

# PROGRAMME DE STABILISATION DES BERGES DU LAC SAINT-JEAN 2017-2026

## ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

## ANNEXES

---

### *Volume 2*

- Annexe 8 : Analyse des sources d'approvisionnement pour le rechargement des plages (WSP Canada Inc.)
- Annexe 9 : Coupes type des différents travaux mis en place pour la protection des berges et des plages du lac Saint-Jean et de ses tributaires (WSP Canada Inc.)
- Annexe 10 : Annexe photographique
- Annexe 11 : Travaux projetés entre 2017 et 2026, par secteurs
- Annexe 12 : Préoccupations et attentes exprimées à l'endroit du PSBLSJ
- Annexe 13 : Érosion des berges, Étude des vents (Lasalle-NHC).
- Annexe 14 : Impacts des changements climatiques sur les indicateurs hydrologiques à l'échelle du système hydrique du Saguenay–Lac-Saint-Jean, Rio Tinto Alcan

Rio Tinto Alcan Inc.

# **ANALYSE DES SOURCES D'APPROVISIONNEMENT POUR LE RECHARGEMENT DES PLAGES**

RAPPORT FINAL

Rio Tinto Alcan Inc.

# **ANALYSE DES SOURCES D'APPROVISIONNEMENT POUR LE RECHARGEMENT DES PLAGES**

RAPPORT FINAL

Projet n° : 141-21260-00  
Date : Septembre 2015

**RioTintoAlcan**

—

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

Téléphone : 418-623-2254  
Télécopieur : 418-623-1857  
[www.wspgroup.com](http://www.wspgroup.com)



---

# SIGNATURES

PRÉPARÉ PAR



---

Julie Simard, Géomorphologue, Ph. D.  
Chargée de projet

RÉVISÉ PAR



---

Martin Larose, Biologiste  
Directeur de projet

---

# ÉQUIPE DE RÉALISATION

## RIO TINTO ALCAN INC.

Chargée de projet	Caroline Jolette, ing.
Coordonnateur environnement, Conseiller principal en développement durable	Jean-Robert Wells, ing. M.Sc.
Conseiller, Programme stabilisation des berges du lac Saint-Jean	Raymond Larouche

## WSP CANADA INC. (WSP)

Directeur de projet	Martin Larose, biologiste
Chargé de projet	Julie Simard, géomorphologue Ph. D.
Collaborateurs	Jean-François Bernier, géomorphologue, M. Sc. Claire Hayek, ing. MBA Jean-François Saint-Laurent, ing. M. Sc. Pierre Jean, ing. M. Sc. Steve Renaud ing. M. Sc. Thomas Fortin-Chevalier, ing. M. Sc.
Cartographe	Diane Gagné
Édition	Linette Poulin

### Référence à citer :

---

WSP. 2015. *Analyse des sources d'approvisionnement pour le rechargement des plages*. Rapport préliminaire produit pour Rio Tinto Alcan Inc. 39 pages et annexes.

# TABLE DES MATIÈRES

<b>SIGNATURES</b> .....	<b>I</b>
<b>ÉQUIPE DE RÉALISATION</b> .....	<b>I</b>
<b>TABLEAUX</b> .....	<b>V</b>
<b>FIGURES</b> .....	<b>V</b>
<b>CARTES</b> .....	<b>VII</b>
<b>ANNEXE</b> .....	<b>VII</b>
<b>1 INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>2 PROVENANCE ET CARACTÉRISTIQUES DU SHALE</b> .....	<b>3</b>
2.1 CONTEXTE GÉOLOGIQUE DU LAC SAINT-JEAN .....	3
2.2 LES BANCS D'EMPRUNT DE LA RÉGION.....	4
2.2.1 FUSEAU GRANULOMÉTRIQUE .....	8
2.2.2 PROPORTIONS EN SCHISTE .....	12
2.3 PROJECTIONS DES BESOINS EN RECHARGEMENT POUR LA PÉRIODE 2017-2026 ET BANCS D'EMPRUNT VISÉS.....	15
<b>3 MÉTHODES</b> .....	<b>17</b>
3.1 RECHERCHE DE PROCÉDÉS EN CARRIÈRE VISANT À RÉDUIRE LA FRACTION DE SHALE .....	17
3.2 PHOTO-INTERPRÉTATION ET CARTOGRAPHIE DES BANCS D'EMPRUNT POTENTIELS EN RIVE .....	17
3.3 INTERPRÉTATION DES DONNÉES BATHYMÉTRIQUES ET SISMIQUES .....	18
<b>4 RÉSULTATS</b> .....	<b>19</b>
4.1 AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DES GRANULATS PROVENANT DE SOURCES EN MILIEU TERRESTRE .....	19
4.1.1 ESSAIS DE LABORATOIRE .....	19
4.1.1.1 PROCÉDÉS DE SÉPARATION ADVENANT QUE LES RÉSULTATS DE LABORATOIRE SOIENT NON- CONCLUANTS .....	20
4.1.1.2 PROCÉDÉS DE SÉPARATION ADVENANT QUE LES RÉSULTATS DE LABORATOIRE SOIENT CONCLUANTS .....	20

# TABLE DES MATIÈRES (suite)

4.1.2	ANALYSES ET PROPOSITION DE SOLUTIONS.....	21
4.2	ÉVALUATION DU POTENTIEL DE SOURCES D'EMPRUNT EN MILIEU RIVERAIN.....	23
4.2.1	CARTOGRAPHIE DES ZONES D'ACCRÉTION EN RIVE .....	23
4.2.2	ESTIMATION DES VOLUMES DE SÉDIMENTS RIVERAINS POTENTIELLEMENT DISPONIBLES .....	24
4.2.3	ANALYSES ET PROPOSITIONS DE SOLUTIONS .....	27
4.3	ÉVALUATION DES SOURCES D'EMPRUNT EN MILIEU SUBAQUATIQUE ....	28
4.3.1	DRAGAGES RÉALISÉS PAR LE PASSÉ PAR RTA .....	28
4.3.2	ACTUALISATION DE LA FAISABILITÉ TECHNIQUE DES DRAGAGES DANS LE LAC SAINT-JEAN.....	29
4.3.3	CARTOGRAPHIE DES SOURCES DE BANCS D'EMPRUNT POTENTIELLES EN MILIEU SUBAQUATIQUE .....	30
4.3.4	ESTIMATION DES VOLUMES DES SOURCES D'EMPRUNT SUBAQUATIQUES.....	36
4.3.5	ANALYSES ET PROPOSITIONS DE SOLUTIONS .....	37
<b>5</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>39</b>
	<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>41</b>

---

## TABLEAUX

Tableau 2.1	Liste des 13 bancs d'emprunt répertoriés par Rio Tinto Alcan et leurs principales caractéristiques. ....	13
Tableau 2.2	Secteurs de recharge de plage et tonnages projetés pour le prochain PSBLSJ (2017-2026).....	15
Tableau 2.3	Secteurs de recharge de plage et bancs d'emprunt visés par Rio Tinto Alcan pour le prochain PSBLSJ (2017-2026).....	16
Tableau 4.1	Volumes potentiellement disponibles sur les bancs d'emprunt en rive.....	27
Tableau 4.2	Volumes estimés pour les bancs d'emprunt en milieu subaquatique dans la zone 0-5 m de profondeur.....	37
Tableau 4.3	Volumes estimés pour les bancs d'emprunt en milieu subaquatiques dans la zone de profondeur supérieure à 5 m. ....	37

---

## FIGURES

Figure 2.1	Exemple de la structure sédimentaire du shale en feuillet et illustration de l'angulosité d'un fragment de shale.....	7
Figure 2.2	Exemple d'un sable constitué de grains d'origine minérale .....	7
Figure 2.3	Courbes granulométriques pour les bancs d'emprunt d'intérêt.....	9
Figure 4.1	Fonctionnement du tamis-écran qui pourrait séparer les grains de shale des grains de composition minéralogique en raison de leur morphologie distincte .....	22



---

## CARTES

Carte 2.1	Géologie et localisation des bancs d'emprunt en milieu terrestre avec proportion en shale .....	5
Carte 4.1	Zones d'accrétion en rive photo-interprétées et bancs d'emprunt en rive sélectionnés.....	25
Carte 4.2	Répartition du sable moyen à grossier (0-5 mm), selon les profondeurs de 0-5 m et de 0-70 m.....	31
Carte 4.3	Bancs d'emprunt cartographié en fonction de contraintes hydrosédimentaires, techniques et environnementales. ....	33

---

## ANNEXE

Annexe 1	Résultats des entrevues	
----------	-------------------------	--

# 1 INTRODUCTION

À la suite de la mise en service de la centrale hydroélectrique de l'île Maligne en 1926, le niveau du lac Saint-Jean a été rehaussé, ce qui a eu pour effet d'amplifier les processus d'érosion des berges. Pour contrer ce problème, Rio Tinto Alcan gère, depuis plusieurs décennies, un Programme de stabilisation des berges au lac Saint-Jean (PSBLSJ) qui vise à atténuer l'érosion par des moyens adaptés aux spécificités des berges et à la sévérité des processus. Les recharges de plage comptent parmi les techniques utilisées par Rio Tinto Alcan. Ces recharges en sable ou en gravillon visent à maintenir des largeurs de plage pour la villégiature. Dans le cadre de l'étude d'impact sur l'environnement portant sur le renouvellement du PSBLSJ pour 2017-2026, une analyse concernant les sources de bancs d'emprunt nécessaires à la recharge de plage doit être conduite afin de caractériser davantage les sources actuelles et d'identifier des sources potentielles en milieu riverain ou subaquatique.

Les matériaux utilisés actuellement dans le cadre du PSBLSJ pour recharger les plages proviennent de bancs d'emprunt localisés en milieu terrestre répartis tout autour du lac Saint-Jean. La composition lithologique de ces matériaux occasionne des problématiques sur les plages, localisées au sud et à l'ouest du lac Saint-Jean. À ces endroits, la proportion en shale des sources d'emprunt est relativement élevée (> 10-15 %), ce qui entraîne des problèmes de compaction des matériaux de rechargement et occasionne des épisodes de turbidité dans le lac pendant et après les rechargements. De plus, la présence de shales donne une couleur foncée à la plage et, après un lessivage des particules plus fines par les vagues, laisse une plage dominée par les graviers de shale, ce qui importune les propriétaires et usagers riverains. Donc, Rio Tinto Alcan désire réduire, si possible, la proportion de shales dans les sources d'emprunt, c'est-à-dire de ramener des proportions de la fraction shaleuse à moins de 10-15 %.

Rio Tinto Alcan a déjà utilisé par le passé plusieurs sources d'approvisionnement distinctes, soit les bancs d'emprunt localisés en milieu terrestre, en milieu riverain ou en milieu subaquatique. Ces différentes sources d'approvisionnement présentent chacune des avantages et inconvénients. Le présent rapport a donc pour objectif principal d'apporter des précisions sur les différentes options d'exploitation et de gestion des sources de bancs d'emprunt pour les activités de recharge de plages dans les années à venir. Des informations supplémentaires sont donc nécessaires afin de déterminer les meilleures options d'approvisionnement, tant sur le plan de la qualité des matériaux que sur les plans environnemental, technico-économique et social. De façon plus spécifique, le présent rapport vise à :

- 1) identifier les méthodes les plus optimales pour éliminer les fractions granulométriques shaleuses des sources d'emprunt provenant du milieu terrestre;
- 2) évaluer la possibilité d'exploiter des bancs d'emprunt en rive à partir des zones d'accrétion en rive du lac;
- 3) localiser des sources de bancs d'emprunt subaquatiques qui pourraient potentiellement être draguées.

Afin de répondre à ces objectifs, le présent rapport se divise en trois sections distinctes. La première section vise à décrire la provenance et les principales caractéristiques physiques des sédiments sableux composés de shale, puis de présenter les bancs d'emprunt disponibles dans la région. La deuxième section présente la méthodologie utilisée pour évaluer les méthodes d'élimination du shale dans les sources d'emprunt en milieu terrestre et pour identifier les bancs d'emprunt potentiels le long des zones d'accrétion en rive ainsi qu'en milieu subaquatique. Enfin, la troisième section décrit les résultats et analyse chacune des options, afin de conclure avec des pistes de solutions.

## 2 PROVENANCE ET CARACTÉRISTIQUES DU SHALE

### 2.1 CONTEXTE GÉOLOGIQUE DU LAC SAINT-JEAN

La région du lac Saint-Jean se divise en deux régions géologiques, soit les basses-terres du lac Saint-Jean et la Province de Grenville, associée au Bouclier canadien. Au sud du lac Saint-Jean, les deux régions géologiques sont isolées par la faille du lac Kénogami, qui présente un obstacle topographique remarquable dans le paysage. La Province de Grenville est formée de roches cristallines (ignées et métamorphiques) d'âge précambrien. Quant aux basses-terres du lac Saint-Jean, elles sont constituées de roches sédimentaires, soit le calcaire de Trenton qui affleure dans les secteurs de Mashteuiatsh et de Roberval, et le schiste noir (ou shale) argileux d'Utica qui affleure dans la région de Pointe-Chambord (carte 2.1).

Le shale est une roche d'origine sédimentaire, issu de la consolidation de dépôts argileux, ce qui en fait une roche tendre et facilement broyable. Sa structure sédimentaire est constituée d'un empilement de « feuillets » la rendant friable et très sensible à l'érosion, particulièrement aux cycles de gel – dégel (figure 2.1). Les affleurements rocheux de shale sont donc facilement débités et broyés à différents stades (p. ex. bloc, gravier, sable ou argile) lors du passage d'un glacier, comme ce fut le cas au moment du dernier cycle glaciaire dans la région.

La période d'englaciation, plutôt érosive, a permis de débiter les affleurements rocheux du shale d'Utica. Les sédiments de shale ont été mélangés aux sédiments provenant du Bouclier canadien, puis transportés par le glacier sur de courtes distances. Au moment de la déglaciation, l'eau de fonte du glacier a provoqué la sédimentation d'une série d'eskers (composés surtout de sable, de gravier stratifié et de nombreux galets) et des plaines de sable parsemées de kettles (dépression résultant de la fonte de blocs de glace enfouis sous les sédiments). L'invasion marine de la mer de Laflamme a pour sa part abandonné des unités de silt et d'argile, alors que le retrait de la mer postglaciaire a permis la sédimentation de dépôts littoraux de sable et de gravier disposés en terrasses à des altitudes différentes, jusqu'à près de 170 m dans la partie sud et environ jusqu'à 195 m dans la partie nord (Tremblay, 1971).

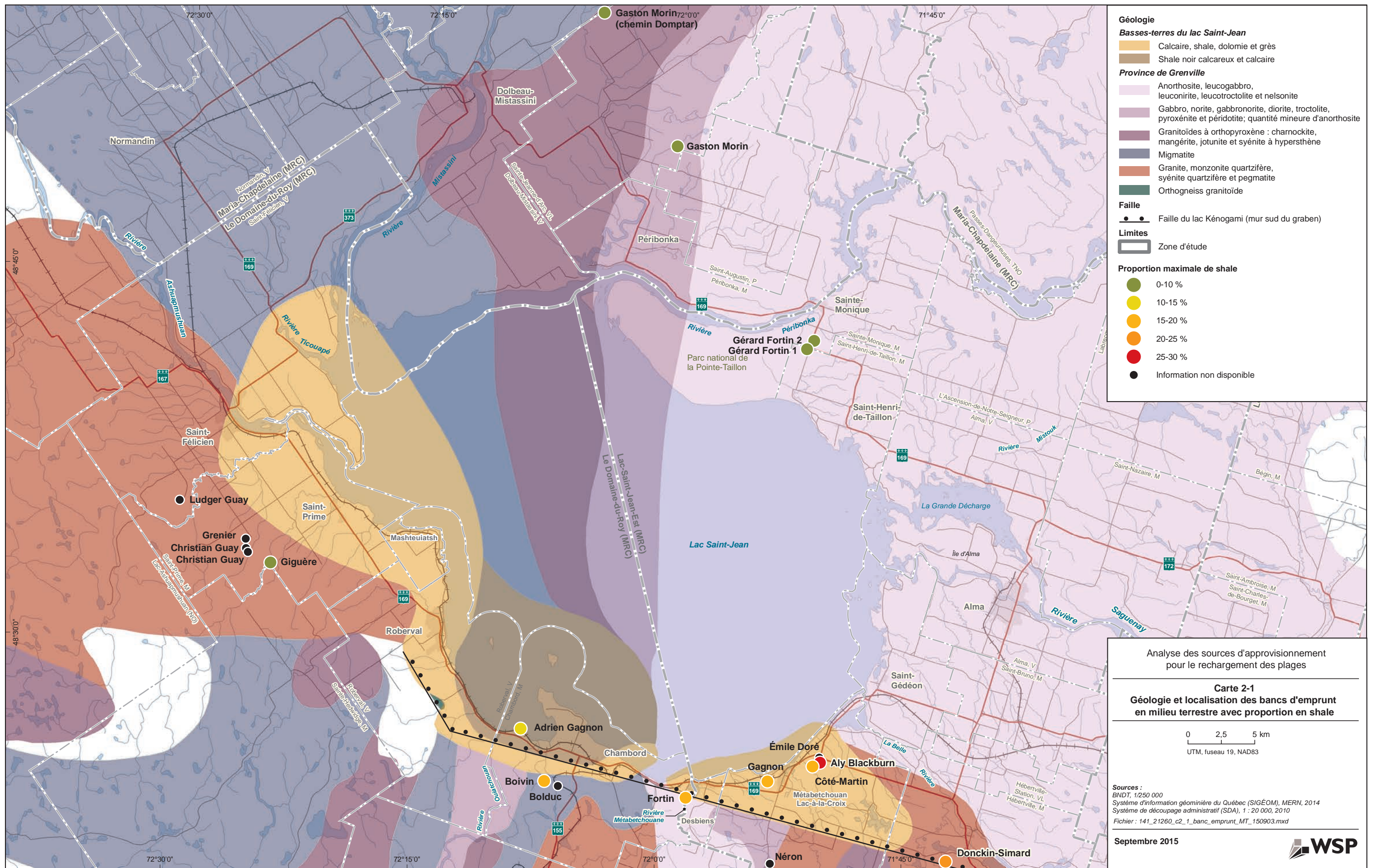
Les travaux quaternaires réalisés dans la région démontrent que l'écoulement du glacier ainsi que l'écoulement des eaux de fonte glaciaire étaient dirigés surtout vers le sud-est (Tremblay, 1971). Compte tenu de la localisation de la formation géologique d'Utica, il est logique que les sédiments situés au nord de la formation soient constitués de grains de minéraux résistants provenant des formations de roches cristallines du Bouclier canadien, alors qu'au sud de la formation géologique d'Utica, les sédiments risquent de comporter une certaine proportion de shale.

## 2.2 LES BANCS D'EMPRUNT DE LA RÉGION

Compte tenu de sa faible résistance, les sédiments constitués de shale peuvent facilement être réduits en poussières puisque les particules primaires le constituant sont argileuses et non minérales. Le shale s'altère donc plus rapidement, contrairement aux grains de sable minéral provenant de l'érosion des roches d'origine cristallines, typique au Bouclier canadien. Les grains minéralogiques ne présentent pas de plan de faiblesse et sont donc de loin plus résistants (figure 2.2). Le shale est donc un matériau d'emprunt peu adapté au rechargement des plages, puisqu'il risque de se dégrader au cours de sa manipulation et de son utilisation. De plus, la structure en feuillet et l'angulosité des grains de shales permet aux particules de s'imbriquer les unes aux autres, contrairement aux grains arrondis d'origine minérale (figure 2.2). L'omniprésence de poussières de shale (dégradation continue vers l'argile), combiné à une propension à l'imbrication explique la facilité du gravier et du sable de shale à se compacter avec le temps. L'expérience acquise au fil des nombreux rechargements de plage effectués dans le secteur sud du lac indique que les matériaux contenant une proportion de shale supérieure à 10-15 % peuvent poser de telles problématiques une fois mis en place sur les plages.

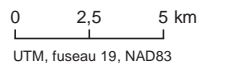
Les travaux de stabilisation des rives consistent, entre autres, à recharger les plages, selon les secteurs, avec du sable dont le fuseau granulométrique s'étend de 0 à 5 mm ou avec des gravillons dont le fuseau granulométrique comprend les classes de 0 à 20 mm. Les tronçons de plage rechargés en gravillon sont par la suite recouverts de couches de sable de finition.

Depuis le début du PSBLSJ, afin de rencontrer les volumes souhaités en matériaux de rechargement, Rio Tinto Alcan a exploité, à un moment ou l'autre, différentes sources d'emprunt (27) dépendamment de leur capacité à fournir un matériau dans le fuseau granulométrique et dans les volumes souhaités et aussi selon leur proximité au site de rechargement (< 40 km) (Rio Tinto Alcan, 1996). Ainsi, plusieurs bancs d'emprunt autour du lac Saint-Jean ont fait l'objet d'un inventaire sur leur capacité à fournir la qualité (respect des fuseaux granulométriques imposés) et les quantités nécessaires de sable ou de gravillon pour la réalisation des travaux autour du lac Saint-Jean depuis 1983. Depuis 2006, plus de 13 bancs d'emprunts, gérés par deux exploitants-tamiseurs, ont été exploités ou sont actuellement utilisés par Rio Tinto Alcan (tableau 2.1). Les exploitants de ces bancs d'emprunt sont les entreprises Gravier Donckin Simard et fils inc. et Ent. Construction Gaston Morin (1979) Ltée. Rio Tinto Alcan consomme environ 90 % de la production en granulats de ces exploitants et les autres clients, plus occasionnels, sont le ministère des Transports de Québec (MTQ) et les municipalités.



Analyse des sources d'approvisionnement pour le rechargement des plages

**Carte 2-1**  
**Géologie et localisation des bancs d'emprunt en milieu terrestre avec proportion en shale**



Sources :  
 BNDT, 1/250 000  
 Système d'information géomorphologique du Québec (SIGÉOM), MERN, 2014  
 Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010  
 Fichier : 141\_21260\_c2\_1\_banc\_emprunt\_MT\_150903.mxd

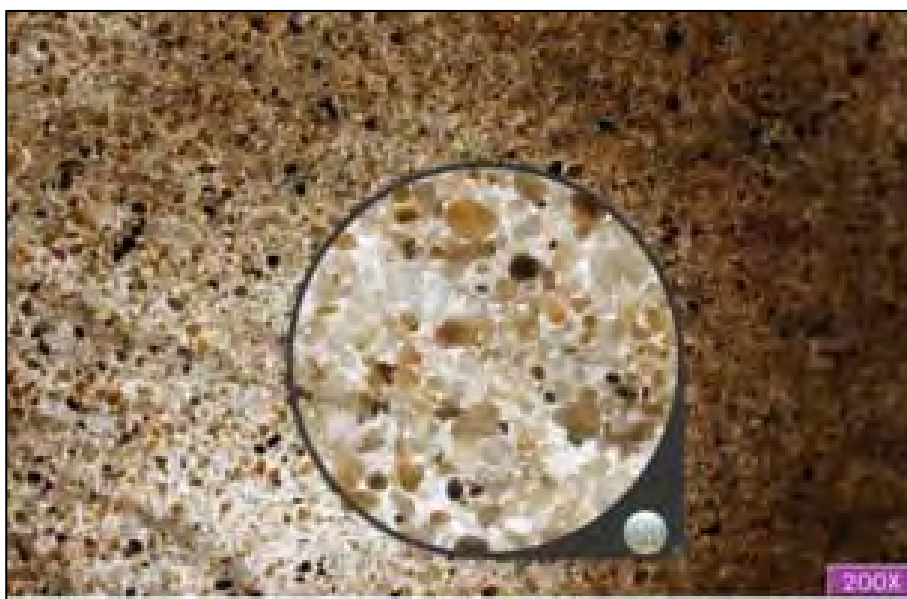
Septembre 2015





Sources : Bédard, 1991 et Hébert, 1994

Figure 2.1 Exemple de la structure sédimentaire du shale en feuillet et illustration de l'angulosité d'un fragment de shale



Source : <http://www.s-n-l.fr/home.html>.

Figure 2.2 Exemple d'un sable constitué de grains d'origine minérale

### 2.2.1 FUSEAU GRANULOMÉTRIQUE

Rio Tinto Alcan a produit, au fil des années, plusieurs rapports de caractérisation des bancs d'emprunt localisés à proximité des zones de rechargement de plage. Bien que plusieurs de ces rapports datent pour la plupart des décennies de 1980 et de 1990, les données granulométriques ont été compilées à la figure 2.3 et peuvent donner un aperçu du potentiel granulométrique de chacun des bancs d'emprunt. Cependant, il faut considérer que les échantillons ne sont peut-être pas représentatifs de l'ensemble du banc d'emprunt et qu'ils datent déjà de quelques décennies. Une appréciation du potentiel granulométrique de chaque banc d'emprunt du secteur sud du lac Saint-Jean est néanmoins présentée. Cette analyse est basée sur le débordement des courbes à l'extérieur des fuseaux 0-5 mm, pour le sable et 0-20 mm, pour les gravillons et pour un non-rejet (lors du tamisage) visé autour de 80 %.

#### Banc Adrien Gagnon

La composition granulométrique du banc Adrien Gagnon est relativement homogène d'un échantillon à l'autre et varie généralement d'un sable fin à moyen à un sable moyen à grossier (figure 2.3). Les résultats des analyses granulométriques démontrent un plus faible pourcentage en silt et en cailloux (Techmat, 1994). Selon la figure 2.3, les courbes granulométriques de la majorité des échantillons montrent que les sédiments sont trop fins pour rencontrer les critères pour les chargements en sable (fuseau 0-5 mm), alors que seuls deux échantillons rencontrent les critères pour les recharges en gravillons (fuseau 0-20 mm).

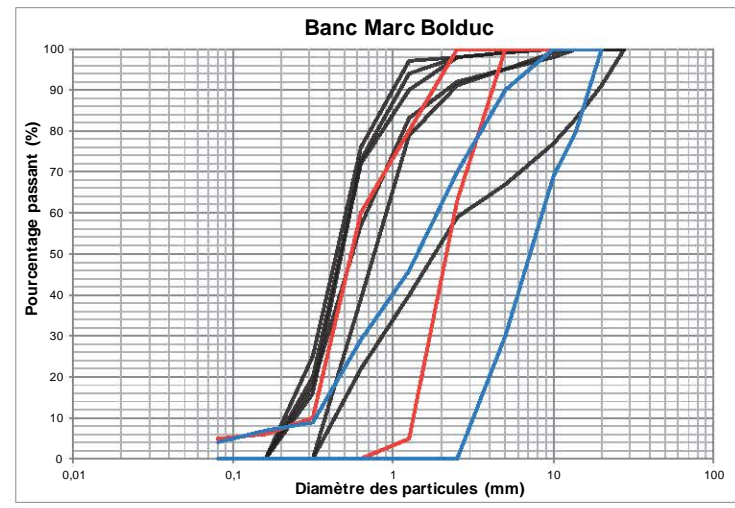
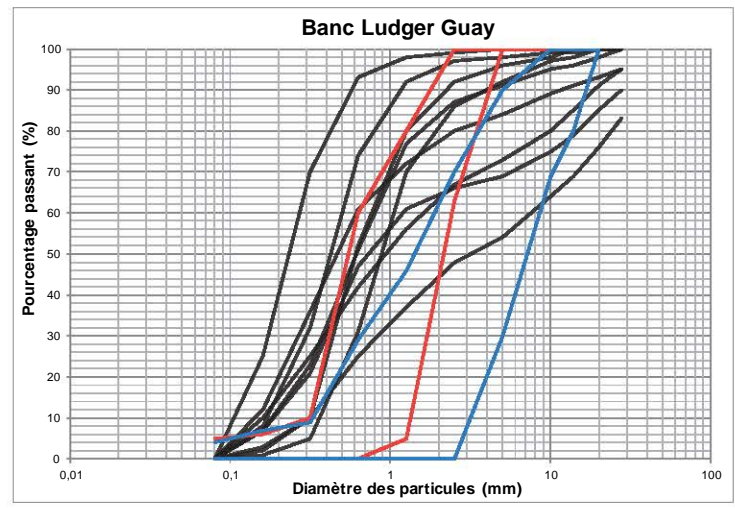
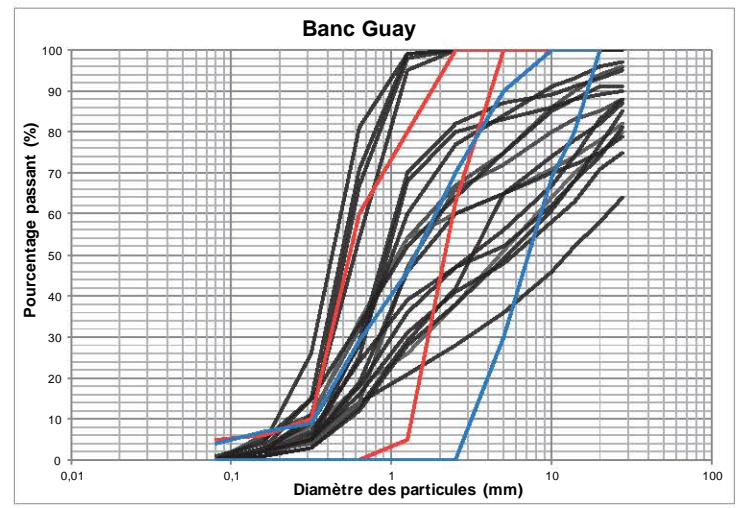
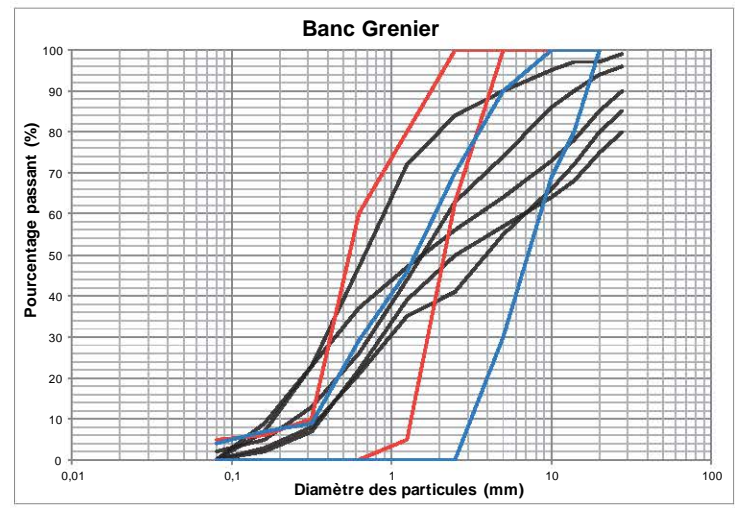
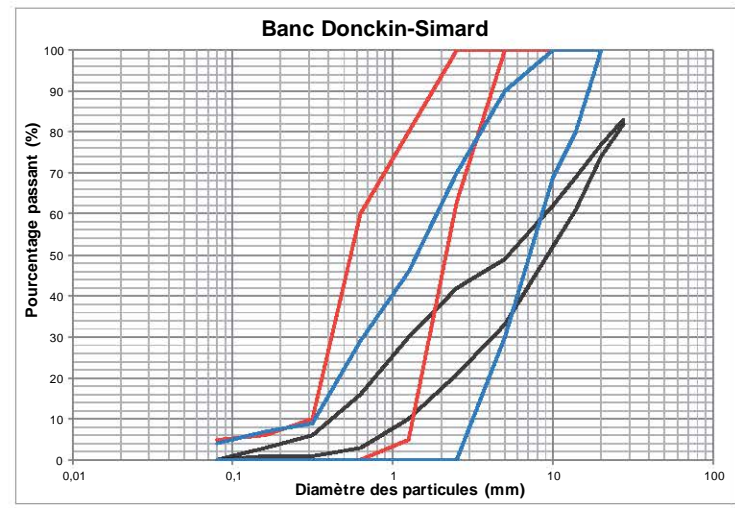
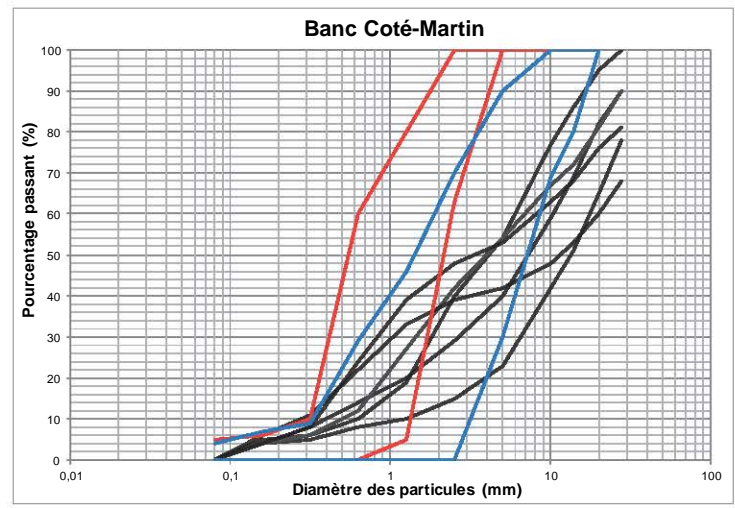
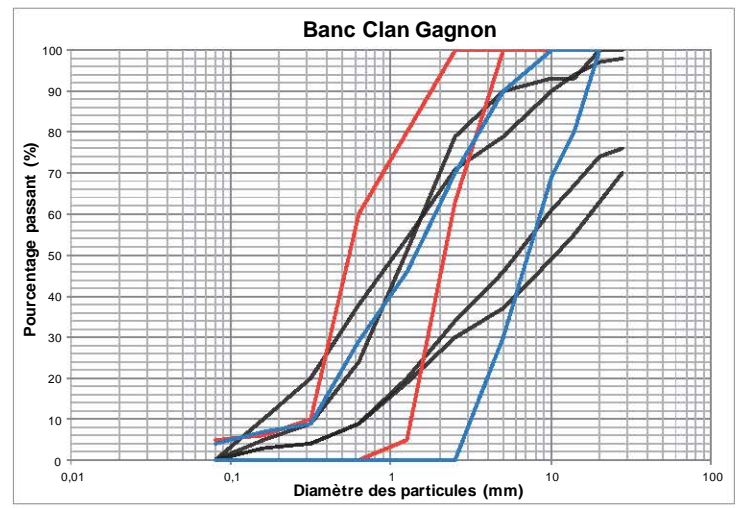
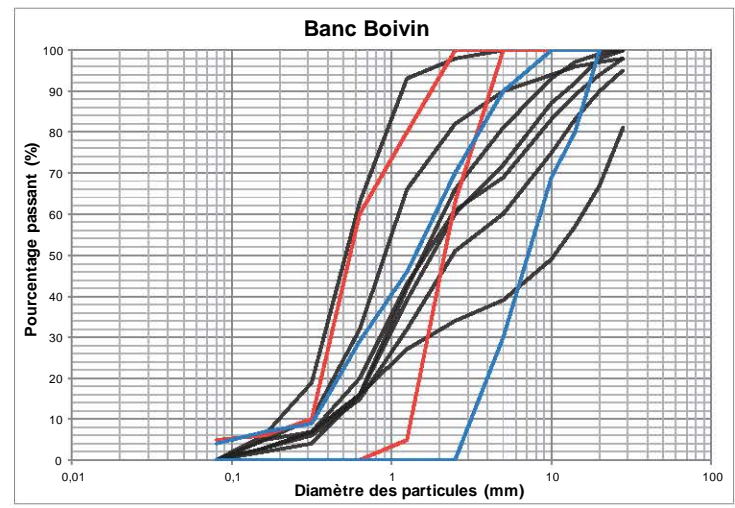
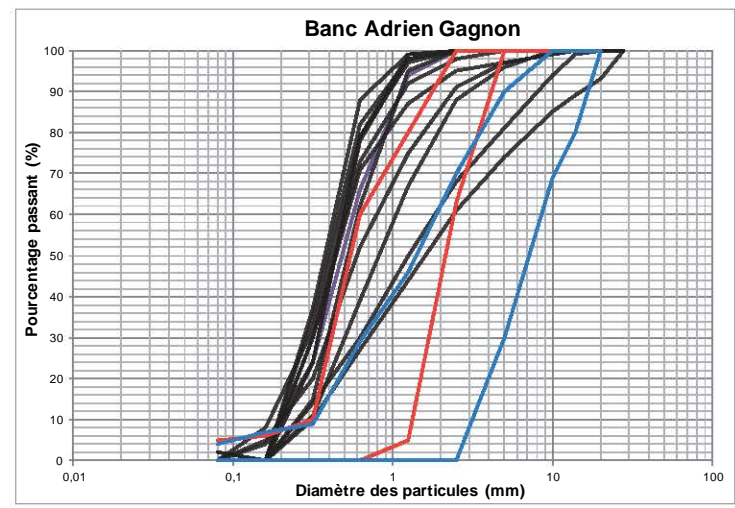
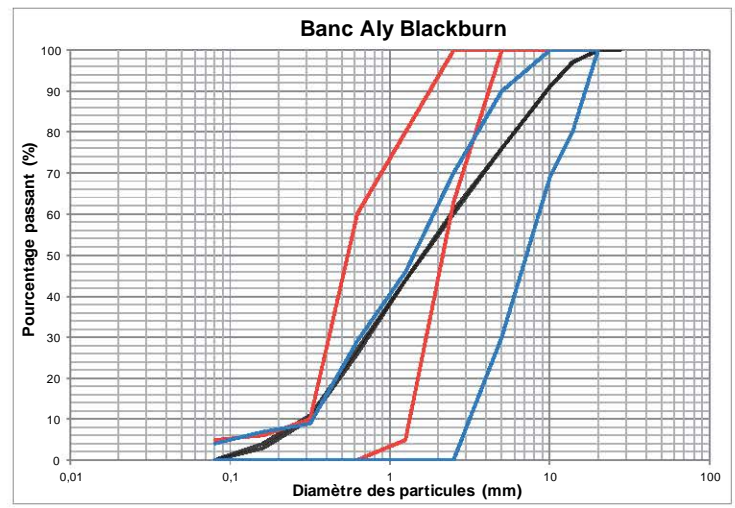
#### Banc Aly Blackburn

La granulométrie du banc Aly Blackburn est peu variable d'un échantillon à l'autre (figure 2.3). S'il y a lieu, le banc d'emprunt devra être exploité de manière sélective afin d'éviter les secteurs où la présence d'horizons silteux est importante (Techmat, 2002). Les courbes granulométriques de la figure 2.3 montrent que la répartition des classes est très étalée, mais rencontre les critères pour les recharges de plages en gravillon (fuseau 0-20 mm). Dans le cas du sable, l'expérience passée (1986-2014) a démontré que l'exploitation en profondeur dans le banc permettait de respecter les exigences du fuseau 0-5 mm.

