

Protection contre les inondations du projet de la Technopole de Foug El Oued (Maroc), une évidence ?

Is the Flood protection of the Foug El Oued Technopole project (Morocco), self-evident?

D. Mazel¹, M. Fernez², C. Meunier³

¹TRACTEBEL Engineering, Agence de Nîmes, didier.mazel@tractebel.engie.com

²TRACTEBEL Engineering, Agence de Nîmes, marion.fernez@tractebel.engie.com

³TRACTEBEL Engineering, Agence de Nîmes, celia.meunier@tractebel.engie.com

Résumé

Le projet de technopole de Foug El Oued s'étend sur 126 ha en bordure de l'océan Atlantique dans l'embouchure asséchée de l'oued Sakia El Hamra. Situé à 18 km en aval de la ville de Laâyoune ce projet urbain vise à être un catalyseur du développement des régions du Sud du Maroc.

Lors des études de projet, les débits de l'Oued ont été jugés négligeables, en raison : de l'obstruction de la basse vallée par les dunes de sable, de la présence du barrage Sakia El Hamra à Laâyoune et de l'absence de crues ayant atteint l'océan depuis plus de cinquante ans.

La crue du 28 au 30 octobre 2016, qui a balayé l'ensemble des infrastructures de la basse vallée et les travaux sur le site, a éveillé brutalement la conscience du risque d'inondation à long terme pour le projet. Cette crue a entraîné la rupture du barrage par surverse, suivie par l'effacement des dunes dans la basse vallée et le delta.

Un modèle hydraulique 2D a été construit pour comparer l'efficacité des actions envisageables. Mais la définition d'un scénario d'aménagement durable se heurte à l'évolution morphologique de l'oued commandée par le déplacement des dunes éoliennes et par les écoulements temporaires de l'oued. La solution technique retenue se résume alors à l'isolement du projet urbain par une digue et à la nécessaire préservation de l'espace d'expansion des crues du delta. Ce choix oblige à l'entretien permanent de la digue et au maintien des chenaux d'évacuation des eaux à l'océan. Aux prémices de la concrétisation de ce projet urbain d'envergure, face au défi de sa protection permanente et de la faible culture du risque, la recherche d'alternatives de relocalisation du projet demeure un choix raisonnable !

Mots-Clés

Crue, oued Sakia-El-Hamra, digue, prévention des inondations, Maroc

Abstract

The Foug-El-Oued technopole project extends over 126 ha on the edge of the Atlantic Ocean in the dry mouth of the Sakia-El-Hamra Oued. Located 18 km downstream from Laâyoune, this urban project would be a catalyst for development of the South Moroccan regions.

The hazard of flooding has been considered negligible for the project, given there has been no flood reaching the ocean for more than fifty years, due to the weakness of floods, the blocking effect of sand dunes and the storage volume available at the Sakia El Hamra Dam in Laâyoune.

The flood from October 28-30, 2016 that swept away the whole infrastructure in the valley and the works in progress on the site, has brutally brought the long-term risks awareness into focus. This episode caused the breaking of the dam, followed by the total erasure of the dunes in the lower valley.

A 2D hydraulic model has been developed to compare the effectiveness of possible actions. However, the definition of a sustainable scenario still faces the dynamics of the morphological evolution of the lower valley controlled by the movement of the aeolian sand dunes and by the temporary flow of the oued.

The technical solution then boils down to the complete isolation of the urban project by a flood bank and the necessary preservation of the whole flood expansion areas of the delta. This choice requires a permanent maintenance of the dike, while preserving the preferential water paths to the ocean. In the early stages of this ambitious urban project, with the challenge of its permanent protection and considering the low risk-culture of the population, the search for alternatives to relocate the project remains a sensible choice.

Key Words

Flooding, Sakia-El-Hamra Oued, Embankment, Flood risk

prevention, Morocco

Le projet de technopole et le contexte physique de l'oued Sakia el hamra

Le projet de la Technopole

Le projet de technopole de Foum El Oued s'étend sur une superficie de 126 ha en bordure de l'océan Atlantique dans l'embouchure asséchée de l'oued Sakia El Hamra. Situé à 18 km à l'Ouest de la ville de Laâyoune ce projet urbain vise à être un catalyseur du développement des régions du Sud du Maroc, basé sur trois pôles principaux :

- Un pôle d'enseignement et de recherche,
- Un pôle de soutien économique des régions du Sud,
- Un pôle culturel,

accompagnés d'infrastructures à caractère social et de santé, d'un espace résidentiel et touristique. Intégré à l'environnement le projet prévoit la valorisation paysagère et écologique de deux bras asséchés du delta et d'une lagune.



