

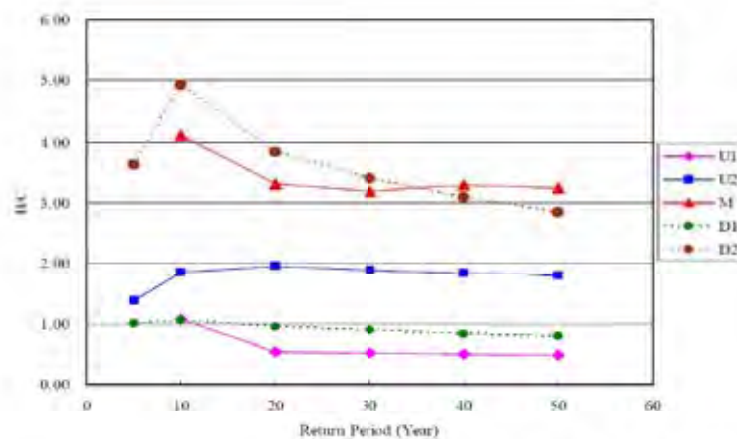
Chapitre 4 Plan d'amélioration de l'oued

4.1 Conditions de base du plan d'amélioration du chenal de l'oued

4.1.1 Niveau de sécurité de la maîtrise des crues

Le niveau de sécurité de la maîtrise des crues visé par le projet suit le plan directeur. Le plan directeur calcule le rapport coûts/bénéfices (C/B), par niveau de sécurité, par section et adopte le niveau de sécurité dont le rapport C/B maximal est escompté.

La relation entre le rapport C/B et le niveau de sécurité par section est indiquée ci-dessous. A l'issue de l'étude indiquée ci-après, le niveau de sécurité de la maîtrise des crues ciblé pour la zone D2 est fixé à la période de retour de 10ans. Par ailleurs, il est à noter que l'effet qui vaut le coût pourra être escompté, même si l'oued serait aménagé en visant la période de retour de 50ans.



Source: Etude du plan directeur

Figure 4-1 Hydrogramme des principaux points

4.1.2 Mesures structurelles

Dans le plan directeur, le débit de crues de conception basée sur la période de retours de 10ans est réparti comme indiqué ci-dessous. Le plan directeur prévoit les mesures structurelles combinées de l'amélioration du chenal de l'oued et du renforcement de bassins de retardement pour la zone D2. La présente étude prévoit également les mesures structurelles associées de l'amélioration du chenal de l'oued et du renforcement de bassins de retardement.



Source: Etude du plan directeur

Figure 4-2 Débit réparti de crues de conception du plan directeur

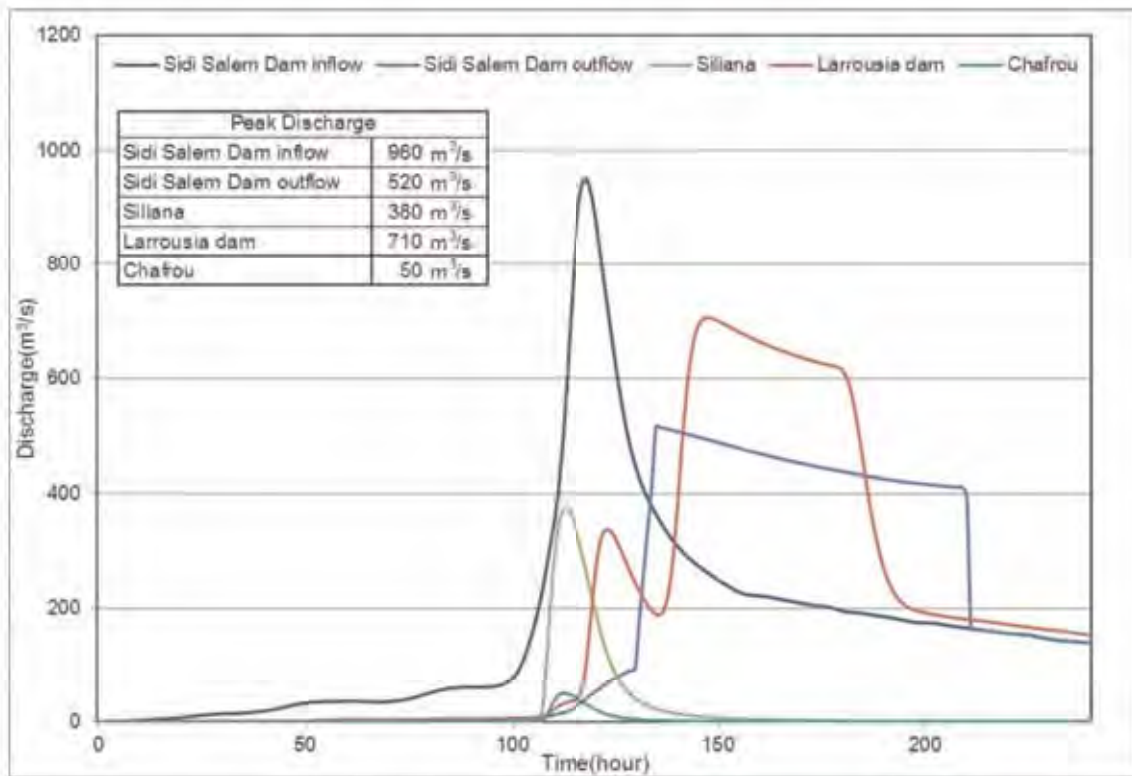
4.2 Débit de crues de base

Le calcul de débit a été étudié dans le cadre de « l'Evaluation des effets des changements climatiques dans le bassin de l'oued Medjerda en République Tunisienne » (ci-après appelée " l'Evaluation des effets des changements climatiques de l'oued Medjerda"). Dans le cadre de la présente étude, le résultat de calcul de débits examiné dans le cadre de l'évaluation des effets des changements climatiques de l'oued Medjerda sera exploité pour la détermination des « débit de crues de base et débit de crues de projet ».

L'hydrogramme des principaux points ainsi que le débit réparti des crues de base disponibles à l'issue de ladite évaluation sont montrés ci-dessous. Le débit maximal au barrage de Laroussia est de $710\text{m}^3/\text{s}$. Dans la zone D2 visée par la présente étude, son débit est fixé à $800\text{m}^3/\text{s}$ tout en tenant compte de l'écoulement des bassins versants autres que le bassin versant en aval du barrage de Laroussia (y compris l'écoulement de l'oued Chafrou).

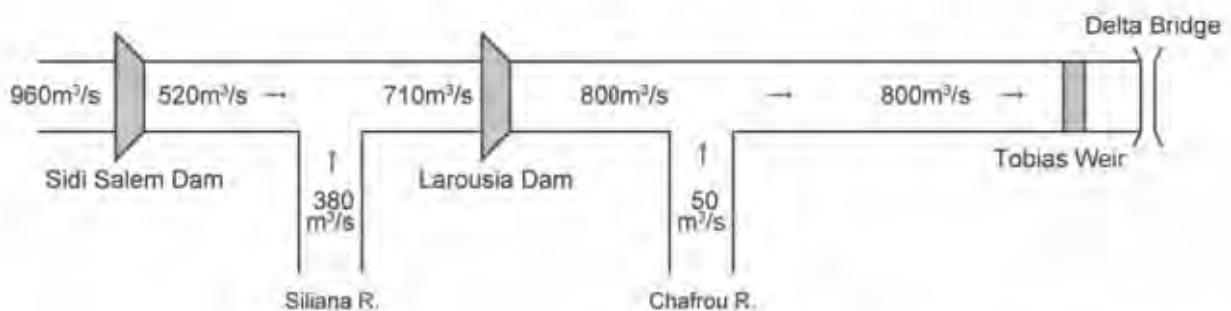
Le débit de dérivation du barrage Sidi Salem est calculé avec les conditions suivantes.

- Niveau d'eau lors de commencement de réglage d'inondation.
- La vanne est ouverte à $0,9\text{m}/\text{h}$ et ouverte complètement au bout de 6 heures.
- Lorsque le niveau d'eau est bas, la vanne est laissée ouverte complètement jusqu'au niveau maximum permanent de $115,0\text{m}$.



Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-3 Hydrogramme des principaux points



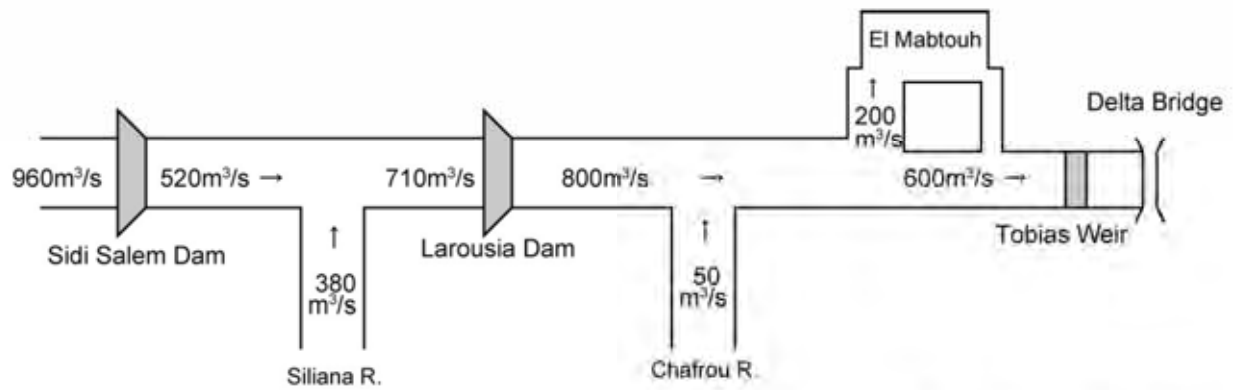
Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-4 Débit réparti des crues de base

4.3 Débit de crues du projet

Les mesures contre les crues seront celles associées de l'amélioration de l'oued et de la construction du barrage de retardement d'El Mabtouh.

Le débit distribué au barrage de retardement d'El Mabtouh est fixée à 200m³/s suivant le plan directeur en tenant compte de la capacité du garaet El Mabtouh. Le schéma de débit réparti des crues de projet est montré ci-dessous :



Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-5 Débit réparti des crues du projet

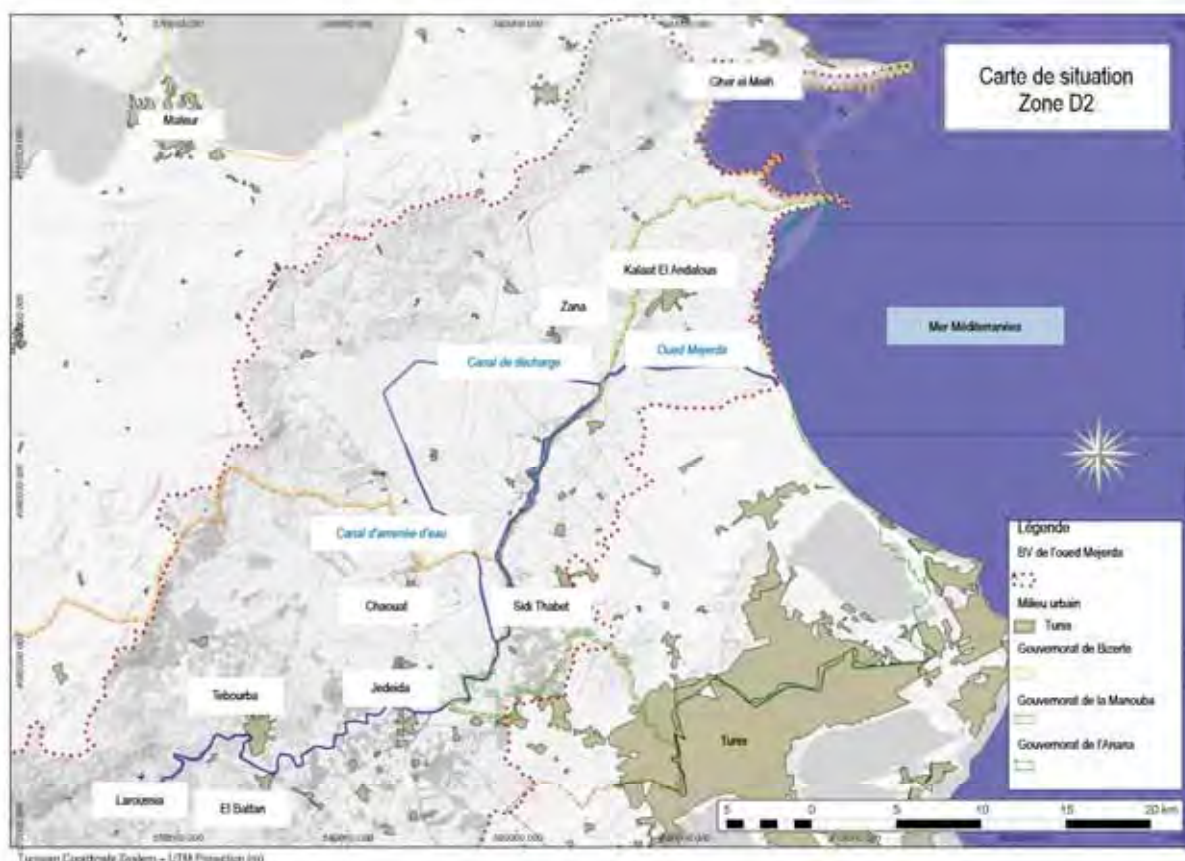
4.4 Nature du chenal de l'oued

4.4.1 Plan de section transversale et longitudinale de lit

La zone D2 (barrage de Laroussia – aval extrême de l'oued Medjerda) fait l'objet de la présente étude. Le Tableau ci-dessous montre les données utilisées pour comprendre la nature du chenal de l'oued dans le cadre de la présente étude. Parmi les données de l'arpentage transversal de 2011, il a été constaté que quelques endroits où les polygonales n'étaient pas perpendiculaires par rapport à la ligne milieu de lit. De ce fait, les documents de l'arpentage effectué en 2007 sont utilisés dans le cadre de la présente étude.

Tableau 4-1 Données de l'arpentage du chenal

	Section	Année	Source	Longueur	Nombre de coupes
1	Oued Medjerda (barrage de Laroussia – aval extrême de l'oued Medjerda)	2007	Plan directeur	64 974km	199



Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-6 Section faisant l'objet de l'examen de la présente étude (Zone D2)

4.4.2 Capacité actuelle d'écoulement à saisir

Il faut comprendre la capacité d'écoulement de l'état actuel de la section faisant l'objet de la présente étude. Les conditions de calcul hydrologique utilisées pour l'évaluation de la capacité d'écoulement sont comme montre le tableau ci-dessous :

Tableau 4-2 Conditions de calcul hydrologique

N°	Rubrique	Conditions
1	Méthode de calcul	Calcul de l'écoulement graduellement varié
2	Section objet de l'examen	Oued Medjerda (aval extrême de l'oued Medjerda-barrage de Laroussia : 64 974km)
3	Chenal objet de l'examen	Chenal actuel (2007)
4	Débit objet de l'examen	6 cas de 20% à 120% de débits de la période de retour de 10ans (800m ³ /s)
5	Coefficient de rugosité	0,04
6	Niveau d'eau de base	0,77m
7	Ouvrage	11 ponts

(1) Section objet de l'examen

La section objet de l'examen concernant la capacité d'écoulement couvre un tronçon entre l'aval extrême de l'oued Medjerda et le barrage de Laroussia (0,0 à 64 974km).

(2) Chenal objet de l'examen

Le chenal de l'état actuel fait l'objet de l'examen. Les plans de section transversale qui sont établis en 2007 au moment de l'élaboration du plan directeur sont utilisés.

(3) Débits objet de l'examen

L'examen se base sur la probabilité de 1/10 qui est la probabilité de conception. Il adopte 20% à 120% de débit calculé sur cette base.

(4) Coefficient de rugosité

Pour les plans représentatifs de sections transversales montrés à la page suivante, les plans sont divisés en la partie lit de l'oued et la zone couverte de tamarix. Le coefficient de rugosité est déterminé sur la base du coefficient combiné des coefficients calculés respectivement pour la partie lit de l'oued et la zone couverte de tamarix. La rugosité de chacun des plans représentatifs de section transversale est indiquée ci-dessous. Par ailleurs, le coefficient est fixé à $n=0,030$ et à $n=0,060$ respectivement pour la partie lit de l'oued et la zone couverte de tamarix.

- Point 49 809km : $n=0,040$ • Point 35 521km : $n=0,040$
- Point 22 521km : $n=0,039$ • Point 7 633km : $n=0,037$

Etant observé que le tamarix est poussé sur toute la section et du fait qu'il n'y a pas de grande différence sur la rugosité entre tous les plans représentatifs de section transversale, $n=0,040$ est adopté comme coefficient pour l'ensemble de sections.

Etant donné que les points inondés ont été reproduits de manière adéquate dans le calcul de simulation de l'état de crues survenues en 2003 mentionné plus bas, ledit coefficient de rugosité fixé peut être considéré pertinent.

(5) Niveau de l'eau de base

Le niveau de l'eau de base est fixé à 0,77m qui est le niveau de projet de l'aval extrême de l'oued Medjerda, déterminé par le plan directeur.

La Figure 4-7 montre le profit longitudinal exploité dans le plan directeur.

(6) Ouvrages

En ce qui concerne les ouvrages qui risquent de diminuer la superficie de la section mouillée dans le calcul de la capacité d'écoulement, leur influence sera prise en considération. Le tableau ci-dessous montre différents ouvrages prises en considération.