#### Banc Boivin

La composition granulométrique du banc Boivin est particulièrement variable d'un échantillon à l'autre (figure 2.3). Elle varie d'un sable fin à grossier, avec parfois de fortes proportions de gravier et de cailloux (Techmat, 1989). Il y a plus de probabilités de trouver du gravillon au centre du banc (Techmat, 1989). Toutefois, pour trouver des particules de diamètre entre 0 et 5 mm, il est préférable d'exploiter le banc dans sa partie sud (Techmat, 1989). La figure 2.3 montre que les échantillons provenant du banc d'emprunt Boivin respectent pour la plupart les exigences granulométriques pour les rechargements de plages en gravillon (fuseau 0-20 mm). Un tamisage serait cependant requis pour obtenir un matériau approprié (fuseau 0-5 mm) pour les recharges en sable.





- Résultats des analyses granulométriques
- Fuseau granulométrique pour les recharges en sable
- Fuseau granulométrique pour les recharges en gravillon

Figure 2.3  
**Courbes granulométriques pour les bancs d'emprunt d'intérêt**

### Banc Clan Gagnon

Les courbes granulométriques du banc d'emprunt Clan Gagnon montrent une très grande variabilité entre les échantillons (figure 2.3). Les sédiments se composent majoritairement de sable et de gravier (Techmat, 1986). Selon la figure 2.3, les courbes granulométriques sont étalées et un tamisage est requis pour rencontrer les fuseaux granulométriques visés, et ce, tant pour les rechargements en sable qu'en gravillon.

### Banc Coté-Martin

Les sédiments composant le banc Coté-Martin sont relativement homogènes d'un échantillon à l'autre (figure 2.3). Ils se composent majoritairement de sable et de gravier stratifiés avec une présence ponctuelle de cailloux (Techmat, 1987). Les courbes de la figure 2.3 montrent que les sédiments répondent bien aux critères pour les rechargements en gravillon (fuseau 0-20 mm). Par contre un tamisage devrait être effectué afin de séparer les sédiments dont le diamètre est supérieur à 20 mm.

Pour le sable, une proportion de non-rejet (lors du tamisage) inférieure à 80 % pourrait être observée. L'expérience passée démontre néanmoins qu'un tamisage rigoureux des matériaux permet de respecter le fuseau 0-5 mm.

### Banc Donckin-Simard

La composition granulométrique du banc Donckin-Simard semble relativement homogène d'une station à l'autre (figure 2.3). Elle se compose majoritairement de gravier (Techmat, 1986). Les courbes granulométriques sont particulièrement étalées et les matériaux ne rencontrent pas les critères pour les rechargements en sable (0-5 mm) ou en gravillon (fuseau 0-20 mm) (figure 2.3). Cependant, l'analyse n'est basée que sur deux échantillons.

### Banc Grenier

Le banc d'emprunt Grenier présente une certaine variabilité d'un échantillon à l'autre (figure 2.3). Il se compose de sable moyen à grossier, de gravier et de cailloux (Techmat, 1988). Le dépôt est très hétérogène et peut renfermer plus de 40 % de gravier. Les courbes granulométriques montrent que le banc Grenier pourrait surtout fournir des gravillons (fuseau 0-20 mm) pour le rechargement en plage (figure 2.3).

### Banc Guay

Sur le plan granulométrique, le banc Guay est très variable d'une station à l'autre (figure 2.3). Les dépôts sont constitués d'un sable graveleux ou de sable fin à moyen, et ce, jusqu'à une épaisseur de 6 m (Techmat, 1991). La présence de cailloux dans les horizons graveleux varie entre 15 et 40 %. Les courbes granulométriques démontrent qu'une majorité des échantillons ne respectent pas les

exigences du fuseau 0-5 mm puisqu'ils sont trop fins (figure 2.3). Par contre, plusieurs autres échantillons montrent des courbes qui correspondent relativement bien aux critères pour les recharges en sable et en gravillon (fuseau 0-20 mm), tout en requérant un certain tamisage (figure 2.3).

#### Banc Ludger Guay

La granulométrie du banc Ludger Guay est très variable d'une station à l'autre (figure 2.3). Elle se compose majoritairement d'un sable fin ou d'un sable à gravier contenant une mince proportion de cailloux et de blocs pouvant atteindre jusqu'à 1 m de diamètre (Techmat, 1988). Le banc d'emprunt Ludger Guay n'est pas recommandé pour la production de matériaux 0-20 mm puisque les courbes granulométriques montrent une proportion trop importante de matériaux fins à l'intérieur du dépôt (figure 2.3). En ce qui concerne les sables, les courbes granulométriques montrent un certain étalement, faisant en sorte qu'un tamisage serait requis pour rencontrer le fuseau 0-5 mm.

#### Banc Marc Bolduc

Sauf pour un échantillon, le banc Marc Bolduc est peu variable d'un échantillon à l'autre et se compose majoritairement de sable fin à moyen avec une proportion de silt et de gravier (Techmat, 1994). La composition granulométrique du banc d'emprunt est peut-être possible avec un tamisage pour les recharges de plage en sable, mais ne rencontre pas les critères concernant les gravillons, puisque les courbes granulométriques montrent que les sédiments sont trop fins (figure 2.3).

### 2.2.2 PROPORTIONS EN SCHISTE

Les données recueillies par Rio Tinto Alcan indiquent que parmi les bancs d'emprunt situés sur la périphérie sud du lac Saint-Jean et répertoriés pour la présente étude, huit d'entre eux présentent une proportion en shale pouvant amener des problématiques reliées à la granulométrie, à la formation de panaches de turbidité, à la couleur ou à la compaction des sédiments une fois mis en place sur les plages (tableau 2.1). Ce sont les bancs d'emprunt Aly Blackburn, Coté-Martin, Clan Gagnon, Néron, Donckin-Simard, Fortin, Boivin et Adrien Gagnon. Ces bancs sont tous localisés au sud-est de la formation géologique du Shale d'Utica, corroborant ainsi les données relatives aux écoulements glaciaires et fluvioglaciaires présentées à la section précédente (carte 2.1). Il est probable également qu'étant donné leur localisation géographique, les bancs Néron et Bolduc comprennent des proportions en shale supérieures à 10 %. Cependant, il n'existe aucune donnée pour le démontrer. Les autres bancs utilisés par Rio Tinto Alcan au cours des années, principalement les bancs exploités par Gaston Morin, n'ont pas été répertoriés pour la présente étude considérant qu'ils ne se trouvaient pas dans la zone susceptible de contenir des pourcentages élevés de shale.

Tableau 2.1 Liste des 13 bancs d'emprunt répertoriés par Rio Tinto Alcan et leurs principales caractéristiques.

BANC D'EMPRUNT	LOCALISATION	ZONE DE RECHARGE ASSOCIÉE	PROPORTION EN SHALE (%)	RECHARGE SABLE FUSEAU 0-5 MM 80 % NON-REJET	RECHARGE GRAVILLON FUSEAU 0-20 MM 80 % NON-REJET	COMMENTAIRES
Aly Blackburn	Métabetchouan Lac-à-la-Croix	Saint-Gédéon- Métabetchouan - Lac-à-la-Croix	20-30	Non	Oui	Le banc est limité dans l'espace d'exploitation en raison de la terre agricole, du banc voisin Émile Doré et de la route 170.
Coté-Martin	Métabetchouan Lac-à-la-Croix	Saint-Gédéon- Métabetchouan - Lac-à-la-Croix	20-30	Non	Possible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Camp musical à proximité</li> <li>• Escarpement de 125 pieds de hauteur</li> </ul>
Clan Gagnon	Métabetchouan Lac-à-la-Croix	Saint-Gédéon- Métabetchouan - Lac-à-la-Croix	15-20	Possible	Possible	Ce banc n'a pas été utilisé par Rio Tinto Alcan depuis le début de la décennie de 1990
Néron	Secteur sud de Métabetchouan Lac-à-la-Croix	Saint-Gédéon- Métabetchouan - Lac-à-la-Croix	ND	ND	ND	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Présence d'argile</li> </ul>
Donckin- Simard	Hébertville	Saint-Gédéon- Métabetchouan - Lac-à-la-Croix	20-25	Non	Non	
Fortin	Desbiens	Chambord	17-20	ND	ND	
Boivin	Les Sables	Chambord	17-20	Possible	Oui	
Adrien Gagnon	Pointe-Chambord	Chambord	10-15	Possible	Possible	
Marc Bolduc	Les Sables	Chambord	ND	Possible	Non	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifier si extension possible</li> <li>• Manque d'informations concernant la présence de shale</li> </ul>
Giguère	Saint-Prime	Saint-Prime, Mashteuiatsh, Saint-Félicien secteur Saint- Méthode	0-5	ND	ND	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Problématique de circulation</li> </ul>
Ludger Guay	Saint-Félicien	Saint-Prime, Mashteuiatsh, Saint-Félicien secteur Saint- Méthode	0	Oui	Non	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Problématique de circulation</li> </ul>
Guay	Saint-Félicien	Saint-Prime, Mashteuiatsh, Saint-Félicien secteur Saint- Méthode	0	Possible	Oui	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Problématique de circulation</li> </ul>
Roy	Saint-Félicien	Saint-Prime, Mashteuiatsh, Saint-Félicien secteur Saint- Méthode	0	ND	ND	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Problématique de circulation</li> </ul>

## 2.3 PROJECTIONS DES BESOINS EN RECHARGEMENT POUR LA PÉRIODE 2017-2026 ET BANCS D'EMPRUNT VISÉS

Selon les données fournies par Rio Tinto Alcan, les volumes estimés de sable et de gravillon pour les rechargements de plage projetés pour le prochain PSBLSJ de 2017-2026 varient grandement d'un secteur à l'autre, soit entre 4 000 tonnes pour les secteurs d'Alma et de Péribonka et 300 000 tonnes pour le secteur de Saint-Gédéon/Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, pour un total de 1 074 000 tonnes de matériaux de rechargement (tableau 2.2).

Tableau 2.2 Secteurs de recharge de plage et tonnages projetés pour le prochain PSBLSJ (2017-2026).

SECTEUR	TONNAGES	VOLUME* (m <sup>3</sup> )
Alma	4 000	2 250
Saint-Gédéon/Métabetchouan-Lac-à-la-Croix	300 000	169 000
Chambord (Domaine du marais)	137 000	77 000
Chambord (autres)	50 000	28 100
Mashteuiatsh	70 000	39 300
Saint-Prime	6 000	3 370
St-Méthode	123 000	69 100
Mistassini	277 000	156 000
Péribonka	4 000	2 250
Saint-Henri-de-Taillon	103 000	57 900
Total	1 074 000	604 270

\* Le volume est calculé avec un facteur de conversion (t/m<sup>3</sup>) de 1,78.

Le tableau 2.3 présente les bancs d'emprunt visés pour fournir les différentes zones de rechargement de plage lors du prochain PSBLSJ. Les sources d'emprunt qui sont susceptibles de présenter une problématique en raison de leur teneur en shale (> 10-15 %) alimentent les secteurs au sud du lac Saint-Jean, soit ceux de Saint-Gédéon-Métabetchouan, Chambord (Domaine du marais) et Chambord. Ces bancs d'emprunt sont les suivants : Aly Blackburn, Coté-Martin, Fortin et Boivin.

Selon les rapports techniques consultés et les échanges verbaux entre Rio Tinto Alcan et WSP, bien que certains d'entre eux ont des proportions en shale supérieures à 10–15 %, les bancs d'emprunt ont rencontré par le passé les critères granulométriques requis en réalisant des opérations de tamisage optimisés pour les besoins. En ce qui concerne les capacités volumétriques des bancs d'emprunt, les rapports techniques sont trop âgés pour statuer sur leur potentiel actuel en vue du prochain PSBLSJ (2017-2026). Cependant, les propriétaires exploitants estiment qu'ils sont aptes à fournir les volumes requis (Rio Tinto Alcan, communication personnelle).

Tableau 2.3 Secteurs de recharge de plage et bancs d'emprunt visés par Rio Tinto Alcan pour le prochain PSBLSJ (2017-2026).

SECTEUR	BANCS D'EMPRUNT VISÉS
Alma	-
Saint-Gédéon-Métabetchouan	Aly Blackburn ou Côté-Martin*
Chambord-Domaine du marais	Fortin*
Chambord autre	Boivin*
Mashteuiatsh	Giguère
Saint-Prime	Giguère
St-Méthode	Giguère
Mistassini	Gaston Morin
Péribonka	-
St-Henri de Taillon	Gérard Fortin

\* Banc d'emprunt présentant une proportion maximale en shale supérieure à 15 %

## 3 MÉTHODES

Comme discuté dans la section précédente, certains bancs d'emprunt en milieu terrestre posent des problématiques et puisque Rio Tinto Alcan a déjà exploité par le passé d'autres sources d'emprunt comme en milieu subaquatique, il devient intéressant, pour répondre aux objectifs du mandat, d'apporter des précisions sur les différentes options d'exploitation et de gestion des sources de bancs d'emprunt.

La démarche utilisée pour identifier les meilleures pistes de solutions consiste d'abord à évaluer les possibilités techniques de séparer le shale des sables provenant des sablières en milieu terrestre desservant actuellement Rio Tinto Alcan. Par la suite, il s'agit de valider la disponibilité de sédiments qui pourraient être prélevés en rive du lac (zones d'accrétion) ou en milieu subaquatique, au moyen de la photo-interprétation et de la consultation des données bathymétriques et sismiques disponibles pour le lac Saint-Jean.

### 3.1 RECHERCHE DE PROCÉDÉS EN CARRIÈRE VISANT À RÉDUIRE LA FRACTION DE SHALE

Pour réaliser cette activité WSP a réalisé une recherche d'informations auprès de fournisseurs d'équipement de tamisage et auprès d'exploitants de carrière dans le but de déterminer s'il existe des méthodes d'exploitation des bancs d'emprunt ou des technologies permettant de séparer ou d'éliminer les fractions granulométriques shaleuses, de sorte à obtenir une proportion de shale inférieure à 10-15 %, le but visé étant de continuer d'exploiter les bancs d'emprunt terrestre déjà existant.

### 3.2 PHOTO-INTERPRÉTATION ET CARTOGRAPHIE DES BANCS D'EMPRUNT POTENTIELS EN RIVE

L'analyse d'images aériennes a été utilisée afin de cartographier les différentes plages en accrétion sur les berges du lac Saint-Jean. Le traçage de ces zones d'accumulation en rive a été produit suite à une observation 2D des images aériennes. La résolution des photos a permis une précision maximale dans le cadre de ce mandat. L'identification de la composition des plages a aussi pu être validée grâce à des cartes de dépôts de surface de la région.

Les zones en accrétions qui ont été retenues comme sources d'emprunt potentielles ont été sélectionnées de sorte de retenir les meilleures options sur le plan technico-économique et social. Ce dernier point tient particulièrement compte de la présence des autres types d'aménagement déjà réalisés par Rio Tinto Alcan (p. ex. épis) et surtout de l'équilibre hydrosédimentaire des secteurs environnant les zones d'accrétion, afin de s'assurer que le prélèvement de sédiments à un endroit en rive, ne provoquera pas de problèmes d'érosion à d'autres endroits.

### **3.3 INTERPRÉTATION DES DONNÉES BATHYMÉTRIQUES ET SISMIQUES**

La majeure partie des résultats et des interprétations permettant d'identifier des sources d'emprunt en milieu subaquatique sont fondés sur la carte des dépôts à la surface du fond lacustre (Rio Tinto Alcan, 1983), la carte bathymétrique du lac Saint-Jean et les travaux sismostratigraphiques de Nutz (2011). Cette étude a d'ailleurs pu fournir de nombreuses informations sur la caractérisation et la stratigraphie des dépôts lacustres ainsi que sur les divers processus ayant lieu au sein du lac Saint-Jean. Lors de cette étude, les relevés sismiques effectués ont atteint une profondeur de pénétration maximale de 30 mètres dans les sédiments, ce qui est largement suffisant pour effectuer une estimation du volume des sédiments subaquatiques. La granulométrie des différentes unités stratigraphiques identifiées dans la même étude a également été confirmée grâce à un carottage systématique du fond du lac.

Une recherche documentaire et la consultation d'entrepreneurs en dragage a permis de faire ressortir des critères techniques à considérer dans la localisation des zones de prélèvement. D'autres critères ont également été considérés dans le choix de sites. Ces critères sont relatifs aux aspects hydrosédimentaires, environnementaux et sociaux. Aucun de ces critères ne prévaut sur l'autre. Il s'agit plutôt d'une analyse cartographique basée sur la superposition d'information et la création de zones tampon qui permet d'éliminer ou d'exclure des zones.



## 4 RÉSULTATS

### 4.1 AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DES GRANULATS PROVENANT DE SOURCES EN MILIEU TERRESTRE

Une recherche documentaire a été conduite dans le but de présenter des méthodes pour séparer les sédiments composés de grain de shale des sédiments de composition minéralogique, au sein des sources d'emprunt présentées dans la section 2. D'entrée de jeu, il est important de considérer que le tamisage unique des granulats représente une méthode qui s'applique essentiellement pour séparer les particules sur une base granulométrique. De par ce procédé, aucune ségrégation sur la base des compositions n'est possible. Il existe des procédés reconnus pour éliminer des particules de compositions différentes. Ces procédés relèvent surtout du domaine minier, mais également de l'industrie du granulat. Ils consistent à éliminer, par exemple, des fractions de sédiments composés de cendres, de charbon, de lignite et même, dans certains cas, de shale. Pour ce faire, il est important cependant de réaliser certaines analyses en laboratoire à partir des granulats prélevés dans les zones d'emprunt avant de statuer sur les meilleures façons de procéder.

#### 4.1.1 ESSAIS DE LABORATOIRE

Pour déterminer la meilleure méthode de ségrégation des grains shaleux versus les grains de composition minéralogiques, les caractéristiques physiques d'échantillons provenant de sources d'emprunt et plus spécifiquement sur les fractions shaleuses, doivent être déterminées. Pour ce faire, trois essais en laboratoire s'imposent :

1. Le test de gravité spécifique : Ce test consiste à déterminer la différence de gravité spécifique (SG) entre la composante minéralogique (SG = 2,7) de l'échantillon et celle des grains de shale (SG entre 2,0 et 2,5). Si la différence de gravité spécifique est suffisante (SG > 0,3), il sera possible d'utiliser des procédés de séparations basés sur la densité, plutôt qu'uniquement en fonction de la granulométrie. Plus la différence sera grande, plus la séparation sera efficace, donc économique, surtout dans le cas où le shale est présent dans toutes les fractions granulométriques d'un échantillon.
2. Le test de flottaison – chute (*float – sink*) : Advenant que la différence de gravité spécifique soit significative, ce test permet de séparer toutes particules de shale qui a des propensions à flotter ou à rester en suspension sur une plus longue durée, comparativement aux grains de composition minéralogique. Une fois les shales isolés, la distribution granulométrique de la fraction shaleuse pourra être mesurée afin de déterminer les classes granulométriques sur lesquelles sera basé le procédé de lavage.
3. Le test de séparation par densité : Ce test permettra de valider si la séparation par gravité peut être envisagée. Les essais peuvent se faire selon plusieurs méthodes (gabarits (*jigs*), spirales ou hydroclasseur / *Lites out*), dépendamment de la fraction granulométrique à l'intérieur de laquelle les shales sont présents (résultat du *float-sink test*).

Ces tests de laboratoires peuvent probablement être réalisés par des entreprises locales. Cependant, WSP recommande d'utiliser des laboratoires spécialisés dans ce type de problématique, puisque ces derniers possèdent un hydroclasseur et peuvent également réaliser les essais sur gabarit.

Quant aux quantités de sédiments requises pour réaliser les tests, si les échantillons se situent en majorité dans un fuseau granulométrique 0-5 mm, deux barils de 200 à 250 litres sont nécessaires. Il en faudrait davantage si l'échantillon comprend des fractions granulométriques supérieures.

#### **4.1.1.1 PROCÉDÉS DE SÉPARATION ADVENANT QUE LES RÉSULTATS DE LABORATOIRE SOIENT NON-CONCLUANTS**

Dans le cas où la gravité spécifique des grains de shale est similaire à celle de la composante minéralogique, il devient impossible de séparer les shale par des procédés mécaniques ou par la densité. La solution serait d'abord de faire une séparation du sable selon les spectres granulométriques visés (p. ex. fuseau 0-5 mm ou 0-20 mm) et d'évaluer par la suite les proportions de shale de chacun par une analyse morphoscopique des grains. Si le pourcentage de shale est au-delà des proportions visées (10-15 %), une autre solution serait de déterminer, pour chaque classe granulométrique d'un échantillon, les proportions de shale de chacun par une analyse morphoscopique des grains et, par la suite, lors du prélèvement de matériaux, d'isoler les fractions granulométriques de hautes teneurs en shale, de façon à composer un sable uniquement avec les classes granulométriques qui présentent une contamination minimale.

#### **4.1.1.2 PROCÉDÉS DE SÉPARATION ADVENANT QUE LES RÉSULTATS DE LABORATOIRE SOIENT CONCLUANTS**

Si les résultats des essais en laboratoires sont suffisamment concluants, il sera possible de proposer le traitement le plus adapté, en collaboration avec des fournisseurs reconnus comme McLanahan, Neptune Process ou FLSmidth. À cet effet, McLanahan et Neptune ont une expertise interne très spécialisée dans le dimensionnement des tamis et la séparation des sables par densité et ont une expertise concernant les contaminations en lignite, en charbon ou en shale. Selon les informations disponibles, voici un aperçu de la démarche méthodologique qu'envisage WSP :

1. Épuration et attrition : Advenant que les grains de schiste soient agglomérés aux grains de composition minéralogiques, des épurateurs ([http://mclanahan.com/p/Attrition\\_Scrubbers-Cells/329/429/284](http://mclanahan.com/p/Attrition_Scrubbers-Cells/329/429/284)) pourraient être utilisés afin de briser les agglomérats, et ce, avant d'appliquer les autres traitements proposés.
2. Le Tamisage humide : Le tamisage humide est proposé d'abord pour séparer mécaniquement la fraction granulométrique (déterminée par les essais) la plus contaminée par les shales. Pour faire ce type de tamisage, il est possible d'utiliser des plateformes de tamis inclinés ou horizontaux. Pour la séparation humide des fractions plus fines, les tamis produits par Derrick Screens (<http://www.derrickequipment.com/home.aspx>) sont reconnus pour l'efficacité de leurs équipements. Une fois cette fraction granulométrique isolée, un traitement de séparation par densité est proposé (si les tests en laboratoires sont concluants). Par exemple, il sera possible de prélever une grande proportion de shale lors du tamisage des fractions granulométriques supérieures à 5 mm, si le shale est présent en grande proportion dans les graviers.

3. La séparation par densité : Comme mentionné ci-dessus, si les tests sont concluants, la séparation par densité peut être utilisée et adaptée en fonction de la fraction granulométrique qui contient la plus grande proportion de shale.
  - a. Pour les fractions grossières, les gabarits (*Jigs*) peuvent être utilisés pour isoler les shales dans les fractions grossières (> 3 mm) (<http://www.snobyllc.com/wet-jig-.html>);
  - b. Pour les fractions comprises entre 3 mm et 100 µm, les « Hydrosizers ou Lites-Out » doivent être utilisés ([http://www.mclanahan.com/p/Hydrosizers-Density\\_Separators/336/429/284](http://www.mclanahan.com/p/Hydrosizers-Density_Separators/336/429/284));
  - c. Pour extraire le shale des sables plus fins, < 100 µm, des spirales doivent être employées.

À noter qu'une combinaison des trois types d'équipements peut être utilisée au besoin pour maximiser l'élimination des shales dans toutes les classes granulométriques.

La méthode de séparation par densité pourrait présenter une certaine problématique concernant les fractions granulométriques les plus grossières (> 3 mm) puisque les grains de shale risquent de chuter aussi rapidement que les grains de composition minérale. Dans ce cas, il existe des méthodes qui pourraient séparer les composantes de shale des composantes minéralogiques et qui sont basées sur la morphologie des grains. Les grains de shale ayant une forme angulaire et plate pourraient, en présence de forts courants dans une canalisation, être davantage propulsés vers le haut de la colonne d'eau à la rencontre d'un obstacle. Le courant d'eau « stratifiant » les grains minéralogiques à la base et les grains shaleux en surface pourraient alors traverser un tamis-écran, utilisé habituellement pour retenir les grains de lignite, de charbon, voire même de shale. Ce tamis, disposé à la verticale, isole les grains dans sa partie inférieure et laisse passer les grains dans sa partie supérieure (figure 4.1).

Afin d'optimiser la méthode, l'idéal serait de broyer les grains grossiers de shale pour les ramener en particules plus fines. La ségrégation dans la colonne d'eau serait plus facile, le tamis-écran serait donc probablement plus efficace dans ces circonstances. Le broyage pourrait se faire en pompant le mélange de sable et en le propulsant avec force sur une plaque d'acier.

#### 4.1.2 ANALYSES ET PROPOSITION DE SOLUTIONS

En parallèle de la démarche proposée dans la section précédente, WSP propose également d'aborder la problématique d'un autre angle. Une première option envisageable serait d'appliquer, sur les bancs d'emprunt existants, des relevés géophysiques couplés à des sondages ou des forages géotechniques. Cette méthode permettrait de relever la stratigraphie précise des différentes unités sédimentaires et leur extension latérale dans le but de réaliser la cartographie en 3D des séquences stratigraphiques des bancs d'emprunt. Un échantillonnage de chacune de ces unités permettrait de faire des comptages pétrographiques afin de déterminer les unités qui comprennent la plus faible proportion de shale au sein du banc. Une fois établie, une stratégie d'exploitation pourrait être développée afin de guider l'entrepreneur vers les unités d'intérêt.

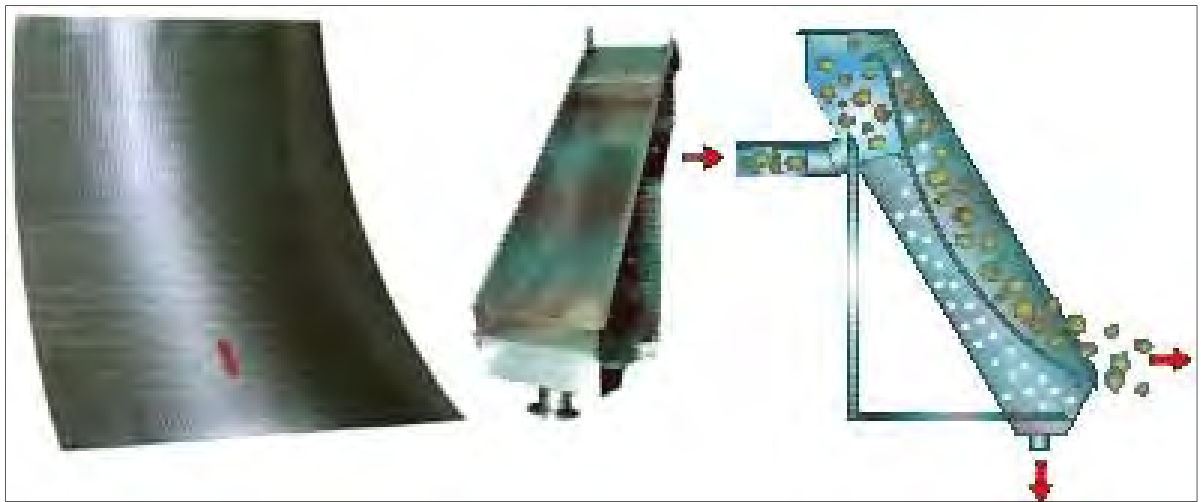


Figure 4.1 Fonctionnement du tamis-écran qui pourrait séparer les grains de shale des grains de composition minéralogique en raison de leur morphologie distincte

<http://www.wedgewires.com/Sieve%20bend%20screen.html>

Cependant, le prélèvement d'unités stratigraphiques précises au sein de la même formation sédimentaire peut parfois devenir relativement laborieux et engendrer des coûts de manipulation de matériaux, advenant que les unités exploitables soient enfouies sous des couches de moins grands intérêts. À titre d'exemple, dans le banc Fortin à Chambord se trouvent d'intéressantes quantités de matériaux 0-5 mm sous une couche de 3 à 4 m de graviers. La difficulté de prélever le sable réside dans l'enlèvement de ces matériaux et leur entreposage.

Une deuxième approche consiste en une identification des zones d'extensions potentielles des bancs d'emprunt déjà existants ou une cartographie de nouveaux bancs d'emprunt situés à moins de 40 km des zones de recharges. Ainsi, plusieurs indicateurs géologiques et géomorphologiques pourraient être utilisés afin de guider les recherches dans des secteurs dont la teneur en shale est la moins probable. Ces indicateurs géomorphologiques sont, par exemple, la localisation des dépôts par rapport à la formation géologique du Shale d'Utica, le repérage de dépôts marins ou littoraux sableux qui sont moins susceptibles de contenir du shale de par leur faciès sédimentaire, l'exploration de bancs d'emprunt dans le Bouclier canadien plutôt que dans les basses-terres du lac Saint-Jean. Il est à noter que les contraintes environnementales et sociales relatives à la possibilité d'exploitation (p. ex. zonage, présence de chalets ou de milieux humides à proximité) seraient à considérer avant de procéder à une estimation des volumes potentiels.

Enfin, compte tenu des connaissances actuelles de la dynamique hydrosédimentaire des plages qui nécessitent des rechargements, les fuseaux granulométriques proposés en 1986 sont toujours appropriés dans la mesure où ils répondent à un compromis entre la résistance contre l'érosion et les

critères reliés à l'usage récréatif des plages. Élargir les fuseaux granulométriques pour faciliter l'approvisionnement en matériaux de recharge est susceptible d'engendrer des problèmes. D'une part, un apport de granulats plus fins risque d'augmenter la compaction des matériaux sur les plages ou encore d'augmenter les panaches de turbidité lors de sa mise en place. D'autre part, un apport de granulats plus grossier risque de créer des plages davantage graveleuses, ce qui ne convient pas aux différents usagers de ces plages. Toutefois pour le fuseau 0-5 mm, les limites des tamis utilisés (tamis à piano) et l'humidité des matériaux rendent impossible le respect à 100% du fuseau granulométrique. Dans ce cas, il serait acceptable de tolérer un pourcentage de 5 à 7% de matériaux qui excède le fuseau. De plus, il serait intéressant d'évaluer la possibilité d'optimiser la période de tamisage en lien avec le PSBLSJ. En effet, selon le déroulement actuel des activités de planification du PSBLSJ, il est difficile d'effectuer le tamisage en période estivale. Toutefois, il est connu qu'il s'agit de la période optimale pour effectuer ces opérations et c'est en période estivale que les taux de production des entrepreneurs en tamisage sont les meilleurs.

## 4.2 ÉVALUATION DU POTENTIEL DE SOURCES D'EMPRUNT EN MILIEU RIVERAIN

### 4.2.1 CARTOGRAPHIE DES ZONES D'ACCRÉTION EN RIVE

Une zone d'accrétion se définit comme une plage dont le bilan sédimentaire est positif, c'est-à-dire que l'accumulation de sédiments est supérieure à l'érosion. Afin d'évaluer le potentiel de sources d'emprunt en rive, des zones présentant des indicateurs géomorphologiques relatifs à l'accrétion en rive ont été identifiées par photo-interprétation (carte 4.1). Par la suite, ces zones ont été sélectionnées comme bancs d'emprunt potentiels en appliquant des critères de sélection qui assure une utilisation durable et responsable de la ressource. Les critères qui ont été choisis sont :

- 1) l'absence d'infrastructures de protection des berges au site et le long des secteurs adjacents;
- 2) l'absence de signes d'érosion le long de la zone et dans les secteurs adjacents; et 3) la présence de dépôts de nature sableuse. Il est important de mentionner que les secteurs identifiés comme «zone d'accrétion» font partie des plages maintenues et entretenues par Rio Tinto Alcan depuis plusieurs années. Donc les secteurs identifiés ne sont pas tous en accrétion «naturelle».

Les résultats de l'analyse de la documentation fournie par Rio Tinto Alcan et de la photo-interprétation géomorphologique basée sur les critères ci-dessus, indiquent qu'il n'existe que très peu de zones en accrétion sur les 45 km de rive qui répondent aux critères de sélection (carte 4.1). L'analyse démontre que les plages du lac Saint-Jean sont majoritairement minces, étroites et affichent la plupart du temps un bilan sédimentaire négatif. De plus, en considérant une épaisseur moyenne d'un mètre et une largeur moyenne de 15 m, les volumes théoriques des plages ne sont pas favorables à un prélèvement qui rencontre les besoins volumétriques exprimés au tableau 2.1.

Les seuls endroits propices à des prélèvements de sédiments se situent à l'embouchure des cours d'eau au nord du lac, soit le ruisseau Savard (BE1.3) et le ruisseau Ptarmigan (BE1.2) dans le secteur des rues de l'Anse et de La Chapelle (BE1.4) et dans le secteur est de l'embouchure de la pointe Taillon, à l'extérieur de la zone du parc national (BE4.4) (carte 4.1). À ces endroits, les largeurs de plage atteignent jusqu'à 80 m. L'analyse morphologique de ces plages laisse croire

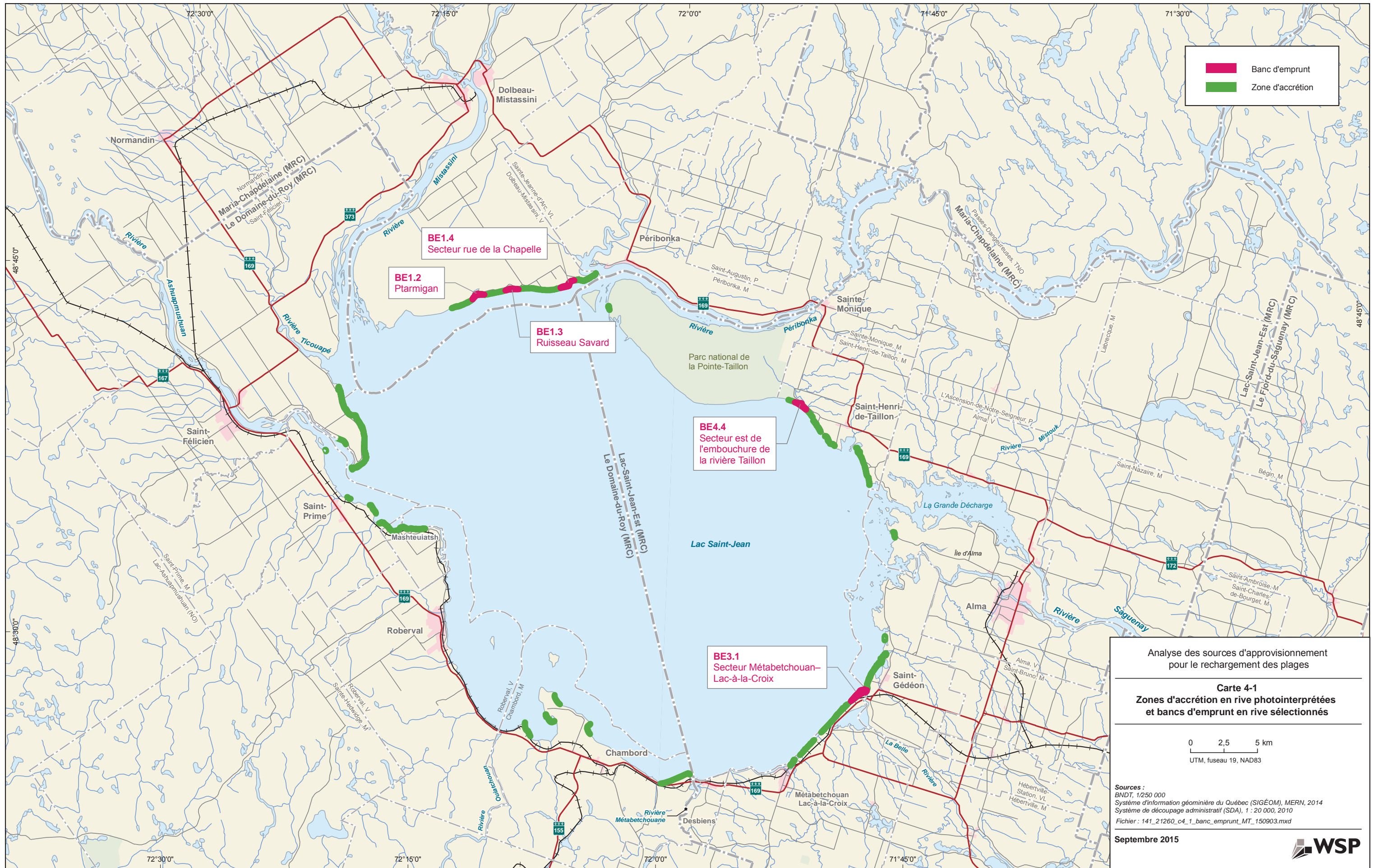
qu'elles sont en accrétion et présentent, donc un apport en sédiment régulier qui pourrait permettre un possible rétablissement des volumes suite à des prélèvements relativement limités et ciblés. Il est important de mentionner que les secteurs mentionnés plus haut sont alimentés notamment par les rechargements périodiques effectués par Rio Tinto Alcan depuis plusieurs années. Ces secteurs feront l'objet de rechargements dans le futur et ainsi ils contribueront à alimenter les secteurs en accrétion. Il existe également un autre secteur en rive, localisé à l'embouchure de la Belle Rivière et qui pourrait être identifié comme ayant un potentiel de banc d'emprunt en rive (BE3.1). À cet endroit, une flèche littorale en accrétion dévie la trajectoire du cours d'eau. Toutefois avant de confirmer la possibilité d'utiliser ce site comme zone d'emprunt en rive, il sera nécessaire d'évaluer les risques des éventuels prélèvements sur la stabilité des épis mis en place en 2014 dans le secteur.

#### 4.2.2 ESTIMATION DES VOLUMES DE SÉDIMENTS RIVERAINS POTENTIELLEMENT DISPONIBLES

Dans le but d'estimer les réserves disponibles des bancs d'emprunt en milieu riverain identifiés à la carte 4.1, quelques calculs de volumes en sédiments qui pourraient être prélevés ont été produits, en considérant un prélèvement théorique de 1 m d'épaisseur, multiplié par la superficie de la plage (tableau 4.1).

Les volumes estimés pour les bancs d'emprunt en rive entre les rivières Mistassini et Péribonka (BE1.2, BE1.3 et BE1.4) équivalent à un total de 145 770 m<sup>3</sup>. Compte tenu du volume de sédiments disponible et de la localisation des bancs d'emprunt, ces derniers pourraient convenir aux besoins en rechargement pour le secteur de Péribonka, qui requiert un volume de 2 250 m<sup>3</sup> de matériaux pour la période de 2017-2026 (tableau 2.2). Les volumes requis pour les recharges du secteur Mistassini sont cependant trop élevés (156 000 m<sup>3</sup>) pour qu'ils soient comblés par ces bancs d'emprunt (tableau 2.2). Par ailleurs, pour ces secteurs, les rechargements sont constitués de gravillons avec couche de sable de 300 mm. Ainsi la granulométrie sableuse des zones potentielles d'emprunt conviendrait uniquement pour la portion de surface du rechargement (couche de sable). La couche de sable ne nécessitant pas de grande quantité de matériaux, l'utilisation de faibles quantités pourraient à partir des zones d'emprunts en rive pourrait être envisagé. Toutefois, des sondages permettant de déterminer la granulométrie seront nécessaires pour s'assurer que les matériaux respectent le 0-5 mm. Étant donné les impacts engendrés par le transport les zones d'emprunt potentielles ne peuvent être utilisées pour répondre aux besoins des rechargements de Saint-Félicien, secteur St-Méthode.

