

**Projet de restauration des sédiments à l'île-aux-Chats
Analyse du transport accidentel de sédiments
lors des travaux de recouvrement à l'île-aux-Chats**

5804

Avril 2001

TABLE DES MATIÈRES

	page
1	CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES 1
2	CHEMINEMENT DES PARTICULES DE SÉDIMENTS 2
3	TEMPS DE TRANSPORT DES PARTICULES DE SÉDIMENTS 3
4	CONCLUSIONS..... 4

RÉFÉRENCES

Annexe A Notes de calcul

1 CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

La présence de sédiments contaminés autour de l'île-aux-Chats et leur transport accidentel lors des travaux de recouvrement est considéré comme un incident dont l'événement est de relativement faible probabilité compte tenu des mesures préventives qui seront déployées au cours des travaux. Ces mesures préventives comprennent : une protection avec système d'étanchéité à doubles rideaux, un suivi fréquent de la qualité des eaux, la présence d'un équipement de filtration à l'usine de traitement des eaux de Grande-île, etc. Toutefois, le but de la présente analyse théorique est d'établir un estimé du temps nécessaire aux particules de cendres de pyrite, relâchées accidentellement au cours des travaux de recouvrement dans le Secteur A, pour rejoindre la prise d'eau de Grande-île.

Les valeurs de débit du fleuve telles que déjà documentées (Morin et al., 1994) révèlent que différents débits transitent via les ouvrages de contrôle de Coteau, tel que résumé ci-après :

Événement Hydrologique	Débit total du fleuve (m ³ /s)	Débit transité à l'ouvrage de contrôle de Coteau 1 (m ³ /s)
Débit moyen estival (août)	7 800	1 000
Débit d'étiage	6 500	500
Débit maximal - extrême (avril)	9 622	4 533

Puisque l'analyse consiste à estimer en combien de temps une masse d'eau contaminée peut atteindre la prise d'eau de Grande-île, la situation la plus critique (le temps de transport le plus court associé aux vitesses maximales du courant) qui pourrait se produire est celle associée au débit maximal du fleuve (9 622 m³/s). Il doit également être mentionné qu'une telle situation est considérée comme un événement de faible probabilité, puisque les travaux de recouvrement sont limités à quelques mois, et que ces travaux peuvent être temporairement arrêtés si de telles conditions de forts débits sont attendues. Par conséquent, l'occurrence d'un débit extrême associé à un éventuel relâchement accidentel de sédiments contaminés lors des travaux de

recouvrement à l'île-aux-Chats est très improbable. Néanmoins, afin d'assurer des niveaux élevés de sécurité, la présente analyse prend en compte un tel événement extrême.

Comme le débit moyen estival est également un élément important, un estimé du temps de transport des particules en suspension, dans le cas d'un accident au débit moyen, a aussi été évalué.

2 CHEMINEMENT DES PARTICULES DE SÉDIMENTS

Une importante hypothèse des modèles analytiques ou numériques de transport de sédiments, lesquels ont été expérimentalement prouvés, est de considérer que la vitesse des particules de sédiments est la même que celle de l'eau dans laquelle ils circulent. La conséquence directe de cette hypothèse est l'utilisation des vecteurs hydrodynamiques (mesurés ou simulés) pour déterminer le temps de transport, sur une certaine distance, de particules relativement fines (< 0,1 mm) de sédiments en suspension. Les résultats de la modélisation numérique, incluant les vecteurs de vitesses pour des situations de débits moyen et extrême, obtenus à partir du modèle hydrodynamique de l'INRS (1), ainsi que les données expérimentales enregistrées, tel que rapporté dans l'étude environnementale (3) des Consultants CSSA (préparée pour Hydro-Québec), ont été utilisés dans la présente analyse.

Le cheminement le plus court des particules de sédiments débute à la pointe Nord de l'île-aux-Chats, laquelle est l'endroit le plus proche de l'ouvrage de contrôle de Coteau 1 sis en aval. Ainsi, les particules de sédiments en suspension vont traverser l'ouvrage de contrôle de Coteau 1, voyager en aval dans le secteur des courts rapides (300 m), puis continuer leur chemin par l'île Maricourt, poursuivre du côté ouest de l'île Dondaine, pour éventuellement rejoindre la zone où la prise d'eau de Grande-île est localisée. Les trois (3) secteurs qui caractérisent le courant depuis le secteur A jusqu'à la prise d'eau de Grande-île sont illustrés à la figure 1.