Tableau 4-3 Différents ouvrages

N°	Nom de l'ouvrage		Distance depuis l'embouchure	Largeur de pile	Nombre de piles
1	Pont d'El Battan	El Battan Weir bridge	53 111	2,24	17
2	Pont routier de GP7 Jedieda	GP7 road Jedieda	41 926	1,2	4
3	Vieux pont du centre-ville de Jedeida	Jedeida old bridge	41 091	6	3
4	Pont du centre-ville de Jedeida	Jedeida new bridge	41 071	1	2
5	Pont routier de l'autoroute A4	A4 Highway	16 017	2	5
6	Pont routier de GP8	GP8 road	13 728	0,6	10
7	Vieux pont Henchir Tobias	Tobias dam old bridge	10 836	0,5	4
8	Niveau pont Henchir Tobias	Tobias dam new bridge	10 828	0,8	2
9	Pont du Delta (Pont submersible de Kalaat El Andalous)	DelTableauridge	4 664	0,37	3
10	Vieux pont ferroviaire de Jedeida	Jedeida old railway bridge	37 848	2,278	1
11	Niveau pont ferroviaire de Jedeida	Jedeida new railway bridge	37 834	1,013	2

Source: Mission d'étude JICA

(7) Détermination de l'aire de la section mouillée depuis le pont Delta à l'embouchure

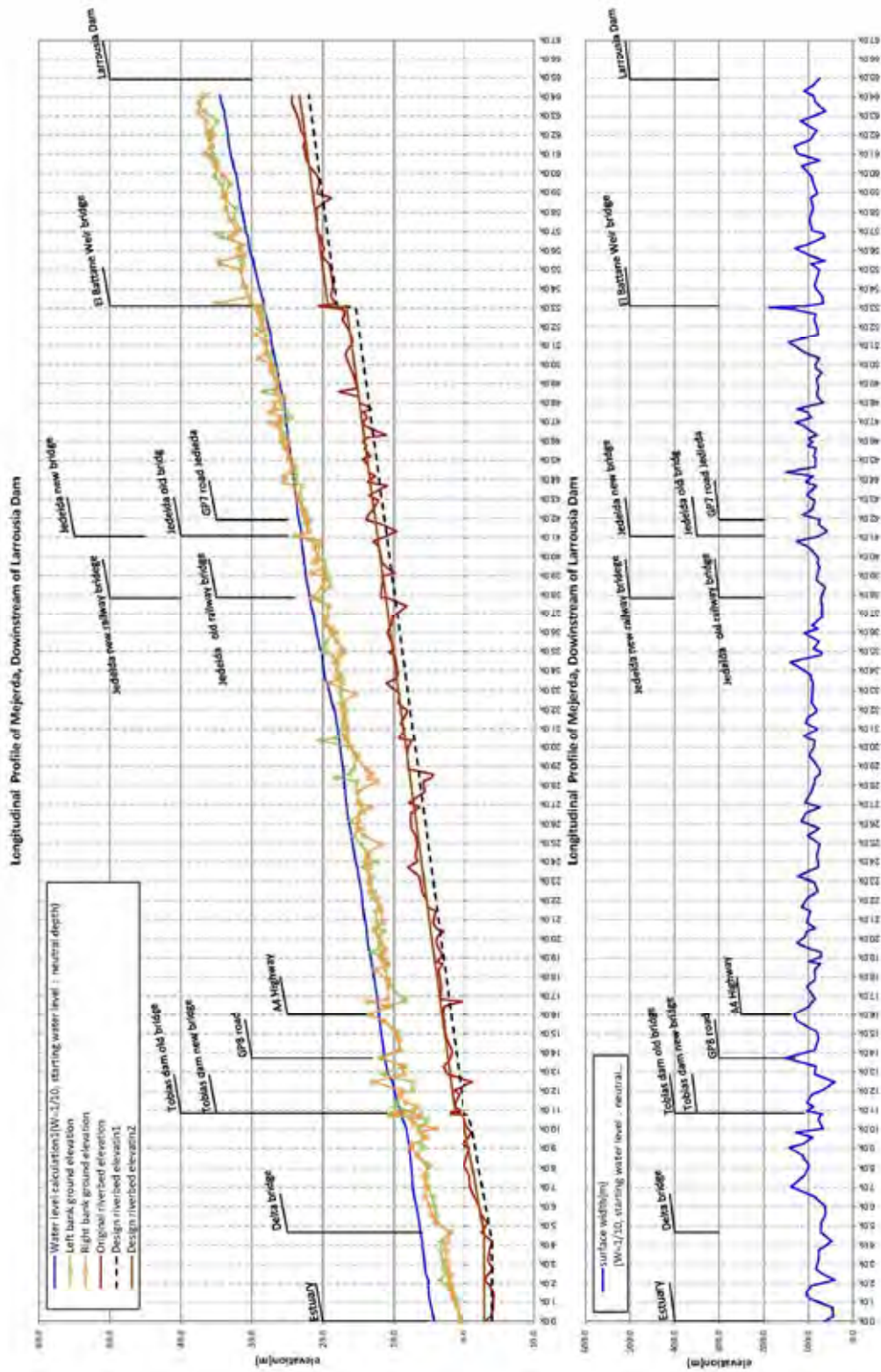
Du fait que l'aire de la section mouillée est particulièrement étroite depuis le pont Delta à l'embouchure, une aire de la section mouillée a été déterminée en tenant compte des crues. L'étendue faisant l'objet de la zone de crues est fixé à 300m à partir des bords de l'oued de tous les deux côtés en considérant la disposition du terrain actuel.

Le résultat du calcul de la capacité actuelle de débit est montré dans les Figureures 4-10. Pour l'amont du barrage d'El Battan, il est possible d'avoir le débit de la période de retour de 10ans. Par contre, la capacité de débit est insuffisante pour faire face au débit de crues de projet dans la plupart des sections en aval du barrage d'El Battan. Parmi les sections qui manquent la capacité de débit, il est constaté qu'il y a quelques sections à la capacité de débit de près de 100m³/s. Le niveau de sécurité de la maîtrise des crues de l'oued Medjerda se représente actuellement par la probabilité 1/2 approximative, jugée par la capacité actuelle de débit de l'oued.



Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-8 Sections transversales représentatives



Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-9 Profil longitudinal de l'oued (situation actuelle) et résultat de calcul du niveau de l'eau des coupes en état actuel

4.5 Plan du lit de l'oued

4.5.1 Amélioration de l'oued Medjerda

Pour les plans proposés sur le lit de l'oued, le plan de la construction des digues latérales et le plan de l'excavation sont comparés. Les principes de base respectifs de l'endiguement et de l'excavation sont comme suit :

- **Cas N° 1 : Construction des digues latérales**

L'examen portait sur les digues latérales dont le gradient est en proportion de 1 sur 2 (distance verticale sur distance horizontale) et la largeur de la crête est de 4,0m, en prévoyant la hauteur de marge de 1,0m évaluée sur la base de la coupe actuelle et des digues latérales.

- **Cas N° 2 : Excavation**

Le lit sera au niveau moins élevé autant que possible par rapport au sol avec la hauteur de marge prévue. La hauteur de marge est de 1,0m, la déclivité de digues est en proportion de 1 sur 2 (distance verticale sur distance horizontale), la pente du lit est fixée à 1/2600 en se basant sur le niveau le plus profond actuel du lit. La profondeur maximale de l'excavation est fixée à 2,0m à 5,0m plus élevés par rapport au lit de l'oued de projet en conservant le passage d'eau.

Etant donné que le chenal est plus profond en amont par rapport à l'avant et que la capacité de débit est relativement élevée en amont, la profondeur maximale est fixée à près de 2,0m de plus par rapport au chenal de projet en aval et à près de 5,0m dessus du chenal de projet en amont. Les profondeurs maximales ainsi déterminées sont reliées en ligne pour fixer la ligne de profondeur maximale de l'excavation. La pente de ladite ligne est approximativement 1/ 2 000.

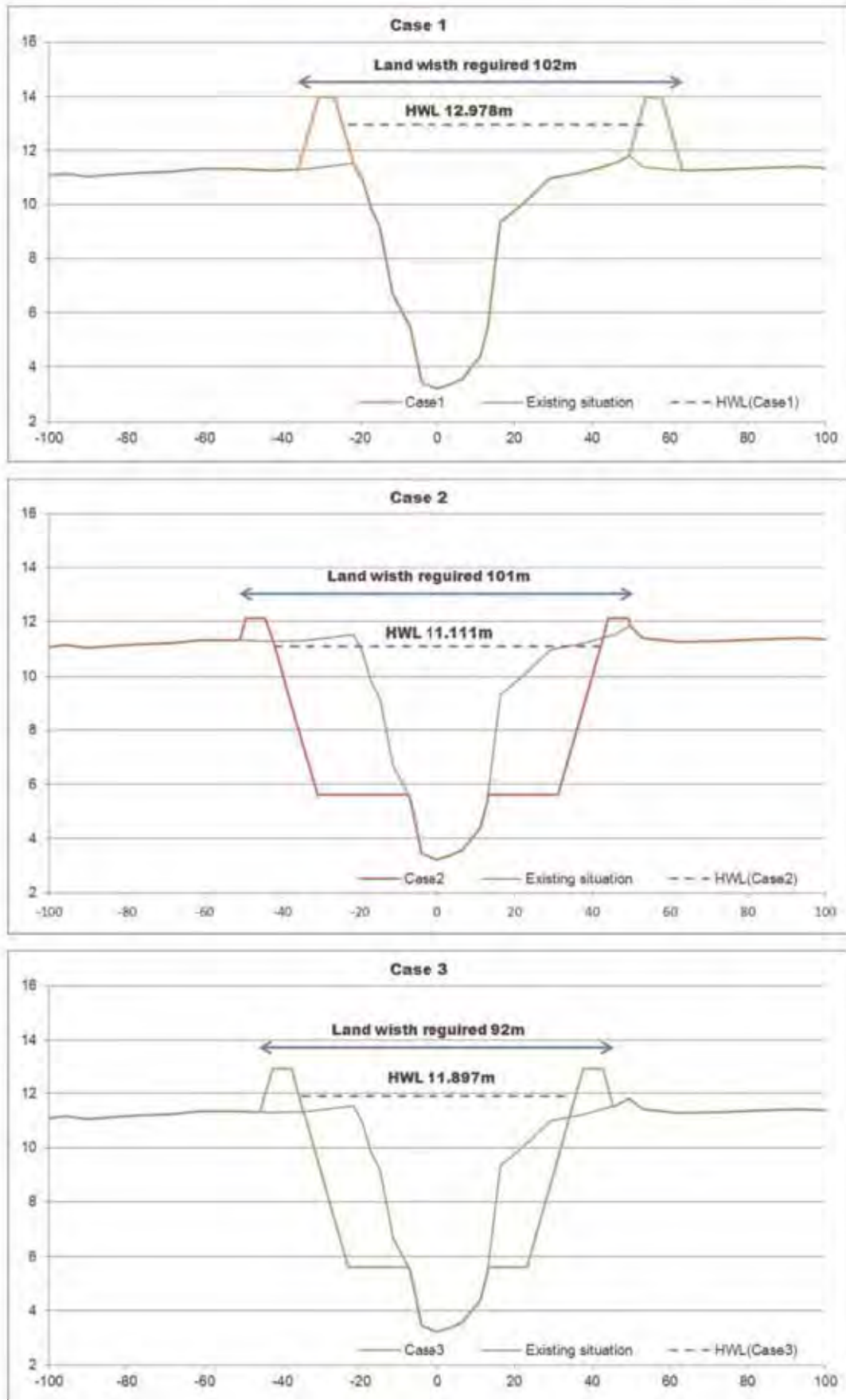
- **Cas N°3 : Excavation + endiguement**

Ce plan consiste à endiguer de la hauteur de marge (1,0m) en se basant sur le plan de l'excavation, pour réduire le volume de terre excavée.

A partir des pages suivantes sont montrés la section transversale de lit de l'oued de projet aux coupes représentatives ainsi que le profil longitudinal de niveau d'eau. Le niveau de l'eau du cas N° 1 est de 1,5m à 3,3m (2,4m en moyenne) plus élevés par rapport au celui du cas N° 2. En ce qui concerne l'étendue de terrain nécessaire, le cas N° 3 est plus avantageux. En outre, le cas N° 1 et le cas N° 3 nécessitent l'enlèvement ou le déménagement du vieux pont de Jedeida qui est l'ouvrage historique.

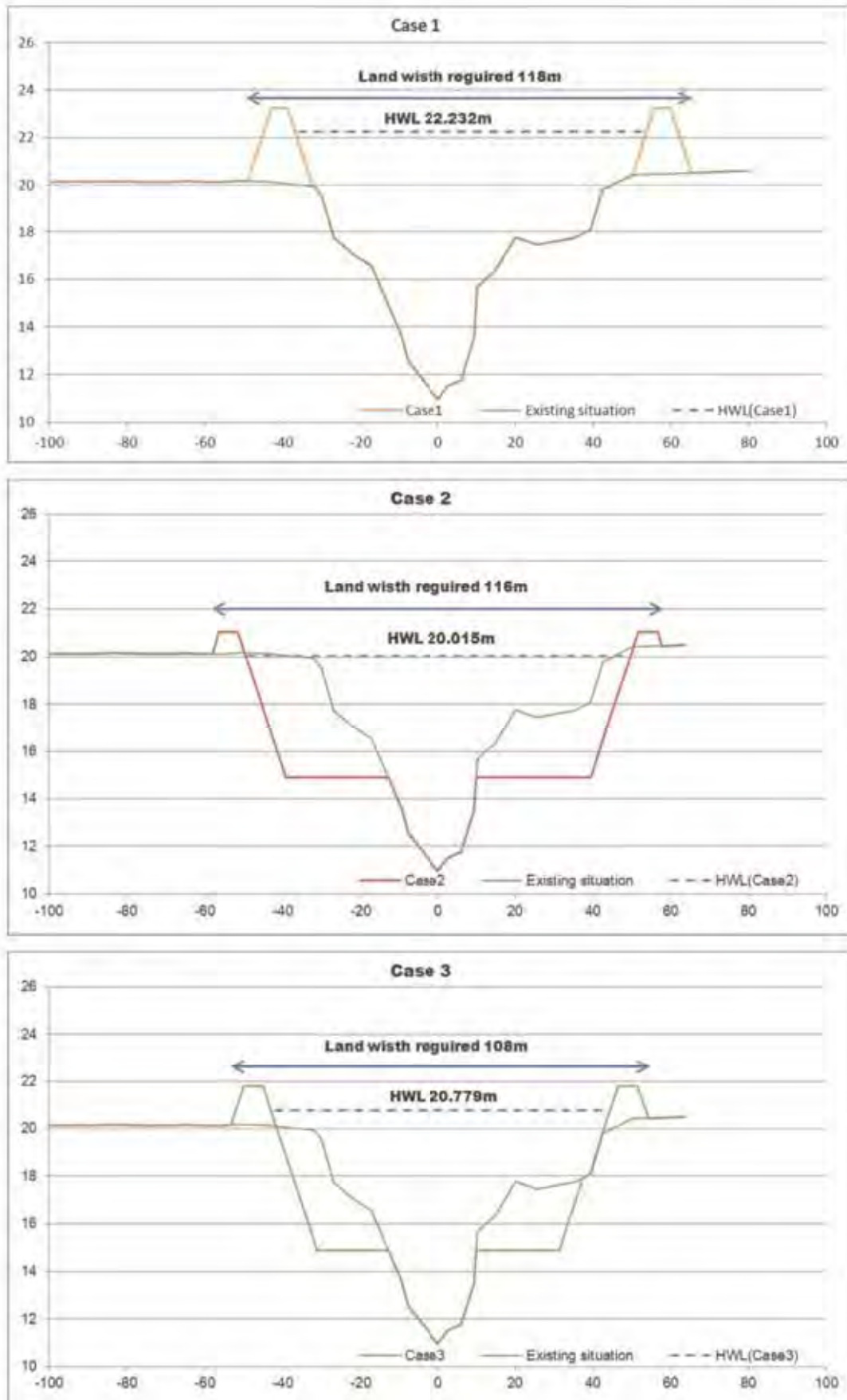
Rubrique	Cas N°1 Endiguement	Cas N°2 Excavation	Cas N°3 Excavation + endiguement
Etendue de terrain	grande étendue	grande étendue	petite étendue
Effets sur les ouvrages historiques	L'enlèvement ou le déménagement du vieux pont de Jedeida est nécessaire.	Aucune influence	L'enlèvement ou le déménagement du vieux pont de Jedeida est nécessaire.
Impact sur les eaux intérieures	Grand impact	Presque aucun impact	Il y a un impact.
Niveau d'adaptation à l'agrandissement de la taille de crues due au changement climatique	Peu adapté	Très bien adapté	adapté moyennement

A l'issue de concertations avec la partie tunisienne basées sur le résultat des examens susmentionné, il a été confirmé que l'excavation du cas N° 2 serait adoptée pour le projet en considérant les effets sur l'ouvrage historique ainsi que les eaux intérieures. La section transversale de type de chacun des cas des coupes représentatives ainsi que le profil longitudinal de niveau d'eau sont montrés ci-dessous :

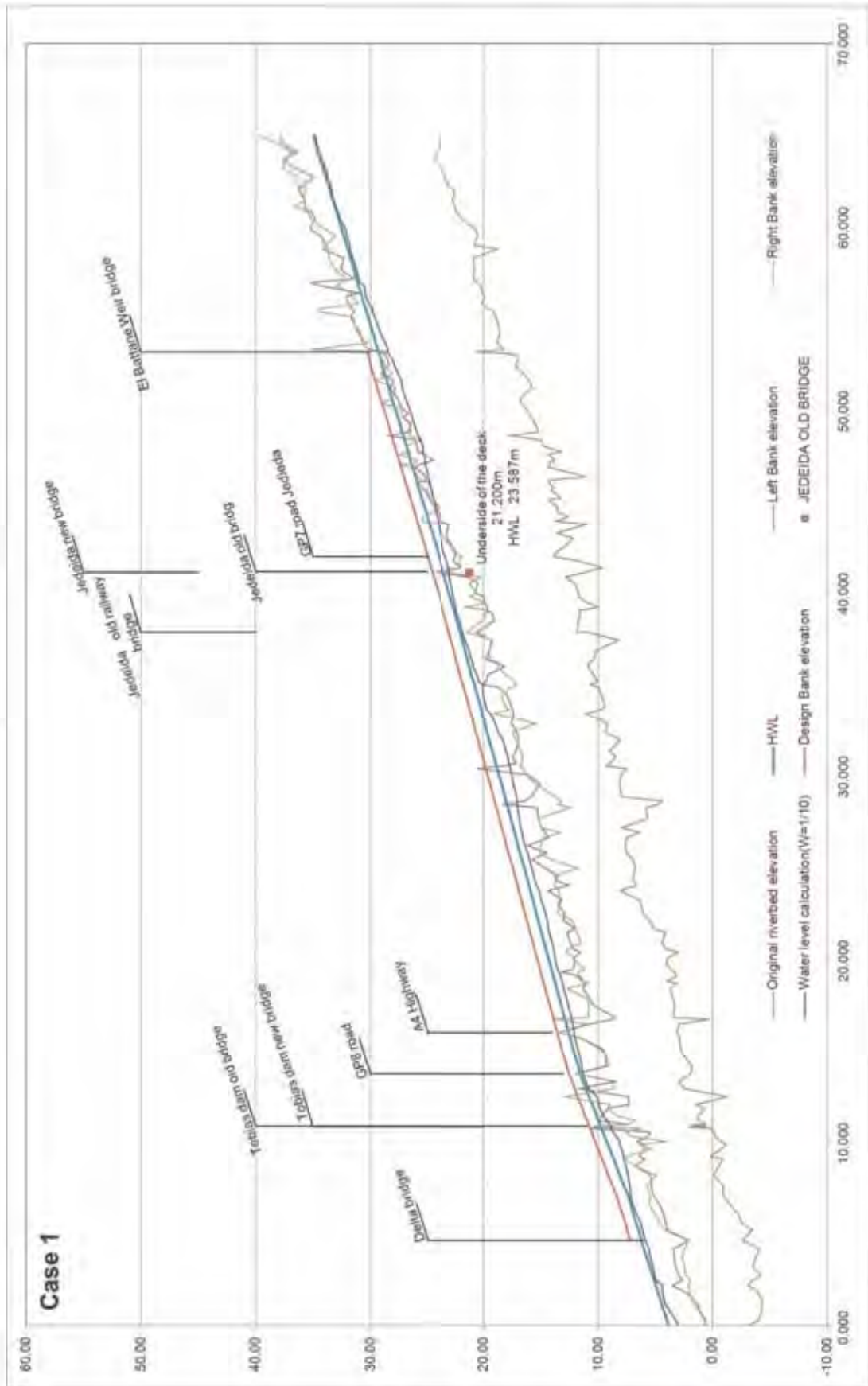


Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-11 Sections transversales de projet comparées au Point de 20 105km

