

Étude sur le devenir du système d'endiguement de Saint-Pierre-du-Vauvray (27)

Study on the future of the Saint-Pierre-du-Vauvray embankment system (27)

J.-P. Masset¹, R. Trenkmann¹, A. Bontemps²

¹ Cerema, Blois, France, Jean-Paul.Masset@cerema.fr, Remi.Trenkmann@cerema.fr

² Communauté de communes Granville Terre & Mer, Granville, France, a.bontemps@granville-terre-mer.fr

Résumé

Cette étude, réalisée pour le compte de la Communauté d'Agglomération Seine Eure (CASE), vise à étudier le système d'endiguement (non classé) présent sur la commune de Saint-Pierre-du-Vauvray (département de l'Eure (27), France). Cette digue est un ouvrage ancien en terre d'environ 11 km datant du XIX^e siècle. La digue est située le long de la rive gauche de la Seine entre les communes de Saint-Pierre-du-Vauvray et de Poses. La digue est édifée sur des terrains dont les propriétaires sont multiples (Syndicat mixte de la base de loisirs de Léry-Poses, Établissement public foncier de Normandie et propriétaires privés). Elle assure la protection de zones urbanisées, industrielles et de loisirs situées en arrière de l'ouvrage de protection contre les crues de la Seine. De précédentes études indiquent que seule la partie amont de l'ouvrage peut encore avoir un rôle de protection contre les inondations. La mission du Cerema a pour objectif de caractériser la topographie, le fonctionnement hydraulique, l'état des ouvrages et de définir la zone potentiellement protégée par ce système, afin d'établir une proposition de classement au titre de la réglementation sur les ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations. Dans une première phase, le Cerema a donc défini un système d'endiguement cohérent, qualifié l'état des divers tronçons, estimé la zone protégée potentielle et les enjeux économiques et humains présents dans cette zone. Enfin, une estimation des coûts de réhabilitation ou de neutralisation du système a été établie. Dans le cadre de la phase 2, une modélisation hydraulique 2D de divers scénarios d'aménagement ou de neutralisation a permis d'identifier l'emprise de la zone inondée, les hauteurs et vitesses maximales, les durées de submersion et l'évaluation des dégâts selon l'occurrence des crues afin d'établir des courbes de dommages et de préciser l'efficacité hydraulique du système d'endiguement. En s'appuyant sur une analyse multicritère et une analyse coûts-bénéfices (AMC/ACB), une synthèse comparative des solutions de neutralisation et de la solution de réhabilitation est alors proposée, constituant un outil d'aide à la décision. Forte de ces indications, la CASE (autorité gémapienne) a décidé de lancer une étude de définition du système d'endiguement à retenir en vue de réaliser son étude de dangers et de définir le niveau de protection sur lequel elle s'engagera.

Mots-clés

GEMAPI, modélisation hydraulique, système d'endiguement, AMC, ACB

Abstract

This study, carried out on behalf of the agglomeration community Seine Eure (CASE), aims to examine the dyke system (not classified) in the commune of Saint-Pierre-du-Vauvray (Eure department (27), France). This dyke is an old earthen structure of approximately 11 km dating from the XIXth century. The dyke is located all along the left bank of the Seine between the communes of Saint-Pierre-du-Vauvray and Poses. The dyke is built on land owned by several parties (Joint Syndicate of the Leisure Centre of Léry-Poses, Normandy public land agency and private owners). It protects urban, industrial and leisure areas located behind the structure against flooding from the Seine. Previous studies indicate that only the upstream part of the structure can still play a role in protecting against flooding. The aim of Cerema's assignment is to characterise the topography, hydraulic operation and condition of the structures and to define the area potentially protected by this system, in order to draw up a classification proposal under the regulations on structures built or developed to prevent flooding.

Finally, an estimate of the cost of rehabilitating or neutralising the system has been drawn up. As part of phase 2, 2D hydraulic modelling of various development or neutralization scenarios is used to identify the extent of the flooded area, maximum heights and velocities, the duration of submergence and an assessment of the damage according to the occurrence of floods, in order to establish damage curves and specify the hydraulic efficiency. Based on a multi-criteria analysis and a cost-benefit analysis (MCA/CBA), a comparative summary of the neutralization solutions and the rehabilitation solution is then proposed as a decision-making tool. On the basis of this information, CASE (the managing authority) has decided to launch a study to define the embankment system to be selected in order to carry out its hazard study and define the level of protection to which it will commit.

Key Words

GEMAPI, hydraulic simulation, dyke system, MCA, CBA

Contexte de l'étude

La digue de Saint-Pierre-du-Vauvray à Poses est un ouvrage ancien en terre d'environ 11 km datant du XIX^e siècle. La digue est située le long de la rive gauche de la Seine entre les communes de Saint-Pierre-du-Vauvray et Poses dans l'Eure (FIGURE 1 et FIGURE 2). La digue est édifée sur des terrains dont les propriétaires sont multiples (Syndicat mixte de la base de loisirs de Léry-Poses, Établissement public foncier de Normandie et propriétaires privés). Elle assure la protection de zones urbanisées, industrielles et de loisirs situées en arrière de l'ouvrage de protection contre les crues de la Seine.