Le panache de sédiments sera entraîné par la vitesse du courant vers l'ouvrage de contrôle de Coteau 1, sur une distance d'environ 1 km. En même temps, à cause de la dispersion et du

dépôt des particules denses, la densité du panache sera réduite, et seulement une faible concentration de sédiments en suspension, beaucoup moins que la concentration initiale, traversera l'ouvrage de Coteau 1. L'analyse d'une coupe transversale du panache de particules de sédiments dans le secteur 1, tel que montré à la figure 2, indique qu'un aspect important peut être noté. En aval de la limite extérieure du Secteur A (eau peu profonde le long de la rive Nord de l'île-aux-Chats), on retrouve une couche de sédiments fins, laquelle initialement large, diminue en épaisseur en direction de l'ouvrage de Coteau 1. Cette particularité montre qu'une proportion significative de sédiments entraînés par le courant, depuis l'île-aux-Chats et se déplaçant en aval vers l'ouvrage de contrôle de Coteau 1, se dépose avant d'atteindre l'ouvrage. Le lit du fleuve en amont de Coteau 1 révèle une zone seulement recouverte de blocs et d'affleurements rocheux. Ainsi, il peut être conclu, de façon raisonnable, que le processus de sédimentation des particules denses se produit bien avant que celles-ci n'atteignent l'ouvrage de Coteau 1. Par conséquent, la concentration du panache de sédiments à Coteau 1 est considérablement réduit. Les mesures des particules de sédiments en suspension dans l'eau, effectuées sur le terrain (2), confirment la précédente affirmation. Toutefois, tel que mentionné précédemment, certaines particules en suspension peuvent passer via l'ouvrage de Coteau 1, et être transportées plus loin en aval.

3 TEMPS DE TRANSPORT DES PARTICULES DE SÉDIMENTS

Tel que mentionné précédemment, le plus court cheminement des sédiments est divisé en trois secteurs :

- Secteur I: de la pointe Nord de l'île-aux-Chats à l'ouvrage de contrôle de Coteau 1 (une distance moyenne de 1 050 m);
- Secteur II: l'ouvrage de Coteau 1 et les rapides en aval (une distance d'environ 300 m);
- Secteur III: des rapides à l'île Maricourt, puis vers l'ouest de l'île Dondaine et jusqu'à la prise d'eau de Grande-île (une distance de 2 950 m).

A. Débit maximum – $Q_{\max} = 9\,622\text{ m}^3/\text{s}$

Dans ces conditions, la vitesse du courant moyen est beaucoup plus grande que la vitesse pour des conditions de débit moyen. Les différences peuvent être expliquées comme suit. Bien que le ratio entre le débit maximal total du fleuve et celui moyen ($Q_{\max}/Q_{\text{moy}} = 1,23$) ne soit pas très élevé, le ratio entre les débits correspondant qui transitent via l'ouvrage de Coteau 1 est beaucoup plus significatif ($Q_{\max}/Q_{\text{moy}} = 4,53$). Tel qu'indiqué dans les simulations numériques et selon les mesures enregistrées, il y a une différence significative entre les vitesses du courant dans le secteur entre la pointe Nord de l'île-aux-Chats et l'ouvrage de contrôle de Coteau 1. Le temps total minimum calculé, pour une masse d'eau contaminée par des sédiments, pour voyager depuis le Secteur A jusqu'à la prise d'eau de Grande-île a été évalué à **$T_{\min} = 105$ minutes** (voir l'annexe A pour le détail des calculs).

