

RETURN BIDS TO:
RETOURNER LES SOUMISSIONS À:
Réception des soumissions - TPSGC / Bid
Receiving - PWGSC
1550, Avenue d'Estimauville
1550, D'Estimauville Avenue
Québec
Québec
G1J 0C7

REQUEST FOR PROPOSAL
DEMANDE DE PROPOSITION

**Proposal To: Public Works and Government
Services Canada**

We hereby offer to sell to Her Majesty the Queen in right of Canada, in accordance with the terms and conditions set out herein, referred to herein or attached hereto, the goods, services, and construction listed herein and on any attached sheets at the price(s) set out therefor.

**Proposition aux: Travaux Publics et Services
Gouvernementaux Canada**

Nous offrons par la présente de vendre à Sa Majesté la Reine du chef du Canada, aux conditions énoncées ou incluses par référence dans la présente et aux annexes ci-jointes, les biens, services et construction énumérés ici sur toute feuille ci-annexée, au(x) prix indiqué(s).

Comments - Commentaires

Title - Sujet Suiv. mat. en susp. via images sat.	
Solicitation No. - N° de l'invitation EE010-151984/A	Date 2015-02-23
Client Reference No. - N° de référence du client EE010-151984	
GETS Reference No. - N° de référence de SEAG PW-\$QCN-015-16346	
File No. - N° de dossier QCN-4-37315 (015)	CCC No./N° CCC - FMS No./N° VME
Solicitation Closes - L'invitation prend fin at - à 02:00 PM on - le 2015-04-07	Time Zone Fuseau horaire Heure Avancée de l'Est HAE
F.O.B. - F.A.B. Plant-Usine: <input type="checkbox"/> Destination: <input type="checkbox"/> Other-Autre: <input type="checkbox"/>	
Address Enquiries to: - Adresser toutes questions à: Legendre, Sylvie	Buyer Id - Id de l'acheteur qcn015
Telephone No. - N° de téléphone (418) 649-2860 ()	FAX No. - N° de FAX (418) 648-2209
Destination - of Goods, Services, and Construction: Destination - des biens, services et construction: TPSGC/PWGSC 1550 AVE D'ESTIMAUVILLE, NEQ CE-SPT-ENVIRONNEMENT COE-PTS-ENVIRONNEMENT QUEBEC Québec G1J0C7 Canada	

Instructions: See Herein

Instructions: Voir aux présentes

Vendor/Firm Name and Address

**Raison sociale et adresse du
fournisseur/de l'entrepreneur**

Issuing Office - Bureau de distribution

TPSGC/PWGSC
601-1550, Avenue d'Estimauville
Québec
Québec
G1J 0C7

Delivery Required - Livraison exigée voir doc	Delivery Offered - Livraison proposée
Vendor/Firm Name and Address Raison sociale et adresse du fournisseur/de l'entrepreneur	
Telephone No. - N° de téléphone Facsimile No. - N° de télécopieur	
Name and title of person authorized to sign on behalf of Vendor/Firm (type or print) Nom et titre de la personne autorisée à signer au nom du fournisseur/ de l'entrepreneur (taper ou écrire en caractères d'imprimerie)	
Signature	Date

Solicitation No. - N° de l'invitation

EE010-151984/A

Amd. No. - N° de la modif.

File No. - N° du dossier

QCN-4-37315

Buyer ID - Id de l'acheteur

qcn015

Client Ref. No. - N° de réf. du client

EE010-151984

CCC No./N° CCC - FMS No/ N° VME

TABLE DES MATIÈRES

PARTIE 1 - RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX

1. Énoncé des Travaux
2. Sommaire
3. Compte rendu

PARTIE 2 - INSTRUCTIONS À L'INTENTION DES SOUMISSIONNAIRES

1. Instructions, clauses et conditions uniformisées
2. Présentation des soumissions
3. Ancien fonctionnaire
4. Demandes de renseignements - en période de soumission
5. Lois applicables

PARTIE 3 - INSTRUCTIONS POUR LA PRÉPARATION DES SOUMISSIONS

1. Instructions pour la préparation des soumissions

PARTIE 4 - PROCÉDURES D'ÉVALUATION ET MÉTHODE DE SÉLECTION

1. Procédures d'évaluation
2. Méthode de sélection

PARTIE 5 - ATTESTATIONS

1. Attestations préalables à l'attribution du contrat

PARTIE 6 - CLAUSES DU CONTRAT SUBSÉQUENT

1. Exigences relatives à la sécurité
2. Énoncé des travaux
3. Clauses et conditions uniformisées
4. Durée du contrat
5. Responsables
6. Divulcation proactive de marchés conclus avec d'anciens fonctionnaires
7. Paiement
8. Instructions relatives à la facturation
9. Attestations
10. Lois applicables
11. Ordre de priorité des documents
12. Assurances

N° de l'invitation - Sollicitation No.
EE010-151984/A
N° de réf. du client - Client Ref. No.
EE010-151984

N° de la modif - Amd. No.
File No. - N° du dossier
QCN-4-37315

Id de l'acheteur - Buyer ID
QCN015
N° CCC / CCC No./ N° VME - FMS

Liste des annexes

Annexe **A** Énoncé des travaux
Annexe **B** Base de paiement
Annexe **C** Références

Liste des pièces jointes

Pièce jointe 1 Critères techniques obligatoires et cotés

PARTIE 1 – RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX

1.1 Énoncé des travaux

Travaux Publics et Services Gouvernementaux souhaite réaliser un projet de démonstration à grande échelle de suivi des matières en suspension (MES) en mer à partir d'imagerie satellitaire multispectrales lors d'un projet réel de dragage. En 2015, Transports Canada entreprendra la restauration de sédiments situés directement au sud du quai commercial de Gaspé – Sandy Beach par dragage et l'un des impacts anticipés de ce projet de restauration est la remise en suspension de sédiments dans la colonne d'eau et le transport de ceux-ci vers les sites aquicoles situés au nord-ouest du havre de Gaspé.

Tel que détaillé à l'annexe A – Énoncé des Travaux, l'entrepreneur doit :

- Procéder à la calibration des bandes multispectrales provenant d'images satellites au printemps 2015 avant les travaux;
- Procéder à la mise en place et l'application de(s) modèle(s) de prédiction des MES;
- Effectuer le suivi des MES en mer lors des travaux de dragage à l'été et à l'automne 2015;
- Cartographier l'information et présenter les résultats dans un rapport et une présentation Powerpoint.

1.2 Compte rendu

Les soumissionnaires peuvent demander un compte rendu des résultats du processus de demande de soumissions. Les soumissionnaires devraient en faire la demande à l'autorité contractante dans les 15 jours ouvrables, suivant la réception des résultats du processus de demande de soumissions. Le compte rendu peut être fourni par écrit, par téléphone ou en personne.

1.3 Accords commerciaux

Ce besoin est assujéti aux dispositions de l'Accord de libre-échange nord-américain et de l'Accord sur le commerce intérieur.

PARTIE 2 – INSTRUCTIONS À L'INTENTION DES SOUMISSIONNAIRES

2.1 Instructions, clauses et conditions uniformisées

Toutes les instructions, clauses et conditions identifiées dans la demande de soumissions par un numéro, une date et un titre sont reproduites dans le [Guide des clauses et conditions uniformisées d'achat](https://achatsetventes.gc.ca/politiques-et-lignes-directrices/guide-des-clauses-et-conditions-uniformisees-d-achat) (<https://achatsetventes.gc.ca/politiques-et-lignes-directrices/guide-des-clauses-et-conditions-uniformisees-d-achat>) publié par Travaux publics et Services gouvernementaux Canada.

Les soumissionnaires qui présentent une soumission s'engagent à respecter les instructions, les clauses et les conditions de la demande de soumissions, et acceptent les clauses et les conditions du contrat subséquent.

Le document 2003 (2014-09-26) Instructions uniformisées - biens ou services - besoins concurrentiels, est incorporé par renvoi dans la demande de soumissions et en fait partie intégrante.

2.2 Présentation des soumissions

Les soumissions doivent être présentées uniquement au Module de réception des soumissions de Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (TPSGC) au plus tard à la date, à l'heure et à l'endroit indiqués à la page 1 de la demande de soumissions.

2.3 Ancien fonctionnaire

Les contrats attribués à des anciens fonctionnaires qui touchent une pension ou qui ont reçu un paiement forfaitaire doivent résister à l'examen scrupuleux du public et constituer une dépense équitable des fonds publics. Afin de respecter les politiques et les directives du Conseil du Trésor sur les contrats attribués à des anciens fonctionnaires, les soumissionnaires doivent fournir l'information exigée ci-dessous avant l'attribution du contrat. Si la réponse aux questions et, s'il y a lieu les renseignements requis, n'ont pas été fournis par le temps où l'évaluation des soumissions est complétée, le Canada informera le soumissionnaire du délai à l'intérieur duquel l'information doit être fournie. Le défaut de se conformer à la demande du Canada et satisfaire à l'exigence dans le délai prescrit rendra la soumission non recevable.

Définition

Aux fins de cette clause,

« *ancien fonctionnaire* » signifie tout ancien employé d'un ministère au sens de la Loi sur la gestion des finances publiques, L.R., 1985, ch. F-11, un ancien membre des Forces armées canadiennes ou de la Gendarmerie royale du Canada. Un ancien fonctionnaire peut être :

- (i) un individu;
- (ii) un individu qui s'est incorporé;
- (iii) une société de personnes constituée d'anciens fonctionnaires; ou
- (iv) une entreprise à propriétaire unique ou une entité dans laquelle la personne visée détient un intérêt important ou majoritaire.

« *période du paiement forfaitaire* » signifie la période mesurée en semaines de salaire à l'égard de laquelle un paiement a été fait pour faciliter la transition vers la retraite ou vers un autre emploi par suite de la mise en place des divers programmes visant à réduire la taille de la fonction publique. La période du paiement forfaitaire ne comprend pas la période visée par l'allocation de fin de services, qui se mesure de façon similaire.

« *pension* » signifie une pension ou une allocation annuelle versée en vertu de la Loi sur la pension de la fonction publique (LPFP), L.R., 1985, ch. P-36, et toute augmentation versée en vertu de la Loi sur les prestations de retraite supplémentaires, L.R., 1985, ch. S-24, dans la mesure où elle touche la LPFP. La pension ne comprend pas les pensions payables conformément à la Loi sur la pension de retraite des Forces canadiennes, L.R., 1985, ch. C-17, à la Loi sur la continuation de la pension des services de défense, 1970, ch. D-3, à la Loi sur la continuation des pensions de la Gendarmerie royale du Canada, 1970, ch. R-10, et à la Loi sur la pension de retraite de la Gendarmerie royale du Canada, L.R., 1985, ch. R-11, à la Loi sur les allocations de retraite des parlementaires, L.R., 1985, ch. M-5, et à la partie de la pension versée conformément à la Loi sur le Régime de pensions du Canada, L.R., 1985, ch. C-8.

Ancien fonctionnaire touchant une pension

Selon les définitions ci-dessus, est-ce que le soumissionnaire est un ancien fonctionnaire touchant une pension?

Oui ()
Non ()

Si oui, le soumissionnaire doit fournir l'information suivante pour tous les anciens fonctionnaires touchant une pension, le cas échéant :

- (i) le nom de l'ancien fonctionnaire;
- (ii) la date de cessation d'emploi dans la fonction publique ou de la retraite.

En fournissant cette information, les soumissionnaires acceptent que le statut du soumissionnaire retenu, en tant qu'ancien fonctionnaire touchant une pension en vertu de la 0LPFP, soit publié dans les rapports de divulgation proactive des marchés, sur les sites Web des ministères, et ce conformément à l'Avis sur la Politique des marchés : 2012-2 et les Lignes directrices sur la divulgation des marchés.

Directive sur le réaménagement des effectifs

Est-ce que le soumissionnaire est un ancien fonctionnaire qui a reçu un paiement forfaitaire en vertu de la Directive sur le réaménagement des effectifs?

Oui ()
Non ()

Si oui, le soumissionnaire doit fournir l'information suivante :

- (i) le nom de l'ancien fonctionnaire;
- (ii) les conditions de l'incitatif versé sous forme de paiement forfaitaire;
- (iii) la date de la cessation d'emploi;
- (iv) le montant du paiement forfaitaire;
- (v) le taux de rémunération qui a servi au calcul du paiement forfaitaire;
- (vi) la période correspondant au paiement forfaitaire, incluant la date du début, d'achèvement et le nombre de semaines;
- (vii) nombre et montant (honoraires professionnels) des autres contrats assujettis aux conditions d'un programme de réaménagement des effectifs.

Pour tous les contrats attribués pendant la période du paiement forfaitaire, le montant total des honoraires qui peut être payé à un ancien fonctionnaire qui a reçu un paiement forfaitaire est limité à 5 000 \$, incluant les taxes applicables.

2.4 Demandes de renseignements – en période de soumission

Toutes les demandes de renseignements doivent être présentées par écrit à l'autorité contractante au moins sept (7) jours civils avant la date de clôture des soumissions. Pour ce qui est des demandes de renseignements reçues après ce délai, il est possible qu'on ne puisse pas y répondre.

Les soumissionnaires devraient citer le plus fidèlement possible le numéro de l'article de la demande de soumissions auquel se rapporte la question et prendre soin d'énoncer chaque question de manière suffisamment détaillée pour que le Canada puisse y répondre avec exactitude. Les demandes de renseignements techniques qui ont un caractère exclusif doivent

porter clairement la mention « exclusif » vis-à-vis de chaque article pertinent. Les éléments portant la mention « exclusif » feront l'objet d'une discrétion absolue, sauf dans les cas où le Canada considère que la demande de renseignements n'a pas un caractère exclusif. Dans ce cas, le Canada peut réviser les questions ou peut demander au soumissionnaire de le faire, afin d'en éliminer le caractère exclusif, et permettre la transmission des réponses à tous les soumissionnaires. Le Canada peut ne pas répondre aux demandes de renseignements dont la formulation ne permet pas de les diffuser à tous les soumissionnaires.

2.5 Lois applicables

Tout contrat subséquent sera interprété et régi selon les lois en vigueur au Québec, et les relations entre les parties seront déterminées par ces lois.

À leur discrétion, les soumissionnaires peuvent indiquer les lois applicables d'une province ou d'un territoire canadien de leur choix, sans que la validité de leur soumission ne soit mise en question, en supprimant le nom de la province ou du territoire canadien précisé et en insérant le nom de la province ou du territoire canadien de leur choix. Si aucun changement n'est indiqué, cela signifie que les soumissionnaires acceptent les lois applicables indiquées.

PARTIE 3 – INSTRUCTIONS POUR LA PRÉPARATION DES SOUMISSIONS

3.1 Instructions pour la préparation des soumissions

Le Canada demande que les soumissionnaires fournissent leur soumission en sections distinctes, comme suit :

Section I : Soumission technique (3 copies papier)

Section II : Soumission financière (1 copie papier)

Section III : Attestations (1 copie papier)

Les prix doivent figurer dans la soumission financière seulement. Aucun prix ne doit être indiqué dans une autre section de la soumission.

Le Canada demande que les soumissionnaires suivent les instructions de présentation décrites ci-après pour préparer leur soumission.

- a) utiliser du papier de 8,5 po x 11 po (216 mm x 279 mm);
- b) utiliser un système de numérotation correspondant à celui de la demande de soumissions.

En avril 2006, le Canada a approuvé une politique exigeant que les ministères organismes fédéraux prennent les mesures nécessaires pour incorporer les facteurs environnementaux dans le processus d'approvisionnement Politique d'achats écologiques (<http://www.tpsgc-pwgsc.gc.ca/ecologisation-greening/achats-procurement/politique-policy-fra.html>). Pour aider le Canada à atteindre ses objectifs, les soumissionnaires devraient :

- 1) utiliser du papier de 8,5 po x 11 po (216 mm x 279 mm) contenant des fibres certifiées provenant d'un aménagement forestier durable et contenant au moins 30 % de matières recyclées; et

- 2) utiliser un format qui respecte l'environnement: impression noir et blanc, recto-verso/à double face, broché ou agrafé, sans reliure Cerlox, reliure à attaches ni reliure à anneaux.

Section I : Soumission technique

Dans leur soumission technique, les soumissionnaires devraient démontrer leur compréhension des exigences contenues dans la demande de soumissions et expliquer comment ils répondront à ces exigences. Les soumissionnaires devraient démontrer leur capacité et décrire l'approche qu'ils prendront de façon complète, concise et claire pour effectuer les travaux.

La soumission technique devrait traiter clairement et de manière suffisamment approfondie des points faisant l'objet des critères d'évaluation en fonction desquels la soumission sera évaluée. Il ne suffit pas de reprendre simplement les énoncés contenus dans la demande de soumissions. Afin de faciliter l'évaluation de la soumission, le Canada demande que les soumissionnaires reprennent les sujets dans l'ordre des critères d'évaluation, sous les mêmes rubriques. Pour éviter les recouvrements, les soumissionnaires peuvent faire référence à différentes sections de leur soumission en indiquant le numéro de l'alinéa et de la page où le sujet visé est déjà traité.

Section II : Soumission financière

Les soumissionnaires doivent présenter leur soumission financière en conformité avec la base de paiement reproduite à l'annexe B. Les prix doivent être en dollars canadiens, excluant les taxes applicables, FAB destination, incluant les droits de douane et les taxes d'accise canadiens.

3.1.1 Fluctuation du taux de change

C3011T (2013-11-06) Fluctuation du taux de change

Section III : Attestations

Les soumissionnaires doivent présenter les attestations exigées à la Partie 5.

PARTIE 4 – PROCÉDURES D'ÉVALUATION ET MÉTHODE DE SÉLECTION

4.1 Procédures d'évaluation

- a) Les soumissions reçues seront évaluées par rapport à l'ensemble des exigences de la demande de soumissions, incluant les critères d'évaluation techniques et financiers.
- b) Une équipe d'évaluation composée de représentants du Canada évaluera les soumissions.

4.1.1 Évaluation technique

4.1.1.1 Critères techniques obligatoires

Chaque soumission fera l'objet d'un examen pour en déterminer la conformité aux exigences obligatoires de la demande de soumissions. Tous les éléments de la demande de soumissions qui constituent des exigences obligatoires sont désignés précisément par les termes "doit", "doivent" (au temps présent ou au futur) ou "obligatoire". Les soumissions qui ne respectent pas chacune des exigences obligatoires seront déclarées irrecevables et rejetées. Les exigences obligatoires sont décrites dans le **Document joint 1**, Critères techniques et cotés.

4.1.1.2 Critères techniques cotés

Chaque soumission sera cotée en attribuant une note aux exigences cotées, qui sont décrites dans le **document joint 1**, Critères technique et cotés. Les soumissions qui ne sont pas complètes et qui ne contiennent pas tous les renseignements exigés dans la demande de soumissions seront cotées en conséquence.

4.1.2 Évaluation financière

Les soumissionnaires doivent présenter leur soumission financière en conformité avec la base de paiement reproduite à l'annexe B. Les prix doivent être en dollars canadiens, excluant les taxes applicables, FAB destination, incluant les droits de douane et les taxes d'accise canadiens.

4.2 Méthode de sélection

4.2.1 Méthode de sélection - Note combinée la plus haute sur le plan du mérite technique et du prix

1. Pour être déclarée recevable, une soumission doit :
 - a) respecter toutes les exigences de la demande de soumissions;
 - b) satisfaire à tous les critères obligatoires;
 - c) obtenir le nombre minimum de points requis pour chaque critère et chaque groupe de critères avec une note de passage;
 - d) obtenir le nombre minimum de points requis pour l'ensemble des critères d'évaluation techniques qui sont cotés.

2. Les soumissions qui ne répondent pas aux exigences a) ou b) ou c) ou d) seront déclarées non recevables.
3. La sélection sera faite en fonction du meilleur résultat global sur le plan du mérite technique et du prix. Une proportion de 70% sera accordée au mérite technique et une proportion de 30% sera accordée au prix évalué.
4. Afin de déterminer la note pour le mérite technique, la note technique globale de chaque soumission recevable sera calculée comme suit : le nombre total de points obtenus sera divisé par le nombre total de points pouvant être accordés, puis multiplié par 70.
5. Afin de déterminer la note pour le prix, chaque soumission recevable sera évaluée proportionnellement au prix évalué le plus bas et selon le ratio de 30%.
6. Pour chaque soumission recevable, la cotation du mérite technique et la cotation du prix seront ajoutées pour déterminer la note combinée.
7. La soumission recevable ayant obtenu le plus de points ou celle ayant le prix évalué le plus bas ne sera pas nécessairement choisie. La soumission recevable qui obtiendra la note combinée la plus élevée pour le mérite technique et le prix sera recommandée pour l'attribution du contrat.

Le tableau ci-dessous présente un exemple où les trois soumissions sont recevables et où la sélection de l'entrepreneur se fait en fonction d'un ratio de 70/30 à l'égard du mérite technique et du prix, respectivement. Le nombre total de points pouvant être accordé est de 100, et le prix évalué le plus bas est de \$175,000.00.

Méthode de sélection - Note combinée la plus haute sur le plan du mérite technique (70 %) et du prix (30 %)

	Soumissionnaires		
	Soumissionnaire 1	Soumissionnaire 2	Soumissionnaire 3
Note technique globale	80/100	65/100	85/100
Prix évalué de la soumission	\$200,00.00	\$175,000.00	\$185,000.00
	Calculs		
Note pour le mérite technique	$80/100 \times 70 = 56$	$65/100 \times 70 = 45.5$	$85/100 \times 70 = 59.5$
Note pour le prix	$175000/200000 \times 30 = 26.25$	$175000/175000 \times 30 = 30$	$175000/185000 \times 30 = 28.38$
Note combinée	86	75.5	87.88
Évaluation globale	2^e	3^e	1^{er} (gagnant)

PARTIE 5 – ATTESTATIONS

Les soumissionnaires doivent fournir les attestations et les renseignements connexes exigés pour qu'un contrat leur soit attribué.

Les attestations que les soumissionnaires remettent au Canada, peuvent faire l'objet d'une vérification à tout moment par le Canada. Le Canada déclarera une soumission non recevable, ou à un manquement de la part de l'entrepreneur à l'une de ses obligations prévues au contrat, s'il est établi qu'une attestation du soumissionnaire est fautive, sciemment ou non, que ce soit pendant la période d'évaluation des soumissions ou pendant la durée du contrat.

L'autorité contractante aura le droit de demander des renseignements supplémentaires pour vérifier les attestations du soumissionnaire. À défaut de répondre et de coopérer à toute demande ou exigence imposée par l'autorité contractante, la soumission peut être déclarée non recevable, ou constituer un manquement aux termes du contrat.

5.1 Attestations préalables à l'attribution du contrat

Les attestations énumérées ci-dessous devraient être remplies et fournies avec la soumission mais elles peuvent être fournies plus tard. Si l'une de ces attestations n'est pas remplie et fournie tel que demandé, l'autorité contractante informera le soumissionnaire du délai à l'intérieur duquel les renseignements doivent être fournis. À défaut de se conformer à la demande de l'autorité contractante et de fournir les attestations dans le délai prévu, la soumission sera déclarée non recevable.

5.1.1 Dispositions relatives à l'intégrité – renseignements connexes

En présentant une soumission, le soumissionnaire atteste que le soumissionnaire et ses affiliés respectent les dispositions stipulées à l'article 01 Dispositions relatives à l'intégrité - soumission, des instructions uniformisées 2003. Les renseignements connexes, tel que requis aux dispositions relatives à l'intégrité, assisteront le Canada à confirmer que les attestations sont véridiques.

5.1.2 Programme de contrats fédéraux pour l'équité en matière d'emploi – Attestation de soumission

En présentant une soumission, le soumissionnaire atteste que le soumissionnaire, et tout membre de la coentreprise si le soumissionnaire est une coentreprise, n'est pas nommé dans la liste des « soumissionnaires à admissibilité limitée » (http://www.travail.gc.ca/fra/normes_equite/eq/emp/pcf/liste/inelig.shtml) du Programme de contrats fédéraux (PCF) pour l'équité en matière d'emploi disponible sur le site Web d'Emploi et Développement social Canada (EDSC) – Travail.

Le Canada aura le droit de déclarer une soumission non recevable si le soumissionnaire, ou tout membre de la coentreprise si le soumissionnaire est une coentreprise, figure dans la liste des « soumissionnaires à admissibilité limitée » du PCF au moment de l'attribution du contrat.

PARTIE 6 – CLAUSES DU CONTRAT SUBSÉQUENT

Les clauses et conditions suivantes s'appliquent à tout contrat subséquent découlant de la demande de soumissions et en font partie intégrante.

6.1 Exigences relatives à la sécurité

6.1.1 Ce contrat ne comporte aucune exigence relative à la sécurité.

6.2 Énoncé des travaux

L'entrepreneur doit exécuter les travaux conformément à l'énoncé des travaux qui se trouve à l'annexe « A » et à la soumission technique de l'entrepreneur intitulée _____, en date du _____. (sera inséré à l'octroi).

6.3 Clauses et conditions uniformisées

Toutes les clauses et conditions identifiées dans le contrat par un numéro, une date et un titre, sont reproduites dans le Guide des clauses et conditions uniformisées d'achat (<https://achatsetventes.gc.ca/politiques-et-lignes-directrices/guide-des-clauses-et-conditions-uniformisees-d-achat>) publié par Travaux publics et Services gouvernementaux Canada.

6.3.1 Conditions générales

2010B (2014-09-25), Conditions générales - services professionnels (complexité moyenne) s'appliquent au contrat et en font partie intégrante.