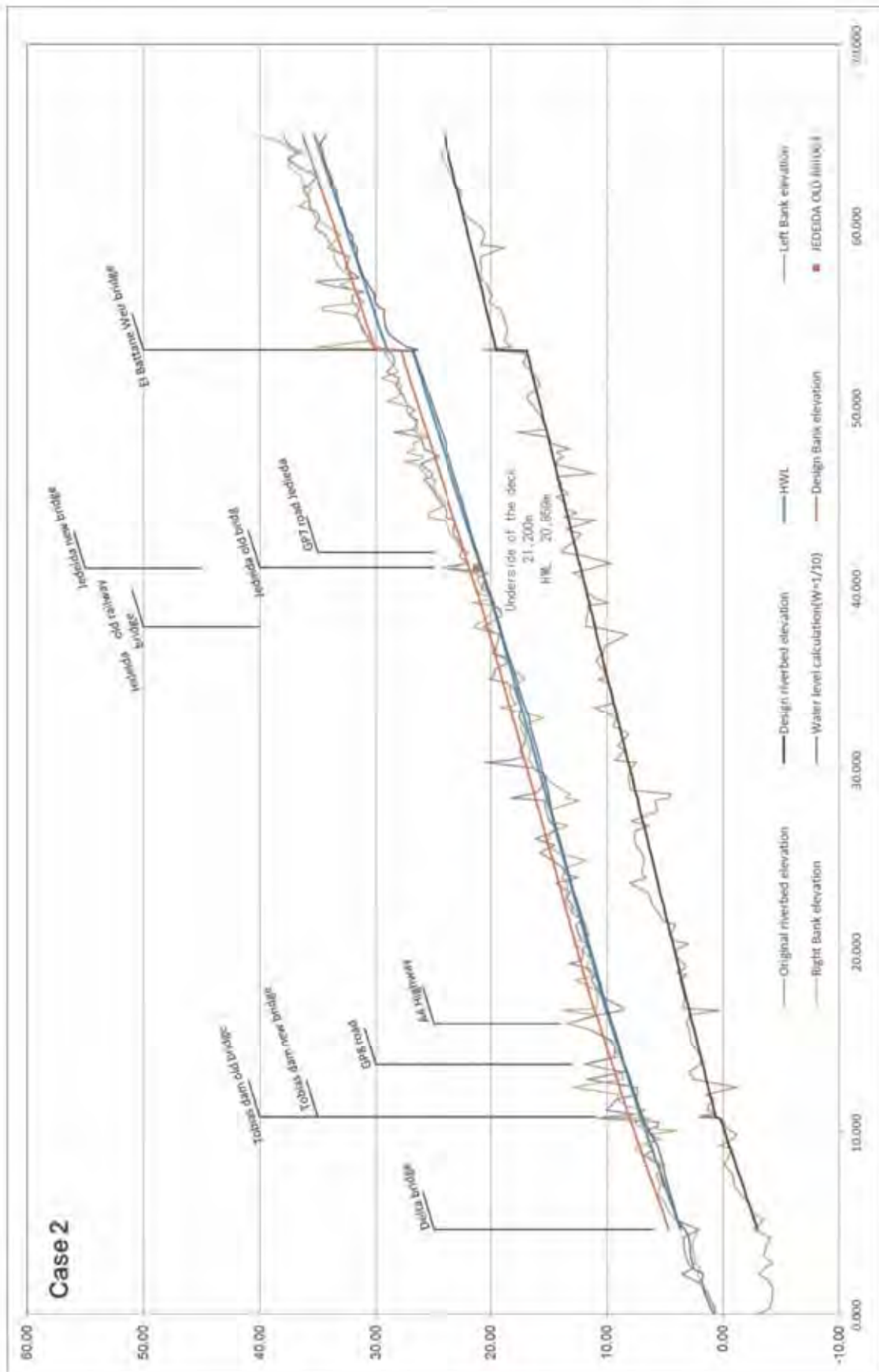


Source: Mission d'étude JICA
 Figure 4-12 Sections transversales de projet comparées au Point de 39 404km



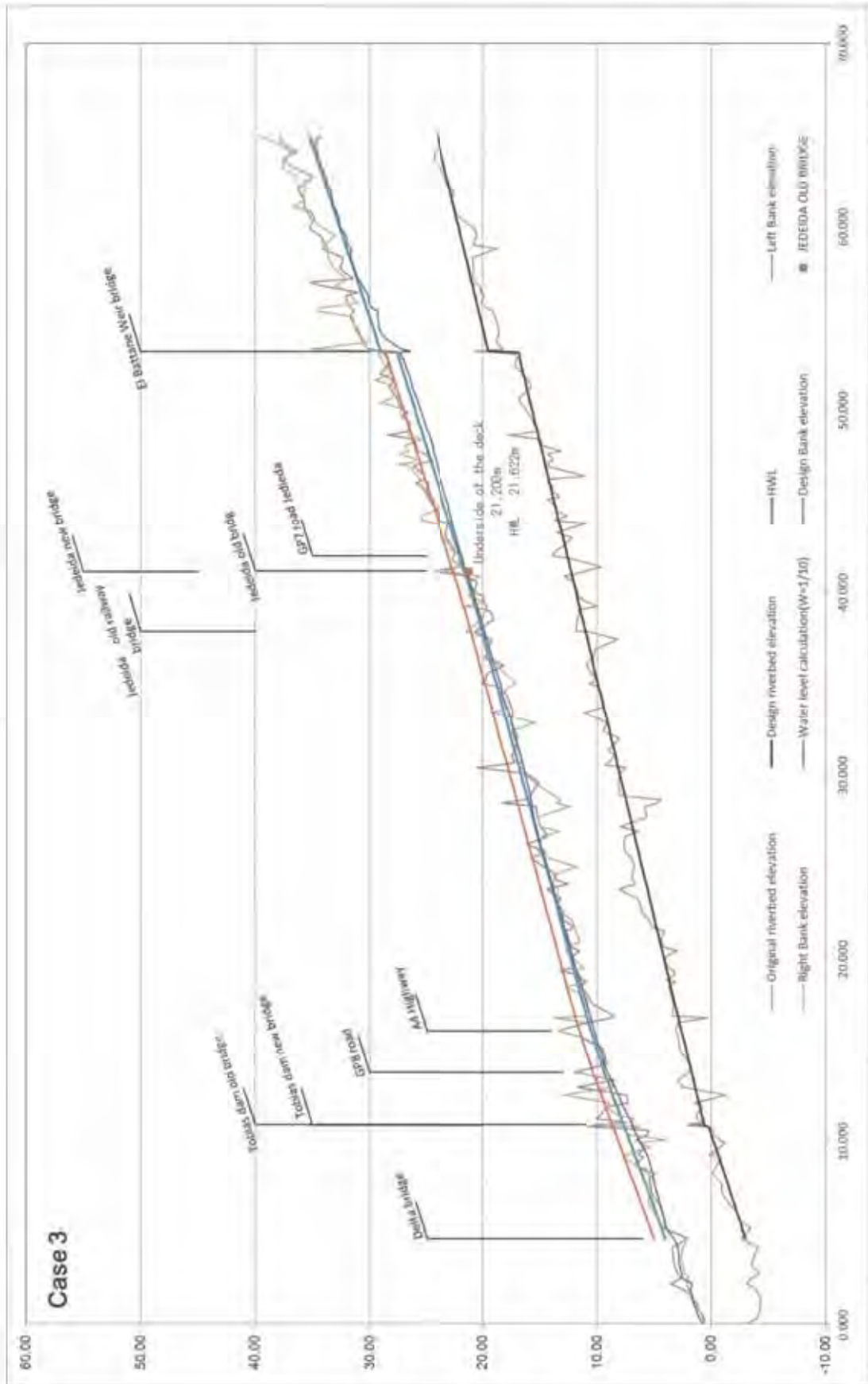
Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-13 Profil longitudinal du Cas N° 1 (Endiguement)



Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-14 Profil longitudinal du Cas N° 2 (Excavation)



Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-15 Profil longitudinal du Cas N° 3 (Excavation + Endiguement)

4.5.2 Recouplement de méandre

En ce qui concerne le méandre indiqué ci-dessous, la partie japonaise a proposé à la partie tunisienne les travaux de recouplement, méthode ordinaire de l'amélioration permettant d'assurer la stabilité de lit de l'oued et l'abaissement de niveau d'eau au lit en amont.

En réponse à cette proposition, la partie tunisienne a préféré l'amélioration de l'oued qui n'a pas recours au recouplement de méandre dans le souci du coût augmenté pour l'acquisition de terrain, de l'érosion imprévue des berges, et des effets néfastes pour l'environnement naturel suite aux travaux de recouplement. De ce fait, le recouplement dudit méandre ne sera pas visé par la présente étude.



Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-16 Plan de la boucle de l'oued



Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-17 Recouplement du méandre proposé

4.5.3 Oued Chafrou (affluent de l'oued Medjerda)

Pour les affluents, les digues de protection contre les remous y seront construites sur la base du plan directeur.

Dans le cadre de la présente étude, la méthode d'analyse de débit adoptée pour l'oued et celle pour ses affluents étant identiques, le calcul hydrologique se fera sous les deux (2) conditions aux limites ci-dessous dans le but de déterminer le niveau des plus hautes eaux (high water level : HWL) applicables au niveau d'eau de l'oued Medjerda et à celui de ses affluents.

- Condition aux limites Cas N° 1

Débit des affluents : débit de crues de projet $50\text{m}^3/\text{s}$

Niveau de l'eau de l'oued : niveau de l'eau de l'oued à débit de crues aux affluents 16,9m

- Condition aux limites Cas N° 2

Débit des affluents : débit aux affluents à débit de crues de projet de l'oued $1\text{m}^3/\text{s}$

Niveau de l'eau de l'oued : niveau de l'eau de crues de projet de l'oued 19,8m

Les conditions pour le calcul hydrologique sont comme montre le tableau ci-dessous :

Tableau 4-4 Conditions pour le calcul hydrologique

N°	Rubrique	Conditions
1	Méthode de calcul	Calcul de l'écoulement graduellement varié
2	Section objet de l'examen	Oued Chafrou (Point de confluence avec l'oued Medjerda-Point de 4 944km)
3	Lit de cours objet de l'examen	Lit actuel de l'oued (2011)
4	Débit objet de l'examen	Période de retour =10ans ($50\text{m}^3/\text{s}$) et $1\text{m}^3/\text{s}$
5	Coefficient de rugosité	0,04
6	Niveau d'eau de base	Cas N°2 : Niveau des plus hautes eaux (HWL) de l'oued Medjerda : 19,8m Cas N°1 : Niveau d'eau de l'oued Medjerda lorsque le niveau d'eau est maximal à l'oued Chafrou : 16,9m

(1) Section objet de l'examen

La section objet de l'examen concernant la capacité d'écoulement couvre un tronçon entre le point de confluence avec l'oued Medjerda et le point de 4 944km.

(2) Chenal de l'oued objet de l'examen

L'examen se fera en visant le chenal actuel de l'oued, en utilisant la section transversale du lit de cours d'eau de 2011.

(3) Débit objet de l'examen

L'examen se base sur $50\text{m}^3/\text{s}$, débit pour la période de retour de 10ans qui est de l'échelle de planification ainsi que $1\text{m}^3/\text{s}$, débit de l'affluent pour le débit de crues de projet de l'oued.

(4) Coefficient de rugosité

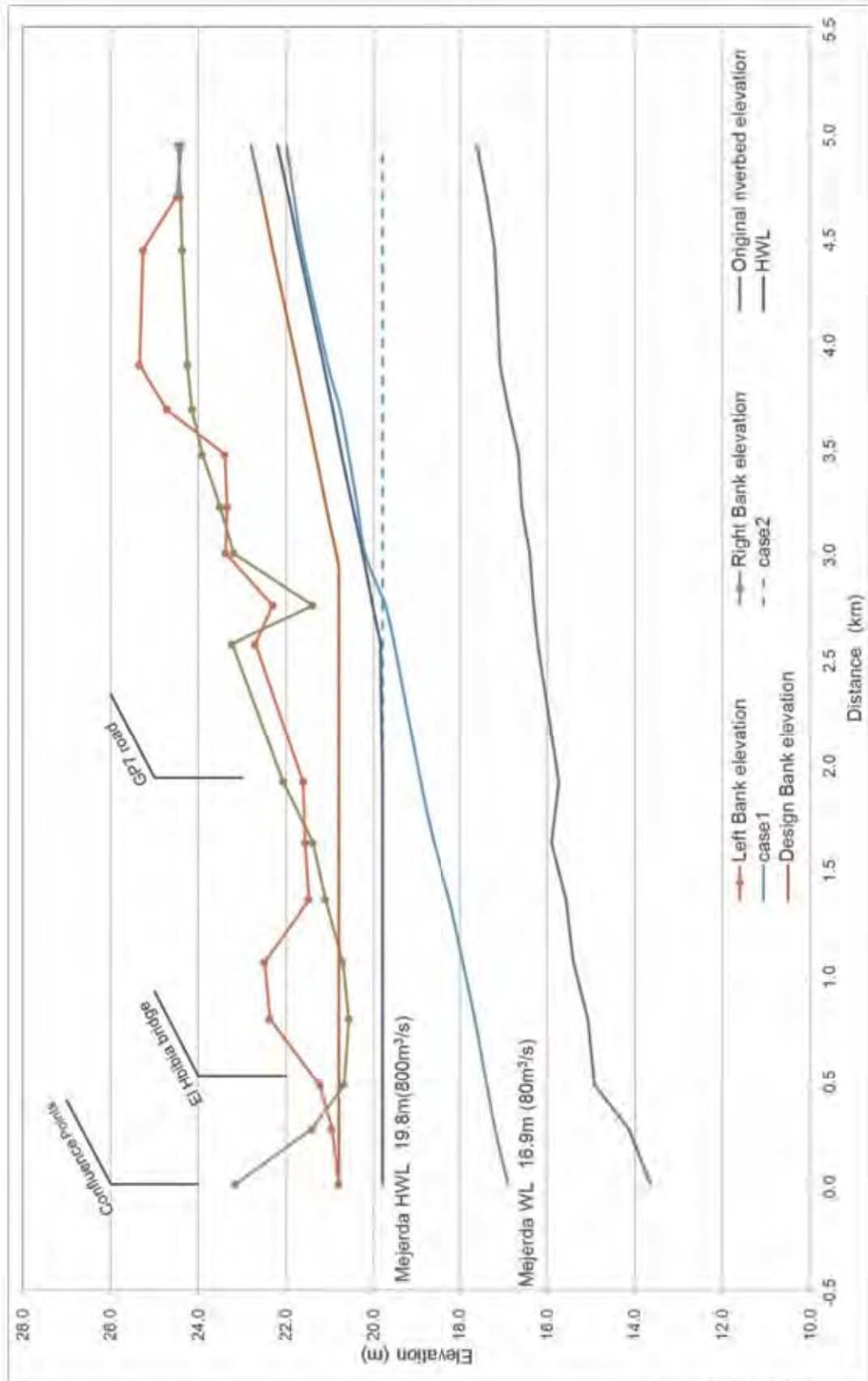
Le même coefficient que celui pour l'oued Medjerda est adopté.

(5) Niveau de l'eau de base

L'examen se fait en tenant compte du niveau de l'eau de l'oued à débit de crues des affluents de 16,6m ainsi que du niveau de crues de projet de l'oued qui est de 19,8m.

Le résultat du calcul de l'écoulement graduellement varié ainsi que le plan de conception des digues de protection contre les remous sont montrés à la page suivante. Pour la rive droite de l'oued Chafrou, il est nécessaire d'élever légèrement ses digues.

Dans la zone D2, il n'y a que l'oued Chafrou comme principaux affluents, par contre il existe 9 écluses et canaux à vanne. Ces écluses et canaux à vanne feront l'objet de la réhabilitation.



Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-18 Calcul de l'écoulement graduellement varié de l'oued Chafrout et Conception des digues de protection contre les remous

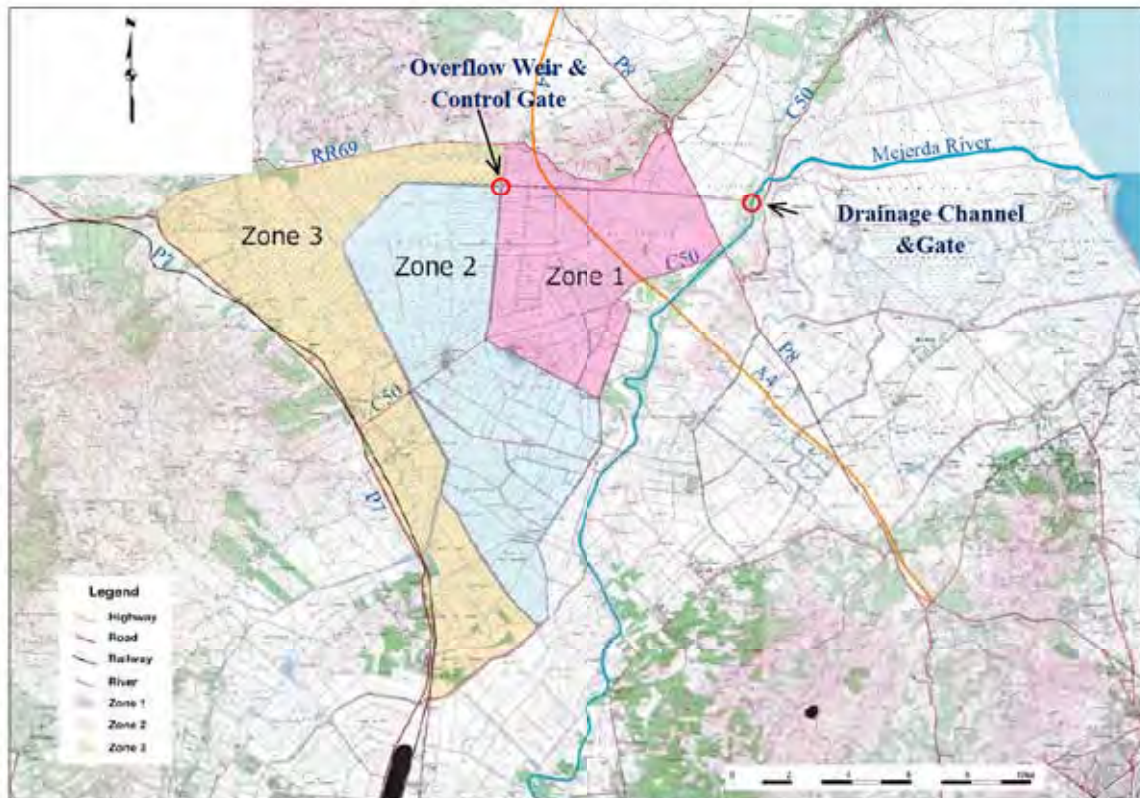
4.6 Plan de bassin de retardement d'El Mabtouh

Le garaet El Mabtouh pour lequel la mise en place d'un bassin de retardement est proposée par le plan directeur est moins élevé par rapport au sol périphérique et les hauteurs s'étendent du nord-ouest au nord du garaet. Ce dernier a ainsi un avantage géologique pour l'installation du bassin de retardement.

Une partie du garaet El Mabtouh est utilisée comme le bassin de retardement pour les eaux naturellement inondées de l'oued Medjerda et il existe quelques ouvrages de régulation hydrologique. Toutefois, ces ouvrages sont endommagés et quelques-uns sont complètement laissés abandonnés.

Le garaet El Mabtouh existant est divisé en 3 zones suivantes pour sa fonction de bassin de retardement. Les règles opérationnelles de chaque zone sont les suivantes :

- Ordre de la rétention d'eau : Zone 3→Zone 2→Zone 1
- Ordre de la restitution d'eau : Zone 1→Zone 2→Zone 3



Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-19 Zones existantes réparties de la plaine d'El Mabtouh

En ce qui concerne les zones réparties de bassin de retardement et les règles opérationnelles du garaet El Mabtouh, la partie tunisienne a exigé qu'elles ne soient pas changées puisqu'elles étaient du moyen de gestion qui date longtemps. En outre, la partie tunisienne a signalé qu'elle ne pourrait pas accepter l'endiguement pouvant diviser les zones actuelles.

Le plan de bassin de retardement d'El Mabtouh suivra les zones réparties ainsi que les règles opérationnelles en vigueur en tenant compte de la demande de la partie tunisienne.

Pour le point de dérivation de l'oued Medjerda et le point de restitution vers l'oued Medjerda, les canaux d'eau existants seront utilisés de manière efficace. Le projet prévoit la dérivation de l'eau au point de 32,35km et la restitution à 11,81km.

Le débit dérivé au bassin de retardement sera de 200m³/s suivant le plan directeur. Le débit d'écoulement de l'oued Medjerda sera réduit de 800m³/s à 600m³/s au point de dérivation de l'oued Medjerda. L'ouvrage de dérivation sera le déversoir latéral.

Pour faire écouler l'eau dérivée sera réhabilité le canal existant allant jusqu'au bassin de retardement. Par contre, un nouveau canal de dérivation sera installé pour relier le canal existant au point de dérivation.

La profondeur de l'eau déversée à débit de projet du déversoir latéral fixe est de 1,0m en tenant compte de la hauteur du sol périphérique, de la hauteur du lit du canal existant ainsi que du niveau de crues de projet.