B. Débit moyen – $Q_{\text{moy}} = 7\,800\text{ m}^3/\text{s}$

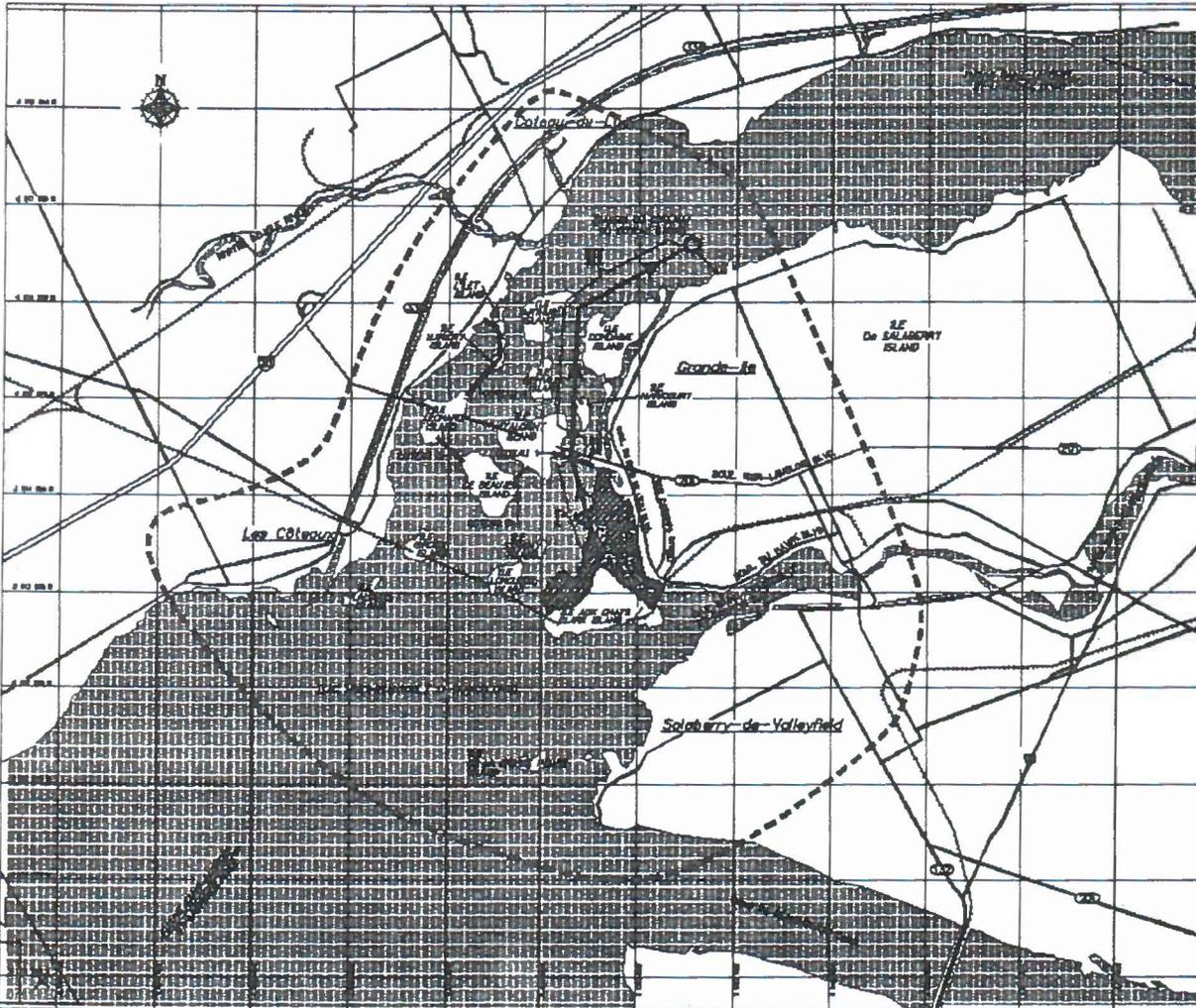
Comme les vitesses du courant sont beaucoup plus faibles que dans le cas des conditions de débit maximum, tel qu'attendu, le temps de transport des particules de sédiments en suspension dans l'eau entre le secteur A et la prise d'eau de Grande-île est évalué à **$T_{\text{moy}} = 254$ minutes** (voir l'annexe A pour le détail des calculs).

4 CONCLUSIONS

Bien que la probabilité de transport de sédiments contaminés depuis le Secteur A jusqu'à la prise d'eau de Grande-île soit présumée faible, l'objectif important de cette analyse est de répondre aux préoccupations du public. Le temps requis pour qu'une masse d'eau voyage depuis la pointe Nord de l'île-aux-Chats jusqu'à la prise d'eau de Grande-île a été évalué à partir des mesures réalisées sur le terrain et des modèles de simulations numériques.

Selon ces simulations, et dépendant des conditions de débit au moment du relâchement accidentel de sédiments, le temps de transport entre le Secteur A et la prise d'eau de Grande-

île varie entre 105 minutes et 254 minutes. Toutefois, tel que discuté précédemment, la présence d'un système d'étanchéité à doubles rideaux dans la zone des travaux, le suivi fréquent de la qualité de l'eau dans la zone entre les deux rideaux et en aval de ceux-ci, la forte probabilité de déposition de particules dans la zone entre l'île-aux-Chats et l'ouvrage de contrôle de Coteau 1 ainsi que dans la zone en aval des rapides, et l'existence d'un système de traitement des eaux à Grande-île, rend la possibilité d'une contamination de l'eau par les travaux de recouvrement comme une éventualité très peu probable.



- LEVÉE / LEVEE:**
- AUTOROUTE / HIGHWAY
 - ROUTE NATIONALE / NATIONAL ROAD
 - ROUTE / ROAD
 - CHEMIN DE FER / RAILROAD
 - BARRAGE À CÔTÉ / DAM & DAM
- Zone d'étude immédiate / Immediate Study Area**
-
- Zone d'étude élargie / Extended Study Area**
-
- SECTEUR / SECTOR**
- TRAJECTOIRE DES SECTEURS / SECTOR CROSS PATH
- Pointe d'eau municipale / Water Supply Intake**
-

0 1 2 1.5km
 ÉCHELLE GRAPHIQUE / GRAPHIC SCALE
 ÉCHELLE / SCALE : 1 : 40 000

Honeywell

SITE DE L'ÎLE AUX CHATS / CLARK ISLAND SITE
 ÉTAPE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL / ENVIRONMENTAL IMPACT STUDY

