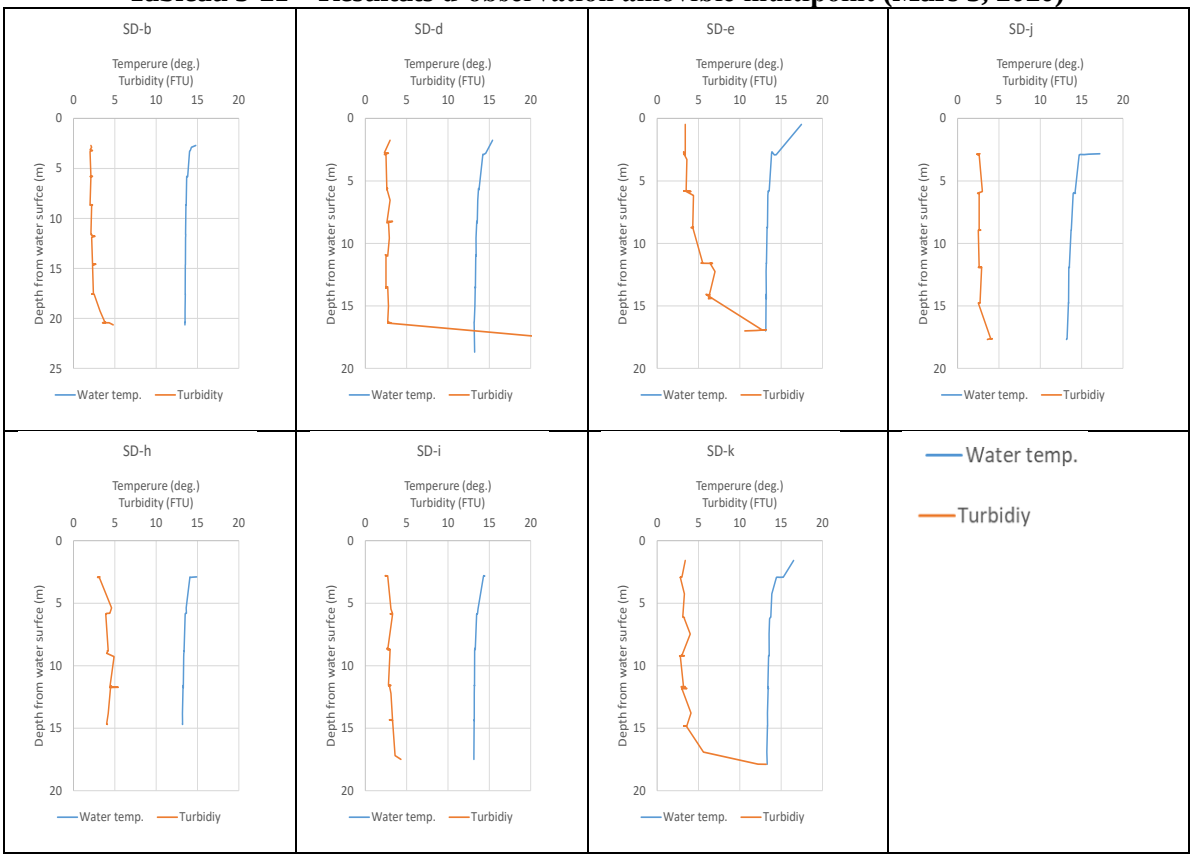
Les résultats de l'observation continue à points fixes menée entre le 26 janvier 2020 et le 9 juillet 2020 sont présentés sur la Figure 6-36.

La hauteur d'eau mesurée diffère selon l'emplacement d'installation de l'équipement de mesure. Les résultats indiquent qu'aucune inondation ne s'est produite car aucune élévation remarquable du niveau d'eau n'a été confirmée à aucun des points d'observation.

Lors de l'observation initiale, la température de l'eau était presque la même en tout point et était d'environ 12°C. En juillet, une différence de température entre l'eau peu profonde et l'eau profonde était évaluée à environ 5°C. Par conséquent, la formation d'une stratification de la température de l'eau était confirmée.

A aucun moment, la turbidité n'a augmenté de manière significative. Une légère augmentation de la concentration a été confirmée seulement pour SD4, le point le plus en amont récemment. Le niveau d'eau du réservoir étant abaissé, il est possible que des sédiments se soient enroulés à partir de la surface de dépôt.

