

# MÉMORANDUM



## Golder Associés Ltée

9200, boul. de l'Acadie, bureau 10  
Montréal, QC, Canada H4N 2T2

Téléphone: 514-383-0990  
Télécopieur: 514-383-5332

**À:** Carl Pednault, Golder Associés. (Montréal)      **Date:** Le 19 décembre 2008

**De:** Moniz Mukto, Hua Zhang, Murray Fitch and      **No de projet:** 07-1221-0028  
Dejiang Long, Golder Associates Ltd. (Calgary)

### Courriel:

**OBJET:** Étude sommaire de bris de digues – Projet Canadian Malartic

Golder Associés a été mandatée par La Corporation minière Osisko (Osisko) pour réaliser une étude de bris de digues du bassin de polissage projeté pour le projet Canadian Malartic à Malartic au Québec. Le but premier de cette étude était de préparer une carte de l'inondation qu'engendrerait la rupture de la digue. L'étude a été réalisée conformément aux standards reconnus par l'industrie ainsi qu'en conformité avec les Directives pour la Sécurité des Barrages de l'Association Canadienne des Barrages (ACB) de 2007.

Le bassin de polissage proposé possède une capacité d'environ 6,0 M m<sup>3</sup> et occupe une surface de 1,38 km<sup>2</sup> lorsqu'il est rempli au niveau d'opération de 325,0 m. Le bassin de polissage est confiné par 5 digues. L'analyse de rupture de digues a été réalisée pour deux de ces ouvrages : les digues EM-A et EM-B. La hauteur des digues EM-A et EM-B est respectivement de 13,5 m et de 9,5 m par rapport au point le plus bas de la vallée.

Le modèle FLDWAV (Version 2.0.0 du 1 juin 2000), développé par le U.S. National Weather Service, fut utilisé pour simuler les débits de crues qui circuleraient dans la vallée advenant une rupture des digues EM-A et EM-B. La portée de l'étude pour la digue EM-A inclut un chenal d'inondation d'environ 16 km à partir de la digue EM-A jusqu'à la jonction avec la rivière Thompson à Dubuisson. Les structures principales se trouvant dans l'axe d'inondation potentielle comprennent une route enjambant le Ruisseau Raymond ainsi que trois autres routes enjambant la Rivière Piché. Les zones habitées dans l'axe d'inondation potentielle comprennent la mine Northern Star ainsi que la ville de Dubuisson. L'axe d'inondation potentielle de la digue EM-B est d'une longueur de 1,8 km et suit un ruisseau sans nom entre la digue EM-B et le lac Fournière.

Ruisseau Raymond ainsi que trois autres routes enjambant la Rivière Piché. Les zones habitées dans l'axe d'inondation potentielle comprennent la mine Northern Star ainsi que la ville de Dubuisson. L'axe d'inondation potentielle de la digue EM-B est d'une longueur de 1,8 km et suit un ruisseau sans nom entre la digue EM-B et le lac Fournière. Les structures principales dans cet axe sont deux chemins enjambant le ruisseau sans nom. La seule zone habitée se trouvant dans l'axe est adjacente au Rang 7.

Deux scénarios de rupture de digues ont été analysés. Le premier scénario est celui où la rupture est causée par une forte crue qui entraînerait un déferlement en crête tel que dicté par l'ACB pour déterminer la classification des barrages/digues. L'analyse de rupture par déferlement en crête a été effectuée en considérant une crue extraordinaire (PMF). L'autre scénario analysé était une rupture causée par l'érosion interne au niveau d'opération de 325,0 m dans le bassin de polissage. Les scénarios ont été analysés pour les digues EM-A et EM-B. Les modèles de ruptures de digues nécessitaient deux paramètres principaux : i) les paramètres de rupture des digues et ii) le débit entrant dans le bassin de polissage. Les paramètres de rupture des digues sont définis par la forme, la grosseur de la digue et le temps requis pour arriver à la rupture. Le tableau 1 montre les paramètres de rupture estimés pour les digues EM-A et EM-B. Les paramètres de rupture des digues ont été sélectionnés en se basant sur les recommandations faites par le U.S. Federal Energy Regulatory Commission (FERC 1994) et par les formulations empiriques de Fread (2001). Une brèche de forme trapézoïdale avec une pente sur les côtés de 1H:1V a été supposée. En ce qui a trait au scénario du débordement du bassin, nous assumons que la brèche apparaîtra 0,3 m sous le sommet de la digue (326,8 m) et que pour le second scénario, elle apparaîtrait au niveau d'opération (325,0 m).

**Tableau 1 : Paramètres estimés de rupture de digue**

Paramètres de rupture de digues	Digue EM-A		Digue EM-B	
	Rupture par déferlement en crête	Rupture par érosion interne	Rupture par déferlement en crête	Rupture par érosion interne
Largeur de la base de la brèche (m)	54,0	27,0	38,0	19,0
Pentes latérales de la brèche (H:V)	1:1	1:1	1:1	1:1
Temps de développement de la rupture (h)	0,5	1,0	0,5	1,0

Des conditions d'écoulement normales ont été supposées pour la section transversale la plus en aval des zones d'étude. La profondeur des canaux a été fixée à 1 m et 1,5 m dans l'axe d'inondation pour les digues EM-B et EM-A respectivement. Les rugosités du lit des canaux et de la berge (c.-à-d. les coefficients de rugosité de Manning) utilisés sont de 0,04 et de 0,10 pour le canal principal et pour la plaine d'inondation respectivement. Ces coefficients furent estimés en se basant sur les photographies aériennes du site.