DATE: 2001 PROJET/PROJECT: 01

TECSUJ

PROJET/PROJECT: 01

FIGURE

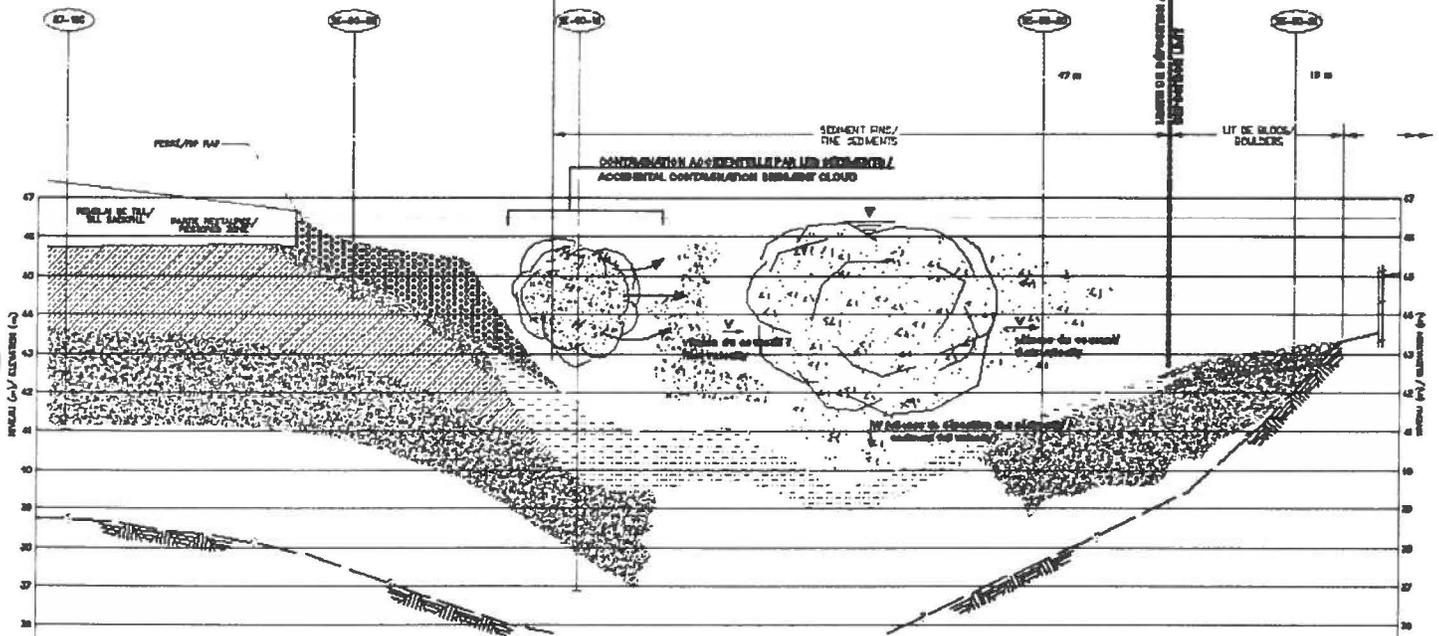
V. LAM - 2001 (M&E) - 100000000-01

ILE DE LA CHAISE /
CLARK ISLAND

POINT BOUENBARD-
LANGLAIS BRIDGE

ZONE A

ZONE C



COUPE SECTEUR I / SECTION SECTOR I

LEGÈRE / LEGEND

- CONCRÈTE DE POUTRE / PLYME CHÈVRES
- SÉDIMENT FINE / FINE SEDIMENTS
- CAILLON ET BLOC / CORNÉES AND BOLLINGER
- SABLE / SAND
- SABLE ET GRAVEL / SAND AND GRAVEL
- SABLE SILTEUX / SILTY SAND
- SILT ARGILEUX / SILTY SILT
- LIMITE APPROXIMATIVE / APPROXIMATE LIMIT
- SOCLE ROCHÉUX APPROXIMATIF / APPROXIMATE BEDROCK



Honeywell

ITE DE LA CHAISE / CLARK ISLAND SITE
CRÈVE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL /
ENVIRONMENTAL IMPACT STUDY

PROJET / PROJECT
ÉTUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL / ENVIRONMENTAL IMPACT STUDY
PROJET DE CONSTRUCTION D'UN PONT / BRIDGE CONSTRUCTION PROJECT

DATE / DATE: 1-2011 PROJET/PROJECT: 11-01

TECSULT PAGE

RÉFÉRENCES

- (1) Morin, Y., P. Boudreau et M. Leclerc.– *Lac Saint-François: les bases de la modélisation hydrodynamique*, INRS-Eau, No R412, 1994
- (2) Site de l'île-aux-Chats, Projet de restauration des sédiments, Volume 4, Annexe T, 1997, Honeywell.
- (3) CSSA Consultants Ltée, *Centrales Les Cèdres - Nouvel Aménagement – Avant-Projet Phase 2, Études Environnementales – Description du milieu physique*, pour Hydro-Québec, Juillet 1994.

/hc.

NOTES DE CALCUL

A. Débit maximum – $Q_{\max} = 9\,622\text{ m}^3/\text{s}$

A1. Secteur 1 (pointe Nord de l'île-aux-Chats à l'ouvrage de contrôle de Coteau 1, 1 050 m)

Au débit maximum, la vitesse moyenne du courant dans ce secteur est $v_m = 0,8\text{ m/s}$ (selon les simulations de l'INRS-Eau)

$$\text{Temps de transport pour le secteur 1} - t_m^1 = \frac{d_1}{v_m^1} = \frac{1000}{0,8} = 1250\text{ sec} \approx 21\text{ minutes}$$

A2. Secteur 2 (Ouvrage de contrôle de Coteau 1 et les rapides en aval)

Comme le temps requis pour passer via l'ouvrage de Coteau 1 est très court (de l'ordre des secondes), celui-ci peut être négligé. Pour les rapides en aval, bien que le temps de transport soit également court, ce dernier est calculé comme suit. Puisque la pente des rapides est de moins de 0,1 m/m, l'équation de Chezy est appliquée pour l'obtention de la vitesse moyenne.