L'analyse d'une étude du Cerema en 2015 [1] conclut que les remblais sont en « mauvais » à « très mauvais » état sur presque la totalité du linéaire étudié et que le risque de rupture est très élevé, y compris pour des crues faibles de la Seine. Dans ce contexte, la Communauté Agglomération Seine-Eure (CASE), entité gémapienne, souhaite étudier, dès 2019, le devenir de la partie amont de la digue de Saint-Pierre, située sur la commune de Saint-Pierre-du-Vauvray. Elle souhaite dans un premier temps évaluer les coûts liés à la remise en état de l'ouvrage afin de réduire son potentiel de rupture et de le rendre opérationnel en cas de crue de la Seine. En fonction des montants estimés, l'Agglomération s'orientera soit vers une réhabilitation, soit vers une neutralisation de l'ouvrage.

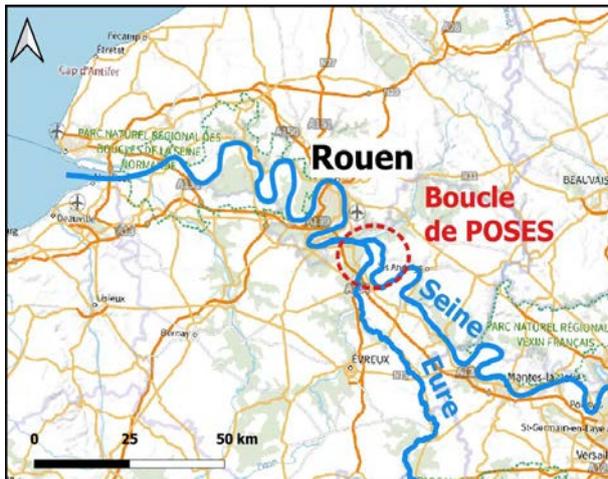


FIGURE 1. Localisation de la zone d'étude (Fond : IGN).

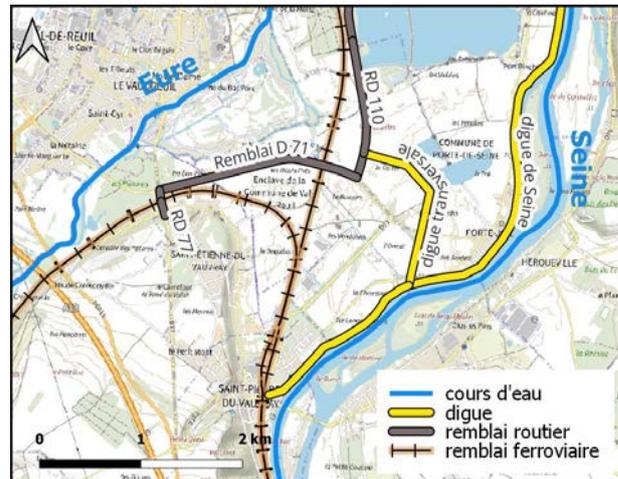


FIGURE 2. Identification des tronçons de digue (Source : Cerema - Fond : IGN).

Phase 1 : A- diagnostic du système

En s'appuyant sur une méthodologie développée par le Cerema dans le cadre de l'Analyse d'opportunité et de faisabilité d'un projet d'aménagement d'intérêt commun des ouvrages de protection sur le bassin de la Loire pour le compte de l'Établissement public Loire [5], il a été possible de définir un système d'endiguement cohérent. Ce diagnostic s'appuie sur des données historiques (archives), hydrauliques (études, ouvrages), hydrologiques (données bancarisées), topographiques (Lidar) et des visites de terrain pour décrire les caractéristiques géométriques et l'état des tronçons de digue (ou de remblais) pouvant délimiter une zone protégée potentielle. La phase 1 de l'étude a ainsi permis de définir un système d'endiguement cohérent d'une longueur de 5 890 m protégeant une surface de 263 ha contenant une population comprise entre 300 et 350 personnes.

Ce système s'appuie sur la digue de Seine prolongée par une digue transversale élevée au début des années 1980 dans le cadre de l'aménagement de la ville nouvelle du Vaudreuil. Enfin, le système se referme sur le coteau par un remblai routier constitué par les routes départementales RD110, RD71 et RD77 (FIGURE 2). Cette phase de diagnostic a permis également de souligner le mauvais état de la digue de Seine avec la présence importante d'arbres de haute tige, d'encoches d'érosion et de zones d'affouillement côté Seine. La digue transversale, non entretenue, est complètement végétalisée avec des arbres de diverses sections.

Phase 1 : B- Proposition d'aménagements

Dans cette partie, le Cerema a proposé divers scénarios d'aménagement allant de la reconstruction de la digue jusqu'à sa neutralisation. Pour chaque scénario, le coût bénéfice/risque est déterminé selon la méthodologie développée par le Guide méthodologique d'analyse multi-critères des projets de prévention des inondations édité par le Commissariat général au développement durable en 2018 [2], réactualisé avec l'indice du coût de la construction de l'INSEE.