La largeur du déversoir nécessaire pour 1,0m de profond est plus de 150m, résultat du calcul fait suivant la formule ci-dessous :

$$Q/Q_0 = \cos(155 - 36 \times \log_{10}(1/I))$$

Q_0 : Débit d'eau déversée à la verticale (m³/s)

$$Q_0 = 0,35 \times h_1 \sqrt{2gh_1} \times B$$

h_1 : Profondeur de l'eau déversée (m) B : Largeur de l'eau déversée

Q : Débit d'eau déversée à la latérale (m³/s)

I : Pente du lit de l'oued

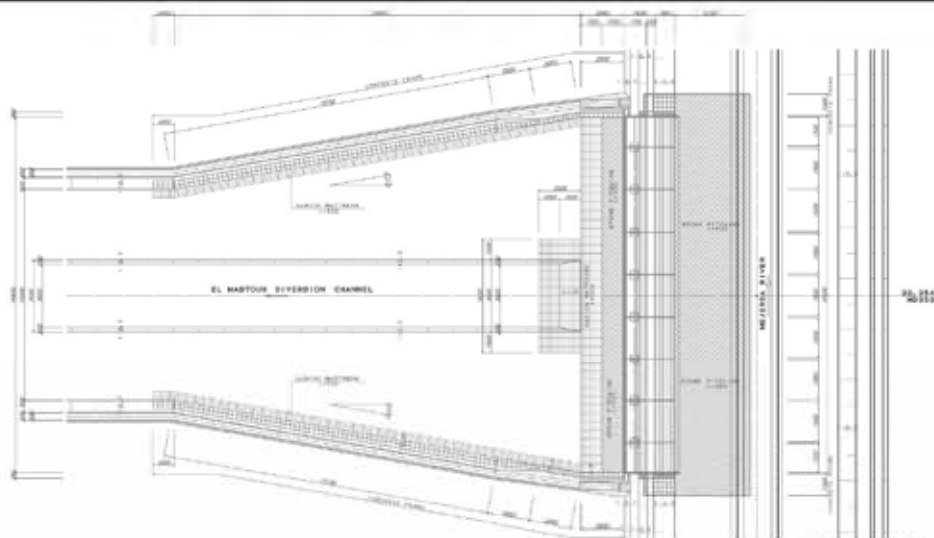
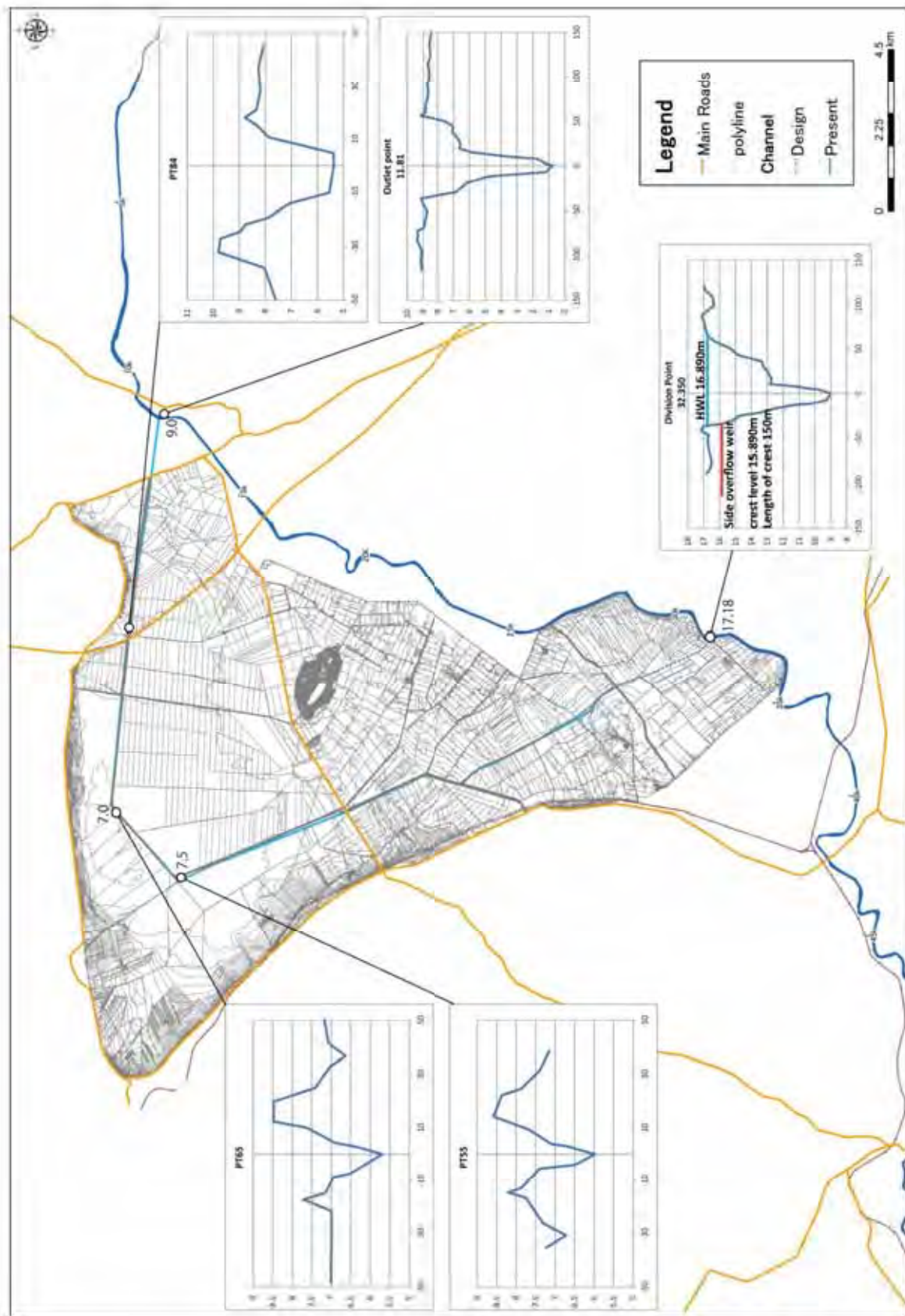


Figure 4-20 Vue en plan du déversoir

Source: Mission d'étude JICA



Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-22 Plan d'ensemble du bassin de retardement d'El Mabtouh

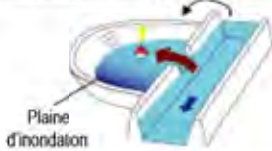
4.7 Analyse de crues

4.7.1 Modèle d'analyse de crues

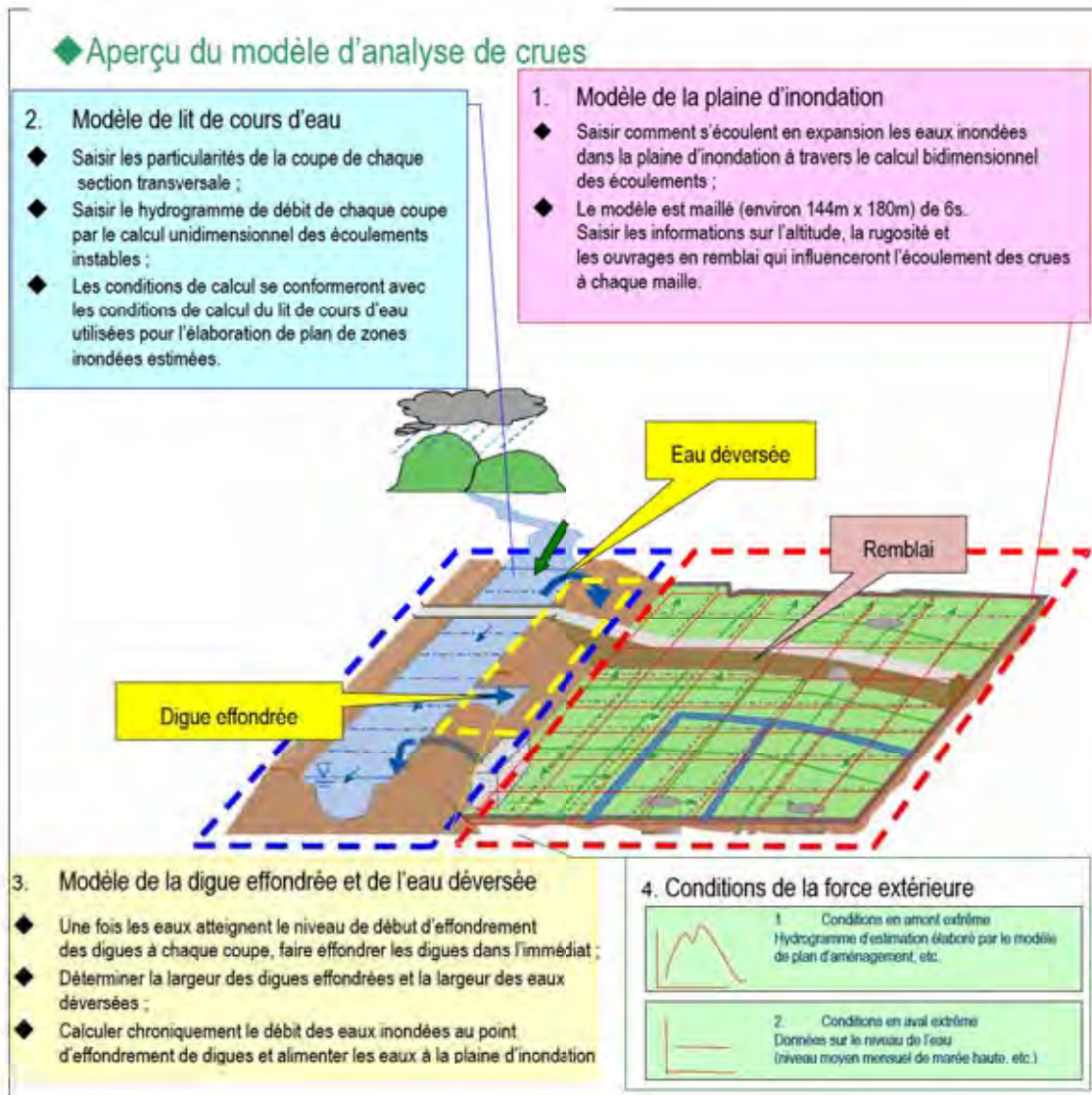
En général, il y a trois (3) types de méthodes utilisées pour l'analyse de crues comme indiquées ci-dessous.

Etant donné que la plaine d'inondation est moins inclinée et qu'il faut tenir compte des eaux intérieures, le modèle horizontal en deux dimensions des écoulements instables sera adopté dans la présente étude.

Tableau 4-5 Méthode d'analyse de crues

Nom de la méthode d'analyse de crues	Modèle unidimensionnel des écoulements graduellement variés	Modèle d'étang (pond)	Modèle bidimensionnel horizontal des écoulements instables
Concept de la détermination des zones inondées	Les zones inondées sont déterminées par le calcul du niveau de l'eau intérieure du lit par rapport à débit maximum de crues, en considérant la plaine d'inondation comme faisant partie du lit de l'oued.	La plaine d'inondation est traitée comme zone propre fermée, en considérant qu'elle est séparée du lit de l'oued. Cette zone propre est appelée "étang (pond)" et tout le niveau d'eau inondée de l'intérieur de l'étang est identique. Les zones inondées sont déterminées sur la base de la relation entre la quantité d'eau inondée écoulée du lit de l'oued vers la plaine d'inondation et les particularités topographiques de la plaine d'inondation (niveau d'eau/volume/superficie).	La plaine d'inondation est traitée séparément du lit de l'oued. Les zones inondées sont déterminées par l'analyse des mouvements de l'eau inondée écoulée du lit de l'oued vers la plaine d'inondation à travers la dynamique des fluides en deux dimensions.
Dessin		 <p>Plaine d'inondation</p>	
Caractéristiques de la méthode	Cette méthode est applicable aux eaux inondées qui s'écoulent vers l'aval dans la plaine d'inondation, le long du cours d'eau. Toutefois, compte tenu des caractéristiques de la méthode, les zones objet de l'analyse de crues sont traitées comme zone sans digue.	Cette méthode est applicable aux eaux inondées fermées et empêchées de s'écouler par les montagnes, hauteurs et remblais. Les eaux inondées dans les zones fermées n'ont pas de gradient à la surface ni vitesse superficielle et elles sont du niveau identique. Toutefois, s'il existe un remblai en continu, etc. dans la plaine d'inondation, il est nécessaire d'en tenir compte pour considérer la zone de l'arrière-pays à part afin d'avoir un modèle prévoyant plusieurs étangs.	En principe, cette méthode peut être appliquée aux eaux inondées de n'importe quel type. Elle permet de faire la simulation non seulement sur les zones inondées au maximum et la profondeur des eaux inondées, mais aussi la vitesse superficielle et leur évolution dans le temps. Par ailleurs, il est considéré que la précision de calcul est généralement plus élevée que celle d'autres méthodes. De ce fait, elle est utilisée très souvent dans l'élaboration de plans de zones inondées estimées. Toutefois, compte tenu des caractéristiques de la méthode, la précision de l'analyse de crues se limite aux dimensions du maillage du modèle d'analyse.

Par ailleurs, l'aperçu du modèle bidimensionnel horizontal des écoulements instables est montré à la page suivante :



Source: Mission d'étude JICA

Figure.4-23 Aperçu du modèle bidimensionnel horizontal des écoulements insTableaules

4.7.2 Elaboration du modèle d'analyse de crues

(1) Etablissement de données topographiques

1) Ajustement des données topographiques

Les données topographiques de la plaine d'inondation seront modélisées par le modèle bidimensionnel. Le Tableau ci-dessous montre les données topographiques utilisées pour l'élaboration du modèle de la plaine d'inondation.

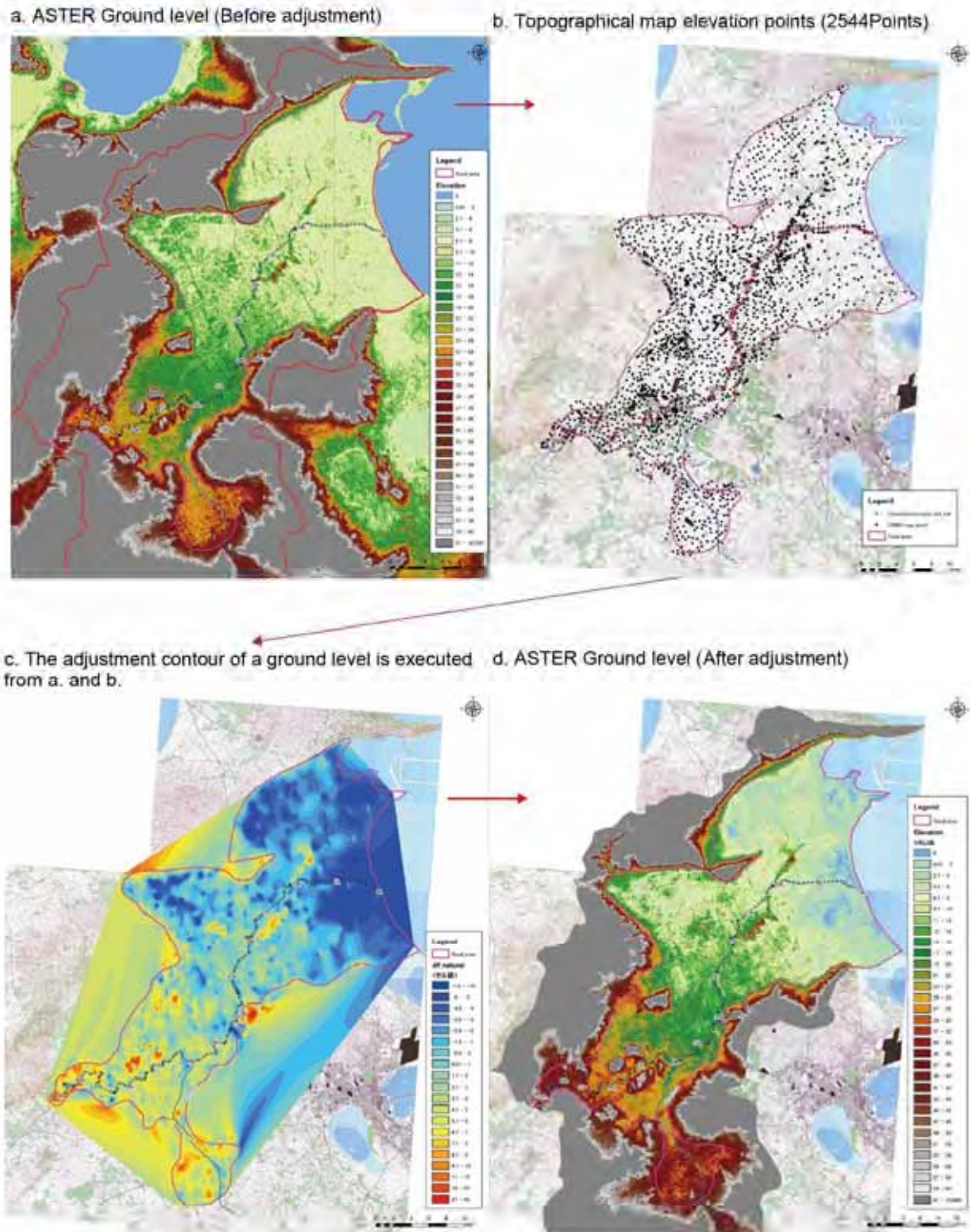
Les données topographiques sont ajustées en considérant les valeurs de différence calculées entre l'altitude des points extrêmes extraits du plan topographique de l'échelle de 1/25 000 et la hauteur de sol

depuis les points extrêmes le long de l'oued extraits du profil transversal de l'oued Medjerda, en se fondant sur les données du modèle numérique de terrain (ASTER GDEM : Global Digital Elevation Model, maillage à près de 30m).

Les schémas conceptuels de l'ajustement des données topographiques sont montrés ci-dessous.