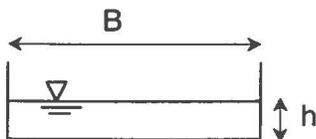
$$v_m = C\sqrt{RS}$$

où

C – Coefficient de Chezy

R – Rayon hydraulique (Aire de la section transversale divisée par le périmètre mouillé)

S – Pente de la ligne du gradient d'énergie (peut être considérée égale à la pente du fond du cours d'eau pour les cours d'eau faiblement inclinés).



Pour les plans d'eau relativement larges, où la largeur est significativement plus grande que la profondeur, une simple approximation peut être faite telle que

$$R = \frac{A}{P} = \frac{Bh}{B+2h} \left. \vphantom{\frac{A}{P}} \right\} \text{et divisé par } h \Rightarrow R \approx 1$$

$B \gg h$

Aussi, le coefficient de Chezy peut être exprimé tel que

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \left. \vphantom{\frac{1}{n}} \right\} \Rightarrow C = \frac{1}{n} \text{ où } n \text{ est la rugosité (Coefficient de Manning)}$$

$R \approx 1$

Tel que documenté dans la référence (3), le coefficient de Manning dans la zone en aval de l'ouvrage de contrôle de Coteau 1 est $n \approx 0,035$.

En considérant une hauteur verticale de 3,5 m sur une largeur de 350 m pour la section des rapides, et selon les estimations précédentes, la vitesse moyenne peut être estimée comme suit

$$v_2 = \frac{1}{n} s^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{0,035} \left(\frac{3,5}{350} \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{0,10}{0,035} = 2,85 \text{ m/s}$$

Le temps de transport des particules de sédiments est alors,

$$t_m^2 = \frac{L_r}{v_2} = \frac{\sqrt{L^2 + h^2}}{v_2} = \frac{\sqrt{350^2 + 3,5^2}}{2,85} = 122,8 \text{ s} \approx 2 \text{ minutes}$$

Pour des raisons pratiques, cette courte durée peut être négligée. Toutefois, les calculs avaient à être réalisés afin de déterminer l'ordre de grandeur du temps de transport dans ce court secteur des rapides.

A3. Secteur 3 (des rapides à l'île Maricourt, vers l'Ouest de l'île Dondaine jusqu'à la prise d'eau de Grande-île, 2 950 m)

Selon la loi de la continuité en hydraulique et considérant que la section du fleuve demeure la même en amont et en aval des ouvrages de contrôle de Coteau, il y a une différence importante entre les vitesses moyennes enregistrées de part et d'autre des ouvrages de Coteau.

À cause du bris de la pente d'énergie causé par les ouvrages de contrôle de Coteau, les vitesses moyennes du courant dans ce secteur sont beaucoup plus faibles en magnitude que dans le secteur 1. Dans le secteur 3, la profondeur moyenne de l'eau varie de 2 à 7 m, tandis que la présence de plusieurs canaux, de roches émergentes et la division du chenal principal par plusieurs petites îles conduisent à une réduction de la section et à une augmentation des pertes hydrauliques (3).

L'étude réalisée par Hydro-Québec (3) – incluant l'enregistrement continu, pendant un an, des vitesses moyennes en amont du bassin Les Cèdres – montre une vitesse moyenne de 0,15 m/s, avec des vitesses maximales enregistrées de 0,45 m/s, correspondant au débit maximum évacué à l'ouvrage de contrôle de Coteau 1. Afin de couvrir les fluctuations de vitesses à des valeurs supérieures à celles enregistrées, une valeur maximale de 0,6 m/s a été utilisée pour calculer le temps de transport des particules de sédiments.

La distance depuis l'ouvrage de contrôle de Coteau 1 à la prise d'eau de Grande-île étant connue, le temps minimum de transport d'une masse d'eau contaminée par des particules de sédiments en suspension, pour ce secteur particulier, est de

$$t_m^3 = \frac{d_3}{v_m^3} = \frac{2950}{0,6} = 4917 \text{ sec} \approx 82 \text{ minutes}$$

Finalement, le **temps minimum total** est obtenu en additionnant les trois périodes de temps correspondant à chacun des secteurs délimités.

$$T_{\min} = t_m^1 + t_m^2 + t_m^3 = 21 + 2 + 82 = 105 \text{ minutes}$$

B. Débit moyen – $Q_{\text{moy}} = 7\,800 \text{ m}^3/\text{s}$

A1. Secteur 1 (de la pointe Nord de l'île-aux-Chats à l'ouvrage de contrôle de Coteau, 1 050 m)

