



## Évaluation de la sécurité de l'aménagement des Cèdres



*Aménagement des Cèdres*

Études de sécurité  
Direction Barrages et infrastructures

*Décembre 2012*

## 1.2 Construction et mise en service

Le barrage principal des Cèdres a été conçu par le propriétaire de l'époque, Cedars Rapids Manufacturing and Power Co. La construction a été réalisée entre 1914 et 1924 par la Cedars Rapids Manufacturing and Power Co. (jusqu'en 1921) et la Montreal Light, Heat and Power Co. (1921 à 1924). Les neuf premiers groupes furent mis en service en 1914 et les neuf autres groupes furent mis en service entre 1916 et 1924.

Les barrages de l'Île-Juillet-1 et de l'Île-Juillet-2 ont été conçus par le propriétaire de l'époque, Beauharnois Light, Heat and Power Co. (filiale de la Montreal Light, Heat and Power Co.). La construction a été réalisée entre 1940 et 1941. Les barrages de l'Île-Juillet furent mis en service en 1941.

## 1.3 Description générale des ouvrages

L'aménagement des Cèdres qui s'étend sur plus de trois kilomètres de longueur est composé des ouvrages en béton et en remblai pour former un bassin qui alimente la centrale (figure 1.1). L'aménagement est composé de trois principaux groupes d'ouvrages qui sont les suivants :

- Barrage principal des Cèdres ;

Ce barrage principal forme un canal d'amenée en rive gauche du fleuve Saint-Laurent entre l'Île-aux-Vaches et la municipalité Les Cèdres et est composé, de la rive droite à la rive gauche, des ouvrages suivants :

- remblai rive droite qui mesure environ 2 563 m de long (amont : 833 m et aval : 1 730 m) et ferme la partie droite du barrage des Cèdres entre l'Île-aux-Vaches et l'île Saveuse ;
- évacuateur du remblai rive droite qui mesure environ 96 m de long et est situé à mi-distance du remblai rive droite ;
- barrage-poids rive droite qui mesure environ 72 m de long (incluant la passe à débris d'origine) et relie l'extrémité droite de la centrale à l'île Saveuse ;
- prise d'eau et centrale : la prise d'eau et la centrale sont placées côte à côte de sorte qu'elles constituent un ouvrage dans son ensemble. La centrale du type au fil de l'eau est composée de dix-huit groupes de 15,24 m de long chacun pour un total de 350 m de long, dont dix-huit groupes turbine-alternateur d'une puissance nominale de 122 MW ont été installés (dix groupes sont présentement en marche) ;
- remblai rive gauche qui longe la municipalité Les Cèdres à la rive gauche et mesure environ 1 485 m de long.

- Barrage de l'Île-Juillet-1 ;

Ce barrage relie l'Île-Juillet à l'île de Salaberry et est composé des ouvrages en béton et en remblai, qui sont, de la rive droite à la rive gauche, les suivants :

- remblai rive droite qui mesure environ 34 m de long ;
- évacuateur qui mesure environ 94 m de long ;
- remblai rive gauche qui mesure environ 66 m de long.

- Barrage de l'Île-Juillet-2.

Ce barrage ferme le bief amont entre l'Île-Juillet et l'Île-aux-Vaches et est composé des ouvrages en béton et en remblai, qui sont, de la rive droite à la rive gauche, les suivants :

- remblai rive droite qui mesure environ 120 m de long ;
- évacuateur qui mesure environ 170 m de long ;
- remblai rive gauche qui mesure environ 106 m de long.

## 1.4 Principales caractéristiques hydrauliques

Les détails sur les caractéristiques des systèmes hydriques des aménagements d'Hydro-Québec sont consignés dans la base de données du système CASH dans l'intranet d'Hydro-Québec.

La réserve utile du réservoir des Cèdres est de 2,39 millions de m<sup>3</sup> entre les niveaux minimaux et maximaux d'exploitation qui sont respectivement de 40,20 m et de 40,35 m. Le débit module au site de l'aménagement des Cèdres est de 547 m<sup>3</sup>/s.

La réserve énergétique pour un facteur de production moyen est de 0,07 GWh et l'énergie annuelle produite est d'environ 771 GWh. La puissance maximale de la centrale au niveau maximal d'exploitation est de 141 MW.

Les caractéristiques d'exploitation de l'aménagement des Cèdres sont présentées au tableau 1.1.

**Tableau 1.1 – Aménagement des Cèdres - Niveaux d'exploitation**

Caractéristiques d'exploitation	Niveau (m)	
	Amont	Aval
Niveau maximal critique	40,50	N/A
Niveau maximal d'exploitation	40,35	30,17
Niveau minimal d'exploitation	39,20	26,00
Niveau minimal critique	39,00	N/A

## 3.4 Auscultation

Aucun système d'auscultation n'était prévu au RRD des Cèdres au moment de la conception initiale. Lors de l'exploitation de l'aménagement, des anomalies et des interrogations sur le comportement ont justifié l'installation de piézomètres, de déversoirs de jaugeage, de câbles optiques et de thermistances.

### 3.4.1 Description des équipements

Les dispositifs d'auscultation servant au suivi de comportement du RRD se limitent à des piézomètres électriques et hydrauliques et aux déversoirs de jaugeage.

Les câbles optiques et les thermistances installées l'ont été dans le cadre du projet de localisation des infiltrations dans les barrages (projet de recherche et développement LIBAR). Les mesures faites avec ces dispositifs ne sont pas utilisées pour le suivi du comportement et ne sont pas consignées dans la base de données TDSB.

Selon la base de données TDSB, deux déversoirs de jaugeage sont installés au RRD aval et cinq autres au RRD amont. Trente-trois piézomètres sont installés au RRD aval et sept au RRD amont. certains sont consignés dans la base de données comme faisant partie de l'aménagement Saint-Timothée.

#### 3.4.1.1 Description des déversoirs de jaugeage

Des déversoirs de jaugeage auraient été installés pour la première fois en 1988. Ceux-ci ont été remplacés en 1999.

Les venues d'eau quantifiées au RRD étant caractérisées par des débits importants, plus d'un déversoir est nécessaire pour y parvenir. Les sept déversoirs installés représentent donc en réalité 3 ensembles de déversoirs destinés à mesurer le débit de trois ensembles de venues d'eau.