Tableau 4-6 Données topographiques

	Type de données	Données	Espacement des pixels	Organisme de l'établissement	Usage
1	Données du modèle numérique de terrain (ASTER GDEM)	maillage	1 seconde (environ 30m)	METI/NASA	Elaboration du modèle topographique
2	Plan topographique à l'échelle de 1/25 000	Points extrêmes Près de 2 544 points	Voir la Figure	MARHP, 2007	Ajustement du modèle topographique
3	Profil transversal de l'oued Medjerda de tous les 400m entre le barrage de Laroussia et l'aval extrême de l'oued Medjerda	Points extrêmes Près de 345 points	Voir la Figure	Plan directeur	Ajustement du modèle topographique

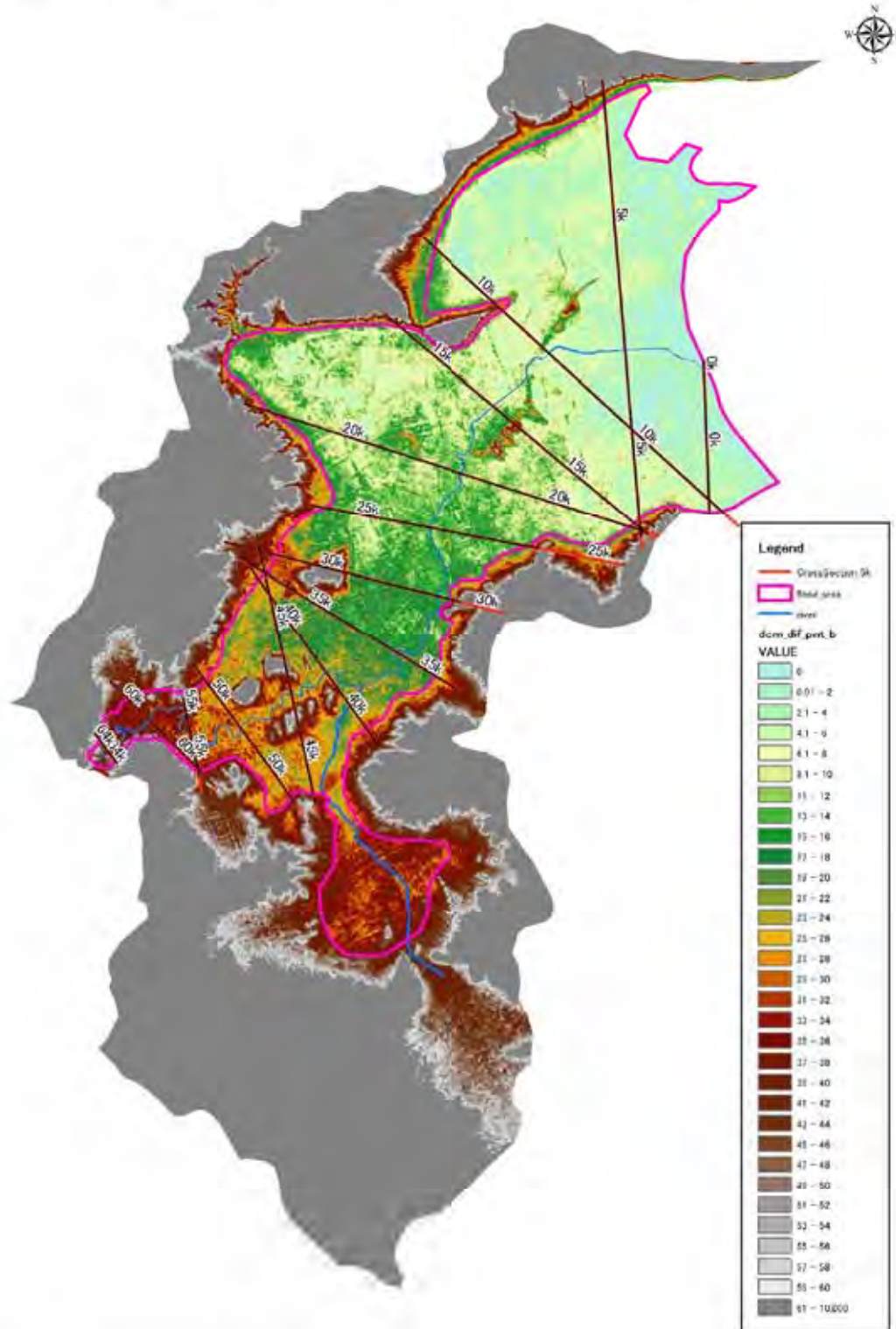


Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-24 Ajustement des données topographiques

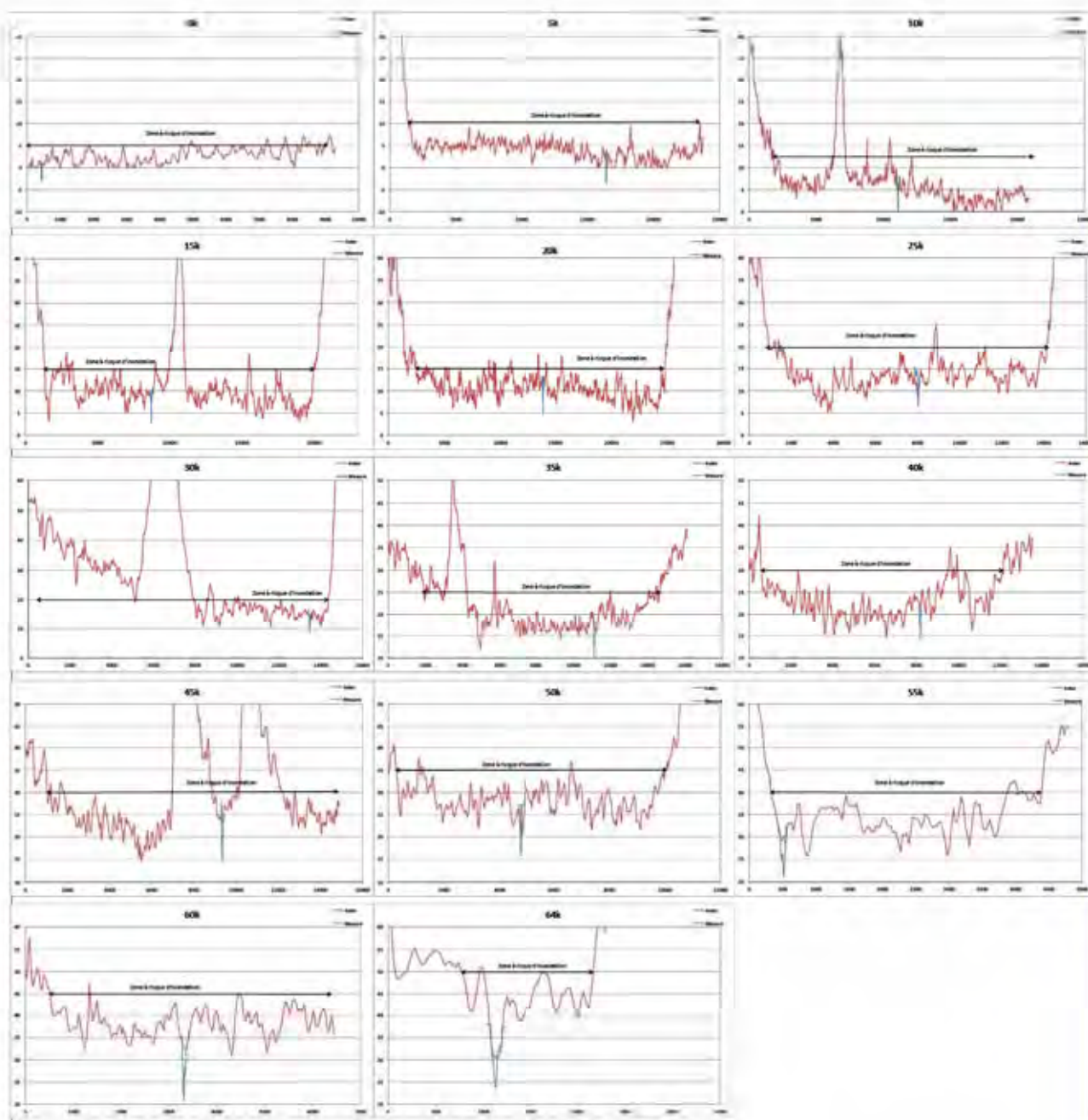
2) Détermination de zones d'inondation estimées

Les zones d'inondation estimées sont fixées sur la base des données topographiques élaborées. Comme montre la figure ci-dessous est établie le profil transversal de la zone intérieure de la plaine d'inondation et les zones éventuellement inondées sont fixées en considérant la hauteur des digues actuelles.



Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-25 Points objet de l'élaboration des profils transversaux de la plaine d'inondation



Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-26 Profils transversaux de la plaine d'inondation

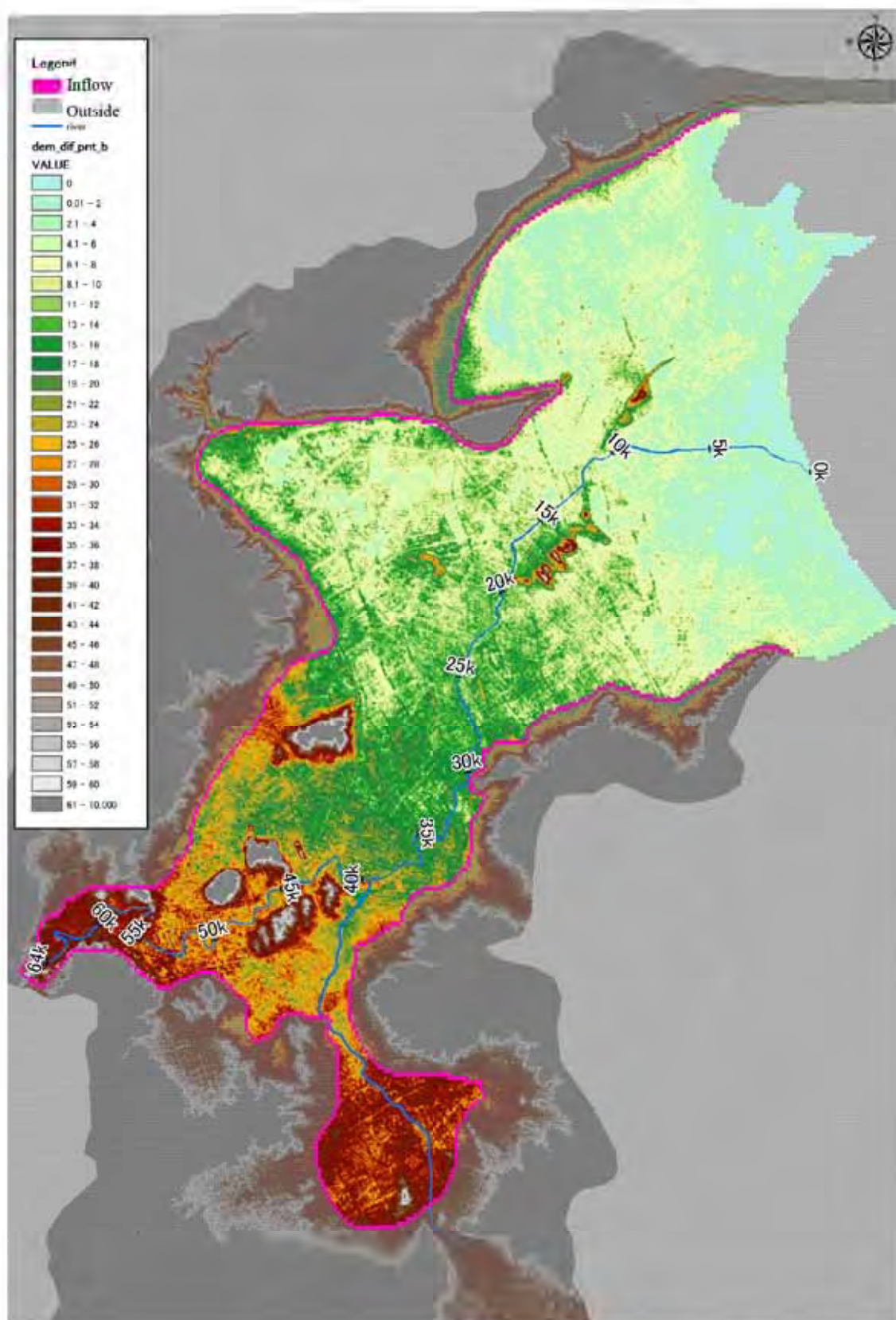
3) Elaboration de plan des hauteurs de sol en maillage

Étant donné que les données des hauteurs de sol utilisées se basent sur la maille à 1 seconde (environ 24x30m), la maille pour la modélisation est fixée au 6 seconds (environ 144x180m).

Le Tableau suivant montre les hauteurs de sol du maillage égalisées dans la maille de 150m des données du modèle numérique de terrain (ASTER GDEM, maille de près de 30m) ayant été ajustées.

Tableau 4-7 Eléments pour l'établissement du maillage

	Rubrique	Contenu	
1	Données topographiques initiales	Données du modèle numérique de terrain (ASTER GDEM)	Taille : 1 seconde (environ 24×30m)
2	Maillage de calcul	Maillage de 150m	Taille : 6 secondes (environ 144×80m)
3	Nombre de mailles	Toute l'étendue : 325×425 = 138 125 Plaine d'inondation : 27 858	
4	Système de coordonnées	Système géodésique : Clarke1880 (Clarke IGN) de la France Méthode de projection : TUM (UTM) Zone 32	



Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-27 Hauteur moyenne de sol en maillage

(2) Détermination du coefficient de rugosité pour la plaine d'inondation

Pour le coefficient de rugosité de la plaine d'inondation, le projet utilisera le coefficient ci-dessous qui est un coefficient de rugosité équivalent calculé en combinaison du coefficient de rugosité de fond autre que celui des bâtiments calculé par pondération des surfaces de sol par l'utilisation et de la densité de construction calculée sur la base du taux d'occupation du sol des bâtiments.

Coefficient de rugosité de fond

$$n_0^2 = \frac{n_1^2 \cdot A_1 + n_2^2 \cdot A_2 + n_3^2 \cdot A_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

En déterminant ici, A1 : Terrain d'agriculture (rizière, champ) Superficie, n1 = 0,060
 A2 : Superficie de voies, n2 = 0,047
 A3 : Superficie d'autres terrains, n3 = 0,050

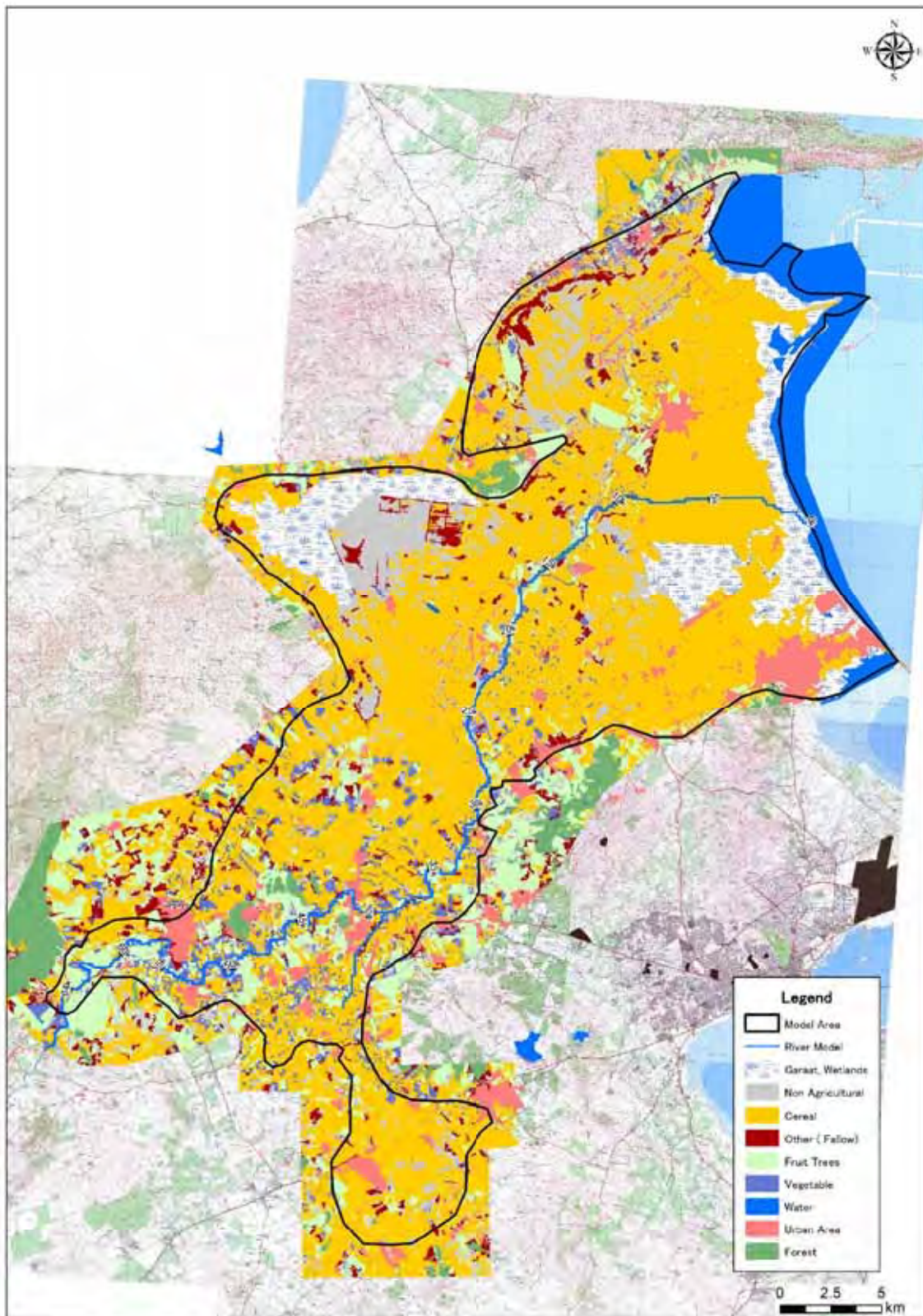
Coefficient de rugosité, calculé en considérant la densité de construction

$$n^2 = n_0^2 + 0.020 \times \frac{\theta}{100 - \theta} \times h^{4/3}$$

θ : Taux d'occupation du sol des bâtiments

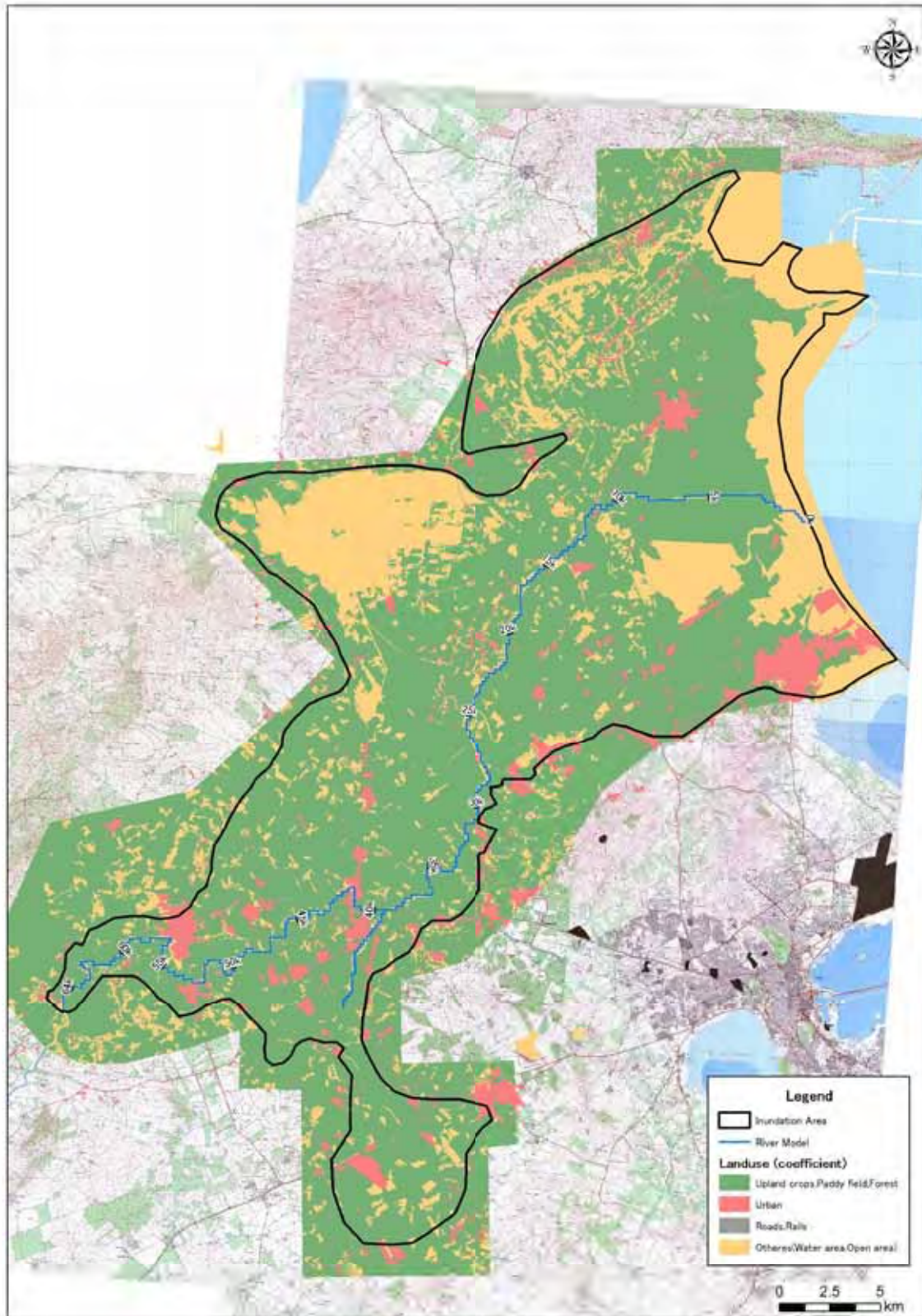
h : Profondeur de l'eau en maillage

Pour fixer le coefficient de rugosité, le plan de l'utilisation du sol indiqué ci-dessous est divisé en quatre (4) zones de classification. Le taux d'occupation du sol des bâtiments est déterminé à l'issue de la vérification visuelle du taux d'occupation sur le maillage à l'aide de photos aériennes.



Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-28 Plan d'utilisation du sol



Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-29 Plan de classification du sol utilisé (détermination du coefficient de rugosité)

Tableau 4-8 Exemples déterminant le taux d'occupation du sol des bâtiments

10%			60%		
20%			70%		
30%			80%		
40%			90%		
50%					

Source: Mission d'étude JICA

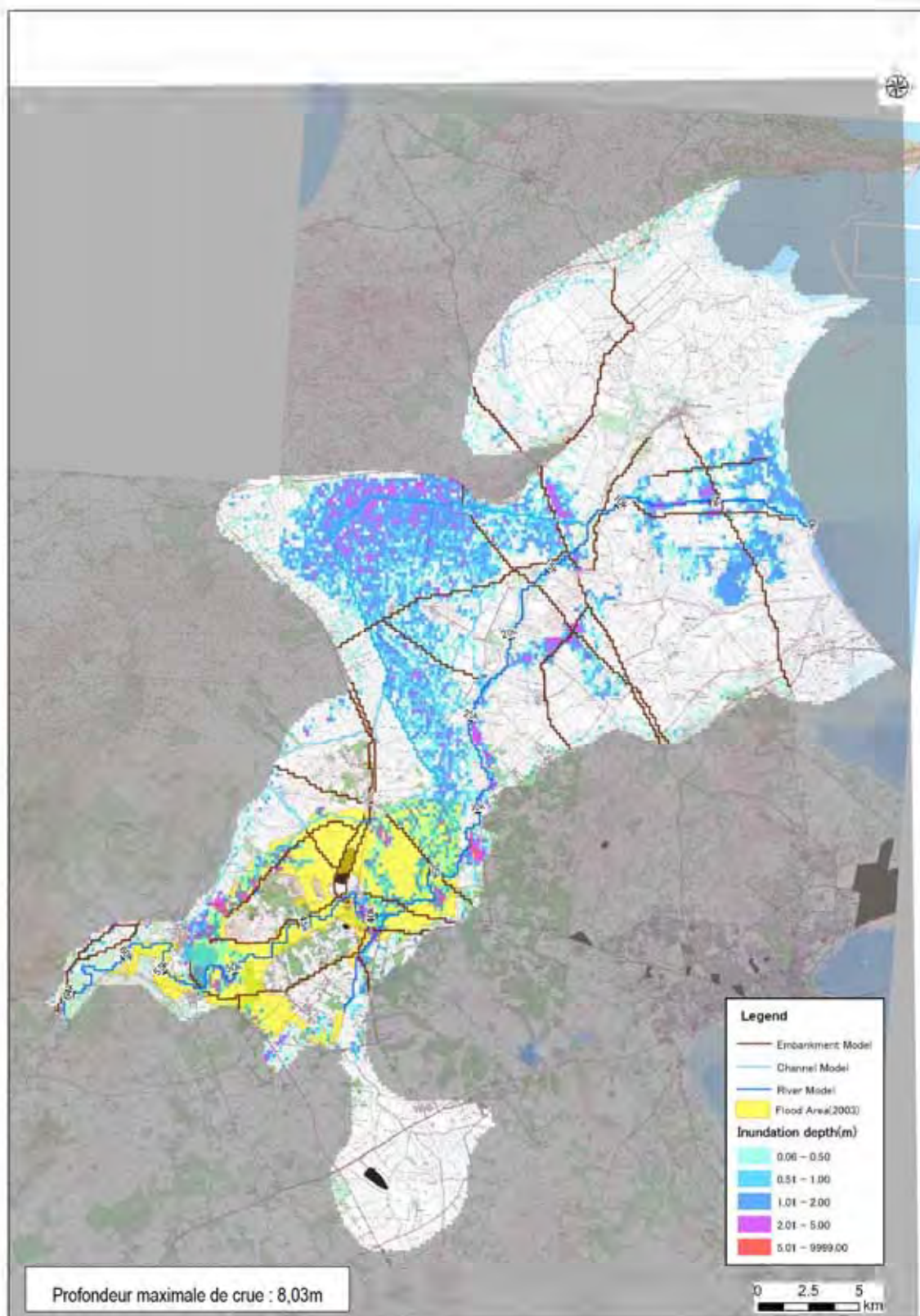
4.7.3 Simulation de crues survenues en 2003

Le calcul de simulation des crues survenues en 2003 qui sont de taille la plus grande dans ces dernières années, s'est fait à l'aide du modèle d'analyse de crues élaboré.

Les crues survenues dans le passé, superposées du résultat d'analyse de crues sont montrées dans la Figure de la page suivante. Les crues survenues dans le passé sont classées seulement pour les crues observées des environs d'El Battan aux abords de Jedeida. Suivant le résultat de calcul, les voies d'écoulement des crues tombent sur les crues survenues dans le passé. En ce qui concerne le cours intermédiaire et l'aval de l'oued pour lesquels les crues survenues ne sont pas classées, la simulation arrive à reproduire l'état actuel des eaux inondées écoulées vers le gararet El Mabtough le long des canaux existants, puis retenues dans le bassin de retardement. De ce fait, ce modèle sera adopté comme le modèle d'analyse d'inondation. Les conditions de calcul pour l'analyse de crues sont indiquées dans le Tableau ci-dessous :

Rubrique		Conditions	Remarque
Conditions de la force extérieure	Echelle de planification	Crues survenues en 2003	
	Hydrogramme de débit	Débit observé à l'observatoire de Slouguia	
	Hyétogramme	Crues survenues en 2003	
	Précipitations	Précipitations observées à 3 observatoires en aval du barrage de Laroussia	
Modèle de lit de cours d'eau	Méthode de calcul	Calcul unidimensionnel des écoulements instables	
	Etendue cible	Aval extrême de l'oued Medjerda au barrage de Laroussia 64 974km	
	Pas de calcul	Près de 300m à 500m	
	Section utilisée	Profil transversal en 2007 Chenal actuel	
	Niveau de l'eau en aval extrême	Niveau moyen mensuel de marée haute 0,77m (fixe)	
	Coefficient de rugosité	0,040	
Modèle de crues	Type de crues	Crue propagée	
	Méthode de calcul	Calcul bidimensionnel des écoulements instables	
	Hauteur de sol	à élaborer à partir des données du modèle numérique de terrain	
	Coefficient de rugosité	Terrain d'agriculture : 0,060 Voie : 0,047 Autres : 0,050	
	Taux d'occupation du sol des bâtiments	à établir à partir de photos aériennes	
	Conditions pour le débordement	à juger par le calcul unidimensionnel des écoulements instables Coefficient de débordement : à déterminer en tenant compte des écoulements horizontaux estimés par la formule de Homma. Hauteur des eaux débordées : niveau des digues actuelles ou niveau des digues de projet	

			Zones débordées : à viser toutes les zones	
	Conditions d'effondrement des digues		à ne pas déterminer	
	Précipitation effective	f 1 <small>(débit de ruissellement)</small>	rizières 0 / montagnes 0,15 / champs 0,25 / villes 0,6 à 0,9	
		Rsa <small>(taux d'écoulement d'eau saturante)</small>	rizières 50 / montagnes 300 /champs 150 / villes 55	
fsa <small>(eau saturante)</small>		rizières 1 / montagnes 0,6 / champs 1 / villes 1		



Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-30 Résultat du calcul de simulation des crues de 2003

4.7.4 Comparaison des états des crues des eaux intérieures entre le profil transversal de l'endiguement proposé et le profil transversal de l'excavation proposée

Etant donné que l'oued Medjerda manque la capacité d'écoulement, il sera nécessaire d'assurer la superficie de la section mouillée par l'excavation ou l'élargissement du lit de cours d'eau ainsi que l'endiguement. D'autre côté, l'oued Medjerda ayant le lit de niveau inférieur par rapport au terrain protégé par les digues sur toutes les sections, il risque de favoriser les dégâts dus aux eaux intérieures par l'endiguement.

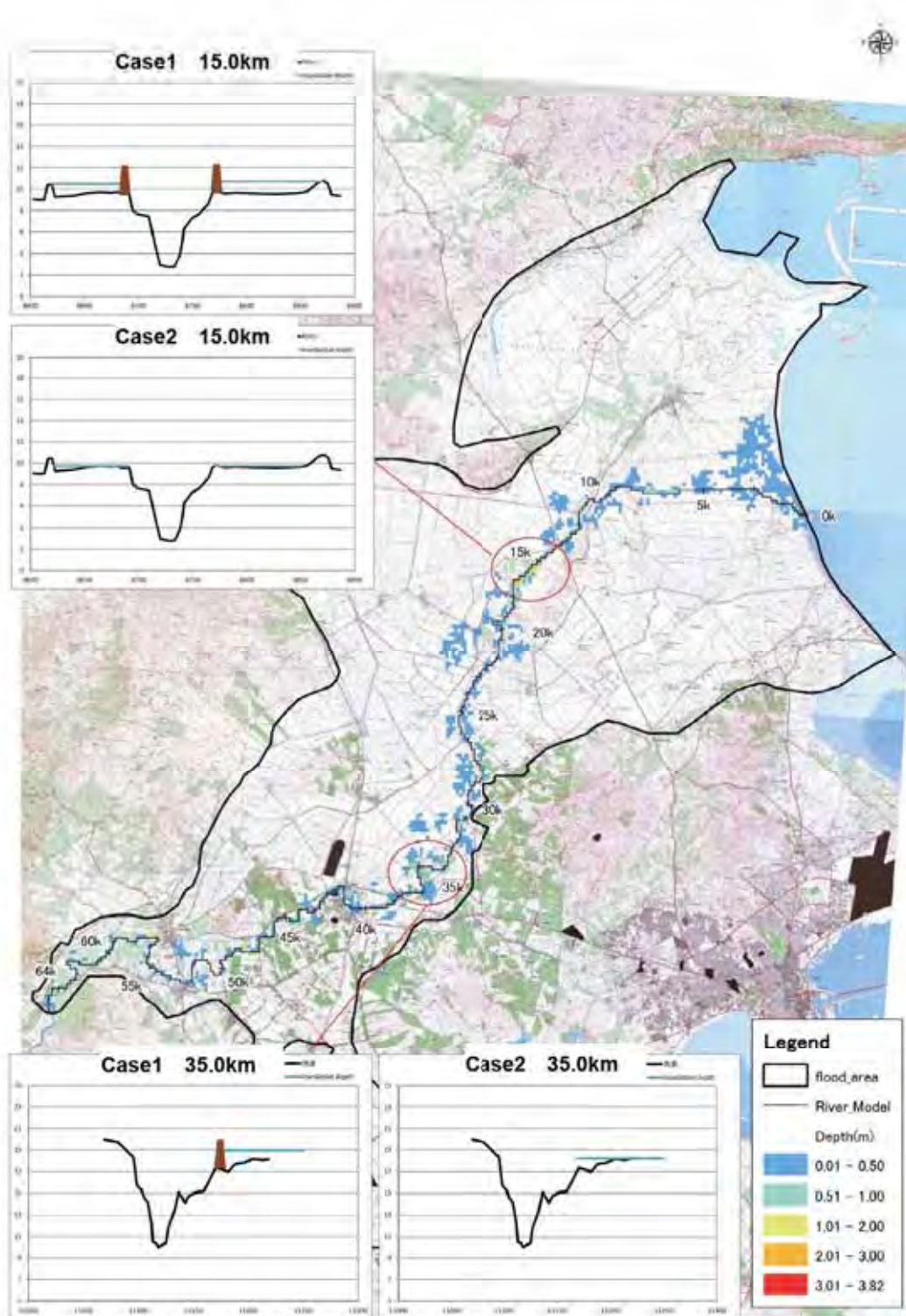
A cet effet, la pertinence du plan du chenal de l'oued sera examinée à travers la comparaison des états de crues des profils transversaux de l'endiguement proposé (cas N°1 mentionné plus haut) et de l'excavation proposée (cas N°2 susmentionnée).

Les conditions de calcul pour l'analyse de crues sont montrées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4-9 Conditions de calcul

Rubrique		Conditions	Remarques
Conditions de la force extérieure	Echelle de planification	1/10*5 fois	
	Hydrogramme de débit	Néant	
	Hyétogramme	Précipitations concentrées au milieu de l'hyétogramme	
	Précipitation	1/10*5 fois : 526,1mm/48h	Période de retour =1/10 105,2 mm/48h
Conditions de lit de cours d'eau	Etendue cible	aval extrême de l'oued Medjerda – barrage de Laroussia, 64 974km	
	Pas de calcul	Près de 300 à 500m	
	Section utilisée	Profils transversaux de 2007 Cas N°1 : Profil transversal de l'endiguement proposé Cas N°2 : Profil transversal de l'excavation proposée	
	Niveau de l'aval extrême	Niveau moyen mensuel de marée haute 0,77m (fixe)	
	Coefficient de rugosité	0,040	
Conditions de crues	Type de crue	Crues propagées	
	Méthode de calcul	Calcul bidimensionnel des écoulements instables	
	Modèle de la plaine d'inondation	a. Hauteur de sol : hauteur moyenne de sol en maille de 150m b. Coefficient de rugosité : champ et terre inculte 0,06 partout c. Taux d'occupation du sol des bâtiments : 40 à 80% uniquement pour villes	
	Canal	à ne pas considérer	
	Conditions pour le débordement	Les eaux débordées depuis le chenal de l'oued ne sont pas tenues en compte. Pour le lit de niveau inférieur par rapport au terrain protégé par les digues, il faut tenir compte des eaux de retour de la plaine d'inondation vers le chenal de l'oued.	
	Précipitation effective	f 1 : champs 0,15 Rsa : 0	à supposer que la plaine d'inondation soit mouillée

Le résultat de la comparaison est montré à la page suivante. La partie en couleur du résultat de la comparaison représente l'étendue favorisant les dégâts dus aux eaux intérieures par l'endiguement et la profondeur de l'eau est indiquée en couleur. A l'issue de ladite comparaison, il a été confirmé le fait que les dégâts entraînés par les eaux intérieures seront favorisés dans le cas où les digues de hauteur de près de 2m seraient construites suivant l'endiguement proposé. Ainsi il s'est avéré de nouveau que le projet de l'endiguement demandera plus de frais par rapport au projet de l'excavation afin d'assurer les mesures contre l'eau intérieure.



Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-31 Comparaison des états des eaux intérieures inondées

4.7.5 Résultat d'analyse de crues par probabilité

L'analyse de crues par probabilité de pluies est effectuée pour le chenal actuel de l'oued ainsi que pour le chenal de l'oued de projet.

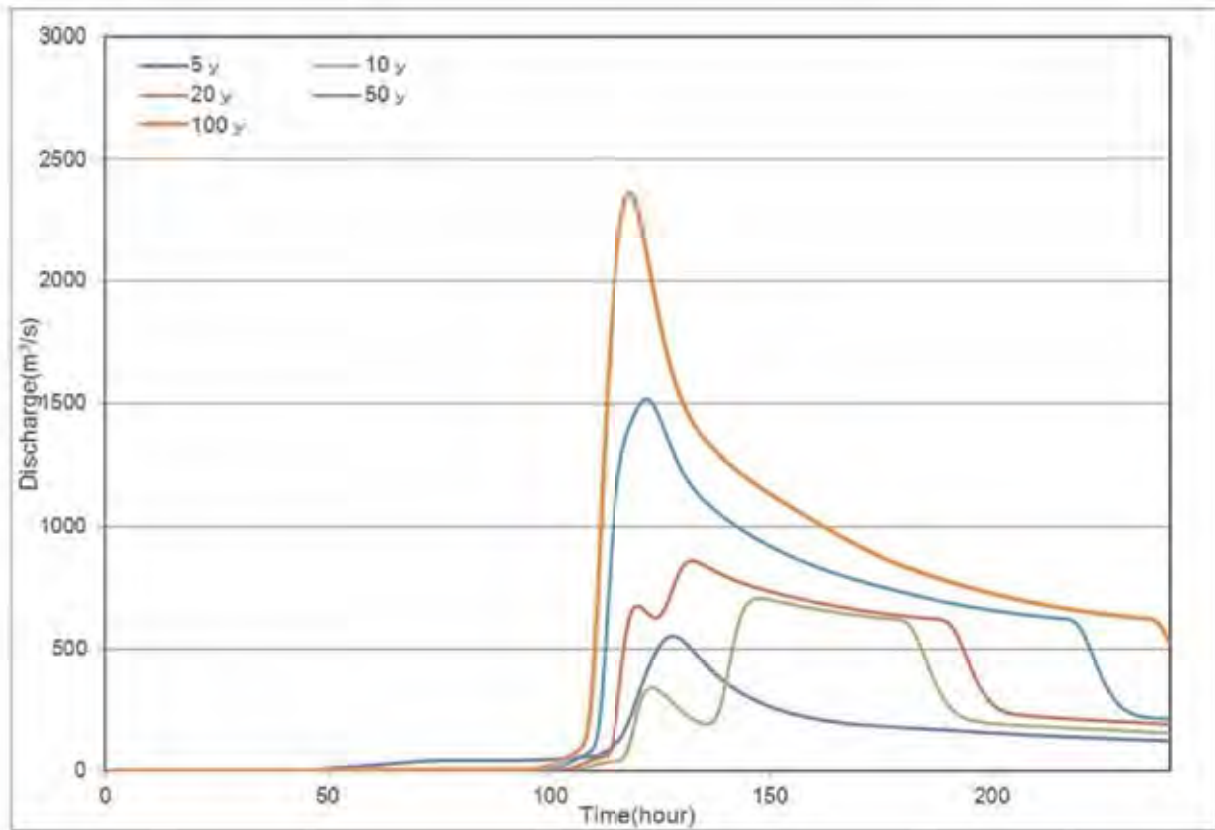
Les conditions de calcul pour l'analyse de crues sont comme ci-dessous :

Tableau 4-10 Conditions de calcul

Rubrique		Conditions	Remarque
Conditions de la force extérieure	Etendue de projet	Chenal en état actuel : 1/5 1/10 1/20 1/50 1/100 Chenal de projet : 1/5 1/10	
	Hydrogramme de débit	Débit par probabilité Point du barrage de Laroussia	
	Hyétogramme	Précipitations concentrées au milieu de l'hyétogramme	
	Précipitations	3 observatoires en aval du barrage de Laroussia Précipitations par probabilité	
Modèle de lit de cours d'eau	Méthode de calcul	Calcul unidimensionnel des écoulements instables	
	Etendue cible	Aval extrême de l'oued Medjerda au barrage de Laroussia 64 974km	
	Pas de calcul	Près de 300m à 500m	
	Profil utilisé	Profils transversaux de 2007 Chenal actuel de l'oued et Chenal de l'oued de projet	
	Niveau d'eau en aval extrême	Niveau moyen mensuel de marée haute 0,77m (fixe)	
	Coefficient de rugosité	0,040	
Modèle de crues	Type de crues	Crues propagées	
	Méthode de calcul	Calcul bidimensionnel des écoulements instables	
	Hauteur de sol	à établir par les données de modèle numérique de terrain	
	Coefficient de rugosité	Terrain d'agriculture : 0,060 Voies : 0,047 Autres : 0,050	
	Taux d'occupation de bâtiments	à établir par les photos aériennes	
	Conditions pour le débordement	à juger par le calcul unidimensionnel des écoulements instables Coefficient de débordement : à déterminer en tenant compte des écoulements	