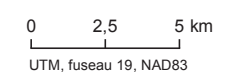
Quant au banc d'emprunt BE4.4, il pourrait combler une proportion des besoins en recharge de plage dans le secteur de Saint-Henri-de-Taillon (57 900 m<sup>3</sup>). Cependant, la proximité du parc national est à considérer, car il est interdit de prélever des matériaux dans les limites du parc. Enfin, concernant la flèche littorale de la Belle Rivière (BE3.1), malgré la présence d'infrastructures de protection des berges, il pourrait être possible de prélever des sédiments à l'extrémité de la flèche près de l'épi récemment mis en place et d'utiliser ce sable pour recharger la plage en érosion immédiatement à l'ouest.



Banc d'emprunt  
 Zone d'accrétion

Analyse des sources d'approvisionnement pour le rechargement des plages

**Carte 4-1**  
**Zones d'accrétion en rive photointerprétées et bancs d'emprunt en rive sélectionnés**



Sources :  
 BNDT, 1/250 000  
 Système d'information géomorphologique du Québec (SIGÉOM), MERN, 2014  
 Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010  
 Fichier : 141\_21260\_c4\_1\_banc\_emprunt\_MT\_150903.mxd

Septembre 2015



Toutefois, tel que mentionné plus haut, avant de confirmer la possibilité d'utiliser ce site comme zone d'emprunt en rive, il sera nécessaire d'évaluer les risques des éventuels prélèvements sur la stabilité des épis mis en place en 2014 dans le secteur.

Tableau 4.1 Volumes potentiellement disponibles sur les bancs d'emprunt en rive.

NOM DU BANC*	SURFACE (m <sup>2</sup> )	ÉPAISSEUR (m)	VOLUME (m <sup>3</sup> )
BE1.2	49 801	1	49 801
BE1.3	36 014	1	36 014
BE1.4	59 955	1	59 955
BE3.1	164 000	1	164 000
BE4.4	54 975	1	54 975
<b>Total</b>			<b>364 745</b>

\* Se référer à la carte 4.1 afin de visualiser leur localisation

### 4.2.3 ANALYSES ET PROPOSITIONS DE SOLUTIONS

Bien qu'il y ait certaines possibilités d'exploiter quelques bancs d'emprunt en rive, cette extraction doit se faire en évaluant les risques liés à l'impact de l'extraction de sable sur la dynamique hydrosédimentaire des secteurs adjacents. Un prélèvement de sédiments en rive peut couper l'alimentation des plages adjacentes, ou encore interférer avec les autres aménagements destinés à stabiliser les berges.

Le faible volume de sédiments estimé pour les bancs d'emprunt en rive diminue l'intérêt pour un rechargement de plus grande ampleur, tel que visé par Rio Tinto Alcan pour son prochain programme (tableau 2.3). Toutefois, ces sources d'emprunt identifiées au nord du lac Saint-Jean pourraient être utilisées en petite quantité afin de gérer des problématiques d'érosion plus locales. Une analyse des besoins en fonction des granulométries visées devra cependant être conduite.

Enfin, les zones d'accrétions identifiées aux embouchures des cours d'eau au sud et à l'ouest du lac Saint-Jean ne sont pas envisageables puisqu'il est possible que les sables contiennent du shale, étant donné la proximité de la couche géologique du Shale d'Utica. Il serait intéressant cependant d'y prélever des échantillons pour définir la proportion en schiste dans le but de valider cette hypothèse. Il faut aussi se rappeler que le lac, pendant plusieurs années (jusqu'en 1997), a été un lac avec flottage du bois. Donc, toute zone d'accrétion est susceptible d'avoir accumulé des débris organiques et ligneux. De plus, les propriétés granulométriques de ces zones d'accrétion devraient être caractérisées par une campagne d'échantillonnage, car elles peuvent être variables en raison des différents épisodes sédimentaires liés aux tempêtes.

Afin de ne pas fragiliser les rives du lac Saint-Jean, il est important d'analyser tous les impacts qu'une exploitation d'un banc potentiel en milieu riverain peut engendrer sur le bilan sédimentaire. Par exemple, un déséquilibre pourrait avoir des conséquences sur des plages voisines en leur imposant un bilan sédimentaire négatif qui génère ainsi de l'érosion. Pour gérer adéquatement ce type de prélèvement, plusieurs études de modélisation hydrosédimentaire devraient être réalisées.



Étant un problème constant, l'érosion des berges du lac ne pourrait qu'être complexifiée davantage à moyen terme avec un prélèvement sédimentaire constant sur ces plages.

La logistique autour des opérations de prélèvement doit également être évaluée de sorte à minimiser les impacts négatifs sur la plage. L'utilisation de machinerie lourde pourrait mener à la compaction des matériaux si une granulométrie propice à ce phénomène est présente. La compaction peut avoir des effets négatifs sur l'écosystème de la plage, puisque des matériaux compacts nuit à l'établissement d'une pédofaune. De plus, de tels prélèvements risquent d'entraîner des conséquences sur la progression de la végétation.

Malgré ces risques, certains tronçons de plages sont déjà exposés à une telle problématique lorsqu'ils font l'objet de rechargements fréquents. Des mesures permettant de minimiser la compaction sont cependant régulièrement appliquées dans le cadre de ces interventions et pourraient être réutilisées pour les opérations de prélèvement de matériaux.

Somme toute, un emprunt en milieu riverain semble être une alternative complexe, qui comporte des enjeux environnementaux. Cependant, un emprunt limité le long des zones identifiées pourrait présenter une bonne alternative pour résoudre des problématiques plus localisées. En utilisant ces zones avec parcimonie, il serait possible d'éviter les zones végétalisées et de réduire ainsi les impacts.

## **4.3 ÉVALUATION DES SOURCES D'EMPRUNT EN MILIEU SUBAQUATIQUE**

### **4.3.1 DRAGAGES RÉALISÉS PAR LE PASSÉ PAR RIO TINTO ALCAN**

Au début du PSBLSJ, le sable utilisé pour les rechargements des plages provenait, entre autres, du dragage des sédiments à même le bas des plages. Ces dragages réalisés dans la zone de marnage, c'est-à-dire entre la profondeur de 0,5 et de 5 m, ont permis de recueillir du sable sur environ 2 m d'épaisseur, ce qui offrait un volume de sable intéressant.

La technique de dragage utilisée consistait à pomper le sable à l'aide d'un réseau de tuyauterie disposé à moins de 1 km des berges. Cette technique présentait plusieurs problèmes, entre autres par rapport à l'action du vent et des vagues sur la tuyauterie qui pouvait facilement disloquer le réseau de tuyaux. Outre les contraintes techniques qui occasionnaient plusieurs pertes de temps et d'argent, Rio Tinto Alcan a mis fin à cette pratique, puisqu'il a été constaté que le dragage augmentait la profondeur du lac près des rives, les rendant vulnérables aux plus grosses vagues. De plus, Rio Tinto Alcan a constaté que les dépressions creusées ne se comblaient pas de sédiments au fil des années.

Les différentes problématiques rencontrées concernant les sources d'approvisionnement qu'utilise actuellement Rio Tinto Alcan poussent ces derniers à explorer les possibilités d'exploiter des sources d'emprunt subaquatiques qui pourraient se situer à des endroits de moindre impact.

#### 4.3.2 ACTUALISATION DE LA FAISABILITÉ TECHNIQUE DES DRAGAGES DANS LE LAC SAINT-JEAN

Selon une recherche documentaire, il est possible de draguer jusqu'à des profondeurs de 8 à 12 m (Bray *et al.*, 1997) dans le lac Saint-Jean. Les équipements de petites dimensions qui pourraient être appropriés pour ce type de dragage sont des dragues mécaniques (pelle mécanique ou grue) ou des dragues hydrauliques (pompes à sédiments). Dans le cas des dragues mécaniques, une barge et un système de pompe sont nécessaires afin de fluidifier le sable et l'acheminer par des conduites jusqu'à la plage. Concernant les dragues hydrauliques, les sédiments pompés seraient acheminés directement par un système de conduite sur la plage. Selon Rendall *et al.* (2011), les sédiments peuvent être pompés sur des distances maximales de 8 km avec de puissants systèmes. Toutefois, il serait plus approprié et réaliste, compte tenu du contexte du lac Saint-Jean et de l'ampleur des travaux à réaliser, d'utiliser un système opérant sur une distance maximale de 1,5 km (Bray *et al.*, 1997). Ainsi, il est possible d'installer une portion du système de conduites sur la plage et de déplacer le point de déversement des sédiments afin de minimiser les manipulations.

En résumé, plusieurs approches sont possibles et la faisabilité de draguer repose essentiellement sur quatre éléments :

- l'adéquation de la qualité des sédiments comme matériau de rechargement de plage;
- les coûts de réalisation des travaux versus d'autres méthodes d'approvisionnement en matériaux (en rive ou dans des gravières ou sablières);
- la dynamique hydrosédimentaire : draguer à une distance de moins de 750 m de la rive et à une profondeur inférieure à 4 m apparaît risqué pour la stabilité de la plage adjacente;
- les impacts environnementaux : une caractérisation des habitats aquatiques et des impacts potentiels sur ceux-ci doit être réalisée, tout comme une évaluation des impacts potentiels de la formation de panache de sédiments lors des dragages.

En somme, avant d'envisager de réaliser un dragage, il est recommandé de vérifier la qualité des sédiments afin de valider le potentiel d'exploitation, de documenter les enjeux majeurs associés aux impacts environnementaux lesquels auront été préalablement identifiés et de valider la faisabilité technico-économique d'un éventuel dragage auprès d'entrepreneurs disponibles au Québec ou dans l'Est du Canada.

Pour éclaircir ce dernier point, certains entrepreneurs ont été consultés, tels que Marine International Dragage, Groupe Océan et ECO Technologies. D'autres entrepreneurs ont été contactés, comme Atlantique Sous-Marine, Terrapure Environnement, Gersol et PEC. Ces derniers ont été exclus d'entrée de jeu puisqu'ils ne sont pas équipés pour répondre aux besoins du mandat potentiel. Les résultats des entrevues sont présentés dans un tableau en annexe 1.

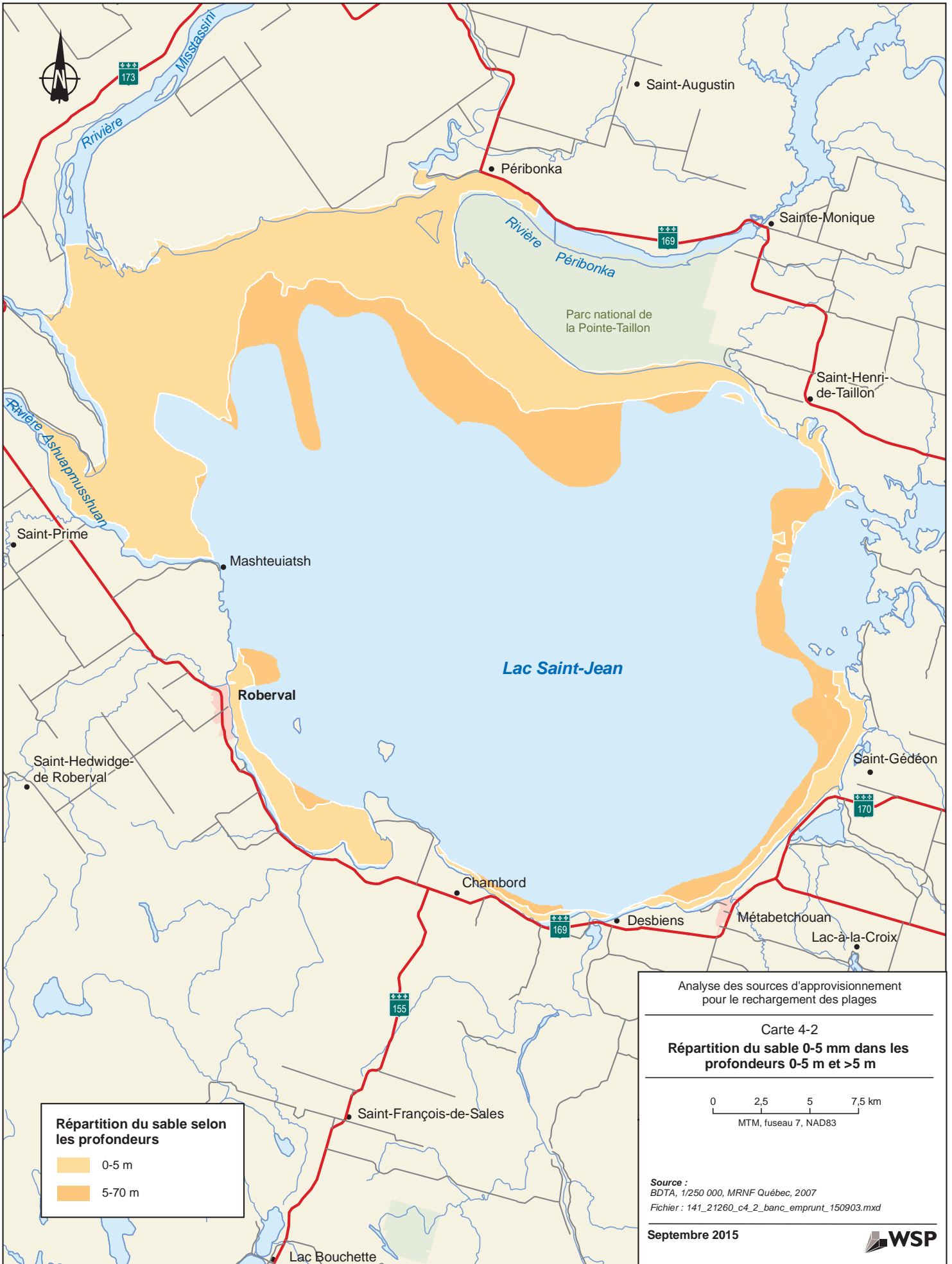
Les entrepreneurs consultés sont tous aptes et intéressés à mobiliser leurs équipements de dragage au lac Saint-Jean. Les trois entrepreneurs favorisent tous l'utilisation de dragues hydrauliques pour réaliser un tel travail. Ces dragues sont aptes à opérer jusqu'à des profondeurs de 4-5 m, dépendamment des conditions de vagues. Au-delà de ces profondeurs, les entrepreneurs spécifient que des équipements supplémentaires seraient requis, ce qui aurait pour conséquence d'augmenter les coûts. Les distances de pompage maximales sous lesquelles les équipements peuvent travailler efficacement sont toutes inférieures à 1,5 km des rives, ce qui constitue un facteur très limitatif. Au-delà de ces distances, les coûts seraient augmentés, surtout en raison de l'ajout de stations de pompage supplémentaires. Quant à l'évaluation de la durée des travaux et des coûts, il n'y a pas suffisamment de données pour fournir un estimé de la durée et les envergures de coûts fournis par les entrepreneurs sont très variables (annexe 1).

#### 4.3.3 CARTOGRAPHIE DES SOURCES DE BANCS D'EMPRUNT POTENTIELLES EN MILIEU SUBAQUATIQUE

La recherche des sources potentielles de bancs d'emprunt dans le milieu subaquatique s'est principalement basée sur la cartographie des dépôts lacustres datant de l'étude d'impact pour le PSBLSJ datant de 1983 et les informations sismostratigraphiques présentées dans l'étude de Nutz (2011). Ces deux études ont permis d'identifier des secteurs qui offrent à la fois une granulométrie adéquate (sable moyen à grossier, 0-5 mm privilégié) et un potentiel volumétrique approprié (un minimum de 2 m d'épaisseur), et ce, pour des profondeurs comprises entre 0-5 m et pour des profondeurs > 5 m (carte 4.2). Un raffinement des contours de ces zones par la suite été réalisé en considérant d'abord les contraintes hydrosédimentaires, puis les contraintes techniques et les contraintes environnementales.

Les contraintes concernant la dynamique hydrosédimentaire du milieu sont d'abord le prélèvement des sédiments dans la zone de marnage, entre les profondeurs 0 et 5 m (carte 4.2). Le dragage à ces profondeurs devient particulièrement délicat, puisqu'elles constituent la zone de déferlement qui dissipe l'énergie des vagues avant d'atteindre les plages. Un prélèvement dans cette zone risque d'augmenter les processus d'érosion. C'est également à ces profondeurs que sont transférés les sédiments vers le haut de la plage. Le prélèvement de sédiments dans cette zone pourrait donc aussi avoir pour conséquence de nuire au bilan sédimentaire des plages. À cet effet, si des sites sont éventuellement ciblés pour un dragage dans la zone de marnage, une analyse fine des profils de plages du secteur pourrait être réalisée afin de déterminer précisément les impacts d'un dragage sur la dynamique hydrosédimentaire locale.

En raison des conditions hydrosédimentaires et particulièrement les points mentionnés plus haut concernant l'érosion, la cartographie des bancs d'emprunt dans la zone 0-5 m évite donc les zones à moins de 750 m des rives et propose également des bancs d'emprunt potentiels localisés à des profondeurs supérieures à 5 m (carte 4.3).



Analyse des sources d'approvisionnement pour le rechargement des plages

**Carte 4-2**  
**Répartition du sable 0-5 mm dans les profondeurs 0-5 m et >5 m**

0 2,5 5 7,5 km  
 MTM, fuseau 7, NAD83

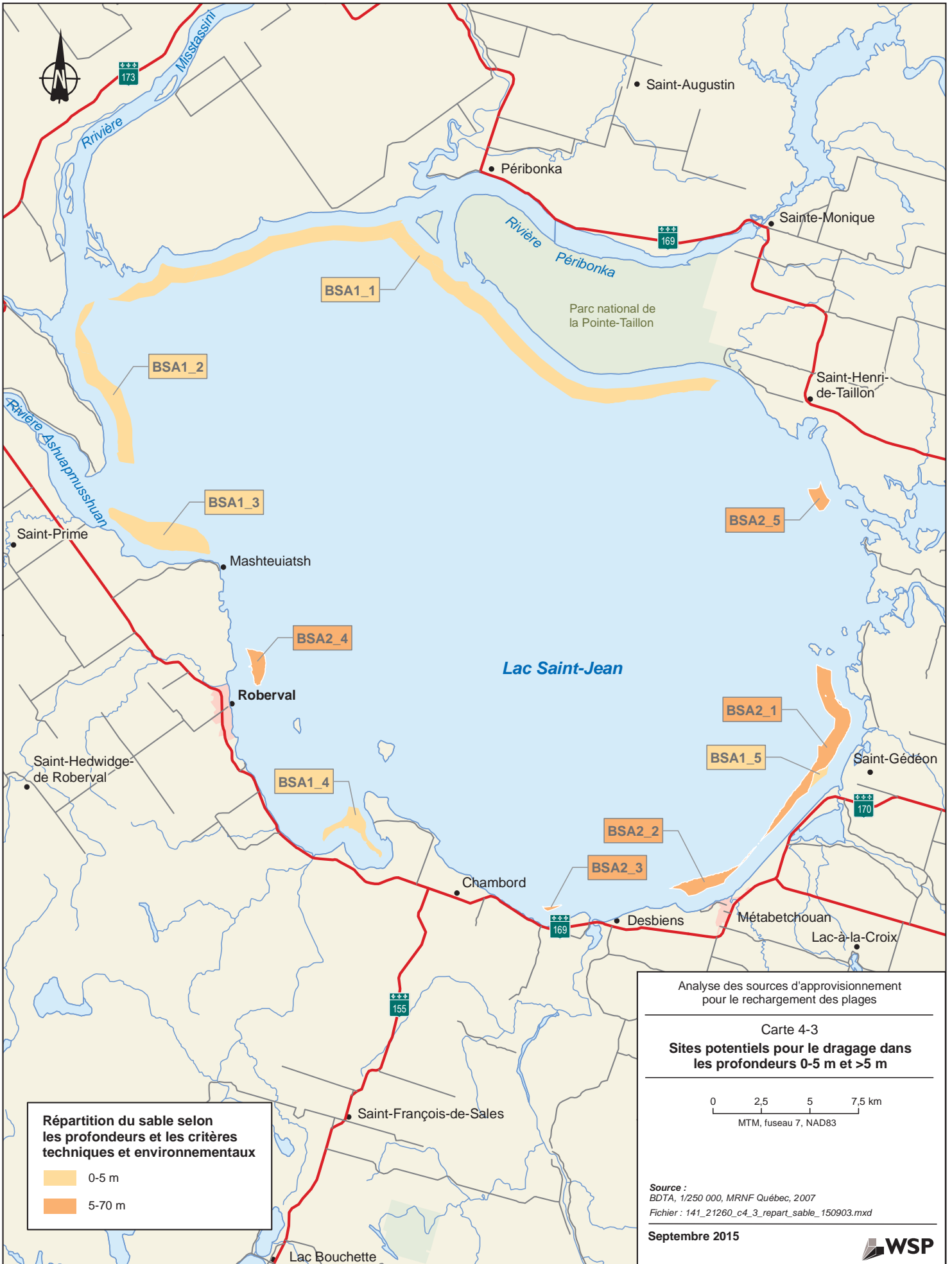
Source :  
 BDTA, 1/250 000, MRNF Québec, 2007  
 Fichier : 141\_21260\_c4\_2\_banc\_emprunt\_150903.mxd

Septembre 2015



**Répartition du sable selon les profondeurs**

- 0-5 m
- 5-70 m



**Répartition du sable selon les profondeurs et les critères techniques et environnementaux**

- 0-5 m
- 5-70 m

Analyse des sources d'approvisionnement pour le rechargement des plages

---

Carte 4-3  
**Sites potentiels pour le dragage dans les profondeurs 0-5 m et >5 m**

---

0    2,5    5    7,5 km  
 MTM, fuseau 7, NAD83

---

*Source :*  
 BDTA, 1/250 000, MRNF Québec, 2007  
 Fichier : 141\_21260\_c4\_3\_repart\_sable\_150903.mxd

---

**Septembre 2015**  **WSP**

Les autres critères sur lesquels est basé le raffinement de la cartographie des sources d'emprunt subaquatiques et qui sont reliés aux aspects techniques sont d'abord la création d'une zone qui limite les dragages à une distance inférieure à 1,5 km de la rive. Les zones localisées à proximité des unités sédimentaires pouvant potentiellement contenir du shale ont également été évitées.

En ce qui concerne les critères basés sur des enjeux environnementaux, les secteurs de fraie de l'éperlan arc-en-ciel ainsi que la zone prévue pour réaliser des aménagements de frayères pour cette espèce à l'embouchure de la rivière Mistassini ont été évités. Enfin, la présence de sites archéologiques autochtones submergés lors de la mise en eau du barrage de l'île Maligne en 1926 a été considérée. Ces sites archéologiques peuvent se trouver jusqu'à une distance de 700 m de la rive actuelle. Une zone tampon de 300 m autour des sites archéologiques identifiés dans la base de données fournie par Rio Tinto Alcan a été exclue des sites potentiels.

Selon les résultats de l'analyse, cinq zones de bancs d'emprunt ont été identifiées à des profondeurs de 0-5 m et cinq zones à des profondeurs supérieures à 5 m (carte 4.3). Ces sites sont localisés, à l'embouchure de la rivière Péribonka (BSA\_1\_1), à l'embouchure de la rivière Mistassini (BSA\_1\_2), à l'embouchure de la rivière Ashuapmushuan (BSA\_1\_3), à l'embouchure de la rivière Ouiatchouane, à l'anse Chambord (BSA\_1\_4) et au large du banc de sable de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix (BSA\_1\_5) (carte 4.3). Les sédiments de ces bancs potentiels sont majoritairement d'origine deltaïque. Ces deltas se sont formés surtout pendant les épisodes sédimentaires passés, lors de la régression marine de la mer postglaciaire de Laflamme. La sédimentation de ces deltas est encore active aujourd'hui, mais de moins grande importance. Selon les résultats sismostratigraphiques de Nutz (2011), ces deltas comprennent une unité sédimentaire de sable qui fait en moyenne 5 m d'épaisseur. L'épaisseur de l'unité sableuse tend à diminuer vers le centre du lac, où la granulométrie des dépôts devient particulièrement fine. Généralement, l'unité sableuse deltaïque se situe à une profondeur comprise entre 1 et 8 m.

Les complexes deltaïques de la rivière Mistassini et Péribonka sont les plus importants. Mesurant plusieurs kilomètres de large, ils peuvent être une source majeure de sédiments exploitables. Situé au nord des formations géologiques contenant du shale, il est possible d'affirmer que le sable est d'origine cristalline et donc exempt de shale. La dégradation et la compaction de ce sédiment sont improbables. Ces rivières possèdent également plusieurs barres sableuses submergées à leur embouchure. Elles auraient été formées lorsque le débit de ces rivières était plus fort. Aujourd'hui, leur progradation semble arrêtée, puisqu'elles sont recouvertes par une unité plus récente. Cette couche la plus récente, d'une épaisseur de 10 à 50 cm, comprend des sédiments hétérogranulométriques variant de l'argile jusqu'à un sable graveleux. Ainsi, il faut considérer qu'advenant un dragage, des particules plus fines peuvent être plus problématiques et engendrer une certaine turbidité lors du prélèvement et du rechargement sur les plages, car lors de cette étape, c'est un mélange eau-sédiments qui est propulsé sur la plage, occasionnant un ruissellement d'eau subséquent vers le lac.

Le delta de la rivière Ashuapmushuan étant de moins grande superficie que ceux des rivières Péribonka et Mistassini, une moins grande quantité de sédiments est disponible pour un éventuel dragage (carte 4.3). Un chenal d'érosion est aussi présent à la sortie de la rivière, ce qui expulse les sédiments plus au large. Toujours à cet endroit, une douzaine de sites archéologiques complexifie grandement l'exploitation de ce banc d'emprunt.

Toutefois, en dehors de ces contraintes, une petite zone reste favorable pour une extraction de sédiments utile au rechargement des plages des secteurs du Domaine Parent à Saint-Prime ou pour Saint-Félicien secteur St-Méthode. Pour ces secteurs, les rechargements sont constitués de gravillons avec couche de sable de 300 mm. Ainsi la granulométrie sableuse des zones potentielles d'emprunt conviendrait uniquement pour la portion de surface du rechargement (couche de sable). La couche de sable ne nécessitant pas de grande quantité de matériaux, l'utilisation de faibles quantités à partir des zones d'emprunts en rive pourrait être envisagée. Compte tenu de la proximité des unités géologiques shaleuses, il est probable que le sable deltaïque contienne une certaine proportion de shale. Cette hypothèse reste à démontrer par une campagne de caractérisation de sédiments.

Le secteur de l'anse Chambord est alimenté par la rivière Ouiatchouane (carte 4.3). Malgré le faible apport sédimentaire du cours d'eau, l'anse Chambord agit comme piège à sédiments en favorisant l'accumulation de sables. À l'instar de la rivière Ashuapmushuan, plusieurs sites archéologiques y sont présents, ce qui limite les zones d'exploitation potentielles. Cependant, le plus grand problème de ce secteur est la forte probabilité que le sable contienne des proportions en shale, puisque ce secteur est localisé sur l'unité géologique du Shale d'Utica (carte 2.1). Le fond de cette baie constitue également une zone d'accumulation de débris ligneux et ces débris pourraient également se retrouver dans la zone identifiée comme potentielle pour les prélèvements. Pour les deux raisons mentionnées précédemment, il est donc probable que le sable soit moins intéressant pour le rechargement des plages. Une campagne de caractérisation des sédiments permettrait de valider cette hypothèse.

Les bancs d'emprunt localisés à des profondeurs supérieures à 5 m sont situés surtout au sud du lac Saint-Jean dans les secteurs de Saint-Gédéon (BSA\_2\_1) et de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix (BSA\_2\_2) (carte 4.3). D'autres bancs d'emprunt de moins grande envergure sont localisés au large de Desbiens (BSA\_2\_3), de Roberval (BSA\_2\_4) et au sud de Saint-Henri-de-Taillon (BSA\_2\_5) (carte 4.3).

#### 4.3.4 ESTIMATION DES VOLUMES DES SOURCES D'EMPRUNT SUBAQUATIQUES

L'estimation des volumes de sédiments a été possible grâce aux données sismiques et bathymétriques des travaux de Nutz *et al.* (2014). Selon cet auteur, l'épaisseur des dépôts deltaïques est d'environ 5 m. Afin de garder une estimation plus conservatrice, les différentes superficies de bancs d'emprunt ont été multipliées par une épaisseur de quatre mètres (tableau 4.2).

Tableau 4.2 Volumes estimés pour les bancs d'emprunt en milieu subaquatique dans la zone 0-5 m de profondeur.

NOM DU BANC*	SURFACE (m <sup>2</sup> )	ÉPAISSEUR (m)	VOLUME (m <sup>3</sup> )
BSA_1_1	25 820 833	4	103 283 332
BSA_1_2	6 179 981	4	24 719 924
BSA_1_3	5 810 950	4	23 243 800
BSA_1_4	1 822 330	4	7 289 320
BSA_1_5	394 881	4	1 579 524
Total			160 115 900

\* Se référer la carte 4.3 pour la localisation des bancs

Tableau 4.3 Volumes estimés pour les bancs d'emprunt en milieu subaquatiques dans la zone de profondeur supérieure à 5 m.

NOM DU BANC*	SURFACE (m <sup>2</sup> )	ÉPAISSEUR (m)	VOLUME (m <sup>3</sup> )
BSA_2_1	6 000 302	4	24 001 208
BSA_2_2	1 844 025	4	7 376 100
BSA_2_3	133 409	4	533 636
BSA_2_4	1 181 810	4	4 727 240
BSA_2_5	853 717	4	3 414 686
Total			40 052 870

\* Se référer la carte 4.3 pour la localisation des bancs

#### 4.3.5 ANALYSES ET PROPOSITIONS DE SOLUTIONS

En se basant sur la localisation des bancs d'emprunt et leur volume potentiellement disponible, il est possible de croire que les bancs d'emprunt subaquatiques pourraient offrir un volume de sédiment largement suffisant pour les besoins planifiés pour le prochain PSBLSJ stabilisation des berges tels que présentés au tableau 2.2. Cependant, il faut considérer que ces bancs d'emprunt ne pourront fournir les volumes nécessaires en gravillons, comme c'est le cas dans les zones localisées au nord du lac Saint-Jean. De plus, il sera important d'évaluer la qualité des sédiments afin d'éviter que ces derniers contiennent des proportions en shale supérieures à 10-15 %.

Sur le plan environnemental, le prélèvement de sable dans le fond d'un plan d'eau et son transfert vers les plages ne se réalise pas sans impacts. Le dragage implique une perturbation à la fois au site de prélèvement et au site de dépôt (plage). Au site de prélèvement, le dragage induit une nuisance sonore, peut perturber les activités reliées à la navigation, risque de générer de la turbidité et occasionne des risques de déversements d'hydrocarbures directement dans l'eau en cas de bris de machinerie. L'impact le plus important relève de la perturbation et de la destruction de l'habitat du poisson. À cet effet, si un site de dragage est sélectionné dans la zone comprise entre 0 et 3 m, il sera important de documenter la présence ou l'absence de sites de fraie de l'éperlan arc-en-ciel. De plus, le dragage hydraulique risque de prélever de la faune benthique et possiblement certains petits



poissons à faible capacité natatoire. Au site de dépôt, la génération de la turbidité devra être contrôlée par des mesures d'atténuation. Il existe également le risque de déversement d'hydrocarbures à proximité de l'eau. L'intensité de ces perturbations sera en fonction de l'ampleur des volumes prélevés et de la durée des travaux.

Le choix des sites et les volumes à prélever à chacun des sites doivent être planifiés avec rigueur. Malgré les grands volumes de sédiments disponibles, un prélèvement important pourrait créer localement des déséquilibres dans la dynamique hydrosédimentaire. En effet, au cours des opérations de dragage passées, Rio Tinto Alcan a constaté que les zones ayant été draguées n'ont pas été comblées en sédiments dans les années suivantes. Ceci confirme les faibles apports en sédiment du régime sédimentaire actuel. En effet, le complexe deltaïque au nord du lac ne reçoit plus la même quantité de sédiment que lors de la régression marine au moment de la déglaciation. Les études de Nutz (2011) expliquent ce fait par la présence un mince dépôt vaseux plus récent qui surmonte les dépôts deltaïques. Actuellement, certaines zones possèderaient donc un apport sableux nul, ce qui rend la ressource non renouvelable. Somme toute, l'exploitation de ces dépôts reste toutefois possible dans les secteurs plus actifs de Mistassini, Saint-Félicien secteur Saint-Méthode ou Saint-Henri-de-Taillon, tout en tenant compte des différentes limites mentionnées précédemment.

Un autre point à considérer : il est impératif d'utiliser un site d'emprunt près de la zone de rechargement pour éviter les impacts liés au transport (risque d'accident, nuisance, pression sur les routes) par camion, qui serait accrue. Ces impacts seraient très importants si un potentiel d'emprunt subaquatique du côté nord serait utilisé pour recharger des plages dans le secteur sud. En ce sens, rappelons que Rio Tinto Alcan utilise actuellement des bancs d'emprunt le plus proche possible des sites de rechargement pour réduire les perturbations liées au transport, ainsi que les coûts.

## 5 CONCLUSION

À la lumière des résultats, les zones de rechargement de plage du secteur nord, est et sud-est du lac Saint-Jean sont relativement bien desservies en matière de bancs d'emprunt en milieu terrestre, voire même riverain et subaquatique. Cependant, l'exploitation des bancs d'emprunt en milieu riverain et subaquatique présente des enjeux sur le plan hydrodynamique et environnemental relativement élevés qui exigeraient des études préalables (caractérisation des sédiments, étude hydrosédimentaire, benthos, habitats) afin d'en arriver à leur exploitation.

L'analyse du présent rapport démontre qu'à moins de s'approvisionner avec les bancs d'emprunt subaquatiques localisés au nord du lac Saint-Jean, il n'existe à peu près pas de possibilités d'exploiter des sources d'emprunt autres qu'en milieu terrestre en ce qui concerne les zones de recharge des secteurs les plus au sud et au sud-ouest. Un transport routier de sédiments dragués vers les secteurs de recharge au sud augmenterait les coûts et occasionnerait de nombreux impacts liées aux transports.

Dans tous les cas, l'utilisation des bancs d'emprunt terrestres demeure le meilleur choix, notamment au niveau des impacts sur l'environnement, d'autant plus qu'ils sont déjà autorisés à cette fin. L'utilisation de bancs d'emprunt riverains et subaquatiques, si utilisés, devra être faite avec précaution et à la suite d'études préalables, comme discuté plus haut. L'amélioration de la qualité des sédiments provenant des bancs d'emprunt terrestres ou la recherche de nouveaux bancs d'emprunt moins susceptibles de contenir du shale reste donc les meilleures avenues.

Pour améliorer la qualité des bancs d'emprunt en milieu terrestre, le présent rapport aborde des pistes de solutions qui permettraient d'utiliser les sources actuelles qui présentent des problématiques en matière de critères granulométriques et en terme de qualité de sédiment (proportion shaleuse > 10-15 %). Cependant, avant de statuer sur les meilleures solutions, il devient impératif :

- 1) de caractériser (granulométrie et qualité des sédiments, unité d'intérêt et estimation des volumes) davantage les bancs d'emprunt ciblés pour évaluer s'ils peuvent répondre adéquatement aux nouvelles exigences propres à chacune des zones de recharge;
- 2) d'adapter la démarche de ségrégation du shale pour chaque banc d'emprunt ciblé pour en arriver à un procédé permettant de rencontrer des proportions acceptable pour la recharge;
- 3) de développer une stratégie d'exploitation des bancs d'emprunt à plus long terme.

Advenant que les sources d'emprunt soient limitées, pour combler les besoins en sédiments, il serait d'intérêt pour Rio Tinto Alcan de rechercher les sources d'emprunt les moins susceptibles de contenir du shale pour les secteurs sud et ouest. À cet effet, il est proposé, de mener une analyse préliminaire des photographies aériennes afin de proposer de nouveaux bancs d'emprunts potentiels en milieu

terrestre pour desservir les secteurs localisés au sud du lac Saint-Jean. Un plan de sondage pourrait être par la suite proposé afin de valider les résultats de la photo-interprétation. Une fois le plan d'investigation et la cartographie des nouveaux bancs d'emprunt réalisés, Rio Tinto Alcan pourra faire des choix éclairés quant à son approvisionnement en matériaux d'emprunt de qualité pour son PSBLSJ 2017-2026, et ce, en tenant évidemment compte des limitations sociales et environnementales de mettre en exploitation de nouveaux bancs d'emprunts terrestres.