Les déversoirs DJ-CED-2281-01 et 02 sont adjacents et mesurent le débit de la venue d'eau 13 du RRD aval dont le débit est grand. Les DJ-CED-814-01 et 02 ont été installés pour suivre le débit de l'ensemble de venues d'eau 9 du RRD amont. Le débit de l'ensemble de venues d'eau 7 du RRD amont est quantifié par les déversoirs DJ-CED-740-01, 02 et 03. Ce sont tous des déversoirs de type « en V » à 90° et les lectures doivent être faites manuellement.

Les débits aux déversoirs DJ-CED-2281-01 et 02 peuvent être mesurés toute l'année.

Les déversoirs sont situés dans le bassin St-Timothée et ne peuvent être lus que lorsque le niveau du réservoir est abaissé, soit pendant la période hivernale. Ils sont submergés pendant la période estivale. Ils mesurent les débits s'infiltrant à travers le RRD amont, le tout influencé par la topographie de la fondation du RRD amont.

La localisation des déversoirs de jaugeage est illustrée sur les figures 3.3 et 3.5 et les photos 3.33 à 3.38 montrent les instruments.

### 3.4.1.2 Description des piézomètres à tube ouvert

En 1971, 8 piézomètres, C-1 à C-4 et T-1 à T-4, ont été mis en place de part et d'autre de l'écran d'étanchéité à l'occasion des travaux d'injection. Ceux-ci visaient à confirmer l'efficacité du rideau d'injection. En 1973, 3 autres piézomètres, T-2A, C-2A et C-3A ont été ajoutés dans le même secteur afin de vérifier la validité de certaines mesures.

Lors des investigations de 1987, le piézomètre PZ-2520, a été installé dans le forage B-3 du RRD aval et un autre a été installé dans le forage TFD-1 du RRD amont. Il n'existe aucune information dans TDSB à propos de ce dernier.

En 1989, 22 piézomètres ont été installés dans les forages destructifs PZ-1 à PZ-11, à raison de deux piézomètres par forage, dans le RRD amont.

En 2008, onze piézomètres, numérotés PH-4 à PH-8 ont été mis en place dans cinq forages, de part et d'autre de l'évacuateur du RRD.

Tous les piézomètres installés sont des piézomètres à tube ouvert. Les crépines des piézomètres installés en 1987, 1989 et en 2008 se trouvent dans une lanterne de sable isolée par un bouchon de bentonite.

Les caractéristiques des piézomètres installés dans les RRD amont et aval sont résumées aux tableaux 3.12 et 3.13. Ces caractéristiques sont tirées de la base de données TDSB, des différents rapports d'investigations, des dessins TQC et de l'analyse des résultats.

Photo 3.33 – Déversoir DJ-CED-2281



Photo 3.34 – Déversoir DJ-CED-2281



Photo 3.35 – Bassin du DJ-CED-814



Photo 3.36 – Déversoir DJ-CED-814



Photo 3.37 – Bassin du DJ-CED-740



Photo 3.38 – Déversoir DJ-CED-740



Tableau 3.12 – RRD amont- Caractéristiques des piézomètres

Piézomètre	PM (m)	Écart à l'axe (m)	Cote terrain (m)	Cote crépine (m) <sup>[a]</sup>	Date d'installation	Statut/État
PZ-1A			41,16	31,10	1989	Actif/Bon
PZ-1B			41,16	36,34	1989	Actif/Bon
PZ-2A			41,15	30,57	1989	Actif/Bon
PZ-2B			41,15	35,15	1989	Actif/Bon
PZ-3A			41,56	29,38	1989	Actif/Bon
PZ-3B			41,56	34,06	1989	Actif/Bon
PZ-4A			41,81	29,59	1989	Actif/Bon
PZ-4B			41,81	34,81	1989	Actif/Bon
PZ-5A			41,97	29,38	1989	Actif/Bon
PZ-5B			41,97	34,45	1989	Actif/Bon
PZ-6A			41,50	30,20	1989	Actif/Bon
PZ-6B			41,50	34,50	1989	Actif/Bon
PZ-7A			41,35	29,43	1989	Actif/Bon
<del>PZ-7B</del>			<del>41,35</del>	<del>34,35</del>	1989	<del>Actif/Bon</del>
PZ-8A			41,30	28,97	1989	Actif/Bon
PZ-8B			41,30	34,30	1989	Actif/Bon
PZ-9A			41,24	28,83	1989	Actif/Bon
PZ-9B			41,24	33,24	1989	Actif/Bon
PZ-10A			42,23	31,64	1989	Actif/Bon
PZ-10B			42,23	36,02	1989	Actif/Bon
PZ-11A			42,16	32,45	1989	Actif/Bon
PZ-11B			42,16	35,94	1989	Actif/Bon
PH-07A			42,31	27,61	2008	Actif/Bon
PH-07B			42,31	32,86	2008	Actif/ Bloqué
PH-08A			42,34	32,85	2008	Actif/Bon
PH-08B			42,34	36,74	2008	Actif/Bon
PZ-730 <sup>[b]</sup>			41,96	30,68	1987	n/d

<sup>[a]</sup> Cote du bas de la crépine d'après schéma d'installation du piézomètre (réf. 3.30 et 3.37).

<sup>[b]</sup> Piézomètre installé dans le forage TFD-1 (réf. 3.23).

Les piézomètres PZ-1 à PZ-11 installés sur des sections transversales dans le RRD amont visent à établir des profils de dissipation des pressions interstitielles à travers le remblai et sa fondation.

Tableau 3.13 – RRD aval - Caractéristiques des piézomètres

Piézomètre	PM (m)	Écart à l'axe (m)/ Zone	Cote terrain (m)	Cote crépine (m)	Date d'installation	Statut/État
PH-04A			42,34	28,25 <sup>[a]</sup>	2008	Hors-service/ Défectueux (2012)
PH-04B			42,34	31,76 <sup>[b]</sup>	2008	Actif/Bon
PH-05A			42,25	27,15 <sup>[b]</sup>	2008	Actif/ Défectueux
PH-05B			42,25	31,83 <sup>[c]</sup>	2008	Actif/ Défectueux
PH-06A			42,11	29,51 <sup>[c]</sup>	2008	Actif/Bon
PH-06B			42,11	32,34 <sup>[c]</sup>	2008	Actif/Bon
PH-06C			42,11	38,36 <sup>[c]</sup>	2008	Actif/Bon
C-1			41,84	29,82	1971	Hors-service/ Fonctionnel (1997)
C-2			41,37	33,44	1971	Actif/Bon
C-2A			n/d	34,80	1973	Hors-service/ irré récupérable (1989)
C-3			41,52	30,83	1971	Actif/ Défectueux
C-3A			41,35	36,89	1973	Actif/ Défectueux
C-4			41,79	31,1	1971	Hors-service/ Fonctionnel (1997)
T-1			n/d	29,33	1971	Hors-service/ irré récupérable (1980)
T-2			41,03	29,49	1971	Actif/Bon
T-2A			40,62	29,71	1973	Actif/Bon
T-3			41,08	31,58	1971	Actif/Bon
T-4			n/d	30,33	1971	Hors-service/ irré récupérable (1980)
T-5			41,43	32,68	2000	Actif/Bon
T-6			41,54	33,45	2000	Actif/Bon
T-7			41,36	32,91	2000	Actif/Bon
T-8			41,21	32,68	2000	Actif/Bon