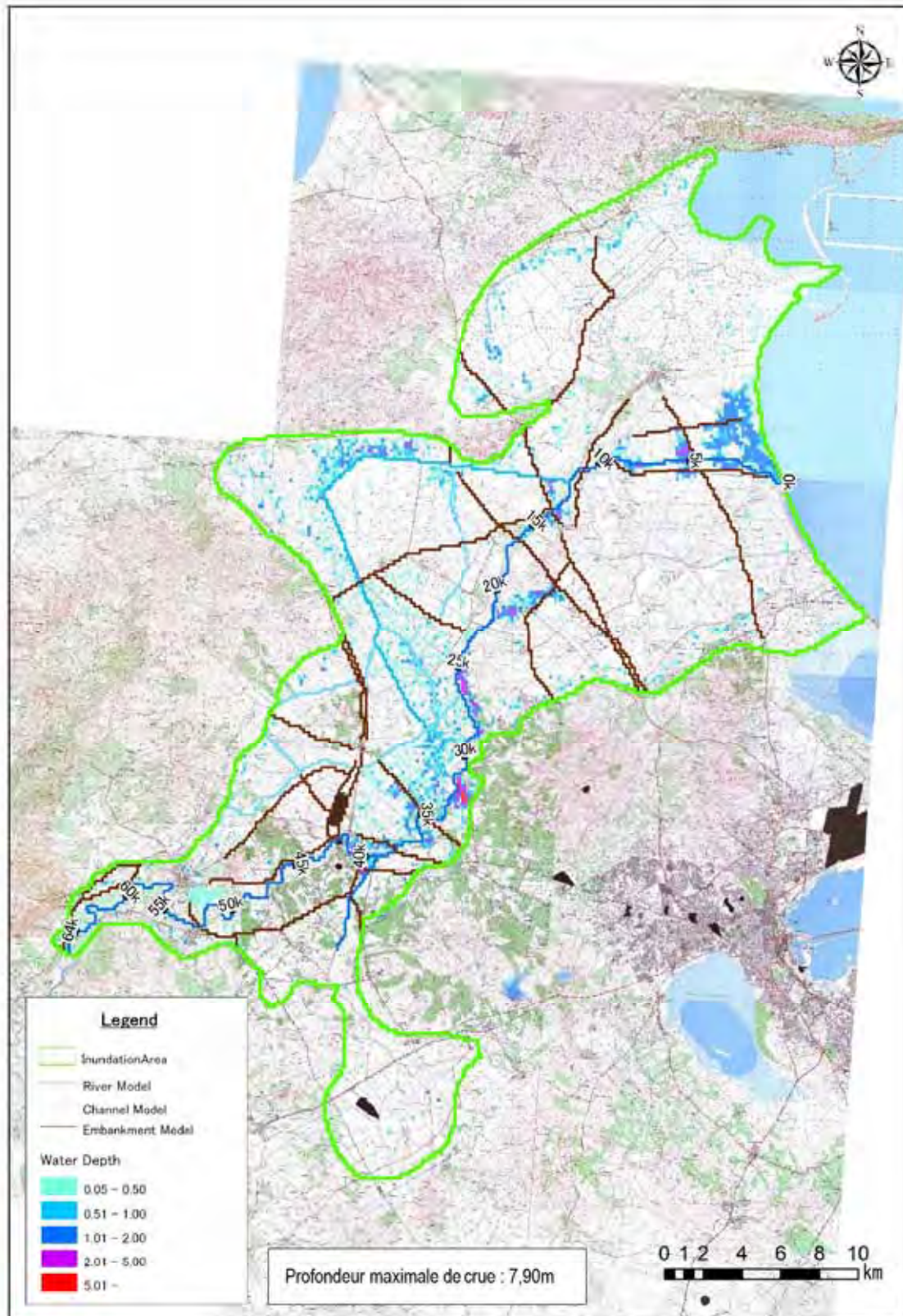
			horizontaux estimés par la formule de Homma. Hauteur des eaux débordées : Hauteur des digues actuelles ou hauteur des digues de projet Zones débordées : à viser toutes les zones	
	Conditions d'effondrement des digues		à ne pas déterminer	
	Précipitation effective	f I	rizières 0 / montagnes 0,15 / champs 0,25 / villes 0,6 à 0,9	
		Rsa	rizières 50 / montagnes 300 / champs 150 / villes 55	
Isa		rizières 1 / montagnes 0,6 / champs 1 / villes 1		

Le hydrogramme par période de retour ainsi que le résultat d'analyse de crues sont montrés dans les pages qui suivent. Le résultat d'analyse de crues montre que l'inondation par l'eau extérieure par période de retour de projet de 1/10 ans ne s'est pas produite sur le cours d'eau du projet. Aussi, si on suppose que l'ouvrage n'est pas détruit même si le niveau d'eau atteint à la crête, l'inondation ne peut se produire jusqu'à 1/20ans. Même avec la probabilité de 1/50 ans ou de 1/100 ans, la zone inondée reste limitée grâce à la dérivation au bassin de retardement. La hauteur d'inondation est en hausse par l'augmentation du volume d'eau d'inondation au niveau des zones non aménagées en aval, mais la zone d'inondation reste inchangée.



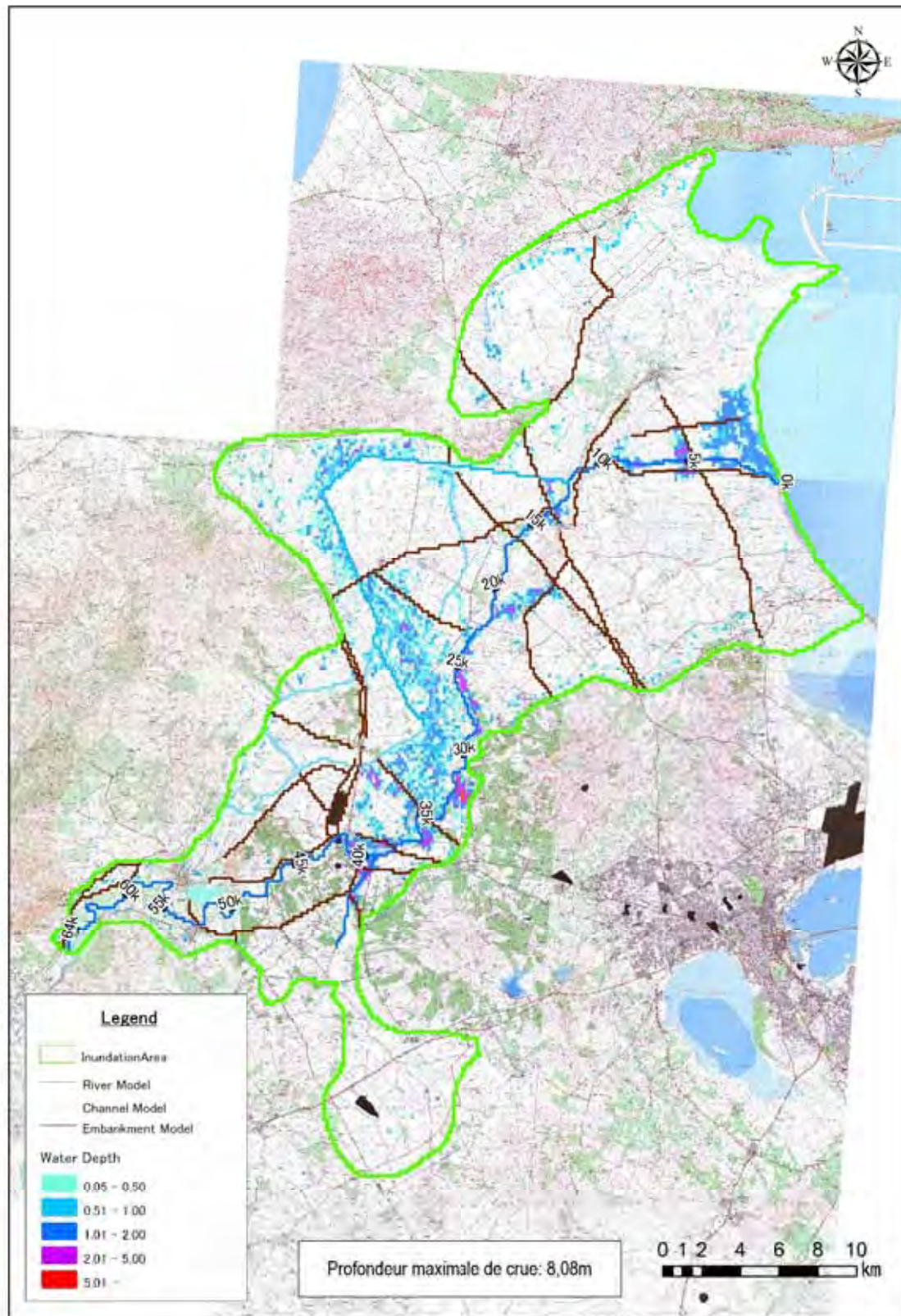
Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-32 Hydrogramme par période de retour (barrage de Laroussia)



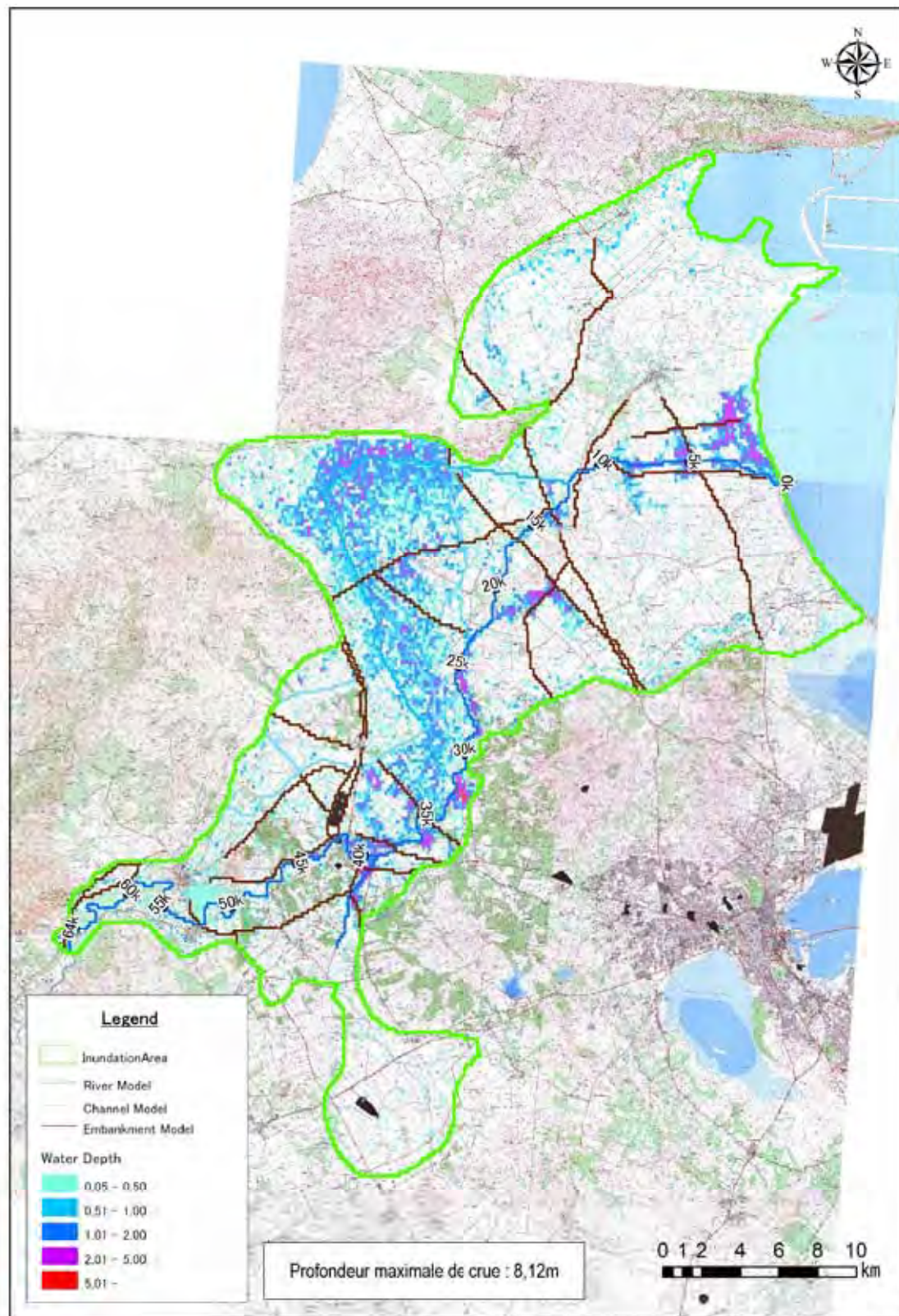
Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-33 Résultat d'analyse de crues (chenal de l'oued actuel, Probabilité 1/5)



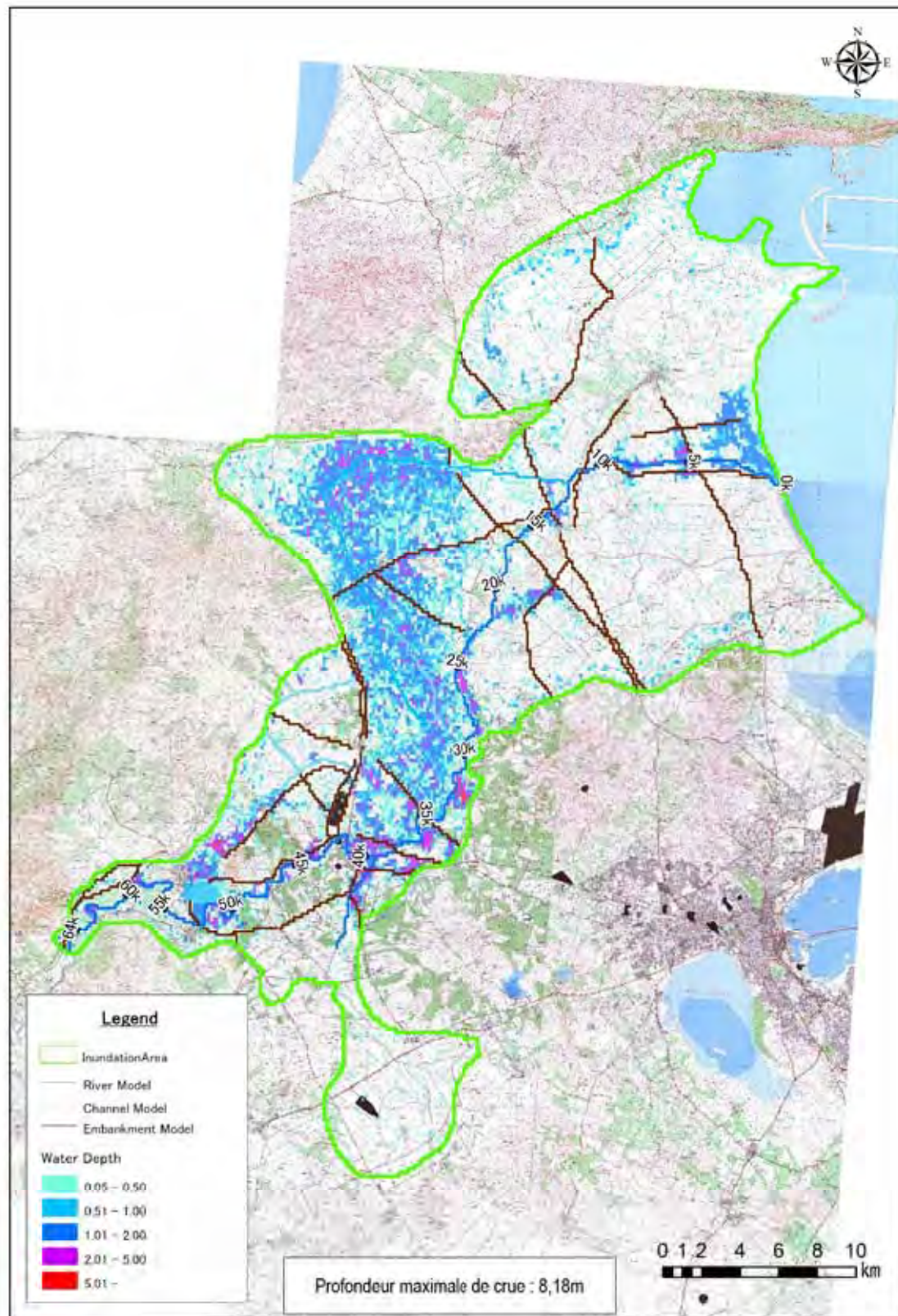
Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-34 Résultat d'analyse de crues (canal de l'oued actuel, Probabilité 1/10)



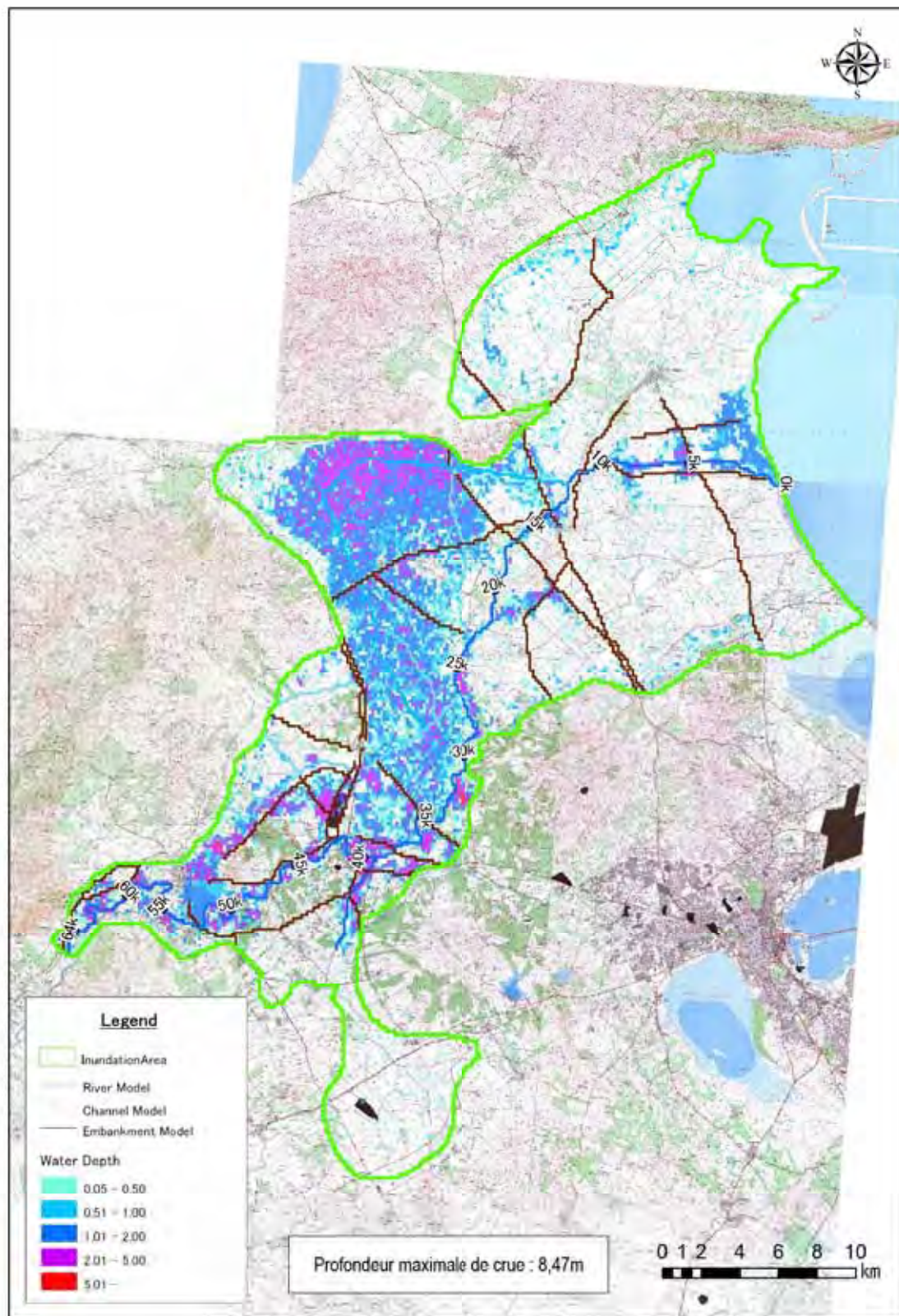
Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-35 Résultat d'analyse de crues (canal de l'oued actuel, Probabilité 1/20)