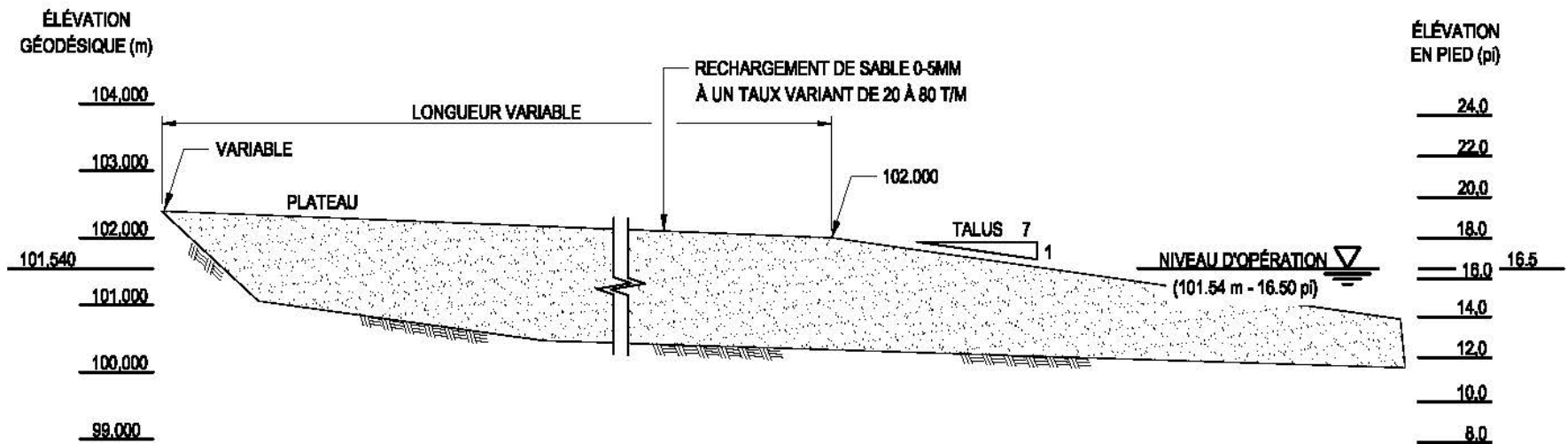
## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- HÉBERT, YVES ET HÉBERT RÉJEAN. 1994. Guide pratique d'identification des roches. Les publications du Québec. 133 p.
- NUTZ, A., Ghienne, J.-F., Schuster, M., Certain, R., Robin, N., Roquin, C., Raynal, O., Bouchette, F., Durringer, P. & Cousineau, P.A. 2013. « Seismic-stratigraphic record of a deglaciation sequence: from the marine Laflamme Gulf to Lake Saint-Jean (late Quaternary, Québec, Canada) ». *Boreas*, 10.1111/bor.12039. ISSN 0300-9483.
- TECHMAT. 1987. Vérification bancs d'emprunt, protection des berges du lac Saint—Jean. 8 p. + Annexes.
- TECHMAT. 1991. Évaluation du banc d'emprunt Roy Saint-Prime, stabilisation des berges la lac Saint-Jean, Secal (Jonquière). 6 p. + Annexes.
- TECHMAT. 1999. Évaluation des dépôts de sols Lot 19 et 20, rang ouest, canton Métabetchouan, Chambord (Québec). 9 p. + Annexes.
- TECHMAT. 2001. Évaluation du banc d'emprunt Claude Giguère – Partie du lot 10-B Rang V, Canton Ashuapmuchouan, MRC Domaine du Roy, St-Prime (Québec). Autorisation CPTAQ : 18 Sept. 2000-2010. 15 p. + Annexe.
- TECHMAT. 2002. Avis sommaire – Étude de caractérisation préliminaire, Projet de traitabilité d'un matériau granulaire schisteux, site des bancs d'emprunt Blackburn Doré, Métabetchouan - Lac-à-la-Croix (Québec). 6 p. + Annexes
- TREMBLAY, G. 1971. *Glaciation et déglaciation dans la région Saguenay - Lac-Saint-Jean, Québec, Canada*. Cahiers de géographie du Québec, 15 : 467-494 p

# Annexe 1

RÉSULTATS DES ENTREVUES

	Marine International Dragage	Groupe Océan	ECO Technologies
1	Est-ce facile pour vous de mobiliser des équipements de dragage dans le lac St-Jean? Oui. Machines 'montées' sur leur chantier naval, puis assemblées sur les sites de travaux.	Oui. Équipement entièrement adapté aux besoins demandés (machiné en usine, puis assemblée au LSJ).	Oui, facile de se mobiliser. Équipement varié : drague amphibie, hydraulique et conventionnel (mécanique)
2	Compte tenu des profondeurs d'eau (4 à 10 m) et des distances de pompage des sédiments, quels types d'équipement envisageriez-vous? Drague hydraulique. Machinée et adaptée aux besoins spécifiques du site.	Équipement fait sur mesure. En gros, drague hydraulique de type "Sand Sucker". Tirant d'eau d'environ 1.5 m.	L'équipement peut fonctionner jusqu'à des profondeurs de 4.5 à 5 m S'il y a des vagues, 4.5 m est plus réaliste. Il est possible de pomper à partir de 1.5 km de la berge, mais cela nécessite l'ajout d'une pompe de surpression à mi-chemin, sur une barge (ce qui augmente les coûts, barge et pompe, il y a des risques techniques aussi associé à l'ajout de la pompe sur la barge La distance maximale des berges possible sans la pompe de surpression est de 600
3	Avec vos équipements, quels sont les plages de profondeurs et de distance de pompage optimales? Faisable à des distances allant jusqu'à 1.5 km et des profondeurs atteignant 10m, sans nécessiter l'ajout d'une pompe de surpression. L'augmentation de la profondeur nécessite toutefois l'augmentation de la force de la pompe.	Profondeur de 4.5-5 m sans problème. Possible d'adapter pour aller jusqu'à 10 m de profondeur (mais augmente les coûts). Distance de la berge de 1 km sans problèmes. Si plus, nécessite une pompe d'appoint ( <i>booster pump</i> , augmente les coûts) <b>TAUX POMPAGE</b> 50-100 m3/h matériel solide en place	300 à 450 m de la berge 2 m eau ou moins (permet de s'accoter dans le fond si vagues) profondeur de matériel à enlever d'environ 2 m matériel (↑ m3/m2) Possible de transporter le matériau sur de grandes distances sur la plage. Analyse comparative entre camions VS pompage. <b>TAUX POMPAGE</b> 40-50m3/h matériel solide en place (initial) 225-250m3/h pompé, 15-18% solide (mélange eau et matériel)
4	Est-ce que vous seriez intéressés par un tel projet, dans le cas où environ 20 000 à 40 000 t devaient être draguées et acheminées à la plage oui	Oui. Pas une job d'envergure pour cette compagnie. Mais pourrait assembler un équipement temporaire adapté au besoin.  **En comparaison à leur drague autoporteuse pouvant draguer à des profondeurs de 25m et à des débits de 5000m3/h (mixture) ou 1000m3/h (en place)	oui, équipement qui se mobilisent bien Équipement très performant pour leur grosseur.
5	Ordre de grandeur des coûts et de la durée de tels travaux? Pas assez de données pour pouvoir fournir un estimé. 1. Préparation de l'équipement + mobilisation + assemblage sur le site + installation de quais pour fueller machines + container "atelier" (100% autonome) 2. Dragage = selon distance de la berge et granulométrie. Aussi, le prix variera selon qu'il est nécessaire d'ajouter grille de protection devant la drague pour les débris, ou de faire un premier nettoyage pour enlever les matériaux grossiers. Il serait aussi possible d'aménager le fond pour bonifier l'habitat du poisson. À ce sujet, M. Gauthier dit qu'il pourrait en dire plus à une étape plus avancée du projet. (Ne veut pas dévoiler ses secrets...)	Estimé très préliminaire. 1. Préparation de l'équipement + mobilisation + assemblage sur le site = entre 250 000 et 300 000\$ 2. Dragage = 15\$/m3 en place	Le coût et la durée varient selon : distance au large, profondeur eau, épaisseur sédiments, entrepreneur local pour étendre sur la berge.  Mob + installation : 20-30K\$. Si aucune pompe de surpression nécessaire.  <b>Drague hydraulique</b> Taux marin = 20-30\$/m3 en place. Possiblement moins selon waves action (vagues de 3-4' ou plus, doit arrêter) Taux bassin industriel pas de vagues, environ la moitié. Sable augmente le taux d'abrasion sur les équipements... plus cher.  <b>Drague mécanique</b> pas moins dispendieux et risque d'être plus long Barge, roll off (ou boîte fermée), camions. Si distance de la berge élevée, doit avoir plusieurs barges.
6	Contact Fernand Gauthier (450) 742-5648	Denis Caron (418) 694-1414	Wayne Powers (506) 726-6073



**Rio Tinto Alcan**

TITRE :

**COUPES TYPES DES DIFFÉRENTS TRAVAUX DE MIS EN PLACE POUR LA PROTECTION  
DES BERGES DU LAC SAINT-JEAN ET DE SES TRIBUTAIRES**

**RECHARGEMENT DE SABLE**

NO PROJET :

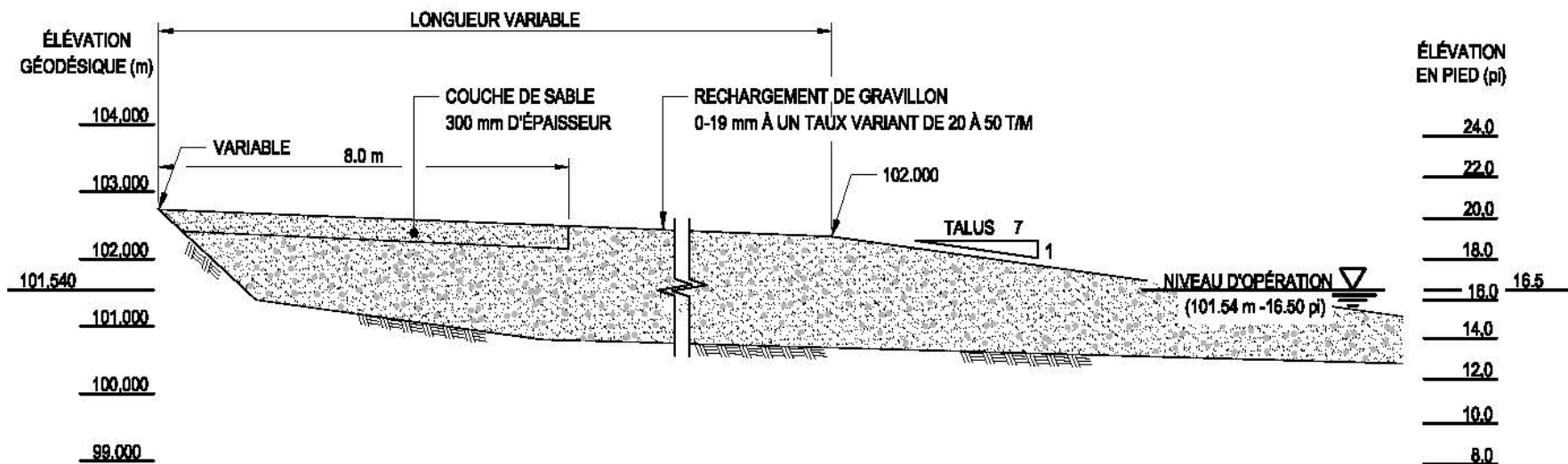
141-21280-00

DATE :

2015-08-28

DESSIN NO :

FIGURE 1



**Rio Tinto Alcan**

TITRE :

**COUPES TYPES DES DIFFÉRENTS TRAVAUX DE MIS EN PLACE POUR LA PROTECTION  
DES BERGES DU LAC SAINT-JEAN ET DE SES TRIBUTAIRES**

**RECHARGEMENT DE GAVILLON**

NO PROJET :

141-21280-00

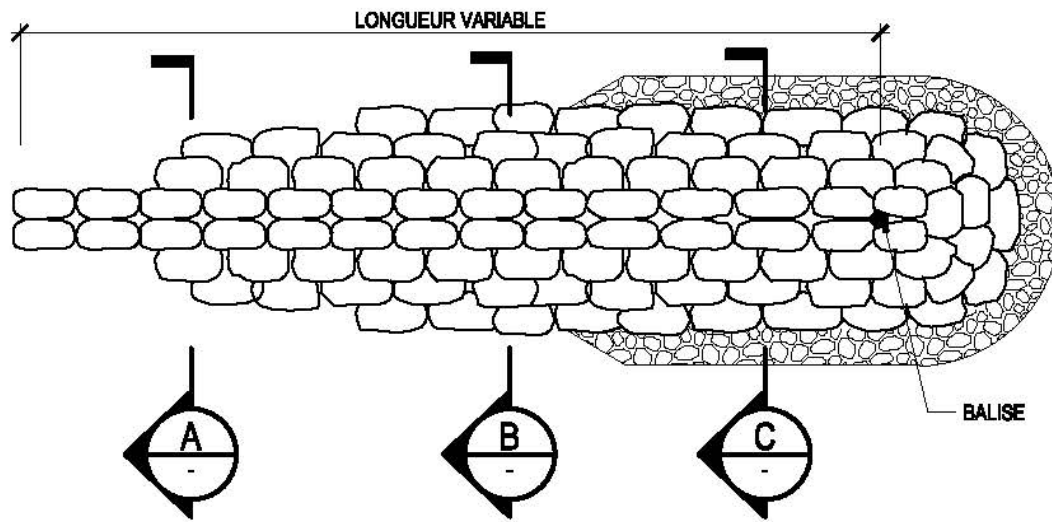
DATE :

2015-08-28

DESSIN NO :

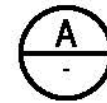
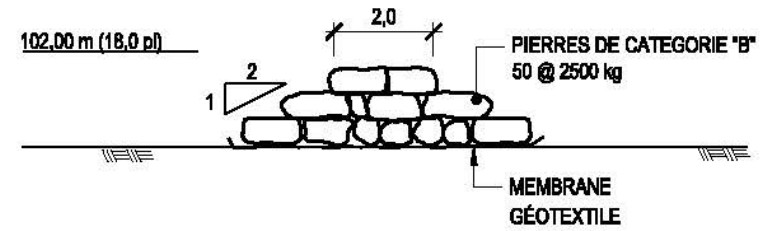
FIGURE 2





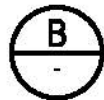
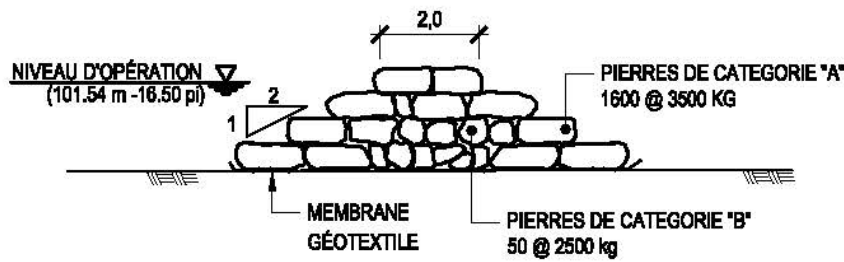
### PLAN

ÉCHELLE: AUCUNE



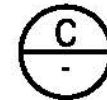
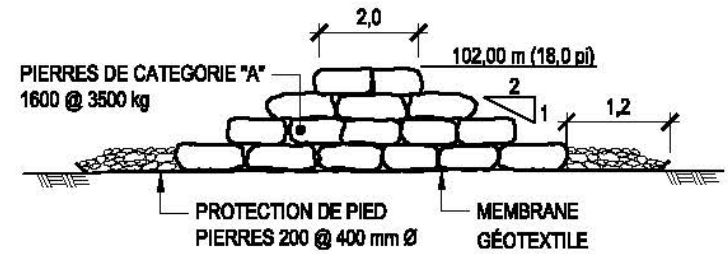
### COUPE

ÉCHELLE : AUCUNE



### COUPE

ÉCHELLE : AUCUNE



### COUPE

ÉCHELLE : AUCUNE

Rio Tinto Alcan

TITRE:

COUPES TYPES DES DIFFÉRENTS TRAVAUX DE MIS EN PLACE POUR LA PROTECTION  
DES BERGES DU LAC SAINT-JEAN ET DE SES TRIBUTAIRES

COUPE TYPE D'UN ÉPI DE CONSTRUCTION "CLASSIQUE"

NO PROJET:

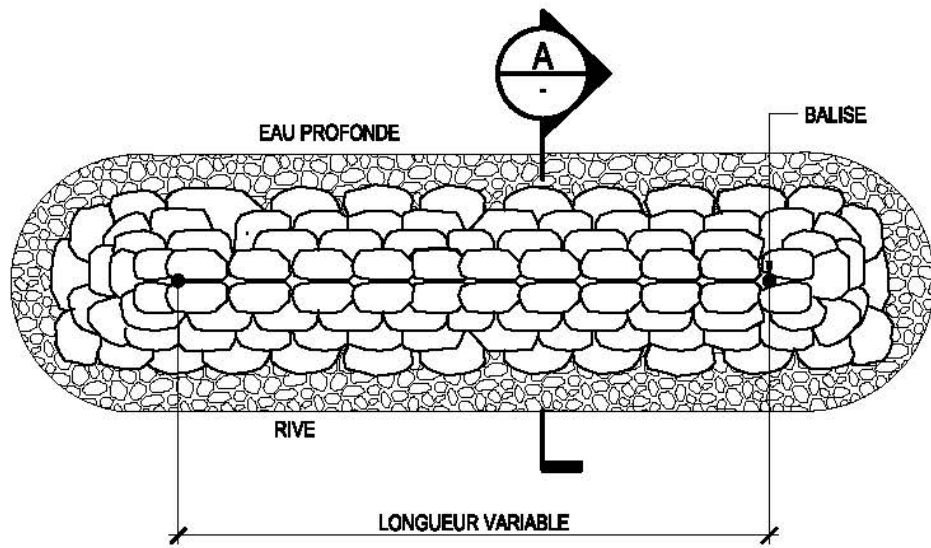
141-21280-00

DATE:

2015-09-28

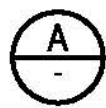
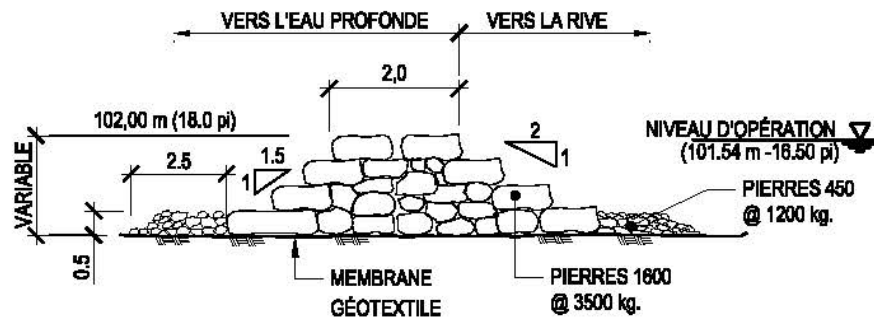
DESSIN NO:

FIGURE 3



**PLAN**

ÉCHELLE: AUCUNE



**COUPE**

ÉCHELLE: AUCUNE



TITRE:

**COUPES TYPES DES DIFFÉRENTS TRAVAUX DE MIS EN PLACE POUR LA PROTECTION  
DES BERGES DU LAC SAINT-JEAN ET DE SES TRIBUTAIRES**

**COUPE TYPE D'UN BRISE-LAMES DE CONSTRUCTION "CLASSIQUE"**

NO PROJET:

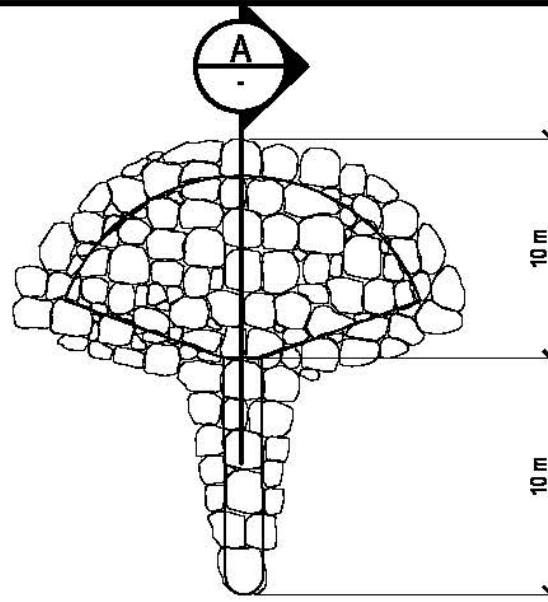
141-21280-00

DATE:

2015-09-28

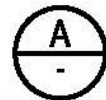
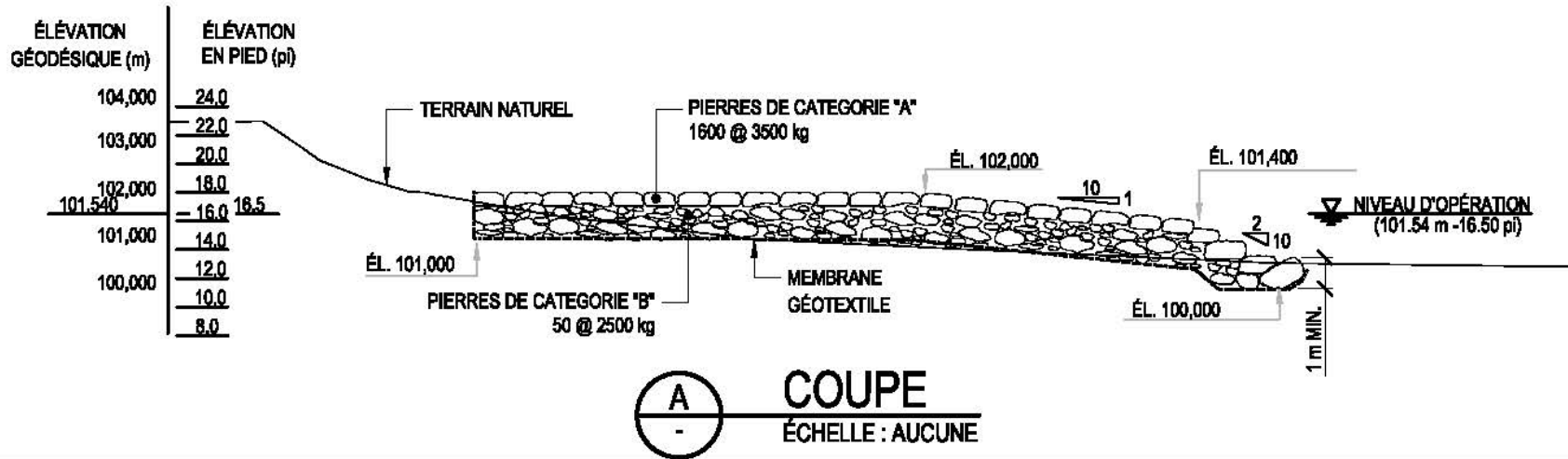
DESSIN NO:

FIGURE 4



### PLAN

ÉCHELLE: AUCUNE



### COUPE

ÉCHELLE: AUCUNE



TITRE:

**COUPES TYPES DES DIFFÉRENTS TRAVAUX DE MIS EN PLACE POUR LA PROTECTION DES BERGES DU LAC SAINT-JEAN ET DE SES TRIBUTAIRES**

-

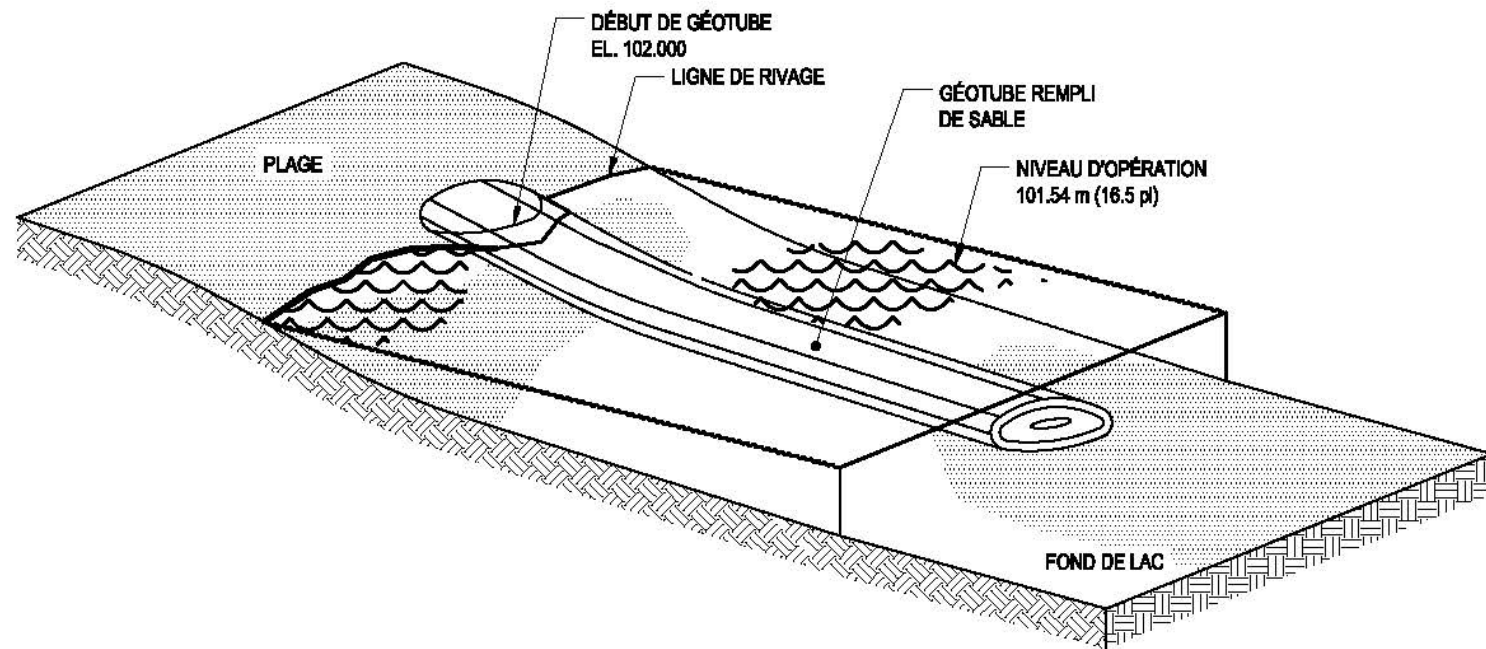
**COUPE TYPE D'UN ÉPI EN ÉVENTAIL**

NO PROJET :  
141-21280-00

DATE:  
2015-08-28

DESSIN NO:

FIGURE 5



**Rio Tinto Alcan**

TITRE :

**COUPES TYPES DES DIFFÉRENTS TRAVAUX DE MIS EN PLACE POUR LA PROTECTION  
DES BERGES DU LAC SAINT-JEAN ET DE SES TRIBUTAIRES**

**VUE ISOMÉTRIQUE TYPIQUE D'UN GÉOTUBE**

NO PROJET :

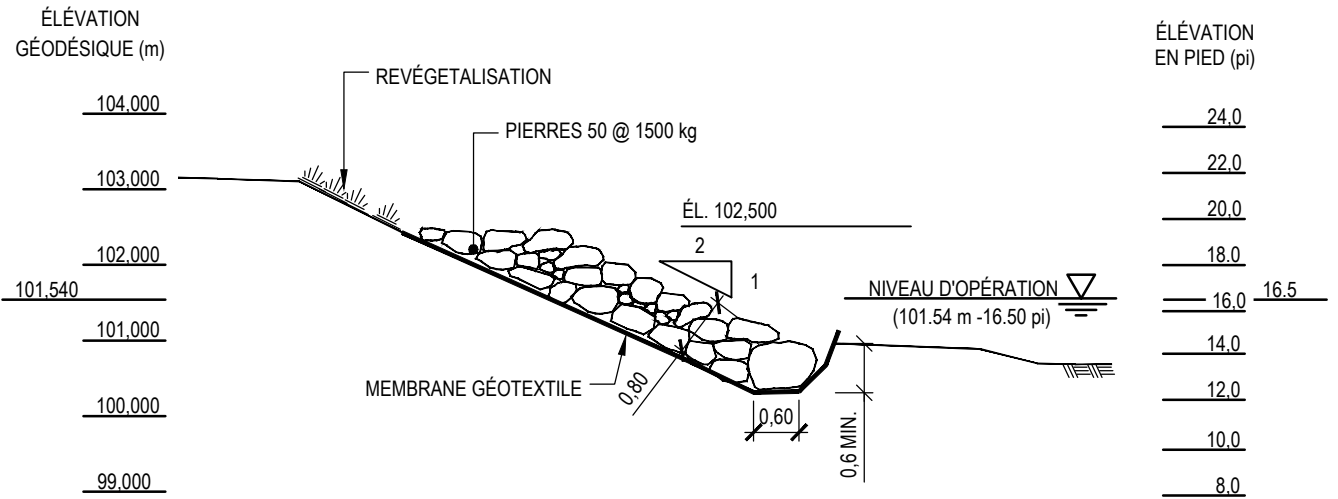
141-21280-00

DATE :

2015-08-28

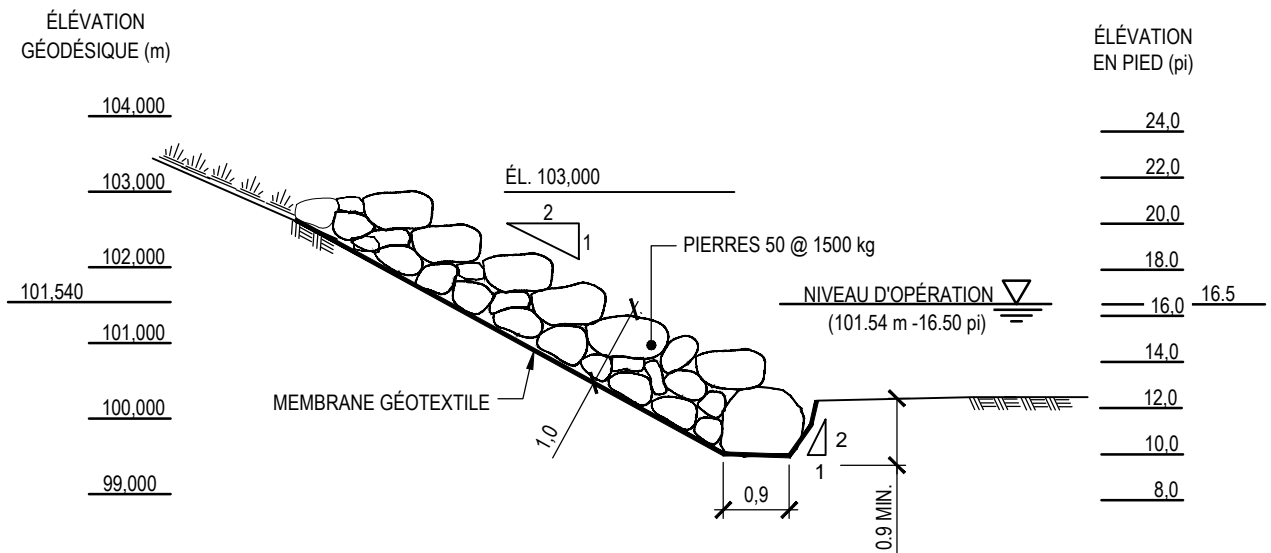
DESSIN NO :

FIGURE 6



## MINI-PERRÉ

ÉCHELLE: AUCUNE



## PERRÉ

ÉCHELLE: AUCUNE

**Rio Tinto Alcan**

TITRE :

7CI D9GHMD9G'89G'8÷ : vF9BHG'HF5J5I L'89'A-G'9B  
PLACE POUR LA PROTECTION  
DES BERGES DU LAC SAINT-JEAN ET DE SES TRIBUTAIRES

7CI D9GHMD9G'89 D9FFv fff7C BJ9BHCBB9@ffi

NO PROJET :

141-21260-00

DATE :

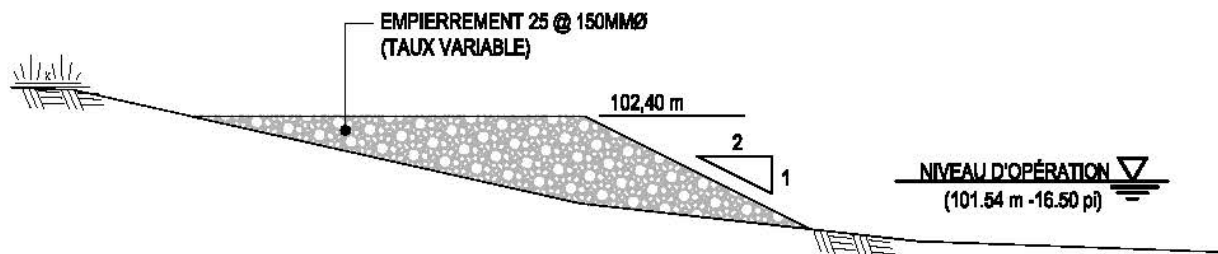
2015-09-28

DESSIN NO :

FIGURE 7

ÉLÉVATION  
GÉODÉSIQUE (m)

104.000  
103.000  
102.000  
101.540  
101.000  
100.000  
99.000



ÉLÉVATION  
EN PIED (pi)

24.0  
22.0  
20.0  
18.0  
16.0 16.5  
14.0  
12.0  
10.0  
8.0

Rio Tinto Alcan

TITRE :

COUPES TYPES DES DIFFÉRENTS TRAVAUX DE MIS EN PLACE POUR LA PROTECTION  
DES BERGES DU LAC SAINT-JEAN ET DE SES TRIBUTAIRES

COUPE TYPE D'UN EMPIERREMENT 25-150MM

NO PROJET :

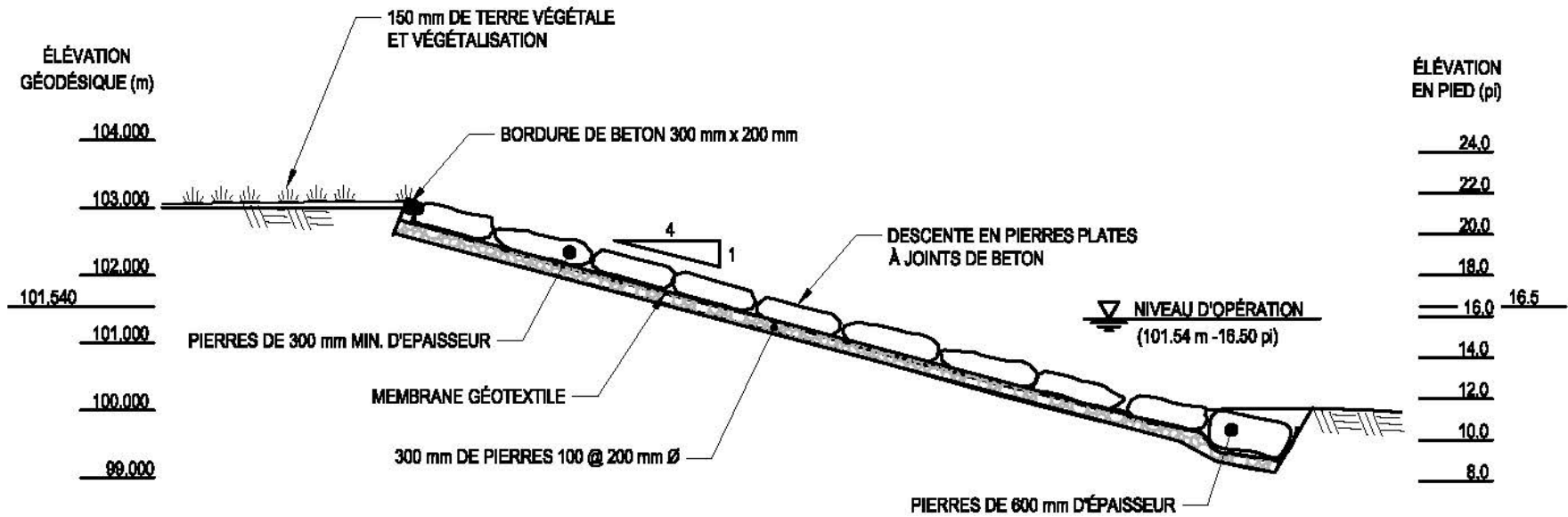
141-21280-00

DATE :

2015-08-28

DESSIN NO :

FIGURE 8



Rio Tinto Alcan

TITRE :

COUPES TYPES DES DIFFÉRENTS TRAVAUX DE MIS EN PLACE POUR LA PROTECTION DES BERGES DU LAC SAINT-JEAN ET DE SES TRIBUTAIRES

COUPE TYPE DE DESCENTE EN PIERRES PLATES

NO PROJET :

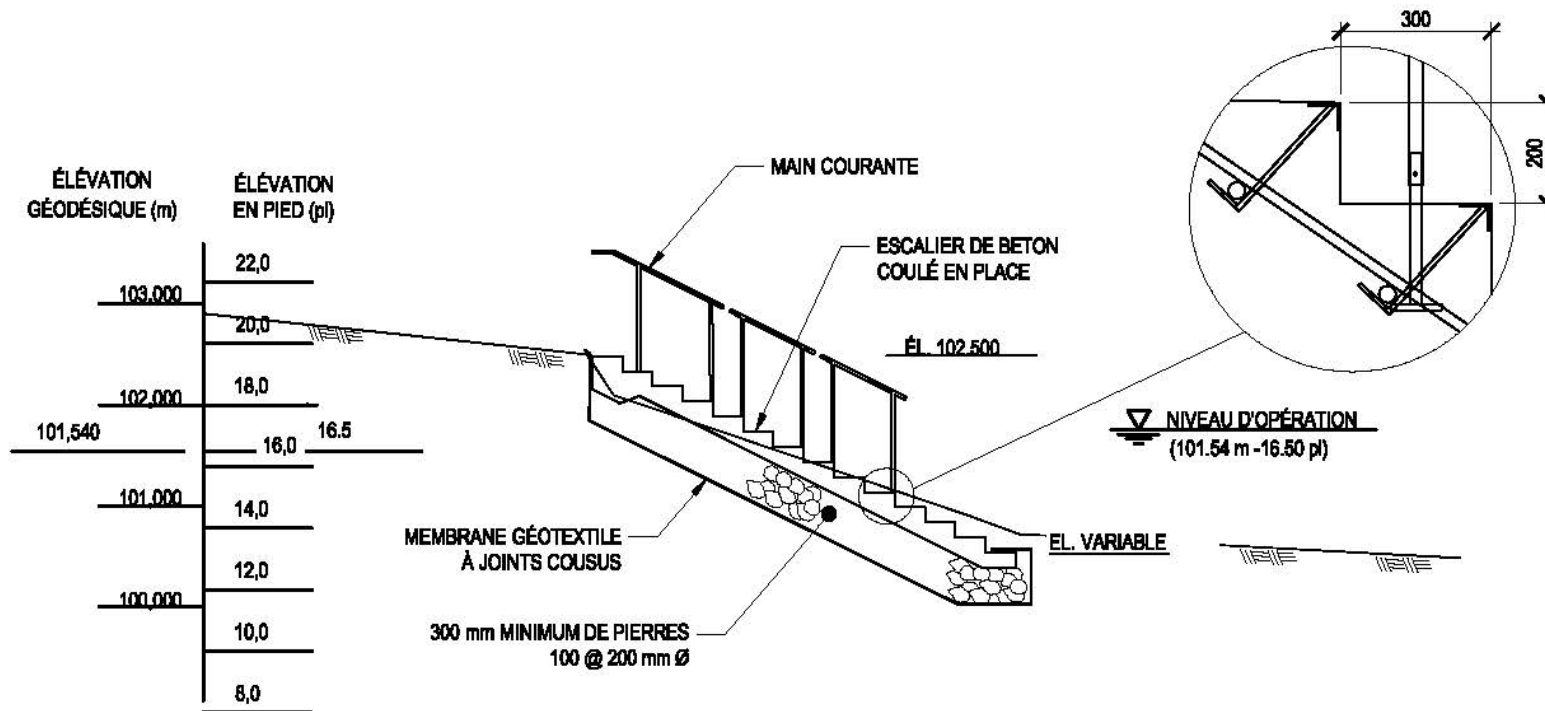
141-21280-00

DATE :

2015-09-28

DESSIN NO :

FIGURE 9



**Rio Tinto Alcan**

TITRE :

**COUPES TYPES DES DIFFÉRENTS TRAVAUX DE MIS EN PLACE POUR LA PROTECTION  
DES BERGES DU LAC SAINT-JEAN ET DE SES TRIBUTAIRES**

**COUPE TYPE D'ESCALIER EN BÉTON**

NO PROJET :

141-21280-00

DATE :

2015-08-28

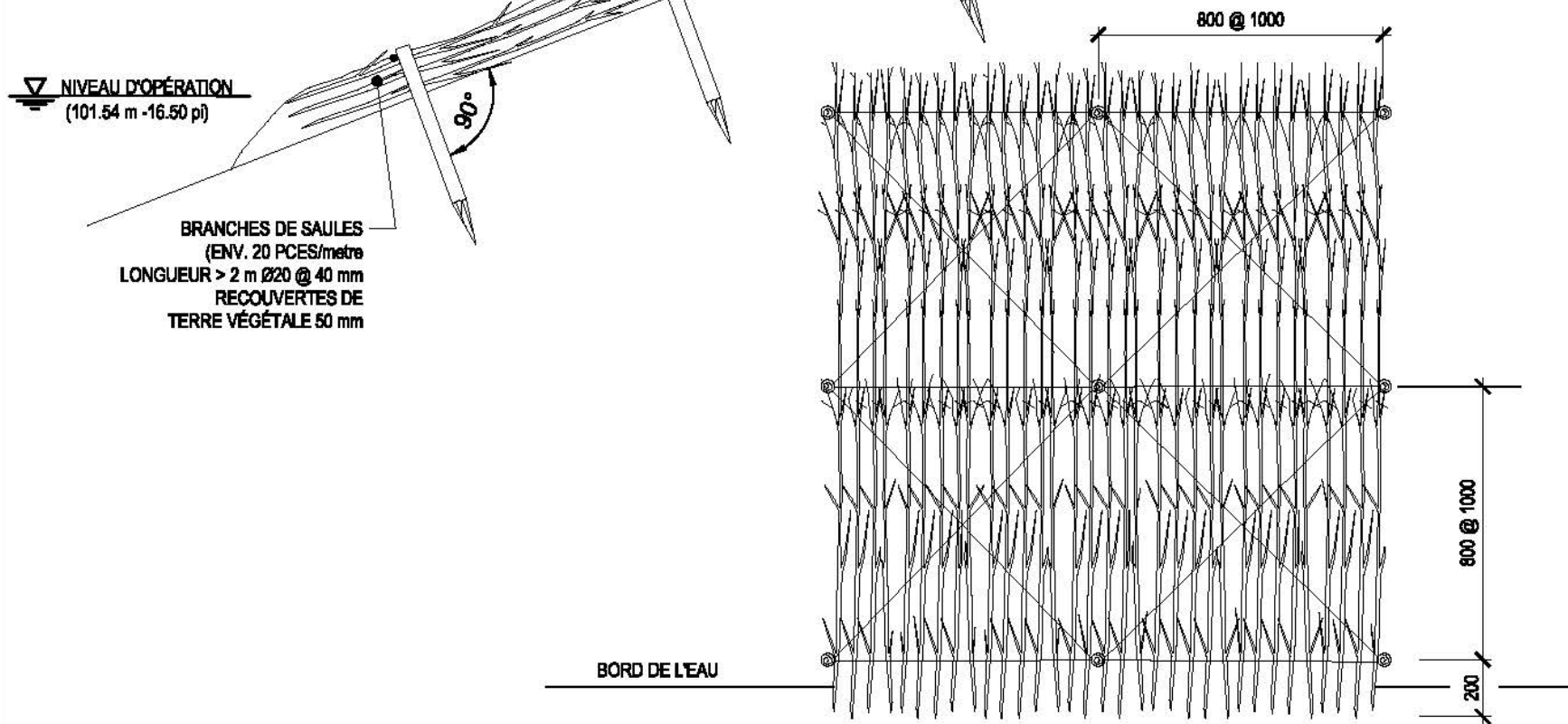
DESSIN NO :

FIGURE 10



**DESCRIPTION**

DE LONGUES BRANCHES D'ESSENCES CAPABLES DE S'ENRACINER RAPIDEMENT ET À REJETS, SONT ÉTALÉES SUR LA BERGE DE FAÇON À CONSTITUER UNE COUCHE LIGNEUSE ÉPAISSE. LES BRANCHES SONT FIXÉES SOLIDEMENT SOIT PAR UN CROISEMENT DE FILS DE FER OU PAR DES BAGUETTES POSÉES PERPENDICULAIREMENT ET MAINTENUES PAR DES PIQUETS PLANTÉS DANS LE SOL. ON RECOUVRE LE TOUT D'UNE FINE COUCHE DE TERRE DE FAÇON À LAISSER APPARAÎTRE DES BRINDILLES HORS DU SOL.