Tableau 3.13 – RRD aval - Caractéristiques des piézomètres (suite)

Piézomètre	PM (m)	Écart à l'axe (m)/ Zone	Cote terrain (m)	Cote crépine (m)	Date d'installation	Statut/État
PZ-2520 <sup>(c)</sup>			41,62	26,07	1987	Actif/Bon

<sup>(a)</sup> Cote du bas de la crépine établie en fonction de la lecture du fond.

<sup>(b)</sup> Cote du bas de la crépine d'après schéma d'installation du piézomètre (réf. 3.37).

<sup>(c)</sup> Piézomètres installés dans le forage B-3 (réf. 3.23).

Les PH-07 et 08, installés dans le RRD amont au voisinage de l'évacuateur du RRD, tout comme les PH-04, 05 et 06 dans le RRD aval, visent à déterminer l'orientation des écoulements et la provenance des venues d'eau observées aux jonctions avec l'évacuateur.

Les piézomètres C-1 à C-4 et T-1 à T-8 sont installés

. La première série, installée en 1971 et 1973, visait à confirmer l'étanchéité de la jonction suite aux travaux d'injection. La deuxième série, installée en 2000, visait plutôt à confirmer l'évolution des conditions à la jonction en terme d'écoulement et de pression, et les résultats du suivi de ces nouveaux piézomètres ont mené à d'autres travaux d'injection terminés en 2011.

Le piézomètre PZ-2520 installé dans le forage B-3 du RRD aval a été implanté afin de suivre les pressions interstitielles dans la fondation. Le PZ-730, installé dans le forage TFD-1 du RRD amont, avait été implanté pour les mêmes raisons, mais il ne semble pas avoir été suivi et il n'y a pas de traces de ce dernier dans TDSB.

## 3.4.2 Évaluation des dispositifs

### 3.4.2.1 Déversoirs de jaugeage

Pour les déversoirs de type en « V », les lectures sont idéalement réalisées en mesurant la charge hydraulique à l'amont de la plaque au moyen d'une règle graduée. Pour obtenir une erreur acceptable sur les mesures, le débit mesuré doit se situer entre 1,2 l/s et 384 l/s.

Dans le cas qui nous intéresse, la mesure de la charge hydraulique des déversoirs est réalisée directement dans le « V ». Le débit mesuré avec cette méthode est inférieur à celui qui serait mesuré en amont, ceci à cause du rabattement de la nappe à l'approche du V. Cette méthode s'avère tout de même acceptable puisqu'elle permet l'évaluation des fluctuations de débit dans le temps (réf. 3.36).

Les mesures prises aux différents déversoirs du RRD se situent toutes à l'intérieur des limites pour des mesures acceptables.

Il arrive que les eaux de ruissellement génèrent des imprécisions importantes au niveau des mesures de débit. Dans le cas des déversoirs DJ-CED-740 et DJ-CED-814, les débits sont très grands et les bassins de captage recueillent les eaux de surfaces relativement petites. La portion du débit attribuable au ruissellement est donc faible. Dans le cas du DJ-2281, il est possible que l'eau de ruissellement ait une influence sur les résultats. Les mesures qui semblent erronées pour cette raison sont donc soustraites de l'analyse.

Lors de l'inspection réalisée dans le cadre de cette étude, les déversoirs ainsi que leur bassin de captage étaient en bon état. Le DJ-CED-740-02 était partiellement bloqué à l'amont, ce qui explique une diminution des débits qu'il mesure et une augmentation des débits au déversoir DJ-CED-740-03 adjacent. Ce déversoir devra être nettoyé.

### 3.4.2.2 Piézomètres à tube ouvert

Les piézomètres du RRD sont tous des piézomètres à tube ouvert installés en forage. Le niveau piézométrique mesuré dans ce type d'instrument est obtenu en soustrayant la profondeur de la sonde électrique au contact de l'eau de la cote de la margelle au sommet du tube.

Le mauvais fonctionnement de ce type de piézomètre peut généralement s'expliquer par un problème avec la sonde ou par le blocage du piézomètre par le gel ou des débris. Il peut aussi arriver que la crépine se bouche. Il demeure que ce type d'instrument comporte une très faible erreur sur la mesure, de l'ordre du centimètre, mais que la représentativité des conditions réelles par les mesures effectuées dépend surtout des caractéristiques d'installation.

Selon la base de données TDSB, les piézomètres PZ-1 à PZ-11 sont tous actifs :

- le PZ-1A a longtemps été bouché, mais semble très bien fonctionner depuis qu'il a été nettoyé par jet d'eau en 2002 ;
- seulement trois mesures ont été prises au PZ-2B depuis son installation, le piézomètre étant sec jusqu'au fond le reste du temps et ce, depuis les premières années après son installation. On ne connaît pas le niveau d'eau observé dans le forage avant sa mise en place ;
- les PZ-3A et PZ-4A ont montré une tendance à la hausse entre 2007 et 2011, mais le nettoyage de ceux-ci a ramené les niveaux mesurés à des valeurs près de celles d'avant 2007. Les mesures prises pendant cette période 2007-2011 sont donc considérées erronées ;
- le PZ-5A semble montrer des niveaux plus élevés qu'historiquement en hiver depuis le nettoyage de 2011 ;
- le PZ-7A n'était pas fonctionnel les premières années après son installation suite à un problème survenu au retrait du tubage. Néanmoins, depuis 1994, il semble bien fonctionner ;
- les PZ-7B, PZ-8B et PZ-9B sont généralement secs l'hiver ;
- le PZ-11A a été bouché jusqu'en 2002, mais semble bien fonctionner depuis le nettoyage des piézomètres.