6.4 Durée du contrat

6.4.1 Période du contrat

La période du contrat est à partir de la date du contrat jusqu'au 31 mars 2016 inclusivement.

6.5 Responsables

6.5.1 Autorité contractante

L'autorité contractante pour le contrat est :

Sylvie Legendre
Travaux Publics et Services Gouvernementaux Canada
601-1550, avenue D'Estimauville
Québec, QC.
G1J 0C7
Téléphone : 418-649-2860
Télécopieur : 418-648-2209
Courriel : sylvie.legendre@tpsgc-pwgsc.gc.ca

L'autorité contractante est responsable de la gestion du contrat, et toute modification doit être autorisée, par écrit par l'autorité contractante. L'entrepreneur ne doit pas effectuer de travaux

dépassant la portée du contrat ou des travaux qui n'y sont pas prévus suite à des demandes ou des instructions verbales ou écrites de toute personne autre que l'autorité contractante.

6.5.2 Chargé de projet

Le chargé de projet pour le contrat est :

Nom : _____
Titre : _____
Organisation : _____
Adresse : _____

Téléphone : ____ ____ _____
Télécopieur : ____ ____ _____
Courriel : _____

Le chargé de projet représente le ministère ou l'organisme pour lequel les travaux sont exécutés en vertu du contrat. Il est responsable de toutes les questions liées au contenu technique des travaux prévus dans le contrat. On peut discuter des questions techniques avec le chargé de projet; cependant, celui-ci ne peut pas autoriser les changements à apporter à l'énoncé des travaux. De tels changements peuvent être effectués uniquement au moyen d'une modification de contrat émise par l'autorité contractante.

6.5.3 Représentant de l'entrepreneur

Nom : _____
Téléphone : ____ ____ _____
Télécopieur : ____ ____ _____
Courriel : _____

6.6. Divulcation proactive de marchés conclus avec d'anciens fonctionnaires

En fournissant de l'information sur son statut en tant qu'ancien fonctionnaire touchant une pension en vertu de la *Loi sur la pension de la fonction publique* (LPFP), l'entrepreneur a accepté que cette information soit publiée sur les sites Web des ministères, dans le cadre des rapports de divulgation proactive de marchés, et ce, conformément à l'Avis sur la Politique des marchés : 2012-2 du Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada.

6.7. Paiement

6.7.1 Base de paiement

6.7.1.1 Pour les services de calibration des images et le suivi des travaux lors du dragage, tel que détaillé à l'annexe A :

À condition de remplir de façon satisfaisante toutes ses obligations en vertu du contrat, l'entrepreneur sera payé les prix fermes précisés dans l'annexe B. Les droits de douane sont inclus et les taxes applicables en sus, s'il y a lieu.

Le Canada ne paiera pas l'entrepreneur pour tout changement à la conception, toute modification ou interprétation des travaux, à moins que ces changements à la

conception, ces modifications ou ces interprétations n'aient été approuvés par écrit par l'autorité contractante avant d'être intégrés aux travaux.

6.7.1.2 Pour les images supplémentaires :

6.7.1.2.1 À condition de remplir de façon satisfaisante toutes ses obligations en vertu du contrat, l'entrepreneur sera payé des prix unitaires fermes précisés dans l'annexe B. Les droits de douane sont inclus et les taxes applicables en sus, s'il y a lieu.

Le Canada ne paiera pas l'entrepreneur pour tout changement à la conception, toute modification ou interprétation des travaux, à moins que ces changements à la conception, ces modifications ou ces interprétations n'aient été approuvés par écrit par l'autorité contractante avant d'être intégrés aux travaux.

6.7.1.2.2 Limitation des dépenses pour les images supplémentaires

1. La responsabilité totale du Canada envers l'entrepreneur en vertu de l'acquisition d'images supplémentaires ne doit pas dépasser la somme de _____ \$ **(le montant sera inséré au moment de l'attribution du contrat)**. Les droits de douane sont inclus et les taxes applicables en sus, s'il y a lieu.
2. Aucune augmentation de la responsabilité totale du Canada ou du prix des travaux découlant de tout changement de conception, de toute modification ou interprétation des travaux, ne sera autorisée ou payée à l'entrepreneur, à moins que ces changements de conception, modifications ou interprétations n'aient été approuvés, par écrit, par l'autorité contractante avant d'être intégrés aux travaux. L'entrepreneur n'est pas tenu d'exécuter des travaux ou de fournir des services qui entraîneraient une augmentation de la responsabilité totale du Canada à moins que l'augmentation n'ait été autorisée par écrit par l'autorité contractante. L'entrepreneur doit informer, par écrit, l'autorité contractante concernant la suffisance de cette somme :
 - a) lorsque 75 p. 100 de la somme est engagée, ou
 - b) quatre (4) mois avant la date d'expiration du contrat, ou
 - c) dès que l'entrepreneur juge que les fonds du contrat sont insuffisants pour l'achèvement des travaux,

selon la première de ces conditions à se présenter.

3. Lorsqu'il informe l'autorité contractante que les fonds du contrat sont insuffisants, l'entrepreneur doit lui fournir par écrit une estimation des fonds additionnels requis. La présentation de cette information par l'entrepreneur n'augmente pas la responsabilité du Canada à son égard.

6.7.3 Modalités de paiements

Le calendrier des étapes selon lequel les paiements seront faits en vertu du contrat est comme suit :

Étapes	Livrable	% de la valeur du prix ferme	Date d'échéance ou « Date de livraison »
No. 1	Livrables 1 et 2 : Rencontres de démarrage et de travail, plan de travail et rapport d'étape préliminaire, tel que décrit à la section 2.1 et 2.2 de l'annexe A – Énoncé des travaux. 4 images panchromatiques et multispectrales brutes ainsi que les images orthorectifiées	50% du prix ferme tel que décrit à l'article 1 de l'annexe B – Base de paiement	Au plus tard le 25 juin 2015
No. 2	Livrable 3 : Rapport d'étape final, tel que décrit à la section 2.3 de l'annexe A – Énoncé des travaux.	50% du prix ferme tel que décrit à l'article 1 de l'annexe B – Base de paiement	10 jours après la date de transmission des commentaires du chargé de projet de TPSGC sur la version préliminaire ou au plus tard le 15 juillet 2015
No. 3	Livrable 4 : Dix premiers rapports techniques (10) tel que décrit à la section 2.4 de l'annexe A – Énoncé des travaux. 12 Images panchromatiques et multispectrales brutes ainsi que les images orthorectifiées	30% du prix ferme tel que décrit à l'article 2 de l'annexe B – Base de paiement	Au plus tard, 8 semaines après le début des travaux de dragage prévu en juillet 2015
No. 4	Livrable 5 : Rapport préliminaire tel que décrit à la section 2.5 de l'annexe A – Énoncé des travaux. Images supplémentaires panchromatiques et multispectrales brutes ainsi que les images orthorectifiées	30 % du prix ferme tel que décrit à l'article 2 de l'annexe B – Base de paiement	Au plus tard, 15 jours après la fin des travaux de dragage ou au plus tard le 30 octobre 2015.
No. 5	Livrable 6 : Rapport final tel que décrit à la section 2.6 de l'annexe A – Énoncé des travaux.	40 % du prix ferme tel que décrit à l'article 2 de l'annexe B – Base de paiement	10 jours après la date de transmission des commentaires du chargé de projet de TPSGC sur la version préliminaire ou au plus tard le 31 décembre 2015.

6.8 Instructions relatives à la facturation

1. L'entrepreneur doit soumettre ses factures conformément à l'article intitulé « Présentation des factures » des conditions générales. Les factures ne doivent pas être soumises avant que tous les travaux identifiés sur la facture soient complétés.
2. Les factures doivent être distribuées comme suit :
 - (a) L'original et une (1) copie doivent être envoyés à l'adresse qui apparaît à la page 1 du contrat pour attestation et paiement.

6.9 Attestations

6.9.1 Conformité

Le respect continu des attestations fournies par l'entrepreneur avec sa soumission ainsi que la coopération constante quant aux renseignements connexes sont des conditions du contrat. Les attestations pourront faire l'objet de vérifications par le Canada pendant toute la durée du contrat. En cas de manquement à toute déclaration de la part de l'entrepreneur ou à fournir les renseignements connexes, ou encore si on constate que les attestations qu'il a fournies avec sa soumission comprennent de fausses déclarations, faites sciemment ou non, le Canada aura le droit de résilier le contrat pour manquement conformément aux dispositions du contrat en la matière.

6.10 Lois applicables

Le contrat doit être interprété et régi selon les lois en vigueur _____ (*sera inséré à l'octroi*), et les relations entre les parties seront déterminées par ces lois.

6.11 Ordre de priorité des documents

En cas d'incompatibilité entre le libellé des textes énumérés dans la liste, c'est le libellé du document qui apparaît en premier sur la liste qui l'emporte sur celui de tout autre document qui figure plus bas sur ladite liste.

- a) les articles de la convention;
- b) les conditions générales 2010B (2014-09-25), services professionnels (complexité moyenne);
- c) Annexe A, Énoncé des travaux;
- d) Annexe B, Base de Paiement;
- e) la soumission de l'entrepreneur en date du _____ .

6.12 Assurances

Clause du *Guide des CCUA G1005C* (2008-05-12), Assurances

ANNEXE A - ÉNONCÉ DES TRAVAUX

Au cours des dernières années, Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (TPSGC), en collaboration avec l'Agence spatiale canadienne, a travaillé à développer des applications de technologies d'observation de la terre (OT) pour ses activités. Cet exercice a permis de démontrer un fort potentiel pour le suivi des panaches de matières en suspension (MES) en mer dans le cadre de projets de dragage.

Une étude réalisée récemment par Effigis Geosolutions (2014a) a permis de confirmer qu'il existe plusieurs satellites commerciaux munis de capteurs multispectraux permettant d'estimer potentiellement les MES en mer. Au printemps dernier, un essai de validation réalisée à l'aide d'images Pléiades et de mesures de calibration sur le terrain a permis de confirmer le potentiel des bandes spectrales d'images satellitaires pour la mesure des MES en mer (Effigis Geosolutions, 2014b et WSP, 2014).

Par conséquent, TPSGC souhaite réaliser un projet de démonstration à grande échelle de suivi des MES en mer à partir d'imagerie satellitaire multispectrales lors d'un projet réel de dragage. En 2015, Transports Canada entreprendra la restauration de sédiments situés directement au sud du quai commercial de Gaspé – Sandy Beach par dragage et l'un des impacts anticipés de ce projet de restauration est la remise en suspension de sédiments dans la colonne d'eau et le transport de ceux-ci vers les sites aquicoles situés au nord-ouest du havre de Gaspé.

Plus précisément, les travaux consistent à :

- Procéder à la calibration des bandes multispectrales provenant d'images satellites au printemps 2015 avant les travaux;
- Procéder à la mise en place et l'application de(s) modèle(s) de prédiction des MES;
- Effectuer le suivi des MES en mer lors des travaux de dragage à l'été et à l'automne 2015, et
- Cartographier l'information et présenter les résultats dans un rapport et une présentation Powerpoint.

1. Méthodologie détaillée

L'entrepreneur devra effectuer le suivi des MES en mer lors des travaux de dragage à l'été et à l'automne 2015 en utilisant au moins trois capteurs satellitaires différents, dont LANDSAT-8. Les résultats des travaux permettront de vérifier si l'imagerie satellitaires de différents capteurs possédant des résolutions différentes peuvent être utiles pour effectuer le suivi des MES en mer lors de travaux de dragage.

À l'exception du capteur LANDSAT-8, les deux (2) autres capteurs multispectraux satellitaires utilisés devront avoir les caractéristiques du tableau 1. La figure 1 présente la zone l'étude, d'une superficie approximative de 100 km². Les satellites devront être en mesure de prendre une image complète de jour du site à l'étude en un seul passage.

Satellites avec capteurs multispectraux	Nombre de bandes spectrales minimal	Résolution	Capacité d'acquisition
1-LANDSAT-8	4	± 30 m	Une fois tous les 16 jours
2-à déterminer par l'entrepreneur	4	< 4 m	Au moins deux fois par semaine à un moment précis ± 15 min.
3-à déterminer par l'entrepreneur	4	Entre 4 et 10 m	Au moins une fois par semaine

Tableau 1 : Caractéristiques des satellites avec capteurs multispectraux à respecter

1.1 Calibration des bandes multispectrales provenant d'images satellites

Au printemps 2015, l'entrepreneur devra procéder à la calibration des bandes multispectrales provenant d'images satellites à partir de données de terrain recueillies par TPSGC. La zone en pointillé bleu sur la figure 1 correspond à la partie de l'image qui servira à la collecte des échantillons d'eau pour la mesure de terrain des MES. Quatre (4) dates d'acquisition, entre le départ des glaces et au plus tard 10 jours avant le début des travaux prévues le 1^{er} juillet 2015, sont prévues pour calibrer le(s) modèle(s) utilisé(s) pour l'estimation des MES. L'entrepreneur doit prévoir au moins une image de calibration par capteur. Il pourra utiliser une quatrième image pour améliorer la calibration du capteur 2 ou 3, selon les résultats des premières acquisitions.

Idéalement la période de calibration devrait avoir lieu lors de la crue printanière, généralement en mai. Ces dates seront synchronisées avec la prise de données sur le site de MES par TPSGC. L'entrepreneur aura la responsabilité d'aviser TPSGC au moins 24 hrs à l'avance du moment précis du passage du satellite afin de permettre à l'équipe de terrain de recueillir les échantillons d'eau pour la calibration au même moment. L'entrepreneur devra prendre les mesures nécessaires afin de s'assurer que les conditions techniques (angle du satellite, heure de passage dans la journée, etc.), atmosphériques (prévisions météorologiques, présence de nuages etc.) et océanographiques (présence de vagues, etc.) seront réunis pour obtenir des images satellitaires de qualité. TPSGC procédera au prélèvement des échantillons d'eau seulement si les conditions optimales sont réunies. Dans la perspective que les conditions ne sont pas réunies, l'entrepreneur devra proposer une nouvelle date à TPSGC. Les images ne permettant pas d'assurer une estimation adéquate des MES en mer devront être reprises aux frais de l'entrepreneur.

Au total, 15 points de collecte répartis dans la zone marine de l'aire d'acquisition seront sélectionnés. Les résultats seront transmis l'entrepreneur dans les jours suivant le prélèvement, dès qu'ils seront disponibles.

L'entrepreneur devra orthorectifier les images à partir de points de contrôle précis fournis par TPSGC (1 m) et d'un modèle numérique de terrain (MNT). Cette étape permettra d'assurer une bonne concordance avec la position des échantillons d'eau. Les coordonnées des huit points de contrôle terrestre seront remises à l'entrepreneur au moment de l'octroi du contrat.

L'entrepreneur devra effectuer les corrections radiométriques et atmosphériques sur les images à partir d'un logiciel approprié pour estimer la réflectance à la surface de l'eau à partir de la réflectance au capteur (disponible avec les images originales) en minimisant les effets de diffusion et d'absorption par les constituants de l'atmosphère.

1.2 Mise en place et application du modèle de prédiction des MES

Dans un premier temps, l'entrepreneur devra utiliser, à partir d'information qu'il devra trouver lui-même dans la littérature, des modèles d'estimation des MES par approche empirique. Les paramètres de ces modèles devront être ajustés pour optimiser la prédiction.

Des analyses de régression multiple devront également être réalisées par l'entrepreneur en faisant appel aux réflectances des bandes du visible et du proche infrarouge (ou aux rapports de réflectances) à la surface de l'eau. L'analyse des R^2 permettra à l'entrepreneur d'identifier les régressions les plus appropriées et une estimation de la précision des modèles de prédiction sera faite à partir des relevés. Finalement, l'entrepreneur proposera le ou les modèle(s) de prédiction le(s) plus performant(s) pour le suivi de la MES lors du dragage.

L'entrepreneur présentera l'ensemble des résultats pour la calibration des images dans un rapport d'étape (voir section 2.2).

1.3 Suivi des MES en mer lors des travaux de dragage

Les travaux de restauration au quai commercial de Gaspé – Sandy Beach débuteront le 1^{er} juillet 2015 pour une durée de 15 à 20 semaines. L'entrepreneur effectuera un suivi complet des MES tout au long des travaux, à partir des images satellitaires acquises environ tous les 5 jours. L'entrepreneur devra présenter un calendrier pour le suivi du dragage en tenant compte des paramètres techniques du passage des satellites et des conditions atmosphériques et océanographiques. Puisqu'il utilisera au moins deux capteurs différents, en plus des images LANDSAT-8, l'entrepreneur devra alterner dans la mesure du possible d'un capteur à l'autre tout au long du suivi. À l'exception des images LANDSAT-8, les images fournis par l'entrepreneur devront être exemptes de couverture nuageuse (<15%) au dessus de la mer à l'intérieur de la zone d'acquisition. Les images de mauvaises qualité, avec des nuages ou encore ne permettant pas de calculer adéquatement les concentrations de MES en mer devront être reprises aux frais de l'entrepreneur.

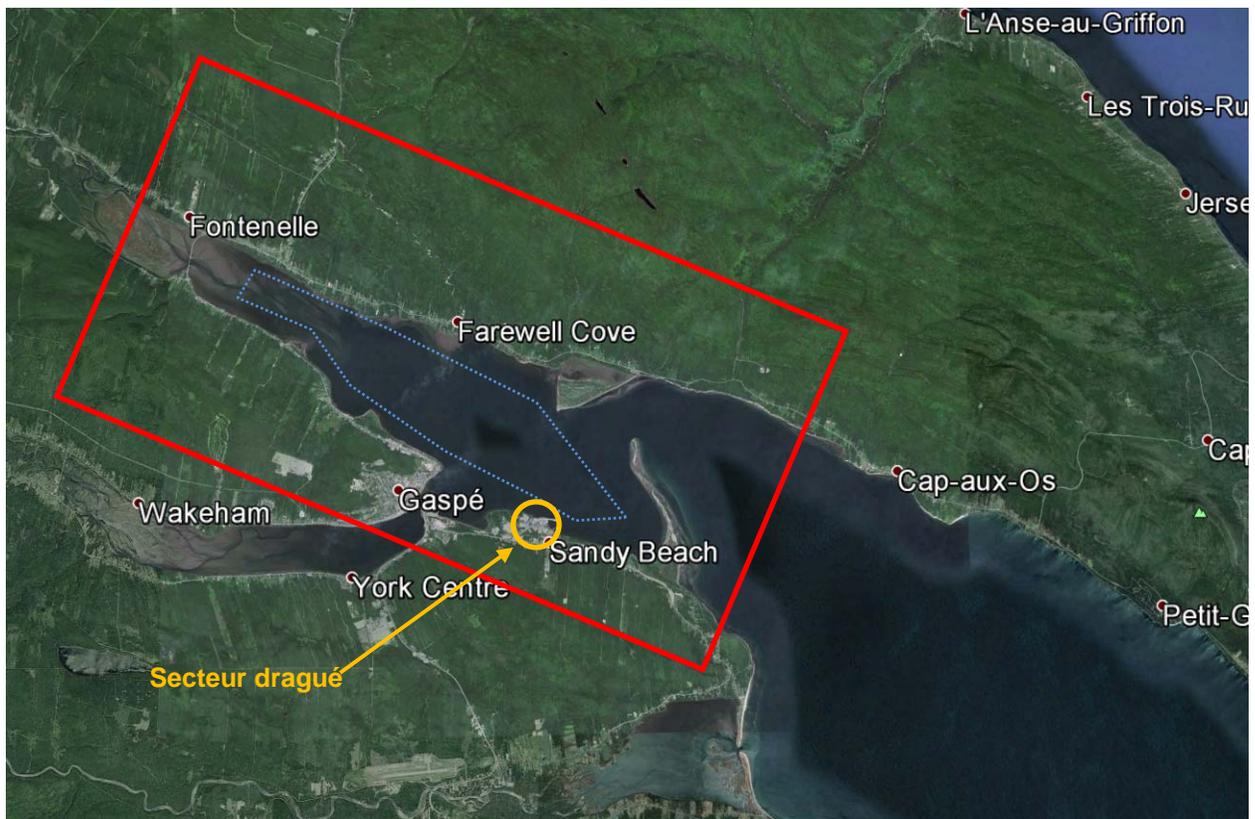


Figure 1 : Zone d'acquisition prévue des images satellites (en rouge) et de collecte des échantillons d'eau (en bleu)

1.4 Cartographie de la MES, rapports et présentation Powerpoint

L'entrepreneur produira des cartes détaillées des MES partir des valeurs estimées à l'aide du modèle optimal de prédiction développé. Les cartes permettront de visualiser l'évolution des panaches de sédiments naturels des rivières et occasionnés par le dragage ainsi que les valeurs de la MES par classe la plus précise possible (ex. 2, 4, 6 mg/l, etc.) sur l'ensemble de la zone d'étude tout au long des travaux de dragage. L'entrepreneur devra également prévoir une ou deux cartouches à grande échelle (agrandissement) pour illustrer la distribution des MES à proximité du quai et près de bassins des mariculteurs. Ces cartes seront générées en format papier et en format numérique (ArcGIS). L'ensemble des résultats devra être présenté dans des rapports techniques au cours des travaux (voir section 2.4) et dans un rapport à la fin des travaux (voir sections 2.5 et 2.6).

À la fin des travaux, l'entrepreneur devra présenter l'ensemble des résultats dans une présentation Powerpoint de 25 acétates minimum.

2. Produits livrables

2.1 Livrable 1 – Rencontre de démarrage et plan de travail

Dans les 5 jours suivant l'octroi du contrat, l'entrepreneur devra présenter un plan de travail pour les travaux de calibration lors d'une rencontre de démarrage dans les locaux de TPSGC à Québec. Le plan de travail devra présenter, entre autres, la démarche proposée pour coordonner les travaux d'échantillonnage avec TPSGC, les capteurs satellitaires utilisés, un calendrier des passages des satellites en prévision des activités de calibration au printemps 2015.

2.2 Livrable 2 – Rapport d'étape préliminaire et rencontre de travail

L'entrepreneur devra produire un rapport d'étape après l'analyse des quatre premières images utilisées pour la calibration. Ce premier rapport, essentiellement technique présentera l'information complète sur le ou les modèle(s) de prédiction le(s) plus performant(s) proposé(s) pour le suivi de la MES lors du dragage à l'été 2015 pour chacun des capteurs et présentera différentes cartes détaillées des MES à partir des valeurs estimées à l'aide du modèle optimal de prédiction développé. Les cartes à une échelle adéquate présentant les concentrations de MES différentes permettront de visualiser l'évolution des panaches de sédiments naturels dans le havre ainsi que les valeurs de la MES par classe la plus précise possible. Le rapport inclura une mise à jour du plan de travail avec un calendrier des passages des satellites pour le suivi des MES en mer lors du dragage. Ce premier rapport d'étape sera livré en un (1) exemplaire en version électronique au plus tard le 25 juin 2015. Une rencontre de travail est également prévue dans les locaux de TPSGC à Québec pour planifier le suivi des MES lors des travaux de dragage.

2.3 Livrable 3 – Rapport d'étape final

Le rapport d'étape final devra être livré en cinq (5) exemplaires papier recto-verso et en deux (2) exemplaires électroniques, incluant la version complète en format pdf et tous les formats d'origine Word, Excel, jpeg et Autocad pour les plans. L'entrepreneur doit apposer sa signature sur le rapport. La version finale sera remise 10 jours ouvrables après la réception des commentaires de TPSGC ou au plus tard le 15 juillet 2015.

2.4 Livrable 4 – Rapport technique sur le suivi des MES en mer à partir des images satellites

Dans les 48 heures suivant chacune des acquisitions lors du suivi des travaux de dragage, l'entrepreneur doit transmettre via un site ftp (ou autre) l'image multispectrales brutes ainsi que l'image orthorectifiée et une carte présentant les concentrations de MES mesurées en mer à partir de la plus récente image. Le courrier électronique devra identifier les éléments techniques concernant la date d'acquisition de l'image, etc., le type de capteur, une description sommaire de l'image et en comparaison avec les images antérieures et les particularités le cas échéant.

2.5 Livrable 5 – Rapport des travaux préliminaire complet

Le rapport préliminaire et une présentation Powerpoint seront livrés en un (1) exemplaire électronique incluant la version complète en format pdf et Word dans les quinze jours suivant l'acquisition de la dernière image à la fin des travaux de dragage à l'automne 2015 ou au plus tard le 30 octobre. Le rapport devra contenir tous les renseignements spécifiés à la section 3 ainsi que toutes les cartes et les photographies nécessaires à la bonne compréhension du rapport. Le rapport sera rédigé en français.

2.6 Livrable 6 – Rapport des travaux final

Le rapport final et la présentation Powerpoint final seront produits en cinq (5) exemplaires papier recto-verso en deux (2) exemplaires électroniques sur support informatique, incluant la version complète en format pdf et tout les formats d'origine Word, Excel, jpeg et ArcGIS pour les plans. L'entrepreneur doit apposer sa signature sur le rapport. La version finale sera remise 10 jours ouvrables après la réception des commentaires de TPSGC ou au plus tard le 31 décembre 2015.