FIXATION DE LA COUCHE DE BRANCHES PAR:  
PIEUX DE SAULE VIVANT (OU AUTRE)  
Ø 40 @ 100 mm, LONGUEUR > 600 mm  
BRANCHES LONGITUDINALES  
OU TREILLAGE DE FIL DE FER

BRANCHES DE SAULES  
(ENV. 20 PCES/metre  
LONGUEUR > 2 m Ø20 @ 40 mm  
RECOUVERTES DE  
TERRE VÉGÉTALE 50 mm



TITRE :

**COUPES TYPES DES DIFFÉRENTS TRAVAUX DE MIS EN PLACE POUR LA PROTECTION  
DES BERGES DU LAC SAINT-JEAN ET DE SES TRIBUTAIRES**

**COUCHES DE PLANÇONS**

NO PROJET :

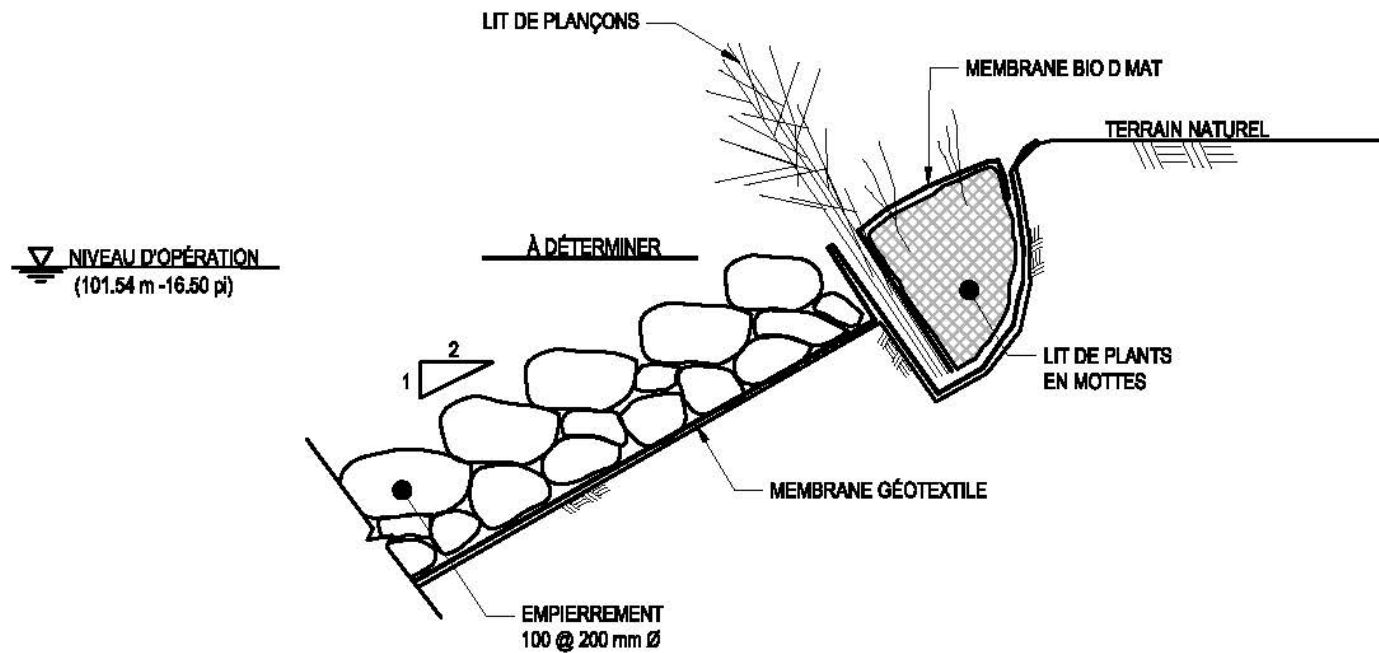
141-21280-00

DATE :

2015-09-28

DESSIN NO :

FIGURE 11



**Rio Tinto Alcan**

TITRE :

**COUPES TYPES DES DIFFÉRENTS TRAVAUX DE MIS EN PLACE POUR LA PROTECTION  
DES BERGES DU LAC SAINT-JEAN ET DE SES TRIBUTAIRES**

**LIT DE PLANÇONS**

NO PROJET :

141-21280-00

DATE :

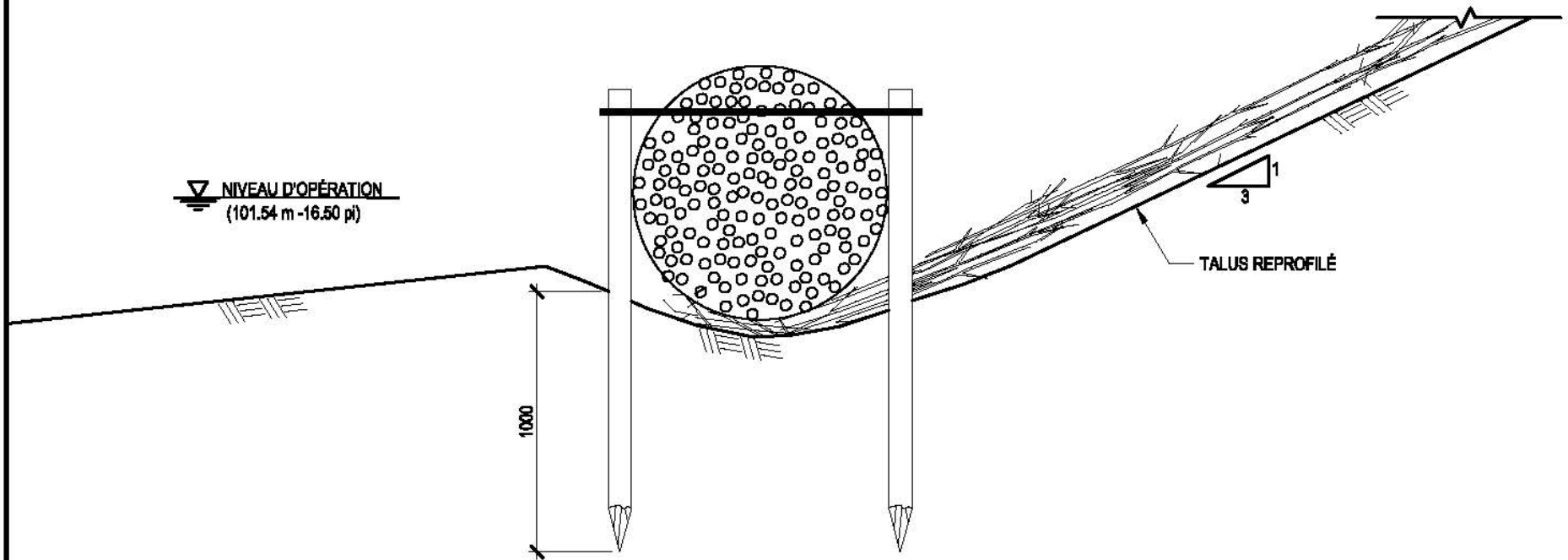
2015-08-28

DESSIN NO :

FIGURE 12

**FASCINE A DEUX PIEUX**

LA FASCINE EST APPELÉE À DEUX PIEUX LORSQUE LES PLANÇONS, AU LIEU D'ÊTRE  
SERRES EN FAGOTS, SONT DEPOSÉS ENTRE DEUX RANGÉES DE PIEUX ET TENUS EN  
PLACE PAR UN FIL DE FER PLACE AU SOMMET DE LA STRUCTURE.



TITRE :

**COUPES TYPES DES DIFFÉRENTS TRAVAUX DE MIS EN PLACE POUR LA PROTECTION  
DES BERGES DU LAC SAINT-JEAN ET DE SES TRIBUTAIRES**

**FASCINE À DEUX PIEUX**

NO PROJET :

141-21280-00

DATE :

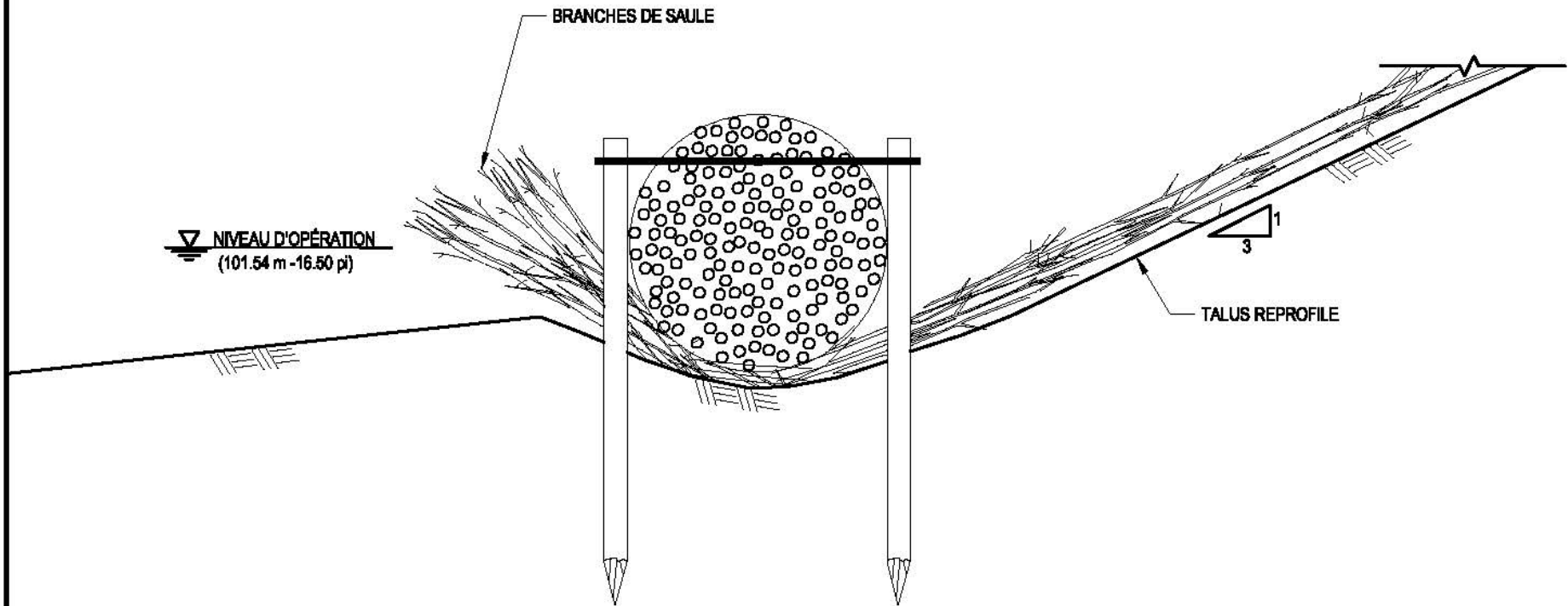
2015-08-28

DESSIN NO :

FIGURE 13

**TECHNIQUE BRANCHES ANTI-SAPES**

LIT DE PLANÇONS DE SAULES PLACES SOUS CERTAINES STRUCTURES ET DÉPASSANT DANS L'EAU DE 200 A 400 mm. CECI PERMET D'ÉVITER L'ÉROSION SOUS CERTAINS OUVRAGES.



**Rio Tinto Alcan**

TITRE :

**COUPES TYPES DES DIFFÉRENTS TRAVAUX DE MIS EN PLACE POUR LA PROTECTION  
DES BERGES DU LAC SAINT-JEAN ET DE SES TRIBUTAIRES**

**BRANCHES ANTI-SAPES**

NO PROJET :

141-21280-00

DATE :

2015-08-28

DESSIN NO :

FIGURE 14

# Annexe

**ANNEXE PHOTOGRAPHIQUE**

# PHOTOS

PHOTO 1 :	BRISE-LAMES, SAINT-GÉDÉON, SITE 88.02.02 .....	3
PHOTO 2 :	SYSTÈME D'ÉPIS, SAINT-GÉDÉON, SITE 87.02.04.....	3
PHOTO 3 :	ÉPI ET BRISE-LAMES, LE RIGOLET DE MÉTABETCHOUAN-LAC- À-LA-CROIX, SITE 91.03.04.....	4
PHOTO 4 :	RECHARGEMENT DE SABLE, DOMAINE NOROIS À CHAMBORD, SITE 94.05.01 .....	4
PHOTO 5 :	PERRÉ, MARAIS DU GOLF DE SAINT-PRIME, SITE 88.08.01 .....	5
PHOTO 6 :	MINI ÉPIS, SAINT-FÉLICIEN, SECTEUR SAINT-MÉTHODE, SITE 91.10.02 .....	5
PHOTO 7 :	ÉPIS ET BRISE-LAMES, SAINT-FÉLICIEN, SECTEUR SAINT- MÉTHODE, SITE 90.10.01 .....	6
PHOTO 8 :	RECHARGEMENT DE SABLE, SAINT-HENRI-DE-TAILLON, SITE 88.15.01 .....	6
PHOTO 9 :	RECHARGEMENT DE SABLE, SAINT-HENRI-DE-TAILLON, SITE 94.15.01 .....	7
PHOTO 10 :	ÉPI EN ÉVENTAIL, POINTE-TAILLON, SITE 91.14.01 .....	7
PHOTO 11 :	EMPIERREMENT 25-150 MM, SAINT-HENRI-DE-TAILLON, SITE 2001.15.01 .....	8
PHOTO 12 :	PERRÉ ET VÉGÉTALISATION, ALMA, SECTEUR DELISLE, SITE 91.16.01 .....	8
PHOTO 13 :	GÉOTUBE, MÉTABETCHOUAN-LAC-À-LA-CROIX, SITE 94.03.01.....	9
PHOTO 14 :	ÉPI ET BRISE-LAMES, LE RIGOLET DE MÉTABETCHOUAN-LAC- À-LA-CROIX, SITE 91.03.04.....	9
PHOTO 15 :	PERRÉ ET DESCENTE DE PIERRES PLATES, CHAMBORD, SITE 95.05.03 .....	10
PHOTO 16 :	ESCALIER DE BÉTON COULÉ EN PLACE.....	10



**Photo 1 : Brise-lames, Saint-Gédéon, site 88.02.02**



**Photo 2 : Système d'épis, Saint-Gédéon, site 87.02.04**



Photo 3 : Épi et brise-lames, Le Rigolet de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, site 91.03.04



Photo 4 : Rechargement de sable, Domaine Norois à Chambord, site 94.05.01





**Photo 5 : Perré, Marais du Golf de Saint-Prime, site 88.08.01**



**Photo 6 : Mini épis, Saint-Félicien, secteur Saint-Méthode, site 91.10.02**



Photo 7 : Épis et brise-lames, Saint-Félicien, secteur Saint-Méthode, site 90.10.01

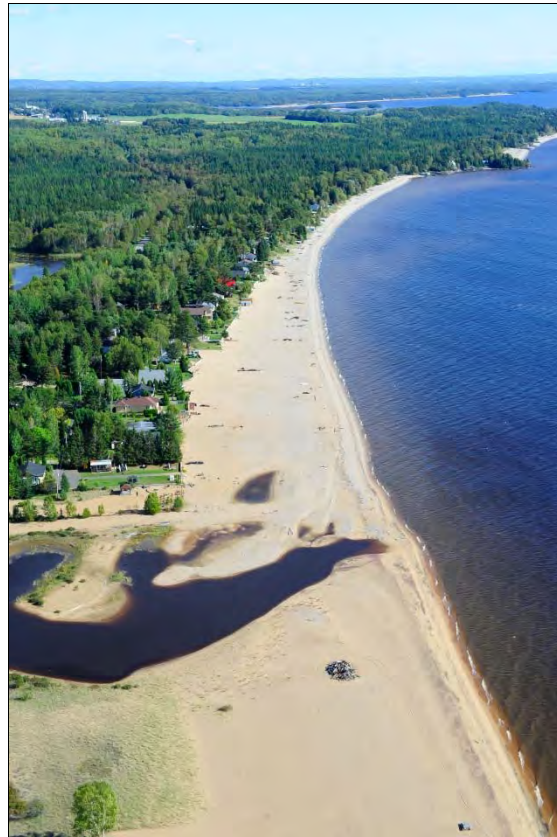


Photo 8 : Rechargement de sable, Saint-Henri-de-Taillon, site 88.15.01



Photo 9 : Rechargement de sable, Saint-Henri-de-Taillon, site 94.15.01



Photo 10 : Épi en éventail, Pointe-Taillon, site 91.14.01



Photo 11 : Empierrement 25-150 mm, Saint-Henri-de-Taillon, site 2001.15.01



Photo 12 : Perré et végétalisation, Alma, secteur Delisle, site 91.16.01



**Photo 13 : Géotube, Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, site 94.03.01**



**Photo 14 : Épi et brise-lames, Le Rigolet de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, site 91.03.04**



Photo 15 : Perré et descente de pierres plates, Chambord, site 95.05.03

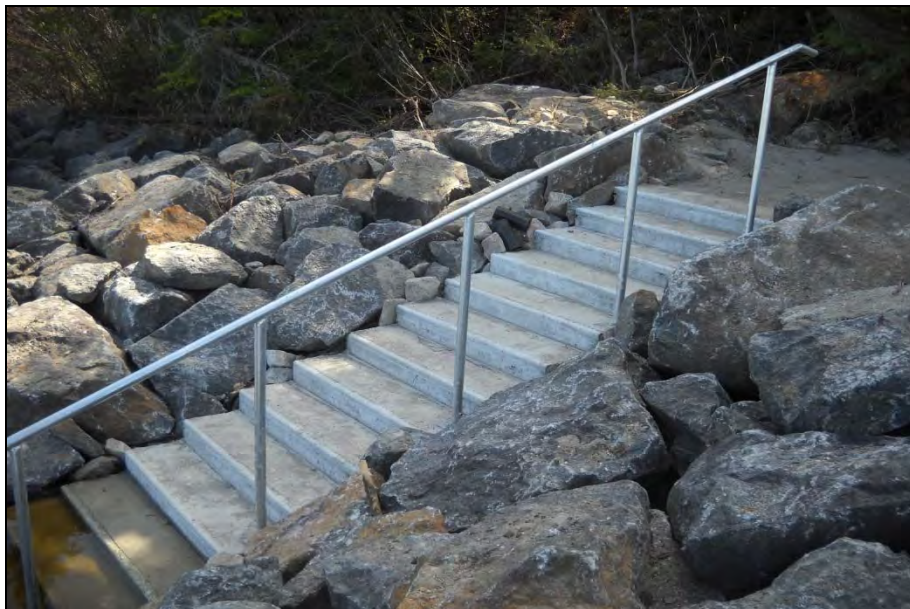


Photo 16 : Escalier de béton coulé en place

## ANNEXE 11

### NOTE

#### RIO TINTO ALCAN

#### PROGRAMME DE STABILISATION DES BERGES DU LAC SAINT-JEAN 2017-2026

#### ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

#### RÉPONSES AUX QUESTIONS ET COMMENTAIRES DU MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

#### QC-8 Annexe 11

Sur chacune des cartes de l'annexe 11, l'initiateur doit ajouter :

- la ligne des hautes eaux (le niveau 17,5 pieds);
- les bandes riveraines (voir règlements municipaux).

#### RÉP.

Les cartes de l'annexe 11 ont été révisées en y ajoutant la ligne des hautes eaux (niveau de 17,5 pieds). La cote de 15 pieds a également été ajoutée sur ces cartes, tel que requis pour la QC-8, ainsi que la limite de la zone d'intervention du PSBSJ. Ces cartes révisées sont présentées à l'annexe QC-8.

Tel que discuté avec le MDDELCC, les bandes riveraines n'ont toutefois pas été ajoutées compte tenu que cette information apportait de la confusion avec les autres éléments présents sur les cartes et s'avérait spécifique à certains secteurs. De plus, la plupart des municipalités appliquent la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables dans leur réglementation sur les bandes riveraines et cette politique implique des mesures de pente des talus afin de déterminer si on applique une bande de protection de 10 m ou de 15 m.

La rive a un minimum de 10 m :

- lorsque la pente est inférieure à 30 % ou;
- lorsque la pente est supérieure à 30 % et présente un talus de moins de 5 m de hauteur.

La rive a un minimum de 15 m :

- lorsque la pente est continue et supérieure à 30 % ou;
- lorsque la pente est supérieure à 30 % et présente un talus de plus de 5 m de hauteur.

Le tableau QC-8 présente la réglementation des bandes riveraines pour chacune des villes et municipalités présentes dans la zone d'étude.

**Tableau QC-8. Règlementation sur les bandes riveraines**

<b>Ville/municipalité/communauté</b>	<b>Règlementation sur les bandes riveraines</b>
Ville d'Alma	
Ville de Roberval	
Ville de Desbiens	
Ville de Saint-Félicien	
Municipalité de Sainte-Monique de Honfleur	Application de la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables
Municipalité de Chambord	
Municipalité de Saint-Prime	
Municipalité de Péribonka	
Communauté de Mashteuiatsh	
Ville de Dolbeau-Mistassini	Pour les bandes riveraines du lac Saint-Jean, application d'une bande de protection de 15 m à partir de la cote 17,5 pieds (ligne des hautes eaux)
Ville de Métabetchouan–Lac-à-la-Croix	
Municipalité de Saint-Henri-de-Taillon	Pour les autres bandes riveraines, application de la politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables
Municipalité de Saint-Gédéon	





# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Alma

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuillet 1 de 6

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT089\_IntPropSecAlma\_151119.mxd

Grande Décharge

## Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer) Secteur Alma

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
584	0	89	0	5	2

### Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

### Autres types d'interventions potentielles 2017-2026

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

### Mouvement du littoral

- Sens de la dérive

### Intervention réalisée

- Borne inamovible (numéro)

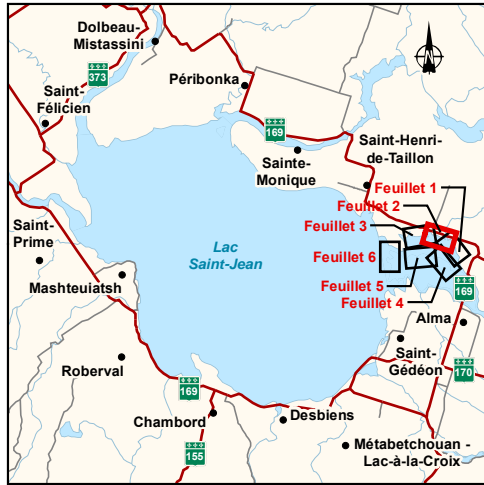
### Limites

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité

48°36'30"

71°40'30"

71°39'30"



# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Alma

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

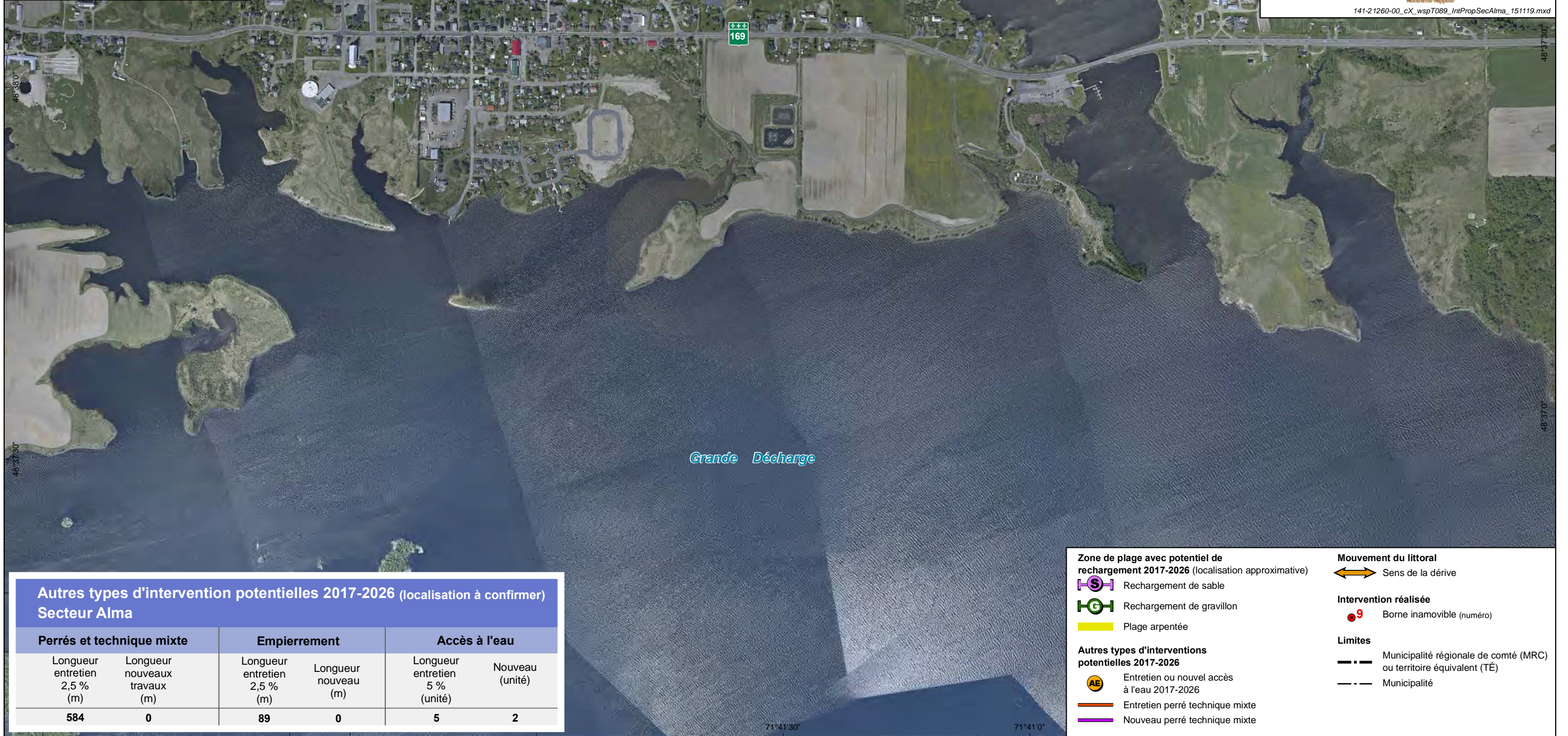
Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuille 2 de 6

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT089\_IntPropSecAlma\_151119.mxd



Grande Décharge

## Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer) Secteur Alma

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
584	0	89	0	5	2

### Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

### Autres types d'interventions potentielles 2017-2026

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

### Mouvement du littoral

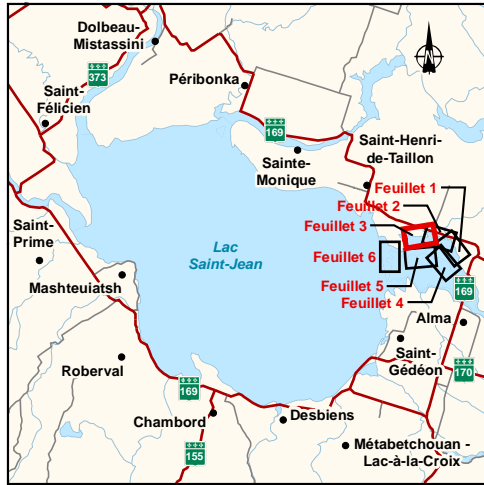
- Sens de la dérive

### Intervention réalisée

- Borne inamovible (numéro)

### Limites

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité



# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Alma

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

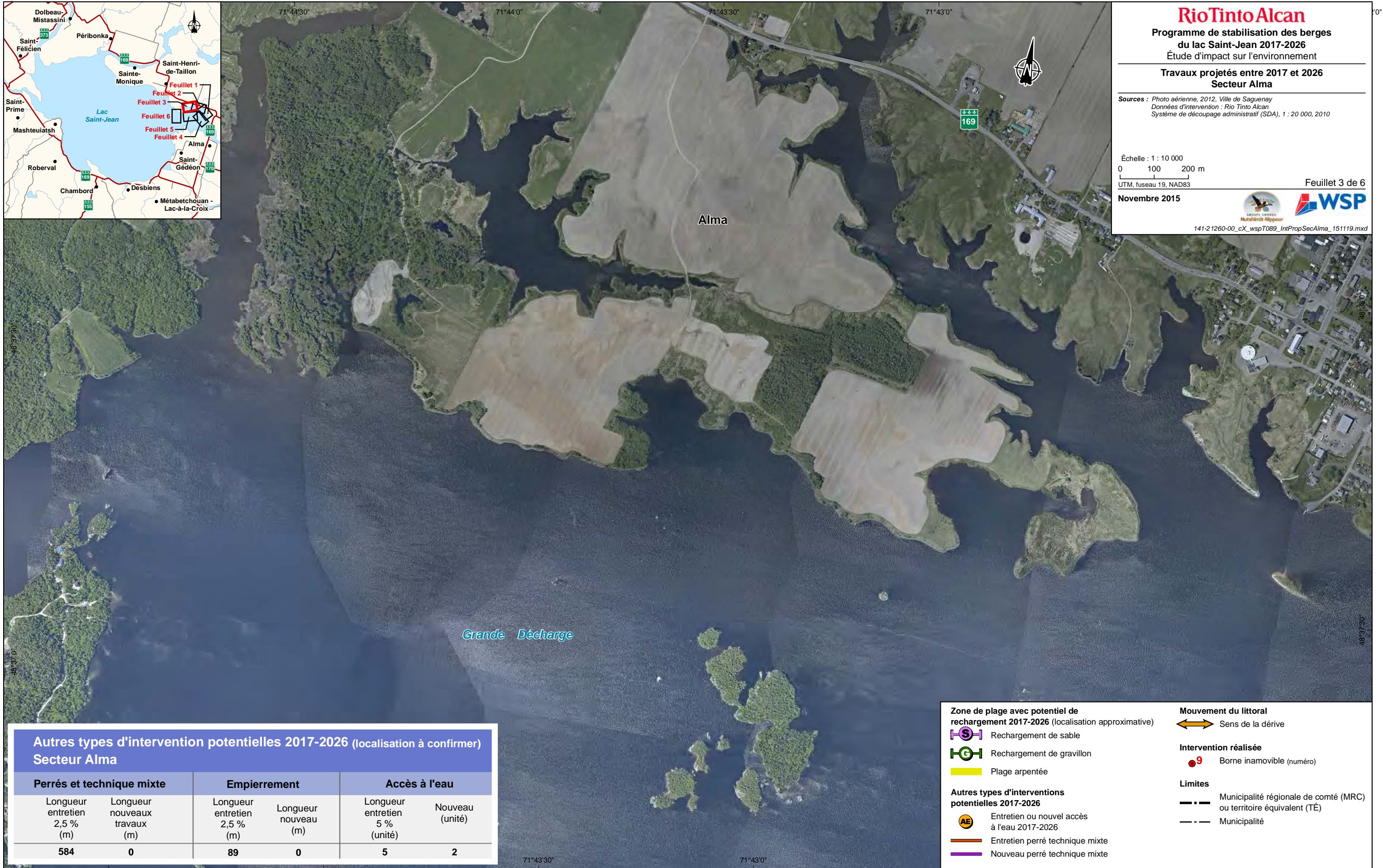
Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuillet 3 de 6

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT089\_IntPropSecAlma\_151119.mxd



## Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer) Secteur Alma

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
584	0	89	0	5	2

### Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

### Autres types d'interventions potentielles 2017-2026

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

### Mouvement du littoral

- Sens de la dérive

### Intervention réalisée

- Borne inamovible (numéro)

### Limites

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité



# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Alma

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuille 4 de 6

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT089\_IntPropSecAlma\_151119.mxd



**Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer)  
Secteur Alma**

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
584	0	89	0	5	2

**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité



# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Alma

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuille 5 de 6

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT089\_IntPropSecAlma\_151119.mxd



## Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer) Secteur Alma

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
584	0	89	0	5	2

**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité



# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Alma

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

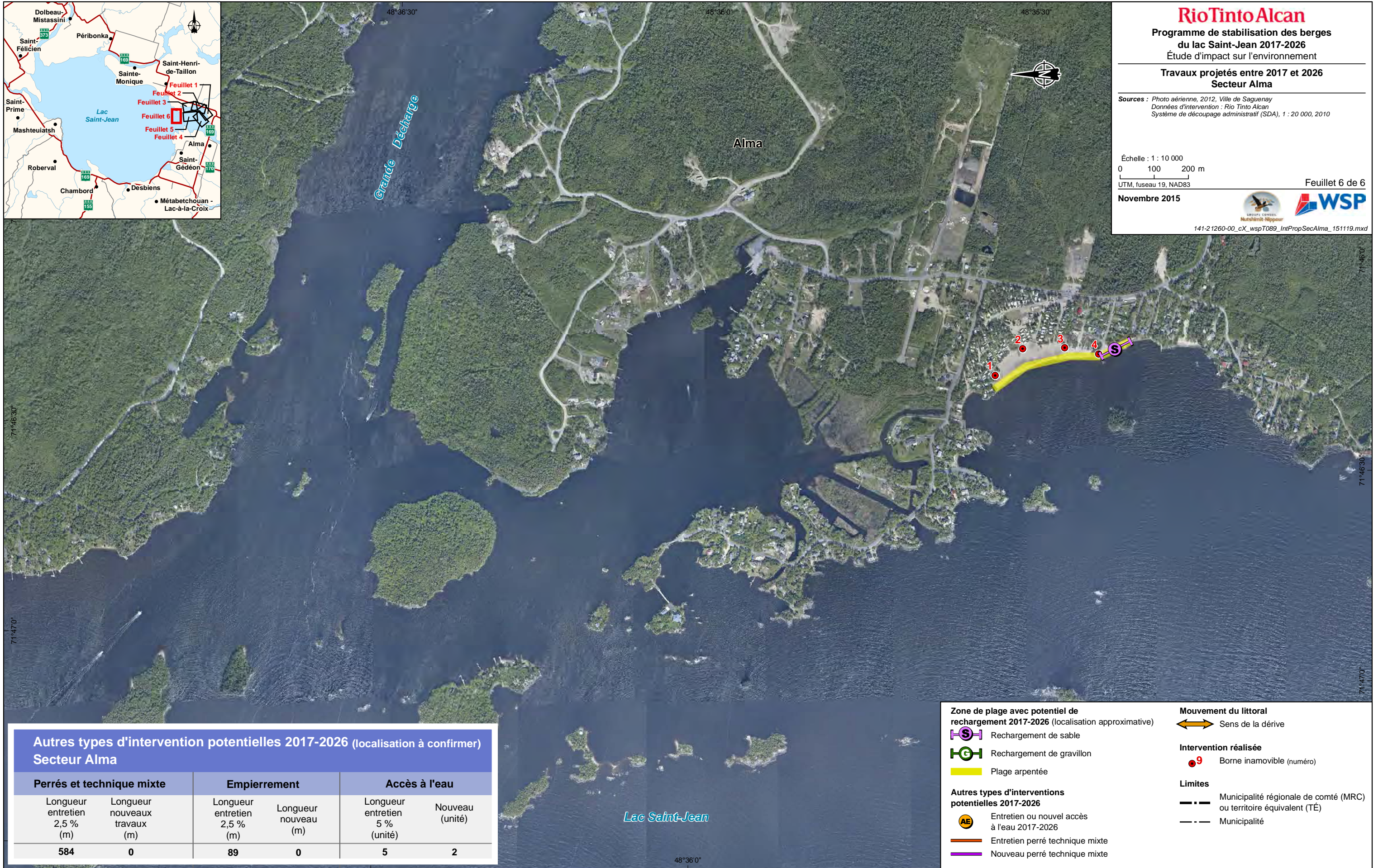
Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuillet 6 de 6