FIGURE 1 : PROJET DE LA TECHNOPOLE DE FOUM EL OUED

Le bassin versant de l'oued Sakia El Hamra

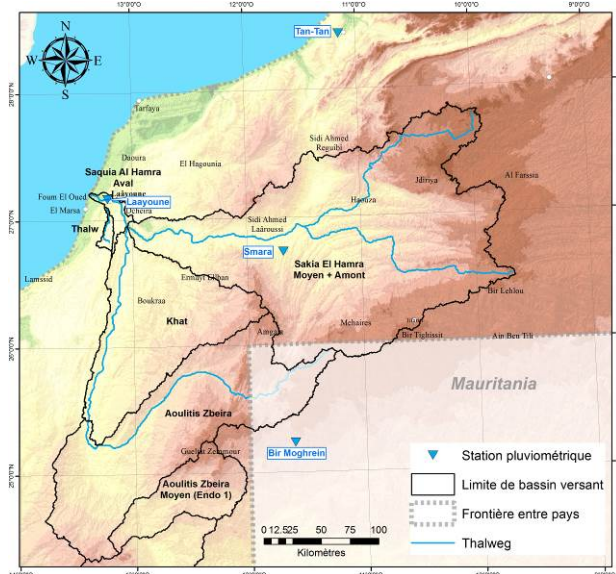


FIGURE 2 : BASSIN VERSANT DE L'OUED SAKIA EL HAMRA

Le bassin versant de l'oued Sakia El Hamra et de ses affluents est très étendu - entre 71 000 et 78 000 km² (selon la prise en considération des dépressions amont) - sur un ensemble de plateaux arides en bordure Ouest du Sahara jusqu'au massif des Zemmour. Cette vaste région se caractérise par une topographie basse et peu accidentée (point culminant à 622 m NGM), par des oueds à faible pente encaissés dans des gorges à la traversée des plateaux grésocalcaires et par des zones dépressionnaires endoréiques (Sebkhat) sur la partie Sud-Ouest.

Hydrologie

Le climat aride saharien présente des précipitations rares et irrégulières. Il est marqué par des périodes de sécheresse très longues et quelques épisodes pluvieux brefs et violents concentrés dans le temps. La pluviométrie moyenne annuelle varie entre 60 mm à Laâyoune et 22 mm à Smara.

L'historique des observations de crues depuis 1942 atteste cependant de la récurrence (en moyenne tous les 3 ans) d'écoulements temporaires pouvant durer de quelques jours à plusieurs mois.

TABLEAU 1 : CRUES HISTORIQUES DE L'OUED

Date	Qp (m ³ /s)	Durée	Volume	Observations
Juin 1942	-	Plusieurs jours	-	150 m de large face à Laâyoune
Hiver 1943	-	Plusieurs jours	-	Isolement de la caserne Tertio. La traversée se fait par embarcation
Sept 1944	-	Plusieurs mois	-	Inondations suite à huit jours consécutifs de pluies intenses
Janv 1945	-	-	-	Laâyoune était menacée par l'eau
1952	-	Plusieurs mois	-	
1957	-	Plusieurs mois	-	
1968	-	-	-	Le cordon dunaire retient les eaux qui menacent la ville.
Oct 1978	410	16 j	110 hm ³	Au radier de Lamseid
Sept 1984	-	Plusieurs jours	-	Endommagement du radier de Smara
Sept 1986	8	-	-	Crue des talwegs proches de la ville. L'eau retenue par les dunes atteint plusieurs milliers de m ³
Oct 1987	410	9 j	110 hm ³	crue estimée à 1/50 ans
Déc 1991	125 s	22 j	60.8 hm ³	Au radier de Lamseid
1995	Construction du barrage Sakia El Hamra			
Avr 2002	-	-	0,8 hm ³	Au radier de Lamseid (secteur de confluence en queue de retenue)
Août 2003	18	6 j	1.5 hm ³	
	15	8 j	0.9 hm ³	
Oct-Nov 2003	9	4 j	1.5 hm ³	
	13	11 j	3 hm ³	
Fév 2005	10	17 j	0.8 hm ³	
Déc.2005	27	4 j	12 hm ³	
janv 2016	39	24 j	48 hm ³	

La plus forte crue estimée sur cette période antérieure à 2016 aurait atteint 410 m³/s pour un volume écoulé de 110 hm³.