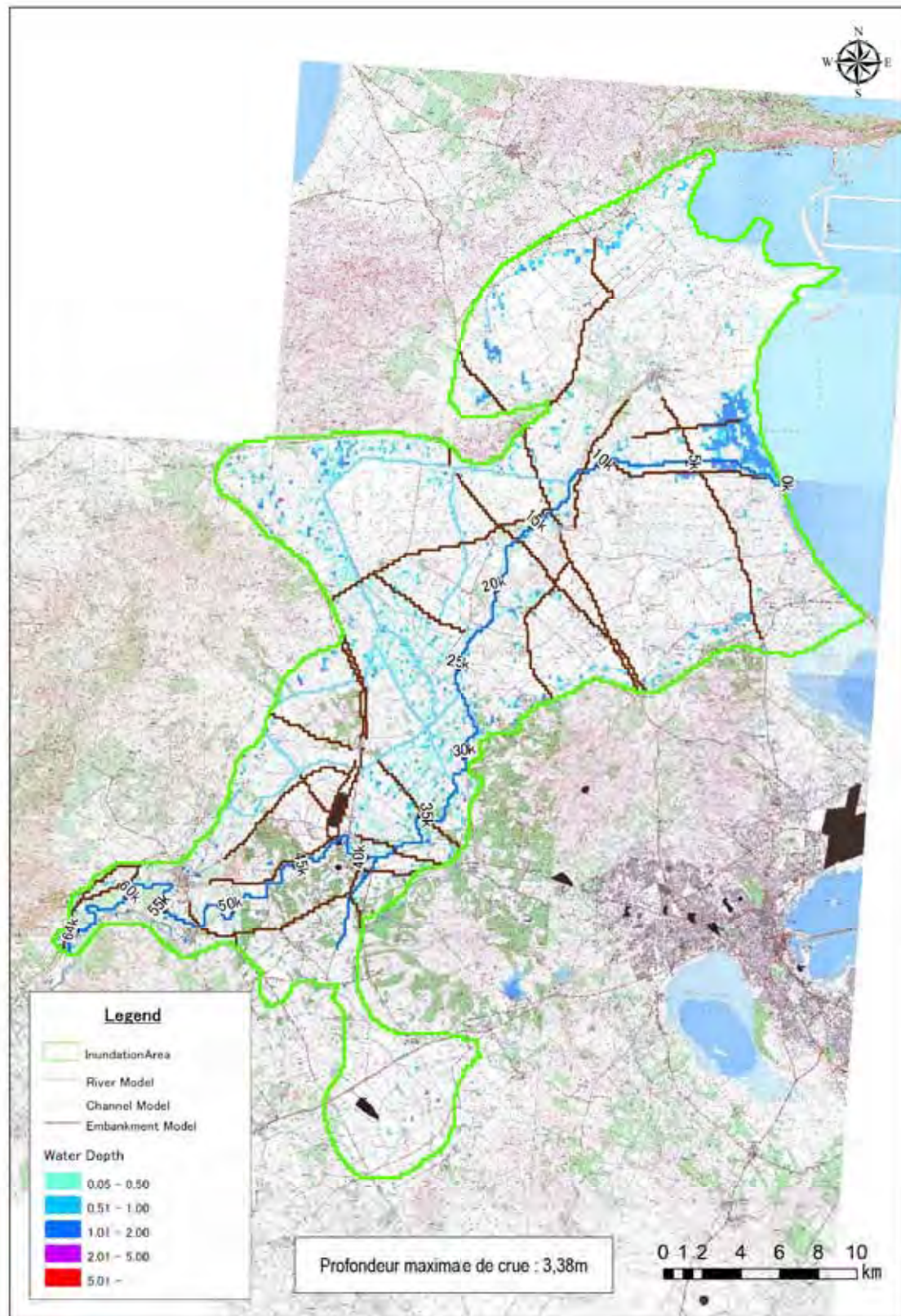
Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-36 Résultat d'analyse de crues (canal de l'oued actuel, Probabilité 1/50)



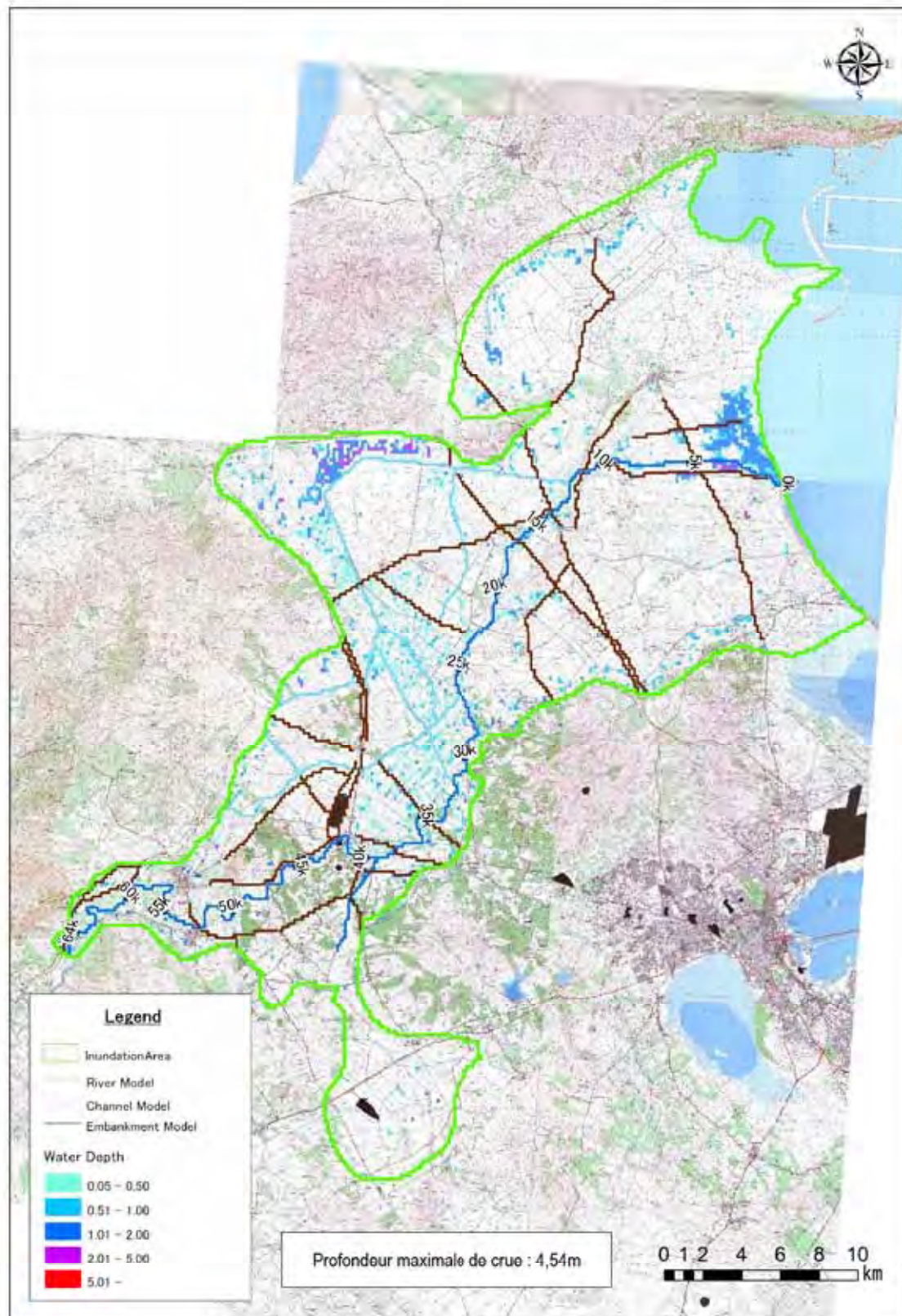
Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-37 Résultat d'analyse de crues (chenal de l'oued actuel, Probabilité 1/100)



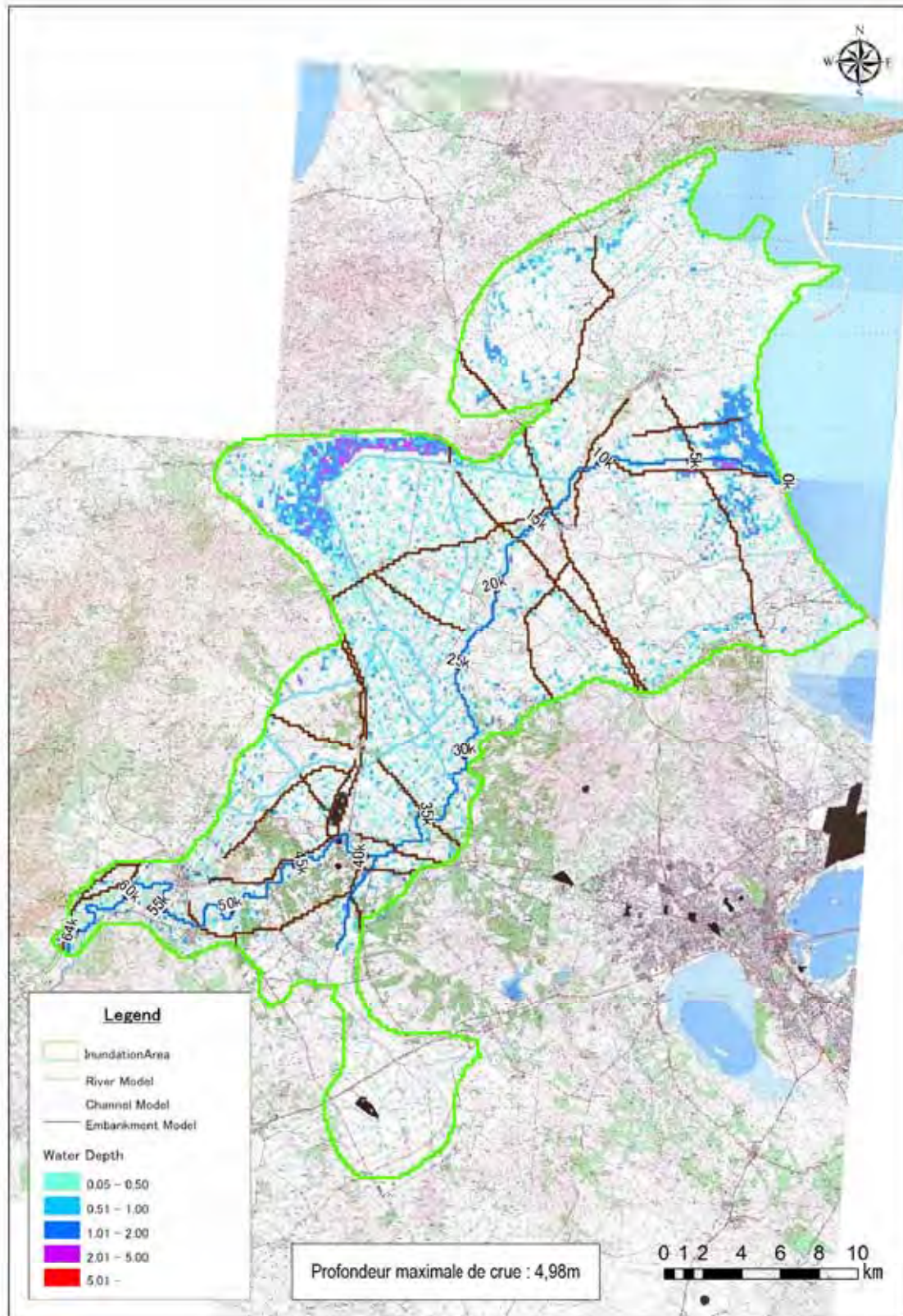
Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-38 Résultat d'analyse de crues (chenal de l'oued de projet, Probabilité 1/5)



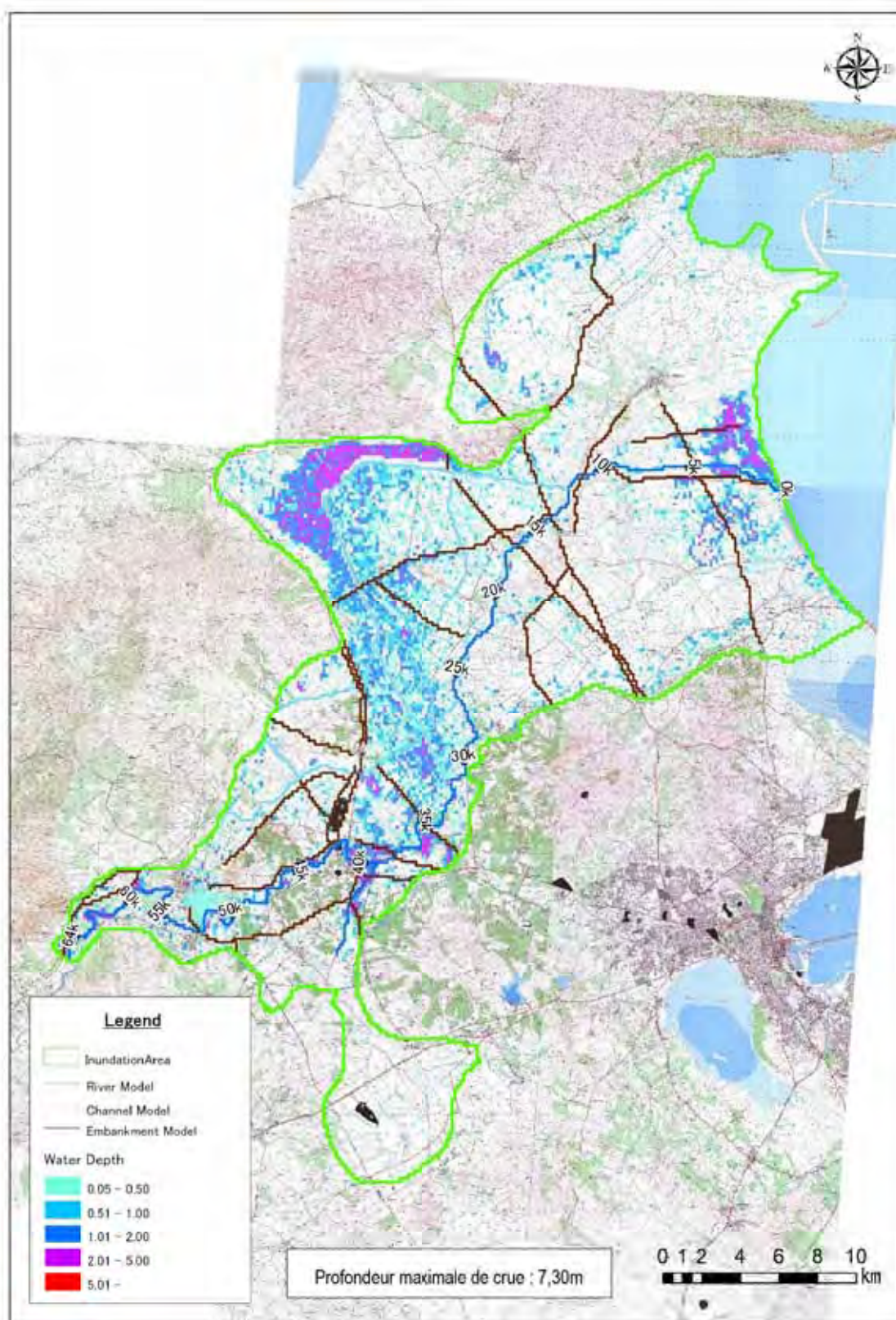
Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-39 Résultat d'analyse de crues (chenal de l'oued de projet, Probabilité 1/10)
(en cours de calcul)



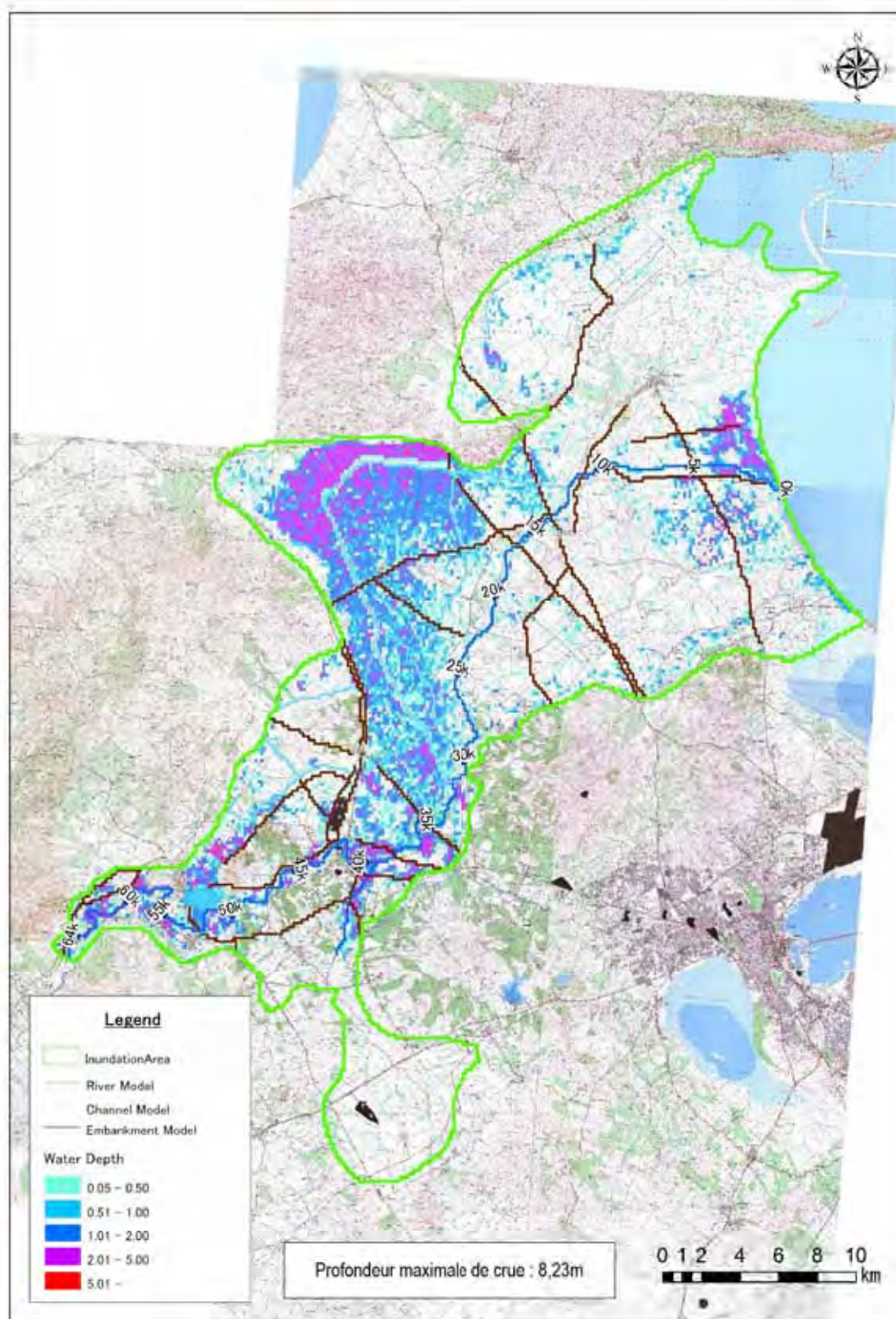
Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-40 Résultat d'analyse de crues (chenal de l'oued de projet, Probabilité 1/20)
(en cours de calcul)



Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-41 Résultat d'analyse de crues (chenal de l'oued de projet, Probabilité 1/50)
(en cours de calcul)



Source: Mission d'étude JICA

Figure 4-42 Résultat d'analyse de crues (chenal de l'oued de projet, Probabilité 1/100)
(en cours de calcul)