Afin d'estimer le débit entrant dans le bassin les paramètres suivants ont été utilisés : le volume du bassin de polissage, la configuration du bassin et des digues ainsi que l'inondation maximale probable (PMF). Le logiciel HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System), un outil de modélisation reconnu dans l'industrie a été utilisé pour estimer la PMF.

Une approche conservatrice a été adoptée dans cette étude afin de générer des résultats de modélisation conservateurs de la cartographie de l'inondation causée par la rupture d'une digue. Cette approche conservatrice est nécessaire pour tenir compte de l'incertitude relative au processus de développement d'une rupture de la digue, au manque de données historiques d'une telle inondation permettant de calibrer le modèle ainsi qu'aux données d'arpentage très limitées disponibles pour le canal de crue et de la plaine d'inondation. L'approche conservatrice est caractérisée par la sélection de paramètres conservateurs pour la modélisation de la brèche ainsi que pour les valeurs  $n$  du coefficient de Manning pour le canal de crue et la plaine d'inondation. Cette approche génère des résultats de

modélisation prudents afin de préparer la carte de l'inondation causée par la rupture d'une digue ainsi que pour évaluer les impacts potentiels dans la zone d'étude.

Les résultats de modélisation ont été utilisés afin de préparer une carte de l'inondation qu'engendrerait une rupture de digues telle que montrée à la figure 1. Les figures 2 à 9 montrent les résultats de la modélisation d'une rupture de digue pour les digues EM-A et EM-B. Les résultats de modélisation des deux scénarios ont été comparés afin de démontrer les différences entre les deux types de rupture.

Les résultats de la modélisation pour la digue EM-A (voir figures 2 à 5) peuvent être résumés comme suit :

- Dans le cas d'une rupture par débordement pour la digue EM-A, le niveau d'inondation immédiatement en aval de la digue devrait atteindre 321,3 m ou approximativement 10,3 m au-dessus du point le plus bas de la vallée. Le temps pour atteindre le niveau maximal d'inondation est estimé à environ 0,5 heure après le début de la rupture de la digue. Le débit maximal de crue estimé est de 4 700 m<sup>3</sup>/s. Dans le cas d'une rupture par le développement d'érosion interne, le niveau d'inondation immédiatement en aval de la digue devrait atteindre 319,0 m, ce qui est 2,3 m plus bas que le niveau maximal d'inondation du scénario de déferlement en crête;
- La première route, une piste de motoneige, dans l'axe de l'inondation enjambant le ruisseau Raymond est située à 1,8 km en aval de la digue EM-A. Celle-ci serait inondée et endommagée par l'inondation causée par la rupture de la digue. Le niveau maximal d'inondation au niveau de la route devrait atteindre 312,0 m et la profondeur devrait être de 10,0 m. Le temps requis pour atteindre cette profondeur serait de 0,8 heure après le début de l'inondation. Le débit maximal devrait être de 3 600 m<sup>3</sup>/s. Dans le cas d'une rupture par érosion interne, le niveau maximal serait de 309,8 m, ce qui est 2,2 m plus bas que le niveau associé à la rupture par déferlement en crête;
- La seconde route, enjambant la rivière Piché, est située approximativement à 5,6 km en aval de la digue EM-A. Elle serait inondée et endommagée par la crue et le niveau maximale de cette crue est estimé à 302,2 m avec une profondeur de 5,7 m. Le temps requis pour atteindre la crue maximale à cet endroit est de 2,2 heures après le début de l'inondation. Le débit maximal de crue est de

1400 m<sup>3</sup>/s. Dans le cas d'une rupture par érosion interne, le niveau maximal d'inondation serait de 301,5 m, ce qui est 0,7 m plus bas que dans le cas d'un déferlement en crête;

- La troisième route, enjambant aussi la rivière Piché, est située approximativement à 7,8 km en aval de la digue EM-A. Elle serait inondée et endommagée par la rupture de la digue et le niveau maximal de crue à cet endroit serait de 300,6 m et la profondeur serait de 5,7 m. Le temps nécessaire pour atteindre la crue maximale à cet endroit serait de 3,5 heures après le début de la rupture. Le débit maximal de crue serait de 530 m<sup>3</sup>/s. Dans le cas d'une rupture par érosion interne, le niveau maximal d'inondation serait de 300,0 m, ce qui est de 0,6 m plus bas que dans le cas d'un déferlement en crête;
- La quatrième route, enjambant la rivière Piché, est située approximativement à 14,1 km en aval de la digue EM-A. Elle serait inondée et endommagée par la rupture de la digue et le niveau maximal de crue à cet endroit serait de 297,7 m et la profondeur serait de 4,8 m. Le temps nécessaire pour atteindre la crue maximale à cet endroit serait de 9,0 heures après le début de la rupture. Le débit maximal de crue serait de 230 m<sup>3</sup>/s. Dans le cas d'une rupture par érosion interne, le niveau maximal d'inondation serait de 297,3 m, ce qui est 0,4 m plus bas que dans le cas d'un déferlement en crête;
- La route la plus en aval qui enjambe la rivière Piché est située approximativement à 16 km en aval de la digue EM-A, juste avant le confluent entre la rivière Piché et la rivière Thompson. À cet endroit, la route serait inondée et endommagée par la rupture de la digue et le niveau maximal de crue à cet endroit serait de 296,9 m et la profondeur serait de 4,4 m. Le temps nécessaire pour atteindre la crue maximale à cet endroit serait de 10,1 heures après la rupture. Le débit maximal de crue serait de 220 m<sup>3</sup>/s. Dans le cas d'une rupture par érosion interne, le niveau maximal d'inondation serait de 296,5 m, ce qui est 0,4 m plus bas que dans le cas d'un déferlement en crête; et
- Dans le cas d'une rupture de la digue EM-A, les maisons et les autres bâtiments près de la mine Northern Star et de la ville de Dubuisson seront probablement inondés tel que montré sur la figure 1.