La morphologie singulière de la basse vallée

La basse vallée de l'oued depuis la confluence des deux tributaires principaux (Sakia El Hamra et Khat) se caractérise par un corridor encaissé entre les plateaux rocheux, barré par le remblai du barrage Sakia El Hamra (SH), puis complètement obstrué sur environ 7 km de longueur par les dunes de sable éolien (barkhanes) des couloirs de sable qui prennent leur source en bordure de l'océan jusqu'à cent kilomètres au Nord.

Après une courte zone de transition occupée par des cultures, le lit majeur s'élargit ensuite en un vaste delta de 6 km de largeur, affecté localement par quelques alignements de dunes éoliennes et par des promontoires argileux entre les bras d'écoulement asséchés. Une barre de dunes littorales ferme le débouché à l'océan (cf. Figure 3).

Depuis Laâyoune jusqu'à l'océan, trois axes routiers en remblais traversent le fond de vallée : la RN1 (route de Tan Tan), la route de Tarfaya et la digue route littorale de desserte des ensembles hôteliers et de la résidence royale.

Le barrage Sakia El Hamra

Le barrage SH construit en 1995 en amont immédiat de la ville de Laâyoune est constitué d'un remblai à noyau central argileux, de 692 m de longueur en crête, de 12,5 m de hauteur par rapport au terrain naturel et de fruit des parements à 3H/1V. Il contrôle une cuvette de 110 hm³.

L'évacuateur de crues à seuil libre en rive droite est dimensionné pour un débit de 410 m³/s.

Le barrage a pour fonction le stockage des crues occasionnelles de l'oued dans l'objectif d'une part de restituer progressivement les eaux pour réalimenter la nappe souterraine de Foug El Oued, seule ressource utilisable pour l'eau potable et l'irrigation et d'autre part de protéger les infrastructures routières et les quartiers bas de Laâyoune contre les crues. La digue sert de plus au passage de la route de contournement de la ville de Laâyoune.

La crue du 28 au 30 Octobre 2016

Inondation de la basse vallée de Laâyoune à l'océan

Fin octobre 2016, un épisode de crue exceptionnel et dévastateur a intéressé la basse vallée de l'oued Sakia El Hamra, se soldant par au moins une victime humaine, par la disparation de plusieurs centaines de têtes de bétail et par des dégâts matériels considérables dont :

- La rupture par surverse du barrage SH affecté par deux brèches de 170 m et de 70 m de longueur,
- La destruction des traversées de la RN1 et de la route de Tarfaya,
- La rupture de la digue-route littorale,
- L'inondation des quartiers inférieurs de Laâyoune,
- La submersion jusqu'à plus de 2 m de hauteur du chantier de la Technopole,
- Le remaniement des terres de la vallée et l'inondation des infrastructures agricoles.