Vitesse moyenne du courant (selon les simulations de l'INRS-Eau), $v_m = 0,3 \text{ m/s}$. Le temps de transport pour le secteur 1 est

$$t_m^1 = \frac{d_1}{v_m^1} = \frac{1000}{0,3} = 3\,333 \text{ sec} \approx 55 \text{ minutes}$$

B2. Secteur 2 (Ouvrage de contrôle de Coteau 1 et les rapides en aval)

Le temps de transport dans le second secteur (via l'ouvrage de contrôle de Coteau 1 et les rapides subséquents) peut raisonnablement être assumé identique à celui du débit maximum ($t_m^2 = 2 \text{ minutes}$) puisque qu'il est beaucoup plus petit comparativement aux temps de transport des deux autres secteurs.

B3. Secteur 3 (des rapides à l'île Maricourt, vers l'Ouest de l'île Dondaine jusqu'à la prise d'eau de Grande-île, 2 950 m)

La vitesse enregistrée pour le débit moyen (selon l'étude d'Hydro-Québec) a une valeur de 0,15 m/s. Selon les mêmes hypothèses qu'en A3, une valeur augmentée de 0,25 m/s est considérée. Ainsi, le temps de transport pour le troisième secteur, dans le cas du débit moyen, est de

$$t_m^3 = \frac{d_3}{v_m^3} = \frac{2950}{0,25} = 11800 \text{ sec} \approx 197 \text{ minutes}$$

Finalement, le **temps moyen total** est obtenu en additionnant les trois périodes de temps correspondant à chacun des secteurs délimités.

$$T_{ave} = t_m^1 + t_m^2 + t_m^3 = 55 + 2 + 197 = 254 \text{ minutes}$$



**Clark Island Sediment Remediation Project
Analysis of Accidental Sediment Discharge During
Clark Island Capping Works**

5804

April 2001

TABLE OF CONTENTS

	page
1 GENERAL CONSIDERATIONS	1
2 SEDIMENT PARTICLE PATH	2
3 SEDIMENT PARTICLE TRAVEL TIME	3
4 CONCLUSIONS	4

REFERENCES

Appendix A Calculation Notes

\\GALAXIE\SECTEURS-MTL\$\Environnement\Geotech_et_TC\Secretariat\PROJETS DIVERS\5804 HONEYWELL\RAPPORTS\Année 2001\Analysis of accident April 2001.doc

1 GENERAL CONSIDERATIONS

The presence of contaminated sediments around Clark Island and the accidental transport during capping works is considered as an incident with relatively low probability of occurrence, due to preventive measures to be taken during capping works: double protection by silt curtains, frequent water quality monitoring, presence of filtration equipment at the Grande-Île water treatment plant, etc. Nevertheless, the purpose of this theoretical analysis is to provide an estimate of the time an accidental release of pyrite cinders particles would reach the water supply intake of Grande-Île during capping works to be undertaken in zone A.

The documented flow discharges (Morin et al., 1994) revealed different transited discharges through the Coteau control structures as summarized bellow:

Hydrological event	Total transited flow (m ³ /s)	Coteau 1 control structures (m ³ /s)
Average summer flow (August)	7800	1000
Low summer flow	6500	500
Maximum (extreme) flow (April)	9622	4533

Since the analysis consists in estimating how long would take for a contaminated body of water to reach the Grande-Île water supply intake, the most critical situation (shortest travel time due to maximum flow velocities) which could occur happens for the case of the maximum flow (9 622 m³/s). It should also be mentioned that this type of situation is considered a low probability event, since the duration of capping works is limited to a few months and the works could be temporarily stopped in case high flow conditions are expected. Consequently, the superposition of an extreme flow discharge with an eventual accidental contaminated sediment release during Clark Island capping works would be highly improbable. However, in order to

ensure maximum safety standards, the present analysis takes into consideration such an extreme event.

As the average summer flow is an important element as well, an estimate of the travel time of particles in suspension in the case of an accidental event at average flow will also be provided.

2 SEDIMENT PARTICLE PATH

An important assumption of analytical or numerical suspended sediment transport models – experimentally proven - is to consider that sediment particle velocity is equal to the velocity of the accompanying water. As a direct consequence, one can make use of hydrodynamic - measured or computed - vectors to determine the travel time of a relatively fine (< 0.1 mm) suspended sediment particle over a certain distance. The results of the numerical modelling – including velocity vectors for the extreme and average flow situations - provided by the hydrodynamic model of INRS (1), as well as the recorded experimental data provided in the environmental study (3) of CSSA Consultants Ltée (prepared for Hydro-Quebec), are used for this analysis.

The shortest sediment particle path begins at the northern tip of Clark Island which is the closest point downstream, towards the Coteau 1 control structures. Then, the suspended sediment particles would cross over the Coteau 1 dam, travel downstream over a short (300 m) rapids sector and then, continue to flow by Maricourt Island to the eastern side of Dondaine Island, eventually reaching the area where the water supply intake of Grande-Île is located. The three (3) sectors which characterize the flow from Zone A to the Grande-Île water intake are illustrated in Figure 1.