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT089\_IntPropSecAlma\_151119.mxd



## Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer) Secteur Alma

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
584	0	89	0	5	2

Zone de plage avec potentiel de recharge 2017-2026 (localisation approximative)

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

Autres types d'interventions potentielles 2017-2026

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

Mouvement du littoral

- Sens de la dérive

Intervention réalisée

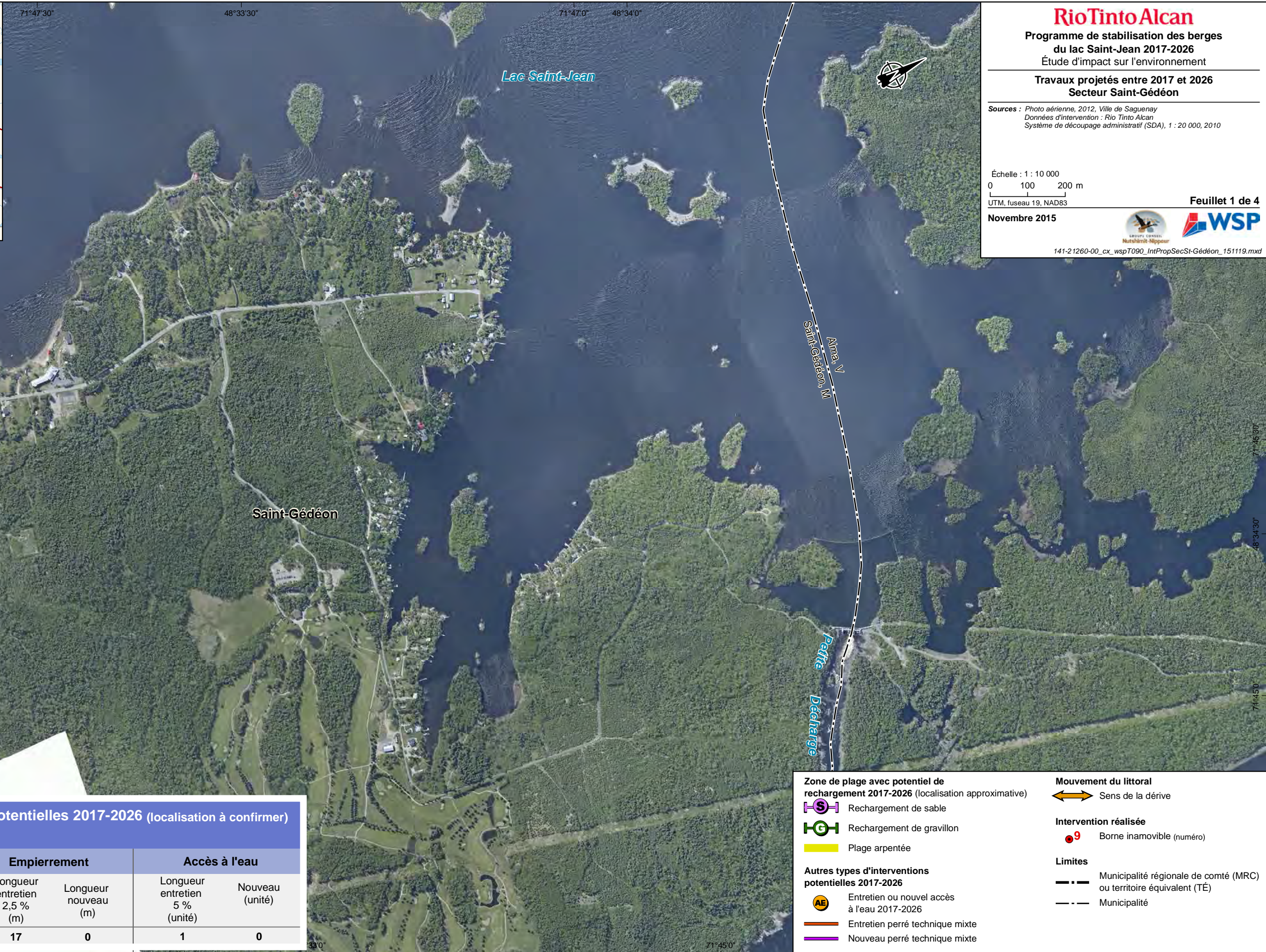
- Borne inamovible (numéro)

Limites

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité

Lac Saint-Jean

48°36'0"



# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Saint-Gédéon

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuillet 1 de 4

Novembre 2015



141-21260-00\_cx\_wspT090\_IntPropSecSt-Gédéon\_151119.mxd

**Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer)  
Secteur Saint-Gédéon**

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
127	0	17	0	1	0

**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité



48°31'0"

48°31'30"

48°32'0"

# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Saint-Gédéon

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuille 2 de 4

Novembre 2015



141-21260-00\_cx\_wspT090\_IntPropSecSt-Gédéon\_151119.mxd

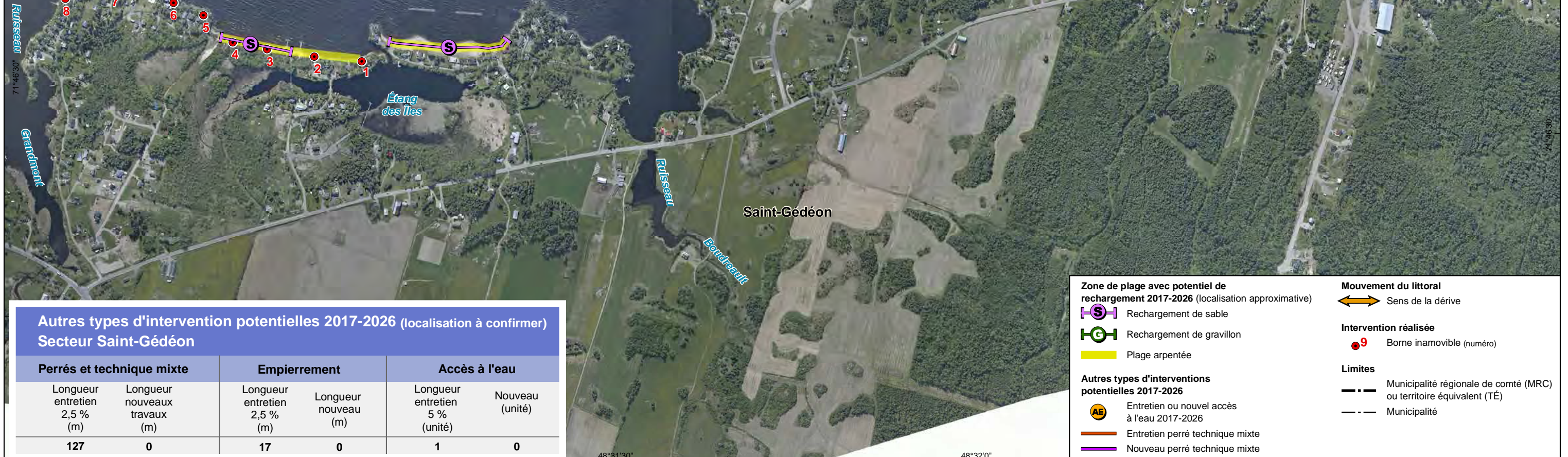
71°47'0"

71°46'30"

71°47'0"

71°46'30"

Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer) Secteur Saint-Gédéon					
Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
127	0	17	0	1	0



**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité

48°31'30"

48°32'0"





# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Saint-Gédéon

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

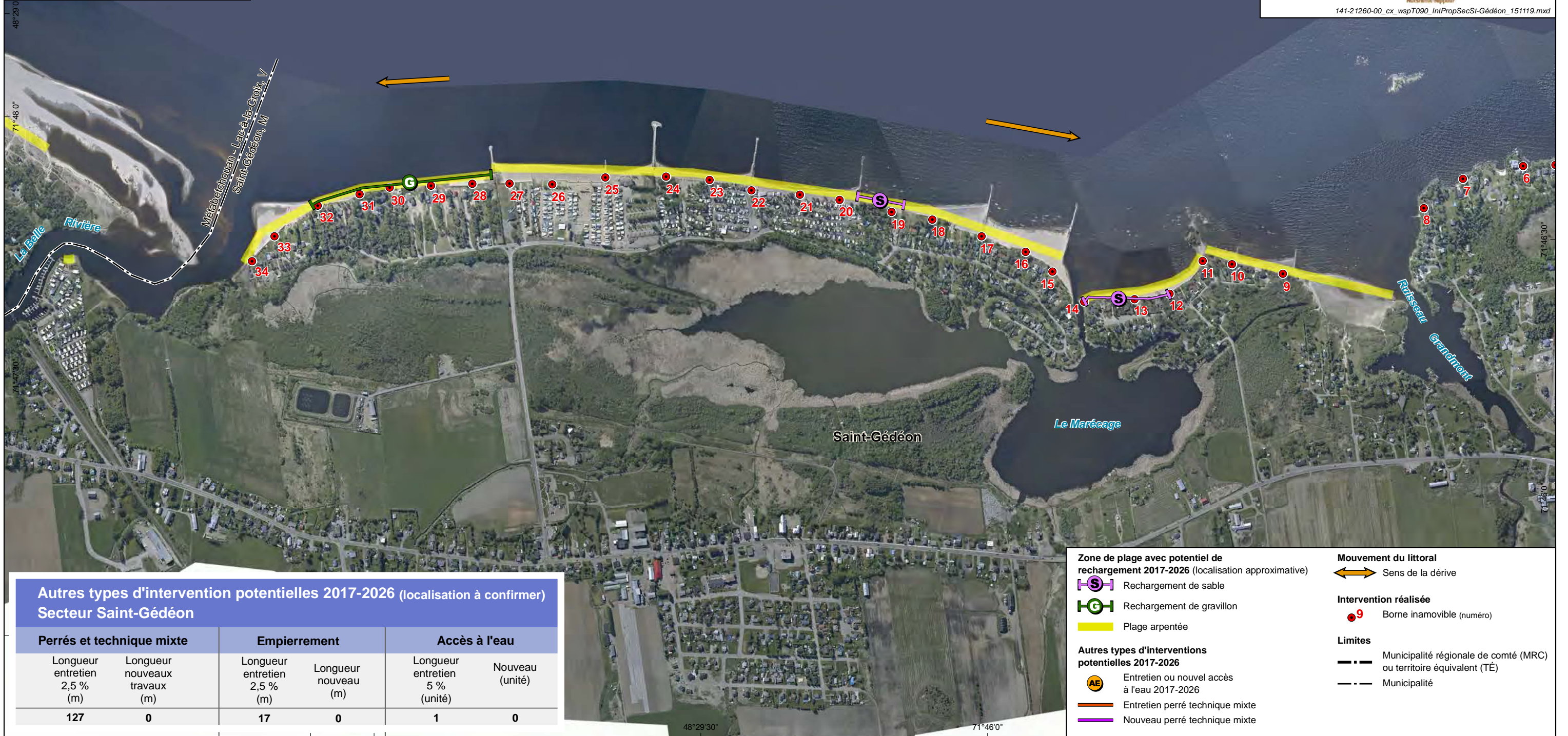
Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuillet 3 de 4

Novembre 2015



141-21260-00\_cx\_wspT090\_IntPropSecSt-Gédéon\_151119.mxd



## Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer) Secteur Saint-Gédéon

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
127	0	17	0	1	0

**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

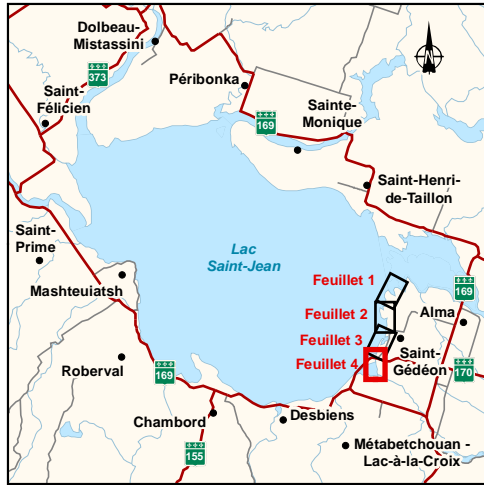
- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité



# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Saint-Gédéon

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuille 4 de 4

Novembre 2015



141-21260-00\_cx\_wspT090\_IntPropSecSt-Gédéon\_151119.mxd

## Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer) Secteur Saint-Gédéon

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
127	0	17	0	1	0

**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité

48°28'30"



# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Métabetchouan-Lac-à-la-Croix

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuille 1 de 4

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT094\_IntPropSecMetabetchouan\_151119.mxd



**Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer)  
Secteur Metabetchouan-Lac-à-la-Croix**

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
184	0	36	0	1	0

**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité



71°51'0" 48°28'0" 71°50'30" 71°50'0"



# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Métabetchouan-Lac-à-la-Croix

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuille 2 de 4

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT094\_IntPropSecMetabetchouan\_151119.mxd



**Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer)  
Secteur Metabetchouan-Lac-à-la-Croix**

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
184	0	36	0	1	0

**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité

71°49'0" 48°27'30"



71°53'0" 48°26'30" 71°52'30" 71°52'0"



# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Métabetchouan-Lac-à-la-Croix

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuillet 3 de 4

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT094\_IntPropSecMetabetchouan\_151119.mxd



### Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer) Secteur Metabetchouan-Lac-à-la-Croix

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
184	0	36	0	1	0

71°51'0" 48°26'0" 71°50'30"

**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité



71°55'0" 71°54'30" 71°54'0" 71°53'30"



# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Métabetchouan-Lac-à-la-Croix

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuillet 4 de 4

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT094\_IntPropSecMetabetchouan\_151119.mxd



## Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer) Secteur Metabetchouan-Lac-à-la-Croix

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
184	0	36	0	1	0

**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026** (localisation approximative)

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité

71°54'30" 71°54'0"



71°58'0"      71°57'30"      71°57'0"      71°56'30"



# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Desbiens

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

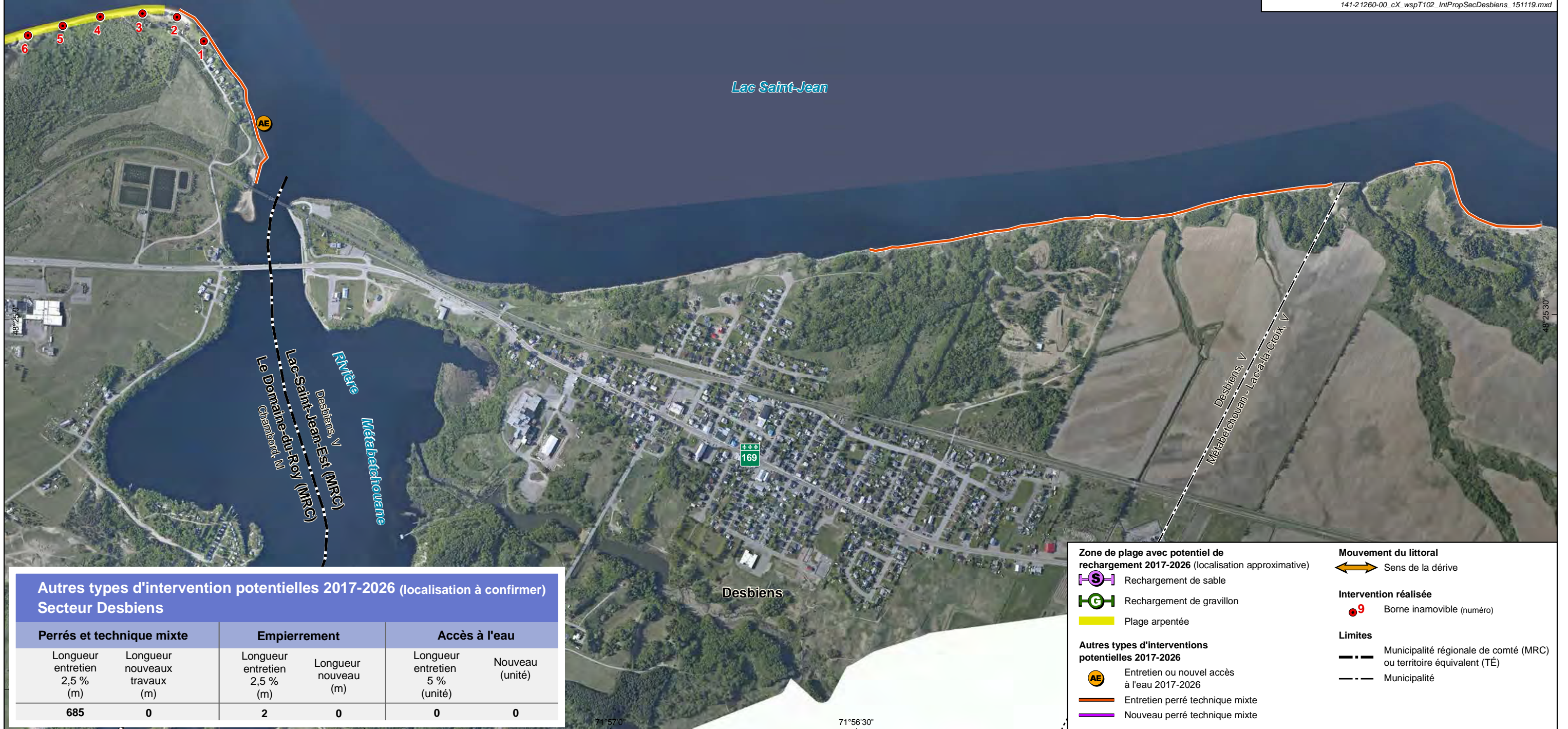
Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuillet 1 de 1

Novembre 2015



141-2.1260-00\_cX\_wspT102\_IntPropSecDesbiens\_151119.mxd



### Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer) Secteur Desbiens

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
685	0	2	0	0	0

**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

- Sens de la dérive

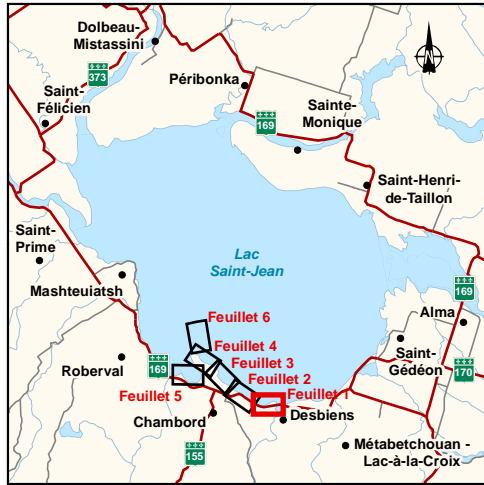
**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité

71°57'0"      71°56'30"



**Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer)**  
**Secteur Chambord**

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
1005	0	1	0	8	3

**RioTinto Alcan**  
**Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean 2017-2026**  
 Étude d'impact sur l'environnement

**Travaux projetés entre 2017 et 2026**  
**Secteur Chambord**

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
 Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
 Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 000  
 0 100 200 m  
 UTM, fuseau 19, NAD83

**Novembre 2015**

Feuille 1 de 6

141-21260-00\_cX\_wspT105\_IntPropSecChambord\_151123.mxd



**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

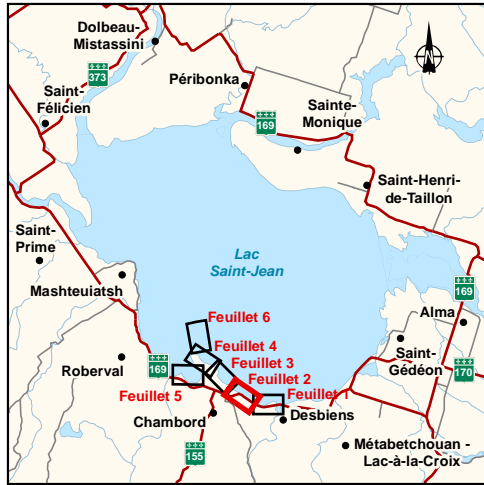
**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité

48°24'30" 72°0'30" 71°59'30" 71°59'0" 71°58'30"

48°25'30"





**Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer)  
Secteur Chambord**

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
1005	0	1	0	8	3

Lac Saint-Jean

**RioTinto Alcan**  
**Programme de stabilisation des berges  
 du lac Saint-Jean 2017-2026**  
 Étude d'impact sur l'environnement

---

**Travaux projetés entre 2017 et 2026  
 Secteur Chambord**

---

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
 Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
 Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

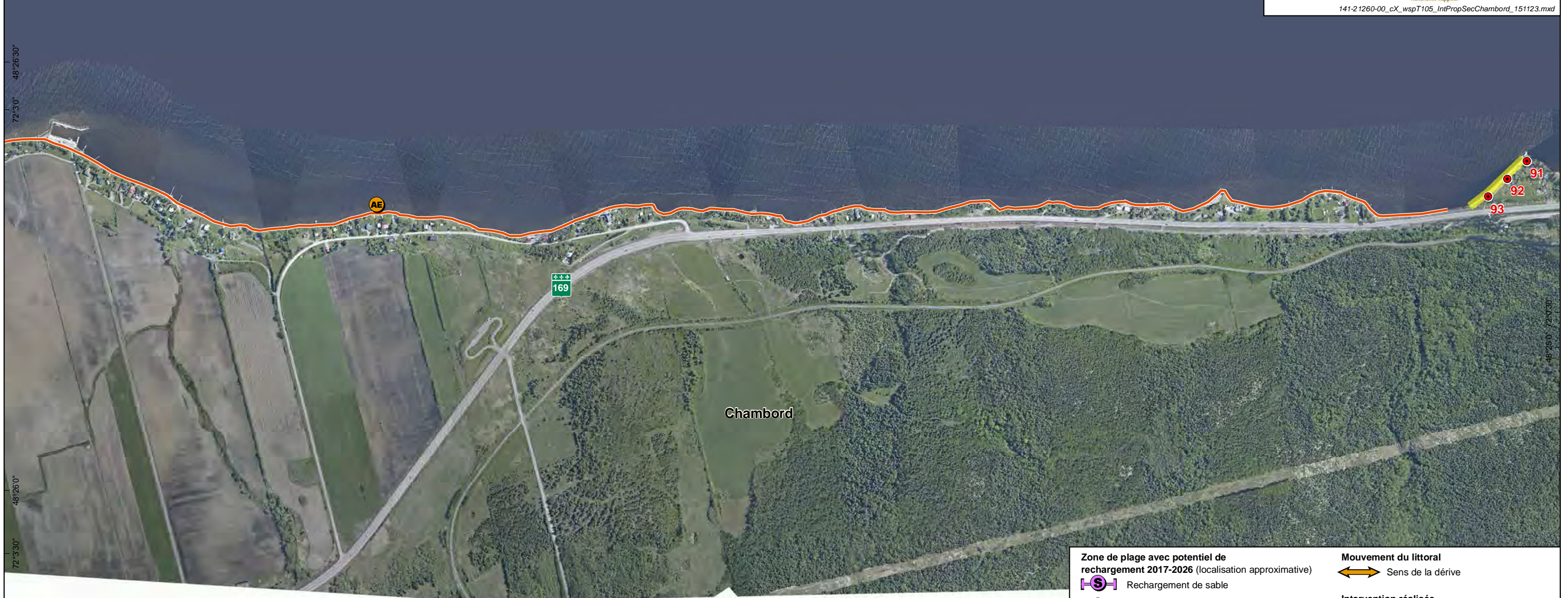
---

Échelle : 1 : 10 000  
 0 100 200 m  
 UTM, fuseau 19, NAD83

Novembre 2015

Feuille 2 de 6

141-21260-00\_cX\_wspT105\_IntPropSecChambord\_151123.mxd



**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

- Sens de la dérive

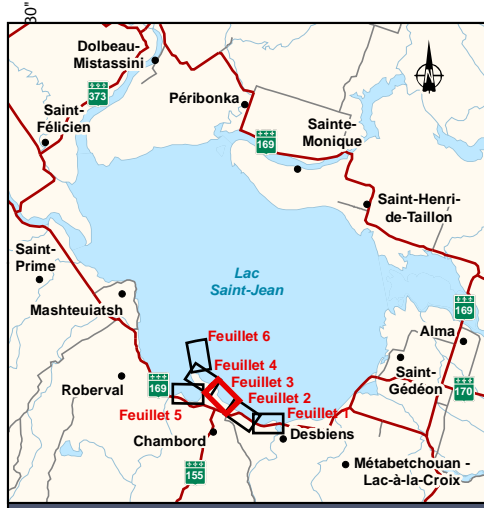
**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité

72°3'30" 48°25'30" 72°3'0" 72°2'30" 72°2'0"



**Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer)  
Secteur Chambord**

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
1005	0	1	0	8	3

**RioTinto Alcan**

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement  
Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Chambord

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuille 3 de 6

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT105\_IntPropSecChambord\_151123.mxd

Lac Saint-Jean



**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

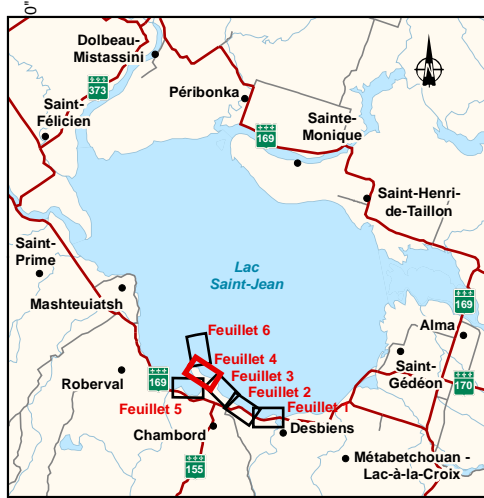
- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité



### Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer) Secteur Chambord

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
1005	0	1	0	8	3

## RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Chambord

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuillet 4 de 6

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT105\_IntPropSecChambord\_151123.mxd



#### Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

#### Autres types d'interventions potentielles 2017-2026

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

#### Mouvement du littoral

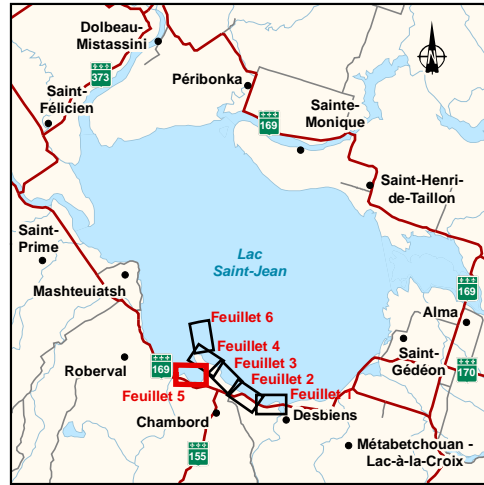
- Sens de la dérive

#### Intervention réalisée

- Borne inamovible (numéro)

#### Limites

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité



**Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer)  
Secteur Chambord**

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
1005	0	1	0	8	3

**RioTinto Alcan**

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Chambord

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

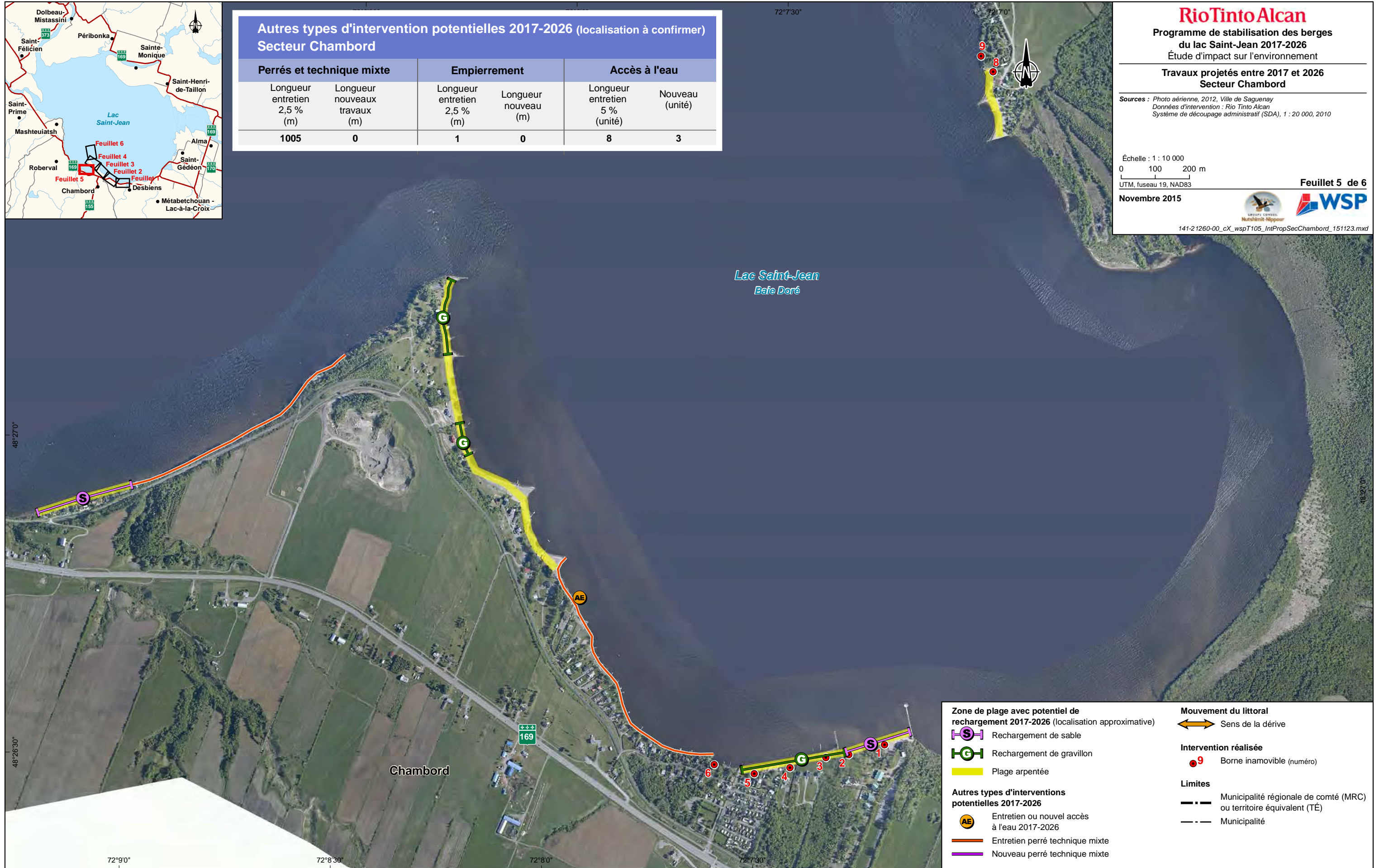
Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuillet 5 de 6

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT105\_IntPropSecChambord\_151123.mxd



**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

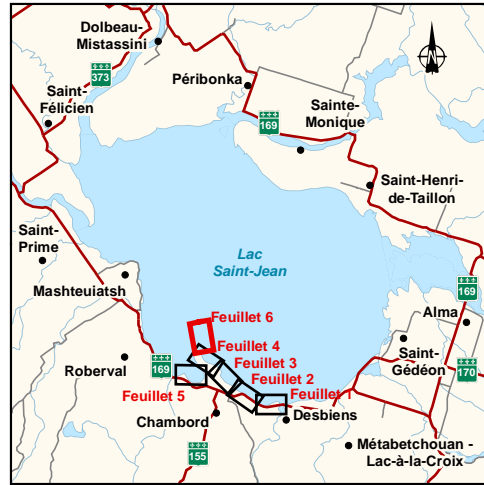
- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité



### Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer) Secteur Chambord

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
1005	0	1	0	8	3

48°29'30"



## RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Chambord

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

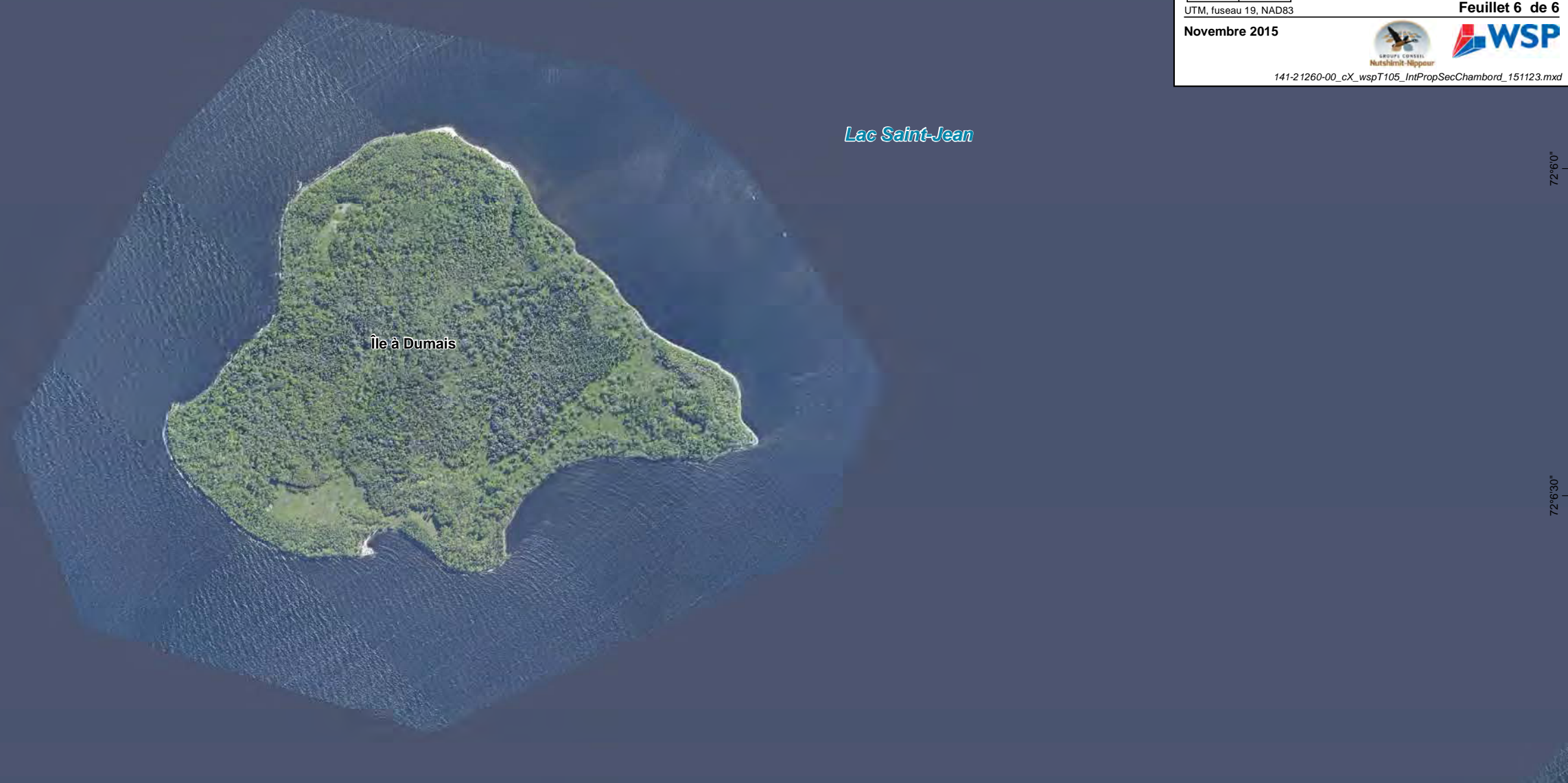
Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuillet 6 de 6

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT105\_IntPropSecChambord\_151123.mxd



Lac Saint-Jean

Île à Dumais

72°7'0"

72°7'30"

72°8'0"

48°30'30"

48°30'0"

48°29'30"

72°6'0"

72°6'30"

**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité



48°29'0" 72°11'0" 48°28'30" 72°10'30" 48°28'0"



# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Roberval

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuillet 1 de 4

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT101\_IntPropSecRoberval\_151119.mxd

Lac Saint-Jean



72°12'0"  
72°12'30"  
48°29'0"

72°10'30"  
72°11'0"

Roberval

48°28'0" 72°12'30"

## Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer) Secteur Roberval

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
307	400	0	0	5	2

**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité



48°30'30"

48°30'0"

# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Roberval

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

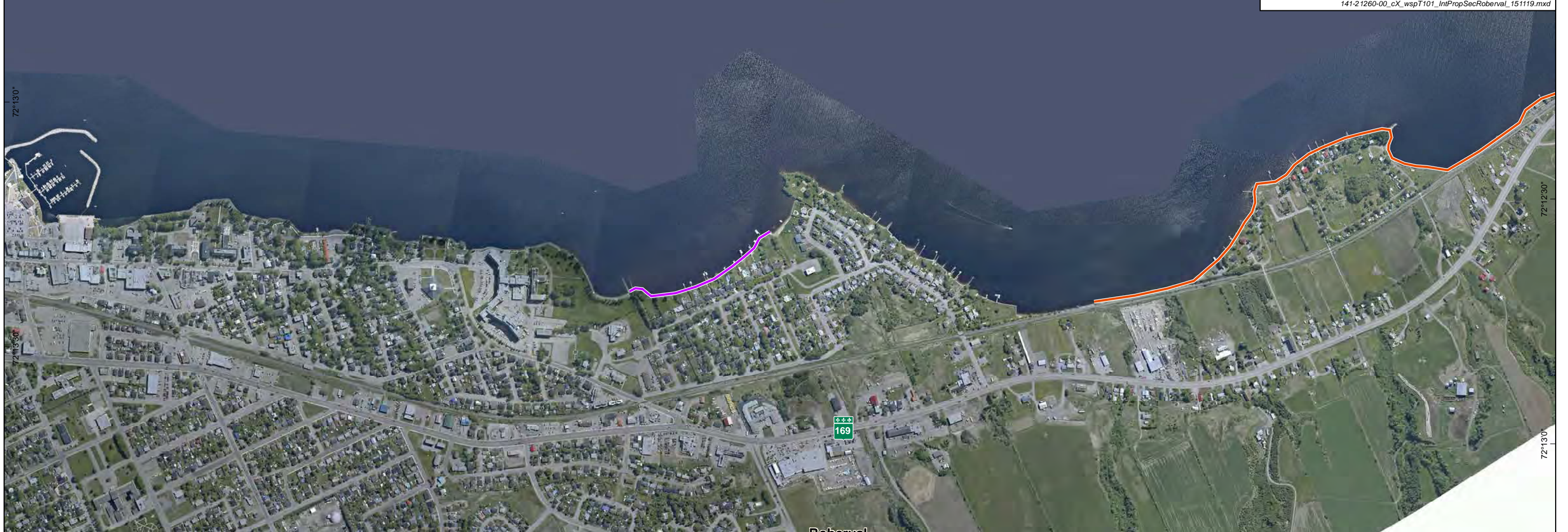
Feuille 2 de 4

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT101\_IntPropSecRoberval\_151119.mxd

Lac Saint-Jean



72°13'0"

72°13'0"

72°12'30"

72°13'0"

Roberval

169

## Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer) Secteur Roberval

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
307	400	0	0	5	2

Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

Autres types d'interventions potentielles 2017-2026

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

Mouvement du littoral

- Sens de la dérive

Intervention réalisée

- Borne inamovible (numéro)

Limites

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité



48°32'30"