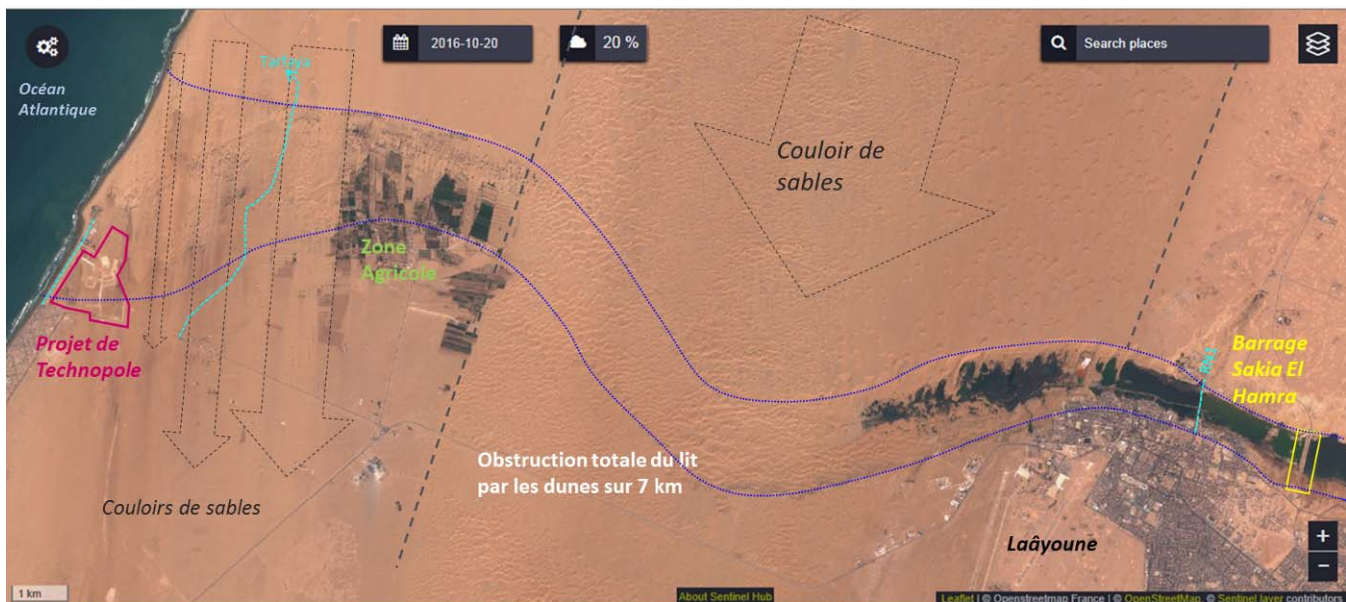


FIGURE 3 : MORPHOLOGIE INITIALE DE LA BASSE VALLEE

TABLEAU 2 : SEQUENCE DES PHENOMENES

Date-heure	Événement
28/10 - 18h00	Début de remplissage de la retenue SH
29/10 - 04h00	Début de fonctionnement de l'évacuateur de crue et remplissage partiel du bief de Laâyoune
29/10 - 14h20	Surverse et rupture du barrage
29/10 - après 14h20	Inondations maximales à Laâyoune puis effacement total du bouchon de dunes
29/10 - fin après-midi	Inondation de la zone agricole, mise en eau du delta, activation des bras d'écoulements, rupture de la route de Tarfaya
29/10 - 20h00	Arrivée des eaux sur le site de la technopole
30/10 - 00h00	Rupture de la route littorale

L'analyse des observations et photographies mises à disposition a permis de reconstituer la séquence des événements et l'épisode hydrologique au barrage SH.

- Le débit de pointe de la crue serait de l'ordre de $4\,100\text{ m}^3/\text{s}$ (l'Agence du bassin hydraulique de Sakia El Hamra et oued Eddahab – ABHSHOD - propose une estimation à $3\,200\text{ m}^3/\text{s}$)
- Le volume du corps de la crue serait compris entre 203 hm^3 (ABHSHOD) et 340 hm^3
- Le débit de pointe de rupture du barrage SH serait de l'ordre de $5\,000\text{ m}^3/\text{s}$.

Ces grandeurs sont sans commune mesure avec celles des épisodes historiques antérieurs et avec les bases de dimensionnement du barrage SH.



FIGURE 4 : SURVERSE AVANT RUPTURE DU BARRAGE SH

Évolution de la morphologie de la basse vallée

La crue a entraîné des modifications morphologiques majeures dans la basse vallée (cf. figure 5) :

- Disparition totale du bouchon de dunes,
- Remaniement du delta et des bras d'écoulement,
- Ouverture du cordon littoral.

L'événement d'octobre 2016 a éveillé la prise de conscience du risque d'inondation étendu à la totalité de la basse vallée jusqu'au littoral. Il a mis de plus en évidence la sous-estimation des phénomènes hydrologiques de crue pour le dimensionnement des infrastructures dans le lit de l'oued.

La crue conduit de plus à une situation paradoxale à savoir que malgré l'effacement du barrage SH et du bouchon de dunes, et donc la perte de leur rôle passif d'écêtement et de rétention des crues, le nettoyage en grand du lit et l'ouverture du débouché à l'océan conduisent à une amélioration très significative de la capacité d'évacuation des crues dans le delta.



FIGURE 5 : ÉVOLUTIONS MORPHOLOGIQUES SUITE A LA CRUE

Ainsi le projet de Technopole dont le site en chantier a été fortement inondé bénéficie actuellement d'une configuration du lit plus favorable qui minimise l'aléa.

Cependant les déplacements permanents des dunes, du Nord vers le Sud, dans les couloirs de sables vont conduire progressivement au comblement du lit dans les secteurs traversés, qui sera complètement occupé par les dunes à un horizon de 10 à 20 ans, en l'absence de nouvelles crues, d'autant plus que la reconstruction du barrage SH redimensionné coupera le transit des crues ordinaires.

La partie Nord du delta, où se trouve l'axe principal de rejet à l'océan, sera la première concernée par la reformation des bouchons de dunes, avant le bras Sud vers la Technopole qui sera affecté plus tard. Pendant plusieurs années le bras Sud du delta sera l'axe privilégié d'écoulement des crues.