Les scénarios d'aménagements

Le premier scénario 0 (SC0 - FIGURE 3) vise à la réhabilitation du système existant. La digue transversale doit être défrichée et reconstruite, la digue longitudinale à la Seine devra également être défrichée et reconstruite et nécessitera l'installation de protections contre l'érosion externe.

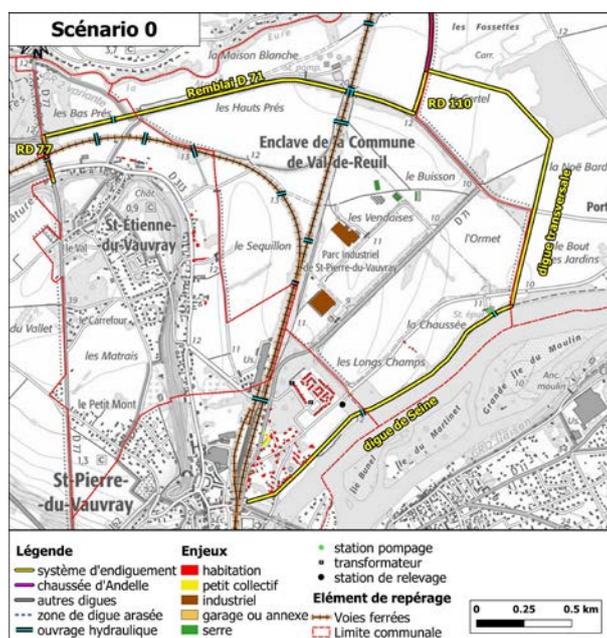


FIGURE 3. Scénario SC0 – réhabilitation du système d'endiguement (fond de plan : IGN).

Les coûts d'investissements et d'entretien ont été estimés pour tous les scénarios à partir du guide Coût des protections contre les inondations fluviales [3] et d'études de confortement plus récentes, corrigés en utilisant l'évolution de l'indice TP02 de l'INSEE relatif aux ouvrages d'art en site terrestre, fluvial et maritime.

Les scénarios 1 et 2 (SC1 et SC2) visent à neutraliser le système d'endiguement conformément au Décret n° 2019-895 du 28 août 2019, qui impose au gestionnaire une obligation de neutraliser le système afin de supprimer le risque de sur-aléas. Pour ce faire, la totalité de la digue transversale est arasée et une échancrure est opérée dans la digue de Seine pour aboutir à une transparence hydraulique du système : en période de crue, les niveaux d'eau de part et d'autre des remblais doivent pouvoir s'équilibrer, ceci afin d'éviter une rupture brutale et destructrice des ouvrages liée à une différence significative de charge hydraulique.

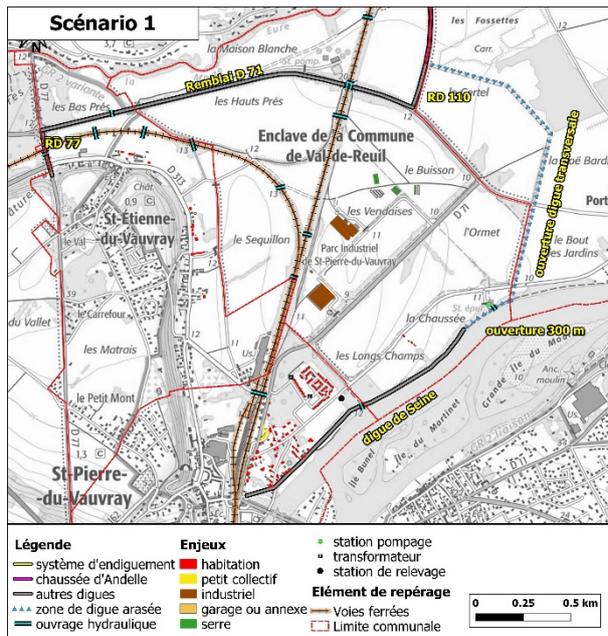


FIGURE 4. Scénario SC1 – neutralisation du système, ouverture de 300 m (fond : IGN).

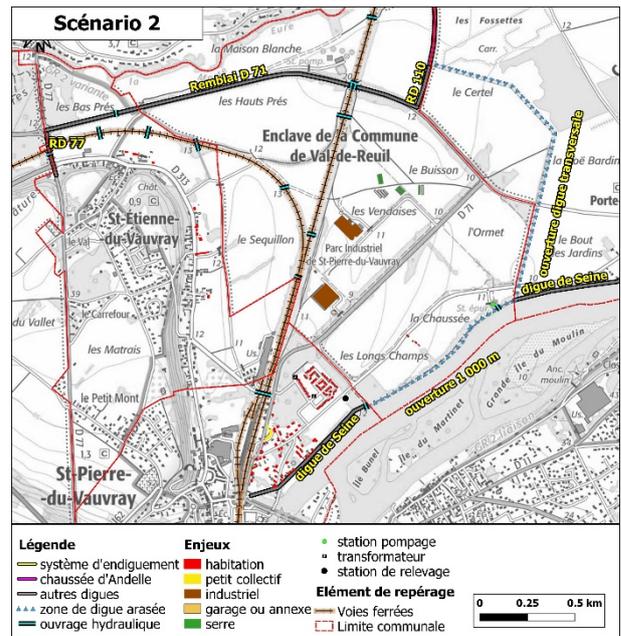


FIGURE 5. Scénario SC2 – neutralisation du système, ouverture de 1 000 m (fond : IGN).