48°32'0"

48°31'30"



# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Roberval

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuillet 3 de 4

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT101\_IntPropSecRoberval\_151119.mxd



72°13'0"

72°13'30"

72°14'0"

72°13'0"

72°13'30"

72°13'0"

48°32'0"

## Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer) Secteur Roberval

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
307	400	0	0	5	2

Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

Autres types d'interventions potentielles 2017-2026

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

Mouvement du littoral

Sens de la dérive

Intervention réalisée

Borne inamovible (numéro)

Limites

Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)  
 Municipalité





48°31'0"

48°30'30"

48°30'0"



# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Roberval

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuillet 4 de 4

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT101\_IntPropSecRoberval\_151119.mxd

Lac Saint-Jean

Île aux Couleuvres

72°10'30"

72°11'0"

72°10'0"

72°10'30"

## Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer) Secteur Roberval

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
307	400	0	0	5	2

### Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

### Autres types d'interventions potentielles 2017-2026

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

### Mouvement du littoral

- Sens de la dérive

### Intervention réalisée

- Borne inamovible (numéro)

### Limites

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité

48°30'30"

48°30'0"



### Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer) Secteur Mashteuiatsh

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
83	300	0	0	1	0

72°12'30" 48°34'0"



**RioTinto Alcan**

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Mashteuiatsh

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuille 1 de 2

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT097\_IntPropSecMashteuiatsh\_151119.mxd

Lac Saint-Jean



72°14'0"

72°13'0"

72°14'30"

72°13'30"

72°15'0"

72°15'0"

48°34'30"

48°34'0"

72°14'30"

**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité



**Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer)  
Secteur Mashteuiatsh**

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
83	300	0	0	1	0

**RioTinto Alcan**

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Mashteuiatsh

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

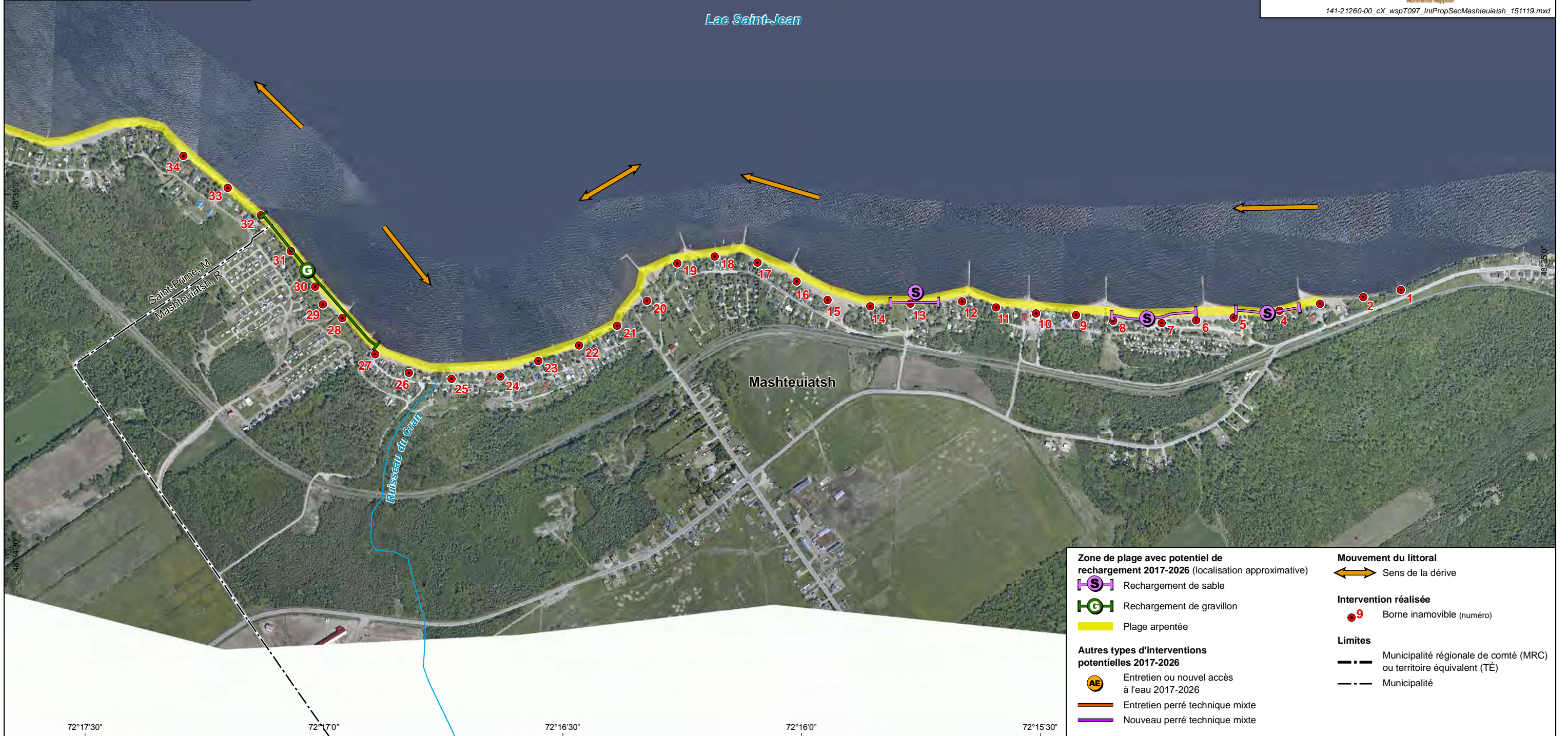
Feuille 2 de 2

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT097\_IntPropSecMashteuiatsh\_151119.mxd

Lac Saint-Jean



**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité

72°17'30"

72°17'0"

72°16'30"

72°16'0"

72°15'30"



72°18'30" 72°18'0" 48°36'0" 72°17'30"

Lac Saint-Jean



# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Saint-Prime

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

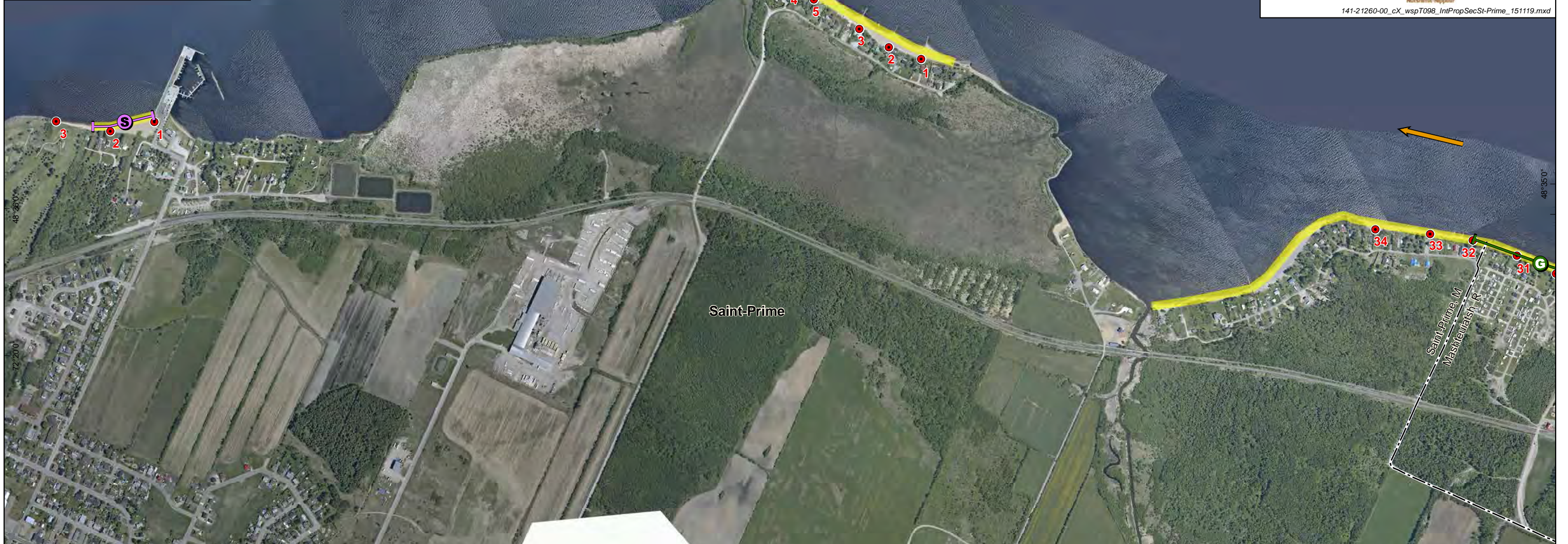
Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuille 1 de 2

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT098\_IntPropSecSt-Prime\_151119.mxd



### Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer) Secteur Saint-Prime

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
200	0	0	0	2	1

**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité

72°19'0" 72°18'30"



**RioTinto Alcan**  
**Programme de stabilisation des berges**  
**du lac Saint-Jean 2017-2026**  
 Étude d'impact sur l'environnement

---

**Travaux projetés entre 2017 et 2026**  
**Secteur Saint-Prime**

---

*Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
 Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
 Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010*

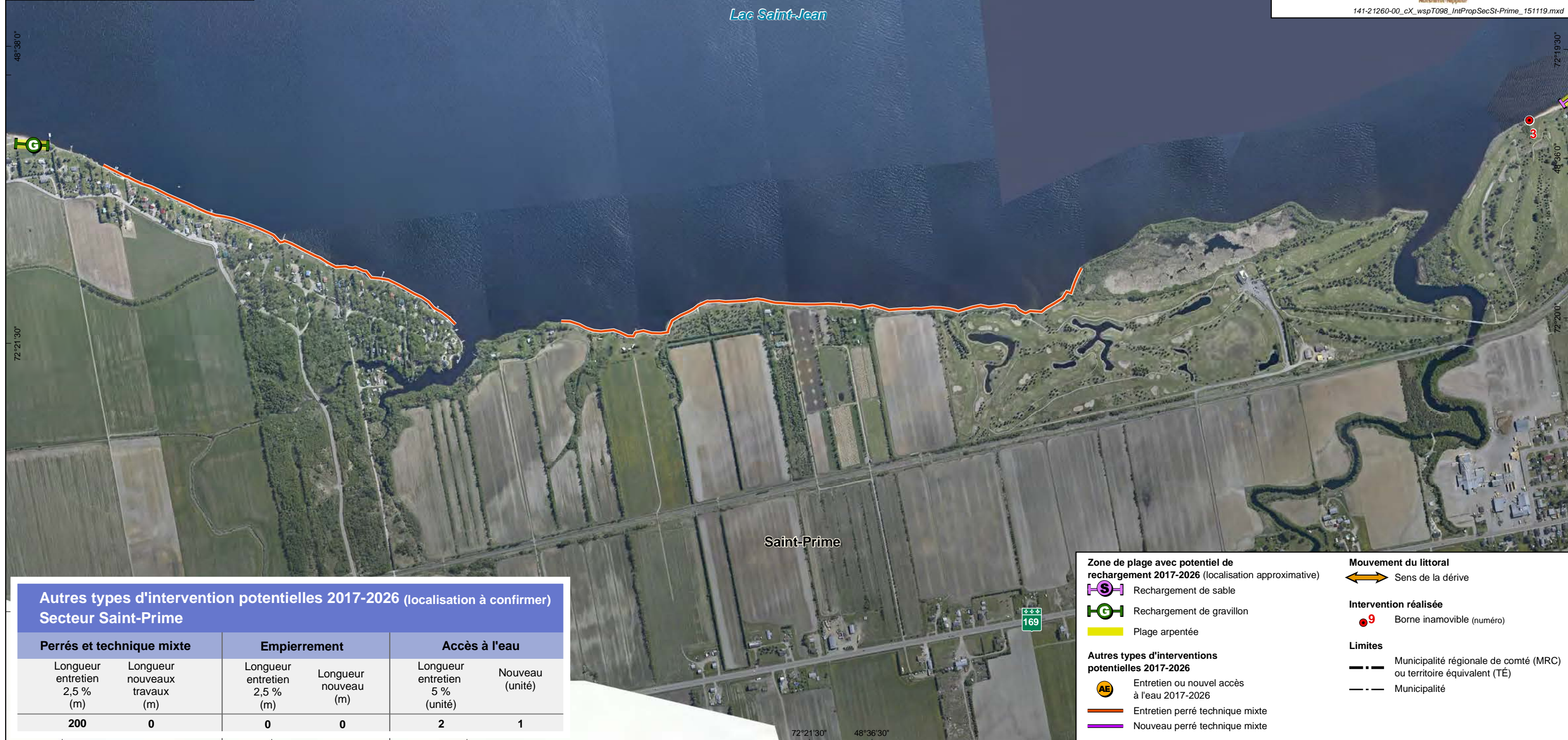
---

Échelle : 1 : 10 000  
 0 100 200 m  
 UTM, fuseau 19, NAD83

Feuille 2 de 2

Novembre 2015

141-21260-00\_cX\_wspT098\_IntPropSecSt-Prime\_151119.mxd



**Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer)**  
**Secteur Saint-Prime**

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
200	0	0	0	2	1

**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

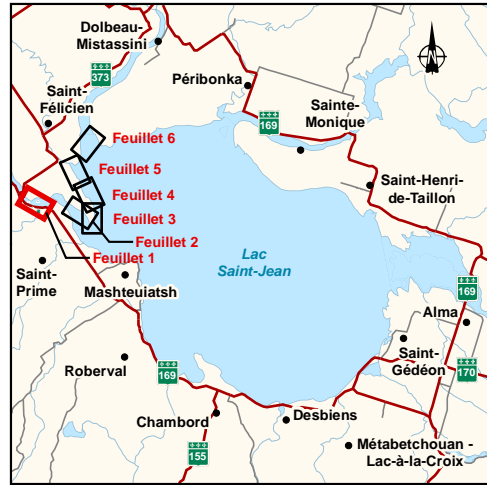
- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité



**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité

# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Saint-Félicien

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuillet 1 de 6

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT091\_IntPropSecSt\_Felicien\_151123.mxd



**Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer) Secteur Saint-Félicien**

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
430	0	38	0	4	2



**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité

**RioTinto Alcan**  
**Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean 2017-2026**  
 Étude d'impact sur l'environnement

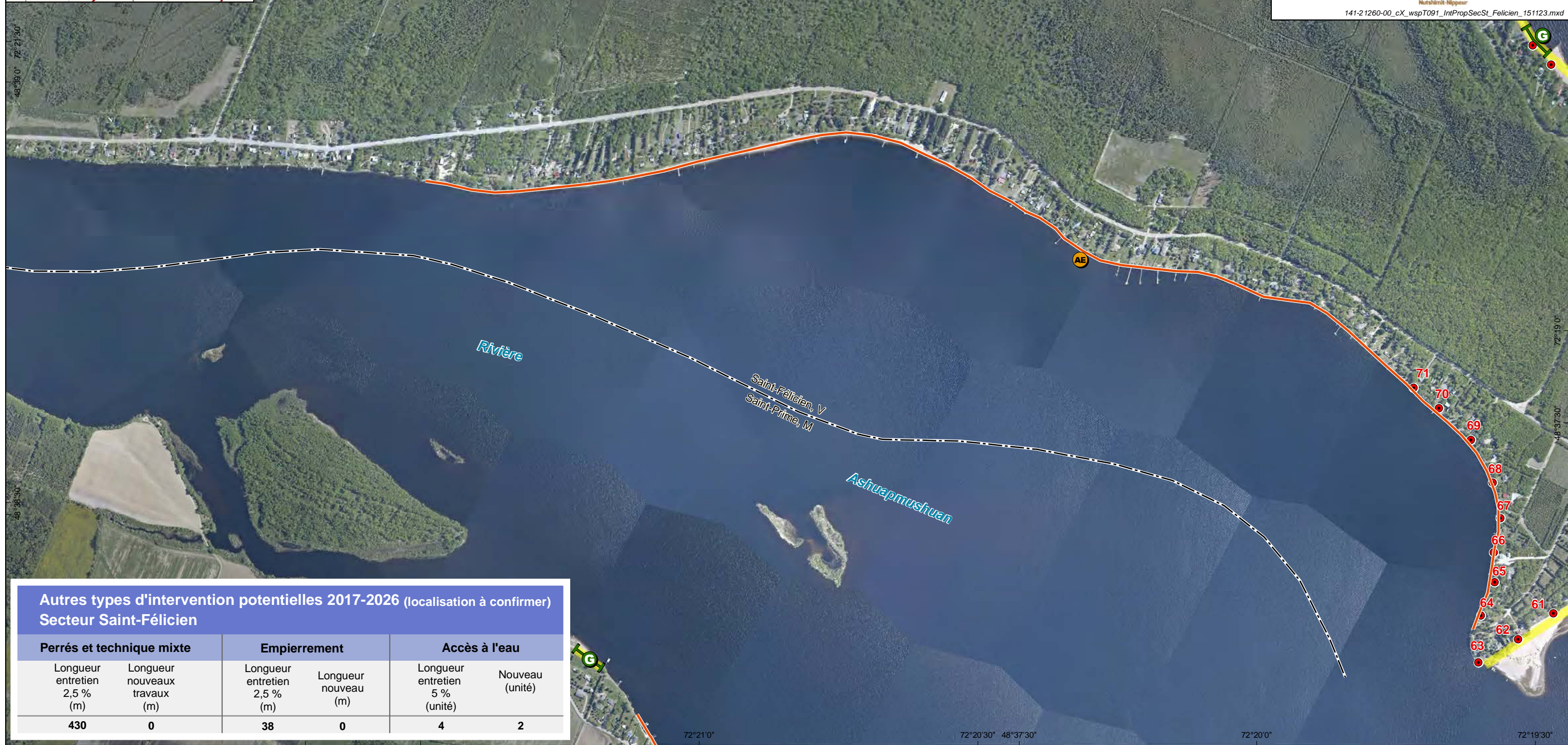
**Travaux projetés entre 2017 et 2026**  
**Secteur Saint-Félicien**

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
 Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
 Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 000  
 0 100 200 m  
 UTM, fuseau 19, NAD83

Feuillet 2 de 6  
 Novembre 2015

141-21260-00\_cX\_wspT091\_IntPropSecSt\_Felicien\_151123.mxd



**Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer)**  
**Secteur Saint-Félicien**

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
430	0	38	0	4	2



**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité

**RioTinto Alcan**  
**Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean 2017-2026**  
 Étude d'impact sur l'environnement

**Travaux projetés entre 2017 et 2026**  
**Secteur Saint-Félicien**

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
 Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
 Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 000  
 0 100 200 m  
 UTM, fuseau 19, NAD83

Novembre 2015

141-21260-00\_cX\_wspT091\_IntPropSecSt\_Felicien\_151123.mxd



**Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer)**  
**Secteur Saint-Félicien**

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
430	0	38	0	4	2





**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité

**RioTinto Alcan**  
**Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean 2017-2026**  
 Étude d'impact sur l'environnement

**Travaux projetés entre 2017 et 2026**  
**Secteur Saint-Félicien**

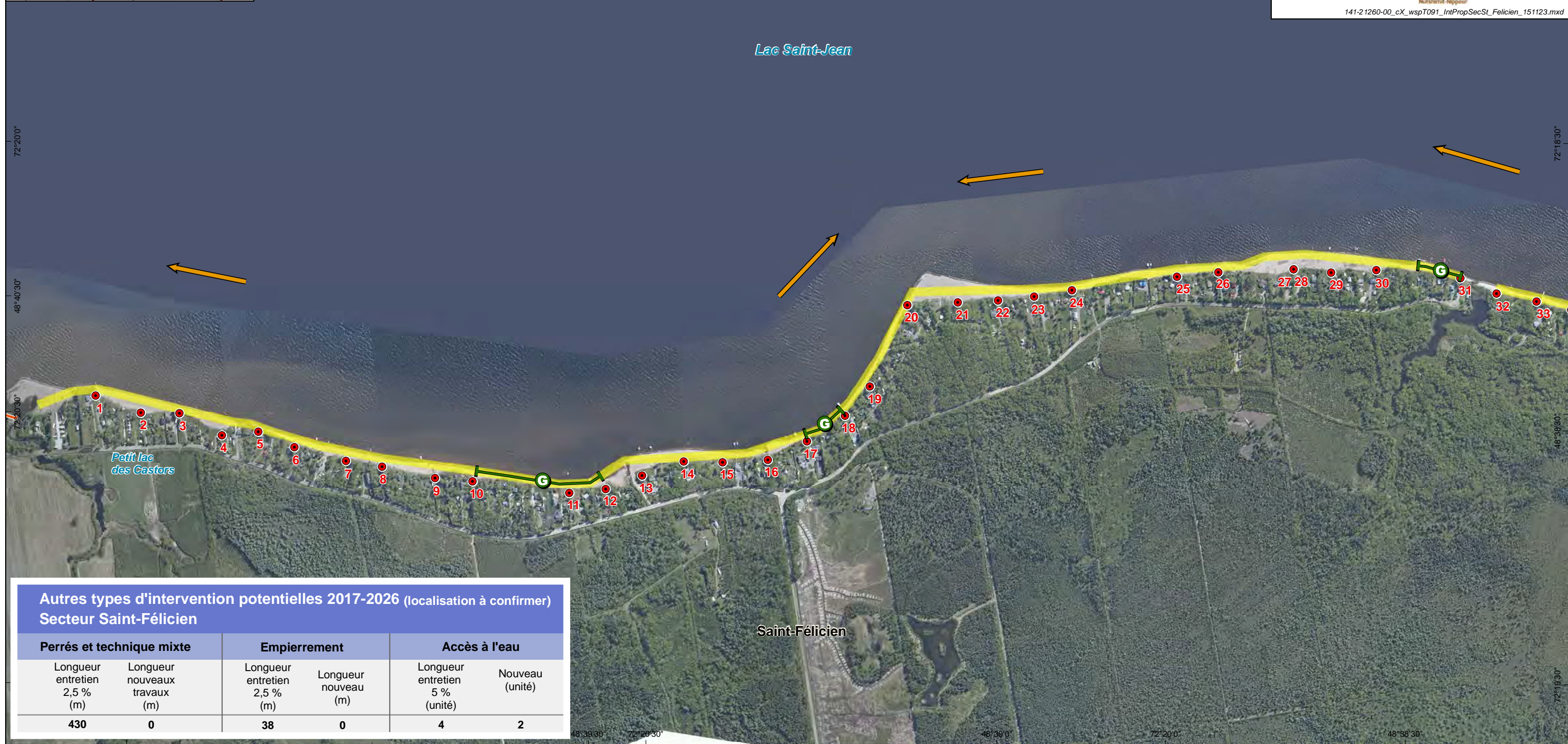
Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
 Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
 Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 000  
 0 100 200 m  
 UTM, fuseau 19, NAD83

Novembre 2015

Feuillet 4 de 6

141-21260-00\_cX\_wspT091\_IntPropSecSt\_Felicien\_151123.mxd



**Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer)**  
**Secteur Saint-Félicien**

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
430	0	38	0	4	2



**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité

72°20'0"

48°41'0"



**RioTinto Alcan**

Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Saint-Félicien

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

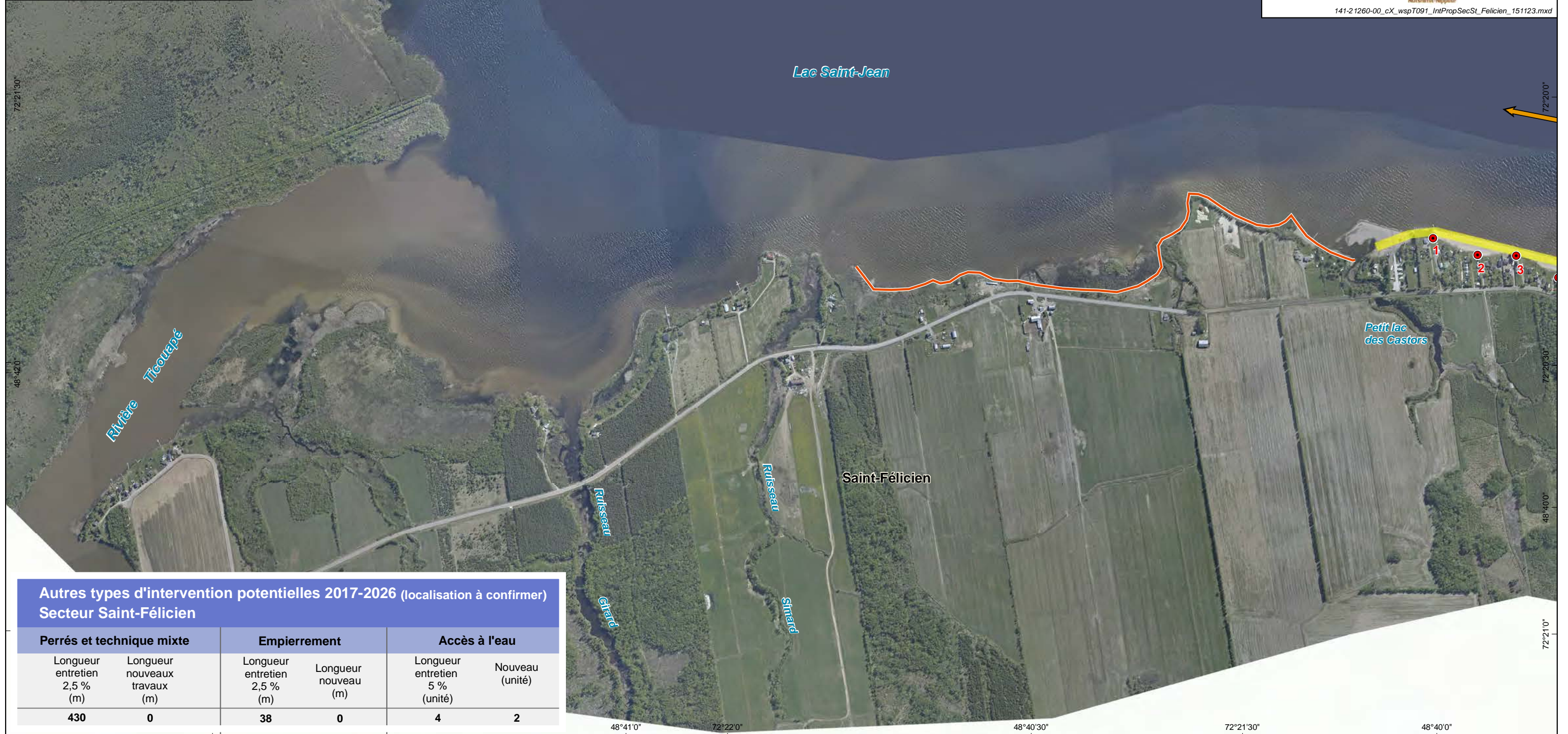
Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuillet 5 de 6

Novembre 2015

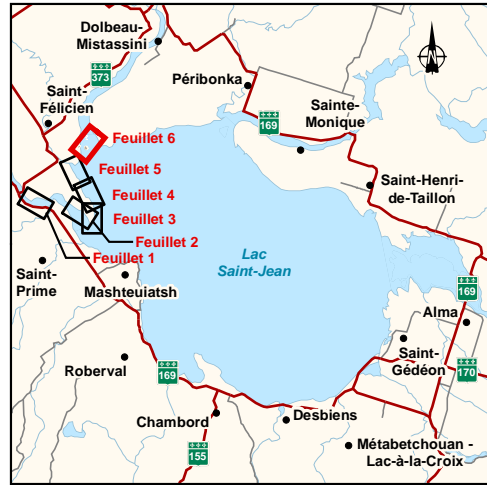


141-21260-00\_cX\_wspT091\_IntPropSecSt\_Felicien\_151123.mxd



**Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer) Secteur Saint-Félicien**

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
430	0	38	0	4	2



**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité



**RioTinto Alcan**

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Saint-Félicien

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 120  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuille 6 de 6

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT091\_IntPropSecSt\_Felicien\_151123.mxd

**Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer)  
Secteur Saint-Félicien**

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
430	0	38	0	4	2



48°44'30" 72°14'30" 72°14'0" 72°13'30" 72°13'0"

**RioTinto Alcan**  
**Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean 2017-2026**  
 Étude d'impact sur l'environnement

**Travaux projetés entre 2017 et 2026**  
**Secteur Dolbeau-Mistassini**

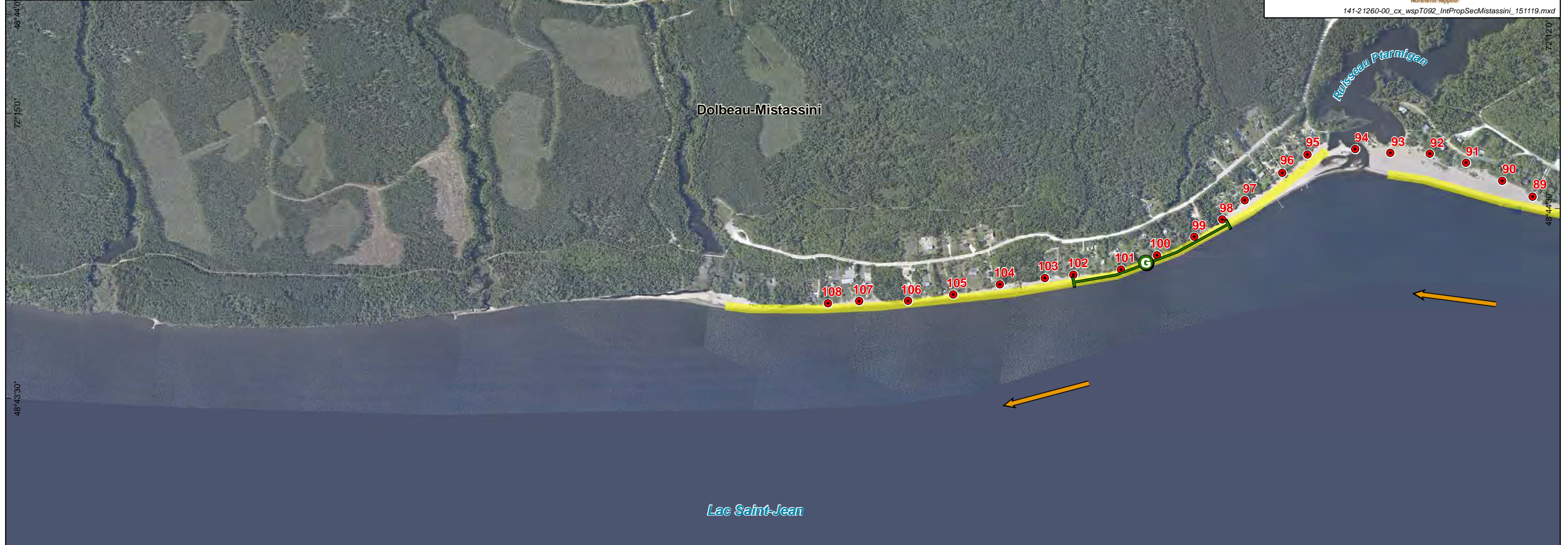
Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
 Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
 Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 000  
 0 100 200 m  
 UTM, fuseau 19, NAD83

Novembre 2015

Feuille 1 de 4

141-2 1260-00\_cx\_wspT092\_IntPropSecMistassini\_151119.mxd



**Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer)**  
**Secteur Dolbeau-Mistassini**

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
66	0	0	0	1	0

**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité

72°13'0" 48°43'30" 72°12'30"



72°12'0" 72°11'30" 72°11'0" 72°10'30"

# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Dolbeau-Mistassini

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

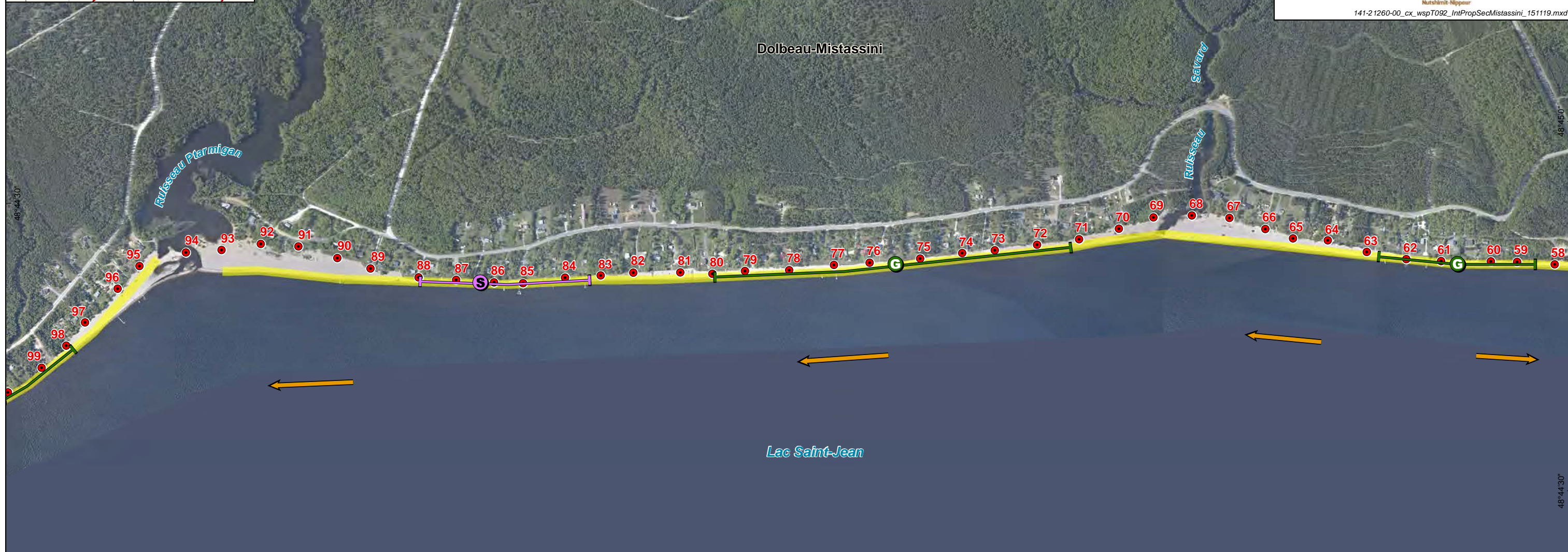
Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuille 2 de 4

Novembre 2015



141-21260-00\_cx\_wspT092\_IntPropSecMistassini\_151119.mxd



**Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer)  
Secteur Dolbeau-Mistassini**

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
66	0	0	0	1	0

**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité

72°12'0" 72°11'0" 72°10'30" 48°44'30" 48°44'30"



72°9'30" 72°9'0" 72°8'30" 72°8'0"



# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Dolbeau-Mistassini

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuillet 3 de 4

Novembre 2015



141-21260-00\_cx\_wspT092\_IntPropSecMistassini\_151119.mxd



Lac Saint-Jean

## Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer) Secteur Dolbeau-Mistassini

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
66	0	0	0	1	0

Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

Autres types d'interventions potentielles 2017-2026

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

Mouvement du littoral

- Sens de la dérive

Intervention réalisée

- Borne inamovible (numéro)

Limites

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité

72°8'30"

72°8'0"

44'30"



# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Dolbeau-Mistassini

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

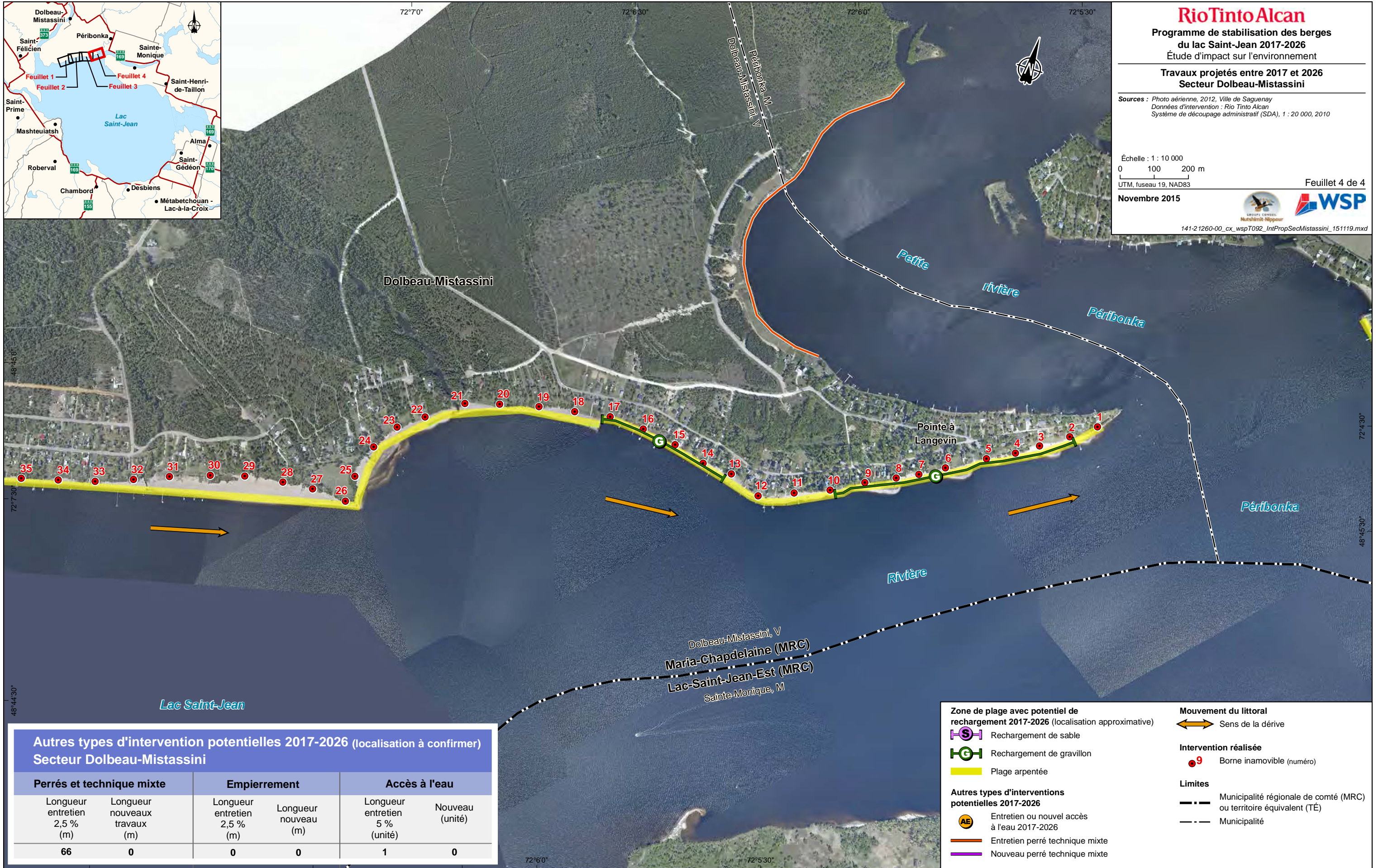
Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuillet 4 de 4