FIGURE 6 : DYNAMIQUE DE RECONSTITUTION DES DUNES

Données et paramètres hydrauliques de référence pour la protection contre les crues

L'approche technique qui a été engagée lors des études repose alors sur la succession classique des étapes suivantes :

- Identification d'un épisode hydrologique de référence,
- Modélisation hydraulique de la basse vallée et caractérisation de l'aléa inondation,
- Analyse de scénarios de fermeture partielle des bras Nord du delta,
- Modélisation de la situation de projet et de scénarios d'aménagement.

Crue de référence

L'étude hydrologique des crues, délicate en raison de la faiblesse des données de référence, conduit à retenir un épisode de référence « centennal » de débit de pointe de $6\,200\text{ m}^3/\text{s}$.

Topographie de référence

Pour les besoins de l'étude un levé LIDAR aéroporté du fond de vallée a été réalisé en mai 2017. Le modèle numérique de terrain (MNT) produit est représentatif de la situation post-crue du fond de vallée.

Comparativement à la situation antérieure au 29/10/2016, le MNT ne représente pas les champs de dunes en aval de Laâyoune et dans le delta, ni les remblais des voies routières

qui ont été emportées par la crue, en particulier au niveau du littoral où la digue-route a contrôlé l'inondation dans les parcelles de la Technopole.

En complément du LIDAR le nivellement de repères d'inondation a été opéré depuis la ville de Laâyoune jusqu'à l'océan.

Modélisation hydraulique

La modélisation hydraulique est réalisée à l'aide du code TELEMAC 2D sur la base du MNT de mai 2017.

Le calage du modèle est basé uniquement sur la définition empirique des coefficients de rugosité de chaque maille (des tests de sensibilité mettent en évidence le faible rôle de ce paramètre dans le secteur du delta) et sur le contrôle de la cohérence générale des calculs. En raison de la topographie récente modélisée, les simulations avec les débits reconstitués de la crue d'octobre 2016 mettent logiquement en évidence des niveaux de plus hautes eaux très inférieurs (de plus de 3 m dans le bief de Laâyoune et de 1 à 2 m dans le secteur littoral et la zone agricole). Un calage et une analyse approfondie de la crue basée sur des hypothèses de bouchons de dunes, d'entraînement de matériaux et de ruptures successives d'obstacles n'ont pas pu être menés dans le contexte limité des missions d'expertises commandées par le client.

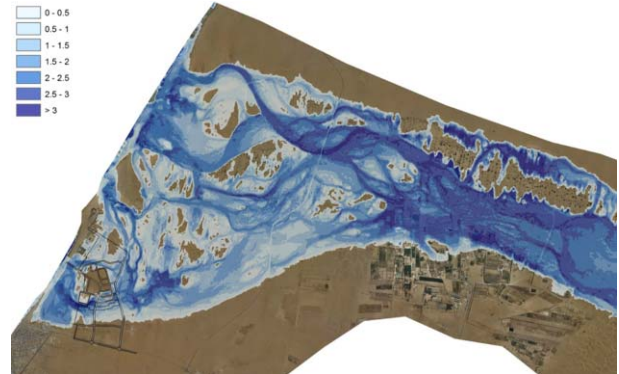


FIGURE 7 : INONDATION DE LA BASSE VALLÉE EN SITUATION ACTUELLE – HAUTEURS D'EAU (M)- CRUE D'OCT. 2016

Des simulations complémentaires ont été réalisées pour tester les effets d'obstruction partielle de certains bras Nord du delta qui entraînent des basculements de débit vers le secteur Sud accompagnés de rehausses des niveaux d'inondation de plusieurs dizaines de centimètres.

La sensibilité à l'hypothèse de marée est très faible et reste limitée à la frange littorale, sans influence sur le secteur du projet.

Exposition aux inondations du projet de Technopole

L'intégration du projet de la Technopole dans le modèle conduit à représenter les remblais à leur niveau d'achèvement

et les emprises des îlots bâtis.

Les simulations pour la crue de référence dans la topographie générale de mai 2017 ne font pas apparaître d'écoulement dans le domaine de la technopole, mais les hauteurs de revanches aux points bas sont très faibles, inférieures à 10 cm et des débordements seront certains après la reformation des dunes dans le delta.

La modélisation d'une obstruction du bras Nord du delta met en évidence une remontée de niveau d'une trentaine de centimètres provoquant des débits résiduels dans le site urbain.