Les résultats de la modélisation de la rupture de la digue EM-B (voir figures 6 à 9) peuvent être résumés comme suit :

- Dans le cas d'une rupture par déferlement en crête de la digue EM-B, le niveau de la crue maximal immédiatement en aval de la digue devrait atteindre 320,8 m ou d'approximativement 5,3 m au-dessus du point le plus bas de la vallée. Le temps nécessaire afin d'atteindre ce niveau est estimé à 0,5 heure après le début de la rupture. Le débit maximal de crue est estimé à 2 100 m<sup>3</sup>/s. Dans le cas d'une rupture par érosion interne, le niveau maximal de crue immédiatement en aval de la digue devrait être de 319,4 m, ce qui est de 1,4 m plus bas que le niveau maximal associé au déferlement en crête;
- La première route est une piste de motoneige, elle enjambe le ruisseau sans nom et est située à 0,5 km en aval de la digue EM-B. Elle serait inondée et endommagée par l'inondation. L'élévation de l'eau devrait atteindre 316,7 m et une profondeur de 5,2 m. Le temps nécessaire afin d'atteindre ce niveau est estimé à 0,6 heure après le début de la rupture. Le débit maximal de crue est estimé à 2 000 m<sup>3</sup>/s. Dans le cas d'une rupture par érosion interne, le niveau maximal de crue immédiatement en aval de la digue devrait être de 315,4 m, ce qui est de 1,3 m plus bas que le niveau maximal associé au déferlement en crête;
- La seconde route (c.-à-d. le rang 7) enjambant le ruisseau sans nom entre la digue EM-B et le lac Fournière est située approximativement à 1,22 km en aval de la digue EM-B. Elle serait inondée et endommagée par l'inondation. Le niveau d'eau devrait atteindre 311,6 m et une profondeur de 4,1 m. Le temps nécessaire afin d'atteindre ce niveau est estimé à 0,8 heure après le début de la rupture. Le débit maximal de crue est estimé à 1 900 m<sup>3</sup>/s. Dans le cas d'une rupture par érosion interne, le niveau maximal de crue immédiatement en aval de la digue devrait être de 310,7 m, ce qui est de 0,9 m plus bas que les niveaux maximum associés au déferlement en crête;
- La limite d'inondation la plus en aval est située à approximativement 1,8 km en aval de la digue EM-B, juste avant la jonction du ruisseau sans nom avec le lac Fournière. À cet endroit, le niveau d'eau devrait atteindre 310,2 m et une profondeur de 3,8 m. Le temps nécessaire afin d'atteindre ce niveau est estimé à

1,0 heure après le début de la rupture. Le débit maximal de crue est estimé à 1 700 m<sup>3</sup>/s. Dans le cas d'une rupture par érosion interne, le niveau maximal de crue immédiatement en aval de la digue devrait être de 309,8 m, ce qui est de 0,4 m plus bas que le niveau maximal associé au déferlement en crête; et

- Dans le cas d'une rupture de la digue EM-B, les résidences et les autres bâtiments sur le rang 7 ne devraient pas être dans l'axe d'inondation tel que montré sur la figure 1.

Il est recommandé que Osisko envisage d'effectuer un relevé d'arpentage détaillé dans l'axe d'inondation probable des digues EM-A et EM-B. Ce relevé devrait s'effectuer à partir de chacune des digues jusqu'à l'extrémité aval de la zone d'inondation. Des données d'arpentage détaillées sont nécessaires afin de modéliser précisément la zone d'étude et afin de préparer une carte d'inondation plus précise. De plus, un relevé de l'élévation des plans d'eau du lac Fournière et de la rivière Thomson aidera à établir des conditions aux frontières en aval plus précises pour la modélisation du bris de digues. Ce relevé détaillé est essentiel afin de quantifier plus précisément l'impact potentiel de l'inondation sur les structures principales (c.-à-d. les routes) dans l'axe d'inondation potentiel ainsi que sur les zones habitées (c.-à-d. le rang 7 pour la digue EM-B ainsi que la mine Northern Star et la ville de Dubuisson pour la digue EM-A).

## Références

Federal Energy Regulatory Commission, 1994, “Engineering Guidelines for the Evaluation of Hydropower Projects,” FERC 0119-2, Office of Hydropower Licensing, Washington D.C.

Fread, D. L., 2001, “Some Existing Capabilities and Future Directions for Dam-Breach Modeling/Flood Routing,” Proceedings FEMA Workshop on “Issues, Resolutions, and Research Needs Related to Embankment Dam Failure Analysis,” Oklahoma City, Oklahoma.

p.j.

Figure 1: Carte de l’inondation causée par la rupture de digue

Figure 2: Débit de crue maximal estimé pour l’inondation causée par la rupture de la digue EM-A

Figure 3: Élévation de crue maximale estimée pour l’inondation causée par la rupture de la digue EM-A

Figure 4: Profondeur de crue maximale estimée pour l’inondation causée par la rupture de la digue EM-A

Figure 5: Temps prévue pour atteindre la crue maximale pour l’inondation causée par la rupture de la digue EM-A

Figure 6 : Débit de crue maximal estimé pour l’inondation causée par la rupture de la digue EM-B

Figure 7: Élévation de crue maximale estimée pour l’inondation causée par la rupture de la digue EM-B