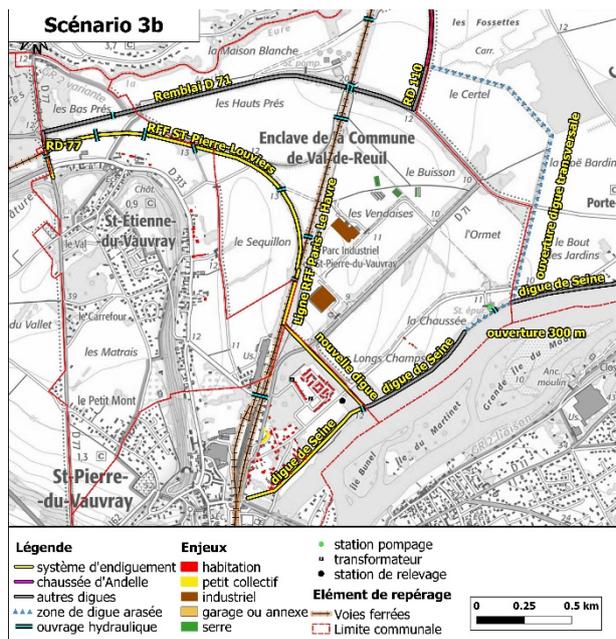
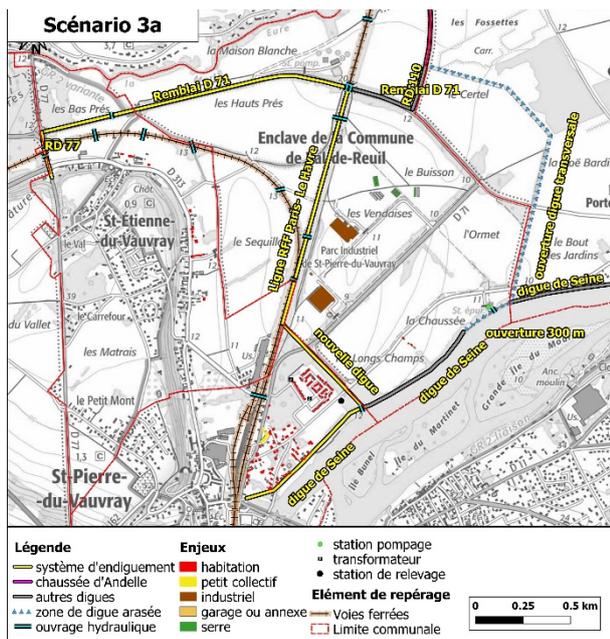


FIGURE 6. Scénario SC3a – construction d’une digue au Longs Champs et appui sur les remblais SNCF et routier (fond de plan : IGN).

FIGURE 7. Scénario SC3b – construction d’une digue au Longs Champs et appui sur le remblai SNCF – (fond de plan : IGN).

Pour le scénario 1 (FIGURE 4), une échancrure de 300 m, au niveau du terrain naturel, est réalisée sur la digue de Seine au niveau de « La Chaussée ». Le choix de cette échancrure est lié à la présence de paléochenaux (axes d’écoulements préférentiels) au droit de celle-ci. Pour le scénario 2 (FIGURE 5), la digue est ouverte sur 1 000 m afin de diminuer davantage l’éventuelle charge hydraulique. Les scénarios 3a et 3b (SC3a - FIGURE 6 et SC3b - FIGURE 7) visent à construire une nouvelle digue au plus près des enjeux (quartier des Longs Champs) et à s’appuyer sur les remblais des infrastructures existantes (voies SNCF réseau ou routières gérées par le Conseil Départemental 27).

Phase 2 : A- Études hydrauliques

Afin d’estimer le coût des dommages selon l’occurrence des crues et les scénarios d’aménagement proposés, un modèle hydraulique 2D a été développé sous Telemac pour le périmètre spécifique de l’étude, les modèles existants ne pouvant répondre à ces attentes.

Le modèle hydraulique 2D

Afin de prendre en compte la confluence Seine-Eure et de bénéficier des données issues des stations hydrométriques présentes sur la zone d’étude, les limites du modèle ont été définies comme suit : une entrée sur la Seine au niveau de Saint-Pierre-du-Vauvray, 1 000 m en amont du pont sur la Seine, une entrée sur l’Eure au niveau du pont de l’autoroute A13, compte tenu du resserrement de la vallée à cet endroit, et la sortie du modèle à Elbeuf au niveau du marégramme.

Le maillage résultant comprend 390 644 nœuds (778 113 éléments) avec des mailles dont la taille varie de 0,5 à 85 m de côté (FIGURE 8). Il prend en compte 46 ouvrages hydrauliques et 212 lignes de contraintes (digues, remblais, infrastructures...).