3.0 Rapports sur les travaux

3.1 Rapport d'étape et rapport sur les travaux

Le rapport d'étape et le rapport sur les travaux, sans s'y limiter, présenteront les éléments suivants :

- Un sommaire exécutif ;
- Une table des matières ;
- Une description du contexte et des travaux;
- Une description du cheminement préconisé pour la réalisation de ce projet appuyé par la littérature ;
- Une description complète du cheminement du projet incluant le traitement des images satellite (corrections géométrique, radiométrique et atmosphérique), description des différents modèles de mise en place et application de prédiction des MES utilisés avec les avantages et inconvénients des différents logiciels utilisés et du traitement cartographique, les équations et les coefficients, etc. ;
- Un résumé des travaux de terrain effectué par TPSGC pour les mesures des MES en mer incluant, méthodologie d'échantillonnage de l'eau, positionnement (latitude et longitude), date et heure, profondeur d'eau et de l'échantillon (bouteille), numéro du site et autres observations pertinentes (présence d'algues, etc.), conditions météorologiques, vitesse et direction du vent, conditions de la mer, vagues, visibilité dans l'eau, etc. et la localisation géographique (l'information sera fournie par TPSGC) ;
- Un plan de localisation du projet et des stations d'échantillonnage à l'intérieur du havre de Gaspé;
- La présentation des résultats sous formes de tableaux, des résultats d'analyses par campagne et des corrélations/régressions effectuées avec les MES ;
- La présentation des résultats sur des plans grands format couleur (ex. A0) présentant les concentrations de MES mesurées en mer pour chacune des images satellites;
- Présentation descriptive des résultats;
- Une discussion;
- Conclusion sur la possibilité d'utiliser l'imagerie satellitaire pour le suivi des MES en mer, comparaison entre les différents capteurs utilisés et recommandations le cas échéant.
- Annexe électronique avec les images multispectrales brutes et orthorectifiées ;
- Etc.

3.2 Le rapport technique, sans s'y limiter, présenteront les éléments suivants :

- Images multispectrales brutes et orthorectifiées avec un plan présentant les concentrations de MES mesurées en mer ;

-
- Résumé des principaux éléments concernant la date d'acquisition de l'image, le type de capteur et les particularités le cas échéant, etc.

Toutes les images satellitaires devront être déposées par l'entrepreneur aux catalogues et archives identifiés du gouvernement avec toutes les licences appropriées pour utilisation ultérieure par le Canada. Les coordonnées sont : Ressources naturelles Canada , 588 Booth Street, Ottawa, Ontario, CANADA K1A 0Y7

4.0 Références

Effigis (2014a) Développement des méthodologies d'application et des devis de démonstration : Le suivi des concentrations de sédiments en mer, rapport final présenté à Travaux publics et Services gouvernementaux Canada, 20 pages + annexe.

Effigis (2014b) Développement des méthodologies d'application et des devis de démonstration : Le suivi des concentrations de sédiments en mer, rapport préliminaire de modélisation présenté à Travaux publics et Services gouvernementaux Canada, 13 pages.

WSP (2014) Mesure des méthodologies d'application et des devis de démonstration : Le suivi des concentrations de matières en suspension pour la calibration d'images satellitaires, rapport d'étape présenté à Travaux publics et Services gouvernementaux Canada, 25 pages.

Ces rapports sont disponibles à l'annexe C.

5.0 Responsables

5.1 Directeur de Projet

Le directeur de projet est la personne responsable de mener à terme des projets variés en géomatique ou de télédétection, et il est le point de contact auprès de TPSGC. Il suit l'évolution du projet sur le plan budgétaire, il s'assure du respect des échéanciers, il affecte les ressources nécessaires aux différentes tâches, il tient compte des spécificités, assure un contrôle de la qualité et gère les conflits.

5.2 Chargé de Projet

Le chargé de projet est la personne responsable de la réalisation technique de projets variés en géomatique ou de télédétection et de leur bon déroulement dans les moindres détails. Sous la direction du directeur de projet, il coordonne avec efficacité une équipe formée de professionnels, de techniciens et de sous-traitants pendant toute la durée requise pour le projet dont il a la charge.

ANNEXE B – BASE DE PAIEMENT

1. Prix ferme pour la calibration des images

Article	DESCRIPTION	Prix ferme, tout compris (Taxes applicables en sus) \$ CAN
1	Réalisation des travaux pour la calibration des images, tels que décrits aux sections 1.1 et 1.2 de l'annexe A – Énoncé des travaux.	\$ _____/lot (à compléter par le soumissionnaire)

1.1 Ventilation du prix ferme (article 1) pour la calibration des images (Prendre note que cette section ne figurera pas dans le contrat subséquent)

Ventilation

Le soumissionnaire **devrait** fournir, à titre indicatif seulement, une ventilation du prix de l'article 1 sous forme de tableau. Celle-ci **devrait** comprendre, au minimum et s'il y a lieu, les éléments ci-dessous. Le total de la ventilation devrait être égal au prix ferme indiqué à l'article 1.

- Honoraires pour les différentes catégories de personnel ;
- Frais reliés aux rapports ;
- Frais reliés aux rencontres ;
- Frais d'acquisition pour une image LANDSAT-8 ;
- Frais d'acquisition d'une (1) image pour le capteur satellitaire 2 ;
- Frais d'acquisition d'une (1) image pour le capteur satellitaire 3 ;
- Frais d'acquisition pour une (1) image supplémentaire du capteur satellitaire 2 ou 3 pour compléter la calibration ;
- Etc.

2. Prix ferme pour le suivi des travaux lors du dragage

Article	DESCRIPTION	Prix ferme, tout compris (Taxes applicables en sus) \$ CAN
2	Réalisation des travaux pour le suivi lors du dragage, tels que décrits aux sections 1.3 et 1.4 de l'annexe A – Énoncé des travaux.	\$ _____/lot (à compléter par le soumissionnaire)

2.1 Ventilation du prix ferme (article 2) pour le suivi des travaux lors du dragage (Prendre note que cette section ne figurera pas dans le contrat subséquent)

Ventilation

Le soumissionnaire **devrait** fournir, à titre indicatif seulement, une ventilation du prix de l'article 2 sous forme de tableau. Celle-ci **devrait** comprendre, au minimum et s'il y a lieu, les éléments ci-dessous. Le total de la ventilation devrait être égal au prix ferme indiqué à l'article 2.

- Honoraires pour les différentes catégories de personnel ;
- Frais reliés aux rapports ;
- Frais reliés aux rencontres ;
- Frais d'acquisition pour deux (2) images LANDSAT-8 ;
- Frais d'acquisition de cinq (5) images pour le capteur satellitaire 2 ;
- Frais d'acquisition de cinq (5) images pour le capteur satellitaire 3 ;
- Etc.

3. Prix unitaires fermes pour l'acquisition d'images supplémentaires

Article	Description	Unité	Quantité estimative (Note 1) (A)	Prix unitaires fermes, tout compris (taxes applicables en sus) \$ CAN (B)	Coût total estimatif (A x B)
3.1	Images panchromatiques et multispectrales brutes ainsi que les images orthorectifiées – capteur satellitaire 2	image	4	\$ _____/image (à compléter par le soumissionnaire)	\$ _____ (à compléter par le soumissionnaire)
3.2	Images panchromatiques et multispectrales brutes ainsi que les images orthorectifiées – capteur satellitaire 3	image	4	\$ _____/image (à compléter par le soumissionnaire)	\$ _____ (à compléter par le soumissionnaire)
Prix total estimatif – Limitation des dépenses (Taxes applicables en sus) \$CAN					\$ _____ (à compléter par le soumissionnaire)

Note 1 : Quantité estimée aux fins de soumission. Ces quantités seront ajustées en fonction des images réellement acquises selon la durée des travaux de dragage. Le prix pour chaque image supplémentaire comprend tous les coûts (honoraires et frais d'acquisition, etc.) de traitement, d'orthorectification et de présentation sous forme de rapport technique, tel que décrit à la section 3 de l'annexe A. Les quantités supplémentaires doivent être approuvées au préalable par le chargé de projet de TPSGC. Seulement les quantités réellement effectuées seront payées.

4. Coût estimatif total:

_____ \$
 (Taxe applicables en sus)

Coût estimatif total = Prix ferme pour la calibration des images (article 1) + Prix ferme pour le suivi des travaux lors du dragage (article 2) + Prix total estimatif pour l'acquisition d'images supplémentaires (article 3)

**PIÈCE JOINTE 1 -
CRITÈRES TECHNIQUES OBLIGATOIRES ET COTÉS**

A. Critères techniques obligatoires

À la date et à l'heure de clôture de la demande de soumissions, le soumissionnaire doit respecter les exigences obligatoires et fournir les documents nécessaires pour démontrer qu'il se conforme à ces exigences. Toutes soumissions qui ne respecte pas l'une ou l'autre des exigences obligatoires sera déclarée non recevable.

À l'exception du capteur LANDSAT-8, les capteurs multispectraux satellitaires proposés doivent posséder minimalement les caractéristiques suivantes :

Satellites avec capteurs multispectraux	Nombre de bandes spectrales minimal	Résolution	Capacité d'acquisition
Capteur - 2	4	< 4 m	Au moins deux fois par semaine à un moment précis \pm 15 min.
Capteur - 3	4	Entre 4 et 10 m	Au moins une fois par semaine

Le soumissionnaire doit clairement identifier dans sa soumission le nom, les caractéristiques des capteurs et les coordonnées du fournisseur qu'il utilisera pour la réalisation des travaux :

Nom et caractéristiques du Capteur – 2 :	<hr/> <hr/> <hr/>
Nom et Caractéristiques du Capteur – 3 :	<hr/> <hr/> <hr/>
Coordonnées du fournisseur que le soumissionnaire utilisera :	<hr/> <hr/> <hr/>

B. Critères d'évaluation techniques cotés

Évaluation de l'expérience des ressources proposées

Chaque ressource sera évaluée en fonction des critères établis pour la catégorie pour laquelle elle a été proposée. Afin de permettre à l'équipe d'évaluation d'évaluer convenablement chacun des critères d'évaluation techniques, le soumissionnaire doit indiquer clairement le nom des ressources proposées ainsi que les catégories pour lesquelles elles ont été proposées.

Pour chaque ressource proposée, le soumissionnaire devrait indiquer l'expérience en termes de mois d'expérience. Cette expérience devrait être démontrée de manière claire, précise et concrète sans quoi l'équipe d'évaluation ne tiendra pas compte de l'expérience de la ressource.

Pour déterminer si l'expérience est acceptable, le soumissionnaire devrait fournir une description détaillée des projets et travaux pendant lesquels la ou les ressources proposées ont acquis leur expérience.

Critères	Max	Min
1. PROPOSITION TECHNIQUE	40	20
1.1 Compréhension de la portée des services	10	-
1.2 Méthodologie	20	-
1.3 Allocation des ressources	10	-
2. RÉALISATION DU SOUMISSIONNAIRE	30	15
3. RESSOURCES PROPOSÉES	30	15
TOTAL	100	50

Critères	Grille d'évaluation	Max	Min
1- PROPOSITION TECHNIQUE		40	20
1.1 Compréhension de la portée des services Le soumissionnaire devrait démontrer dans ses propres mots qu'il comprend l'étendue des services demandés.	La grille d'évaluation des critères qualitatifs (tableau 1) sera utilisée pour déterminer le pointage de ce critère.	10	
1.2 Méthodologie Le soumissionnaire devrait proposer une approche qui permettra de répondre aux exigences et de fournir des services de qualité. Il devrait expliquer comment il compte s'y prendre pour respecter les contraintes.	La grille d'évaluation des critères qualitatifs (tableau 1) sera utilisée pour déterminer le pointage de ce critère.	20	
1.3 Allocation des ressources Le soumissionnaire devrait présenter l'équipe de projet. Il devrait indiquer les tâches assignées à chacune des ressources proposées et présenter un organigramme indiquant les titres des postes et les noms des ressources, rôle, responsabilités et rapports hiérarchiques (équipe du soumissionnaire, fournisseurs et ses sous-traitants).	La grille d'évaluation des critères qualitatifs (tableau 1) sera utilisée pour déterminer le pointage de ce critère.	10	
2- RÉALISATION DU SOUMISSIONNAIRE		30	15
2.1 Réalisation du soumissionnaire Le soumissionnaire devrait démontrer qu'il a complété au cours des cinq (5) dernières années, à titre d'entrepreneur principal au moins deux projets en lien avec l'énoncé des travaux. <u>Information qui devrait être fournie pour chacun des projets :</u> <ul style="list-style-type: none"> • Titre et nature du projet ; • Portée des services rendus et objectifs visés; • Date de début et de fin du projet (inscrire les mois) • Description détaillée et concise du projet afin de démontrer les différents éléments de la grille d'évaluation 	i. <u>Le projet 1 comportait :</u> <ol style="list-style-type: none"> a) L'utilisation et le traitement de données multispectrales de plus de 3 images satellites provenant d'un même capteur (4 pts), seulement 2 images satellites provenant d'un même capteur (2pts), une seule image satellite (1pt) b) L'utilisation et le traitement des données multispectrales d'images satellites provenant d'au moins 2 capteurs différents (2 pts) c) La réalisation de corrections radiométriques et atmosphériques (3 pts) d) L'octorectification à partir de 	15	

	<p>point de contrôle terrestre (3 pts)</p> <p>e) La calibration des bandes spectrales à partir de données de terrain (3 pts)</p>		
	<p>ii. <u>Le projet 2 comportait:</u></p> <p>a) L'utilisation et le traitement de données multispectrales de plus de 3 images satellites provenant d'un même capteur (4 pts), seulement 2 images satellites provenant d'un même capteur (2 pts), une seule image satellite (1pt)</p> <p>b) L'utilisation et le traitement des données multispectrales d'images satellites provenant d'au moins 2 capteurs différents (2 pts)</p> <p>c) La réalisation de corrections radiométriques et atmosphériques (3 pts)</p> <p>d) L'octorectification à partir de point de contrôle terrestre (3 pts)</p> <p>e) La calibration des bandes spectrales à partir de données de terrain (3 pts)</p>	15	
<p>3 – RESSOURCES PROPOSÉES</p> <p>Information qui devrait être fournie pour chacune des catégories de ressources :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Formation académique et professionnelle • Nombre d'années d'expérience; • Principales fonctions. <p>Le soumissionnaire devrait fournir les curriculum vitae.</p>		30	15
<p>3.1 Directeur de projet</p> <p>Le soumissionnaire devrait proposer une ressource comme Directeur de</p>	<p>i. <u>Expérience du Directeur de projet</u></p> <p>8 points :</p>		

<p>projet en géomatique ou télédétection.</p> <p>Le directeur de projet est la personne responsable de mener à terme des projets variés en géomatique ou de télédétection, et il est le point de contact auprès de TPSGC. Il suit l'évolution du projet sur le plan budgétaire, il s'assure du respect des échéanciers, il affecte les ressources nécessaires aux différentes tâches, il tient compte des spécificités, assure un contrôle de la qualité et gère les conflits.</p> <p><u>Information qui devrait être fournie pour chacun des projets:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Titre et nature du projet ; • Portée des services rendus et objectifs visés; • Date de début et de fin du projet (inscrire les mois) • Description détaillée et concise du projet afin de démontrer les différents éléments de la grille d'évaluation 	<p>-possède plus de 60 mois d'expérience à titre de directeur de projet en géomatique ou télédétection ;</p> <p>6 points :</p> <p>-possède plus de 48 mois d'expérience mais moins de 60 mois à titre de directeur de projet en géomatique ou télédétection;</p> <p>4 points :</p> <p>-possède plus de 24 mois d'expérience mais moins de 48 mois à titre de directeur de projet en géomatique ou télédétection;</p> <p>2 points :</p> <p>-possède plus de 24 mois d'expérience mais moins de 36 à titre de directeur de projet en géomatique ou télédétection;</p> <p>0 points :</p> <p>-possède moins de 24 mois d'expérience à titre de directeur de projet en géomatique ou télédétection.</p>	<p>8</p>	
	<p>ii. <u>Participation du Directeur de projet à des projets de développement de technologie appliquée d'observation de la terre à partir d'images satellites</u></p> <p>Le Directeur de projet a participé à : au moins 6 projets (7 pts); ou 4 ou 5 projets (5 pts); ou 3 projets (3 pts); 2 projets (2pts) ou 1 seul projet (1pt);</p> <p>Pour être considéré, le projet doit avoir été réalisé au cours des 5 dernières années.</p>	<p>7</p>	
<p>3.2 Chargé de projet</p> <p>Le soumissionnaire devrait proposer une ressource comme chargé de projet.</p> <p>Le chargé de projet est la personne responsable de la réalisation technique de projets variés en géomatique ou</p>	<p>i. <u>Formation universitaire</u></p> <p>6 points :</p> <p>-possède un diplôme d'étude supérieure (maîtrise ou doctorat) en géomatique, ou en télédétection ou dans un domaine en lien avec l'analyse et le traitement d'images</p>	<p>4</p>	

<p>télédetection et de leur bon déroulement dans les moindres détails. Sous la direction du directeur de projet, il coordonne avec efficacité une équipe formée de professionnels, de techniciens et de sous-traitants pendant toute la durée requise pour le projet dont il a la charge.</p> <p><u>Information qui devrait être fournie pour chacun des projets:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Titre et nature du projet ; • Portée des services rendus et objectifs visés; • Date de début et de fin du projet (inscrire les mois) • Description détaillée et concise du projet afin de démontrer les différents éléments de la grille d'évaluation 	<p>satellites</p> <p>ii. <u>Expérience du Chargé de projet</u></p> <p>6 points : -possède plus de 48 mois d'expérience à titre de chargé de projet en géomatique ou télé-détection;</p> <p>4 points : -possède plus de 36 mois d'expérience mais moins de 48 mois à titre de chargé de projet en géomatique ou télé-détection;</p> <p>3 points : -possède plus de 24 mois d'expérience mais moins de 36 mois à titre de chargé de projet en géomatique ou télé-détection;</p> <p>1 point : -possède plus de 12 mois d'expérience mais moins de 24 mois à titre de chargé de projet en géomatique ou télé-détection;</p> <p>0 points : -possède moins de 12 mois d'expérience à titre de chargé de projet en géomatique ou télé-détection.</p>	<p>6</p>	
	<p>iii. <u>Participation du chargé de projet à des projets de développement de technologie appliqué d'observation de la terre à partir d'images satellites</u></p> <p>Le Chargé de projet a participé à : au moins 5 projets (5 pts); ou 4 projets (4 pts); ou 3 projets (3 pts); 2 projets (2pts) ou 1 seul projet (1pt);</p> <p>Pour être considéré, le projet doit avoir été réalisé au cours des 5 dernières années.</p>	<p>5</p>	

		100	50

Tableau 1 : Grille d'évaluation des critères qualitatifs

Non recevable	Extrêmement faible	Très faible	Faible	Acceptable	Moyen	Supérieur à la moyenne	Exceptionnel
0 point	1-2 points	3 points	4 points	5 points	6-7 points	8-9 points	10 points
N'a pas fourni de renseignements pouvant faire l'objet d'une évaluation	Ne satisfait pas aux exigences	De façon générale, ne satisfait pas aux exigences	Manque de précisions	Satisfait à peine aux exigences	Satisfait aux exigences	Dépasse les exigences	Dépasse beaucoup les exigences
	Présente des faiblesses qui ne peuvent pas être corrigées	De façon générale, présente des faiblesses dont la correction est peu probable	Présente des faiblesses qui peuvent être corrigées	Présente des faiblesses faciles à corriger	Aucune faiblesse importante	Aucune faiblesse apparente	Aucune faiblesse
	Inacceptable	Extrêmement faible, ne pourra pas satisfaire aux exigences de rendement	Faible capacité à satisfaire aux exigences de rendement	Capacité minimum acceptable, devrait satisfaire aux exigences de rendement minimales	Capacité moyenne, devrait permettre des résultats efficaces	Capacité supérieure, devrait assurer l'obtention de résultats efficaces	Capacité exceptionnelle, devrait assurer l'obtention de résultats extrêmement efficace

N° de l'invitation - Solicitation No.
EE010-151984/A
N° de réf. du client - Client Ref. No.
EE010-151984

N° de la modif - Amd. No.
File No. - N° du dossier
QCN-4-37315

Id de l'acheteur - Buyer ID
QCN015
N° CCC / CCC No./ N° VME - FMS

ANNEXE C – RÉFÉRENCES



*Travaux publics et Services
gouvernementaux Canada (TPSGC)*

**Développement des méthodologies d'application et des devis
de validation et de démonstration :**
Le suivi des concentrations de sédiments en mer

Rapport final

Mai 2014

SOMMAIRE EXÉCUTIF

Le Centre d'expertise des Services professionnels et techniques du ministère des Travaux publics et des Services gouvernementaux du Canada (TPSGC) a mandaté VIASAT GéoTechnologies (aujourd'hui Effigis Géo-Solutions) pour développer une méthodologie de suivi des panaches de turbidité pour des projets de dragage et d'immersion en mer des sédiments, et plus particulièrement dans le cadre de la restauration des sédiments au quai de Sandy Beach à Gaspé au Québec. TPSGC souhaite mettre en place un programme de suivi des matières en suspension (MES) à partir d'images satellite prises avant et pendant les travaux afin d'observer et mesurer, le cas échéant, le panache de sédiments remis en suspension et sa distribution dans le havre. Le présent projet (Phase II) fait suite à un premier (Phase I) qui avait été réalisé en collaboration avec l'Agence spatiale canadienne en 2010/2011 pour examiner le potentiel des technologies d'observation de la Terre (OT) pour quelques-unes de ses activités clés. L'analyse effectuée avait démontré un fort potentiel pour trois applications, dont celle du suivi des panaches de sédiments.

De façon plus spécifique, le projet visait à :

- Mettre à jour l'évaluation du potentiel des capteurs identifiés en phase I;
- Identifier d'autres capteurs potentiels permettant de recueillir l'information pertinente au contexte spécifique du projet;
- Comparer, pour la liste des capteurs identifiés, les limites et les performances de chacun et faire la sélection des capteurs présentant les meilleures caractéristiques en fonction du contexte spécifique du domaine d'application;
- Développer les méthodologies et les protocoles de traitement des images satellitaires en fonction du contexte spécifique du domaine d'application;
- Préparer les plans et devis nécessaires pour faire la validation des méthodologies et des protocoles d'interprétation à partir de données recueillies sur le terrain;
- Préparer les échanciers et le détail des coûts associés aux étapes de validation et de démonstration faisant l'objet des plans et devis.

Pour la mise à jour de la revue de littérature, plusieurs articles scientifiques récents ont été consultés pour notamment identifier de nouveaux capteurs qui répondent aux besoins du suivi des panaches et pour préciser 1) les approches concernant la mesure des concentrations de sédiments en suspension (CSS) à partir de la réflectance mesurée par les satellites ainsi que 2) les protocoles d'échantillonnage terrain à prélever pour valider les méthodologies.

La méthodologie identifiée lors de la revue de littérature et qui semble la plus appropriée dans le contexte du projet, est l'utilisation d'un modèle empirique qui fait appel à des équations non linéaires pour la mesure de la CSS à partir de satellites d'observation de la Terre de haute résolution. Les études indiquent que les R^2 obtenus sont généralement élevés et qu'il est

possible de transférer les modèles empiriques sur d'autres sites si certaines conditions sont remplies.

Le choix du capteur est fonction non seulement de son potentiel à estimer la CSS, mais aussi de sa capacité à acquérir des images à des dates spécifiques de façon à être en mesure de synchroniser l'acquisition de l'image avec la prise d'échantillons d'eau pour la validation des modèles mathématiques utilisés pour estimer les CSS. Les bandes les plus propices pour l'identification de la CSS sont une combinaison des bandes du visible et du proche infrarouge. Ainsi, les deux satellites en constellation Pléiades 1A et 1B présentent actuellement les capacités d'acquisition les plus favorables pour la mise en place d'une méthodologie opérationnelle. Ces deux satellites opèrent sur la même orbite, à 180° l'un de l'autre. Ils sont parfaitement identiques et fournissent des produits multispectraux avec une capacité de revisite quotidienne avec le mode de programmation instantanée (*Instant Tasking*). Ce mode permet de programmer le satellite 24 à 48 heures à l'avance pour une acquisition sur un site spécifique. Ces satellites possèdent non seulement les bandes spectrales requises, mais aussi une résolution spatiale (2 mètres en mode multispectral) adaptée à l'échelle de la zone de dragage.

La collecte des échantillons d'eau dans le cadre de l'estimation des CSS avec l'imagerie satellitaire est faite généralement près de la surface, car la capacité de pénétration des ondes lumineuses dans le visible et le proche infrarouge est plus faible en présence de matières en suspension dans l'eau. Les études de mesure de la CSS à l'aide des images multispectrales indiquent que les prises d'échantillons d'eau se font généralement à moins de 50 cm de la surface. Il est important de consigner des renseignements sur le contexte environnemental lors de la prise de données et de s'assurer de synchroniser autant que possible la collecte avec le moment de la prise de l'image satellite.

Méthodologie de validation

La méthodologie de validation proposée comprend plusieurs étapes. Elle vise principalement à établir un modèle de prédiction de la CSS à partir de matières en suspension naturelles dans la baie de Gaspé entre les mois de mai et d'août.

- 1- Planification, programmation et acquisition de six images Pléiades couvrant 100 km² entre les mois de mai et d'août de façon à couvrir une bonne amplitude de variation de concentration de matières en suspension (MES);
- 2- Collecte et analyse en laboratoire de 75 échantillons d'eau, réparties sur 15 sites, dont 50 seront utilisés pour établir les modèles de prédiction de la CSS et 25 pour en estimer la précision;
- 3- Collecte des points de contrôle au terrain par GPS pour l'orthorectification des images satellite;

- 4- Traitement des images satellitaires incluant l'orthorectification ainsi que des corrections radiométriques et atmosphériques pour estimer la réflectance à la surface de l'eau à partir de la réflectance au capteur;
- 5- Mise en place et application d'un modèle de prédiction des CSS pour la zone d'étude;
- 6- Cartographie de la CSS et rapport de projet.