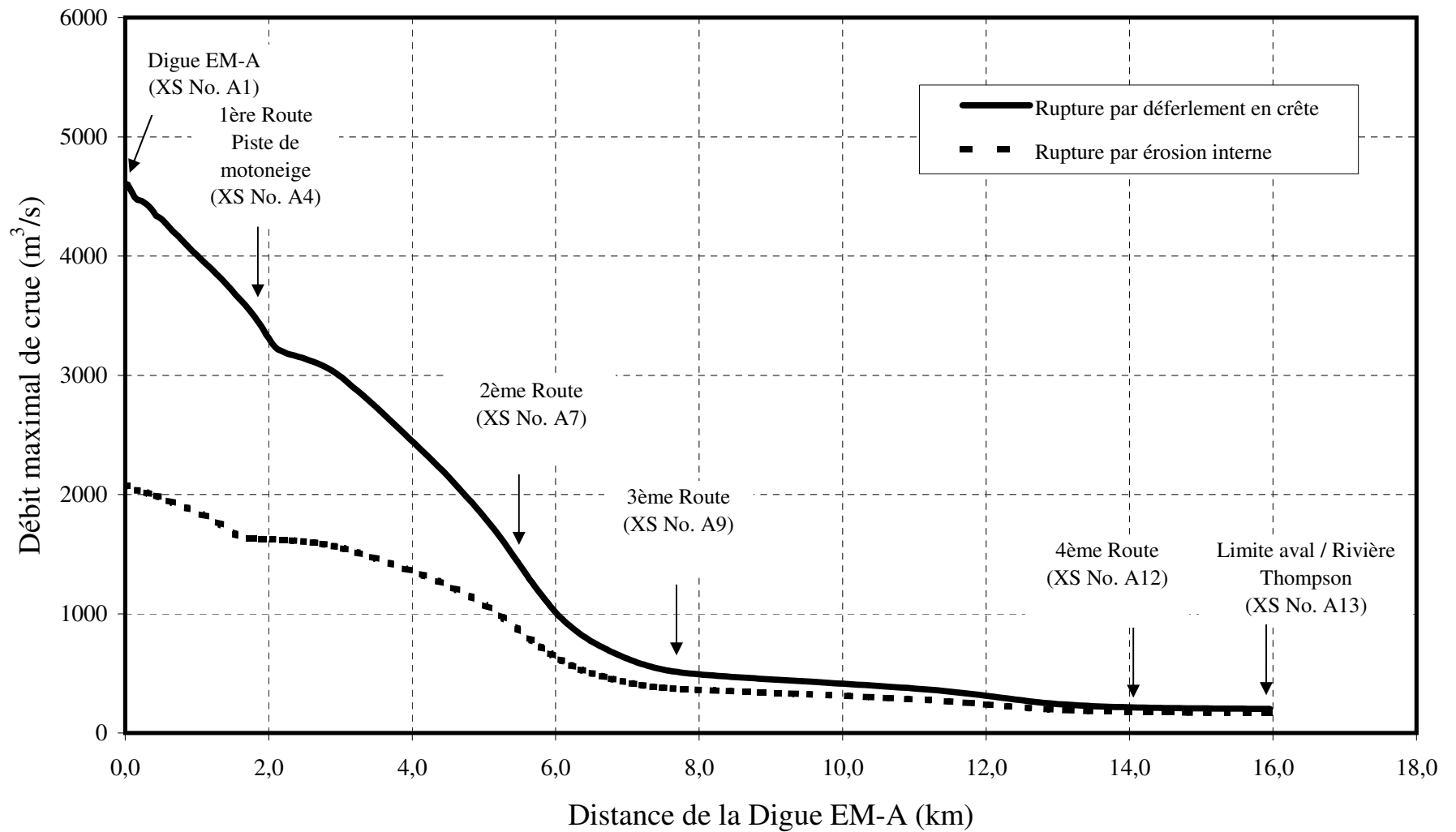
Figure 8: Profondeur de crue maximale estimée pour l’inondation causée par la rupture de la digue EM-B

Figure 9: Temps estimé pour atteindre la crue maximale pour l’inondation causée par la rupture de la digue EM-B

