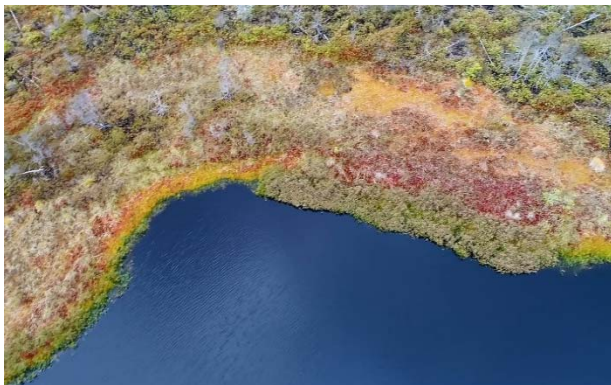




MINE DE LITHIUM BAIE JAMES

ÉTUDE SPÉCIALISÉE EN HYDROLOGIE

AOÛT 2018





MINE DE LITHIUM BAIE JAMES
ÉTUDE SPÉCIALISÉE EN HYDROLOGIE
GALAXY LITHIUM (CANADA) INC.

VERSION FINALE

PROJET N° : 171-02562-00
DATE : AOÛT 2018

WSP CANADA INC.
16E ÉTAGE
1600, BOUL. RENÉ-LÉVESQUE OUEST
MONTRÉAL (QUÉBEC) H3H 1P9
CANADA

T: +1 514 340-0046
F: +1 514 340-1337
WSP.COM

SIGNATURES

PRÉPARÉ PAR



Florent Sabarly, ing. jr., M. Sc. A. (OIQ #5016946)
Ingénieur de projet

Le 2 août 2018

Date

RÉVISÉ PAR



Elsa Sormain, ing., M. Sc. (OIQ #5040590)
Directrice de l'étude

Le 2 août 2018

Date

APPROUVÉ PAR



Andréanne Boisvert, M.A.
Directrice du projet

Le 2 août 2018

Date

Le présent rapport a été préparé par WSP Canada inc. pour le compte de Galaxy Lithium (Canada) inc. conformément à l'entente de services professionnels. La divulgation de tout renseignement faisant partie du présent rapport incombe uniquement au destinataire prévu. Son contenu reflète le meilleur jugement de WSP Canada inc. à la lumière des informations disponibles au moment de la préparation du rapport. Toute utilisation que pourrait en faire une tierce partie ou toute référence ou toutes décisions en découlant sont l'entière responsabilité de ladite tierce partie. WSP Canada inc. n'accepte aucune responsabilité quant aux dommages, s'il en était, que pourrait subir une tierce partie à la suite d'une décision ou d'un geste basé sur le présent rapport. Cet énoncé de limitation fait partie du présent rapport.

L'original du document technologique que nous vous transmettons a été authentifié et sera conservé par WSP pour une période minimale de dix ans. Étant donné que le fichier transmis n'est plus sous le contrôle de WSP et que son intégrité n'est pas assurée, aucune garantie n'est donnée sur les modifications ultérieures qui peuvent y être apportées.

ÉQUIPE DE RÉALISATION

GALAXY LITHIUM (CANADA) INC. (GALAXY)

Directeur général Canada Denis Couture, ing.

Directrice SSE Gail Amyot, ing. M.Sc

WSP CANADA INC. (WSP)

Directrice du projet Andréanne Boisvert, M.A.

Directrice de l'étude Elsa Sormain, ing. M. Sc.

Principaux collaborateurs
Leila Ouahit, ing. M. Sc.
Florent Sabarly, ing. jr., M. Sc. A.

Relevés de terrain
Alexandre Paradis, techn.
Benoit Chabot, techn.
Charles Desgagnés, techn.

Cartographie Annie Masson, D.E.C.

Édition Nancy Laurent, D.E.C.

TABLE DES MATIÈRES

1	MISE EN CONTEXTE	1
2	MÉTHODOLOGIE	3
2.1	Caractérisation de la zone d'étude	3
2.2	Données disponibles	4
2.2.1	Campagne de relevés	4
2.2.2	Topographie et pédologie des bassins versants	4
2.2.3	Données hydrométriques	7
2.2.4	Données pluviométriques	7
2.3	Régime hydrologique	8
2.3.1	Estimation des débits moyens mensuels	8
2.3.2	Estimation des débits de crue	11
2.3.3	Estimation des débits d'étiage	12
2.4	Régime hydraulique	14
2.4.1	Modèle hec-ras	14
2.4.2	Étalonnage des modèles	14
3	RÉSULTATS	17
3.1	Hydrométrie	17
3.2	Hydrologie	18
3.2.1	Débits moyens mensuels	18
3.2.2	Débits de crue	19
3.2.3	Débits d'étiage	19
3.3	Hydraulique	20
3.3.1	Résultats de la calibration	20
3.3.2	Estimation des niveaux d'eau	27

4	CONCLUSION	35
5	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	37

TABLEAUX

TABLEAU 1 :	CARACTÉRISTIQUES DES BASSINS VERSANTS AU DROIT DES SONDES À NIVEAUX INSTALLÉES EN 2017.....	3
TABLEAU 2 :	SUPERFICIES DES BASSINS VERSANTS DES COURS D'EAU ÉTUDIÉS DE LA ZONE D'ÉTUDE	3
TABLEAU 3 :	STATIONS HYDROMÉTRIQUES	7
TABLEAU 4 :	DÉBITS MOYENS MENSUELS DE LA STATION DE RÉFÉRENCE DE LA RIVIÈRE À L'EAU CLAIRE.....	11
TABLEAU 5 :	DÉBITS JOURNALIERS DE CRUE DE LA STATION DE RÉFÉRENCE DE LA RIVIÈRE À L'EAU CLAIRE.....	12
TABLEAU 6 :	DÉBITS D'ÉTIAGE SPÉCIFIQUES (L/S/KM ²) POUR LES STATIONS DE RÉFÉRENCE DE LA RIVIÈRE À L'EAU CLAIRE ET DE LA RIVIÈRE SAINT-LOUIS	13
TABLEAU 7 :	ÉQUATION DU DÉBIT (L/S) EN FONCTION DE LA SUPERFICIE DRAINÉE (KM ²) D'APRÈS LA MÉTHODE DE RÉGRESSION LINÉAIRE DU MDDELCC	13
TABLEAU 8 :	JAUGEAGES RÉALISÉS LORS DE L'ÉTÉ 2017	18
TABLEAU 9 :	DÉBITS MOYENS MENSUELS (L/S) ESTIMÉS DANS LES COURS D'EAU À L'ÉTUDE	19
TABLEAU 10 :	DÉBITS DE CRUE ESTIMÉS (M ³ /S) DANS LES COURS D'EAU À L'ÉTUDE.....	19
TABLEAU 11 :	DÉBITS D'ÉTIAGE ESTIMÉS (L/S) DANS LES COURS D'EAU À L'ÉTUDE.....	20

FIGURES

FIGURE 1 :	DÉBITS MOYENS MENSUELS SPÉCIFIQUES POUR PLUSIEURS STATIONS HYDROMÉTRIQUES AUTOUR DE LA ZONE D'ÉTUDE	8
------------	--	---

FIGURE 2 :	RELATION NIVEAU – DÉBIT DU COURS D'EAU CE3 AU DROIT DE LA SONDE S3.....	17
FIGURE 3 :	RÉSULTATS DE CALIBRATION – NIVEAUX D'EAU SIMULÉS ET MESURÉS SUR LE COURS D'EAU CE2.....	21
FIGURE 4 :	RÉSULTATS DE CALIBRATION – NIVEAUX D'EAU SIMULÉS ET MESURÉS SUR LE COURS D'EAU CE3.....	23
FIGURE 5 :	RÉSULTATS DE CALIBRATION – NIVEAUX D'EAU SIMULÉS ET MESURÉS SUR LE COURS D'EAU CE4.....	25
FIGURE 6 :	NIVEAUX D'EAU SIMULÉS EN CONDITIONS ACTUELLES SUR LE COURS D'EAU CE2 POUR LE DÉBIT MOYEN DE JUIN, LES DÉBITS DE CRUE 2 ANS ET 100 ANS, ET POUR LE DÉBIT D'ÉTIAGE Q2,7 ESTIVAL	29
FIGURE 7 :	NIVEAUX D'EAU SIMULÉS EN CONDITIONS ACTUELLES SUR LE COURS D'EAU CE3 POUR LE DÉBIT MOYEN DE JUIN, LES DÉBITS DE CRUE 2 ANS ET 100 ANS, ET POUR LE DÉBIT D'ÉTIAGE Q2,7 ESTIVAL	31
FIGURE 8 :	NIVEAUX D'EAU SIMULÉS EN CONDITIONS ACTUELLES SUR LE COURS D'EAU CE4 POUR LE DÉBIT MOYEN DE JUIN, LES DÉBITS DE CRUE 2 ANS ET 100 ANS, ET POUR LE DÉBIT D'ÉTIAGE Q2,7 ESTIVAL	33

CARTES

CARTE 1 :	LOCALISATION RÉGIONALE DU SITE MINIER	2
CARTE 2 :	DÉLIMITATION DES BASSINS VERSANTS À L'EXUTOIRE DES COURS D'EAU À L'ÉTUDE, DANS LES CONDITIONS ACTUELLES	5
CARTE 3 :	LOCALISATION DES STATIONS HYDROMÉTRIQUES	9
CARTE 4 :	MODÈLE HYDRAULIQUE.....	15

ANNEXES

A	ANNEXE PHOTOGRAPHIQUE
B	DONNÉES DE LA CAMPAGNE DE TERRAIN

1 MISE EN CONTEXTE

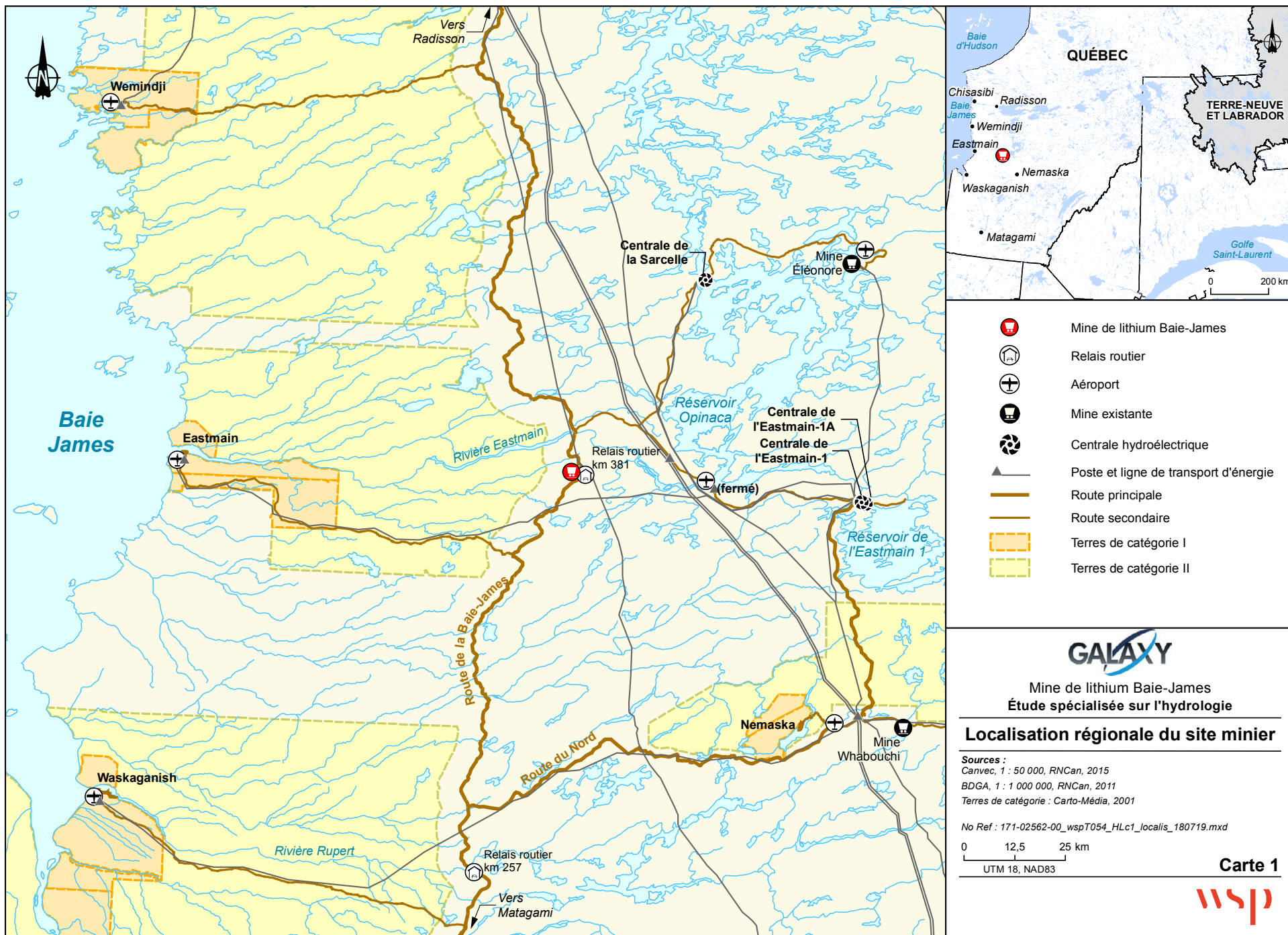
Galaxy Lithium (Canada) inc. (Galaxy) est une filiale de Galaxy Resources Limited, une importante société minière sur le marché du lithium. Actuellement, Galaxy Resources Limited exploite une mine de spodumène en Australie et deux projets sont en développement, un au Québec et l'autre en Argentine.

Galaxy agit à titre d'initiateur du projet mine de lithium Baie-James situé dans la région administrative du Nord-du-Québec. Le site minier à l'étude se trouve à environ 10 km au sud de la rivière Eastmain et à quelque 100 km à l'est de la baie James, à la même latitude que le village cri d'Eastmain (carte 1). La propriété minière (claims) de Galaxy se trouve sur des terres de catégorie III selon la Convention de la Baie James et du Nord québécois (CBJNQ). Les terres sous claims miniers sont facilement accessibles par la route de la Baie-James qui traverse la propriété à proximité du relais routier du km 381.

Le projet prévoit l'exploitation d'une fosse de façon conventionnelle d'où environ 2 Mt par année de pegmatites à spodumène seront extraites pour ensuite être dirigées vers un concentrateur. Outre ces installations, le site accueillera notamment des aires d'accumulation (mort-terrain, terre végétale, stériles/résidus, minerai, concentré), des bassins de rétention, une unité de traitement d'eau, des bâtiments administratifs, un campement pour les travailleurs, des ateliers et entrepôts, ainsi qu'un dépôt d'explosifs. La période d'exploitation prévue est de 16 ans.