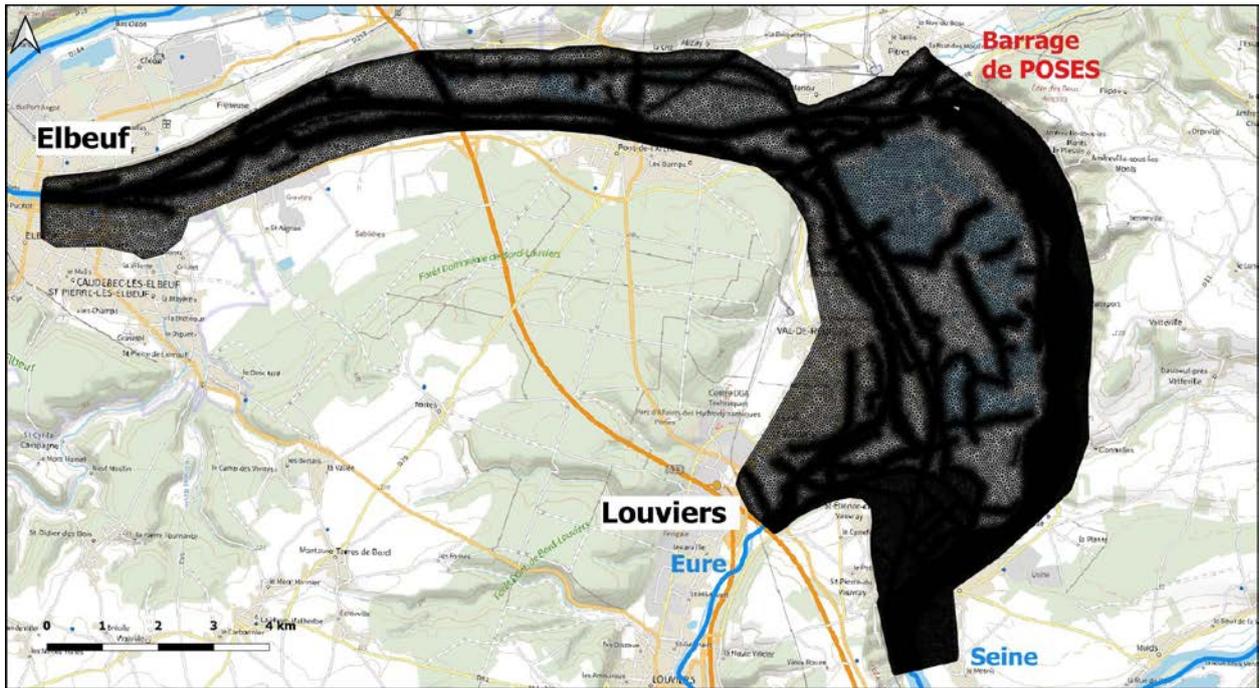


FIGURE 8. Résultats du maillage du modèle 2D de Saint-Pierre-du-Vauvray.

Le calage du modèle

Compte tenu du faible nombre de laisses de crue sur l’Eure, le calage de la section en amont de la confluence s’est fait sur les conditions hydrauliques du 18-19 février 2021 lors de la visite de terrain effectuée par le Cerema : le fil d’eau et son heure de relevé ont été mesurés sur une journée, ce qui permet d’identifier la zone sous influence maritime. Les débits de pointe mesurés à cette période sont de 1 330 m³/s sur la Seine et de 31,7 m³/s sur l’Eure.

Pour la Seine, le calage s’est appuyé sur la crue de 2018 (2 130 m³/s sur la Seine et de 67,5 m³/s sur l’Eure) qui a été fortement documentée. Enfin, la crue de 1955 (2 450 m³/s sur la Seine) a servi pour la validation. Les résultats du calage et les tests de sensibilité se sont avérés satisfaisants (TABLEAU 1).

TABLEAU 1. Calage du modèle 2D et crue de validation – écart en m

Section	Crue Février 2021		Crue de 2018		Crue de 1955	
	Ecart moyen absolu	Ecart maximal	Ecart moyen absolu	Ecart maximal	Ecart moyen absolu	Ecart maximal
Eure	0,06	0,45	NA	NA	NA	NA
Seine	NA	NA	0,19	0,73	0,09	0,27

Note : Pour la crue de 2018 l’écart moyen absolu sur la zone d’intérêt (amont de Poses) est < 0,04 m.