Selon la base de données TDSB, les piézomètres PH-04 à PH-08 sont tous actifs, à l'exception du PH-04A :

- le PH-04A n'a jamais été fonctionnel depuis son installation, il est bloqué à environ 1,55 m de profondeur ;

- certaines lectures n'ont pu être prises au PH-04B parce qu'il était rempli d'eau jusqu'au sommet du tube. Ceci correspond probablement à un épisode de blocage du piézomètre, il a été nettoyé depuis et il semble bien fonctionner ;
- le PH-05A donne parfois des valeurs supérieures au niveau du réservoir, ses mesures devraient être considérées comme erronées ;
- le PH-05B montre des niveaux généralement plus élevés que le PH-06B en amont et de grandes variations qui ne semblent pas reliées au niveau du réservoir. Une mesure prise en 2011 montre un niveau supérieur à celui du réservoir. Ce piézomètre est probablement bouché et ces mesures devraient être considérées erronées ;
- le PH-06C est généralement sec et les lectures récentes ont montré que le fond mesuré est plus profond qu'à l'origine. Les seuls niveaux mesurés dans la base de données sont près de la cote de la crépine dans les données de base ;
- le PH-07B montre des niveaux supérieurs au réservoir depuis 2010, il est bloqué ;

Parmi les piézomètres C-1 à C-4 et T-1 à T-8, les C-1, C-2A, C-4, T-1 et T-4 sont hors service selon TDSB depuis avant la dernière évaluation de la sécurité :

- 
- à la suite de l'injection de la jonction Saint-Timothée à la fin de 2009, le C-3 semble bloqué. Il a été rempli d'eau pour le valider et les mesures qui y sont prises sont toujours plus hautes que la normale même s'il est en aval de la jonction. Il devrait être considéré hors service ;
- le C-3A était indiqué bouché selon la dernière évaluation de la sécurité, mais il est toujours actif dans TDSB.
- le PZ-2520 a amorcé une hausse à la fin de 2009, à la suite des travaux d'injection. Son comportement ne devrait pourtant pas être affecté à la hausse par les travaux puisqu'il est situé loin en aval de la zone des travaux. Comme il n'y a aucune lecture compilée dans TDSB avant 2002 pour ce piézomètre, on peut imaginer qu'il était bouché jusqu'au nettoyage fait en 2002. Il est possible qu'il soit de nouveau bouché ;
- le T-2 montre des variations plus marquées depuis les travaux d'injection. Il semble fonctionner normalement ;
- le T-3 montre des niveaux plus bas depuis les travaux d'injection, il semble fonctionner normalement ;
- les T-5 à T-8, situés de part et d'autre de l'écran d'étanchéité, réagissent normalement et semblent en bon état.

Bref, les piézomètres PH-04A, PH-05A, PH-05B, PH-07B, C-3 et C-3A donnent des résultats erronés et ne devraient plus être lus ou considérés dans les analyses.

### 3.4.3 Analyse des résultats d'auscultation

#### 3.4.3.1 Niveau des réservoirs

Le niveau du réservoir des Cèdres utilisé pour l'analyse des résultats d'auscultation est basé sur les valeurs moyennes journalières compilées dans la base de données TDSB. Ces données correspondent au niveau dans le canal d'aménée mesuré à la centrale des Cèdres. Le dénivelé entre la centrale et l'extrémité amont du RRD, dépendant du débit à la centrale, est considéré d'environ 4 cm en condition hydrologique normale.

Le niveau du réservoir Saint-Timothée utilisé pour l'analyse des résultats est basé sur les valeurs moyennes journalières compilées dans la base de données TDSB. Ces données correspondent au niveau mesuré à l'ouvrage de contrôle du barrage Saint-Timothée. Le dénivelé entre le niveau obtenu au limnimètre et chacune des sections analysées du RRD est variable. Notons tout de même les aspects suivants :

- les niveaux mesurés à Saint-Timothée se limitent aux valeurs estivales jusqu'aux limites du cycle de vidange entre 1990 et 2005. Les valeurs hivernales ne sont pas comprises dans la base de données. On sait tout de même qu'elles doivent se situer près du niveau hivernal à 26,21 m ;
- des mesures du niveau du réservoir pour un cycle annuel complet ont été enregistrées en 2010 et 2011. Ces mesures sont extrapolées de 2009 à 2012 pour l'analyse des données récentes de piézométrie. Les données extrapolées sont identifiées par une ligne brisée bleue et tiretée sur les graphiques d'auscultation ;
- les déversoirs de jaugeage DJ-CED-740 et DJ-CED-814, situés dans le réservoir Saint-Timothée, sont submergés pendant la période estivale. Les mesures sont seulement prises lorsque le réservoir Saint-Timothée est vidangé.

### 3.4.3.2 Déversoirs de jaugeage

Figure 3.13 –

L'évolution des débits d'infiltration mesurés au RRD amont est montrée à la figure 3.13.

Les mesures ne sont prises que pendant le cycle hivernal, lorsque le réservoir Saint-Timothée est vidangé, ces déversoirs étant submergés le reste du temps. Ces débits ne sont représentatifs des infiltrations que sur une courte portion de la digue où il n'y a pas d'élément étanche.

La même section est aussi auscultée par les piézomètres PZ-3 et PZ-4 dont l'analyse est traitée à la section 3.4.3.3.

**Figure 3.14 –**

L'évolution des débits d'infiltration mesurés au RRD amont est montrée à la figure 3.14 et les débits en fonction du niveau du réservoir des Cèdres sont présentés à la figure 3.15.

Comme pour l'ensemble de déversoirs précédent, la portion représentée par les débits d'infiltration mesurés est relativement courte et les mesures ne sont prises que pendant la période hivernale.

Il n'y a pas d'évolution évidente depuis l'installation des déversoirs. Les débits mesurés varient surtout en fonction du niveau amont.

**Figure 3.15 –**

L'évolution des débits mesurés à l'aval de la jonction Saint-Timothée est montrée à la figure 3.16. Le déversoir DJ-TIM-130-01 est associé au barrage Saint-Timothée, mais possiblement qu'une partie du débit qu'il mesure provient du réservoir des Cèdres.

**Figure 3.16 –**

Les débits ont d'abord été mesurés par le déversoir 1 mis en place à la suite des travaux d'injection de 1971.