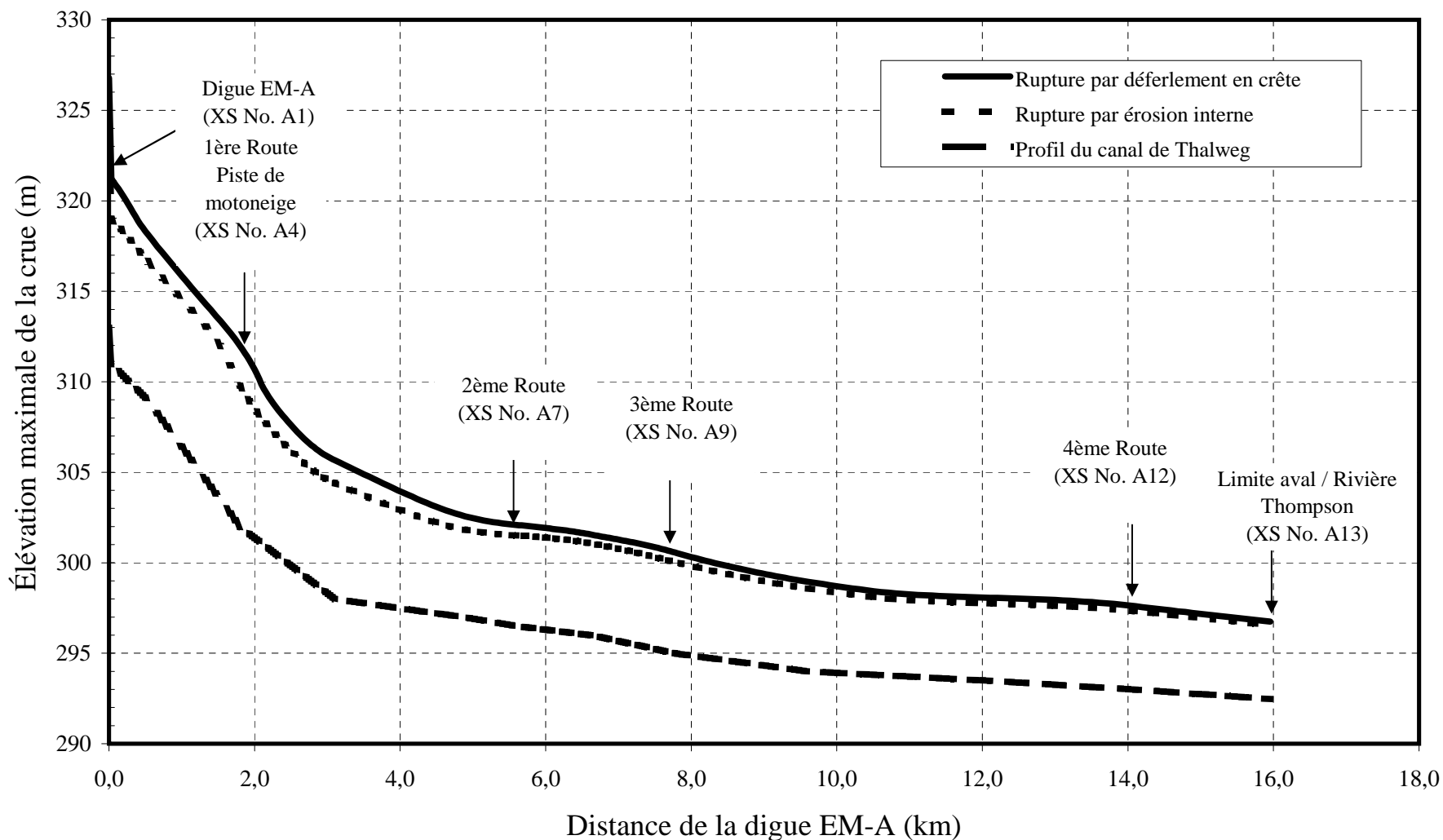




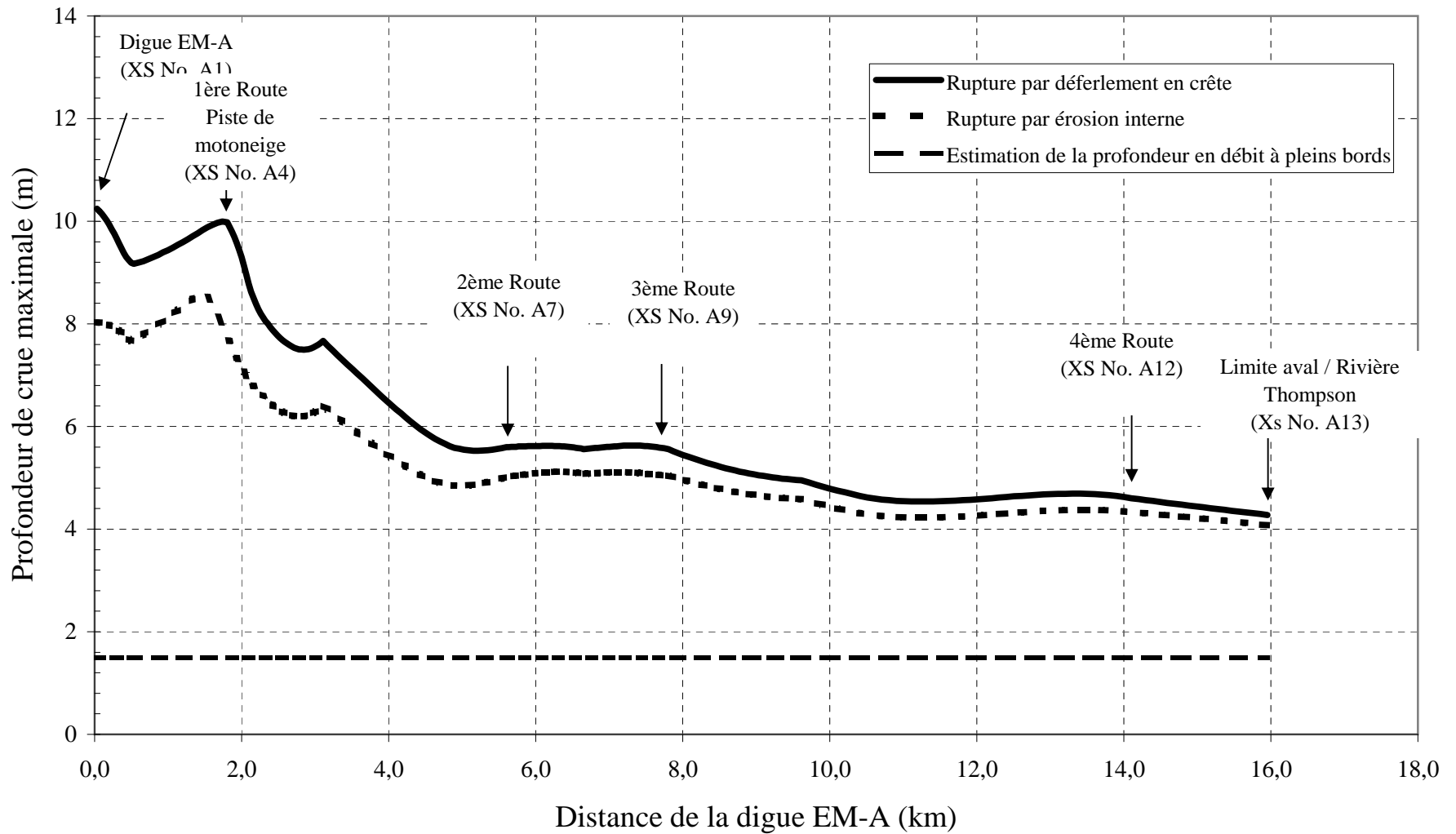
**Figure 2 Débit de crue maximal estimé pour l'inondation causée par la rupture de la digue EM-A**