Les scénarios hydrologiques

Pour évaluer les dommages sur la durée de vie de l'ouvrage, 4 scénarios de crues ont été retenus :

- crue des premiers débordements (janvier 2018 sur la Seine), d'occurrence décennale (T10)
- crues au niveau de protection apparent du système : janvier 1955 (T30) sur la Seine et janvier 1995 sur l'Eure (occurrence 20 à 50 ans)
- crue exceptionnelle du type 1910 (T 100)

Les résultats des simulations

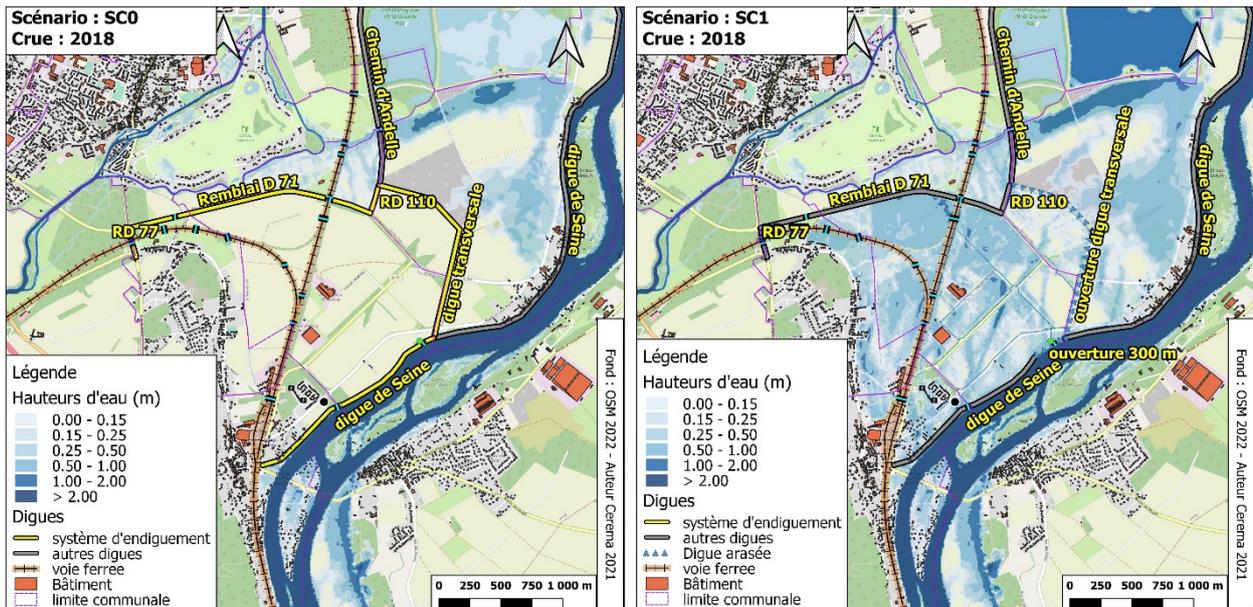


FIGURE 9. Comparaison des zones inondées pour la crue de 2018 entre les scénarios SC0 et SC1.

Pour chaque hypothèse hydrologique, l'impact des aménagements est évalué en termes de zone inondée, d'enjeux touchés, de hauteur de submersion et de charges résultantes sur les ouvrages de protection. Ainsi comme le montre la FIGURE 9 le système d'endiguement a un rôle protecteur dès une crue décennale sur la quasi-totalité de la zone protégée potentielle.

Phase 2 : B- Analyse coûts-bénéfices

L'analyse coûts/bénéfices (ACB) est un outil d'aide à la décision, permettant de mesurer, sur la durée, l'écart entre les bénéfices attendus de la mesure de protection et les coûts de sa mise en œuvre.

L'Analyse Multicritères (AMC), qui élargit le concept précédent aux bénéfices (ou dommages) non monétaires d'un projet, s'appuie sur un certain nombre d'indicateurs :

- les indicateurs élémentaires (FIGURE 10) sont relatifs à la santé, l'économie, l'environnement... (habitants, emploi, équipement...) et aux coûts du projet (investissement et entretien) ;
- les indicateurs synthétiques qui évaluent l'efficacité du projet en agrégeant les indicateurs précédents. Le principe est de calculer une courbe de dommage-fréquence dans une situation de référence et de comparer avec des situations correspondant à d'autres politiques de gestion des

inondations. Les dommages évités moyens annuels (DEMA) correspondent à l'aire entre deux courbes.