Le projet mine de lithium Baie-James est assujéti à la procédure provinciale d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement, tel que prévu à l'article 153 du chapitre II de la *Loi sur la qualité de l'environnement* (LQE). L'annexe A de la LQE liste les projets obligatoirement soumis à la procédure d'évaluation et d'examen, dont « tout projet minier, y compris l'agrandissement, la transformation ou la modification d'une exploitation minière existante ». Conjointement à la LQE, l'annexe 1 du chapitre 22 de la CBJNQ dresse une liste de projets soumis au processus d'évaluation, dont les projets d'exploitation minière. Le projet est également assujéti à une évaluation environnementale fédérale, comme prévu à l'article 13 de la *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale* (2012) (L.C. 2012, ch. 19, art. 52), puisque l'extraction de minerai dépassera 3 000 t/jour (article 16(a)) et que la capacité de l'usine de concentration dépassera 4 000 t/jour (article 16(b) du *Règlement désignant les activités concrètes* (DORS/2012-147)).

Galaxy a fait appel à WSP Canada inc. (WSP) afin de l'accompagner dans la réalisation d'une étude d'impact sur l'environnement pour ce projet. WSP a donc documenté l'état de référence de l'hydrologie sur le territoire à l'étude. Le présent rapport fait état de ces résultats.



2 MÉTHODOLOGIE

2.1 CARACTÉRISATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude se situe à l'intérieur du bassin versant de la rivière Eastmain, d'une superficie d'environ 46 000 km². La zone d'étude comprend le relais routier du km 381 de la route de la Baie-James, et inclut six cours d'eau nommés CE1 à CE6 pour les besoins de l'étude. Les cours d'eau CE1, CE2 et CE6 s'écoulent vers l'ouest en direction de la rivière Miskimatao, qui rejoint ensuite la rivière Eastmain. Les cours d'eau CE3, CE4 et CE5 s'écoulent quant à eux vers l'est, pour rejoindre la rivière Eastmain.

Les bassins versants de la zone d'étude sont non développés, de très petite taille, de pente très faible, et comprennent de nombreux milieux humides et tourbières qui opèrent un laminage significatif sur les débits des cours d'eau. Pour fin d'interprétation des données recueillies sur le terrain, les bassins versants au droit des sondes à niveaux installées durant l'été 2017 ont été caractérisés, et le tableau 1 présente ces caractéristiques. Le tableau 2 présente les superficies des bassins versants totaux des 6 cours d'eau à l'étude et la carte 2 les illustre. Des photos des cours d'eau sont disponibles à l'annexe A.

Tableau 1 : Caractéristiques des bassins versants au droit des sondes à niveaux installées en 2017

	S1	S2	S3	S4	S5
Superficie (km ²)	7,6	8,9	5,9	1,2	19,9
Superficie milieux humides (%)	41	58	27	8	30
Superficie lacs (%)	1	0	5	1	2
Longueur du cours d'eau principal (m)	6 224	6 770	6 515	1 673	9 041
Pente cours d'eau (%)	0,06	0,30	0,16	0,88	0,37

Tableau 2 : Superficies des bassins versants des cours d'eau étudiés de la zone d'étude

Nom	Superficie (km ²)
Partie nord-ouest (CE1+CE2+CE6)	20,36
CE1	7,63
CE2	9,07
CE6	3,11
Partie sud-est (CE3+CE4+CE5)	48,76
CE3	10,33
CE4	3,03
CE5	27,01

2.2 DONNÉES DISPONIBLES

2.2.1 CAMPAGNE DE RELEVÉS

Une campagne de relevés de terrain a été réalisée à l'été 2017 afin de caractériser cinq cours d'eau dans la zone d'étude. L'équipe d'hydrométrie/bathymétrie de WSP s'est mobilisée une première fois du 26 au 29 juin 2017. Les travaux suivants ont été réalisés au cours de cette visite :

- Installation d'une sonde à niveau dans les cours d'eau CE2, CE3, CE4 et CE5. Malheureusement, en raison des conditions très difficiles d'accès aux sites CE2 et CE1, il n'a pas été possible d'installer la sonde dans le cours d'eau CE1 comme prévu lors de cette visite;
- Jaugeages (mesure du débit) dans les cours d'eau CE2, CE3, CE4 et CE5 au droit de chacune des sondes installées;
- Installation d'une sonde barométrique et d'un pluviomètre sur le site, à proximité de la sonde du cours d'eau CE4.

La seconde mobilisation a été réalisée les 30 et 31 août 2017, et a consisté en les travaux suivants :

- Installation d'une sonde à niveau dans le cours d'eau CE1;
- Jaugeages (mesure du débit) au droit des sondes installées;
- Relevés de niveaux d'eau et jaugeage du débit pour chaque site.

La dernière mobilisation a eu lieu du 3 au 8 octobre 2017, afin d'effectuer des jaugeages supplémentaires et de récupérer les équipements. Plus spécifiquement, les travaux suivants ont été réalisés lors de cette campagne :

- Jaugeages (mesure du débit) dans les cinq cours d'eau à l'étude, au droit des sondes installées;
- Relevés bathymétriques du lac Asiyan Akwakwatipusich;
- Relevés de quelques sections bathymétriques dans les cours d'eau CE3 et CE5. À noter qu'en raison des conditions très difficiles d'accès à toute la partie amont de ces cours d'eau, toutes les sections prévues n'ont pas pu être relevées;
- Démantèlement des sondes, du pluviomètre et du baromètre;
- Des captures vidéo ont aussi été réalisées à cette période par drone sur les cours d'eau CE1, CE2, CE3, CE4 et CE5.

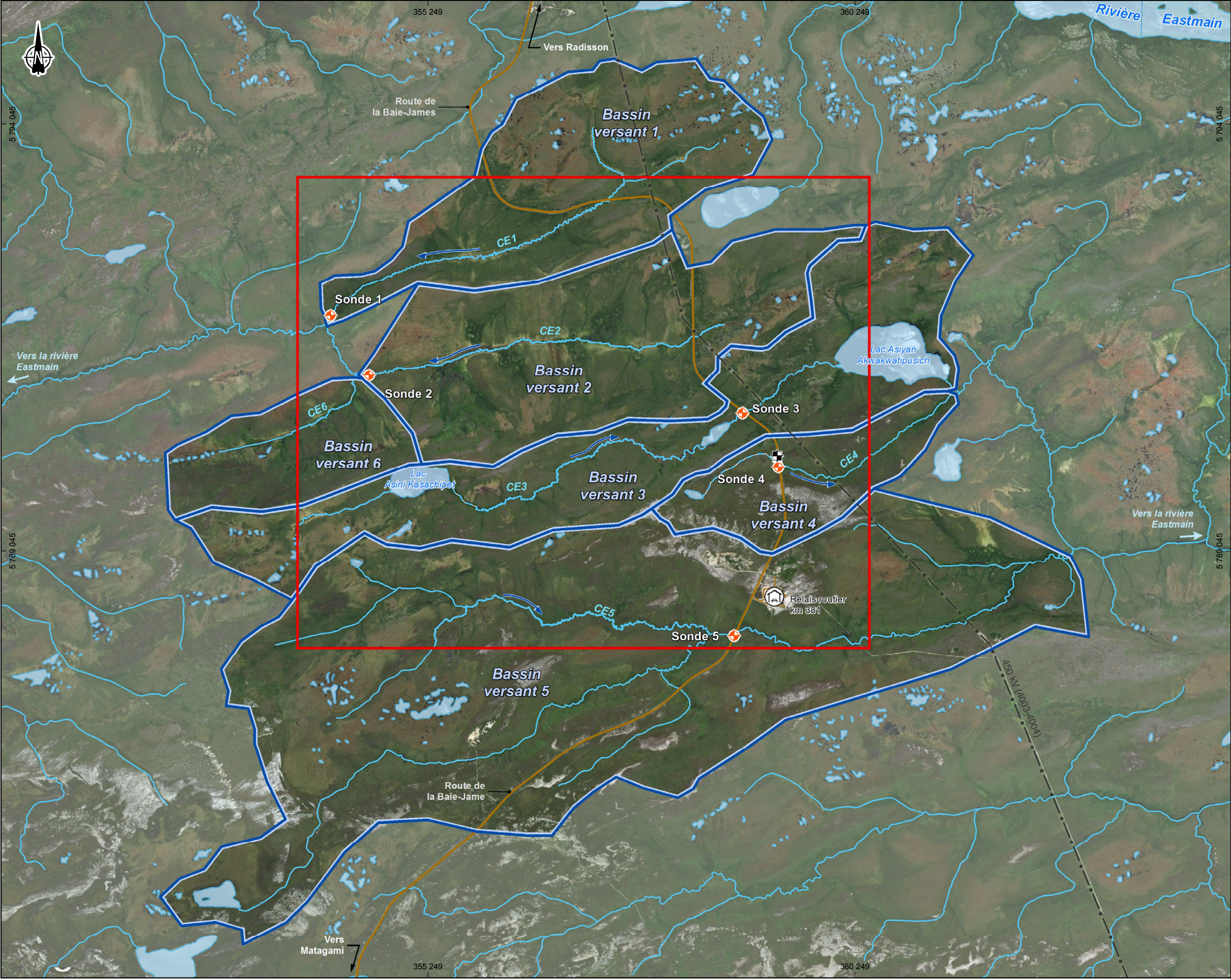
À la suite de l'évolution du projet ainsi que des études associées, une deuxième campagne de terrain a été réalisée à l'été 2018 afin d'effectuer des relevés de sections et des jaugeages supplémentaires. Plus spécifiquement, les travaux suivants ont été réalisés lors de cette campagne :

- Jaugeages (mesure du débit) dans les cours d'eau CE2, CE3, CE4 et CE6;
- Relevée d'une ligne d'eau (niveaux d'eau) dans les cours d'eau CE2, CE3 et CE4;
- Relevés de sections bathymétriques dans les cours d'eau CE2, CE3 et CE4.

À noter qu'en raison des conditions d'accès très difficiles sur le terrain, et malgré l'équipement prévu (Argos, embarcation, kayak, cuissarde, etc.), il n'a pas toujours été possible de réaliser toutes les mesures prévues.

2.2.2 TOPOGRAPHIE ET PÉDOLOGIE DES BASSINS VERSANTS

Les cartes topographiques utilisées proviennent des données cartographiques numériques publiées par le ministère des Ressources naturelles du Canada (feuillets 33C03202 et 33C06102). De plus, afin de raffiner l'analyse, un relevé Lidar et des orthophotographies ont été utilisés dans la délimitation et la caractérisation des bassins versants. Enfin, des vidéos de survol de certains cours d'eau par drone ont également été utilisées.



Zone d'étude locale

Hydrographie

Bassin versant

Cours d'eau permanent

Cours d'eau à écoulement diffus ou intermittent

Sens d'écoulement de l'eau

Instruments

Pluviomètre

Sonde à niveaux

Infrastructures

Route principale

Route d'accès

Ligne de transport d'énergie

Relais routier



Mine de lithium Baie-James

Étude sectorielle sur l'hydrologie

Bassins versants aux conditions actuelles

Sources :
Image, Bing Maps Aerial
Inventaire WSP 2018

No Ref : 171-02562-00_wspT055_HLc2_hydrologie_180730.mxd

0450900

0

450

900 m

UTM 18, NAD83

Carte 2



2.2.3 DONNÉES HYDROMÉTRIQUES

Une recherche de petits bassins versants jaugés par le Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) sur une période d'au moins 10 ans a été réalisée sur le territoire de la Baie-James, dans la région hydrologique 09, soit celle de la zone d'étude. Plusieurs stations hydrométriques du CEHQ sont localisées à proximité de la zone d'étude. Cependant, ce sont principalement des rivières avec un bassin versant beaucoup plus grand que ceux à l'étude. Le tableau 3 présente les stations hydrométriques présentant au moins 10 années de données dans un rayon d'environ 200 km autour de la zone d'étude. Ces stations sont également représentées sur la carte 3. À noter que la station Saint-Louis a été incluse à ce tableau, en raison de la taille intéressante de son bassin versant, malgré son éloignement par rapport à la zone d'étude. Malheureusement, aucune de ces stations n'est encore en activité, il est donc impossible de valider directement les débits relevés sur le terrain à l'aide d'une station de référence.

Tableau 3 : Stations hydrométriques

Rivière	Id. CEHQ	Id. EC	Superficie BV (km ²)	Distance du site à l'étude	Période d'enregistrement
Anistuwach	093302	03EE003	4370	253	1981 - 1993
Saint Louis	040212	02LC043	40	685	1970 - 2007
Rapin	090603	03CC002	86	12	1959-1972
Eastmain	090601	03CC001	44300	67	1958-1980
Eastmain	090602	03CB001	27700	75	1959-1980
Eau Claire	090605	03CB003	1870	82	1961-1981
Pontax	081101	03BF001	6020	105	1976-2010
Giard	090606	03CD001	1970	87	1960-1976
Gipouloux	090607	03CE001	3390	75	1959-1980
Opinaca Reservoir	090609	03CD002	3700	90	1959-1976

Les stations 090601 et 090602 sur la rivière Eastmain possèdent des bassins versants environ 2 000 à 4 000 fois plus grands que les bassins versants des cours d'eau analysés. Ainsi, il n'est pas possible d'utiliser ces stations pour l'estimation des différents débits. De la même façon, les stations Opinaca Réservoir, Rivière Gipouloux, Pontax et Anistuwach présentent également des bassins versants de dimensions trop importantes pour être utilisées dans l'estimation des débits caractéristiques des ruisseaux à l'étude. Les enregistrements des stations Ruisseau Rapin et Rivière Giard contiennent de longues séries de données manquantes, par conséquent elles ne peuvent pas être utilisées pour l'estimation des débits caractéristiques.

Pour la présente étude, la station la plus représentative paraît donc être la station de la rivière à l'Eau Claire, localisée à 80 km environ de la zone d'étude, présentant vingt années de données avec un bassin versant environ 100 à 300 fois plus grand que ceux analysés. La station Saint-Louis a également été utilisée à titre comparatif, notamment pour la détermination des débits d'étiage, en raison de la taille de son bassin versant, plus représentative des cours d'eau à l'étude. Elle est cependant moins représentative des bassins versants à l'étude, de par son fort éloignement (plus au sud) dans une zone avec un relief beaucoup plus prononcé avec significativement moins de milieux humides.

2.2.4 DONNÉES PLUVIOMÉTRIQUES

Les courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF) sont issues des données d'Environnement Canada (mises à jour en 2014) traitées à l'aide du logiciel AquaIDF (Aqua Praxis, 2013). La station retenue dans le cadre de cette étude est celle de La Grande Rivière A (7093715), localisée à environ 150 km de la zone d'étude et qui a enregistré 20 années de données entre 1977 et 2005. Cette station est montrée à la carte 3. À noter qu'il existe d'autres stations

météorologiques plus proches du site à l'étude, comme les stations Eastmain ou Rupert par exemple, mais dont les courbes IDF ne sont pas disponibles et qui ont parfois enregistré des données sur des périodes beaucoup plus courtes.