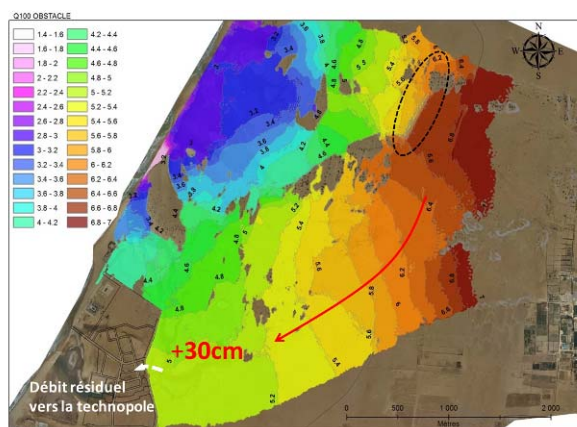


FIGURE 8 : NIVEAU DE PHE AVEC FERMETURE DU BRAS NORD

Les simulations réalisées mettent en évidence un risque d'inondation faible du projet de Technopole, avec des marges de sécurité insuffisantes au regard des incertitudes d'évolution morphologique du delta en particulier par les apports éoliens.

Stratégie de protection du projet contre les inondations

L'analyse de la stratégie de protection contre les inondations du site de la Technopole (avant d'envisager son déplacement éventuel) et plus globalement des infrastructures de la basse vallée explore et évalue les domaines d'actions envisageables :

- Rétention des crues sur le bassin versant amont,
- Amélioration du transit des crues à l'océan,
- Réalisations de protections rapprochées,
- Adaptations du projet d'aménagement pour réduire la vulnérabilité,
- Dispositions de prévision, d'anticipation et d'organisation en situation de crues.

Rétention des crues sur le bassin versant amont

Plusieurs projets de barrages écrêteurs sont envisagés sur le bassin versant amont par l'ABHSHOD, destinés à protéger les zones urbaines et les infrastructures locales touchées par

les inondations, plus particulièrement dans le secteur de la ville de Smaâra. Ces ouvrages aux volumes de stockage modestes, éloignés de la basse vallée n'auront qu'une contribution très marginale à la réduction des crues dans le secteur de Foum El Oued.

En raison des enjeux de captage de la ressource en eau superficielle pour la réalimentation de la nappe de Foum El Oued et des objectifs de protection contre les inondations des routes et des quartiers bas de Laâyounne, la reconstruction du barrage Sakia El Hamra a été engagée. La nouvelle conception prévoit notamment la refonte de l'évacuateur de crues et de son coursier, dimensionnés pour 4 000 m³/s ainsi qu'un accroissement très significatif de la revanche dans la retenue. Ces dispositions contribueront à un laminage total des crues fréquentes.

Amélioration du transit des crues à l'océan

Les solutions de création et de maintien de grands chenaux d'écoulement dans le Nord du delta accompagnés accessoirement d'une fermeture en tête des bras Sud apparaissent peu réalistes en raison des coûts élevés des travaux et des obligations permanentes d'entretien pour lutter contre l'ensablement, dont le coût est prohibitif et dont la mise en œuvre pose des problèmes de gouvernance en l'absence de structure publique d'exploitation aux compétences adaptées.

La création de chenaux dans la partie Sud du delta au travers des éminences de terrain existantes, favorables au transfert rapide des eaux à l'océan (rabattement de niveau potentiel d'une vingtaine de centimètres) est envisageable en accompagnement de l'endiguement de la Technopole, sous réserve d'un entretien adapté.

Réalisation de protections rapprochées

La mise en place d'un endiguement périphérique au projet apparaît comme la solution de protection réaliste la mieux adaptée au projet pour les critères techniques, financiers et fonctionnels.

Adaptations du projet d'aménagement pour réduire la vulnérabilité

La mise hors d'eau de l'ensemble du projet de Technopole avec des niveaux de revanche suffisants conduirait à une refonte lourde et coûteuse de toute la partie basse du projet par les volumes de terrassement induits, par les adaptations nécessaires des voiries et des réseaux, et par une modification de certains partis pris fonctionnels et paysagers du projet d'urbanisme. Cette solution de principe a été abandonnée.

En revanche quelques adaptations locales du projet sont formulées en accompagnement de la protection par endiguement, principalement pour la gestion des eaux pluviales et des échanges avec la lagune dans le domaine aménagé.

Dispositions de prévision, d'anticipation et d'organisation en situation de crues

Ces dispositions ne peuvent être envisagées qu'en accompagnement des protections locales. Leur mise en œuvre se heurte aujourd'hui :

- à l'absence de moyen des structures publiques à même de prendre en charge les dispositifs de prévision et d'alerte,
- à la nécessité de mettre en place une organisation adaptée pour la mise en œuvre des opérations de prévention sur site,
- à l'absence de culture du risque d'inondation dans la basse vallée.