Les coûts de réalisation des activités prévues pour la validation de la méthodologie d'estimation de la CSS à partir d'imagerie satellitaire multispectrale sont estimés à 81 950 \$, dont 30 000 \$ pour l'acquisition d'images Pléiades. Les efforts requis sont de 42 jours-personnes. Les travaux se déroulent de la mi-avril à la fin septembre 2014.

Méthodologie de démonstration

La méthodologie de démonstration vise à appliquer le modèle de prédiction de la CSS établi lors de la phase de validation au suivi des CSS lors des opérations de dragage qui auront lieu dans le cadre de la restauration des sédiments au quai de Sandy Beach à Gaspé. L'approche est simplifiée par rapport à celle développée pour la validation, car la collecte d'échantillons d'eau n'est pas requise et les points de contrôle pour l'orthorectification des images seront les mêmes que ceux déjà utilisés pour la validation. La méthodologie comprend les étapes suivantes :

1. Planification, programmation et acquisition de 12 images Pléiades de 100 km² durant les travaux de dragage (1 par semaine en moyenne);
2. Traitement des images satellitaires incluant l'orthorectification ainsi que des corrections radiométriques et atmosphériques pour estimer la réflectance à la surface de l'eau à partir de la réflectance au capteur;
3. Estimation de la CSS dans la zone de dragage et cartographie;
4. Rapport de projet.

Les coûts de réalisation des activités prévues pour l'application de la méthodologie d'estimation de la CSS à partir d'imagerie satellitaire multispectrale en 2015 sont estimés à 70 250 \$, dont 51 600 \$ en acquisition d'images Pléiades. Les efforts requis sont de 27 jours-personnes. Les travaux se dérouleront approximativement de la mi-juin à la fin septembre 2015. Ces informations seront validées dans le rapport final.

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION.....	1
2. CONTEXTE.....	1
3. OBJECTIFS SPÉCIFIQUES.....	2
4. MISE À JOUR DE LA REVUE DE LITTÉRATURE ET DÉVELOPPEMENT DE LA MÉTHODOLOGIE.....	2
4.1. Mise à jour de la revue de littérature.....	2
4.1.1. Estimation de la CSS.....	2
4.1.2. Collecte des échantillons d'eau.....	6
4.2. Développement de la méthodologie.....	7
4.2.1. Choix du capteur.....	7
4.2.2. Méthodologie pour la validation.....	9
5. PLAN ET DEVIS POUR LA VALIDATION DE LA MÉTHODOLOGIE.....	13
5.1. Objectifs.....	13
5.2. Méthodologie.....	13
5.3. Coûts et échéancier.....	16
6. PLAN ET DEVIS POUR LA DÉMONSTRATION DE LA MÉTHODOLOGIE.....	17
6.1. Objectifs.....	17
6.2. Méthodologie.....	17
6.3. Coûts et échéancier.....	18
7. RÉFÉRENCES.....	20

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : LISTE DES SATELLITES COMMERCIAUX ACTUELLEMENT EN ACTIVITÉ ET MUNIS DE CAPTEURS MULTISPECTRAUX (30 M ET MOINS) ET POTENTIEL POUR ESTIMER LA CSS	8
TABLEAU 2 : EFFORTS ET COÛTS DE RÉALISATION DES ACTIVITÉS PRÉVUES POUR LA VALIDATION DE LA MÉTHODOLOGIE D'ESTIMATION DE LA CSS	16
TABLEAU 3 : EFFORTS ET COÛTS DE RÉALISATION DES ACTIVITÉS PRÉVUES POUR L'APPLICATION DE LA MÉTHODOLOGIE D'ESTIMATION DE LA CSS EN 2015	19

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : ZONE D'ACQUISITION PRÉVUE DES IMAGES PLÉIADES (EN ROUGE) ET DE COLLECTE DES ÉCHANTILLONS D'EAU (EN BLEU)	10
--	----

1. Introduction

Le projet réalisé en collaboration avec l'Agence spatiale canadienne en 2010/2011 (Phase I) constituait la première étape de l'élaboration de la stratégie de Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (TPSGC) pour développer des applications des technologies d'observation de la Terre (OT) pour quelques-unes de ses activités clés. Cette première étape a permis d'évaluer le potentiel d'application des technologies d'OT en lien avec neuf domaines d'activités du Centre d'expertise des Services professionnels et techniques (CE-SPT) de TPSGC. L'analyse effectuée par VIASAT GéoTechnologies (aujourd'hui Effigis Géo-Solutions) a démontré un fort potentiel pour trois de ces domaines, soit :

- Le suivi des panaches de turbidité dans le cadre de projets de dragage et d'immersion en mer des sédiments;
- La surveillance de l'érosion littorale liée aux infrastructures riveraines;
- L'observation des sites d'accès au fleuve Saint-Laurent et la surveillance de leur utilisation.

Suite à cette analyse, le CE-SPT a mandaté Effigis pour (1) développer une méthodologie d'application liée aux capteurs les plus appropriés pour les deux premiers domaines identifiés ci-dessus; (2) élaborer, pour ceux-ci, les plans et devis pour procéder à la validation des méthodologies et (3) mettre en œuvre les projets de démonstration. Ce rapport décrit les résultats obtenus pour l'application « Suivi des panaches de turbidité dans le cadre de la restauration des sédiments au quai de Sandy Beach à Gaspé ».

2. Contexte

Transports Canada compte entreprendre en 2015 la restauration de sédiments contaminés au cuivre et aux hydrocarbures aromatiques polycycliques situés directement au sud du quai commercial de Gaspé – Sandy Beach. L'un des impacts anticipés de ce projet de restauration qui impliquera le dragage d'un volume de 27 000 m³ sur une superficie d'environ 50 000 m², est la remise en suspension de sédiments contaminés dans la colonne d'eau et le transport de ceux-ci vers les sites aquicoles situés au nord-ouest du havre de Gaspé lors des activités de dragage. Afin d'évaluer les impacts réels du projet, Transports Canada s'est engagé à développer et mettre en œuvre, lors des travaux, un programme de suivi des matières en suspension (MES) et de la contamination de la chair des mollusques cultivés dans le havre de Gaspé.

TPSGC souhaite mettre en place un programme de suivi des matières en suspensions (MES) à partir d'images satellite prises avant et pendant les travaux afin d'observer et mesurer, le cas échéant, le panache de sédiments remis en suspension et sa distribution dans le havre. La technologie devra être suffisamment précise pour permettre de suivre l'évolution du panache dans le temps sur une base quotidienne ou hebdomadaire et d'attribuer des valeurs

(concentration de MES en mg/l)) aux observations. Enfin, la technologie devra permettre d'obtenir des résultats (interprétation des images) dans un délai raisonnable dans le contexte d'un suivi de chantier.

3. Objectifs spécifiques

De façon plus spécifique, le projet vise à :

- Mettre à jour l'évaluation du potentiel des capteurs identifiés en phase I;
- Identifier d'autres capteurs potentiels permettant de recueillir l'information pertinente au contexte spécifique du projet;
- Pour la liste des capteurs identifiés, comparer les limites et les performances de chacun et faire la sélection des capteurs présentant les meilleures caractéristiques en fonction du contexte spécifique du domaine d'application;
- Développer les méthodologies et les protocoles de traitement des images satellitaires en fonction du contexte spécifique du domaine d'application;
- Préparer les plans et devis nécessaires pour faire la validation des méthodologies et des protocoles d'interprétation à partir de données recueillies sur le terrain;
- Préparer les échéanciers et le détail des coûts associés aux étapes de validation et de démonstration faisant l'objet des plans et devis.

4. Mise à jour de la revue de littérature et développement de la méthodologie

4.1. *Mise à jour de la revue de littérature*

4.1.1. *Estimation de la CSS*

Lors de la phase I, la revue de littérature a fait ressortir qu'il existait une bonne corrélation entre la mesure de la concentration de sédiments en suspension (CSS) dans l'océan et les nappes d'eau intérieure et la réflectance des satellites multispectraux (LANDSAT, SPOT et MODIS) corrigée pour les effets atmosphériques. De plus, il en est ressorti que les approches pour quantifier la CSS sont empiriques ou semi-empiriques. Dans ce dernier cas, elles font appel à des modèles de transfert radiatif.

Les approches empiriques visent à établir des relations mathématiques entre les propriétés spectrales des images et la CSS. Cette approche est généralement simple d'utilisation (peu de paramètres), mais elle nécessite une synchronisation des mesures sur le terrain avec le passage des satellites pour établir les modèles de prédiction. De plus, les données de calibration doivent couvrir l'étendue des valeurs attendues pour le modèle de prédiction et ne sont pas nécessairement transférables à un autre site. Dans le cas des approches semi-empiriques, elles nécessitent une connaissance préalable des propriétés optiques intrinsèques de l'eau du site, mesurées en laboratoire ou par des mesures directes au terrain (par exemple,

les paramètres de transmittance et d'absorption). On parle alors de modèle de transfert radiatif qui se base sur les lois physiques qui gouvernent l'interaction de la lumière avec la matière. Ceci peut impliquer une certaine complexité au niveau opérationnel. Bien que ces modèles de transfert radiatif puissent être plus facilement transférables d'un site à l'autre, ils dépendent souvent aussi de mesures au terrain si on change de site, car les propriétés optiques de l'eau peuvent varier (Onderka et Rodný, 2009).

Volpe et coll. (2011) ont estimé la CSS dans la lagune de Venise à l'aide d'un modèle de transfert radiatif simplifié. Ce modèle s'exprime à travers deux équations qui relient la réflectance à la surface de l'eau R_{rs} (obtenue à partir de mesures satellitaires corrigées pour le passage dans l'atmosphère) avec la quantité et le type de matières dans la colonne d'eau (les coefficients d'absorption et de rétrodiffusion sont influencés par les sédiments en suspension, les matières dissoutes (organiques ou inorganiques) et le phytoplancton).

Réflectance sous la surface r_{rs} :

$$r_{rs} = r_{rs}^{dp} \left[1 - e^{-(K_d + K_u^C)H} \right] + \frac{\rho_b}{\pi} e^{-(K_d + K_u^B)H}$$

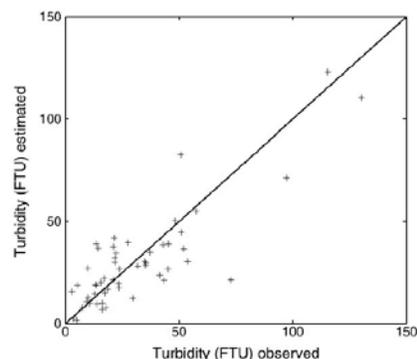
- où
- r_{rs} : subsurface remote sensing reflectance (réflectance sous la surface)
 - r_{rs}^{dp} : r_{rs} value for optically deep waters (valeur pour les eaux optiquement profondes)
 - K_d : vertically averaged diffuse attenuation coefficient for downwelling irradiance (coefficient d'atténuation verticale diffuse moyen pour l'irradiance en pénétration)
 - K_u^C : vertically averaged diffuse attenuation coefficient for upwelling radiance from water column scattering (coefficient d'atténuation verticale diffuse moyen pour l'irradiance en remontée à partir de la diffusion de la colonne d'eau)
 - K_u^B : vertically averaged diffuse attenuation coefficient for upwelling radiance from bottom reflectance (coefficient d'atténuation verticale diffuse moyen pour l'irradiance en pénétration pour la réflectance du fond)
 - H : water depth (profondeur de l'eau)
 - ρ_b : bottom albedo (albédo du fond)

Réflectance à la surface de l'eau R_{rs} :

$$R_{rs} = \frac{0.5r_{rs}}{1 - 1.5r_{rs}}$$

Compte tenu de la complexité de la mesure de plusieurs de ces paramètres, plusieurs hypothèses ont été faites pour simplifier la résolution des équations. On a également utilisé des valeurs de paramètres tirées d'autres d'études. Dans le cas des images satellite utilisées, les réflectances au capteur ont été ramenées aux réflectances à la surface de l'eau par des corrections radiométriques (calcul de la radiance selon le capteur) et atmosphériques (diverses hypothèses ont été faites sur les aérosols et la vapeur d'eau dans l'atmosphère).

Le site d'étude couvre environ 550 km² avec une profondeur moyenne de 1,3 mètre. Le modèle a été validé avec des données de 10 stations permanentes (53 observations) et 13 images satellite incluant Landsat TM et ETM, Aster et ALOS AVNIR. L'analyse a été faite avec la bande spectrale du rouge (environ 0,63-0,69 µm). On a mesuré la turbidité de l'eau (qui permet de calculer directement la CSS). La figure ci-contre montre les valeurs estimées de turbidité exprimées en FTU (Formazine Turbidity Units) et celles mesurées au terrain pour l'ensemble des images satellite. On observe une erreur type de 14,3 FTU (turbidité) pour une plage de valeurs s'étendant de 1 à 125 FTU. Les auteurs arrivent à la conclusion que les procédures de validation croisée employées montrent qu'il est possible d'obtenir des estimations cohérentes de concentration de CSS si suffisamment d'informations de terrain sont disponibles.



Shen et coll. (2013) ont aussi utilisé une approche par transfert radiatif simplifié de type semi-empirique pour examiner les variations saisonnières et annuelles de la CSS dans l'estuaire du Yangtze (Chine). On a utilisé des images multispectrales MERIS (pixel de 250 m) acquises entre 2003 et 2010. Le modèle a été calibré avec 73 échantillons de CSS mesurés au terrain en synchronisation avec le passage du satellite (écart pouvant être d'environ 1 heure entre le passage du satellite et la mesure). En se basant sur une équation de transfert radiatif et différentes hypothèses, on arrive à une équation simplifiée pour le calcul de la CSS :

$$C_{SS} = \frac{(2\alpha/\beta)R_{rs}}{(\alpha - R_{rs})^2}$$

- où R_{rs} : remote sensing reflectance (réflectance) (avec correction atmosphérique)
 C_{SS} : concentration of suspended sediments (mg/l) (concentration des sédiments en suspension)
 α and β : empirical parameters (paramètres empiriques)

On doit cependant déterminer les constantes α et β à l'aide des images et des données terrain. De plus, ces constantes varient en fonction des bandes spectrales utilisées et des niveaux de CSS. Le tableau ci-dessous montre les valeurs proposées :

Bandes MERIS	α	β	CSS (mg/l)
560 nm	0,0493	35,3352	< 20
620 nm	0,0652	20,4711	20-80
709 nm	0,0760	10,6100	80-250
779 nm	0,0904	3,5027	> 250

La validation du modèle avec les données terrain indique un R^2 de 0,82 et une valeur RMSE de 104 mg/l avec une étendue des données prédites allant de 100 mg/l à 800 mg/l.

Plusieurs études ont porté sur des méthodes empiriques. Notamment, Ekercin (2007) a utilisé une image multispectrale de haute résolution IKONOS acquise en 2005 pour calculer la CSS dans le fleuve Golden Horn à Istanbul près de l'estuaire. La zone analysée couvre 28 km² et le modèle a été calibré avec des données de huit stations permanentes de mesure de qualité de l'eau et validé avec des données d'une station. L'image a été orthorectifiée et a fait l'objet de corrections radiométrique et atmosphérique pour minimiser les effets de l'atmosphère. On a aussi utilisé un algorithme de régression multiple pour établir la relation entre la TSS (sédiments en suspension totaux) et les données terrain de la forme :

$$TSS = A_0 + \sum A_i * R_i$$

où A_0 et A_i sont des constantes de l'équation de régression à déterminer à partir de données de terrain et R_i la réflectance associée à la bande multispectrale i . Le R^2 obtenu est de 0,97 avec des valeurs estimées de 22 mg/l à 43 mg/l. Les quatre bandes IKONOS (bleu, vert, rouge, proche infrarouge) ont été utilisées dans la régression. Le tableau ci-contre permet de comparer les valeurs prédites et celles qui ont été mesurées.

Total Suspended Sediment (TSS) (mg/l)	
In-situ	Estimated
23,800	23,832
28,000	28,701
25,200	24,247
23,400	23,508
29,000	28,487
25,200	26,870
33,000	31,670
40,300	40,535
22,400	24,301

Long et coll. (2013) ont fait une recension de plusieurs articles utilisant des modèles empiriques pour estimer la CSS ou la turbidité en faisant appel à différentes images satellite. Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques d'études utilisant Landsat TM, SPOT et IKONOS.

Étude	Satellite	Bandes spectrales	Équation utilisée pour estimer la CSS ou la turbidité (FTU)
Doxaran et coll. 2003	LANDSAT TM	R1 : TM2 (vert) R2 : TM4 (proche infrarouge)	$CSS = 29,022 * e^{0,0335 * (\frac{R2}{R1})}$
	SPOT XS3	R1 : vert R2 : proche infrarouge	$CSS = 18,895 * e^{0,0322 * (\frac{R2}{R1})}$
Song et coll. 2011	LANDSAT TM	R1 : TM1 (bleu) R2 : TM2 (vert) R3 : TM4 (proche infrarouge)	$FTU = 11,31 * \frac{R3}{R1} - 2,03 * R2 - 16,42$
Hellweger et coll. 2007	IKONOS	R : bande rouge	$Turbidity = 0,078 * R - 8,7$

Les différents modèles proposés utilisent généralement des équations de forme non linéaire et une combinaison de bandes du visible et de l'infrarouge. Long et Pavelsky (2013) ont aussi analysé la transférabilité de modèles mathématiques d'un site à l'autre pour la mesure de la

CSS. Leurs résultats indiquent que le succès d'un tel transfert dépend 1) de l'utilisation d'une bande proche infrarouge en combinaison avec au moins une bande du visible; 2) de la présence de CSS semblables à celles du site où le modèle a été établi; et 3) d'une forme non linéaire du modèle utilisé. Cette évaluation a été faite en analysant 31 modèles différents de prédiction de CSS ou de turbidité à partir de 147 mesures de terrain dans 71 sites différents dans le delta de la rivière Peace–Athabasca en Alberta.

La profondeur de l'eau a un impact important sur les propriétés spectrales de la lumière. Dans le cas de l'eau pure, la pénétration de la lumière est maximale (peut atteindre jusqu'à 20 à 30 m) pour des longueurs d'onde du visible (entre 400–500 nm) tandis que l'absorption domine dans l'infrarouge. La présence de particules en suspension ou de matières organiques dans l'eau augmente la dispersion et l'absorption des courtes longueurs d'onde, ce qui diminue leur pouvoir de pénétration. De façon générale, les études portent sur la mesure de la CSS près de la surface à moins d'un mètre de profondeur. La mesure alors obtenue correspond environ à une moyenne des réflexions des ondes par les particules en suspension en haut de la colonne d'eau (Onderka et Rodny, 2009). Les études sur la mesure d'éléments plus en profondeur dans la colonne d'eau concernent principalement la détection de la végétation sous-marine. Nous n'avons trouvé aucune étude portant sur la mesure de la CSS plus en profondeur, par exemple des sédiments se trouvant à 3 ou 4 mètres de profondeur suite à un dragage hydraulique.

4.1.2. Collecte des échantillons d'eau

La collecte des échantillons d'eau dans le cadre de l'estimation des CSS avec l'imagerie satellitaire se fait généralement près de la surface. On mentionne notamment des collectes à 15 cm (Long et Pavelsky, 2013) et à 30 cm (Froidefonde et coll., 2004) sous la surface. Une étude mentionne également que les échantillons sont collectés à l'aide d'un contenant de 275 ml (Long et Pavelsky, 2013). De plus, le manuel des protocoles d'échantillonnage pour l'analyse de la qualité de l'eau au Canada (CCME, 2011) recommande, notamment lors de la collecte manuelle d'échantillons d'eau (en bateau) pour la mesure de la CSS, d'utiliser une bouteille propre pour chaque échantillon de sédiments prélevé; d'orienter l'ouverture des bouteilles vers l'amont, directement dans le courant; de maintenir le système en position horizontale pendant que l'échantillonneur de sédiments est enfoncé dans le cours d'eau; et d'éviter tout obstacle qui pourrait se trouver sous l'eau immédiatement en amont. On mentionne aussi de consigner tous les renseignements habituels sur le site, dont le nom et le numéro du site, la date et l'heure, le nom de la personne prélevant les échantillons et les coordonnées du lieu avec un système GPS. Comme mentionné précédemment, il est également important de synchroniser la collecte le plus possible avec la prise de l'image satellite (Shen et coll., 2013).

Pour la mesure de la CSS au laboratoire, les échantillons sont filtrés pour recueillir les sédiments. Le filtre utilisé est séché et pesé avant et après la filtration et la CSS est calculée comme la différence entre le poids du filtre avant et après filtration divisée par le volume d'eau recueilli (Villar et coll., 2013, Onderka et Rodny, 2009, Shen et coll., 2013, Long et Pavelsky, 2013).

4.2. Développement de la méthodologie

4.2.1. Choix du capteur

Le choix du capteur est fonction non seulement de son potentiel à estimer la CSS, mais aussi des caractéristiques d'acquisition des satellites utilisés pour le développement d'une méthodologie opérationnelle. Il faut notamment que les satellites aient :

- Une capacité à acquérir des images à des dates précises de façon à être en mesure de synchroniser l'acquisition de l'image avec la prise d'échantillons d'eau pour la validation des modèles mathématiques;
- Une capacité à acquérir des images avec une résolution spatiale (dimensions du pixel) suffisante pour mesurer des CSS dans la zone potentiellement affectée par le dragage.

Le tableau 1 montre la liste des satellites commerciaux actuellement en activité et à venir et munis de capteurs multispectraux qui présentent des résolutions spatiales supérieures ou égales à 30 mètres. En nous appuyant sur la capacité à acquérir des images à des jours précis pour permettre de synchroniser les relevés de terrain avec l'acquisition des images, nous avons indiqué le potentiel des différents satellites pour l'estimation des sédiments dans le contexte du dragage à Sandy Beach. Deux capteurs multispectraux (Pléiades et Quickbird) se démarquent avec un potentiel fort, car ils permettent un mode de programmation en urgence, ce qui augmente le potentiel d'acquisition à une date précise. Il faut garder en tête que les coûts d'acquisition sont plus élevés dans les cas d'urgence.

Bien que les quatre satellites de haute résolution GeoEye-1, WorldView-2, IKONOS et Quickbird-2 soient opérés par le même fournisseur (DigitalGlobe), ce qui devrait augmenter les chances d'acquisition à un moment donné, on n'utilise généralement que le satellite Quickbird-2 pour les cas de commande en urgence. Étant donné que Pléiades disposent de deux satellites en constellation, les chances d'acquisition réussie à une date précise dans un cas d'urgence sont plus grandes.

Notre analyse basée sur l'expérience d'Effigis en tant que distributeur d'images satellite indique que les deux satellites en constellation Pléiades 1A et 1B présentent les capacités d'acquisition les plus favorables pour la mise en place d'une méthodologie opérationnelle. Ces deux satellites opèrent sur la même orbite, à 180° l'un de l'autre. Ils sont parfaitement identiques et fournissent des produits multispectraux avec une capacité de revisite quotidienne avec le mode de programmation instantanée. Ce mode permet de programmer le satellite 24 à 48 heures à l'avance pour une acquisition sur un site spécifique. De plus, la résolution de 2 mètres en multispectral est adaptée à l'échelle de la zone de dragage.

Les résultats de la revue de littérature indiquent que les bandes les plus propices pour l'identification de la CSS sont une combinaison des bandes du visible et du proche infrarouge, toutes disponibles avec Pléiades. Bien qu'aucune étude d'estimation de la CSS à partir de ces

images (satellites lancés en 2012) n'ait pu être répertoriée, ces dernières possèdent quatre bandes spectrales dont trois dans le visible et une dans le proche infrarouge :

Bleu	0,430 - 0,550 μm
Vert	0,500 - 0,620 μm
Rouge	0,590 - 0,710 μm
Proche IR	0,740 – 0,940 μm

Satellites avec capteurs multispectraux	Nbre de bandes spectrales	Résolution (m)	Date de lancement	Capacité d'acquisition	Potentiel pour l'estimation des sédiments
Actuels					
GeoEye-1	4	1,7	2009	Possibilité de passage à tous les 1 à 3 jours, mais acquisition à une date précise non assurée	Moyen
WorldView-2	8	1,8	2009	Possibilité de passage à tous les 1 à 3 jours, mais acquisition à une date précise non assurée	Moyen
Pléiades 1A-1B	4	2,0	2011	Possibilité de passage quotidien à une date assurée	Fort
QuickBird-2	4	2,4	2001	Possibilité de passage quotidien à une date assurée	Fort
IKONOS-2	4	4,0	1999	Possibilité de passage à tous les 2 à 4 jours, mais acquisition à une date précise non assurée	Moyen
Kompsat-2	4	4,0	1999	Une fois tous les 28 jours	Faible
SPOT-6	4	6,0	2012	Possibilité de passage à tous les 2 à 4 jours, mais acquisition à une date précise non assurée	Moyen
Formosat-2	4	8,0	2004	Passage quotidien en Asie, mais limité en Amérique du Nord	Faible
RapidEye	5	5,0	2008	Passage quotidien, mais acquisition à une date précise non assurée	Faible
SPOT-5	4	10,0	2002	Possibilité de passage à tous les 2 à 4 jours, mais acquisition à une date précise non assurée	Moyen
LANDSAT-8 (OLI)	7	30,0		Une fois tous les 16 jours	Faible
DEIMOS-1	3	22,0	2009	Passage environ toutes les semaines, mais acquisition à une date précise non assurée	Moyen
À venir (prévus, mais non assurés 2014-2015)					
WorldView-3	8	1,25	2014		
SPOT-7	4	6	2014		
Sentinel 2A, 2B	10	10,0	2014-2015		

Tableau 1 : Liste des satellites commerciaux actuellement en activité et munis de capteurs multispectraux (30 m et moins) et potentiel pour estimer la CSS

4.2.2. Méthodologie pour la validation

La méthodologie pour la validation repose d'abord sur l'acquisition d'images à l'intérieur d'un délai de 24 à 48 heures et, au besoin en urgence, d'images Pléiades 1A et 1B ainsi que sur l'utilisation d'un modèle empirique qui fait appel à des équations non linéaires. Compte tenu des résultats de la revue de littérature, cette approche semble plus simple à mettre en place que celle basée sur un modèle de transfert radiatif. Les études indiquent également que les R^2 obtenus avec l'approche empirique sont généralement élevés et qu'il est possible de transférer les modèles empiriques sur d'autres sites si certaines conditions sont remplies.