2.3 RÉGIME HYDROLOGIQUE

2.3.1 ESTIMATION DES DÉBITS MOYENS MENSUELS

Puisque les données recueillies sur le site ne couvrent que l'été 2017, il est nécessaire d'avoir recours à de plus longues séries de données pour établir les débits moyens des cours d'eau de la zone d'étude. À cette fin, les débits moyens mensuels sont calculés par transfert de bassin versant à partir des débits jaugés d'une rivière à proximité. Dans le présent mandat, la série de données provenant de la station 090605 (à l'Eau Claire) a été utilisée pour estimer les débits moyens mensuels des bassins versants à l'étude. De plus, les séries de données des stations 093302 (Anistuwach), 090607 (Gipouloux) et 040212 (Saint-Louis) ont aussi été analysées à titre de comparaison.

La figure 1 présente l'hydrogramme spécifique (par unité de surface) moyen calculé à partir des données des quatre stations analysées. On peut constater que pour les trois stations les plus proches de la zone d'étude, le régime d'écoulement est caractérisé par un étiage très sévère en hiver, une crue printanière dont la pointe survient fin mai, suivie d'une baisse du débit. Le débit moyen estival est soutenu avec une valeur autour de la moyenne interannuelle jusqu'en octobre, début de la période de gel. En revanche, le comportement de la station Saint-Louis est différent, avec un étiage hivernal moins soutenu, une crue printanière plus forte et plus hâtive dont la pointe arrive dès le mois d'avril, et un étiage estival plus marqué. Ceci s'explique en partie par le fait que le bassin versant de la station de la rivière Saint-Louis est plus petit et donc plus réactif, mais aussi par le fait que cette station est localisée plus au sud que les autres, dans une région avec beaucoup plus de relief et moins de milieux humides, ce qui tend à donner des pointes et des étiages estivaux plus marqués.

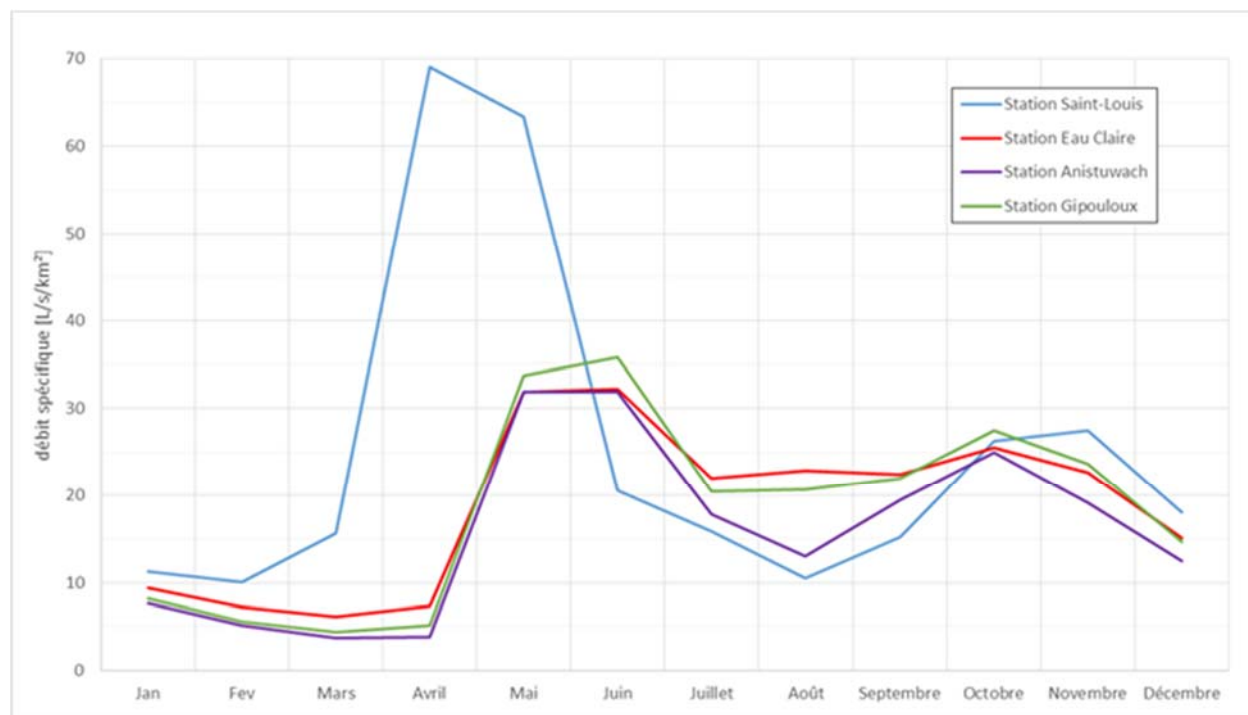
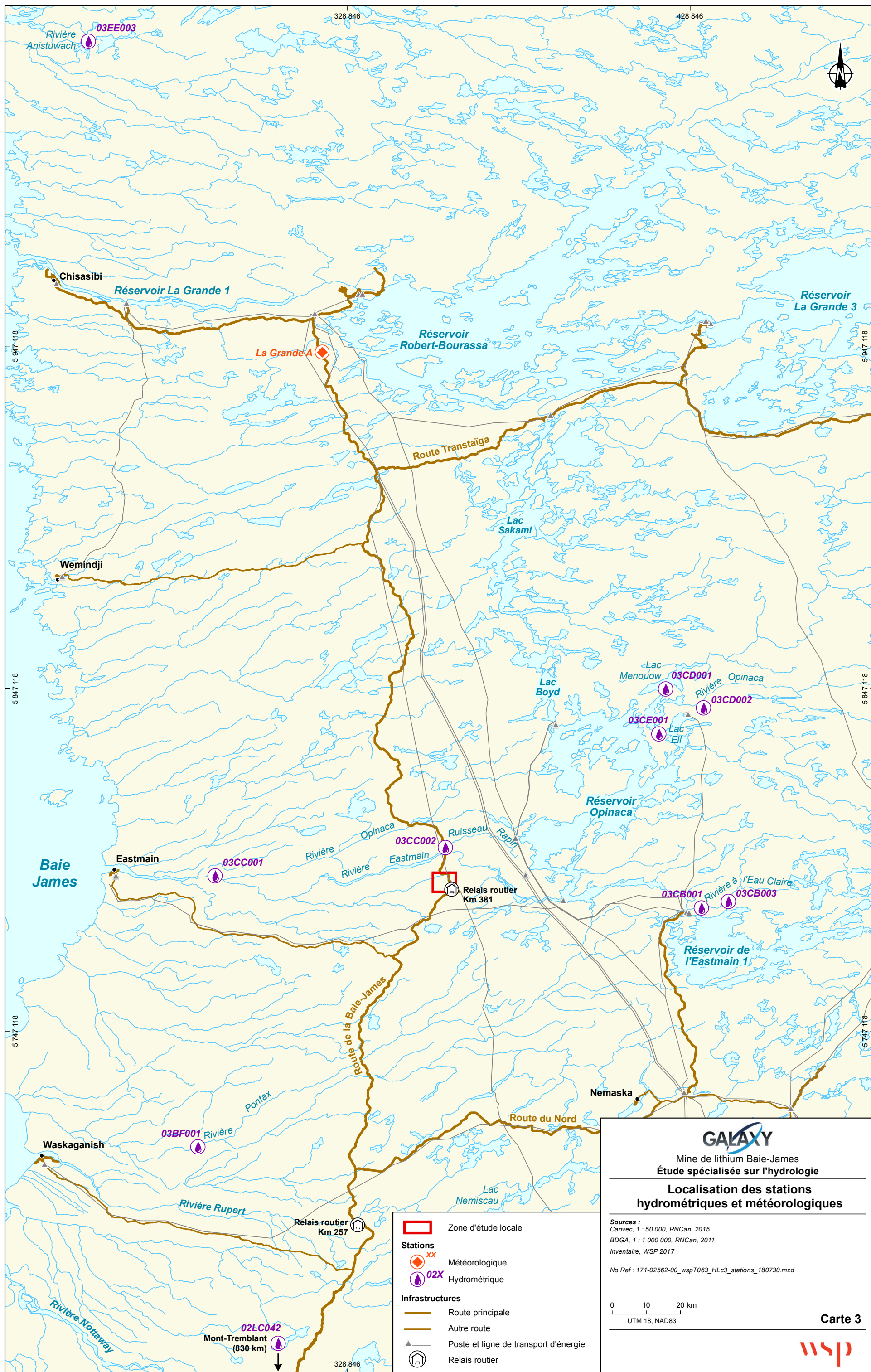


Figure 1 : Débits moyens mensuels spécifiques pour plusieurs stations hydrométriques autour de la zone d'étude



Compte tenu des caractéristiques physiques du bassin versant de la rivière Saint Louis comparativement aux bassins versants à l'étude, ainsi que de sa localisation, elle n'est pas jugée très représentative pour l'analyse des débits moyens mensuelle. De plus, une comparaison avec les débits de crue obtenus par la méthode rationnelle, détaillés dans la suite du rapport, semble confirmer que les débits moyens printaniers obtenus avec la station Saint-Louis sont surestimés. La station Saint-Louis n'a donc pas été retenue, bien que la superficie du bassin versant soit plus représentative.

Pour l'estimation des débits moyens mensuels dans les cours d'eau à l'étude, il a donc été décidé de retenir la station de la rivière à l'Eau Claire. Le tableau 4 présente les débits moyens mensuels à cette station.

Tableau 4 : Débits moyens mensuels de la station de référence de la rivière à l'Eau Claire

Mois	Débit moyen (m³/s)	Débit moyen spécifique (L/s/km²)
Janvier	17,6	9,4
Février	13,5	7,2
Mars	11,4	6,1
Avril	13,6	7,3
Mai	59,5	31,8
Juin	60,2	32,2
Juillet	41,1	22,0
Août	42,7	22,8
Septembre	41,9	22,4
Octobre	47,8	25,6
Novembre	42,4	22,7
Décembre	28,2	15,1
Annuel	35,0	18,7

2.3.2 ESTIMATION DES DÉBITS DE CRUE

2.3.2.1 MÉTHODE RATIONNELLE

La méthode rationnelle, telle que décrite dans le Manuel de conception des ponceaux (MTQ, 2014), a été utilisée pour calculer les débits de pointe de crue des bassins versants des ruisseaux à l'étude. Il s'agit en effet d'une méthode d'estimation des débits de crue appropriée pour des bassins versants de dimensions inférieures à 25 km². L'équation à la base de cette méthode a la forme suivante :

$$Q = 0,278 * C * F_L * I * A$$

Où :

- Q : est le débit de pointe (m³/s);
- C : est le coefficient de ruissellement;
- F_L : est un coefficient de laminage;
- I : est l'intensité des précipitations (mm/h);
- A : est la superficie du bassin versant (km²).

Le coefficient de ruissellement est déterminé à partir de la pente moyenne du bassin versant, du type de sol et de la couverture végétale. La classification hydrologique des sols est déterminée selon les cartes écoforestières ou pédologiques, et les valeurs correspondantes publiées dans le Manuel de conception des ponceaux (MTQ, 2014). La pente moyenne du bassin versant est déterminée à partir des cartes topographiques numériques. Le coefficient de

laminage reproduit l'effet de laminage des crues (intensité amoindrie, mais durée augmentée) par les milieux humides. Il atténue la pointe de l'hydrogramme de ruissellement en tenant compte de la proportion de lacs et de marécages présents sur le bassin versant, ainsi que de leur localisation par rapport au cours d'eau. La durée et l'intensité des précipitations à utiliser dans la méthode rationnelle dépendent du temps de concentration du bassin versant.

2.3.2.2 ANALYSE FRÉQUENTIELLE

Afin de comparer les débits obtenus par l'application de la méthode rationnelle, une seconde évaluation a été réalisée à l'aide d'une analyse fréquentielle des débits journaliers de crue enregistrés à la station de référence (à l'Eau Claire – 090605). Une transposition de bassin versant est ensuite effectuée pour ajuster les débits calculés au site à l'étude. Le tableau 5 présente les débits de crue de la station de référence.

Tableau 5 : Débits journaliers de crue de la station de référence de la rivière à l'Eau Claire

Réurrence	Débit de crue (m ³ /s)	Débit de crue spécifique (L/s/km ²)
2 ans	101,9	54,5
10 ans	137,6	73,6
25 ans	149,6	80,0
50 ans	157,1	84,0
100 ans	163,6	87,5

Le logiciel HYFRAN, développé par l'Institut national de recherche scientifique (INRS, 2002), est utilisé pour effectuer l'analyse fréquentielle à partir d'une série hydrologique. Les lois de distribution les plus couramment utilisées pour l'analyse de fréquence d'événements de crue extrêmes, d'après le Conseil national de recherches du Canada (CNRC, 1990), sont : Pearson de type III, Gumbel, Normale et la loi générale des valeurs extrêmes (GEV). Parmi toutes ces distributions, celle présentant le meilleur ajustement à l'échantillon est retenue pour établir les caractéristiques des crues et des étiages.

Un coefficient de pondération variant de 0,6 à 0,9 est généralement utilisé dans les calculs par transfert de bassin versant afin de tenir compte de la non-linéarité de la relation superficie – débit. Un coefficient de 0,8 peut être utilisé à défaut de bons indices sur le comportement hydrologique du bassin versant à l'étude en comparaison avec celui du bassin versant sur lequel il y a une station hydrométrique (Ancil, 2005).

2.3.3 ESTIMATION DES DÉBITS D'ÉTIAGE

La connaissance des débits d'étiage est fort utile pour évaluer un débit à prélever, pour maintenir un débit minimal ou pour estimer les impacts d'un rejet d'eau dans le milieu aquatique. Les étiages des cours d'eau québécois surviennent durant deux périodes, la première étant l'hiver, alors que les précipitations tombent sous forme solide et n'alimentent pas les cours d'eau, la seconde étant l'été, alors que surviennent des périodes de sécheresse plus ou moins longues.

Afin d'offrir un portrait des débits d'étiage à un endroit quelconque de l'ensemble du territoire québécois, le CEHQ a développé des indicateurs de débits d'étiage (CEHQ, 2005). Ces indicateurs sont calculés sur la période annuelle (pour inclure les étiages hivernaux) et la période estivale (du 1^{er} juin au 31 octobre), de la manière suivante :

- $Q_{2,7}$ et $Q_{10,7}$: débits d'étiage de récurrence 2 ans et 10 ans calculés sur une plage de 7 jours consécutifs;
- $Q_{5,30}$: débit d'étiage de récurrence 5 ans calculé sur une plage de 30 jours consécutifs.

Dans le cadre de cette étude, ces indicateurs ont été calculés selon deux méthodes, à titre de comparaison : par analyse fréquentielle des débits d'étiage de la station de référence et transfert de bassin au site à l'étude, puis par la méthode de régression linéaire développée par le MDDELCC (2017).