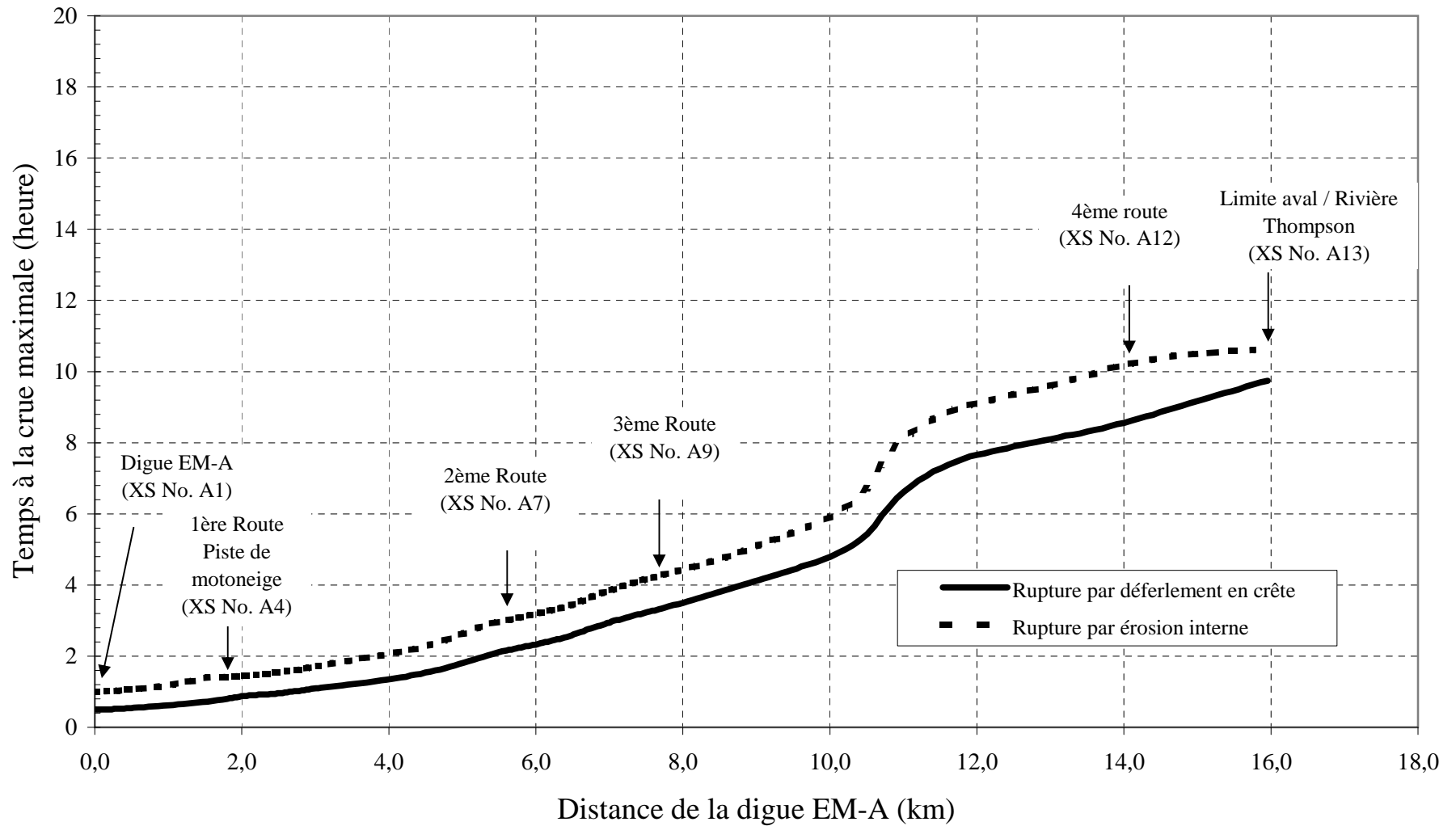
**Figure 3 Hauteur de crue maximale estimée pour l'inondation causée par la rupture de la digue EM-A**