La méthodologie proposée comprend les étapes suivantes :

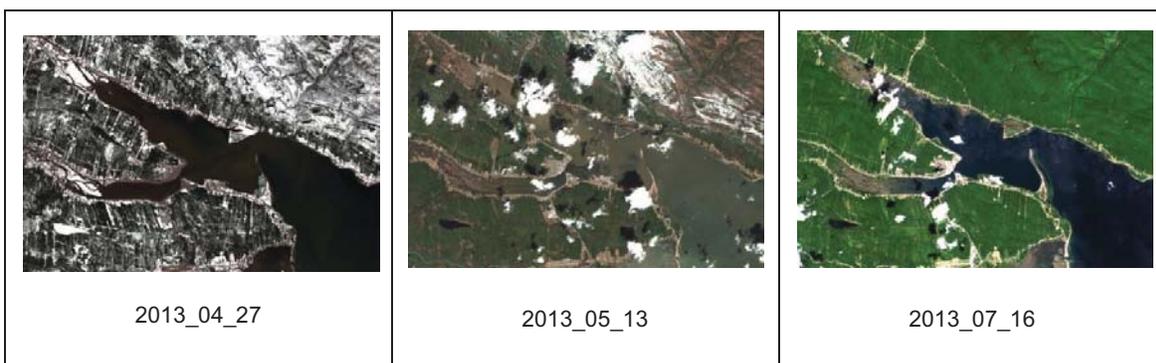
1. Planification, programmation et acquisition des images Pléiades

La sélection des images se fera à partir de la liste des dates potentielles de passage du satellite. Cinq dates d'acquisition seront requises pour calibrer le modèle utilisé pour l'estimation des CSS. Ces dates devront être synchronisées avec la prise de données de MES sur le site.

Il ressort de l'analyse visuelle des images Landsat des années précédentes que le panache de la crue des rivières York et Dartmouth peut commencer à partir de la fin avril et se terminer au début juin. De façon à couvrir une bonne amplitude de variation de concentration de MES, nous proposons :

- Trois acquisitions en mai pendant la crue printanière;
- Une acquisition en juin;
- Une acquisition en juillet.

La figure ci-dessous montre la présence de sédiments (en gris) pour trois dates en 2013. On note qu'elle est particulièrement importante en mai.



Pour assurer une synchronisation entre l'acquisition des images et la prise de données de sédiments sur le site, il faut faire appel au mode de programmation dit « programmation

instantanée ». Ce mode permet de donner le feu vert à l'acquisition d'images Pléiades sur le site de 24 à 48 heures à l'avance. Il faut noter qu'une fois la programmation lancée, l'achat de l'image est obligatoire et ce, quelles que soient les conditions météorologiques qui prévaudront sur le site. Avant de lancer la programmation, il faut s'assurer que les prévisions météorologiques (présence de nuages et conditions de vent qui peuvent avoir un effet par la formation de vagues à la surface du plan d'eau) soient le plus favorables possible pour la journée de l'acquisition et que les équipes de terrain pour la prise d'échantillons de sédiments soient prêtes à intervenir. Compte tenu des incertitudes sur la météo, nous prévoyons qu'il faudra probablement reprendre une des acquisitions durant la période de mai à juillet.

La zone d'acquisition prévue des images satellite (en rouge) est illustrée à la figure 1. Elle couvre 100 km², soit le minimum requis pour une nouvelle acquisition Pléiades¹. La zone en bleu correspond à la partie de l'image qui servira à la collecte des échantillons d'eau pour la mesure de terrain de la CSS.

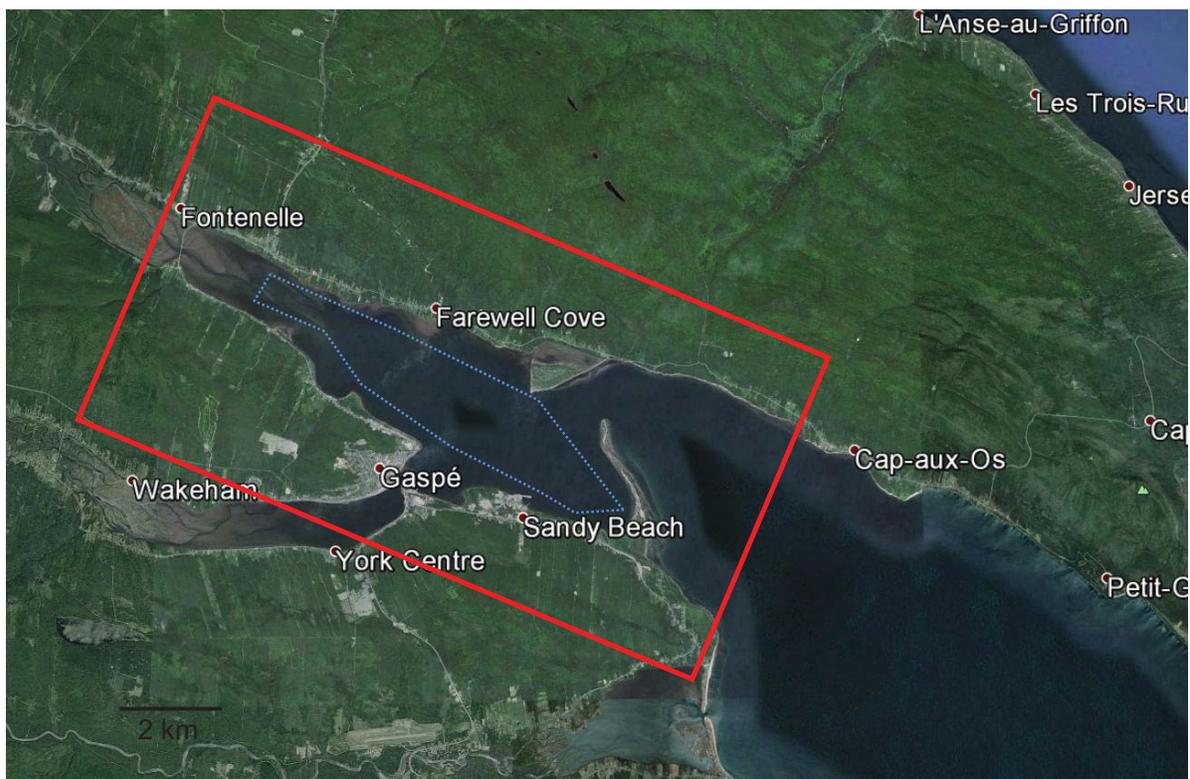


Figure 1 : Zone d'acquisition prévue des images Pléiades (en rouge) et de collecte des échantillons d'eau (en bleu)

¹ Ce minimum est requis par tous les satellites OT de haute résolution.

2. Collecte des échantillons d'eau et analyse en laboratoire

Cinq sorties de terrain synchronisées avec les acquisitions des images satellite seront réalisées pour la collecte des échantillons d'eau. Au total, 15 points de collecte répartis dans la zone marine de l'aire d'acquisition seront sélectionnés (voir figure 1). La localisation des stations d'échantillonnage, faite à partir de Google Earth et des coordonnées géographiques sont présentées à l'annexe 1. Lors de la collecte, la localisation exacte de chaque prise d'échantillons sera déterminée à l'aide d'un système GPS. Les collectes devront être faites dans une fenêtre de quatre heures, soit entre deux heures avant le captage de l'image et deux heures après. Les modalités suivantes devront être suivies :

- Prise de deux échantillons d'eau à environ 30 cm de profondeur sous la surface de l'eau par point de collecte et par date d'acquisition d'images dans des contenants appropriés (un des échantillons est pour remplacement en cas de problème). Au total, 150 échantillons seront récoltés dont 75 seront analysés);
- Mesure de la localisation exacte des échantillons avec un GPS permettant des corrections post-traitement (précision en X, Y de l'ordre de 1 mètre).

Une équipe spécialisée (fournie par TPSGC) dans le domaine de la collecte d'échantillons d'eau par bateau devra être disponible avec un avis de 24 à 48 heures avant la prise de données. Les échantillons récoltés seront par la suite envoyés à un laboratoire spécialisé pour déterminer la concentration de sédiments en mg/l.

3. Traitement des données satellitaires

Les images devront d'abord être orthorectifiées à partir de points de contrôle précis (1 m) et un modèle numérique de terrain (MNT). Cette étape permet un positionnement précis de chacun des pixels de l'image et assurera une bonne concordance avec la position des échantillons d'eau. Suite à la réception de la 1^e image satellite en mai, une campagne de terrain sera réalisée pour acquérir les points de contrôle requis pour l'orthorectification à l'aide d'un système GPS permettant des corrections post-traitement (précision en X, Y de l'ordre de 1 mètre).

Des corrections radiométriques et atmosphériques seront également faites sur les images Pléiades à partir du logiciel REFLECT (Bouroubi et coll., 2010). Ce logiciel, disponible chez Effigis, utilise les routines du code 6S pour le calcul des paramètres atmosphériques. Ces corrections permettent d'estimer la réflectance à la surface de l'eau à partir de la réflectance au capteur (disponible avec les images originales) en minimisant les effets de diffusion et d'absorption par les constituants de l'atmosphère. Cette étape est essentielle pour optimiser la corrélation entre la réflectance et la CSS.

4. Mise en place et application du modèle de prédiction des CSS

Dans un premier temps, des modèles d'estimation de la CSS par approche empirique tels que fournis par la revue de littérature seront appliqués. Les paramètres de ces modèles pourront

être ajustés pour optimiser la prédiction. Des 75 relevés de CSS, 50 seront utilisés pour optimiser ces modèles et les 25 autres permettront d'estimer la précision des modèles ajustés pour le site de Sandy Beach.

Des analyses de régression multiple seront également réalisées en faisant appel aux réflectances des bandes du visible et du proche infrarouge (ou aux rapports de réflectances) à la surface de l'eau. L'analyse des R^2 permettra d'identifier les régressions les plus appropriées et une estimation de la précision des modèles de prédiction sera faite à partir des 25 relevés non utilisés pour les régressions. Finalement, le ou les modèle(s) de prédiction le(s) plus performant(s) sera(ont) proposé(s) pour le suivi de la CSS lors du dragage à l'été 2015.

5. Cartographie de la CSS et rapport technique

Des cartes détaillées des CSS seront produites à partir des valeurs estimées à l'aide du modèle optimal de prédiction développé à la section 4. Les cartes permettront de visualiser l'évolution des panaches de sédiments naturels ainsi que les valeurs de la CSS par classe la plus précise possible (ex. 5 à 10 mg/l) entre les mois de mai et juillet 2014 sur l'ensemble de la zone d'étude. Ces cartes seront générées en format papier et en format numérique (ArcGIS). Un rapport technique décrivant les résultats obtenus et les recommandations sera produit.

5. Plan et devis pour la validation de la méthodologie

5.1. Objectifs

Cette section vise à définir un devis technique pour la validation de la méthodologie d'estimation de la CSS à partir d'imagerie satellitaire multispectrale qui sera réalisée en 2014 dans le cadre du projet de dragage prévu à l'été 2015 à Sandy Beach en Gaspésie.

5.2. Méthodologie

La méthodologie pour le développement d'un modèle de prédiction de la concentration des sédiments en suspension pour le havre de Gaspé à partir d'images satellite de haute résolution devra comprendre les activités suivantes :

1. Planification, programmation et acquisition des images Pléiades

- Obtenir du fournisseur d'images (Airbus Defence & Space) le calendrier des dates et heures de passages des satellites Pléiades 1A et 1B au dessus du havre de Gaspé entre la fin d'avril et la fin d'août 2014;
- Sélection des dates d'acquisition en fonction des prévisions météorologiques favorables (absence de nuages, peu de vagues). Il doit s'assurer d'acquérir trois images au printemps lors de la crue des rivières Dartmouth et York et de la présence d'un panache naturel de MES ainsi que deux images en été :
 - ✓ Trois acquisitions en mai pendant la crue printanière;
 - ✓ Une acquisition en juin;
 - ✓ Une acquisition en juillet.
- La décision de commander une image Pléiades doit être faite dans les 24 à 48 heures avant la journée prévue étant donné l'obligation d'achat peu importe la qualité de l'image (programmation en mode instantané). L'acquisition devra couvrir la zone de 100 km² illustrée à la figure 1. Les spécifications à fournir au fournisseur d'images sont : l'AOI, les produits commandés (*bundle* – bandes panchromatique et multispectrales) ainsi que le mode d'acquisition (instantané);
- S'assurer de la synchronisation entre la date d'acquisition de l'image et la disponibilité de l'équipe d'échantillonnage.

2. Collecte des échantillons d'eau et analyse en laboratoire

La collecte des échantillons d'eau sera effectuée par le personnel de TPSGC selon la méthodologie suivante :

- L'équipe de terrain devra prélever des échantillons d'eau dans chacun des quadrats de la grille d'échantillonnage illustrée à la figure 2. Lors du prélèvement des échantillons,

l'embarcation devra être située à proximité du centre de chaque quadrat dont les coordonnées géographiques sont fournies au tableau suivant :

Quadrat	Latitude	Longitude
1	48,87470'	-64,53680'
2	48,86670'	-64,51240
3	48,85820'	-64,49860'
4	48,85820	-64,48180'
5	48,84960'	-64,48830'
6	48,84530'	-64,47520'
7	48,85380'	-64,46870'
8	48,85140'	-64,45190'
9	48,84090'	-64,45980'
10	48,83180'	-64,46680'
11	48,83500'	-64,44230'
12	48,84550'	-64,43430
13	48,83940'	-64,41990'
14	48,82940	-64,42560'
15	48,82480'	-64,41200'

- À chaque point d'échantillonnage, deux échantillons d'eau seront récoltés à une profondeur d'environ 20 cm à l'aide de bouteilles propres de 275 ml;
- Les renseignements suivants seront notés pour chaque site lors de la collecte des échantillons : numéro du quadrat, date et heure, nom du préleveur, conditions d'ennuagement (présence et abondance des nuages, présence de brume ou de brouillard), conditions de surface de l'eau (présence et amplitude des vagues), couleur de l'eau (abondance relative des sédiments);
- La position de l'embarcation au moment de l'échantillonnage sera mesurée à l'aide d'un GPS. La meilleure précision spatiale de l'ordre du mètre devra être obtenue, notamment en procédant à des corrections post-traitement;
- La collecte des échantillons devra être synchronisée avec le passage du satellite, c'est-à-dire à l'intérieur d'une fenêtre de quatre heures centrée sur l'heure de passage du satellite (de deux heures avant à deux heures après le passage du satellite);
- Une récolte d'échantillons d'eau pour chacun des 15 quadrats de la grille d'échantillonnage sera effectuée lors de chaque date d'acquisition d'une image satellite, c'est-à-dire trois fois au courant du mois de mai, une fois au mois de juin et une fois au mois de juillet;
- Un échantillon par quadrat sera utilisé pour évaluer la concentration de sédiments en suspension (CSS), le deuxième échantillon servant de remplacement en cas de problème. La CSS sera évaluée en filtrant sous vide l'échantillon d'eau avec un filtre de 1,2 micromètre qui sera par la suite séché et pesé. La CSS correspond à la différence entre le poids du filtre sec avant et après filtration (en milligrammes) divisée par le volume de l'échantillon d'eau (en litre). Les résultats des mesures de CSS ainsi que les renseignements sur les

conditions de récolte (coordonnées, conditions météorologiques, etc.) seront rendus disponibles.

3. Traitement des données satellitaires

- Les coordonnées géographiques d'une dizaine de points de contrôle terrestres seront récoltées avec un GPS dans la région du Havre de Gaspé. Ces points serviront à la correction géométrique des images satellite. Ils devront correspondre à des éléments facilement identifiables sur les images (coin de bâtiment, démarcation sur la route, point de repère, etc.) et devront avoir une précision spatiale de l'ordre d'un mètre;
- Acquisition d'un modèle numérique de terrain (MNT) pour le territoire couvert par les images. Un modèle numérique d'altitude d'une résolution de 10 m est disponible auprès de la Géoboutique du MER. On pourrait aussi utiliser le [SRTM](#) disponible gratuitement. En combinaison avec les points de contrôle terrestres récoltés, le MNT sera utilisé pour orthorectifier les images satellite reçues;
- Réalisation des corrections radiométriques et atmosphériques des images satellite reçues. Ces corrections doivent viser à établir la réflectance à la surface de l'eau à partir du signal capté par les images satellite. Le modèle de transfert radiatif utilisé devra prendre en compte les coefficients de calibration du capteur, les conditions d'éclairage, l'angle de visée du capteur, ainsi que la diffusion et l'absorption par les constituants de l'atmosphère (gaz et aérosols). Il est recommandé d'utiliser la méthode des cibles obscures étant donné la faible réflectance de l'eau.

4. Mise en place et application du modèle de prédiction des CSS

- On doit associer une valeur de réflectance sur l'eau à chacun des points d'échantillonnage à partir des images corrigées (corrections radiométriques et atmosphériques);
- Utilisation des outils statistiques (par ex. MATLAB) afin d'établir le modèle empirique d'estimation de la CSS qui donne les meilleurs résultats. Il devra identifier les variables (bandes, ratios et/ou transformations) ainsi que les meilleures fonctions (type de relation – linéaire, quadratique, exponentielle, etc.) à utiliser. Il utilisera 50 des 75 relevés de CSS comme donnée pour l'optimisation du modèle empirique d'estimation;
- Évaluation de la validité du modèle de prédiction développé à l'aide des 25 relevés restants.

5. Cartographie de la CSS et rapport technique

- Utilisation du modèle empirique d'estimation de la CSS obtenu pour estimer les concentrations de sédiments sur l'ensemble de la zone d'étude et production d'une cartographie des CSS par classe de 5 à 10 mg/l pour chacune des dates d'acquisition

d'images. Les cartographies seront livrées sous une forme matricielle (TIF) d'une résolution de 0,5 m et avec la projection UTM 20;

- On doit fournir un rapport technique décrivant les résultats obtenus ainsi que ses recommandations.

5.3. Coûts et échéancier

Le tableau 2 montre les coûts de réalisation des activités prévues pour la validation de la méthodologie d'estimation de la CSS à partir d'imagerie satellitaire multispectrale. Les coûts de réalisation sont estimés à 81 950 \$, dont 30 000 \$ pour l'acquisition d'images Pléiades. Les efforts requis sont de 42 jours-personnes. Les travaux se déroulent de la mi-avril à la fin septembre 2014.

Activité	Efforts Jrs- personnes	Coûts de main- d'oeuvre (\$)	Autres coûts (\$)
1- Planification, programmation et acquisition des images Pléiades			
A- Planification et programmation des images	3	1 950	
B- Acquisition de six images Pléiades 1A ou 1B de 100 km ² chacune	3	1 950	30 000
2- Collecte des échantillons d'eau et analyse en laboratoire ⁽¹⁾	12	20 000	10 000 ⁽²⁾
3- Collecte des points de contrôle pour l'orthorectification des images (2 personnes en véhicule)	8	4 800	2 000 ⁽²⁾
4- Traitement des données satellitaires (5 images)	5	3 250	-
5- Mise en place et application du modèle de prédiction des CSS	5	3 500	
6- Cartographie et rapport technique	6	4 500	-
TOTAL	42	39 950	42 000

(1) Service fourni par TPSGC

(2) Coûts pour les travaux de terrain et frais de laboratoire (hôtel, per diem, véhicule)

Tableau 2 : Efforts et coûts de réalisation des activités prévues pour la validation de la méthodologie d'estimation de la CSS

6. Plan et devis pour la démonstration de la méthodologie

6.1. Objectifs

Cette section vise à définir un devis technique pour l'application de la méthodologie d'estimation de la CSS à partir d'imagerie satellitaire multispectrale qui sera réalisée en 2015 pendant les travaux de dragage prévu à l'été 2015 à Sandy Beach en Gaspésie.

6.2. Méthodologie

La méthodologie se base sur celle qui a été développée à la section 4. Cependant, elle présente un nombre plus restreint d'étapes. La collecte d'échantillons d'eau n'est pas requise, car le modèle de prédiction développé en 2014 sera utilisé en 2015. Il en est de même pour les points de contrôle pour l'orthorectification, car les points acquis en 2014 seront utilisés en 2015.

1- Planification, programmation et acquisition des images Pléiades

Les images Pléiades ne seront pas acquises à date fixe comme c'est le cas avec la validation de la méthodologie, mais à raison d'une fois par semaine pendant les trois mois que dureront les travaux de dragage, principalement en juillet, août et septembre. Douze images Pléiades multispectrales (2 m) seront acquises avec les caractéristiques suivantes :

- Programmation de l'acquisition d'images Pléiades pendant la période durant laquelle s'effectueront les travaux de dragage à Sandy Beach (cinq semaines en juillet et août 2015). Les spécifications à fournir au fournisseur d'images sont : l'AOI (minimum de 100 km²), les produits commandés (*bundle* – bandes panchromatique et multispectrales) ainsi que le mode d'acquisition « *Instant tasking* »
- Il faudrait que les images acquises comportent une couverture nuageuse de $\leq 15\%$, avec une assurance de l'absence de nuages dans la zone spécifique du dragage où il faut faire le suivi des sédiments (zone de 2 km X 2 km). En raison des conditions météorologiques qui existeront, la journée d'acquisition pourrait varier d'une semaine à l'autre;
- Pour 12 acquisitions, les coûts par image seront de 4 300 \$.

Le suivi des acquisitions sera simplifié, car il n'est pas nécessaire de synchroniser l'acquisition avec des relevés de terrain.

2- Traitement des données satellitaires (12 images)

- On doit fournir les coordonnées géographiques et la description des points de contrôle terrestres qui auront été récoltés avec un GPS lors de la campagne terrain de 2014. On fournira également le modèle numérique de terrain (MNT) pour le territoire couvert par les

images : On pourrait utiliser le [SRTM](#) disponible gratuitement ou le MNT disponible auprès de la Géoboutique du MER.

- Dès leur réception, Il faudra orthorectifier les images acquises à l'aide des points de contrôle terrestres et du MNT.
- Réalisation des corrections radiométriques et atmosphériques pour les images satellite reçues. Ces corrections visent à établir la réflectance à la surface de l'eau à partir du signal capté par les images satellite. Le modèle de transfert radiatif utilisé devra prendre en compte les coefficients de calibration du capteur, les conditions d'éclairage, l'angle de visée du capteur, ainsi que la diffusion et l'absorption par les constituants de l'atmosphère (gaz et aérosols). Il est recommandé d'utiliser la méthode des cibles obscures étant donné la faible réflectance de l'eau.

3- Estimation de la concentration des sédiments en suspension et cartographie

- Rendre disponible le modèle empirique d'estimation de la concentration des sédiments en suspension (CSS) développé en 2014.
- Utilisation du modèle empirique d'estimation de la CSS obtenu pour estimer les concentrations de sédiments sur l'ensemble de la zone d'étude. Pour chacune des dates d'acquisition, il produira une cartographie des CSS par classe de 5 à 10 mg/l sous une forme matricielle (TIF) d'une résolution de 0,5 m et avec la projection UTM 20.

4- Rapport de projet

- À la fin des travaux de dragage, on devra fournir un rapport final décrivant le déroulement du projet, les résultats obtenus ainsi que ses recommandations.

6.3. Coûts et échéancier

Le tableau 3 montre les coûts de réalisation des activités prévues pour l'application de la méthodologie d'estimation de la CSS à partir d'imagerie satellitaire multispectrale en 2015. Les coûts de réalisation sont estimés à 70 250 \$, dont 51 600 \$ en acquisition d'images Pléiades. Les efforts requis sont de 27 jours-personnes. Les travaux se déroulent approximativement de la mi-juin à la fin septembre 2015. Ces informations seront validées dans le rapport final.