Stratégie de protection envisagée

La stratégie proposée pour la protection de la technopole repose sur :

- La mise en place d'un endiguement périphérique fermé sur le plateau rocheux et sur le cordon littoral, qui isole totalement 123 ha en partie Sud du delta.
- La nécessaire préservation de l'ensemble du champ d'expansion des crues du delta à partir de la zone agricole.
- Des adaptations du système pluvial du projet de la technopole.

Projet d'endiguement

Après analyse de plusieurs variantes, l'ouvrage de protection envisagé consiste dans une digue en terre protégée par des enrochements sur sa face externe, qui vient en épaulement du remblai de la Technopole, puis qui se prolonge ensuite jusqu'à l'arrière plage selon un profil trapézoïdal pour englober l'espace littoral bâti existant (hôtels, gendarmerie, résidence royale). La crête de la digue supporte une piste de desserte indépendante du réseau viaire de la technopole.

La solution définie au niveau d'un avant-projet sommaire conduit à un ouvrage aux caractéristiques suivantes :

- Longueur : 1 985 m ;
- Largeur en crête : 5 m (piste circulaire) ;
- Fruit des talus : 3H/1V (optimisation en attente de données géotechniques) ;
- Revanche : 1 m pour la crue de référence ;
- Volume de remblai : 90 000 m³ ;
- Volume d'enrochement de protection : 18 000 m³ ;

Le montant global de l'opération est évalué à 40 millions de dirhams.

Au-delà des seuls aspects techniques constructifs, conventionnels, la réalisation de l'endiguement et le maintien de sa pérennité obligent à une maîtrise du territoire d'emprise et à la mise en place d'une structure en charge de la surveillance et de l'entretien de l'ouvrage.

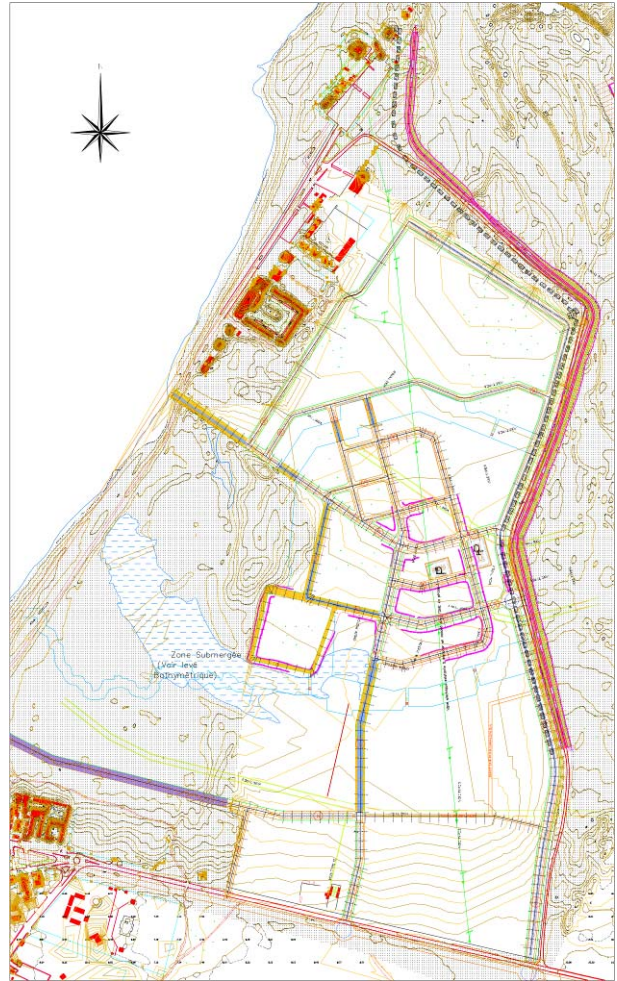


FIGURE 9 : DIGUE DE PROTECTION AU SUD DU DELTA

Décision du maître d'ouvrage

La recherche de solutions techniques de protection met en évidence la possibilité de réaliser un endiguement susceptible d'apporter une solution fiable pour la nouvelle zone urbaine à un coût raisonnable, qui induit cependant un certain nombre d'opérations d'accompagnement imprévues et contraignantes telles que :

- L'acquisition de nouvelles parcelles pour l'implantation de la digue en secteur contigu au projet mais aussi dans des zones distantes au Nord,
- Les autorisations administratives pour la réalisation des digues,
- L'aménagement d'une piste indépendante en crête et le rétablissement des dessertes périphériques,
- Des adaptations du projet de la technopole, légères si l'endiguement est externe au projet ou profondes et coûteuses si l'implantation de la digue se fait dans les parcelles en propriété du maître d'ouvrage,
- Un décalage important et peu maîtrisé du calendrier de réalisation,

- L'absence de maîtrise pour réglementer la préservation de l'ensemble de la zone inondable du delta (environ 30 km²).