2.3.3.1 TRANSFERT DE BASSIN

Deux stations ont été utilisées afin d'estimer une plage de valeur pour le débit d'étiage pour le site à l'étude, soient les stations de la rivière à l'Eau Claire, dont les débits d'étiage ont été déterminés par une analyse fréquentielle avec le logiciel HYFRAN, et la station de la rivière Saint-Louis, dont les débits d'étiage ont été calculés et publiés par le CEHQ. Comme expliqué précédemment, le bassin versant de la rivière à l'Eau Claire est beaucoup plus grand que ceux des cours d'eau à l'étude, alors que celui de la rivière Saint-Louis est d'une superficie beaucoup plus proche, mais la station hydrométrique Saint Louis est nettement plus éloignée (685 km). Par conséquent, les caractéristiques de ces bassins versants sont très différentes (pente, climat, etc.). Le tableau 6 présente les débits d'étiage spécifiques pour ces deux stations de référence.

Tableau 6 : Débits d'étiage spécifiques (L/s/km²) pour les stations de référence de la rivière à l'Eau Claire et de la rivière Saint-Louis

Période	Station de la rivière à l'Eau Claire	Station de la rivière Saint-Louis
Q2,7 annuel	5,5	1,9
Q10,7 annuel	4,3	1,1
Q5,30 annuel	4,8	2,1
Q2,7 estival	13,5	2,2
Q10,7 estival	8,9	1,1
Q5,30 estival	11,4	2,2

2.3.3.2 RÉGRESSION LINÉAIRE

Le MDDELCC (2017) a par ailleurs développé une méthode empirique pour estimer les débits d'étiage dans les régions du Nord québécois en fonction de la superficie du bassin versant (S) et de la région hydrographique. Les équations développées par le MDDELCC correspondent aux droites d'ajustement des débits d'étiages unitaires en fonction de la superficie d'un ensemble de bassins versants nordiques. Cette méthode est considérée comme conservatrice, dans la mesure où un coefficient de sécurité a été appliqué aux droites d'ajustement, afin d'obtenir les équations proposées par le MDDELCC. Les cours d'eau à l'étude sont situés dans la région hydrographique 09 du MDDELCC. Le tableau 7 détaille le calcul des débits d'étiage selon la méthode de régression linéaire.

Tableau 7 : Équation du débit (L/s) en fonction de la superficie drainée (km²) d'après la méthode de régression linéaire du MDDELCC

Période	Équation
Q2,7 annuel	$3,96 \cdot 10^{-5} * S^2 + 1,65 * S$
Q10,7 annuel	$4,30 \cdot 10^{-5} * S^2 + 0,81 * S$
Q5,30 annuel	$4,10 \cdot 10^{-5} * S^2 + 1,10 * S$
Q2,7 estival	$1,02 \cdot 10^{-4} * S^2 + 4,05 * S$
Q10,7 estival	$9,99 \cdot 10^{-5} * S^2 + 1,79 * S$
Q5,30 estival	$8,83 \cdot 10^{-5} * S^2 + 3,83 * S$

2.4 RÉGIME HYDRAULIQUE

Dans l'objectif de présenter les profils en long des cours d'eau ainsi que les niveaux d'eau actuels des cours d'eau de la zone d'étude, l'écoulement actuel est simulé. Pour ce faire, le logiciel HEC-RAS, développé par le U.S. Army Corps of Engineers (USACE, 2018), est utilisé. Ce logiciel permet de construire un modèle hydraulique 1D d'une rivière et de simuler différentes conditions de débit. Les principales caractéristiques du modèle et de la calibration sont présentées ci-après.

2.4.1 MODÈLE HEC-RAS

Deux modèles HEC-RAS (USACE, 2018) ont été constitués à partir des sections transversales des cours d'eau relevées par WSP ainsi que des courbes topographiques disponibles et des données LIDAR. La carte 4 présente les domaines modélisés des cours d'eau CE2, CE3 et CE4, ainsi que les sections relevées et modélisées pour chaque cours d'eau.

Le premier modèle est constitué du cours d'eau CE2 sur un tronçon d'environ 4 800 m qui débute juste en aval du ponceau du CE2 sous la route de la Baie-James, et se termine juste en aval de la jonction des cours d'eau CE2 et CE6. Le modèle inclut 14 sections relevées et modélisées. Un débit est imposé en amont du modèle, ainsi qu'à plusieurs sections le long du cours d'eau (pour représenter l'augmentation naturelle du débit dans le cours d'eau le long de ce dernier), et un apport correspondant au cours d'eau CE6 a également été ajouté au niveau de la jonction de ce dernier avec le CE2. La hauteur normale d'écoulement a été fixée comme condition limite aux frontières amont et aval du modèle.

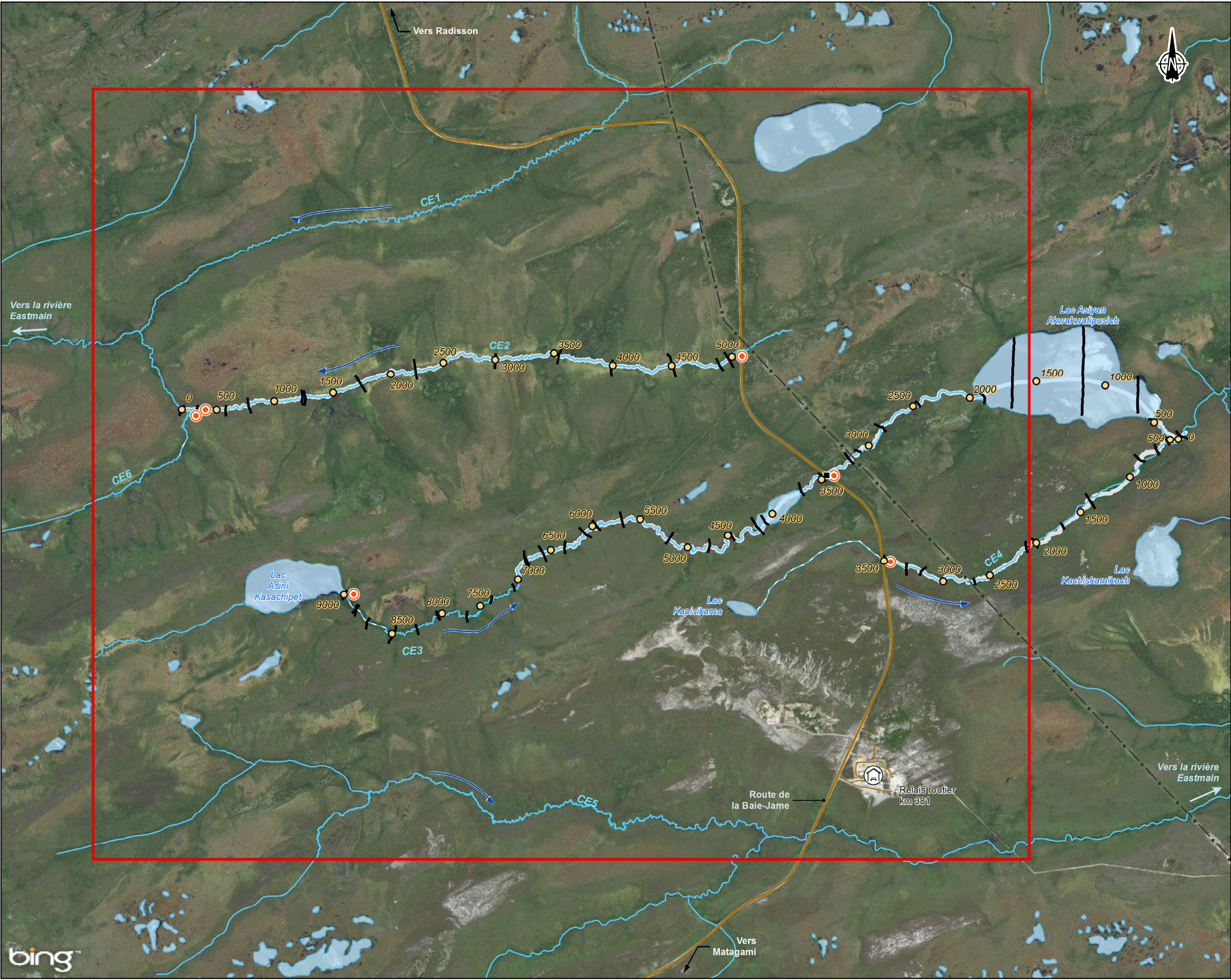
Le second modèle est constitué des cours d'eau CE3 et CE4. Le tronçon modélisé du cours d'eau CE3 débute environ 2 000 m en aval du lac Asini Kasachipet et se termine juste en aval de la jonction des cours d'eau CE3 et CE4, incluant le ponceau du CE3 sous la route de la Baie James, ainsi que le lac Asiyan Akwakwatipusich. Le tronçon s'étend sur une distance d'environ 6 600 m et inclut 28 sections relevées et modélisées. La partie amont du cours d'eau (juste en aval du lac Asini Kasachipet) n'a pas été modélisée, bien que quelques sections aient été relevées sur le terrain. En effet, l'écoulement est considéré comme partiellement souterrain, ce qui rend difficile la calibration du modèle sur cette portion. Le tronçon modélisé du cours d'eau CE4 débute juste en aval du ponceau du CE4 sous la route de la Baie-James et se termine à la jonction des cours d'eau CE3 et CE4. Le tronçon s'étend sur une distance d'environ 3 100 m et inclut 12 sections relevées et modélisées. Un débit est imposé à l'amont du CE3 et du CE4, ainsi qu'à plusieurs sections le long du cours d'eau. La hauteur normale d'écoulement a été fixée comme condition limite aux frontières amont du CE3 et du CE4, ainsi qu'à l'aval du modèle.

2.4.2 ÉTALONNAGE DES MODÈLES

La calibration des modèles HEC-RAS est effectuée à partir des données de terrain recueillies lors de la campagne réalisée à l'été 2018. Une ligne d'eau (mesure du niveau d'eau à chaque section relevée du cours d'eau) a été prise le même jour qu'un jaugeage (mesure du débit), et les modèles sont paramétrés de manière à reproduire les niveaux d'eau le plus proche possible des niveaux observés, lorsque l'on impose les valeurs de débits mesurés.

Les premiers essais de calibration, ainsi que l'analyse approfondie des images aériennes et des vidéos de survol des cours d'eau à l'étude capturées par drone, ont permis d'identifier plusieurs sections de contrôle hydraulique n'ayant pas été relevées lors de la campagne de relevés (barrages de castors, restrictions de la section d'écoulement). Ces sections sont considérées comme des contrôles hydrauliques dans la mesure où leur présence rehausse l'élévation naturelle du niveau de l'eau, en amont de ces dernières. La zone de rehaussement du niveau de l'eau est d'autant plus étendue que les pentes des cours d'eau à l'étude sont faibles.

Des sections supplémentaires ont donc été ajoutées aux géométries des cours d'eau afin d'inclure ces contrôles hydrauliques manquants aux modèles, et de calibrer adéquatement ces derniers sur les niveaux d'eau relevés. Des images aériennes de contrôles hydrauliques ajoutés aux modèles sont présentées à l'annexe A.



- Zone d'étude locale
- Modélisation**
- Cours d'eau modélisé
- Section relevée
- Ponceau
- Jaugeage
- Chainage
- Hydrographie**
- Cours d'eau permanent
- Cours à écoulement diffus ou intermittent
- CE3

Numéro du cours d'eau
- Sens d'écoulement de l'eau
- Infrastructures**
- Route principale
- Route d'accès
- Ligne de transport d'énergie
- Relais routier

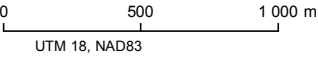


Mine de lithium Baie-James
Étude spécialisée sur l'hydrologie

Modèle hydraulique

Sources :
Image, Bing Maps Aerial
Inventaire WSP 2018

No Ref : 171-02562-00_wspT146_HLc4_mod_hydraulique_180730.mxd



3 RÉSULTATS

Cette section présente les résultats de la caractérisation hydrologique effectuée pour les six bassins versants où des mesures ont été prises. Les données de la campagne de terrain, l'estimation des débits de crue et d'étiage et des débits moyens mensuels y sont présentées, ainsi que les niveaux d'eau simulés.

3.1 HYDROMÉTRIE

Le tableau 8 présente les résultats des jaugeages réalisés lors des campagnes de terrain de 2017 et 2018. Deux ou trois mesures ont été effectuées pour chaque jaugeage; le tableau présente la valeur moyenne de ces mesures pour chaque jaugeage.

Lors des campagnes de relevés effectuées à l'été 2017 et à l'été 2018, les débits ont été mesurés à des valeurs relativement faibles (comparativement aux débits mesurés à l'automne) voire nulles, et les berges étaient généralement inondées. Ces conditions hydrauliques peuvent être justifiées par la très faible pente des bassins versants du secteur, avec de larges plaines inondables très marécageuses (tourbières) aux abords des cours d'eau, mais aussi par la forte présence d'obstructions à l'écoulement (débris ou barrages de castors) sur les cours d'eau.

Les sondes à niveaux ont fonctionné correctement durant la période de la campagne de 2017 (été à automne) et les résultats sont présentés sous forme graphique à l'annexe B. Les données de précipitations sont également présentées sur ces graphiques afin de mettre en évidence le phénomène de ruissellement. On peut constater que les enregistrements illustrent relativement bien les oscillations du niveau d'eau dues aux précipitations sur les 5 sondes. L'amplitude maximale enregistrée par les sondes varie de 15 cm pour la sonde S4 à 60 cm pour la sonde S5. En revanche, les enregistrements des sondes S2 et S5 présentent des montées ou des chutes soudaines du niveau d'eau. Ces variations rapides ne s'expliquent pas nécessairement par les précipitations, et sont probablement dues à la modification d'une section de contrôle hydraulique (brèche temporaire dans un barrage de castor, formation ou relâche d'embâcles de végétation).

Pour le cours d'eau CE3, une relation niveau – débit a pu être établie sur la base des jaugeages effectués au droit de la sonde lors des différentes campagnes de relevés. Pour les autres cours d'eau en revanche, les données récoltées n'ont pas permis d'établir de telles relations. Il est à noter que compte tenu des débits très faibles, et des larges plaines inondables marécageuses, l'ajustement d'une relation niveau – débit dans de telles conditions demeure incertain. De plus, un changement de configuration d'un contrôle hydraulique peut rendre la relation obsolète. La relation établie doit ainsi être utilisée avec précaution. La figure 2 présente la relation niveau – débit du cours d'eau CE3 au droit de la sonde S3.