Activité	Efforts Jrs- personnes	Coûts de main- d'oeuvre (\$)	Autres coûts (\$)
1- Planification, programmation et acquisition de 12 images Pléiades de 100 km ² .	5	3 250	51 600
2- Traitement des données satellitaires (12 images)	10	7 000	-
3- Estimation de la CSS et cartographie	10	7 000	
4- Rapport de projet	2	1 400	-
TOTAL	27	18 650	51 600

Tableau 3 : Efforts et coûts de réalisation des activités prévues pour l'application de la méthodologie d'estimation de la CSS en 2015

7. Références

- Bouroubi Y., F. Cavayas et N. Tremblay, 2010. Les Corrections Radiométriques Des Images Multispectrales. Éditions Universitaires Européennes.
- CCME (Conseil canadien des ministres de l'Environnement). 2011. Manuel des protocoles d'échantillonnage pour l'analyse de la qualité de l'eau au Canada. ISBN 978-1-896997-79-7 PDF. 211 pages.
- Ekercin S. 2007. Water Quality Retrievals from High Resolution Ikonos Multispectral Imagery: A Case Study in Istanbul, Turkey. *Water Air Soil Pollut* (2007) 183:239–251.
- Froidefond, J.M., F. Lahet, C. Huc, D. Doxaran, D. Guiral, M.T. Prost, J.-F. TERNON. 2004. Mudflats and mud suspension observed from satellite data in French Guiana. *Marine Geology* 208 (2004) 153–168
- Long, C. M. et Pavelsky T. M. 2013. Remote sensing of suspended sediment concentration and hydrologic connectivity in a complex wetland environment. *Remote Sensing of Environment* 129 (2013) 197–209.
- Onderka, M et Rodný, M. 2010. Can Suspended Sediment Concentrations be estimated from Multispectral Imagery using only Image-derived Information? *J. Indian Soc. Remote Sens.* (March 2010) 38: 85-97.
- Shen Fang, Yunxuan Zhou, Jiufa Li, Qing He et Wouter Verhoef. 2013. Remotely sensed variability of the suspended sediment concentration and its response to decreased river discharge in the Yangtze estuary. *Continental Shelf Research* 69(2013)52–61.
- Villar, R. E., Martinez, J-M, Le Texier, M., Guyot, J-L, Fraizy, P. Meneses R et De Oliveira E. 2013. A study of sediment transport in the Madeira River, Brazil, using MODIS remote-sensing images. *Journal of South American Earth Sciences* 44 (2013) 45-54.
- Volpe V., Silvestri, S. et Marani M. 2011. Remote sensing retrieval of suspended sediment concentration in shallow waters *Remote Sensing of Environment* 115 (2011) 44–54.

Annexe 1



Quadrat	Latitude	Longitude
1	48,87470'	-64,53680'
2	48,86670'	-64,51240
3	48,85820'	-64,49860'
4	48,85820	-64,48180'
5	48,84960'	-64,48830'
6	48,84530'	-64,47520'
7	48,85380'	-64,46870'
8	48,85140'	-64,45190'
9	48,84090'	-64,45980'
10	48,83180'	-64,46680'
11	48,83500'	-64,44230'
12	48,84550'	-64,43430
13	48,83940'	-64,41990'
14	48,82940	-64,42560'
15	48,82480'	-64,41200'



*Travaux publics et Services
gouvernementaux Canada (TPSGC)*

**Développement des méthodologies d'application et des devis
de validation et de démonstration :**
Le suivi des concentrations de sédiments en mer

Rapport préliminaire : modélisation

Août 2014

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION.....	2
2. RAPPELS SUR LA MÉTHODOLOGIE D'ÉLABORATION DU MODÈLE	2
3. LES IMAGES PLÉIADES.....	3
4. CALCUL DES RÉFLECTANCES.....	5
5. RELATIONS DES RÉFLECTANCES DE SURFACE AVEC LA TURBIDITÉ ET LA CSS	5
6. TEST DE QUELQUES MODÈLES	7
6.1. Modèles avec rapports de bandes spectrales	7
6.2. Modèle de régression en fonction de plusieurs réflectances.....	8
6.3. Modèles utilisant une seule bande spectrale	8
6.4. Ajustement du modèle suite à des acquisitions futures	10
7. CARTOGRAPHIE DE LA CSS : EXEMPLES	10
8. CONCLUSION	12
9. RÉFÉRENCES.....	12

1. Introduction

Ce document décrit les tests de modélisation réalisés dans le cadre d'un projet portant sur l'estimation de la concentration des sédiments en suspension dans la Baie de Gaspé à partir des images satellites Pléiades. Cette application permettra de surveiller ce paramètre lors des opérations de dragage. Les détails de ce projet ont été décrits dans un rapport communiqué à Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (TPSGC) en juin 2014.

2. Rappels sur la méthodologie d'élaboration du modèle

La méthodologie identifiée lors de la revue de littérature, et qui semble la plus appropriée dans le contexte du projet, est l'utilisation d'un modèle empirique pour l'estimation de concentration des sédiments en suspension (CSS, en mg/l) à partir des images d'observation de la Terre (OT) de haute résolution.

Deux images Pléiades ont été acquises les 8 et 16 juin 2014. Des mesures de turbidité de l'eau et de CSS (géolocalisées à l'aide d'un GPS) ont été réalisées en concomitance avec le passage du satellite. La collecte des échantillons d'eau a été réalisée selon un découpage en 15 zones qui permet de couvrir l'ensemble de la région d'étude (Figure 1). Le protocole des mesures de la CSS a été décrit en détail dans le rapport de juin 2014.

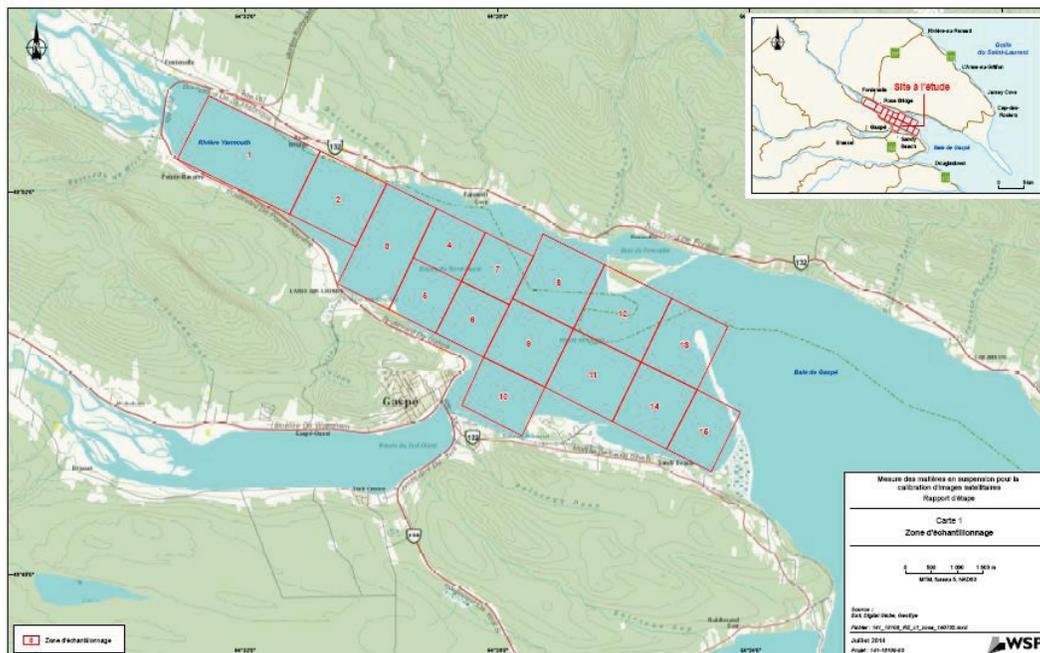


Figure 1 : Découpage de la zone d'étude pour l'échantillonnage in-situ de la turbidité de l'eau et de la CSS

3. Les images Pléiades

La constellation de satellites Pléiades a été retenue pour les raisons suivantes :

- Capacités d'acquisition très favorables à une utilisation opérationnelle : revisite quotidienne et mode de programmation instantanée (*Instant Tasking*) permettant de programmer le satellite 24 à 48 heures à l'avance ;
- Disponibilité des bandes spectrales requises pour l'application ;
- Résolution spatiale de 2 mètres (en mode multispectral) adaptée à l'échelle de la zone de dragage ;
- Résolution radiométrique de 12 bits, ce qui est particulièrement important pour discerner les faibles réflectances des surfaces aquatiques.

Les images Pléiades ont été orthorectifiées à partir de points de contrôle précis (1 m) afin de positionner précisément chacun des pixels de l'image et d'assurer une bonne concordance avec la position des échantillons d'eau.

Le calcul de la réflectance de surface est une opération importante qui assure la robustesse du modèle. En effet, les valeurs numériques (images brutes) sont affectés par plusieurs facteurs indépendant de l'information recherchée dont : le gain du capteur, les conditions d'éclairement solaire (date et heure d'acquisition) et d'observation (angles de visée) ainsi que les conditions atmosphériques (épaisseur optique des aérosols AOD et vapeur d'eau). Les corrections radiométriques et atmosphériques ont été réalisées à l'aide du logiciel REFLECT (Bouroubi, 2009) basé sur les routines du code 6S.

Les figures 2 et 3 illustrent les images Pléiades acquises les 8 et 16 juin 2014, avec une indication des points de mesure *in-situ*. La réflectance de l'eau montre une variabilité importante dans les bandes du visible; nous verrons par la suite que cette réflectance dépend fortement de la CSS.

Notons qu'une acquisition complémentaire sera planifiée pour la fin de l'été 2014, idéalement dans une situation de CSS élevée suite à de fortes pluies. Ceci permettra de couvrir une plus large gamme dynamique de la CSS.



Figure 2. Image du 08 juin 2014 (vraies couleurs) avec indication des points de mesure in-situ



Figure 3. Image du 16 juin 2014 (vraies couleurs) avec indication des points de mesure in-situ

4. Calcul des réflectances

Le calcul des réflectances est réalisé à l'aide de trois opérations :

- calcul des luminances au niveau du satellite L_{sat} à partir des valeurs numériques VN :

$$L_{sat} = VN / \text{Gain} + \text{Offset}$$

Les valeurs de 'Gain' et 'Offset' sont fournis dans les fichiers auxiliaires de l'image pour les différentes bandes spectrales.

- Calcul des réflectances apparentes :

$$R_{sat} = \pi \cdot L_{sat} / (E_0 \cdot \sin\theta_s)$$

L'éclairement solaire hors atmosphère E_0 et l'élévation solaire θ_s sont calculés à partir de la date et l'heure d'acquisition ainsi que les coordonnées du lieu.

- Calcul des réflectances de surface (corrections atmosphériques) :

$$R_{sol} = (R_{sat} - R_{atm}) / (T_{gaz} * T_{up} * T_{down})$$

Cette étape nécessite la connaissance des paramètres atmosphériques liés à l'absorption gazeuse (T_{gaz}) et à la diffusion des gaz et des aérosols (R_{atm} , T_{up} et T_{down}) dans les trajets descendant et ascendant. Ces paramètres sont calculés à partir d'un code atmosphérique et d'un certain nombre d'intrants (Tableau 1).

Ces traitements sont réalisés automatiquement dans le logiciel REFLECT.

Tableau 1 : Intrants permettant de calculer les paramètres atmosphériques pour les corrections atmosphériques des images Pléiades

Date de l'image	Heure GMT (TL+4)	Coordonnées	Atmosphère (10h – 12h)				
			Station météo	T° C	Hr %	Visibilité (km) & AOD	Vent (km/h)
2014-06-08	15:26:03	64d27'26.52"W	Gaspé A 64°28'47"O 48°46'31"N	21	20	24 & 0.05	13
2014-06-16	15:13:54	48d50'43.64"N		18	42	24 & 0.06	21

5. Relations des réflectances de surface avec la turbidité et la CSS

La figure 4 montre les relations entre les réflectances issues des images Pléiades et les mesures de turbidité de l'eau et de CSS pour les données des deux dates agrégées ensemble. Les niveaux de réflectances de l'eau semblent adéquats dans toutes les bandes spectrales. Les

réflectances sont plus élevées pour des surfaces d'eau plus turbides et plus riches en sédiments, même si la gamme dynamique de la CSS est relativement faible dans notre cas (CSS peut dépasser les 100 mg/L).

Les réflectances de la bande rouge donnent les meilleures corrélations avec les mesures *in-situ*; ce résultat a été rapporté par plusieurs auteurs, tel que mentionné par Long et Pavelsky (2013). Cette observation est importante pour la définition du modèle.

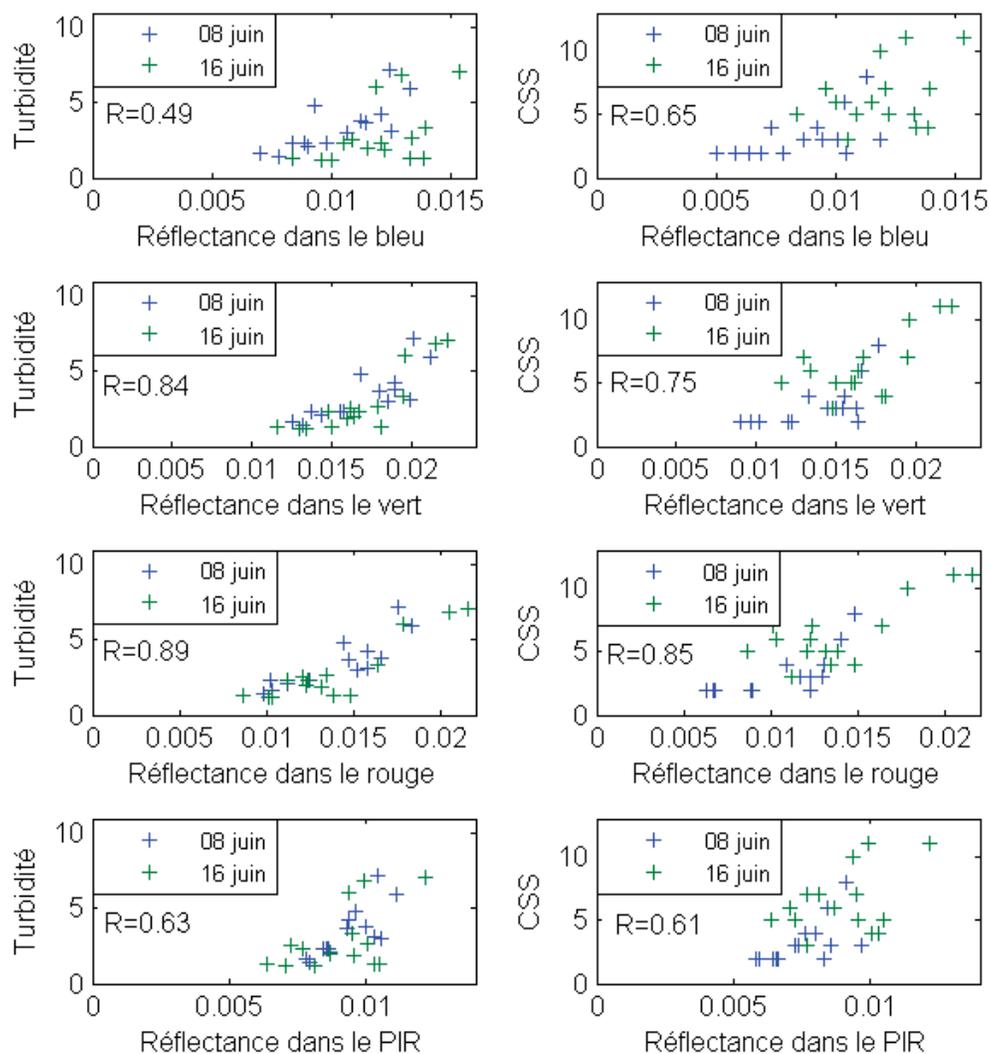


Figure 4. Corrélations entre les réflectances de surface issues des images Pléiades et les mesures de turbidité de l'eau et de CSS (mg/L)

6. Test de quelques modèles

Plusieurs approches ont été proposées afin d'estimer la turbidité de l'eau ou la concentration des matières en suspension à partir des images d'OT, tel que rapporté par Long et Pavelsky (2013). Certains de ces modèles seront testés dans cette section. Dans notre cas, nous allons utiliser les réflectances de surface afin d'améliorer la robustesse (répétitivité) du modèle en éliminant les erreurs systématiques dues au gain du capteur, l'angle de visée, la date et l'heure d'acquisition ainsi qu'aux conditions atmosphériques.

6.1. Modèles avec rapports de bandes spectrales

Les modèles basés sur les rapports de bande peuvent être linéaires de type : $a \cdot \exp(b \cdot R_1/R_2)$ (Doxaran et al., 2003 ; Lathrop et al., 1991), ou quadratiques de type $a + b R_1/R_2 + c (R_1/R_2)^2$ (Topliss et al., 1990 ; Ritchie & Cooper, 1991).

Ces modèles sont trop sensibles aux variations de la réflectance au dénominateur. Comme ces réflectances sont de très faibles valeurs, les erreurs dues aux corrections atmosphériques peuvent causer des écarts trop élevés au niveau de la sortie du modèle. Ces modèles sont donc à proscrire. De plus, les tests réalisés avec nos données n'ont montré aucun résultat intéressant avec cette approche (Figure 5).

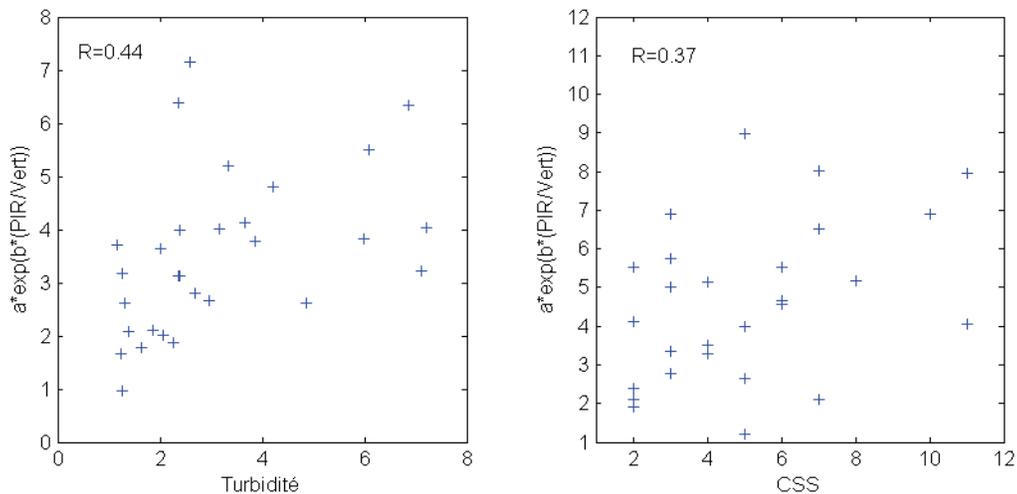


Figure 5. Test d'un modèle basé sur le rapport des bandes PIR et verte (Doxaran et al., 2003)

6.2. *Modèle de régression en fonction de plusieurs réflectances*

Ekercin (2007) propose d'utiliser une régression multiple du type : $CSS = A_0 + \sum(A_i * R_i)$, où R_i représente les réflectances d'une image IKONOS dans les bandes bleue, verte, rouge et proche infrarouge. Ce modèle donne de très bonnes corrélations (Figure 6). Toutefois, la robustesse de cette approche n'est pas garantie car l'erreur sur l'output est affectée par la combinaison des erreurs sur tous les inputs.

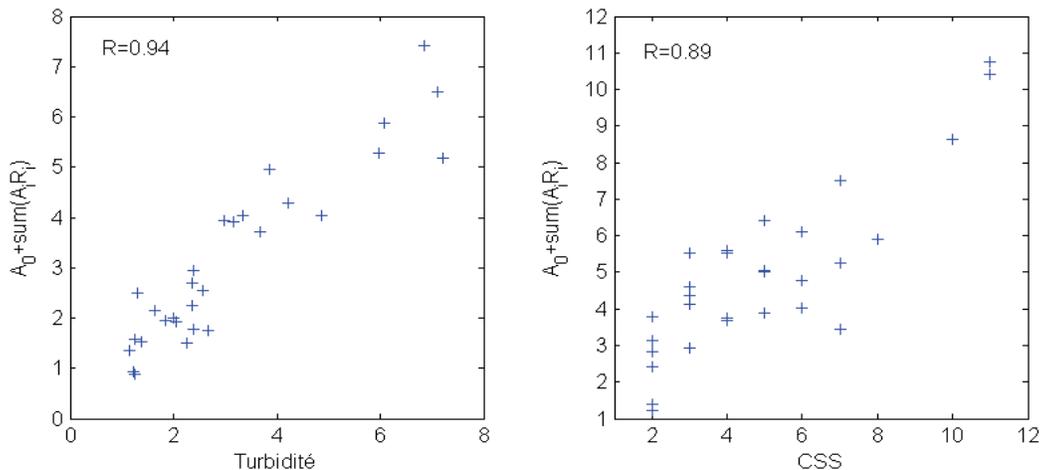


Figure 6. Test d'un modèle basé sur une régression en fonction des bandes bleue, verte, rouge et PIR

6.3. *Modèles utilisant une seule bande spectrale*

Plusieurs auteurs proposent des modèles de type $a + b \cdot R_{Rouge}$ pour la turbidité et des variantes en exponentielle (ou en logarithme) pour la CSS (Hellweger et coll. 2007 ; Wang et al., 2008 ; Chu et al., 2009 ; Dekker et al., 2001 ; Keiner & Yan, 1998). Cette approche, en plus d'être simple et peu sensible aux erreurs, donne de bons résultats (Figure 7).

Un modèle quadratique ($a + b \cdot R_{Rouge} + c \cdot R_{Rouge}^2$) améliore légèrement les corrélations (Figure 8); la pertinence d'utiliser ou non cette forme de relation dépendra des résultats que nous obtiendrons pour des valeurs plus élevées de la CSS que nous souhaitons avoir lors de la prochaine campagne de mesure.

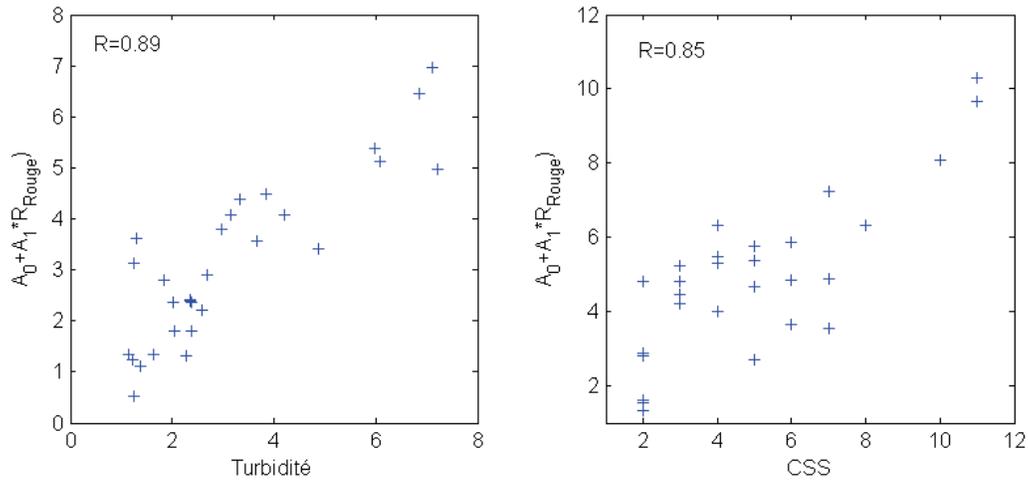


Figure 7. Test d'un modèle linéaire en fonction de réflectance de la bande rouge

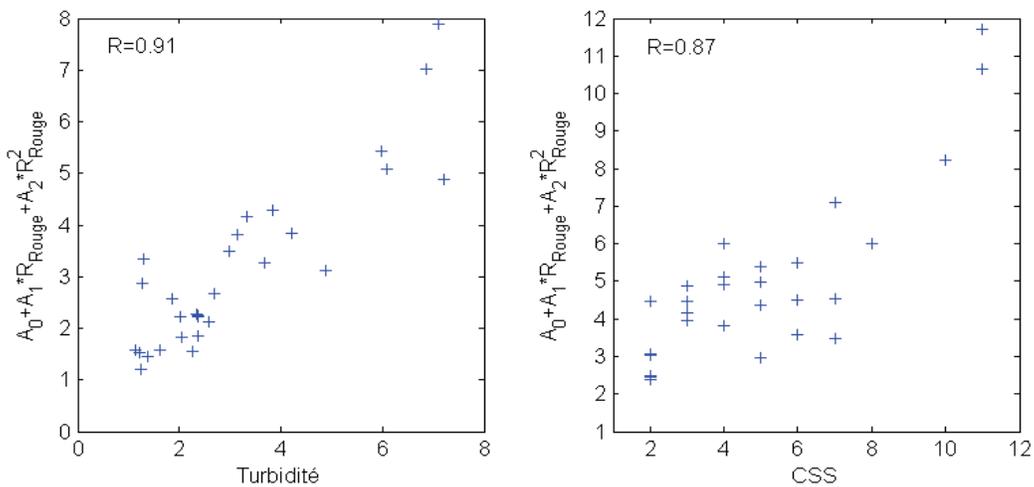


Figure 8. Test d'un modèle quadratique en fonction de réflectance de la bande rouge

Nous avons testé également la combinaison des bandes spectrales rouge et verte, tel que proposé par Dekker et al. (2001). Cette approche complique le modèle et donne des corrélations plus faibles entre les mesures et les estimations par rapport à l'utilisation de la bande rouge uniquement (Figure 9).