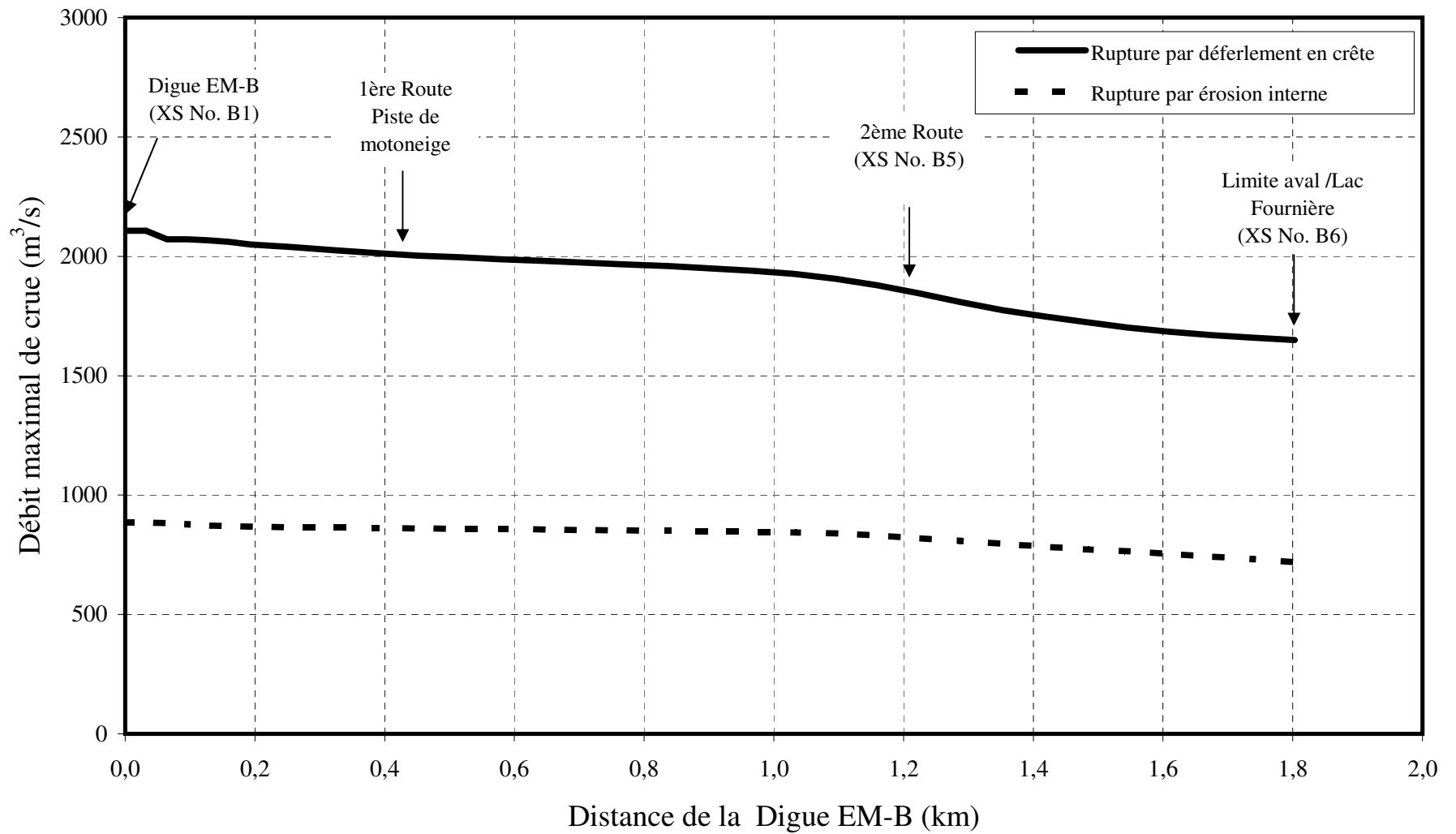
**Figure 4 Élévation de crue maximale estimée pour l'inondation causée par la rupture de la digue EM-A**



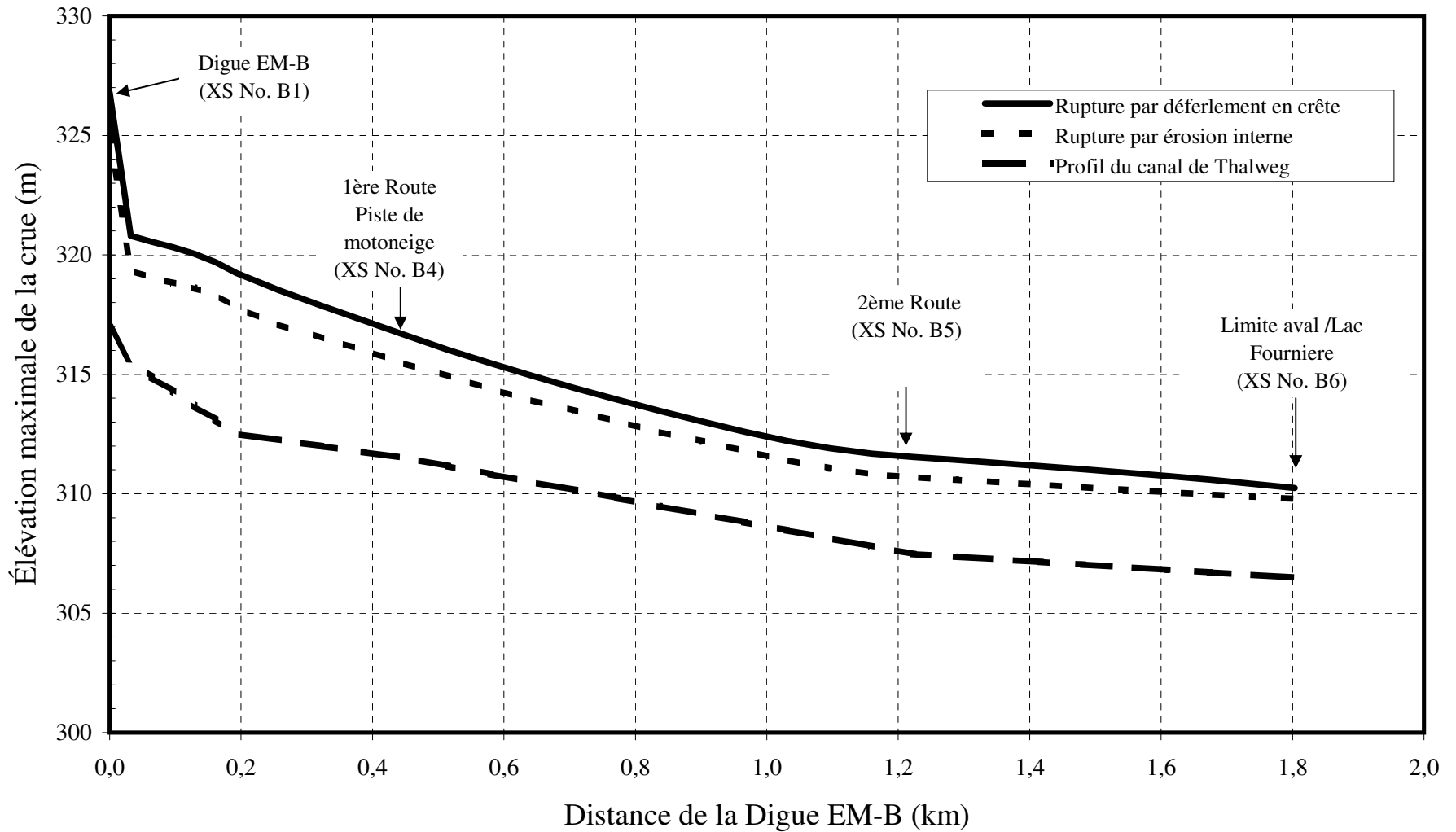
**Figure 5 Temps prévue pour atteindre la crue maximale pour l'inondation causée par la rupture de la digue EM-A**