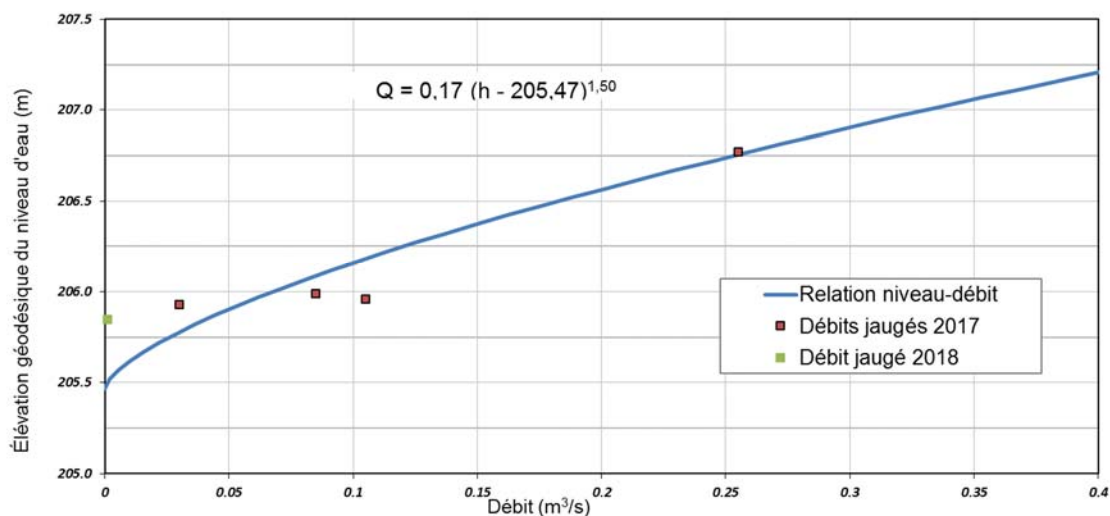


Figure 2 : Relation niveau – débit du cours d'eau CE3 au droit de la sonde S3

Tableau 8 : Jaugeages réalisés lors de l'été 2017

Localisation	Date	Heure	Débit (m ³ /s)	Niveau (m)
Sonde 1 CE1 –7,6 km ²	27/06/2017	Impossible d'accéder au site lors de cette visite		
	31/08/2017	11h15	0,1	195,83
	04/10/2017	12h00	0,19	196,05
Sonde 2 CE2 –8,9 km ²	27/06/2017	Non disponible	0,02	197,17
	31/08/2017	9h40	0,07	197,29
	04/10/2017	13h00	0,37	197,36
	28/06/2018	8h30	0,03	197,11
Sonde 3 CE3 –5,9 km ²	27/06/2017	16h20	0,10	205,96
	30/08/2017	12h10	0,03	205,93
	03/10/2017	12h10	0,09	205,99
	06/10/2017	9h45	0,26	206,77
	28/06/2018	11h00	0	205,85
Sonde 4 CE4 –1,2 km ²	27/06/2017	15h05	0	207,43
	30/08/2017	11h15	0,01	207,43
	03/10/2017	11h50	0,01	207,41
	06/10/2017	8h30	0,06	207,47
	28/06/2018	12h00	0	207,24
Sonde 5 CE5 – 19,9 km ²	27/06/2017	13h40	0,31	201,56
	30/08/2017	10h30	0,17	202,00
	03/10/2017	11h20	0,20	202,00
	06/10/2017	8h00	0,75	202,08

3.2 HYDROLOGIE

3.2.1 DÉBITS MOYENS MENSUELS

Le tableau 9 présente les débits moyens mensuels estimés aux conditions actuelles à l'aval des six cours d'eau à l'étude, obtenus par transfert de bassin à partir de la station de référence de la rivière à l'Eau Claire. Le débit moyen annuel spécifique des cours d'eau de la zone d'étude est estimé à 18,7 L/s/km². Les débits relevés – mis à part les valeurs très faibles relevées en été – semblent d'un ordre de grandeur cohérent avec les débits moyens estimés ici. Il est à noter que les valeurs relevées correspondent aux surfaces drainées au droit des sondes, alors que les valeurs présentées dans le tableau 9 correspondent aux surfaces drainées par les cours d'eau entiers.

Tableau 9 : Débits moyens mensuels (L/s) estimés dans les cours d'eau à l'étude

Mois	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	CE6
Janvier	72	85	97	29	254	29
Février	55	65	75	22	195	22
Mars	47	55	63	18	165	19
Avril	56	66	75	22	196	23
Mai	243	288	329	97	859	99
Juin	246	292	332	98	869	100
Juillet	168	199	227	67	594	68
Août	174	207	236	69	617	71
Septembre	171	203	231	68	605	70
Octobre	195	232	264	78	690	79
Novembre	173	206	234	69	612	70
Décembre	115	137	156	46	407	47

3.2.2 DÉBITS DE CRUE

Le tableau 10 présente les débits de crue estimés aux conditions actuelles à l'exutoire des six cours d'eau à l'étude, estimés par la méthode rationnelle (débit de pointe instantané) ainsi que par transfert de bassin (débit moyen journalier) à partir de la station de référence de la rivière à l'Eau Claire. Les débits de pointe retenus sont ceux calculés par la méthode rationnelle, car cette méthode prend en compte les caractéristiques physiques du bassin versant, comme la pente du cours d'eau et le laminage par les milieux humides et les lacs, contrairement à la méthode de transfert de bassin. Les résultats obtenus par transfert de bassin servent donc en tant que base de comparaison pour les débits calculés par la méthode rationnelle. On peut constater que les deux méthodes donnent des résultats du même ordre de grandeur, ce qui permet de valider les résultats retenus. On peut donc constater que les débits de crue varient entre 0,3 et 1,7 m³/s pour la période de retour de 2 ans.

Tableau 10 : Débits de crue estimés (m³/s) dans les cours d'eau à l'étude

Récurrence	Méthode rationnelle (débit de pointe instantané) – méthode retenue						Transfert de bassin (débit moyen journalier)					
	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	CE6	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	CE6
2 ans	0,62	0,67	1,02	0,41	1,71	0,33	1,25	1,43	1,59	0,60	3,44	0,61
10 ans	1,00	1,14	1,67	0,71	2,72	0,56	1,69	1,94	2,15	0,81	4,65	0,82
25 ans	1,19	1,37	1,99	0,86	3,22	0,68	1,83	2,11	2,34	0,88	5,05	0,89
50 ans	1,33	1,54	2,23	0,97	3,60	0,76	1,93	2,21	2,45	0,92	5,31	0,94
100 ans	1,47	1,71	2,46	1,08	3,98	0,85	2,00	2,27	1,62	0,46	4,14	0,98

3.2.3 DÉBITS D'ÉTIAGE

Le tableau 11 présente les débits d'étiage estimés aux conditions actuelles à l'exutoire des six cours d'eau à l'étude, estimés par la méthode de régression linéaire du MDDELCC ainsi que par transfert de bassin. Le transfert de bassin

a été effectué à partir de la station de référence de la rivière à l'Eau Claire ainsi que de celle de la rivière Saint-Louis, c'est pourquoi une plage de valeur est présentée dans le tableau. Parmi ces deux stations, la station de la rivière Saint-Louis donne des débits d'étiage plus sévères que ceux de la rivière à l'Eau Claire, en raison de son bassin versant plus petit. Toutefois, on peut constater que les résultats obtenus par la méthode de régression linéaire sont du même ordre de grandeur. Les débits d'étiages retenus sont ceux calculés par la méthode de régression linéaire, qui paraît la plus adaptée pour les bassins versants à l'étude.

Tableau 11 : Débits d'étiage estimés (L/s) dans les cours d'eau à l'étude

Période	Régression linéaire (méthode retenue)						Transfert de bassin					
	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	CE6	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	CE6
Q2,7 annuel	13	15	17	5	45	5	15-42	18-50	20-57	6-17	52-149	6-17
Q10,7 annuel	6	7	8	2	22	3	8-33	10-39	11-44	3-13	30-116	3-13
Q5,30 annuel	8	10	11	3	30	3	16-37	19-44	21-50	6-15	56-130	6-15
Q2,7 estival	31	37	42	12	110	13	16-103	20-122	22-139	7-41	58-365	7-42
Q10,7 estival	14	16	19	5	49	6	8-68	10-81	11-92	3-27	30-242	3-28
Q5,30 estival	29	35	40	12	104	12	17-87	20-103	23-118	7-35	59-308	7-35

3.3 HYDRAULIQUE

3.3.1 RÉSULTATS DE LA CALIBRATION

Les débits jaugés et les niveaux d'eau relevés lors des campagnes de terrain, ainsi que l'amélioration de la bathymétrie grâce à l'ajout de sections de contrôle supplémentaires, ont permis de calibrer les modèles HEC-RAS des cours d'eau CE2 et CE3-CE4. Les coefficients de Manning des modèles ont été déterminés à partir des observations visuelles des cours d'eau et d'après le Manuel de conception des ponceaux du MTQ (2004). Le coefficient de Manning choisi est de 0,06 pour le lit des cours d'eau (lit très encombré par la végétation), et de 0,1 à 0,15 pour les plaines inondables, composées principalement de tourbières, d'arbustes et de broussailles.

À noter que pour le cours d'eau CE4, en raison des conditions d'accès difficiles, la ligne d'eau (25 juin 2018) n'a pas pu être relevée le même jour que le jaugeage (28 juin 2018). La calibration a tout de même été effectuée avec ces données, car la ligne d'eau relevée permet de bien localiser les contrôles hydrauliques ainsi que les pentes de la surface libre, bien que le débit de calibration ne soit pas très précis.

La figure 3, la figure 4 et la figure 5 présentent les profils en long pour les débits jaugés et les niveaux d'eau observés, pour les cours d'eau CE2, CE3 et CE4 respectivement. On peut constater que les niveaux d'eau simulés sur le CE2 et CE3 sont très similaires aux niveaux d'eau relevés, avec une différence moyenne de 2 cm pour le CE2, et de 3 cm pour le CE3. Pour le CE4, on constate que la ligne d'eau simulée respecte bien les mêmes pentes de la surface libre et contrôles hydrauliques que la ligne d'eau relevée.

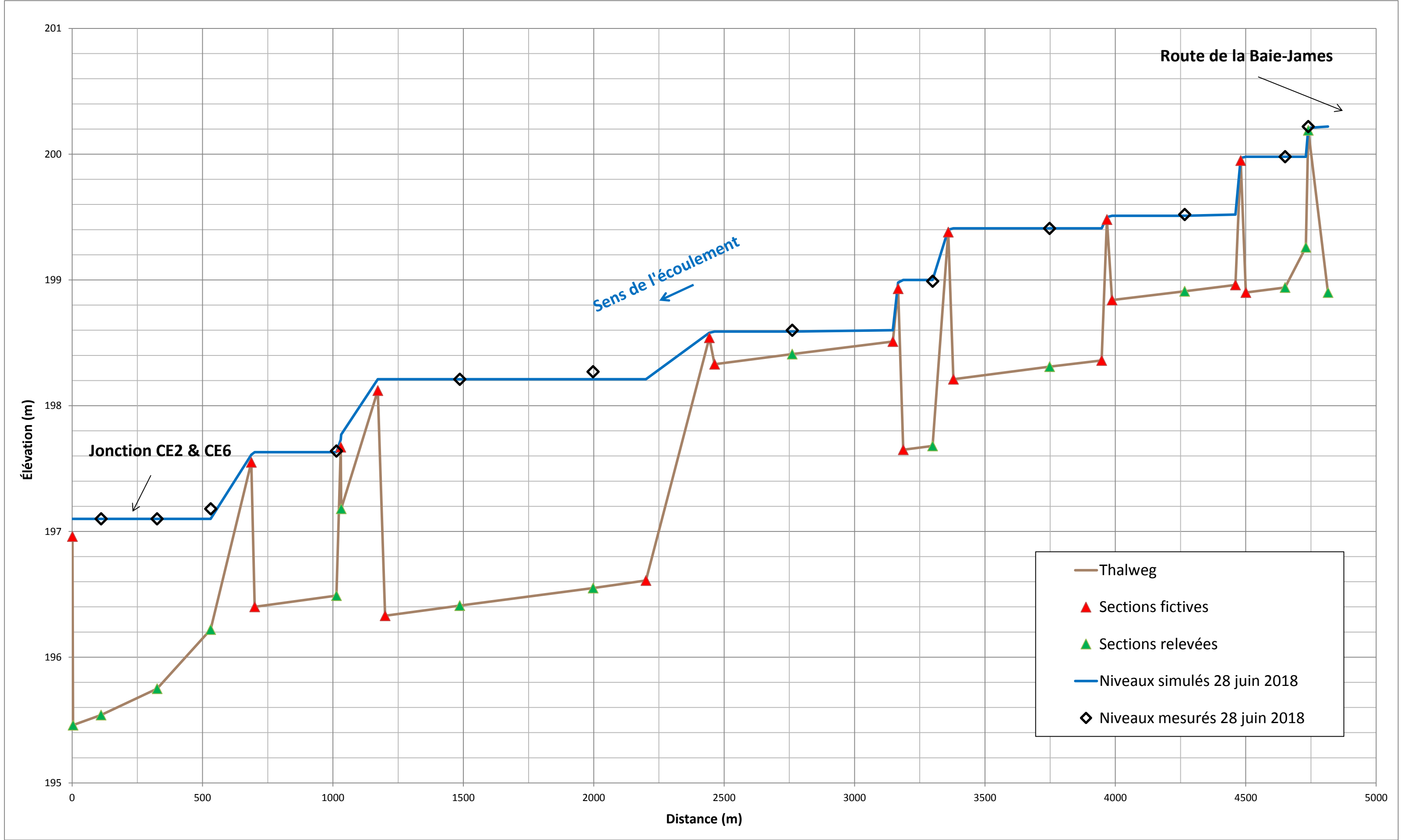


Figure 3: Résultats de calibration - niveaux d'eau simulés et mesurés sur le cours d'eau CE2