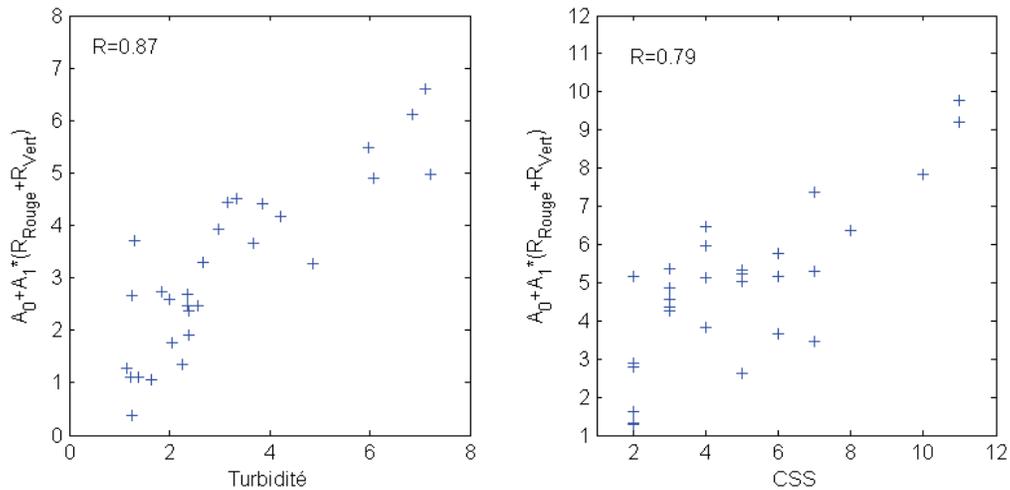


Figure 9. Test d'un modèle linéaire en fonction de la combinaison des réflectances verte et rouge

6.4. Ajustement du modèle suite à des acquisitions futures

Nous avons planifié d'acquérir une troisième image Pléiades afin de couvrir un épisode de crues dues à des pluies importantes, ce qui permettrait d'avoir des valeurs élevées de la CSS. Ceci nous permettra de mieux sélectionner la forme du modèle (linéaire, quadratique ou exponentiel) et de mieux évaluer ses paramètres.

7. Cartographie de la CSS : exemples

À titre d'illustration, des cartes de CSS estimée ont été produites, à partir des images Pléiades disponibles, pour une partie des surfaces aquatiques de la région d'étude. Elles montrent la variabilité spatiale des valeurs de CSS aux deux dates indiquées (Figures 10 et 11).

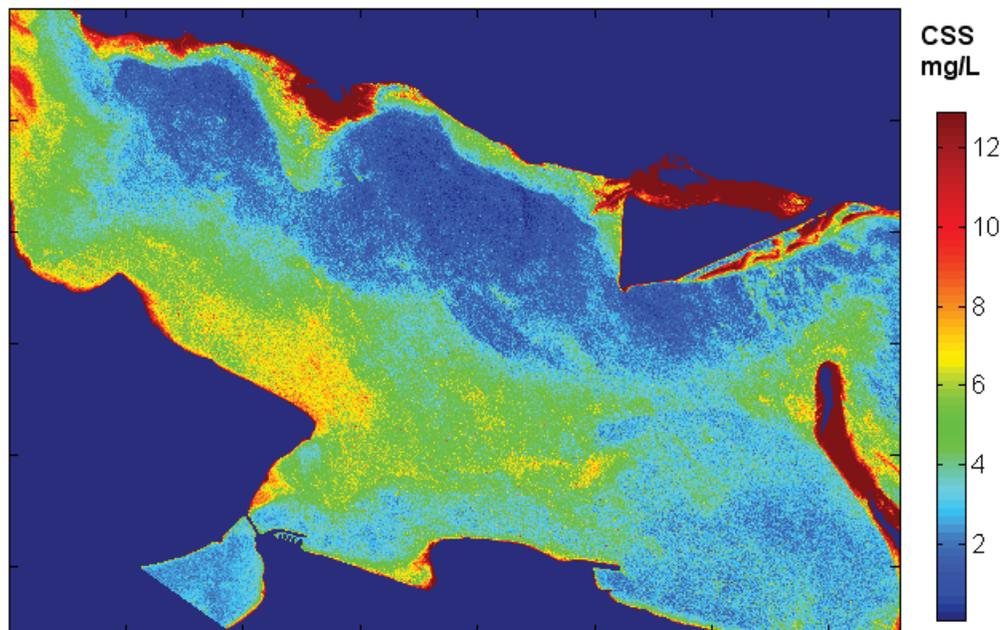


Figure 10. Concentration des sédiments en suspension (CSS) calculées à partir de la bande rouge de l'image Pléiades du 08 juin 2014

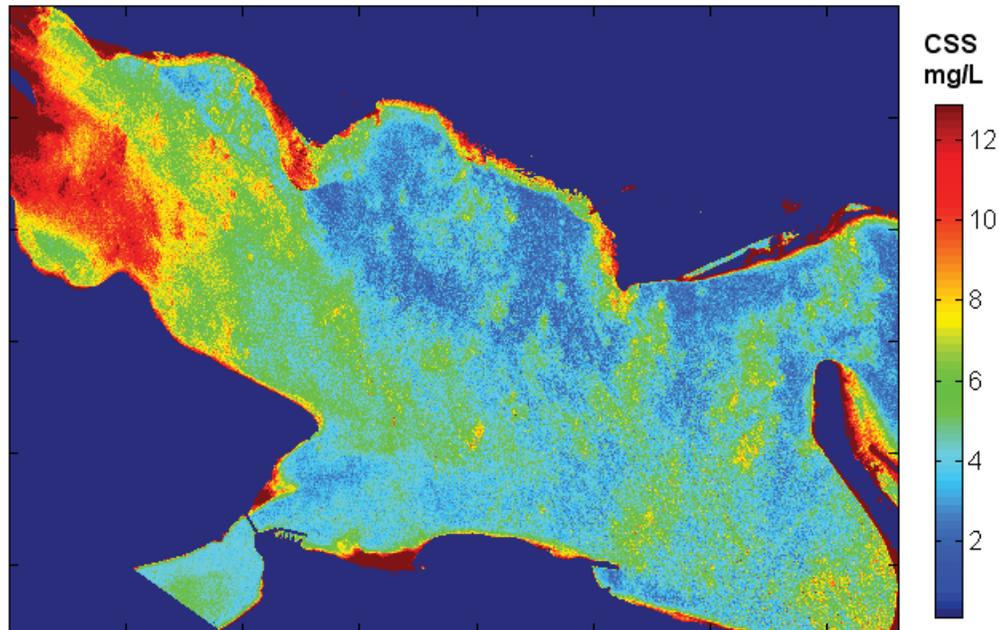


Figure 11. Concentration des sédiments en suspension (CSS) calculées à partir de la bande rouge de l'image Pléiades du 16 juin 2014

8. Conclusion

Nous pouvons conclure que les images Pléiades offrent une excellente source de données (en termes de résolution radiométrique, entre autres) permettant de dériver la concentration des sédiments en suspension (CSS). Les corrélations entre les mesures et les estimations obtenues à partir d'une modélisation préliminaire s'approchent des 90%, et ce malgré la faible gamme dynamique de CSS qui variant entre 2 et 11 mg/L dans notre cas. Des tests supplémentaires avec une troisième image acquise dans une situation de CSS plus élevées permettront de mieux définir, calibrer et valider le modèle proposé.

9. Références

Bouroubi Y., 2009. Les corrections radiométriques des images multispectrales. Thèse de Doctorat, Université de Montréal.

Chu, V.W., Smith, L. C., Rennermalm, A. K., Forster, R. R., Box, J. E., & Reehy, N. (2009). Sediment plume response to surface melting and supraglacial lake drainages on the Greenland ice sheet. *Journal of Glaciology*, 55(194), 1072–1082.

Dekker, A. G., Vos, R. J., & Peters, S. W. M. (2001). Comparison of remote sensing data, model results and in situ data for total suspended matter (TSM) in the southern Frisian lakes. *Science of the Total Environment*, 268(1–3), 197–214.

Doxaran, D., Froidefond, J. -M., & Castaing, P. (2003). Remote-sensing reflectance of turbid sediment-dominated waters. Reduction of sediment type variations and changing illumination conditions effects by Use of reflectance ratios. *Applied Optics*, 42(15), 2623–2634.

Ekercin S. 2007. Water Quality Retrievals from High Resolution Ikonos Multispectral Imagery: A Case Study in Istanbul, Turkey. *Water Air Soil Pollut* (2007) 183:239–251.

Hellweger, F., Miller, W., & Oshodi, K. (2007). Mapping turbidity in the Charles River, Boston using a high-resolution satellite. *Environmental Monitoring and Assessment*, 132(1), 311–320.

Keiner, L. E., & Yan, X. -H. (1998). A neural network model for estimating Sea surface chlorophyll and sediments from thematic mapper imagery. *Remote Sensing of Environment*, 66(2), 153–165.

Lathrop, R. G., Lillesand, T. M., & Yandell, B. S. (1991). Testing the utility of simple multi-date Thematic Mapper calibration algorithms for monitoring turbid inland waters. *International Journal of Remote Sensing*, 12(10), 2045–2063.

Long C. M. and T. M. Pavelsky, 2013. Remote sensing of suspended sediment concentration and hydrologic connectivity in a complex wetland environment, *Remote Sensing of Environment* 129 (2013) 197–209.

Ritchie, J. C., & Cooper, C. M. (1991). An algorithm for estimating surface suspended sediment concentrations with Landsat MSS digital data. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 27(3), 373–379.

Topliss, B. J., Almos, C. L., & Hill, P. R. (1990). Algorithms for remote sensing of high concentration, inorganic suspended sediment. *International Journal of Remote Sensing*, 11(6), 947–966.

Wang, F., Zhou, B., Xu, J., Song, L., & Wang, X. (2008). Application of neural network and MODIS 250 m imagery for estimating suspended sediments concentration in Hangzhou Bay, China. *Environmental Geology*, 56(6), 1093–1101.



RAPPORT D'ÉTAPE
MESURE DES MATIÈRES
EN SUSPENSION POUR
LA CALIBRATION D'IMAGES
SATELLITAIRES

Projet n° 141-18109-00

Préparé pour :
Travaux publics et Services gouvernementaux Canada

Date : JUILLET 2014

Préparé par :

A handwritten signature in blue ink that reads 'Mélanie Lévesque'.

Mélanie Lévesque
Biologiste, M.Sc. Océanographie
Chargée de projet

WSP Canada Inc.
5355, boul. des Gradins
Québec (Québec) G2J 1C8

Téléphone : 418 623-2254
Télécopieur : 418 624-1857
www.wspgroup.com

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Travaux publics et Services gouvernementaux Canada

Chargé de projet : Marc Desrosiers

WSP Canada Inc.

Directeur de projet : Patrick Charbonneau

Chargée de projet : Mélanie Lévesque

Membres de l'équipe de terrain : Julie Simard
Thomas Fortin-Chevalier
Jean-Philippe Denis

Cartographie : Line Savoie

Traitement de texte et édition : Linette Poulin

Référence à citer :

WSP. 2014. *Mesure des matières en suspension pour la calibration d'images satellitaires. Rapport d'étape*. Rapport de WSP à Travaux publics et Services gouvernementaux Canada. 25 p. et annexes.

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
ÉQUIPE DE RÉALISATION.....	I
TABLEAUX.....	V
FIGURES.....	V
CARTES.....	V
ANNEXES.....	V
1. INTRODUCTION.....	1
2. ZONE D'ÉTUDE.....	3
2.1 GÉNÉRALE.....	3
3. MÉTHODOLOGIE.....	7
3.1 GÉNÉRALITÉ.....	7
3.2 EMBARCATION.....	7
3.3 CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES ET OCÉANOGRAPHIQUES.....	8
3.4 MATIÈRES EN SUSPENSION ET TURBIDITÉ.....	8
3.5 ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU.....	11
3.6 ANALYSES.....	11
4. RÉSULTATS.....	13
4.1 CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES ET OCÉANOGRAPHIQUES.....	13
4.2 TURBIDITÉ ET MATIÈRES EN SUSPENSION.....	13
4.3 RELATION ENTRE LES TENEURS EN MES ET LA TURBIDITÉ.....	19
4.4 TRANSPARENCE DE L'EAU.....	19
4.5 POINTS DE CONTRÔLE TERRESTRE.....	19
5. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	23
6. RÉFÉRENCES.....	25
6.1 SITE INTERNET.....	25

TABLEAUX

Tableau 1	Coordonnées géographiques des stations.....	8
Tableau 2	Conditions météorologiques et océanographiques.....	13
Tableau 3	Turbidité et matières en suspension mesurées dans la zone d'étude lors de la campagne 1, 8 juin 2014.....	14
Tableau 4	Turbidité et matières en suspension mesurées dans la zone d'étude lors de la campagne 2, 16 juin 2014.....	14
Tableau 5	Mesures de la transparence de l'eau enregistrées aux stations d'échantillonnage à l'aide d'un disque de Secchi.....	21

FIGURES

Figure 1	Relation entre la concentration en MES et la turbidité de la couche d'eau de surface lors de la campagne 1, 8 juin 2014.	20
Figure 2	Relation entre la concentration en MES et la turbidité de la couche d'eau de surface lors de la campagne 2, 16 juin 2014.	20

CARTES

Carte 1	Zone d'échantillonnage.....	5
Carte 2	Stations d'échantillonnage des campagnes 1 et 2.....	9
Carte 3	Matières en suspension et turbidité de l'eau de surface Campagne 1.....	15
Carte 4	Matières en suspension et turbidité de l'eau de surface Campagne 2.....	17

ANNEXES

Annexe A	Fiche technique de l'embarcation
Annexe B	Reportage photographique - Matériels de terrain
Annexe C	Reportage photographique - Conditions météo
Annexe D	Rapports d'analyse de laboratoire

1. INTRODUCTION

En 2015, Transports Canada compte entreprendre des travaux de restauration des sédiments contaminés au sud du quai commercial de Gaspé (Sandy Beach). Le dragage sur une superficie approximative de 50 000 m² pourrait générer une remise en suspension de sédiments contaminés (cuivre et hydrocarbures aromatiques polycycliques) dans la colonne d'eau et engendrer des impacts négatifs dans le havre de Gaspé. Dans cette optique, Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (TPSGC), en collaboration avec l'Agence spatiale canadienne, souhaite mettre sur pied un programme de suivi des matières en suspension (MES) à partir d'images satellitaires.

TPSGC a mandaté WSP Canada Inc. (WSP)¹ afin d'effectuer les campagnes de terrain visant à évaluer les variations de turbidité présente dans la zone d'étude et prélever des échantillons d'eau de surface afin d'en déterminer les MES présentes, selon différentes conditions hydriques. Le groupe Effigis GeoSolution a pour sa part le mandat d'assurer la prise d'images satellitaires ainsi que d'effectuer leur calibration et les analyses subséquentes en lien avec les valeurs réelles de MES et de turbidité obtenues sur le terrain.

L'objectif principal de ce mandat vise donc à obtenir des valeurs de MES et de turbidité *in situ* afin de calibrer et corriger les images satellitaires prises pour ce territoire.

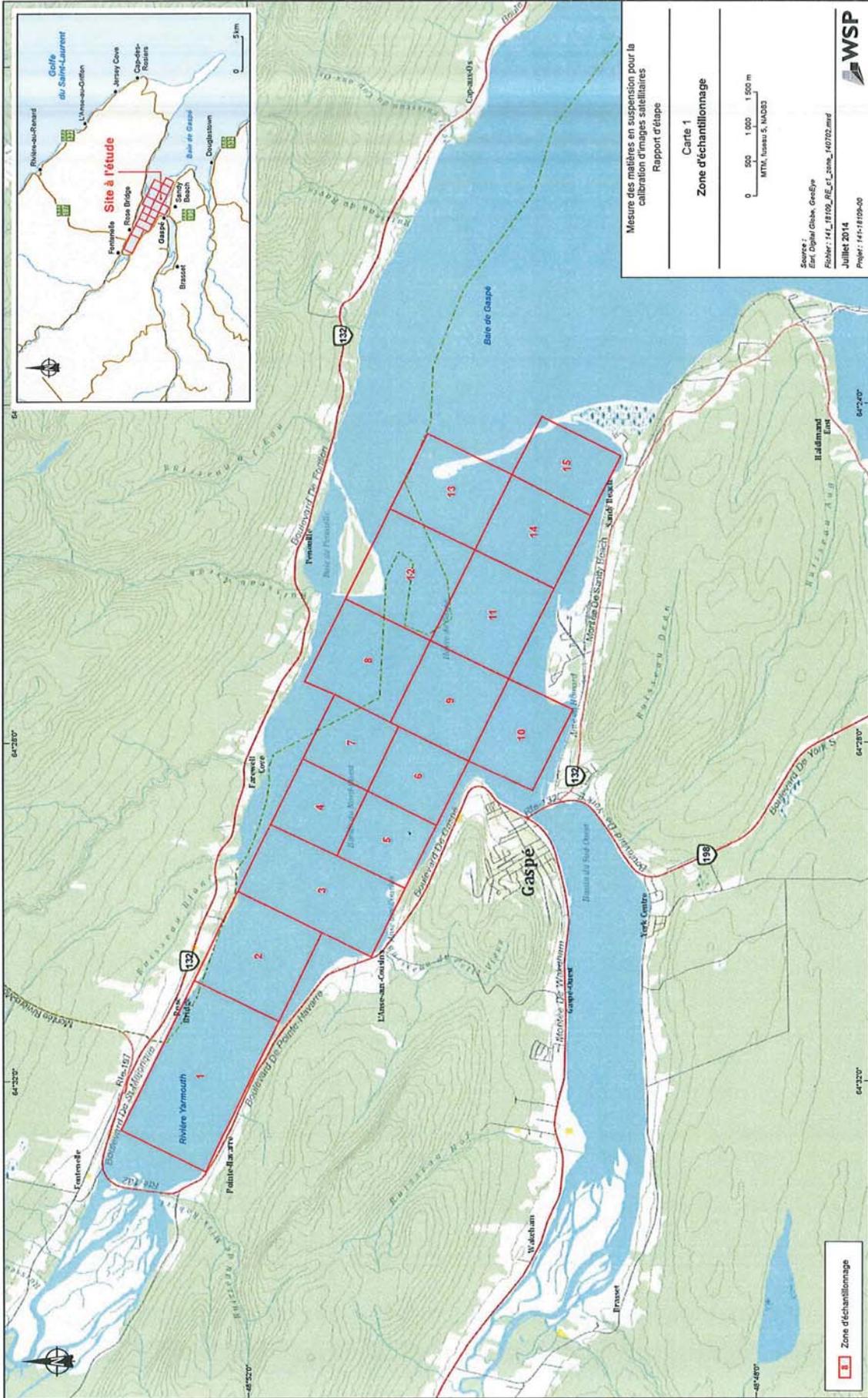
Le présent rapport d'étape expose la méthodologie d'échantillonnage utilisée et dresse le portrait sommaire des résultats obtenus à la suite de la tenue des deux premières campagnes de terrains effectués dans le havre de Gaspé, respectivement le 8 et le 16 juin 2014.

¹ Auparavant GENIVAR inc.

2. ZONE D'ÉTUDE

2.1 GÉNÉRALE

La zone d'étude se situe en Gaspésie, plus précisément dans le havre de Gaspé. La zone définie couvre un territoire de l'embouchure de la rivière Yarmouth jusqu'à la pointe de Sandy Beach, représentant près de 25 km² de superficie. La zone d'acquisition prévue des images satellitaires de Pléiade a été divisée en 15 sections (carte 1). Le plan d'échantillonnage initial vise d'ailleurs à échantillonner une station pour chacune de ces sections, de manière à optimiser la couverture du territoire d'acquisition satellitaire défini.



Mesure des métaux en suspension pour la
calibration d'images satellitaires
Rapport d'étape

Carte 1
Zone d'échantillonnage



Source:
EBC, Digital Globe, GeoEye
Fichier: 14_18109_RE_E1_som_14020.mxd
Juillet 2014
Page: 14-18109-00

Zone d'échantillonnage



3. MÉTHODOLOGIE

3.1 GÉNÉRALITÉ

Les deux campagnes de terrain ont été effectuées le 8 et le 16 juin dernier. La première campagne a été assurée par une équipe de WSP - Québec, soit mesdames Mélanie Lévesque (océanographe) et Julie Simard (géomorphologue). Une équipe du bureau de WSP – Gaspé, composée de messieurs Thomas Fortin-Chevalier (ingénieur) et Jean-Philippe Denis (technicien), a complété les travaux de la seconde campagne.

Lors des préparatifs des travaux de terrain, une localisation préliminaire de 15 stations d'échantillonnage a d'abord été établie en fonction des profondeurs d'eau retrouvée sur les cartes marines. Une fois sur l'eau, les stations ont dû être légèrement relocalisées étant donné les conditions de navigations présentes lors des journées d'échantillonnage. À titre d'exemple, les faibles profondeurs d'eau dans la section 1 en condition de marée descendante ont nécessité le déplacement de la station vers la section 2. Malgré tout, une bonne couverture de territoire a été assurée à chacune des campagnes (carte 2). Les coordonnées pour les deux campagnes sont à toute fin pratique les mêmes (tableau 1). Notons que ces coordonnées ont été recueillies à l'aide d'un GPS assurant une précision de l'ordre de 3 m. Pour chacune des stations, les informations suivantes ont été recueillies :

- conditions météorologiques (présence d'une couverture nuageuse, vent, etc.);
- condition de la mer (présence de vague);
- heure et date de l'échantillonnage;
- coordonnées géographiques en degré décimal (WGS 84);
- échantillon d'eau de surface (≤ 30 cm de profondeur);
- données de turbidité (≤ 30 cm de profondeur);
- données sur la transparence de l'eau par l'utilisation d'un disque de Secchi;
- autres observations pertinentes (p. ex. présence de débris).

3.2 EMBARCATION

Aux fins des travaux, les services du chantier naval Forillon ont été retenus. Ces derniers ont permis de fournir l'embarcation nécessaire à l'échantillonnage des deux campagnes, en plus de l'expertise d'un capitaine connaissant la zone d'étude concernée. Cette embarcation, munie d'un GPS (Garmin 78S) et d'un profondomètre, a permis d'assurer le positionnement le plus précis possible des stations d'échantillonnage. Le nécessaire des équipements de sécurité était également fourni par l'équipe du chantier naval. Ces informations ont d'ailleurs été détaillées dans le plan de santé et sécurité remis au gestionnaire de service avant le début des travaux sur l'eau (WSP, 2014). À titre indicatif, la fiche technique du bateau utilisé pour l'échantillonnage est présentée à l'annexe A.

Tableau 1. Coordonnées géographiques des stations

STATION	CAMPAGNE 1		STATION	CAMPAGNE 2	
	08-juin 2014			16-juin 2014	
	LAT (DD)	LONG(DD)		LAT (DD) N	LONG(DD)
01	48,86703	-64,50515	01	48,86702	-64,50515
02	48,86102	-64,50102	02	48,86107	-64,50110
03	48,85817	-64,49870	03	48,85812	-64,49880
04	48,85827	-64,48163	04	48,85823	-64,48148
05	48,84937	-64,48862	05	48,84932	-64,48833
06	48,84547	-64,47483	06	48,84568	-64,47473
07	48,8536	-64,46862	07	48,85358	-64,46845
08	48,85153	-64,45182	08	48,85157	-64,45167
09	48,84095	-64,45985	09	48,84098	-64,45972
10	48,83163	-64,46668	10	48,83148	-64,46643
11	48,83495	-64,44235	11	48,83512	-64,44262
12	48,84543	-64,43427	12	48,84518	-64,43403
13	48,83928	-64,41958	13	48,83935	-64,41977
14	48,82943	-64,42518	14	48,8295	-64,42513
15	48,8248	-64,41212	15	48,82487	-64,41205

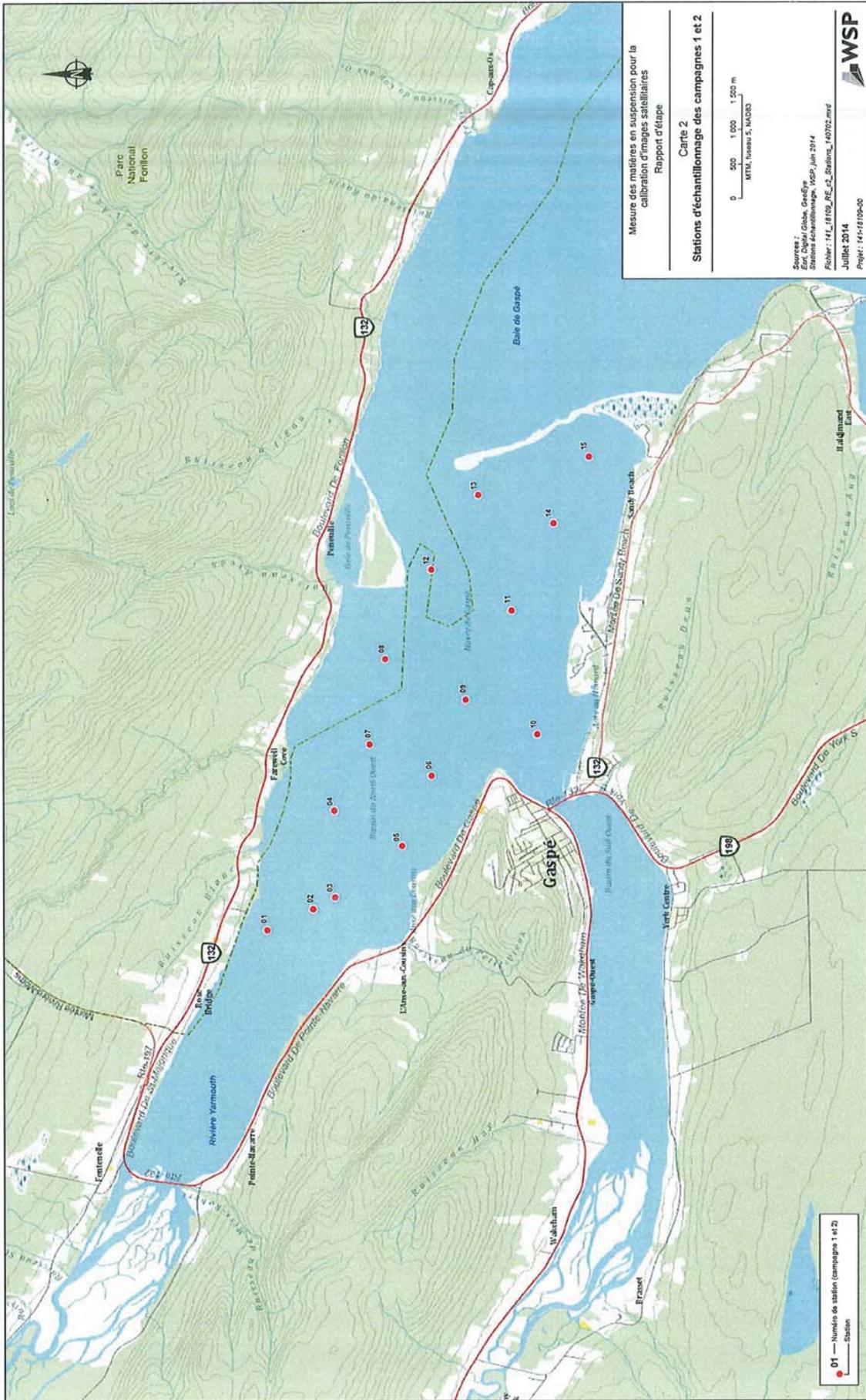
3.3 CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES ET OCÉANOGRAPHIQUES

Préalablement au déploiement de l'équipe de terrain, une première analyse des conditions météorologiques a été effectuée via les conseils de monsieur André Cantin, météorologiste d'Environnement Canada. Dans un premier temps, monsieur Cantin fournissait une première prévision en lien avec les dates d'acquisitions satellitaires. Une fois les conditions optimales réunies (absence ou présence faible de couverture nuageuse, faible vent), l'équipe de terrain se mobilisait le matin même afin de constater les conditions réelles. De là, les conditions étaient répertoriées au carnet de terrain en plus de la prise de photographies pour illustrer le tout. Il en était également ainsi pour les conditions océanographiques lors de l'échantillonnage. Tout changement dans ces conditions pendant l'échantillonnage était également répertorié au carnet de terrain.