Tableau 5-21 Résultats d'observation amovible multipoint (Mars 3, 2020)



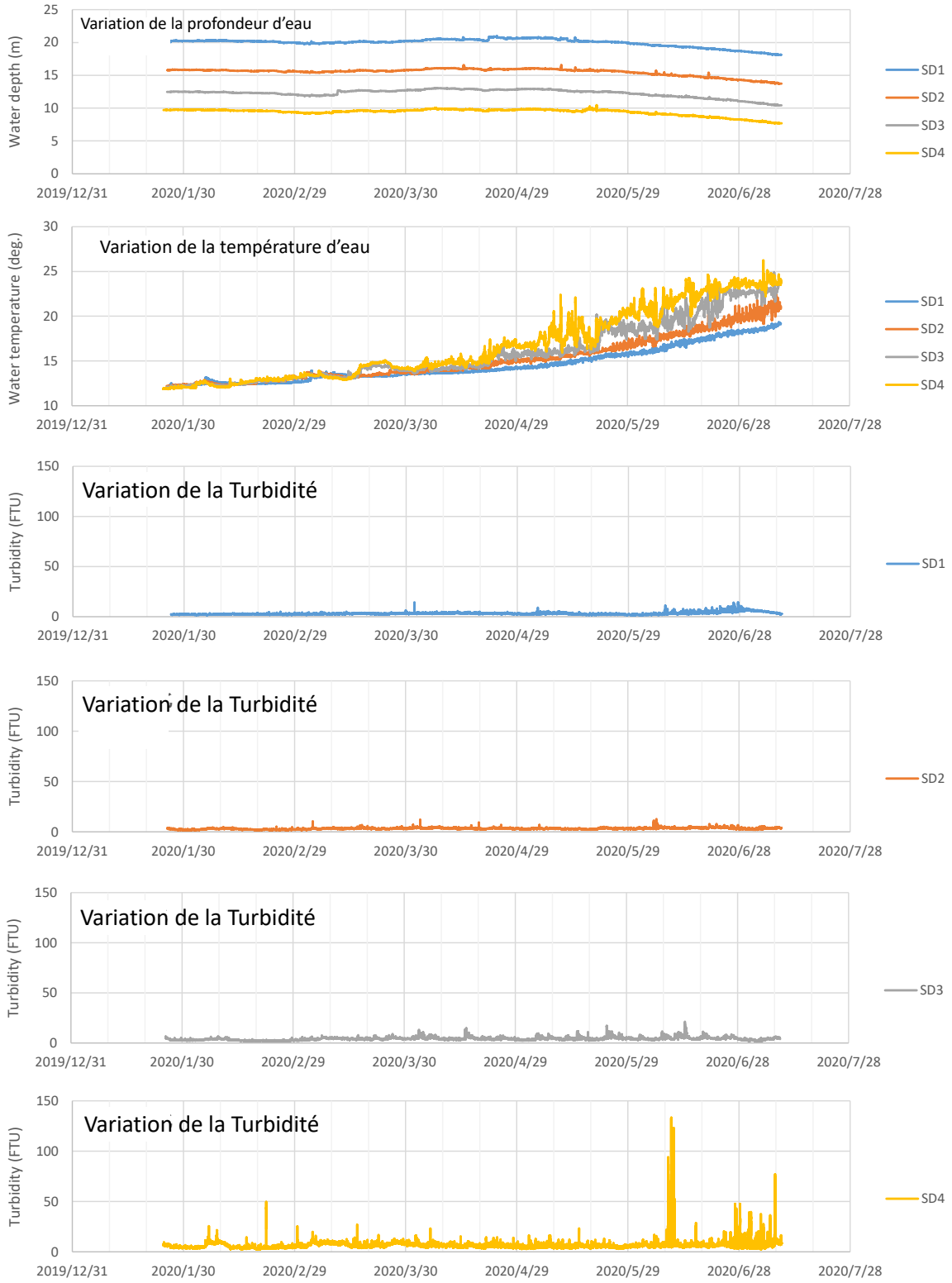


Figure 5-36 Résultats d'observation continue à points fixes (Janvier 26, 2020 - Juillet 9, 2020)

(4) Plan d'Action

L'enquête sur la turbidité de la retenue a été menée par le Ministère de l'Agriculture depuis avril 2022. Il est nécessaire de vérifier les données d'observation et d'en tenir compte lors de la conception détaillée du projet.