Ceci démontre que les débits provenaient essentiellement du réservoir Saint-Timothée

Cela ne veut toutefois pas dire qu'il n'y a pas d'infiltration à travers le masque amont argileux. Le batardeau aval enfoui dans le remblai et discontinu à l'endroit de la jonction Saint-Timothée et de l'ancienne île Bédard concentre les écoulements plus à l'aval, vers le DJ-2281 ainsi qu'à l'amont de la jonction lorsque le réservoir Saint-Timothée est abaissé.

L'évolution des débits d'infiltration mesurés aux déversoirs DJ-CED-2281-01 et DJ-CED-2281-02 est montrée à la figure 3.17.



**Figure 3.17 –**

Les débits estivaux ont beaucoup diminué depuis les travaux d'injection de la jonction, , soit des débits comparables à ceux mesurés l'hiver. C'est donc dire que les débits mesurés depuis 2010, qui excluent ceux provenant du réservoir Saint-Timothée, représentent une partie des débits traversant le RRD aval et sa fondation entre le barrage-poids rive droite et la jonction Saint-Timothée. Ces débits sont relativement faibles compte tenu de la longueur importante de cette section.

**3.4.3.3 Piézomètres**

La figure 3.18 montre la localisation des piézomètres PZ-5 à PZ-9 par rapport à la coupe transversale existante au

La figure 3.19 montre l'évolution des piézomètres PZ-7 à PZ-9, . Cette section est constituée d'enrochement déversé et de remblai tout-venant de chaque côté.

Figure 3.18 –

Les PZ-7A, PZ-8A et PZ-9A, mis en place dans la fondation au contact roc-till, montrent directement le niveau aval sans qu'il y ait perte de charge entre chacun d'entre eux. La totalité de la perte de charge se fait avant l'arrivée au PZ-7A, donc dans le remblai tout-venant mis en place à l'amont.

**Figure 3.19 –**

Les piézomètres PZ-7B, PZ-8B et PZ-9B mis en place dans le remblai montrent aussi le niveau aval, mais seulement au niveau estival. L'abaissement du niveau pour l'hiver diminue évidemment le niveau de la nappe dans le remblai et les piézomètres se retrouvent au-dessus de celle-ci, ils sont donc secs. Le nettoyage des piézomètres ne semble pas avoir eu d'effet marqué sur ceux-ci.

Figure 3.20 –

L'évolution de la piézométrie aux environs représentée par les PZ-5 et PZ-6, est montrée à la figure 3.20. Le niveau du roc à cet endroit, près du niveau aval, est d'environ 31,0 m. Cette section a été construite par déversement d'enrochement, et mise en place ultérieure de remblai tout-venant.

En été, lorsque le niveau aval est à son plus haut près de la cote 35,5m, les PZ-5A et PZ-5B montrent des niveaux très semblables, tout comme les PZ-6A et PZ-6B. La perte de charge se fait donc de l'amont vers l'aval et est constante entre la fondation et le remblai.

Par rapport au niveau hivernal, les pressions interstitielles varient très peu dans le remblai, mais varient dans la fondation, de l'ordre de 1,0 m et 2,5 m respectivement pour les PZ-6A et PZ-5A. En hiver, les gradients sont donc descendants du remblai vers la fondation.

La figure 3.21 montre la localisation des piézomètres PZ-3 et PZ-4 par rapport à la coupe transversale existante au

La figure 3.22 montre l'évolution de la piézométrie, tel que mesuré aux déversoirs DJ-CED-740.

Les niveaux dans le remblai, mesurés par les PZ-3B et PZ-4B, sont constants, variant très peu avec les cycles de vidange du réservoir Saint-Timothée.

Les niveaux mesurés par les PZ-3A et PZ-4A, situés au contact roc-till, sont identiques et légèrement supérieurs à ceux mesurés dans le remblai lors de la portion estivale du cycle du réservoir. La hausse des niveaux en 2007 semble s'être estompée à la suite du nettoyage des instruments en 2011, elle serait donc reliée à un colmatage des crépines.

Figure 3.21 –

**Figure 3.22 –**

Figure 3.23 –



**Figure 3.24 –**

La figure 3.23 montre la localisation des piézomètres PZ-1, PZ-2, PZ-10, PZ-11, PH-07 et PH-08 par rapport à la coupe transversale existante

L'évolution des niveaux piézométriques mesurés est montrée à la figure 3.24.

Bien qu'il n'existe que quelques mesures du niveau dans le PZ-2B, celui-ci est généralement sec, la nappe se situe donc à un niveau inférieur à sa crépine à cet endroit. Le régime d'écoulement est caractérisé par des gradients vers le bas à l'amont de la section et par de légers gradients vers le haut vers l'aval de la section. Le faible écart entre les mesures prises aux PZ-1A et PZ-2A montre que la dissipation vers l'aval est faible dans la fondation et l'écart le plus grand, de l'ordre de 0,5 m, se produit lorsque le réservoir Saint-Timothée est vidangé.

Figure 3.25 –

Les piézomètres PZ-10 et PZ-11, dont l'évolution est montrée à la figure 3.25, sont situés dans le RRD amont, dans le voisinage de l'évacuateur. Rappelons que le RRD amont est caractérisé par l'absence d'élément étanche amont et la présence d'écoulements longitudinaux et transversaux. Les PH-07 et PH-08 sont aussi situés dans le même secteur. Il faut aussi rappeler la présence des vestiges d'un batardeau aval utilisé lors de la reconstruction de l'évacuateur, situés théoriquement autour de la cote 36,6 m et s'étendant sur une quinzaine de mètres vers l'amont dans le corps du barrage.

Les PZ-10A et PZ-11A sont installés dans la fondation, au contact roc-till. Le niveau du roc à cette section, que l'on présume relativement plat, est autour de la cote 32,0 m. Le niveau d'eau maximum à l'aval de cette section est donc autour de 35,5 m en été et l'eau retenue par la topographie à l'aval de la section doit se trouver aux environs de 32 m en hiver. Les pressions interstitielles plus faibles dans la fondation que dans le remblai indiquent un écoulement principalement dans le remblai avec des gradients vers le bas.

Aux PZ-10B et PZ-11B, situés dans le remblai, la dissipation des pressions est sensiblement la même en été qu'en hiver et ne dépend donc pas vraiment du niveau aval. Il semble donc que l'eau dans le remblai s'accumule derrière le batardeau avant de s'écouler soit à travers les sections plus perméables, soit aux extrémités. Une comparaison avec le PH-07A, situé à quelques mètres dans le roc, montre qu'il y a un gradient ascendant à certains endroits dans la fondation rocheuse. Le forage géotechnique TF-07-CED-08 avait d'ailleurs montré des fractures à cet endroit dans le roc et de fortes absorptions.