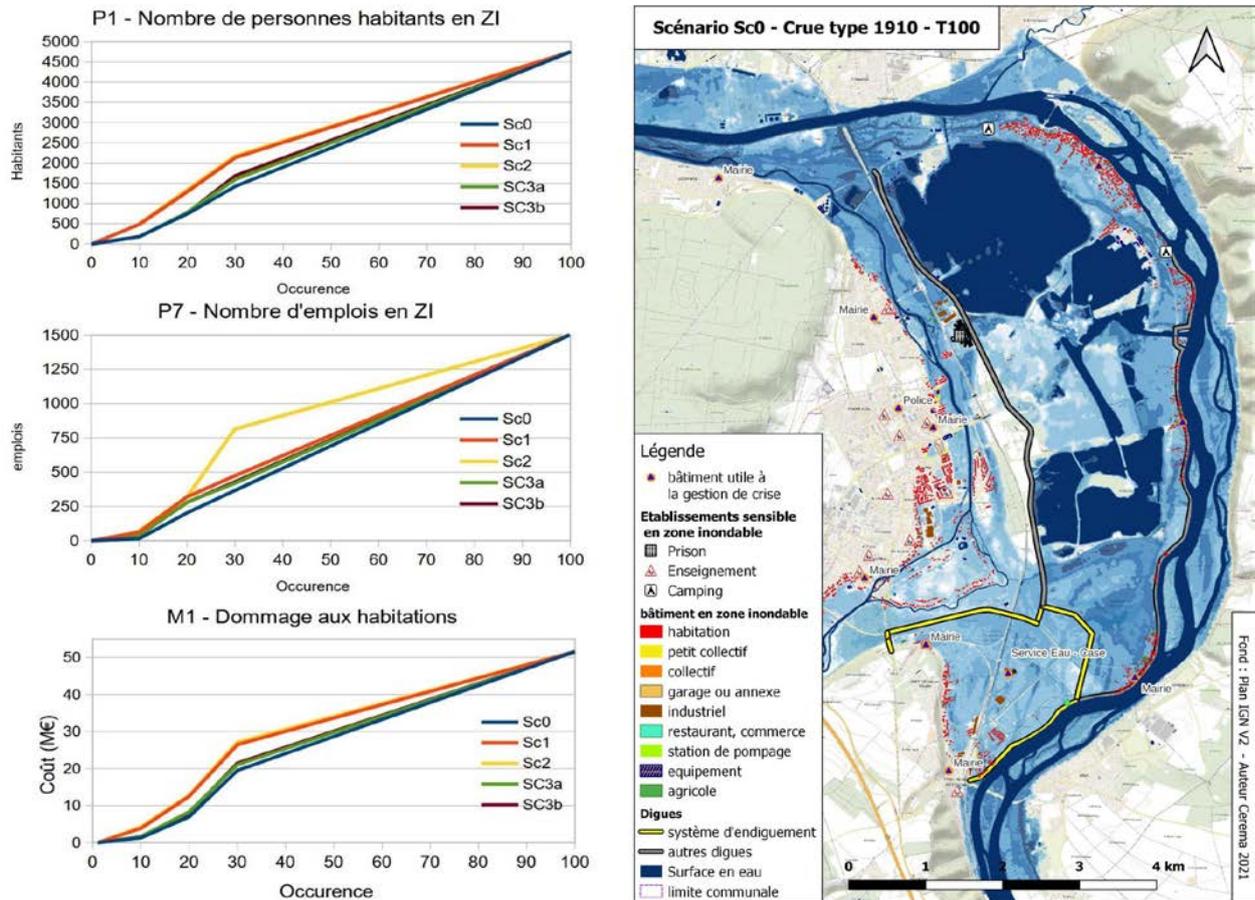


FIGURE 10. Indicateurs élémentaires sur la population, les emplois, les dommages aux habitations et des bâtiments utiles à la gestion de crise selon l'occurrence de crue.

Périmètre de l'AMC et scénario de référence

Pour cette étude, l'analyse est réalisée sur un périmètre plus large que sur la zone protégée potentielle et concerne l'ensemble des communes où la présence ou non du système d'endiguement influe sur les hauteurs d'eau. Le scénario SC2 (neutralisation large du système d'endiguement) est considéré comme le scénario de référence pour la comparaison des coûts et des bénéfices.

Résultats des indicateurs élémentaires

Les enjeux correspondants à chaque indicateur (18 au total) ont été identifiés en zone inondable selon l'occurrence de crue et les scénarios d'aménagement. Synthétisés sous formes de cartes et de graphiques, ces indicateurs sont des outils d'aide à la décision pour le maître d'ouvrage (FIGURE 10).

Résultats des indicateurs synthétiques

Les indicateurs synthétiques permettent au porteur de projet de qualifier son projet sur la base de critères indépendants du niveau de protection choisi. Ils permettent notamment de s'interroger sur

le pourcentage de réduction des dommages grâce à la réalisation du projet, le coût du projet par habitant protégé ou par emploi protégé, le montant des dommages économisés par la société (déduction faite des coûts) grâce à l'investissement.

TABLEAU 2. Indicateurs synthétiques sur 10 ans.

Objectifs	Indicateurs	SC0	SC1	SC2	SC3a	SC3b
Efficacité	NEMA habitants	142	7	0	146	145
	NEMA emplois	26	4	0	14	14
	DEMA/DMA ref	76 %	13 %	0 %	54 %	54 %
Coûts/ Efficacité	Cmoy/NEMA habitants (€)	5 807	16 418	0	2 586	2 806
	Cmoy/NEMA emplois (€)	32 195	27 363	0	26 180	28 232
Efficience	VAN (Valeur Actualisée Nette) (k€)	10 734	2 128	-1 312	9 534	9 226
	B/C (Bénéfices/coûts)	2,5	3,2	0,0	3,8	3,5

Les différents indicateurs sont les suivants : NEMA : Nombre Evité Moyen Annuel, D(E)MA : Dommage (Évités) Moyen Annuel, Cmoy : Coût moyen annuel, VAN (Valeur Actualisée Nette) et B/C (Bénéfices/coûts).

L'efficacité du projet est importante pour les scénarios SC0 et SC3 (10 M€ de bénéfices à l'horizon de 10 ans (FIGURE 11)) et pour chaque euro investi dans le projet, un bénéfice de 2,5 et 3,80 euros respectivement est estimé. La FIGURE 11 indique que les scénarios de réhabilitations (SC0, SC3a, SC3b) sont rentables d'un point de vue économique dès l'horizon de 3 à 5 ans.