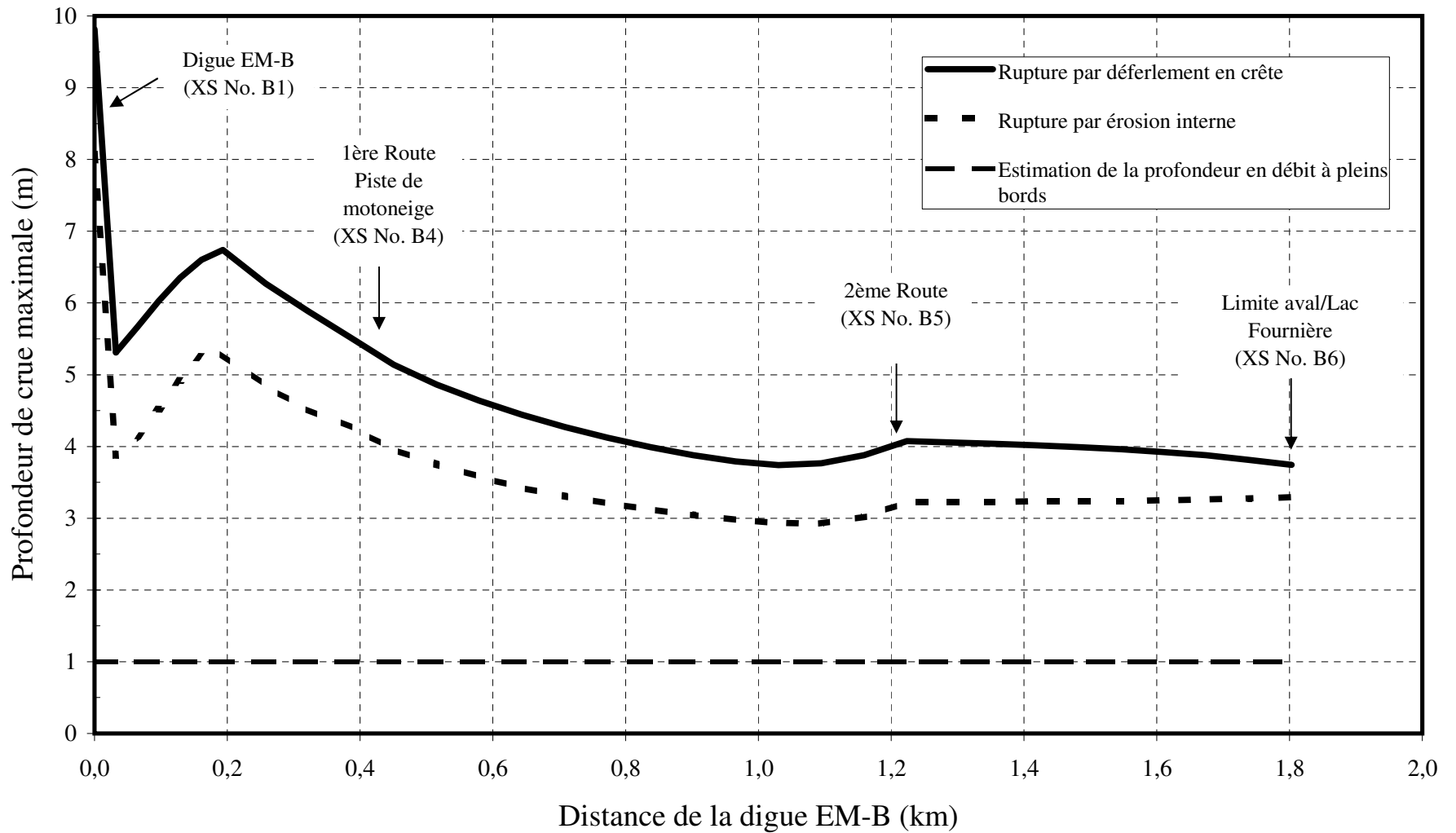
**Figure 6 Débit de crue maximal estimé pour l'inondation causée par la rupture de la digue EM-B**



**Figure 7 Élévation de crue maximale estimée pour l'inondation causée par la rupture de la digue EM-B**



**Figure 8 Profondeur de crue maximale estimée pour l'inondation causée par la rupture de la digue EM-B**





**Figure 9 Temps estimé pour atteindre la crue maximale pour l'inondation causée par la rupture de la digue EM-B**