3.4 MATIÈRES EN SUSPENSION ET TURBIDITÉ

Pour chaque station, un prélèvement d'eau de surface (25 cm de profondeur) a été recueilli. Pour ce faire, deux bouteilles de 1 L fournies par le laboratoire d'analyse ont été remplies à chaque station. Notons qu'un seul des deux échantillons était dédié à l'analyse subséquente. En cas de remplacement pour des raisons de bris d'équipement, de contrôle de qualité au laboratoire ou pour validation, le second échantillon pourrait alors être utilisé.

Le numéro de la station ainsi que l'heure et la date d'échantillonnage ont dûment été inscrits sur chacune des bouteilles afin d'identifier chaque échantillon en bonne et due forme (annexe B).



Mesure des matières en suspension pour la
 calibration d'images satellitaires
 Rapport d'étape

Carte 2
 Stations d'échantillonnage des campagnes 1 et 2



Source :
 Digitized from:
 Satellite Calibration: WSP, July 2014
 Rbbr: 142_18102_RE_C_Station_140702.mxd
 Juillet 2014
 Page: 141-18109-00



Une fois le prélèvement d'eau complété, une mesure de la turbidité *in situ* a également été effectuée via l'utilisation d'une sonde de turbidité (marque RBR modèle Concerto) (annexe B). Lorsque cette sonde est immergée dans la colonne d'eau, une mesure de turbidité exprimée en UTN (unités de turbidité néphéométriques) associée aux profondeurs rencontrées est enregistrée. Les mesures de turbidité ont ainsi été effectuées pour chacune des stations aux mêmes profondeurs auxquelles les échantillons d'eau ont été prélevés, soit à 25 cm de profondeur.

3.5 ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU

Afin d'effectuer une analyse qualitative de la transparence de l'eau, un disque de Secchi a été utilisé à chacune des stations. Ce disque bicolore, fixé au bout d'une corde lestée, permet d'obtenir la profondeur de la transparence de l'eau (annexe B).

3.6 ANALYSES

Une fois tous les prélèvements d'eau complétés, l'ensemble des échantillons ont été conservés à 4° C, conformément au « *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyse environnementale* » du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ, 2008). Ces derniers ont par la suite été acheminés au laboratoire d'analyse AGAT de Québec, dans les délais recommandés. Ce laboratoire, accrédité par le MDDELCC, a ainsi eu la responsabilité d'effectuer les analyses de MES.

La méthode d'analyse en laboratoire consiste à filtrer un volume connu d'eau (p. ex. 1 L) sur un filtre de 1,5 µm, préalablement pesé. Le résidu séché est par la suite pesé afin d'en obtenir une concentration en mg/L.

4. RÉSULTATS

4.1 CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES ET OCÉANOGRAPHIQUES

Étant donné les restrictions météorologiques nécessaires pour l'acquisition d'images satellitaires claires et adéquates pour les corrections et analyses subséquentes, la météo présente lors des deux campagnes se devait d'être relativement clémente. Pour les deux campagnes, un ciel dégagé avec des vents égaux ou inférieurs à 25 km/h en direction nord a été observé (tableau 2). Le dossier photographique présenté à l'annexe C permet de visualiser les conditions rencontrées lors des deux campagnes. Notons que d'après l'équipe d'Effigis GeoSolutions, la qualité des images satellitaires capturées dans le cadre de ces deux campagnes est excellente pour les analyses à venir (comm. pers. Mathieu Benoit), confirmant ainsi que les conditions présentes lors des échantillonnages étaient propices pour l'atteinte des objectifs de l'étude.

Tableau 2 Conditions météorologiques et océanographiques

	COUVERTURE NUAGEUSE	VENT (FORCE; DIRECTION)	VAGUE (PRÉSENCE/ABSENCE; HAUTEUR)	PHASE DE MARÉE
Campagne 1 8 juin 2014	0 %	15 km/h; nord	Présence; hauteur moyenne de 15 cm	Étale de marée haute et jusant
Campagne 2 16 juin 2014	5 % (nuages dissipés, minces)	25 km/h; nord	Présence; hauteur moyenne de 15 cm	Fin du flot, étale et jusant

À titre d'observation, lors de la campagne 1 à la station 15, du pollen en surface a été noté alors qu'à la station 10 de la campagne 2, des débris (possiblement des algues) étaient présents à la surface de l'eau.

4.2 TURBIDITÉ ET MATIÈRES EN SUSPENSION

Dans le cadre des deux campagnes d'échantillonnage, la variation de turbidité enregistrée était similaire. Les valeurs minimales de 1,21 et 1,15 UTN ont respectivement été enregistrées pour les campagnes 1 et 2, alors que leurs valeurs maximales étaient de 7,21 et 7,1 UTN (tableaux 3 et 4).

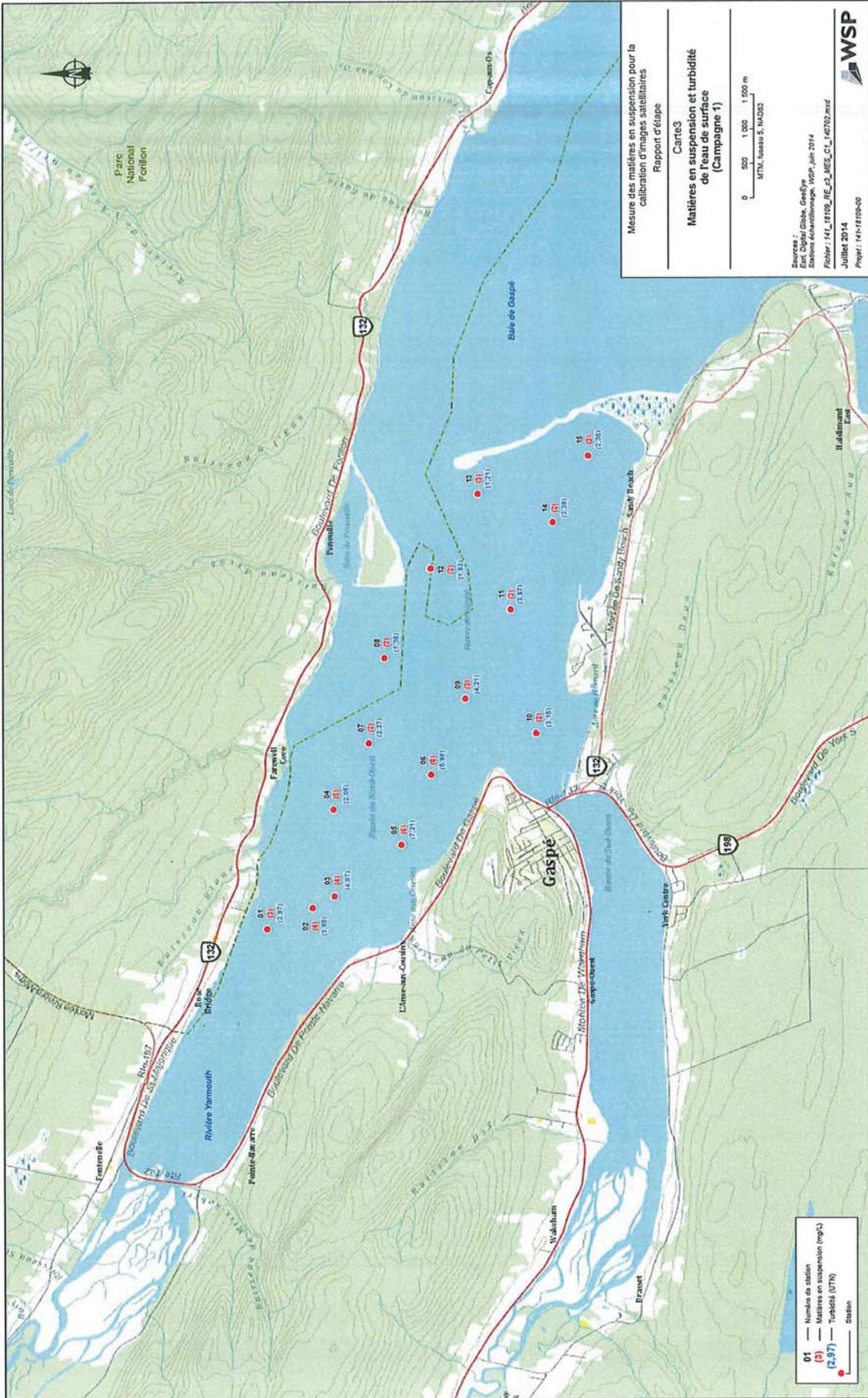
Concernant les valeurs de MES pour la campagne 1, la valeur minimale de 2 mg/L a été enregistrée à six stations (07, 08, 10, 12, 14 et 15), tandis que la valeur maximale de 8 mg/L n'a été obtenue qu'à une seule station (06) (carte 3). Pour la campagne 2, la valeur minimale de 3 mg/L a été obtenue à la station 10, alors des valeurs de 10 mg/L et 11 mg/L ont été obtenues à l'embouchure de la rivière Yarmouth (stations : 01, 02, 03) (carte 4) (tableaux 3 et 4). Les certificats d'analyse indiquant l'ensemble de ces résultats sont présentés à l'annexe D.

Tableau 3 Turbidité et matières en suspension mesurées dans la zone d'étude lors de la campagne 1, 8 juin 2014

STATION	HEURE	TURBIDITÉ (UTN)	MATIÈRE EN SUSPENSION (mg/L)
01	10h04	2,97	3
02	10h14	3,85	4
03	10h22	4,87	4
04	10h38	2,05	5
05	10h48	7,21	6
06	10h57	5,98	8
07	11h07	2,27	2
08	11h16	1,38	2
09	11h26	4,21	3
10	11h35	3,15	2
11	11h49	3,67	3
12	11h58	1,63	2
13	12h09	1,21	3
14	12h18	2,38	2
15	12h27	2,35	2
étale	min	1,21	2
jusant	max	7,21	8
	moy	3,28	3,4

Tableau 4 Turbidité et matières en suspension mesurées dans la zone d'étude lors de la campagne 2, 16 juin 2014

STATION	HEURE	TURBIDITÉ (UTN)	MATIÈRE EN SUSPENSION (mg/L)
01	11h55	6,08	10
02	12h06	6,86	11
03	12h12	7,10	11
04	12h23	2,68	4
05	11h17	3,34	7
06	10h57	2,58	5
07	12h33	1,25	5
08	12h43	1,23	7
09	10h39	2,36	7
10	10h20	2,38	3
11	13h51	2,01	6
12	12h54	1,26	5
13	13h05	1,15	6
14	13h33	1,85	5
15	13h19	1,30	4
étale	min	1,15	3
jusant	max	7,10	11
flot	moyenne	2,90	6,4



Mesure des matières en suspension pour la calibration d'images satellitaires
Rapport d'étape

Cartes3

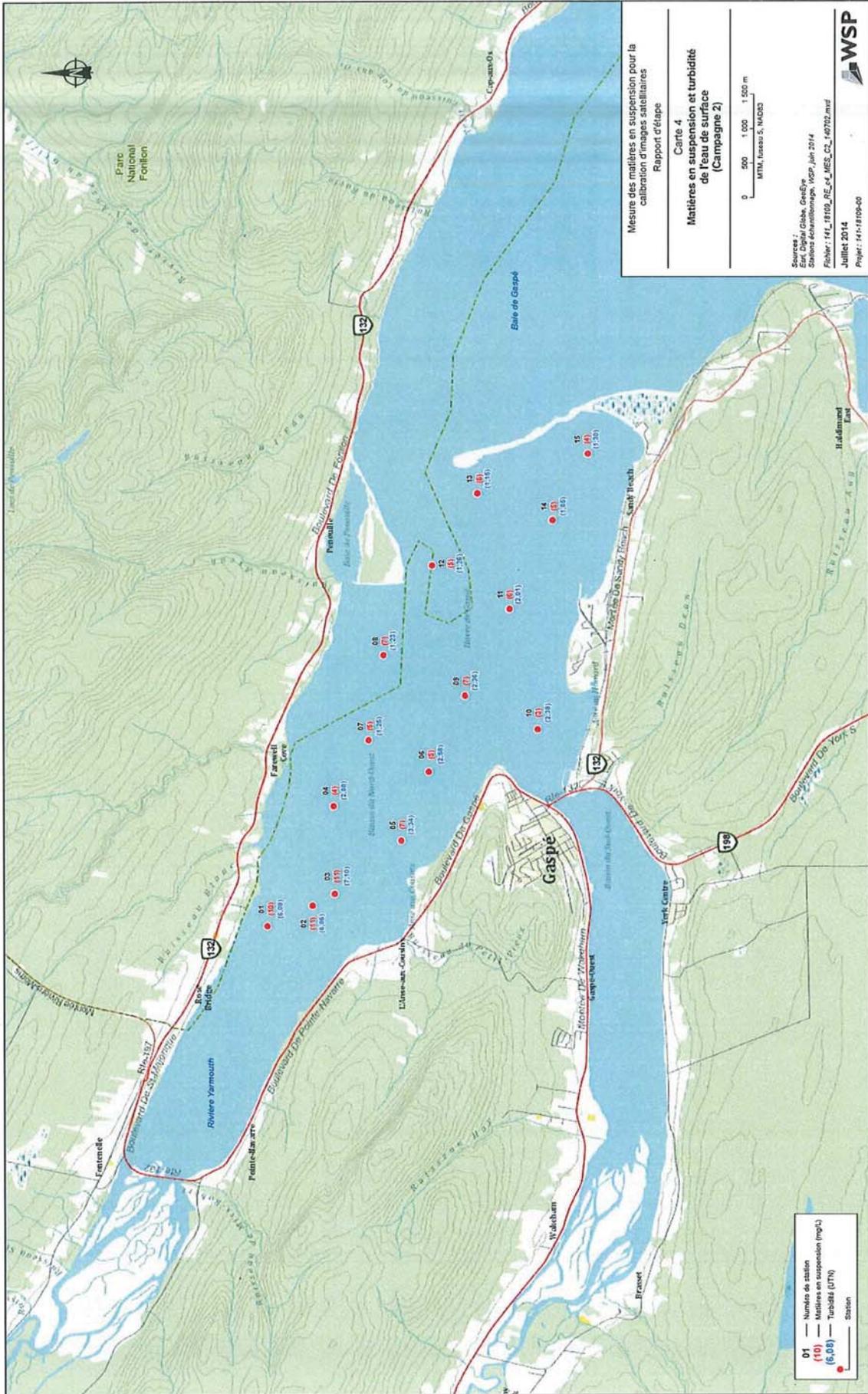
Matières en suspension et turbidité de l'eau de surface (Campagne 1)

0 500 1 000 1 500 m
MTM, fuseau 5, NAD83

Sources :
Cartes, Google Earth, SRTM, DigitalGlobe, WSP, juin 2014
Fichier: M1_18109_RE_03_MES_C1_140702.mxd
Juillet 2014
Page: 14-18109-00

WSP

01 — Numéro de station
(3) — Matières en suspension (mg/L)
(2,97) — Turbidité (NTU)
● — station



Mesure des matières en suspension pour la calibration d'images satellitaires
 Rapport d'étape

Carte 4
 Matières en suspension et turbidité de l'eau de surface (Campagne 2)



Source :
 Esri, Digital Globe, GeoEye
 Satellites Acquisitions, WSP, Juin 2014
 Fichier : F41_19102_RE_e4_MES_C2_140702.mxd
 Juillet 2014
 Page: 141-18109-00



4.3 RELATION ENTRE LES TENEURS EN MES ET LA TURBIDITÉ

Les figures 1 et 2 présentent la relation entre les concentrations de MES et les mesures de turbidité (UTN) obtenues pour les échantillons d'eau de surface des campagnes 1 et 2. Les résultats obtenus montrent une bonne relation entre les deux paramètres mesurés, avec un coefficient de corrélation de 0,55 pour la campagne 1 et de 0,72 pour la campagne 2. Globalement, pour une même étude, la corrélation entre les MES et la turbidité peut être satisfaisante pour un même milieu à un temps donné. Par contre, la nature des particules (p. ex. station plus ou moins rapprochée de l'embouchure d'un fleuve) et la composante saisonnière peuvent avoir un effet sur cette corrélation (Service hydrographique national).

4.4 TRANSPARENCE DE L'EAU

La transparence de l'eau a également été mesurée via l'utilisation du disque de Secchi. À quelques exceptions près, la profondeur de la pénétration (verticale) de la lumière dans l'eau concorde avec les valeurs de MES et de turbidité rencontrées. Ainsi, une profondeur plus importante de la pénétration de la lumière est associée à une concentration en MES et une turbidité plus faible. À titre d'exemple, à la station 08 de la campagne 1, la profondeur associée à la transparence de l'eau était de 4,3 m avec une concentration de 2 mg/L et une turbidité de 1,38 UTN.

4.5 POINTS DE CONTRÔLE TERRESTRE

Afin de bien orthorectifier les images satellitaires, l'équipe d'Effigis GeoSolutions aura besoin d'obtenir des coordonnées précises de points de contrôle terrestre. Les services de l'entreprise d'arpentiers-géomètres-conseils Roy, Roy et Connelly, seront ainsi requis afin de compléter ce travail. Notons que cette campagne de relevé terrestre devrait s'effectuer au cours du mois de juillet 2014. Le rapport d'arpentage ainsi que les données de localisation (carte et tableau) seront présentés dans le rapport final.

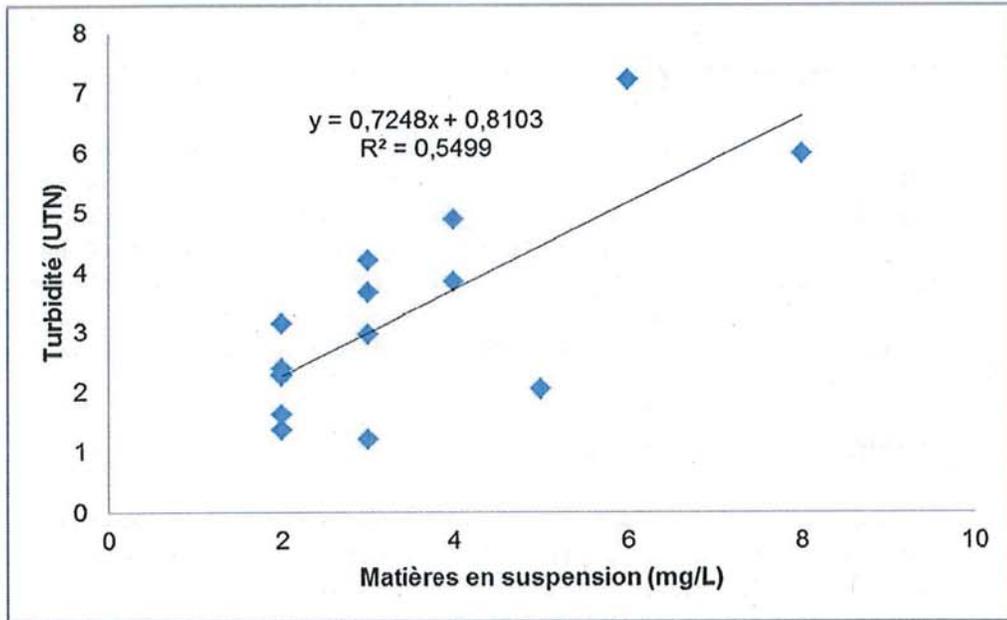


Figure 1 Relation entre la concentration en MES et la turbidité de la couche d'eau de surface lors de la campagne 1, 8 juin 2014.

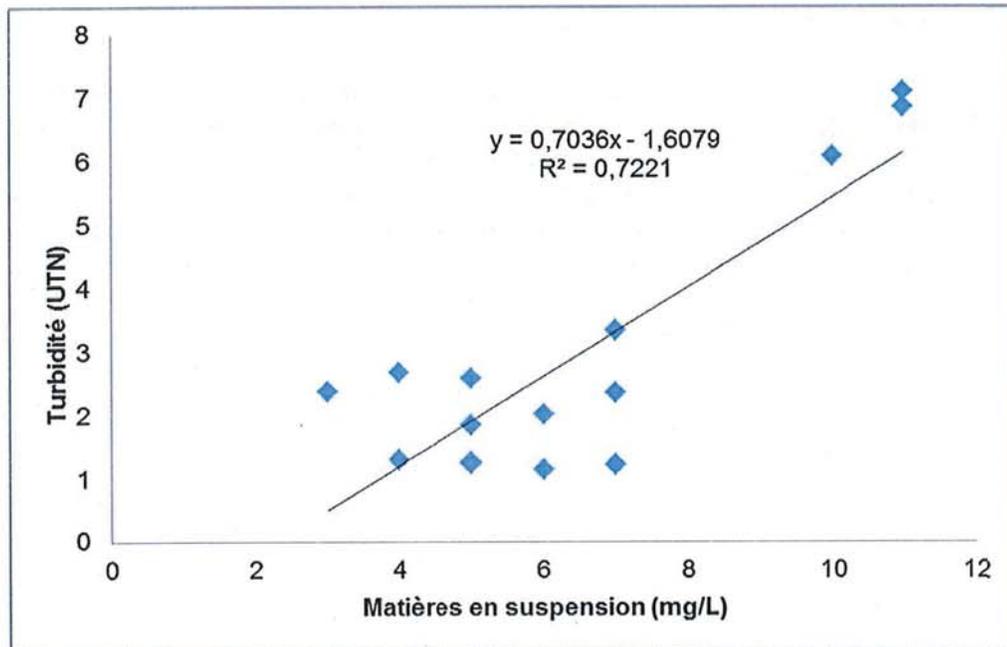


Figure 2 Relation entre la concentration en MES et la turbidité de la couche d'eau de surface lors de la campagne 2, 16 juin 2014.

Tableau 5 Mesures de la transparence de l'eau enregistrées aux stations d'échantillonnage à l'aide d'un disque de Secchi.

CAMPAGNE 1		CAMPAGNE 2	
STATION	PROFONDEUR DU DISQUE DE SECCHI (m)	STATION	PROFONDEUR DU DISQUE DE SECCHI (m)
01	3,9	01	3,0
02	3,9	02	2,6
03	3,6	03	2,1
04	4,2	04	3,1
05	2,7	05	3,1
06	2,0	06	3,4
07	3,5	07	3,8
08	4,3	08	4,0
09	2,4	09	2,4
10	3,0	10	3,0
11	2,4	11	3,7
12	3,4	12	4,0
13	2,8	13	3,5
14	3,4	14	4,2
15	3,0	15	3,7

5. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Les teneurs en MES retrouvées dans le havre de Gaspé peuvent varier selon les conditions naturelles rencontrées. L'apport de la rivière Yarmouth en période de crue ainsi que les courants de flot et de jusant génèrent des concentrations différentes en MES dans l'eau. Afin d'optimiser la variabilité des valeurs de turbidité et de MES pouvant être enregistrées dans le havre, nous proposons la tenue de la campagne n° 3 à l'automne pendant la période des grandes marées. Cette campagne permettrait possiblement de recueillir des données encore plus extrêmes, ce qui serait d'autant plus préférable pour la calibration et la correction des données satellitaires à partir des données de terrain.

6. RÉFÉRENCES

CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC (CEAEQ). 2008. *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, Cahier 1- Généralités*. 2^e édition. Gouvernement du Québec. 58 p.

WSP. 2014. *Plan de santé-sécurité. Mesure des matières en suspension pour la calibration d'images satellitaires Gaspé (Qc)*. Rapport de WSP à Travaux publics et Services gouvernementaux Canada 15 p. et annexes.

6.1 SITE INTERNET

SERVICE HYDROGRAPHIQUE NATIONAL. 2014. Techniques de mesure de la turbidité. Site internet consulté le 25 juin 2014. Disponible [en ligne] : <http://www.shom.fr/les-activites/activites-scientifiques/oceanographie/la-turbidite-oceanique/techniques-de-mesure/>