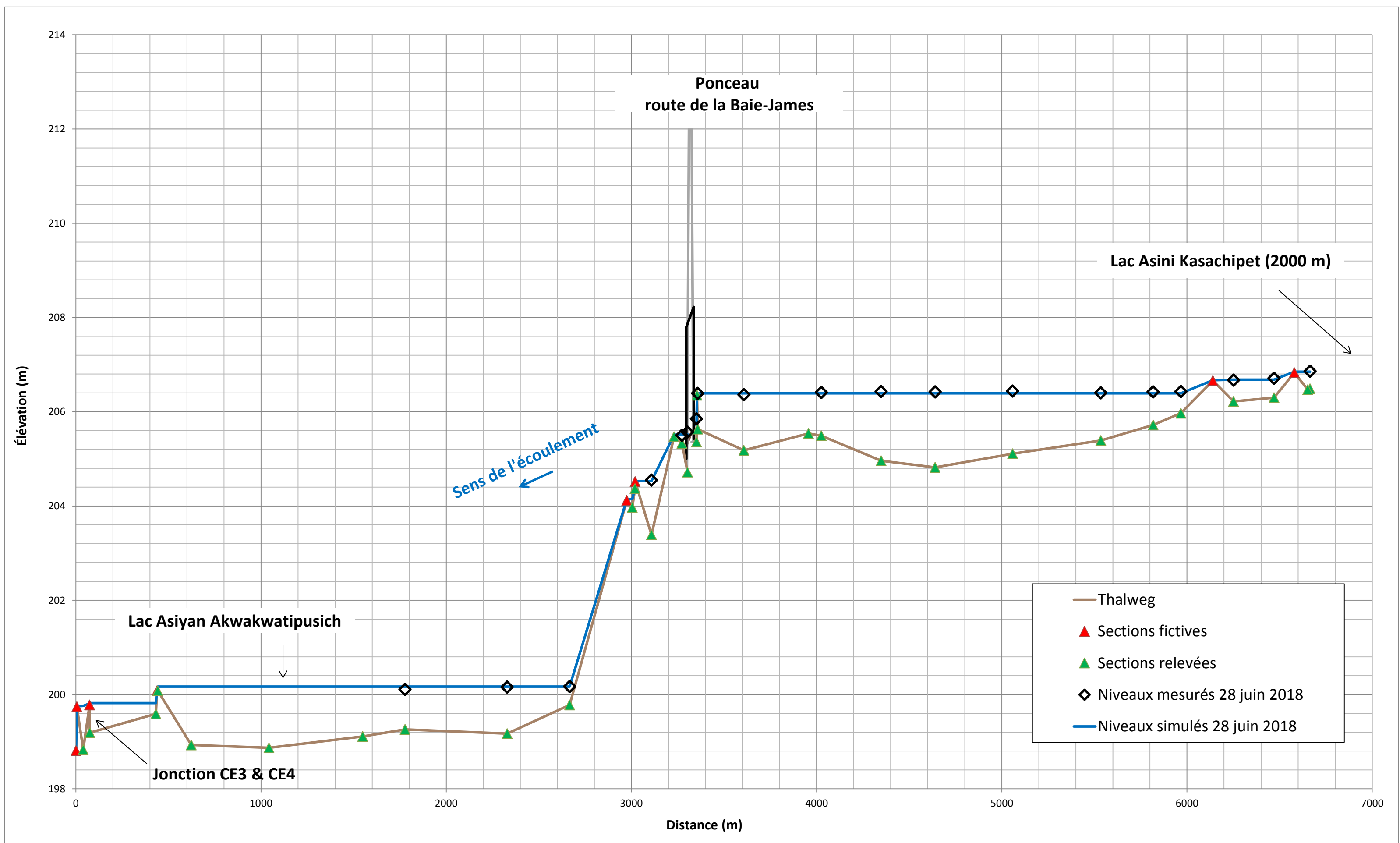


Figure 4: Résultats de calibration - niveaux d'eau simulés et mesurés sur le cours d'eau CE3

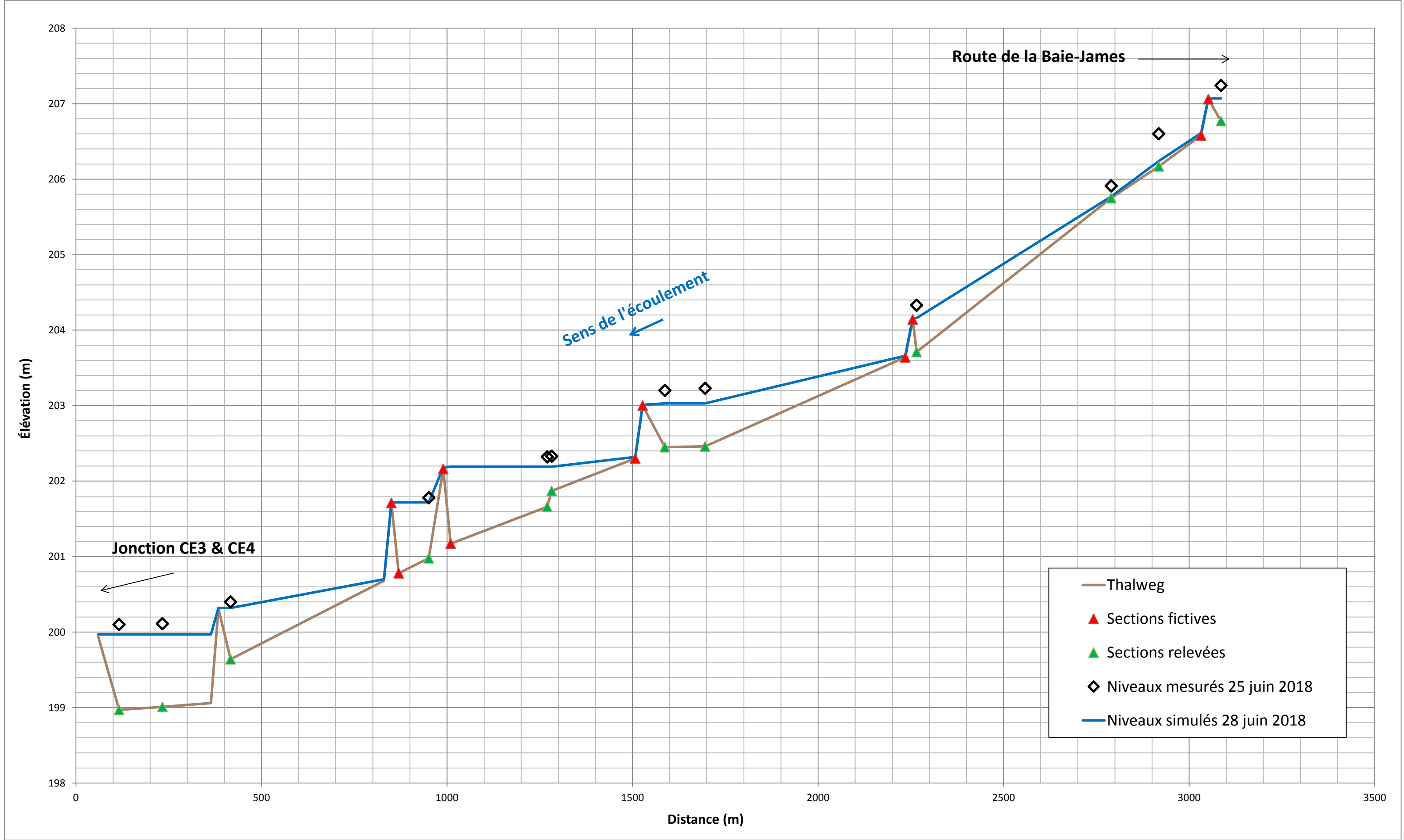


Figure 5: Résultats de calibration - niveaux d'eau simulés et mesurés sur le cours d'eau CE4

3.3.2 ESTIMATION DES NIVEAUX D'EAU

Les simulations dans HEC-RAS ont été effectuées pour l'ensemble des débits de crue, d'étiage, et de débit moyen mensuels présentés dans les sections précédentes, pour les cours d'eau modélisés en conditions actuelles, à savoir les cours d'eau CE2, CE3 et CE4.

La figure 6, la figure 7 et la figure 8 présentent les profils en long des cours d'eau CE2, CE3 et CE4 respectivement, en conditions actuelles pour des débits d'étiage, moyens et de crue. Pour des raisons de lisibilité, seul le débit moyen de juin, les crues de retour 2 et 100 ans, ainsi que le débit d'étiage $Q_{10,7}$ estival sont présentés sur ces figures.

Étant donné le caractère très plat des bassins versants, les niveaux d'eau en période de crue n'augmentent que très peu, inondant les plaines et tourbières environnantes sur une grande distance. La différence de niveau d'eau entre le débit d'étiage $Q_{10,7}$ estival et le débit de crue centennale ne dépasse pas les 50 cm sur les cours d'eau modélisés, excepté à l'aval du CE2, où la différence s'élève à environ 75 cm.

Par ailleurs, la pente locale des cours d'eau étant très faible, une variation de débit n'implique qu'une très faible variation du niveau d'eau dans ce cours d'eau. Il apparaît donc que les sections de contrôle hydraulique, dû à la présence d'embâcles naturels de branchages ou de barrages de castors, constituent le facteur d'influence principal des niveaux d'eau dans la zone d'étude. Les simulations effectuées représentent l'état actuel du cours d'eau tel que relevé en 2017 et 2018, mais il faut noter que ces conditions pourraient toutefois changer si les contrôles hydrauliques se déplacent, disparaissent ou se trouvent modifiés.

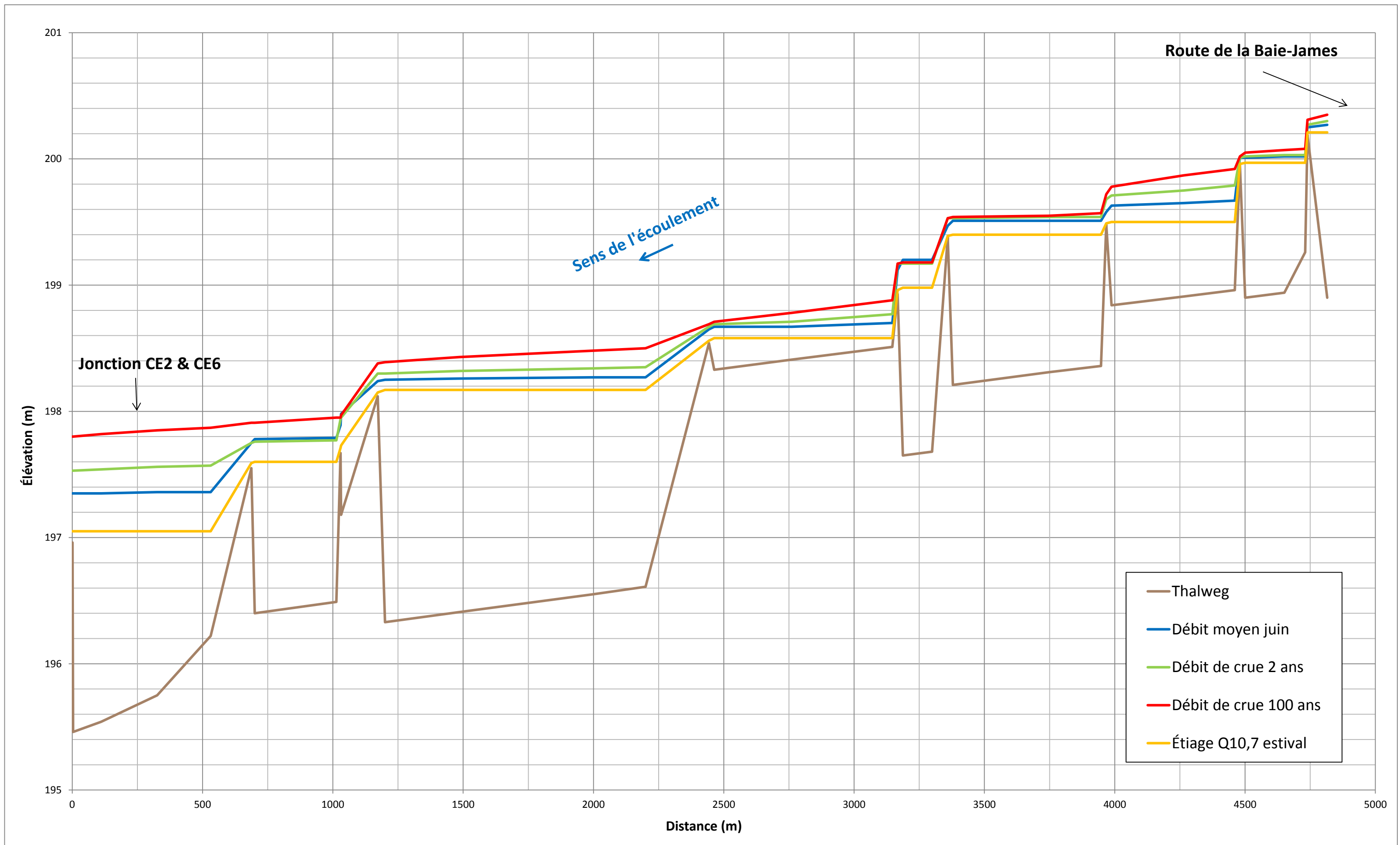


Figure 6: Niveaux d'eau simulés en conditions actuelles sur le cours d'eau CE2 pour le débit moyen de juin, les débits de crue 2 ans et 100 ans, et pour le débit d'étiage Q2,7 estival

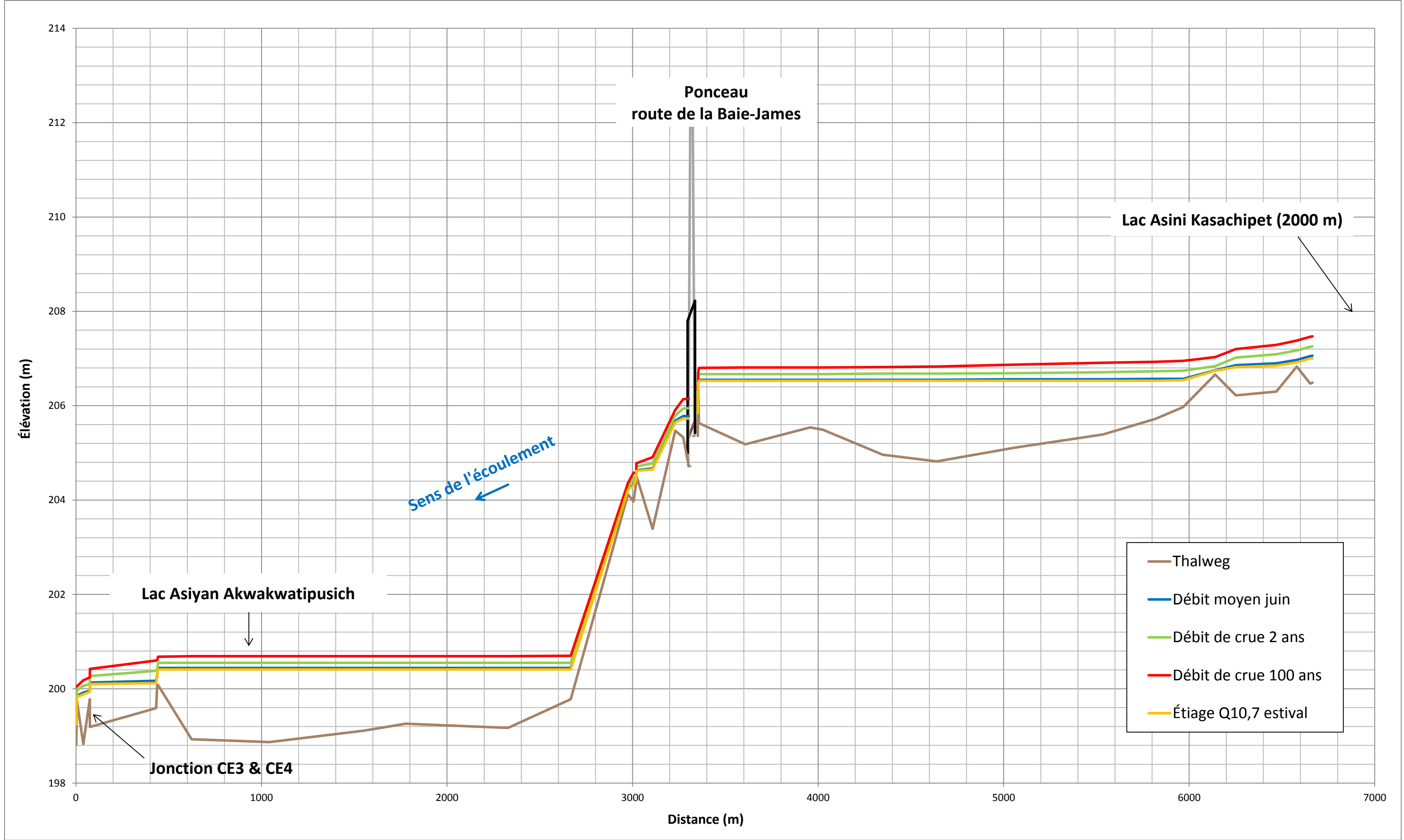


Figure 7: Niveaux d'eau simulés en conditions actuelles sur le cours d'eau CE3 pour le débit moyen de juin, les débits de crue 2 ans et 100 ans, et pour le débit d'étiage Q2,7 estival