**Figure 3.26 –**

La figure 3.26 montre l'évolution des piézomètres PH-07 et PH-08, situés dans le RRD amont au voisinage de l'évacuateur du RRD. Les mesures prises au PH-07B ne sont pas valides, elles seront donc exclues de l'analyse.

. Ce piézomètre est installé près de 4 m dans le roc sous la fondation et est le seul de ce secteur à mesurer les pressions dans le roc. Une comparaison avec le PH-10 situé tout près montre qu'il y a un profil de dissipation irrégulier, à cet endroit, et que le régime d'écoulement peut varier très localement.

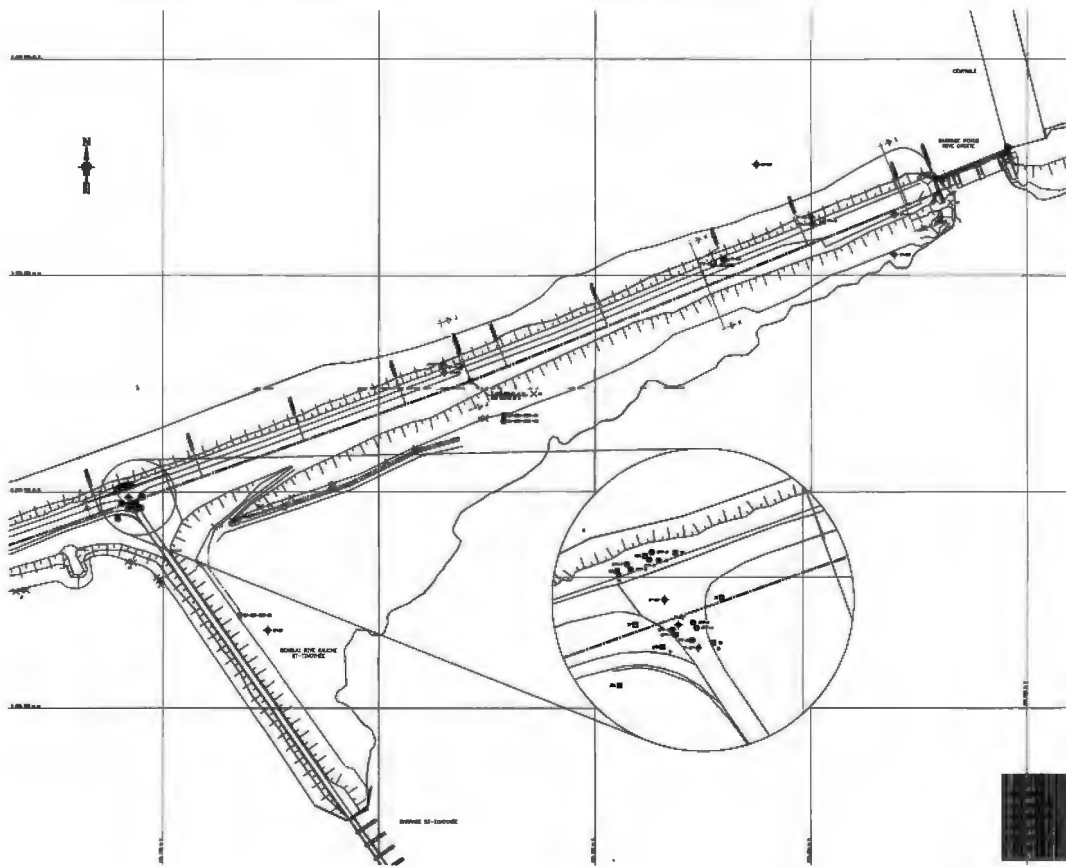
La figure 3.27 montre la localisation des piézomètres PH-04 à PH-06 par rapport à la coupe transversale existante au

La figure 3.28 montre l'évolution de la piézométrie à l'endroit des piézomètres PH-04, PH-05 et PH-06. L'observation de ces résultats permet d'exclure rapidement de l'analyse les données des piézomètres PH-05A et PH-05B, qui donnent tous deux des valeurs supérieures au niveau du réservoir des Cèdres depuis l'automne 2011.

Figure 3.27 –

**Figure 3.28 –**

Figure 3.29 – RRD aval - Localisation des piézomètres C-2, C-3, T-2 à T-8 et PZ-2520



**Figure 3.30 –**

La figure 3.29 montre en plan la localisation des piézomètres C-2, C-3, T-2 à T-8 et PZ-2520.

La figure 3.30 illustre les résultats de la piézométrie dans le RRD aval dans le secteur de la jonction Saint-Timothée. Le C-2 est du côté amont de l'écran d'étanchéité injecté, les C-3 et C-3A sont juste en aval de cet écran et le PZ-2520 est situé plus loin en aval.

Il est clair que les travaux d'injection ont eu pour effet de bloquer les C-3 et C-3A qui ne sont plus fonctionnels. Quant au C-2, bien que les travaux aient directement influencé ses résultats, celui-ci semble fonctionner normalement.

Les niveaux au PZ-2520 sont mesurables depuis le nettoyage de ce piézomètre en 2002. L'augmentation récente semble plutôt reliée à un blocage avec les années qu'à une augmentation en lien avec les travaux d'injection, ce piézomètre se trouvant trop loin à l'aval pour être réellement influencé.

**Figure 3.31 –**

L'évolution de la piézométrie à la jonction Saint-Timothée, du côté aval du RRD aval, est montrée à la figure 3.31.

Les résultats mesurés aux T-3 et T-8, installés à l'aval de la jonction, confirment l'efficacité de l'écran d'étanchéité. Le T-6, installé plutôt du côté du RRD ne montre aucun changement suite à l'injection et les niveaux mesurés l'été en amont de l'écran d'étanchéité ont tendance à être plus élevés qu'avant les travaux d'étanchéisation, ce qui est tout à fait normal.

### 3.4.4 Fréquences d'auscultation

Les fréquences de relevés d'auscultation réalisés au RRD ont été vérifiées en fonction des exigences de la norme SB-60-03-00 d'Hydro-Québec selon le degré de surveillance de cet ouvrage.