Par ailleurs, le projet de Technopole, assimilable à une ville nouvelle fréquentée par plusieurs milliers de personnes, oblige à la mise en place d'une structure et de moyens permanents de suivi et d'entretien des ouvrages de protection, dans un territoire où la culture du risque d'inondation est quasiment inexistante.

Face à ces difficultés et en parallèle de l'étude technique, la recherche de solutions alternatives d'implantation du projet a permis d'identifier une zone d'accueil hors crue en bordure Nord du delta. Seul un centre de recherche et des aménagements à faibles enjeux seront maintenus sur le plateau et dans la frange inondable Sud.

La nouvelle implantation Nord induit nécessairement une refonte du projet et présente des inconvénients d'éloignement pour la connexion avec les villes de Laâyoune, de Foum El Oued et avec le port d'El Marsa. Elle offre cependant des opportunités d'économies importantes par l'abandon des liaisons avec le domaine marin et l'aménagement de la lagune, par des conditions géotechniques plus favorables et par une moindre exposition aux flux de sable éolien.

Conclusion

La crue d'octobre 2016 d'une ampleur jamais observée depuis au moins une soixantaine d'années a pris de court le maître d'ouvrage et les opérateurs du projet de la Technopole de Foum El Oued, alors que les travaux inaugurés par le roi Mohammed VI étaient en cours. L'ambitieux projet urbain dans le delta asséché du fleuve Sakia El Hamra s'est révélé implanté dans un site directement touché par les inondations.

Les études de protection du projet ont mis en évidence un territoire original, en milieu aride soumis à des crues rares très brutales et à une dynamique morphologique dans la basse vallée commandée par l'hydraulicité intermittente du fleuve et surtout pas la formation et le déplacement de dunes dans les couloirs de sables contre lesquels aucun moyen de contrôle efficace n'existe à l'échelle du territoire concerné.

À l'évidence d'une solution technique de protection par endiguement (accompagnée nécessairement d'un programme de surveillance et d'entretien) et de préservation des zones inondables du delta pour le maintien du projet original est confrontée l'évidence de refonte du projet et de relocalisation de la nouvelle ville hors de la zone inondable. Les deux voies répondent aux exigences de sécurité mais imposent des contreparties.

Le choix raisonnable du maître d'ouvrage de délocaliser le projet reste la meilleure solution au regard des enjeux concernés.

Références

ACRI HE, (2015). *Étude de l'état de l'environnement naturel – note technique sur l'évaluation des risques d'ensablement* (Réf: EC 1014-01) - *Note technique sur l'évaluation des risques de submersion marine et des crues de l'oued* (Réf: EC 1014-02) - *Recommandations aux urbanistes* (Ref: EC 1014-03).

ACRI HE (2016). *Analyse de la crue de l'oued Sakia El Hamra d'octobre 2016* (Réf. : A1512-1179).

ABSHOD, (2009). *Barrage Sakia El Hamra - apports de la crue O.S.H 13-14-15-16-17 mars 2009*

ABSHOD, (2014). *Note sur le barrage de Sakia El Hamra sur l'oued Sakia El Hamra à Laayoune.*

Aïcha BENMOHAMMADI & al (2008). *Projet CE Gestion des aires protégées TF-023494-MOR – Étude d'impact et proposition de lutte contre l'ensablement dans la zone du Sibe de Khnifiss. Rapports 1, 2 et 3*

JESA Studio/Jacobs/MAG Architecture, (2015-2017). *TECFO_CAHIER DES CHARGES_151026_LB_revF (3) - Master plan Phase 2 – Plans de voirie et d'assainissement, plans de terrassements.* Fondation Phosboucraâ,

Royaume du Maroc, Secrétariat d'État chargé de l'eau (2017). *Crues de l'oued Sakia El Hamra du 25 au 30 octobre 2016 – mission de diagnostic.* 116p.

SOGREAH (2012). *Étude de protection contre l'érosion du littoral de Foum El Oued – Rapport de mission 1 – Études préliminaires (Rapport final n°1712852).* DPDPM.