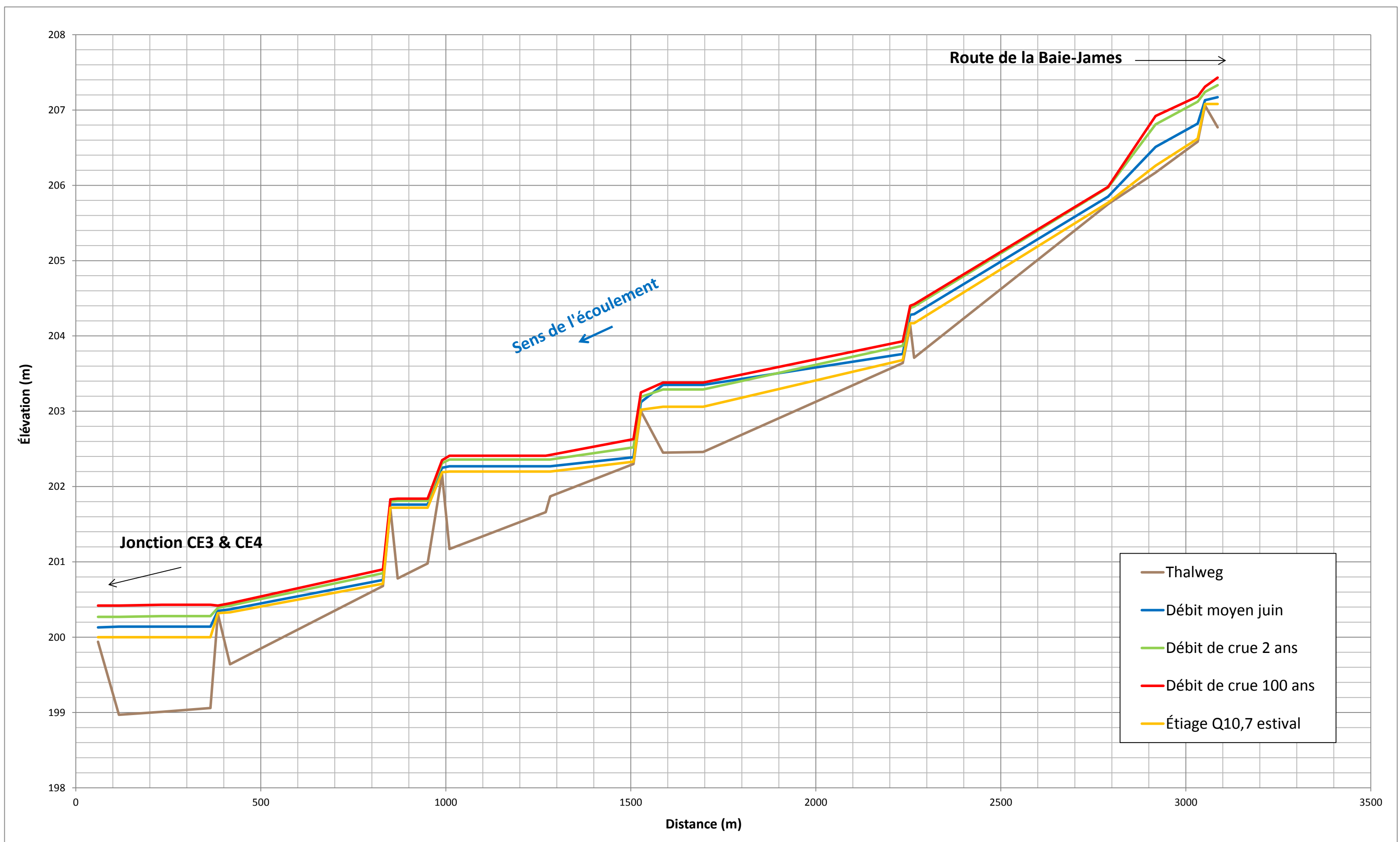


Figure 8: Niveaux d'eau simulés en conditions actuelles sur le cours d'eau CE4 pour le débit moyen de juin, les débits de crue 2 ans et 100 ans, et pour le débit d'étiage Q2,7 estival

4 CONCLUSION

Le présent rapport présente dans un premier temps un portrait hydrologique global de la zone d'étude, incluant une synthèse des données disponibles et des campagnes de terrain réalisé par WSP dans le cadre de ce projet. Deux campagnes de terrain ont été réalisées en 2017 (été et automne) et en 2018 (été). Ces données ont permis d'établir une analyse hydrologique des cours d'eau CE1, CE2, CE3, CE4, CE5 et CE6 et de développer et calibrer deux modèles hydrauliques à l'aide du logiciel HEC-RAS.

Dans le cadre de l'analyse hydrologique, les débits moyens mensuels ont été estimés par transfert de bassin versant à partir de la station hydrométrique de référence de la rivière à l'Eau Claire. Le débit moyen annuel spécifique des cours d'eau de la zone d'étude a été estimé à 18,7 L/s/km². Les débits d'étiage ont été estimés à l'aide de la méthode de régression linéaire du MDDELCC, allant de 16 L/s (Q_{10,7} annuel) à 80 L/s (Q_{2,7} estival) pour la partie nord-ouest (CE1+CE2+CE6, 19,8 km²), et de 22 L/s (Q_{10,7} annuel) à 109 L/s (Q_{2,7} estival) pour la partie sud-est (CE3+CE4+CE5, 48,8 km²). Les débits de crues ont été estimés à l'aide de la méthode rationnelle, qui tient compte de l'effet de laminage par les nombreux milieux humides de la zone d'étude, allant de 1,62 m³/s (crue 2 ans) à 4,03 m³/s (crue 100 ans) pour la partie nord-ouest, et de 3,78 m³/s (crue 2 ans) à 9,06 m³/s (crue 100 ans) pour la partie sud-est.

Les débits mesurés par jaugeage lors de l'été 2017 suggèrent que les valeurs de débits caractéristiques estimés dans cette étude sont dans le bon ordre de grandeur. Cependant, en raison du caractère très plat et marécageux (tourbière) des bassins versants étudiés, une incertitude demeure sur l'évaluation des débits caractéristiques, et les valeurs sont à prendre avec précaution.

À noter que le réseau hydrographique de la zone d'étude représente un très faible pourcentage du bassin versant de la rivière Eastmain (0,1 % au total pour les cinq bassins versants étudiés).

Les cours d'eau CE2, CE3 et CE4 ont par la suite fait l'objet d'une modélisation à l'aide du logiciel HEC-RAS afin d'évaluer leurs niveaux d'eau caractéristiques. Les géométries des modèles et leur calibration ont été réalisées à l'aide des données relevées sur le terrain à l'été 2018. Compte tenu de la difficulté d'accès et de déplacement sur le site, plusieurs sections de contrôle hydraulique n'ont pas pu être relevées, mais sont visibles sur les photos et vidéos aériennes, et ont une influence notable sur la ligne d'eau des cours d'eau. Les géométries des modèles ont donc été complétées à l'aide de sections supplémentaires non relevées à partir des données de LIDAR et des observations sur les photos et vidéos aériennes, de manière à calibrer adéquatement les modèles. Après calibration, les résultats des simulations sont satisfaisants, avec une différence moyenne entre niveaux d'eau simulés et relevés de 2 à 3 cm.

Les simulations des niveaux d'eau en conditions actuelles selon différents débits caractéristiques (moyens, d'étiage et de crue) ont permis d'observer l'influence majeure des contrôles hydrauliques sur les niveaux d'eau dans cet environnement très plat. Les barrages de castors ainsi que les amoncellements de branchages, très présents dans la région, sont amenés à évoluer dans le temps à court ou moyen termes. Pour cette raison, le modèle représente les conditions actuelles telles que relevées en 2017 et 2018, et l'interprétation des résultats fournis dans le cadre de conditions futures doit être effectuée avec précaution.

5 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANCTIL, F. 2005. *Hydrologie, cheminements de l'eau*. Presses internationales Polytechnique. 317 pages.
- AQUAPRAXIS INC. 2003. AquaIDF, version 4.0.4. Logiciel d'analyse d'intensités de pluies. Données mises à jour en 2013. www.aquapraxis.com.
- CENTRE D'EXPERTISE HYDRIQUE DU QUÉBEC (CEHQ). 2005. *Débits d'étiage aux stations hydrométriques du Québec*. <http://www.cehq.gouv.qc.ca/debit-etiage/index.htm>
- INRS-ETE. 2002. Logiciel Hyfran, version 1.1. Chaire en hydrologie statistique CRSNG/Hydro-Québec/Alcan.
- MDDELCC. 2017. *Estimation des débits d'étiage pour le Nord du Québec : Solution à court terme*. 5 pages.
- MTQ. 2014. *Manuel de conception des ponceaux*. Ministère des Transports du Québec. Bibliothèque nationale du Québec, Québec. 10 chap.
- USACE. 2018. HEC RAS, version 5.0.5. Hydrologic Engineering Center's River Analysis System. U.S. Army Corps of Engineers. <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

ANNEXE

A

ANNEXE PHOTOGRAPHIQUE



**Photo A-1 : Cours d'eau CE1 – Septembre 2017,
vue aérienne**



**Photo A-2 : Cours d'eau CE1 – Septembre 2017,
vue aérienne**



**Photo A-3 : Cours d'eau CE2 – Juin 2017,
installation de la sonde à niveau**



**Photo A-4 : Cours d'eau CE2 – Octobre 2017,
retrait de la sonde à niveau**



**Photo A-5 : Cours d'eau CE2 – Juin 2018,
plaines inondées (1)**



**Photo A-6 : Cours d'eau CE2 – juin 2018,
plaines inondées (2)**



**Photo A-7 : Cours d'eau CE2 – Juin 2018,
petit contrôle hydraulique**



**Photo A-8 : Cours d'eau CE2 – juin 2018,
faible écoulement en sortie du ponceau sous la route de la Baie-James (amont du CE2)**



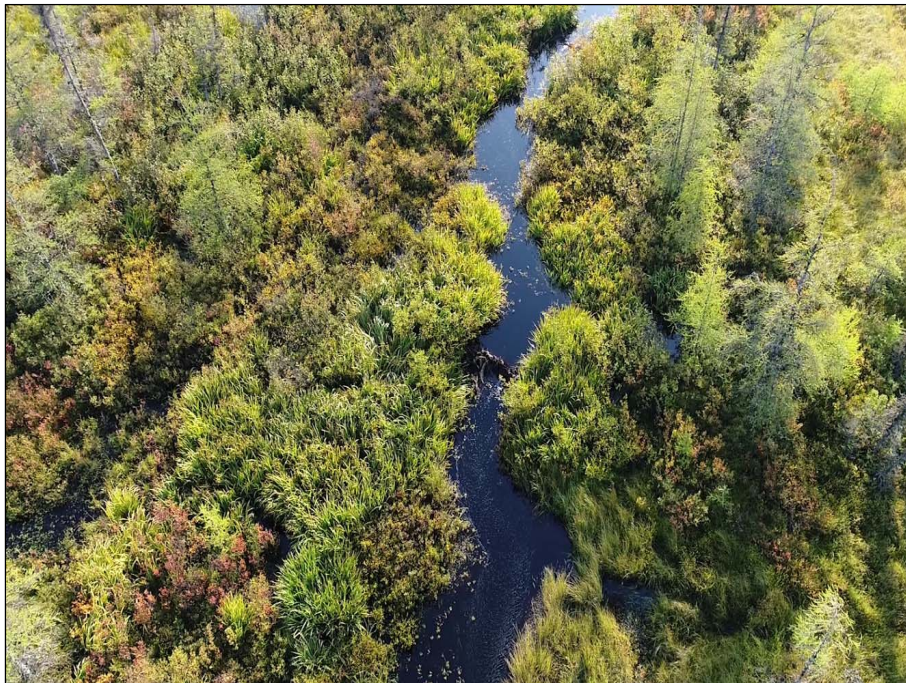
**Photo A-9 : Cours d'eau CE2 – Juin 2018,
contrôle hydraulique en aval du domaine modélisé**



**Photo A-10 : Cours d'eau CE2 – Juin 2018,
contrôle hydraulique 700 m en amont de la jonction CE2 – CE6**



**Photo A-11 : Cours d'eau CE2 – juin 2018,
vue aérienne du CE2 vers l'amont**



**Photo A-12 : Cours d'eau CE2 – juin 2018,
contrôle hydraulique (barrage de castor)**



**Photo A-13 : Cours d'eau CE2 – Juin 2018,
contrôle hydraulique (barrage de castor)**



**Photo A-14 : Cours d'eau CE2 – juin 2018,
contrôle hydraulique (barrage de castor)**



**Photo A-15 : Cours d'eau CE3 – Juin 2018,
exutoire du lac Asini Kasachipet en amont du CE3**



**Photo A-16 : Cours d'eau CE3 – Juin 2018,
branchage en travers du cours d'eau**



**Photo A-17 : Cours d'eau CE3 – Juin 2018,
élargissement du cours d'eau**



**Photo A-18 : Cours d'eau CE3 – Juin 2018,
plaines inondées**



**Photo A-19 : Cours d'eau CE3 – Juin 2018,
barrage de castor en amont du ponceau sous la route de la Baie-James**



**Photo A-20 : Cours d'eau CE3 – Août 2017, vue vers l'amont,
depuis le ponceau sous la route de la Baie-James**



**Photo A-21 : Cours d'eau CE3 – Juin 2017,
aval du ponceau sous la route de la Baie-James**



**Photo A-22 : Cours d'eau CE3 – Juin 2018,
vu vers l'aval, 100 m en amont de la jonction avec le CE4**



Photo A-23 : Cours d'eau CE4 – Juin 2017, amont du double ponceau traversant la route de la Baie-James, vue vers l'amont



Photo A-24 : Cours d'eau CE4 – Octobre 2017, amont du double ponceau traversant la route de la Baie-James



**Photo A-25 : Cours d'eau CE4 – Juin 2018,
barrage de castor 400 m en amont de la jonction CE3 – CE4**



**Photo A-26 : Cours d'eau CE4 – Juin 2018,
obstruction de l'écoulement par des branchages**



Photo A-27 : Cours d'eau CE5 – Septembre 2017, vue aérienne, double ponceau sur la route de la Baie-James, vue vers l'aval