The sediment cloud will be entrained by the current velocity towards the Coteau 1 control structures, over a distance of 1 km. At the same time, due to its dispersion and settlement of heavier particles, the cloud density will be reduced so that only very light suspended sediments - at much less than the initial concentration - will pass over the Coteau 1 dam.

Analysing a cross section through the sediment particle path in Sector I (see Figure 2) an important aspect can be noticed. Following the end of Zone A (shallow water on the northern bank of Clark Island), there is a layer of fine sediments whose (initially large) thickness decreases towards Coteau 1 dam. This particularity shows that a significant proportion of sediments entrained by the current from Clark Island and moving downstream towards Coteau 1 control structures, settle before reaching them. The upstream bed of Coteau 1 reveals an area only covered with boulders or bare rock outcrop, so that one can reasonably conclude that the sedimentation process of heavier particles takes place long before the particles reach Coteau 1 structures. Therefore, the total sediment plumes concentration at Coteau 1 is significantly reduced. The field suspended sediment measurements (2) only come to strengthen the above statements. However, as mentioned before, some particles could overpass Coteau 1 dam and be carried further downstream.

3 SEDIMENT PARTICLE TRAVEL TIME

As mentioned before, the shortest sediment path is divided into three sectors:

- Sector I: northern tip of Clark Island to Coteau 1 control structures (an average of 1050 m);
- Sector II: Coteau 1 control structures and following rapids (around 300 m);
- Sector III: rapids to Maricourt Island, towards west of Dondaine Island and continuing to the Grande-Île water supply intake (2950 m).

A. Maximum flow – $Q_{\max} = 9622 \text{ m}^3/\text{s}$

In these conditions, the average flow velocity is significantly higher compared with the velocity for the average flow conditions. The differences can be explained as follows. Although the ratio between the total flow and the average one is not very large ($Q_{\max}/Q_{\text{ave}} = 1.23$), the ratio between the corresponding flow discharges at Coteau 1 dam is significantly higher ($Q_{\max}/Q_{\text{ave}} = 4.53$). As measurements and numerical simulations indicate, there is a significant difference between velocities in the sector between the northern tip of Clark Island and Coteau 1 control structures.

The total minimum time for a sediment contaminated body of water to travel from Zone A to the Grande-Île water supply intake was calculated as $T_{\min} = 105$ minutes (see Appendix 1 for detailed calculations).

B. Average flow – $Q_{\text{ave}} = 7800 \text{ m}^3/\text{s}$

Since flow velocities are significantly lower than in the case of maximum flow conditions, as expected, travel time for the suspended sediment particles between Zone A and Grande-Île water supply intake would be $T_{\text{ave}} = 254$ minutes (see Appendix A for detailed calculations).

4 CONCLUSIONS

Although the probability of the transport of contaminated sediments from Zone A to the Grande-Île water supply intake is assumed to be low, addressing public concerns on this matter is an important issue. The time a body of water requires to travel from the tip of Clark Island to the water supply of Grande-Île is computed based on measurements and numerical models simulations.

Based on these simulations and depending on flow conditions at the time of the accidental release of sediments, the travel time between Zone A and the Grande-Île water supply intake varies between 105 minutes and 254 minutes. However as was shown before, the presence of a double silt curtain system in the works area, frequent water quality monitoring in the zone between the two silt curtains and downstream from the silt curtains, the likelihood of particle deposition in the zone between Clark Island and Coteau 1 structure and in the zone downstream of the rapids as well as the existence of a water treatment system in Grande-Île, make the likelihood of water contamination due to capping works a very remote possibility.

REFERENCES

Morin, Y., P. Boudreau and M. Lecrec.— *Lac Saint-François: les bases de la modélisation hydrodynamique*, INRS-Eau, No R412, 1994

Site de l'Île-aux-Chats, Projet de restauration des sédiments, Volume 4, Annexe T, 1997, Honeywell.

CSSA Consultants Ltée, *Centrales Les Cedres - Nouveau Aménagement – Avant Projet Phase 2, Etudes Environnementales – Description du milieu physique*, Juillet 1994 pour Hydro-Quebec.

/hc.

CALCULATION NOTES

A. Maximum flow – $Q_{\max} = 9622 \text{ m}^3/\text{s}$

A1. Sector 1 (northern tip of Clark Island to Coteau 1 control structures, 1050 m)

Mean flow velocity for this sector, for maximum flow is (INRS-Eau simulations),

$$v_m = 0.8 \text{ m/s}$$

$$\text{Travel time for sector 1} - t_m^1 = \frac{d_1}{v_m^1} = \frac{1000}{0.8} = 1250 \text{ sec} \approx 21 \text{ minutes}$$

A2. Sector 2 (Coteau 1 control structures and following rapids)

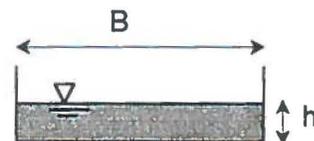
As it is very short (order of seconds), the time to overpass Coteau 1 structures, can be neglected. For the case of the rapids, in spite of the (also) short time, the travel time is computed as follows. Since rapids slope was found to be less than 0.10, Chezy equation is applied to obtain the average velocity.

$$v_m = C\sqrt{RS}$$

where C – Chezy coefficient

R – hydraulic radius (cross sectional area divided by the wetted perimeter)

S – slope of the energy grade line (can be approximated with bottom slope for mildly inclined channels).