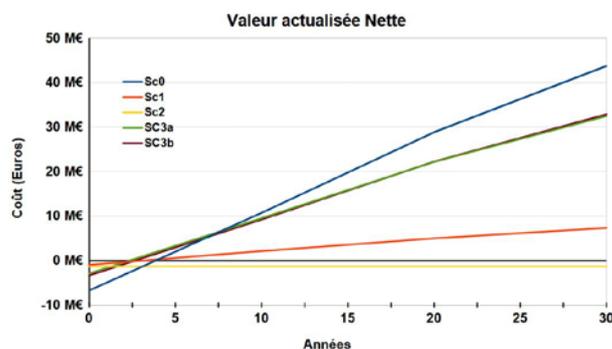


FIGURE 11. Valeur actualisée Nette pour les 5 scénarios à l'horizon de 30 ans.

Synthèse des résultats

Le Tableau 3 synthétise l'ensemble des résultats de l'analyse multicritère de chaque scénario, ainsi que les éventuelles contraintes réglementaires qui s'y rapportent. On peut ainsi constater que les scénarios d'aménagements les plus efficaces sont les SC3a et SC3b où les coûts d'investissements sont plus mesurés avec des coûts par habitants protégés les plus faibles.

TABLEAU 3. Synthèse des coûts et contraintes des solutions d'aménagement sur 30 ans.

Scénario	Coûts (invest. / entretien)	Enjeux protégés	Coûts par enjeu protégé /ans (habitant/emploi)	Dommages évités	Note
Scénario 0 : Réhabilitation	6,7 M€ 2,6 M€	290 hab 60 emp.	1 791 € 9 144 €	53,1 M€	Impact environnemental, coûts de reconstruction, convention de gestion avec CD 27, efficacité éco. dès 5 ans
Scénario 1 : Neutralisation (300m)	0,97 M€ 0 M€	30 hab 0 emp.	5 055 €/an/hab	8,3 M€	Suppression de la protection, dommages liés aux crues
Scénario 2 : Neutralisation (1 000 m)	1,3 M€ 0 M€	0 hab 0 emp	NA	NA	Suppression de la protection, dommages liés aux crues
Scénario 3a : Création digue et appui sur ligne SNCF et RD 71	2,9 M€ 2,0 M€	240 hab 16 emp	1 034 € 9 280 €	37,44 M€	Convention de gestion avec SNCF réseaux et CD 27, responsabilité gestion infrastructure de transport, efficacité éco. dès 3 ans
Scénario 3b : Création digue et appui sur deux lignes SCNF réseaux	3,4 M€ 1,1 M€	240 hab 16 emp	1 044 € 9 327 €	37,33 M€	Convention de gestion avec SNCF réseaux seulement, responsabilité gestion infrastructure de transport, efficacité éco. dès 4 ans

Conclusion

Cette étude, qui visait à caractériser la digue de Saint-Pierre-du-Vauvray, a permis de préciser un système d'endiguement cohérent dont les coûts de réhabilitation ont été comparés à des solutions de neutralisation au travers de simulations hydrauliques 2D. La réhabilitation du système d'endiguement de Saint-Pierre-du-Vauvray (ou la construction d'une nouvelle digue) est souhaitable au regard des enjeux et de l'efficacité économique de ces scénarios comme l'indique l'ACB. Le gestionnaire a donc décidé de lancer une étude de définition du système d'endiguement à retenir afin d'en réaliser l'étude de dangers et de définir le niveau de protection sur lequel il s'engagera.

La méthodologie développée au cours de cette étude (analyse d'archives, visite de terrain, analyse topographique, modélisation hydraulique et ACB), compte tenu de l'investissement qu'elle requiert, ne pourra s'appliquer que sur des secteurs aux enjeux humains et économiques prégnants.

Références

- [1] Colin B., Massardi M. (2015). Système d'endiguement de Saint-Pierre-du-Vauvray à Poses – Détermination du fonctionnement et pré-diagnostic visuel du système d'endiguement depuis Saint-Pierre-du-Vauvray jusqu'à Poses, en rive gauche de la Seine, Cerema.
- [2] Rouchon D., Peinturier C., Christin N., Niclus D. (2018). Guide méthodologique d'analyse multi-critères des projets de prévention des inondations, THEMA – Balises – Commissariat général au développement durable.
- [3] Igigabel M., Chaouch V., El Fadilis M. (2014). Coût des protections contre les inondations fluviales, Collection Connaissances, CETMEF.
- [4] Vennetier M., Meriaux P., Zanetti C. (2015). Gestion de la végétation des ouvrages hydrauliques en remblai. Cerdère éditeur, IRSTEA.
- [5] Bontemps A., Masset J.-P. (2020). Analyse d'opportunité et de faisabilité d'un projet d'aménagement d'intérêt commun des ouvrages de protection sur le bassin de la Loire, Cerema - Établissement public Loire.