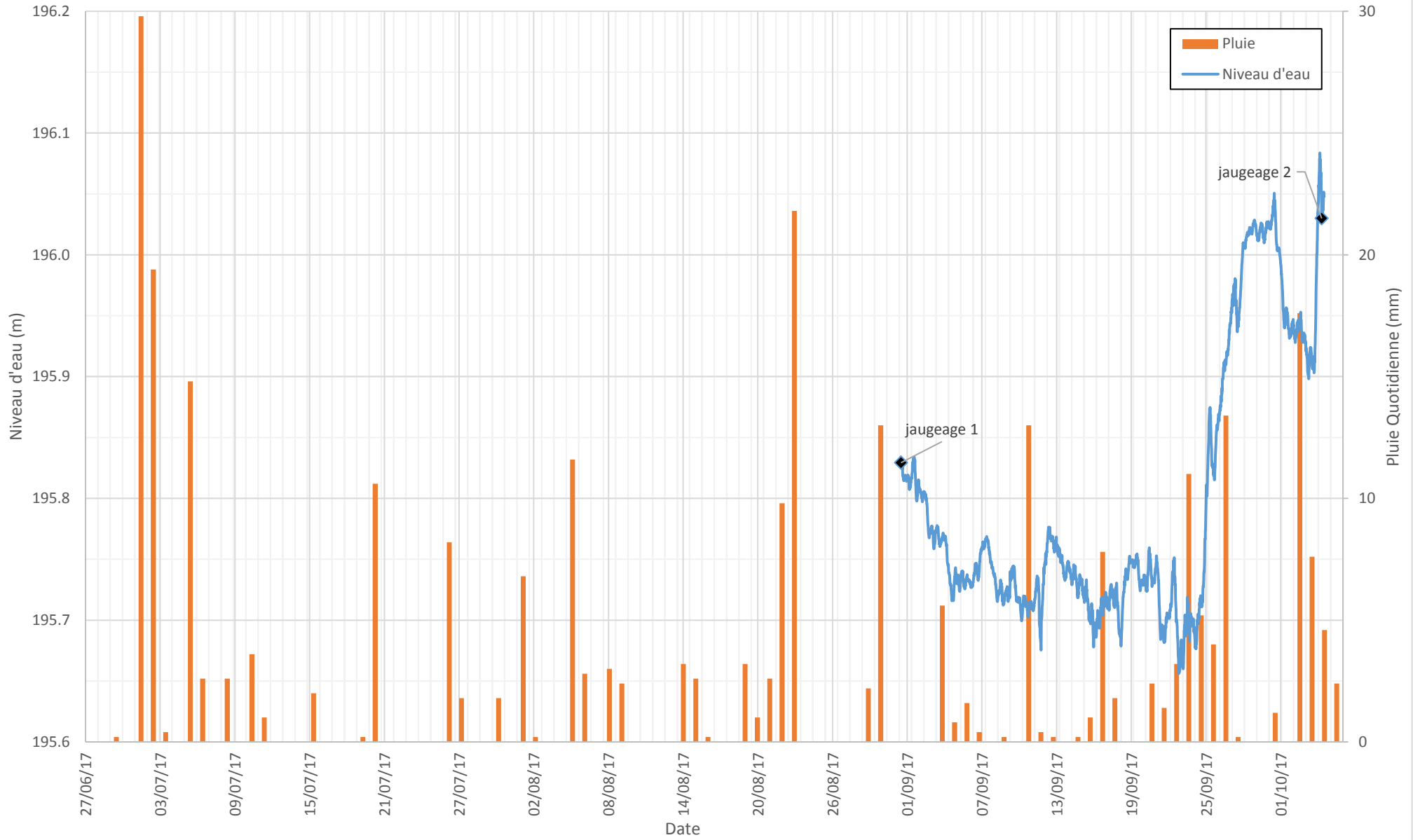
Photo A-28 : Cours d'eau CE5 – Octobre 2017, vue vers l'aval depuis le double ponceau de la route de la Baie-James

ANNEXE

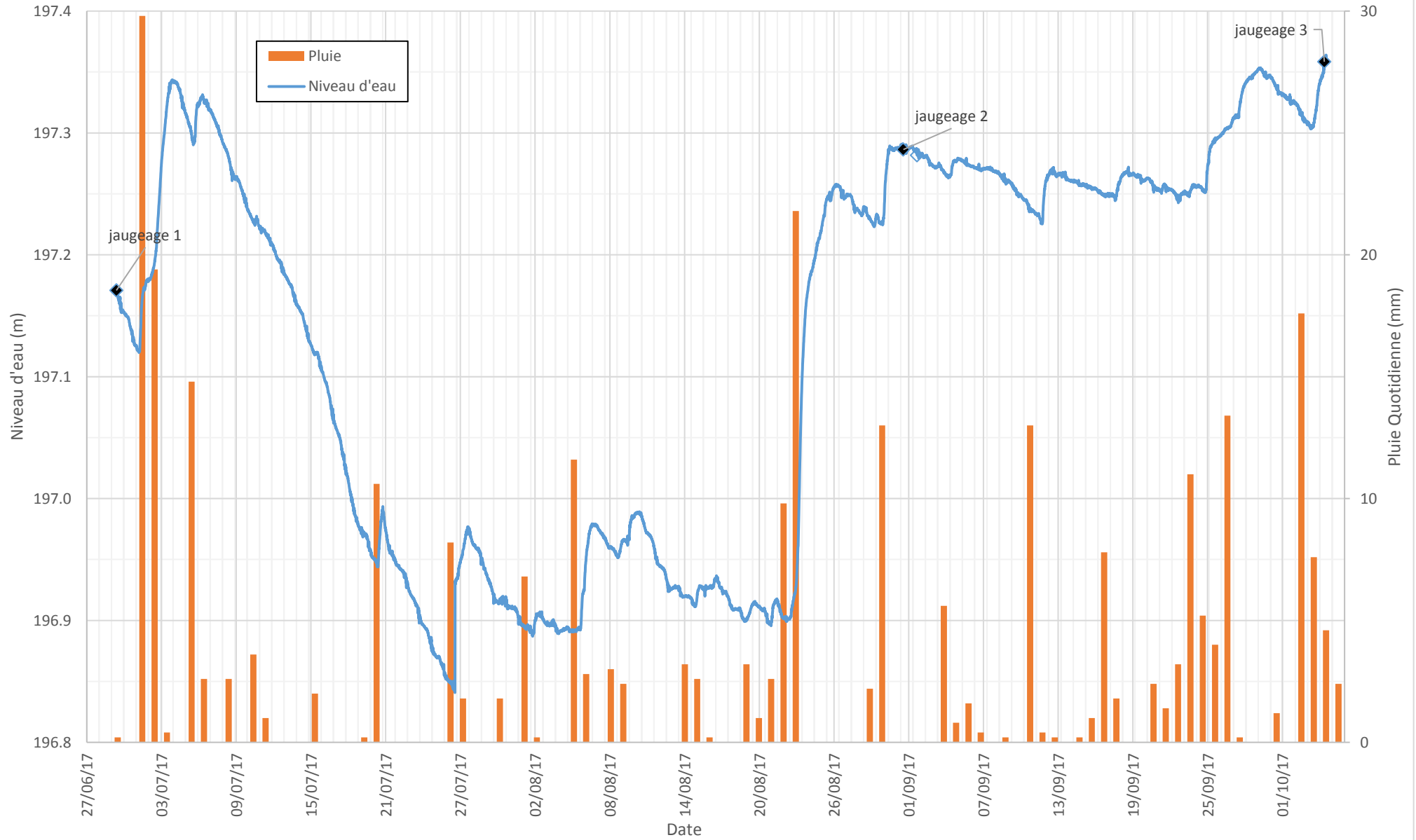
B

DONNÉES DE LA CAMPAGNE
DE TERRAIN

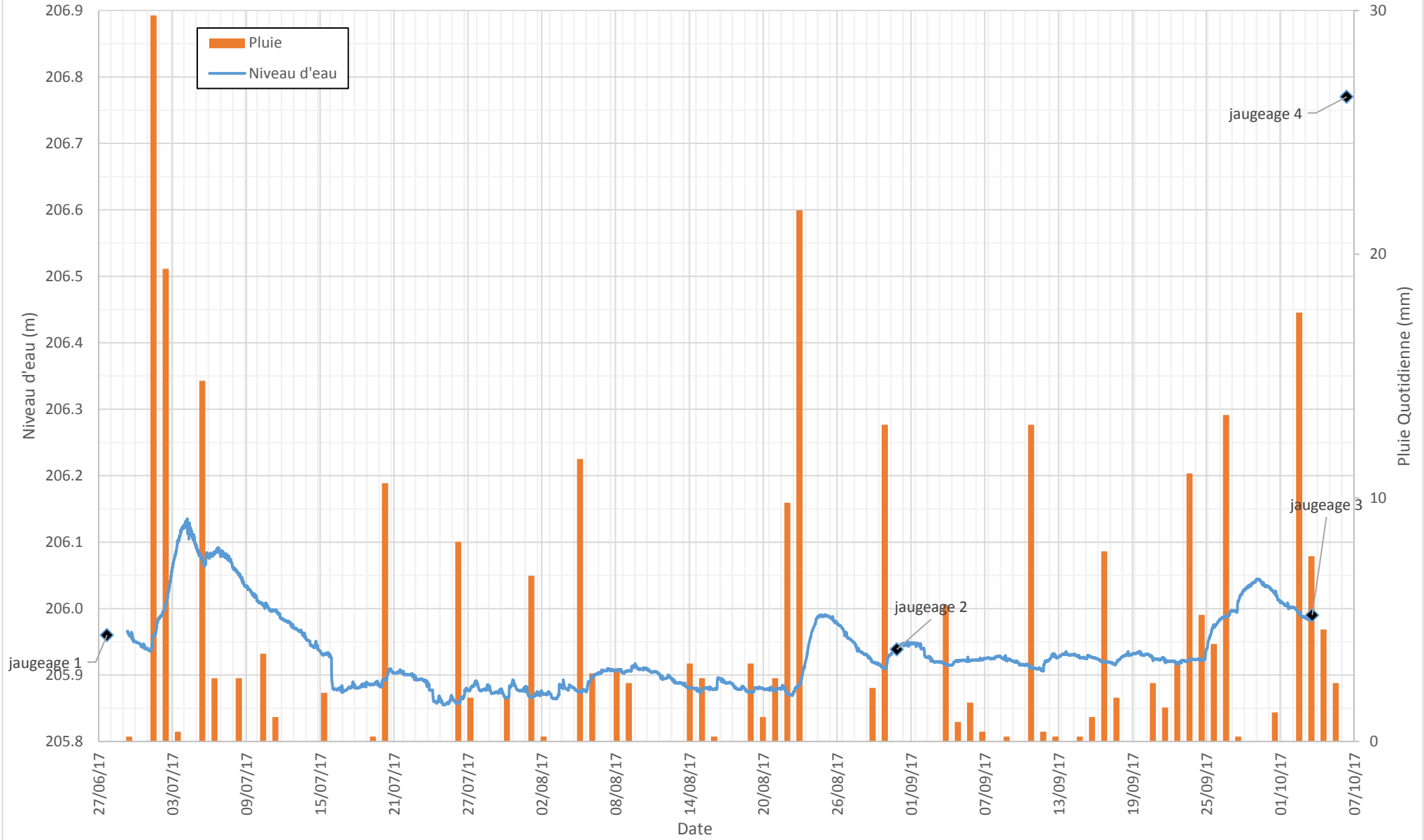
Sonde 1



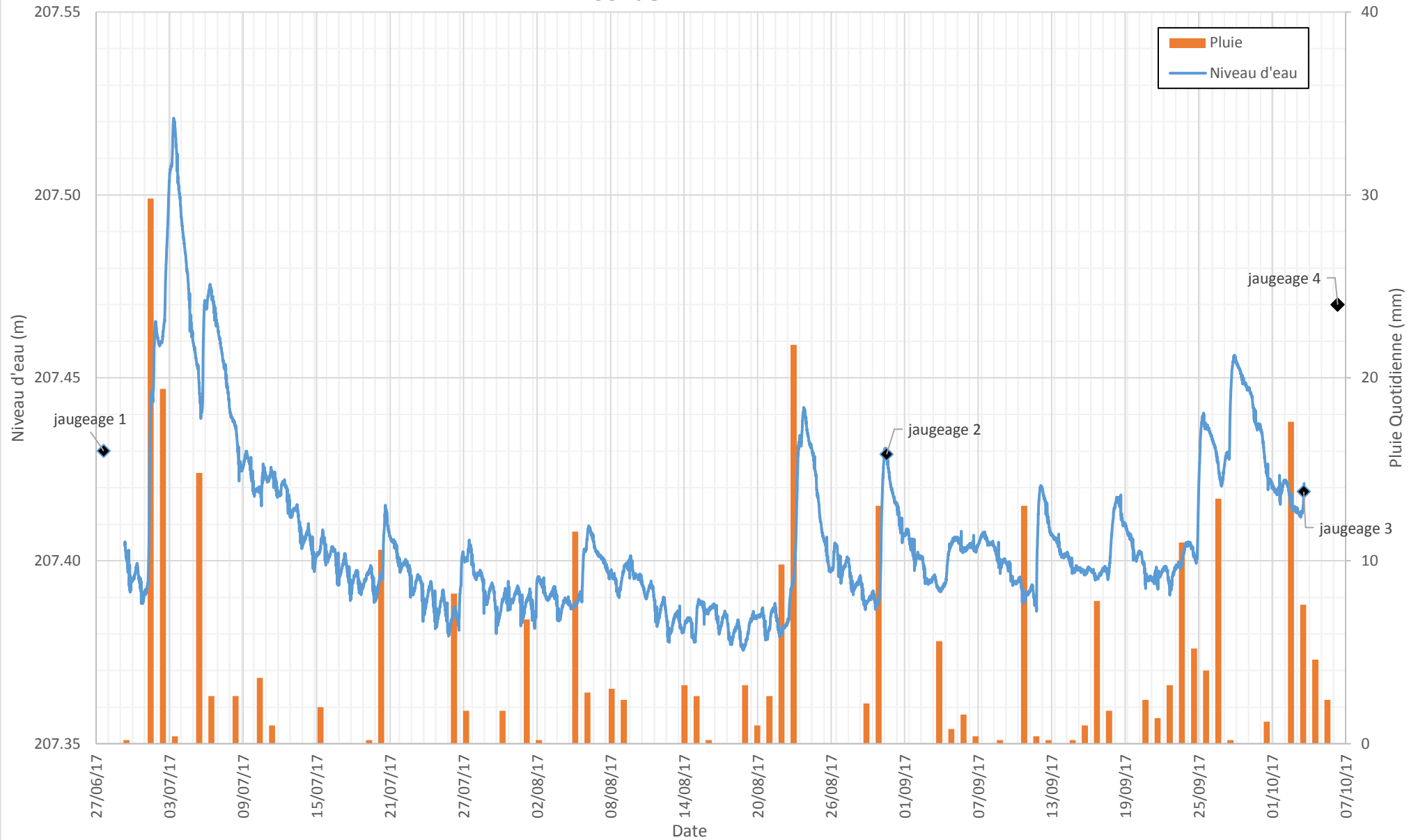
Sonde 2



Sonde 3



Sonde 4



Sonde 5