For large water rivers, where flow width is significantly larger than its depth, a simple approximation can be made as

$$R = \frac{A}{P} = \frac{Bh}{B+2h} \left. \begin{array}{l} \text{and dividing by } h \Rightarrow R \approx 1 \\ B \gg h \end{array} \right\}$$

Also, Chezy coefficient can be expressed as

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \left. \begin{array}{l} \Rightarrow C = \frac{1}{n} \text{ where } n \text{ is the roughness (Manning)} \\ R \approx 1 \end{array} \right\}$$

coefficient.

As documented in (3), the Manning coefficient for the area after Coteau 1 structures, $n \approx 0.035$.

Considering a vertical displacement of around 3.5 m over a 350 m horizontal span and the above estimations, the average velocity can be estimated as

$$v_2 = \frac{1}{n} s^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{0.035} \left(\frac{3.5}{350} \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{0.10}{0.035} = 2.85 \text{ m/s}$$

Travel time of sediment particle would be therefore,

$$t_m^2 = \frac{L_r}{v_2} = \frac{\sqrt{L^2 + h^2}}{v_2} = \frac{\sqrt{350^2 + 3.5^2}}{2.85} = 122.8 \text{ s} \approx 2 \text{ minutes}$$

Such a short duration may even be neglected for practical purposes. However, the calculation had to be performed in order to determine the order of magnitude of the travel time over this short and rapid sector.

A3. Sector 3 (rapids to Maricourt Island, towards west of Dondaine Island to the Grande-Île water supply intake, 2950 m)

According to hydraulic continuity laws and considering that the cross section of the river remains largely the same before and after the Coteau control structures, there is a strong correlation between average velocities recorded on both sides of the Coteau dams.

Due to the break of energetic slope caused by the Coteau control structures, the average flow velocities in this sector are smaller in magnitude than for sector 1. The average depth of sector 3 varies between 2 and 7 m while the presence of numerous channels, emerging rocks and the split of channel by small islands leads to a reduction of the flow section and an increase in hydraulic losses (3).

The study performed for Hydro-Quebec (3) - including continuous recordings of average velocities upstream of Les Cedres basin over one year – shows an average velocity of 0.15 m/s, with maximum recorded velocities of 0.45 m/s, corresponding to a maximum discharge of water through Coteau 1 control structures. In order to cover fluctuations of velocities at higher than recorded values, a maximum value of 0.6 m/s is used to compute the travel time of a sediment particle.

Distance from Coteau 1 control structures to the water supply point of Grande-Île being known, the minimum travel time for a body of water contaminated with suspended sediment particles for this particular sector will be

$$t_m^3 = \frac{d_3}{v_m^3} = \frac{2950}{0.6} = 4917 \text{ sec} \approx 82 \text{ minutes}$$

Finally, the **total minimum time** is obtained by adding the three periods of time, corresponding to each of the delimited sectors.

$$T_{\min} = t_m^1 + t_m^2 + t_m^3 = 21 + 2 + 82 = 105 \text{ minutes}$$

B. Average flow – $Q_{\text{ave}} = 7800 \text{ m}^3/\text{s}$

A1. Sector 1 (northern tip of Clark Island to Coteau 1 control structures, 1050 m)

Mean flow velocity (INRS-Eau simulations), $v_m = 0.3 \text{ m/s}$. Travel time for sector 1 will be

$$t_m^1 = \frac{d_1}{v_m^1} = \frac{1000}{0.3} = 3333 \text{ sec} \approx 55 \text{ minutes}$$

B2. Sector 2 (Coteau 1 control structures and following rapids)

The travel time for the second sector (over the Coteau 1 control structures and following rapids) can be reasonably assumed as identical with the case of the maximum flow ($t_m^2 = 2 \text{ minutes}$) since it is much smaller compared to the time for the other two sectors.

B3. Sector 3 (rapids to Maricourt Island, towards west of Dondaine Island to the Grande-Île water supply point, 2950 m)

Velocities recorded for the average flow (following the Hydro-Quebec study) have a value of 0.15 m/s . Based on the same assumptions as in A3, an increased value of 0.25 m/s is considered. Therefore, the travel time for the third sector, in case of the average flow, will be

$$t_m^3 = \frac{d_3}{v_m^3} = \frac{2950}{0.25} = 11800 \text{ sec} \approx 197 \text{ minutes}$$

Finally, the **total average time** is obtained by adding the three periods of time, corresponding to each of the delimited sectors.

$$T_{\text{ave}} = t_m^1 + t_m^2 + t_m^3 = 55 + 2 + 197 = 254 \text{ minutes}$$