	;	;	;	;	;	;	;	;	;	;	;	;	;	;
	.	.	.	;	;	;	;							;



## **3.5 Stabilité et comportement**

## Chapitre 15 – Mesures d'urgence

Ce chapitre présente d'abord une synthèse des résultats des études de rupture de barrages réalisées pour l'aménagement des Cèdres. Il présente ensuite une vérification des dispositifs de sécurité incluant le plan de mesures d'urgence.

### 15.1 Études de rupture de barrage et niveaux de conséquences

En 2012, une étude de bris de barrage a été réalisée pour l'aménagement des Cèdres, soit l'étude d'établissement du niveau de conséquences de rupture des ouvrages de retenue et la détermination de la crue de sécurité. Des scénarios de rupture par temps sec et par temps de crues ont été étudiés afin d'identifier les impacts sur les infrastructures et la population en aval. Celle-ci a été réalisée à l'aide du modèle Telemac-2D.

#### 15.1.1 Rupture du barrage par temps sec

L'étude de rupture par temps sec montre que le débit maximal à la brèche est environ 3 300 m<sup>3</sup>/s lorsque la rupture est initiée au niveau d'exploitation de 40,35 m. Dans le cas de la rupture en condition hydrologique normale, l'étude montre qu'il y a, notamment, plus de 100 résidences ainsi que la prise d'eau municipale des Cèdres qui sont affectées par la rupture. La route nationale 132 est affectée par la rupture. Le niveau de conséquences en vertu de l'application du Règlement sur la sécurité des barrages est « très important ».

#### 15.1.2 Rupture du barrage par temps de crue

Les résultats pour les différents scénarios de crues simulées sont présentées dans le rapport d'étude qui se trouve à l'annexe B.

Les études de rupture en condition de crue montrent qu'il y a, notamment, plus de 100 résidences, la prise d'eau municipale des Cèdres et la route nationale 132 qui sont affectées par la rupture. Le débit de rupture du remblai rive droite du canal des Cèdres est environ de 2 000 m<sup>3</sup>/s. Le niveau de conséquences en vertu de l'application du Règlement sur la sécurité des barrages est « très important ».

### **15.1.3 Niveau de conséquences en cas de rupture**

Le niveau de conséquences en cas de rupture des ouvrages de retenue de l'aménagement des Cèdres a été déterminé étant « très important ». Les détails sont présentés à l'annexe B du présent rapport.

### **15.1.4 Cartes d'inondation**

Les études relatives à la préparation des cartes d'inondation ainsi que les cartes d'inondation de l'aménagement des Cèdres seront réalisées en 2013.

## **15.2**

### 15.2.6 Dispositifs de sécurité et système de détection

Les systèmes d’information et de surveillance mis en place au territoire Beauharnois-Gatineau constituent les principaux moyens pour détecter toute situation anormale ou incident. Ces dispositifs de sécurité sont les suivants :

- Surveillance des barrages à l’aide d’un programme d’inspection rigoureux, d’un dispositif d’auscultation efficace, d’analyses du comportement et d’études de sécurité. Une banque de données informatisée (TDSB) permet de conserver et de consulter l’information en tout temps.
- Surveillance constante des niveaux des réservoirs à l’aide des limnimètres.
- Surveillance des tremblements de terre. Une entente est conclue avec la Commission géologique du Canada (CGC) pour la transmission automatique d’un avis au responsable du centre de téléconduite du réseau (CT) et au personnel de surveillance des barrages à partir d’un séisme d’une magnitude supérieure ou égale à 4 sur l’échelle de Nuttli.
- Surveillance du fonctionnement des évacuateurs à l’aide d’un programme d’essais défini dans le cadre d’une norme interne à Hydro-Québec.
- Mesures de sécurité d’accès contrôlé à l’aménagement.

## 15.3


## Chapitre 16 – Synthèse et conclusions

### 16.1 Synthèse et conclusions sur la sécurité structurale

La synthèse et les conclusions découlant de l'étude de l'évaluation de la sécurité structurale pour chacun des ouvrages de l'aménagement des Cèdres sont présentées ci-dessous.

#### 16.1.1 Remblai rive droite

Le comportement du RRD et son état sont jugés acceptables. Le comportement du RRD est évalué en fonction des résultats des inspections visuelles et des informations relatives à sa conception, sa construction et son exploitation.

Les pentes aval du RRD sont très abruptes par endroits, particulièrement aux jonctions avec les ouvrages de béton et entre les PM 400 et PM 550 du RRD amont. Des écoulements de forte intensité dans le RRD ont été observés aux mêmes endroits. Des venues d'eau de grands débits ont aussi été observées juste à l'amont de la jonction avec le barrage de Saint-Timothée. Ces observations combinées aux résultats d'auscultation ont permis d'identifier le principal mécanisme de défaillance de cet ouvrage, soit la perte de stabilité de la fondation de mort-terrain par érosion de contact. Ce mécanisme est probablement en progression lente, comme la montre l'observation d'une mince plage de matériaux fins au pied du RRD amont, sur une section où l'écoulement à travers l'ouvrage est audible et le régime d'écoulement est probablement turbulent.

Les analyses de stabilité effectuées ont montré que la pente aval du RRD, constituée d'enrochement tout-venant, ne respecte pas les critères de sécurité sur toute la longueur de l'ouvrage. Les sections problématiques se trouvent à proximité des jonctions avec les ouvrages de béton et à la section la plus abrupte du RRD amont.

Pour ce qui est de la pente amont, les analyses de stabilité ont montré que les critères minimaux de stabilité sont rencontrés pour tous les cas de chargement lorsque l'on considère une surface de rupture qui mènerait à la perte du barrage. Néanmoins, les vérifications de la stabilité du masque amont argileux du RRD aval ont permis de démontrer que des ruptures superficielles sont probables en cas de vidange rapide ou de séisme. Advenant ces événements, les conséquences aux instabilités sont limitées à une augmentation des débits d'infiltration. La stabilité de l'ouvrage ne serait pas remise en cause pourvu que les recommandations de le protéger contre l'érosion de contact de sa fondation meuble soient préalablement mises en oeuvre.

Le perré du RRD a été remblayé avec les années et se trouve aujourd'hui sous une couche de remblai tout-venant. L'érosion observée n'est donc pas problématique pour la stabilité de l'ouvrage, puisque le perré est toujours en place. La revanche du RRD est par ailleurs suffisante pour empêcher le déferlement des vagues par-dessus la crête.

L'observation d'affaissements en crête est essentiellement reliée à la nature grossière des matériaux qui forment le massif d'enrochement du RRD. En effet, des remblais plus fins ont été placés en surface à travers les années et ces matériaux sont parfois partiellement emportés dans les vides de l'enrochement sous-jacent, en particulier avec l'infiltration des eaux de ruissellement. Ces affaissements ne sont pas le signe d'érosion interne ou d'instabilité de l'ouvrage, mais peuvent tout de même présenter un risque pour les piétons.

Des interventions seront nécessaires pour contrer les principaux mécanismes de défaillance, à savoir l'érosion de contact de la fondation de mort-terrain et la stabilité des pentes aux endroits critiques, notamment aux jonctions avec les ouvrages de béton.

### 16.1.2 Évacuateur du remblai rive droite

L'évacuateur du remblai rive droite est en bonne condition.

Les résultats de l'inspection de l'évacuateur n'ont révélé aucune anomalie qui peut compromettre l'intégrité structurale ou la sécurité de l'ouvrage. Les fissures observées sur les parois exposées sont de très faibles ouvertures et n'affectent pas le bon comportement global de l'évacuateur. Aucun équipement d'auscultation n'est cependant installé sur l'ouvrage.

L'analyse de la stabilité, effectuée pour un plot typique incluant le pilier et le coursier avec le béton de masse érigé dans la partie aval des six passes, avec les données actualisées a montré que l'évacuateur est stable. Le comportement de l'évacuateur du remblai rive droite est adéquat.

### 16.1.3 Barrage-poids rive droite

Le barrage-poids rive droite est en condition satisfaisante, mis à part la détérioration avancée du béton de surface observée sur les parois aval du pilier 1 et dans la partie supérieure de la culée gauche.

Les résultats de l'inspection du barrage n'ont révélé aucune anomalie qui peut compromettre l'intégrité structurale ou la sécurité de l'ouvrage. Les fissures observées sur les parois exposées sont, en général, de faibles ouvertures et n'affectent pas le bon comportement global du barrage. Selon les informations obtenues

de l'unité BOGC, on rapporte que la détérioration observée du béton, sur les parois aval du pilier 1 et dans la partie supérieure de la culée gauche, a été jugée esthétique (non structurale) et n'a pas été réparée volontairement lors des travaux de réfection en 2010 et que sa détérioration future ne causera jamais de problème d'instabilité ou de sécurité. Aucun équipement d'auscultation n'est installé sur l'ouvrage.

L'analyse de la stabilité avec les données actualisées, effectuée pour la section la plus critique incluant le pilier 11 et le coursier avec le béton de masse érigé dans la partie amont des passes, a montré que le barrage est considéré comme stable. L'efficacité des drains de fondation situés dans les passes 11, 12 et 13 doit cependant être maintenue au moins à 35 % pour assurer la sécurité structurale. Le comportement du barrage-poids rive droite est satisfaisant.

# **Sommaire du plan de gestion des eaux retenues**

## **Aménagement Les Cèdres**

**Vice-présidence – Exploitation des équipements de production**

**Décembre 2012**

### **3 Mode d'exploitation de l'aménagement Les Cèdres**

Le défi principal que présente la gestion de la centrale Les Cèdres est de produire l'électricité de façon optimale sous une grande variété des conditions.

Un plan d'eau unique relie les évacuateurs à l'Île-Juillet à la centrale Les Cèdres. Les cotes d'exploitation sont identiques pour les deux sites, mais étant donné que le bief aval pour chaque site est différent (bassin Saint Timothée pour Île-Juillet et bassin Pointe- du-Buisson pour la centrale des Cèdres), les deux sites sont maintenus comme entités différents dans le plan de gestion des eaux de retenues.

#### Évacuateurs de l'Île-Juillet

La gestion du bief amont est faite avec le limnimètre Île-Juillet, sous réserve que lors de débits élevés (pertes de charge importantes entre Île-Juillet et Ferry), le niveau à Ferry de                    ne doit pas être dépassé. Dans ce cas, le niveau à Île-Juillet sera abaissé pour ne pas dépasser                    à Ferry.

En tout temps, avant de déverser à l'évacuateur de l'Île Juillet, l'exploitant doit s'assurer qu'un débit correspondant peut être déversé par la suite à l'ouvrage de St-Timothée.

#### Centrale des Cèdres

La centrale des Cèdres doit être exploitée en fonction du niveau d'eau mesuré au limnimètre de l'Île Juillet. Généralement, le niveau d'eau doit être maintenu le plus près possible de                    sans le dépasser. Pour les besoins des riverains en été, il est requis de maintenir les niveaux aussi stables que possible à l'Île Juillet.

La section suivante présente les contraintes d'exploitation en période normale et en période de crues, relativement à la sécurité des personnes et des biens qui sont en amont et à l'aval immédiat de l'aménagement des Cèdres. Elle traite des contraintes générales et spécifiques concernant l'Île-Juillet et la centrale des Cèdres, qui permettent de gérer les impacts à l'amont de l'aménagement. Elle traite également des contraintes spécifiques ayant trait aux débits et niveaux à l'aval de l'aménagement, contraintes qui permettent de gérer les impacts à l'aval immédiat de celui-ci.

#### **3.1 Contraintes générales liées à la gestion du bief amont**

Les contraintes générales liées à la gestion du bief amont Les Cèdres et l'Île-Juillet définissent les niveaux maximal et minimal à respecter dans l'exploitation courante



Niveau amont (m)		Remarques
Maximal critique	40,50	Conception.
Maximal d'exploitation	40,35	Conception
Minimal d'exploitation en été	40,20	Du 31 mars au 1 <sup>er</sup> décembre
Minimal d'exploitation en hiver	39,20	Du 1 <sup>er</sup> décembre au 31 mars
Minimal critique d'exploitation	39,00	Conception,

### **3.2 Contraintes spécifiques liées à la gestion du bief amont**

Il n'y a pas de contrainte spécifique liée à la gestion des niveaux au bief amont.

### **3.3 Contraintes spécifiques liées à la gestion aval**

Il n'y a pas de contrainte liée à la gestion aval de l'aménagement Les Cèdres.

### **3.4 Contraintes particulières**

Il n'y a pas de contrainte particulière concernant l'aménagement Les Cèdres.

### **3.5 Seuil d'inondation**

Il n'y a pas un seuil d'inondation à l'aménagement des Cèdres.