Novembre 2015



141-21260-00\_cx\_wspT092\_IntPropSecMistassini\_151119.mxd



**Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer)  
Secteur Dolbeau-Mistassini**

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
66	0	0	0	1	0

**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

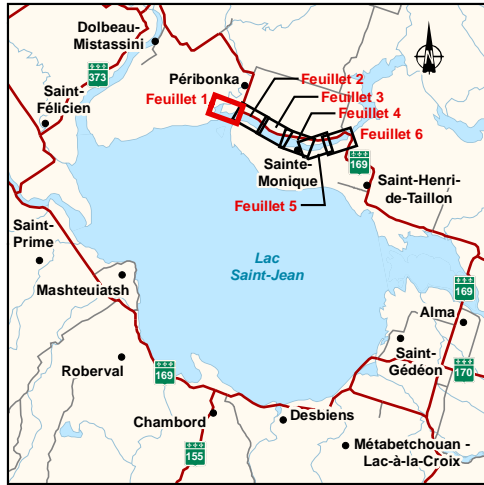
- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité



# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Péribonka

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

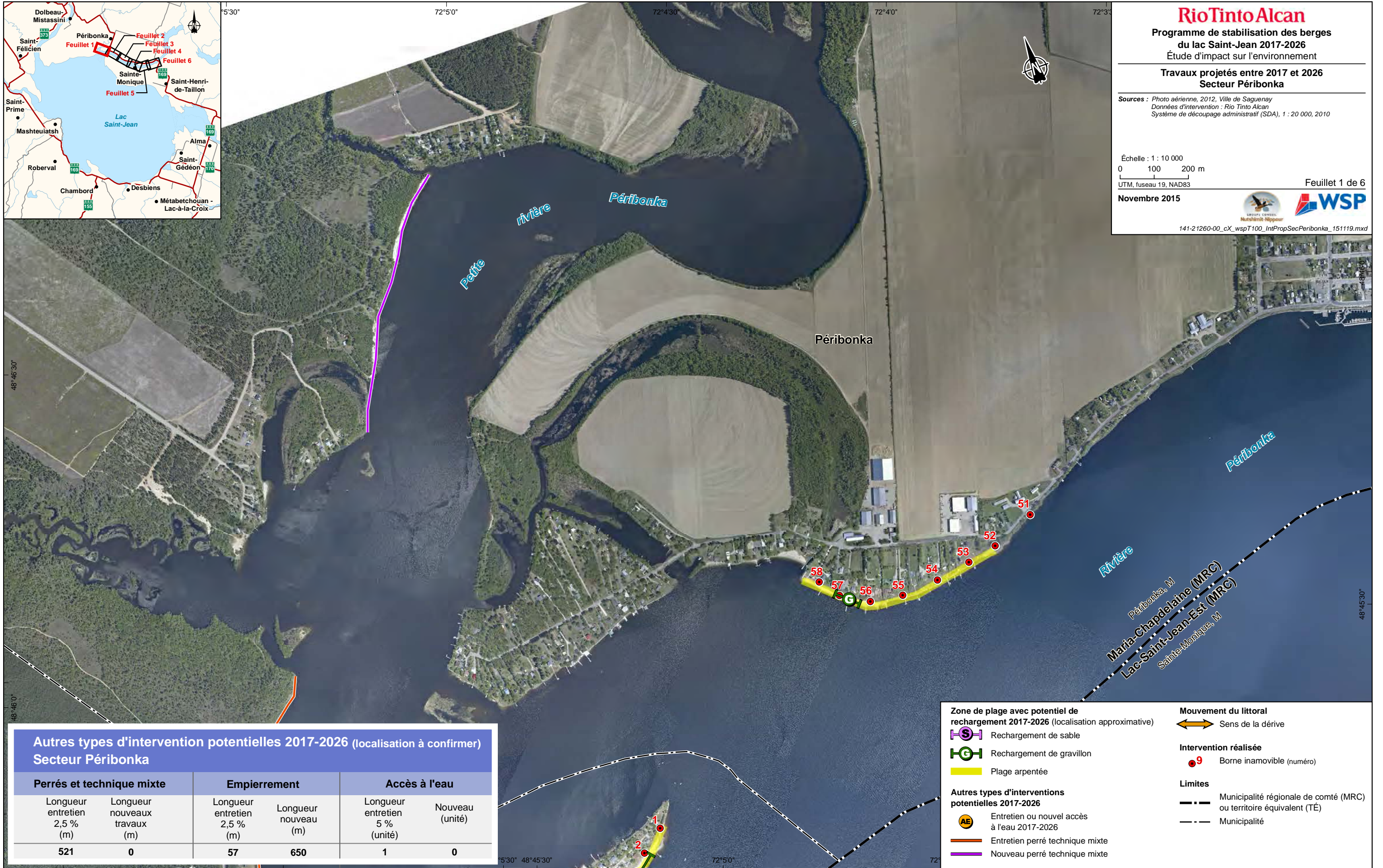
Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuille 1 de 6

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT100\_IntPropSecPéribonka\_151119.mxd



## Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer) Secteur Péribonka

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
521	0	57	650	1	0

### Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

### Autres types d'interventions potentielles 2017-2026

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

### Mouvement du littoral

- Sens de la dérive

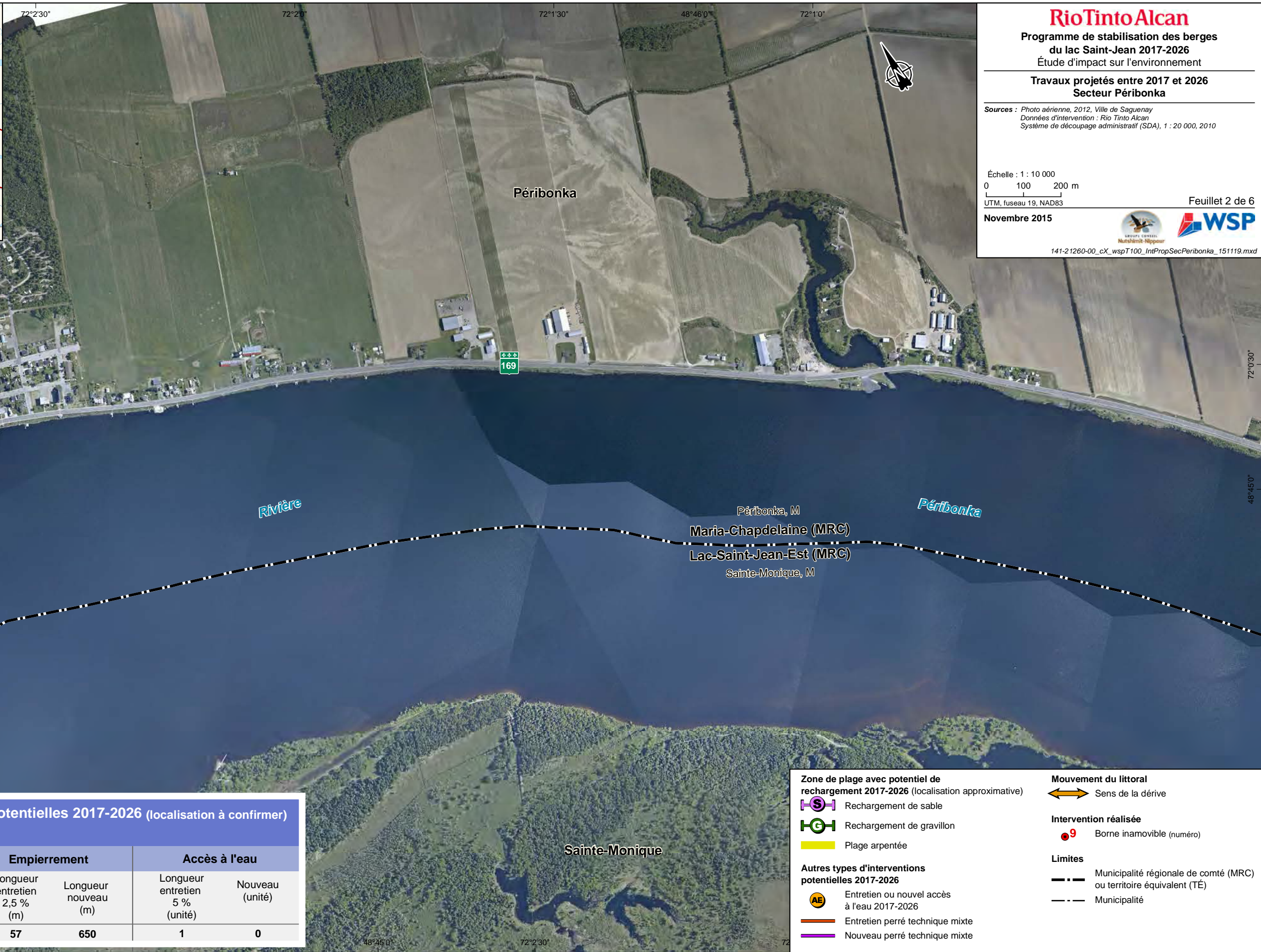
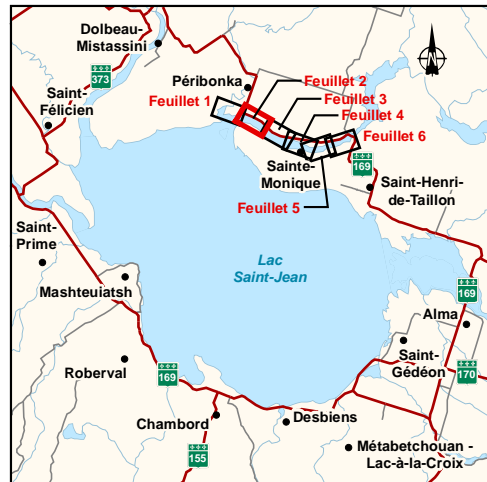
### Intervention réalisée

- Borne inamovible (numéro)

### Limites

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité





# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Péribonka

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuille 2 de 6

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT100\_IntPropSecPeribonka\_151119.mxd

## Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer) Secteur Péribonka

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
521	0	57	650	1	0

Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

Autres types d'interventions potentielles 2017-2026

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

Mouvement du littoral

- Sens de la dérive

Intervention réalisée

- Borne inamovible (numéro)

Limites

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité



48°45'30" 71°59'30" 71°58'30" 48°45'0"

# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Péribonka

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuille 3 de 6

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT100\_IntPropSecPeribonka\_151119.mxd



**Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer)  
Secteur Péribonka**

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
521	0	57	650	1	0

**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité

72°0'0" 48°44'0" 71°59'30"



# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Péribonka

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

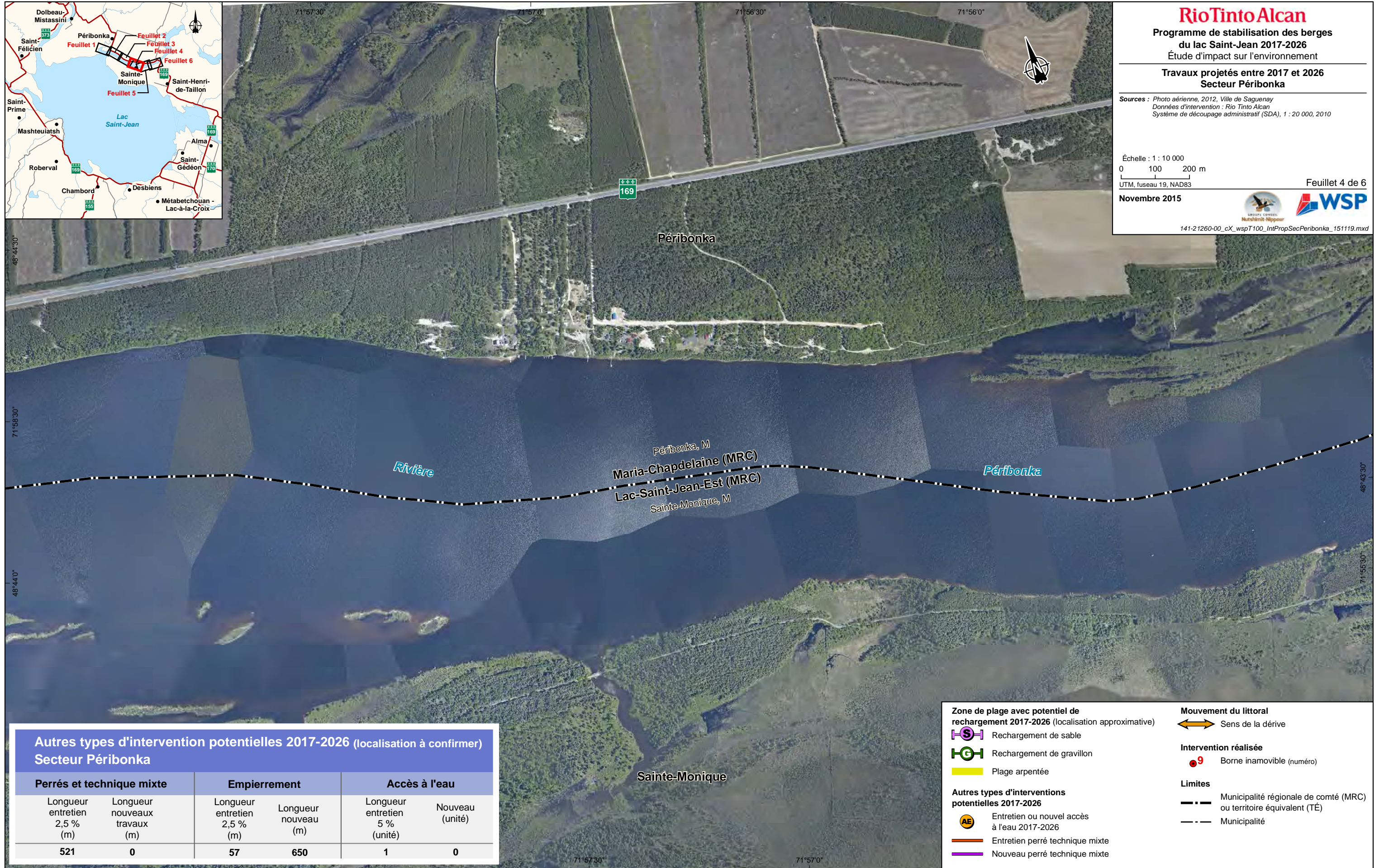
Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuillet 4 de 6

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT100\_IntPropSecPeribonka\_151119.mxd



**Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer)  
Secteur Péribonka**

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
521	0	57	650	1	0

**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité



# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Péribonka

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

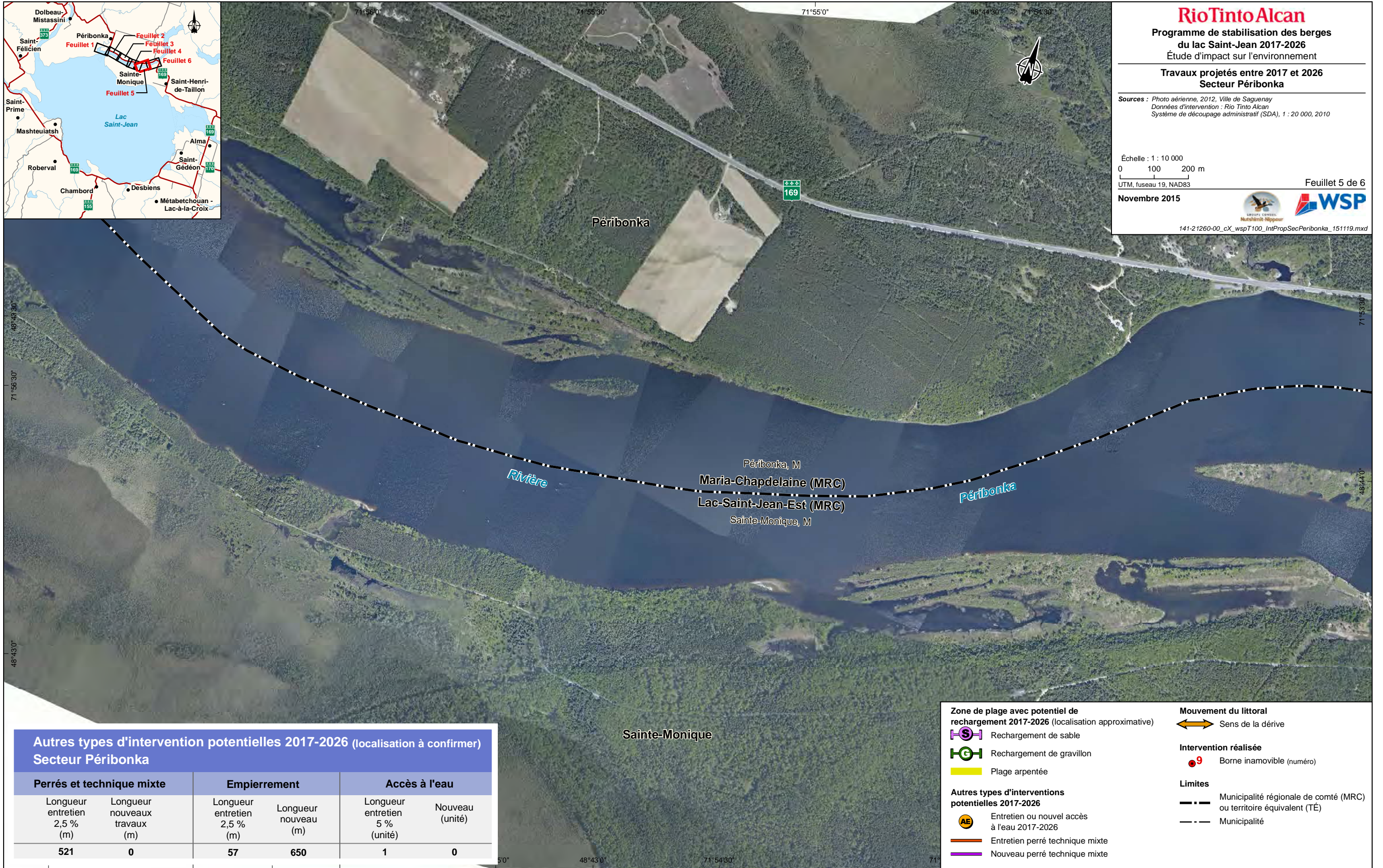
Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuille 5 de 6

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT100\_IntPropSecPéribonka\_151119.mxd



## Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer) Secteur Péribonka

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
521	0	57	650	1	0

### Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

### Autres types d'interventions potentielles 2017-2026

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

### Mouvement du littoral

- Sens de la dérive

### Intervention réalisée

- Borne inamovible (numéro)

### Limites

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité



# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Péribonka

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

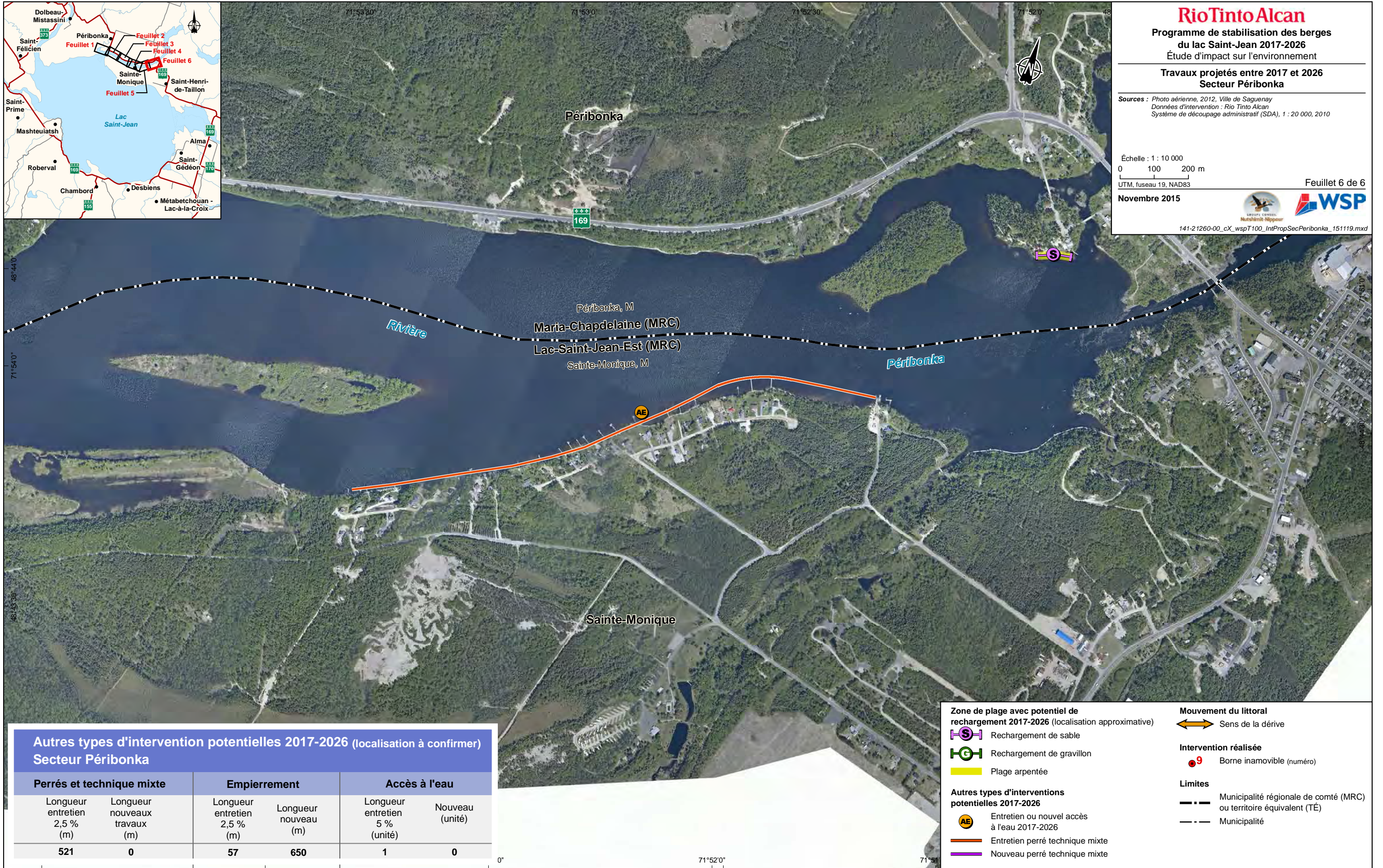
Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuillet 6 de 6

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT100\_IntPropSecPéribonka\_151119.mxd



**Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer)  
Secteur Péribonka**

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
521	0	57	650	1	0

**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité



# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Sainte-Monique

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

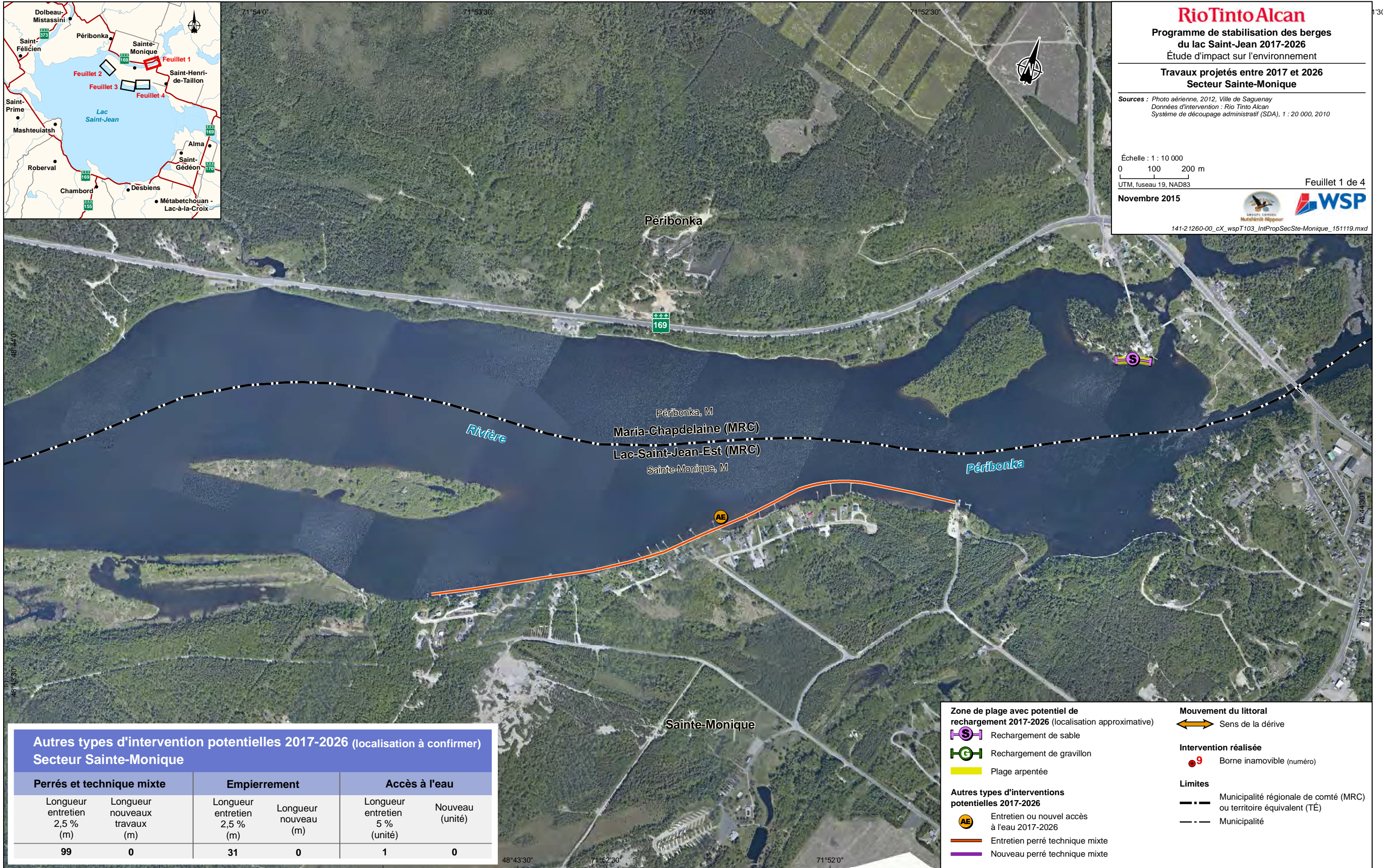
Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuillet 1 de 4

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT103\_IntPropSecSte-Monique\_151119.mxd



**Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer)  
Secteur Sainte-Monique**

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
99	0	31	0	1	0

**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité



# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Sainte-Monique

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m

UTM, fuseau 19, NAD83

Novembre 2015



Feuillet 2 de 4

141-21260-00\_cX\_wspT103\_IntPropSecSte-Monique\_151119.mxd

Lac Saint-Jean

## Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer) Secteur Sainte-Monique

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
99	0	31	0	1	0

### Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

### Autres types d'interventions potentielles 2017-2026

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

### Mouvement du littoral

- Sens de la dérive

### Intervention réalisée

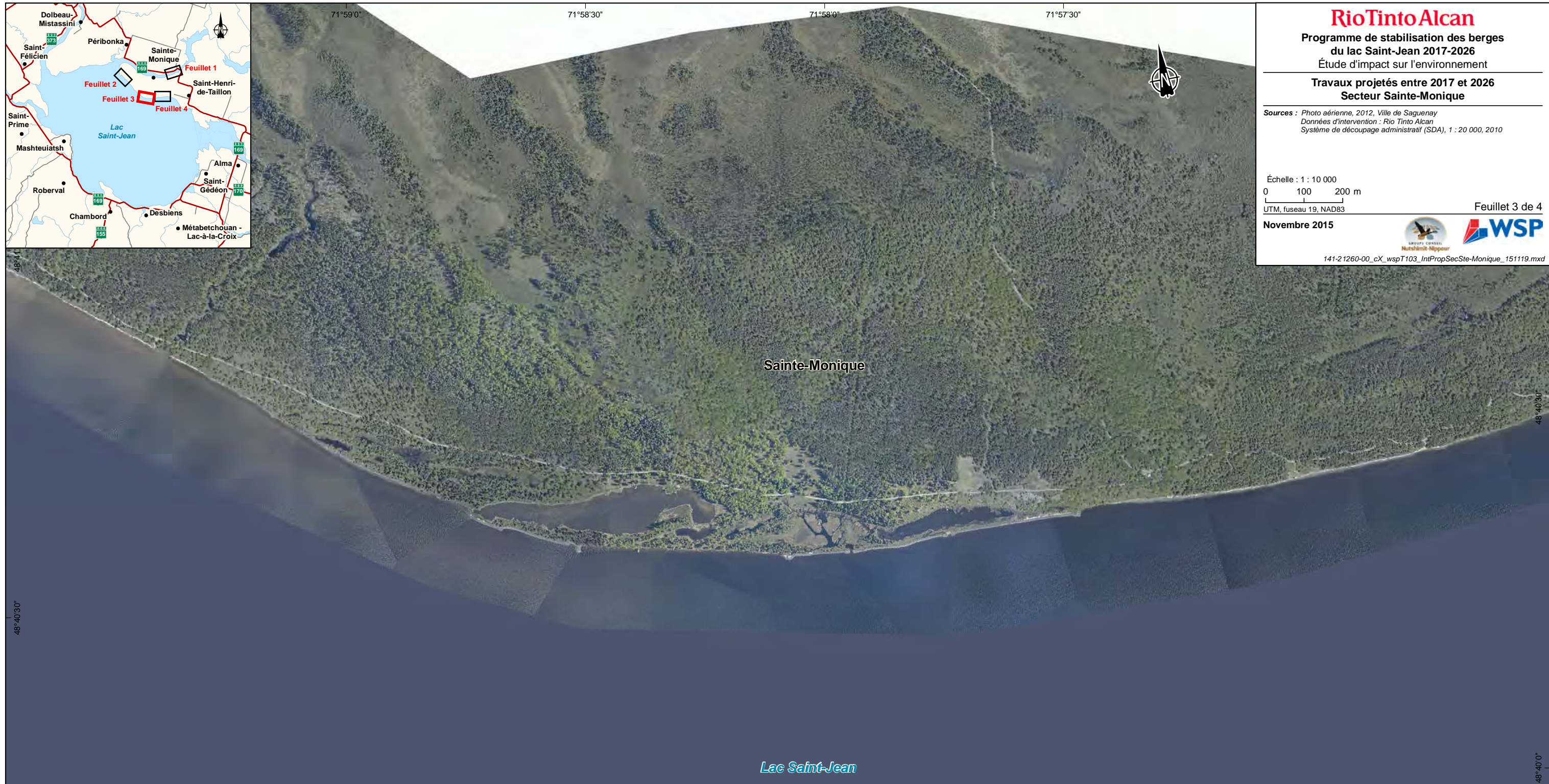
- Borne inamovible (numéro)

### Limites

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité

72°4'0"

48°42'30"



# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Sainte-Monique

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuillet 3 de 4

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT103\_IntPropSecSte-Monique\_151119.mxd

Sainte-Monique

Lac Saint-Jean

## Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer) Secteur Sainte-Monique

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
99	0	31	0	1	0

### Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

### Autres types d'interventions potentielles 2017-2026

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

### Mouvement du littoral

- Sens de la dérive

### Intervention réalisée

- Borne inamovible (numéro)

### Limites

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité





71°55'30"      71°55'0"      71°54'30"      71°54'0"

# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Sainte-Monique

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

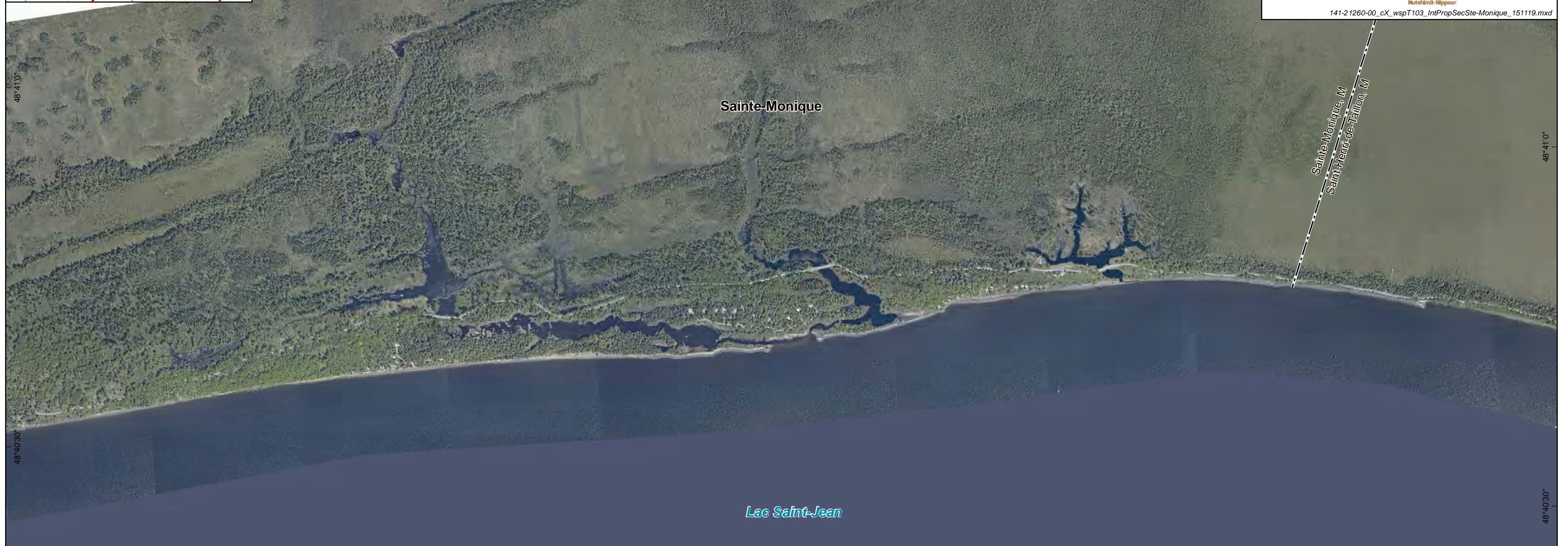
Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuille 4 de 4

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT103\_IntPropSecSte-Monique\_151119.mxd



Sainte-Monique

Lac Saint-Jean

## Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer) Secteur Sainte-Monique

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
99	0	31	0	1	0

### Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

### Autres types d'interventions potentielles 2017-2026

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

### Mouvement du littoral

- Sens de la dérive

### Intervention réalisée

- Borne inamovible (numéro)

### Limites

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité

71°55'0"

71°54'30"

48°40'30"

48°41'0"

48°41'0"

48°40'30"



# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Saint-Henri-de-Taillon

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuille 1 de 3

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT093\_IntPropSecSt-Henri\_151119.mxd

## Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer) Secteur Saint-Henri-de-Taillon

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
101	0	16	0	1	0

### Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

### Autres types d'interventions potentielles 2017-2026

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

### Mouvement du littoral

- Sens de la dérive

### Intervention réalisée

- Borne inamovible (numéro)

### Limites

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité



# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Saint-Henri-de-Taillon

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

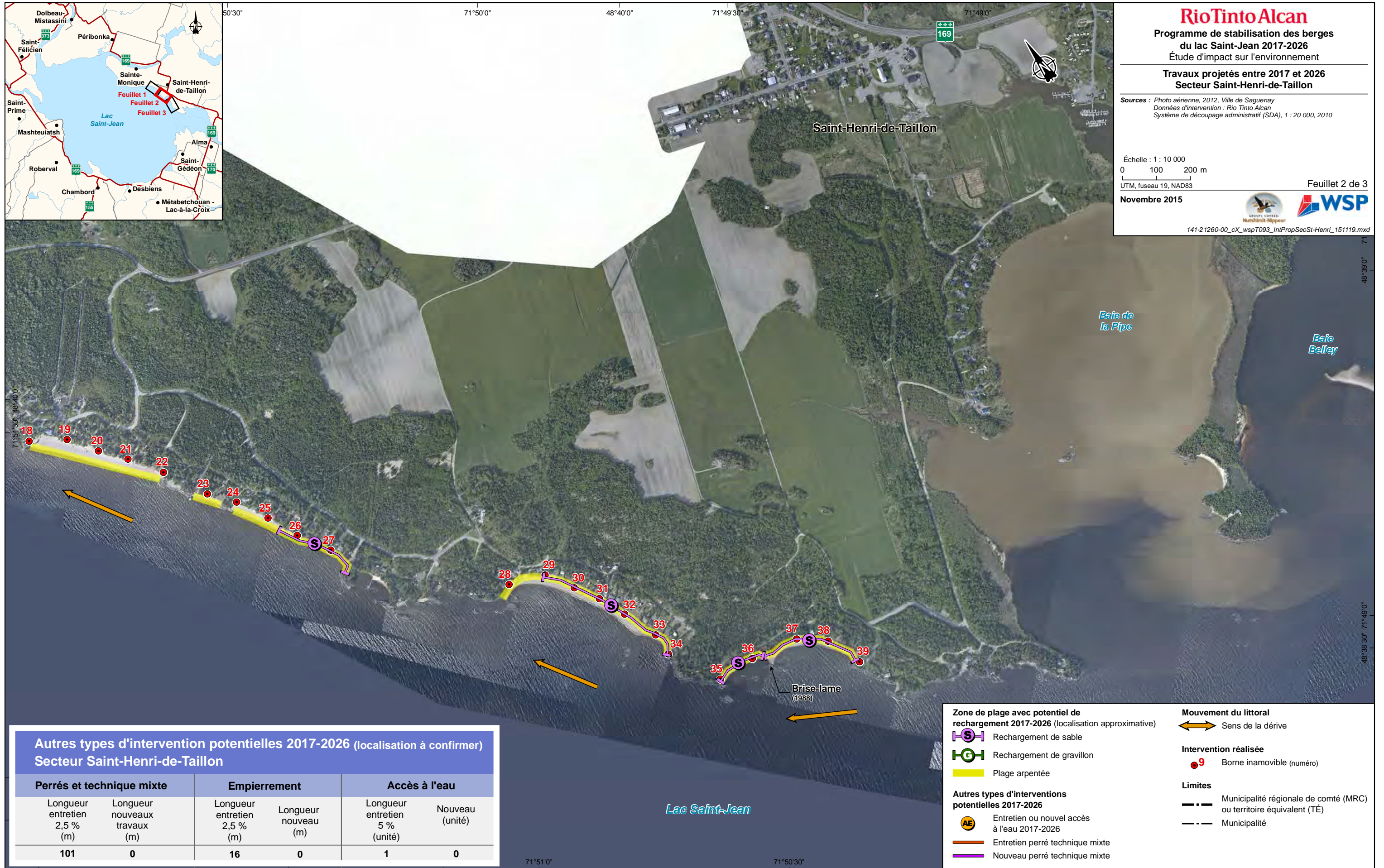
Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuillet 2 de 3

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT093\_IntPropSecSt-Henri\_151119.mxd



## Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer) Secteur Saint-Henri-de-Taillon

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
101	0	16	0	1	0

### Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

### Autres types d'interventions potentielles 2017-2026

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

### Mouvement du littoral

- Sens de la dérive

### Intervention réalisée

- Borne inamovible (numéro)

### Limites

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité



# RioTinto Alcan

Programme de stabilisation des berges  
du lac Saint-Jean 2017-2026  
Étude d'impact sur l'environnement

Travaux projetés entre 2017 et 2026  
Secteur Saint-Henri-de-Taillon

Sources : Photo aérienne, 2012, Ville de Saguenay  
Données d'intervention : Rio Tinto Alcan  
Système de découpage administratif (SDA), 1 : 20 000, 2010

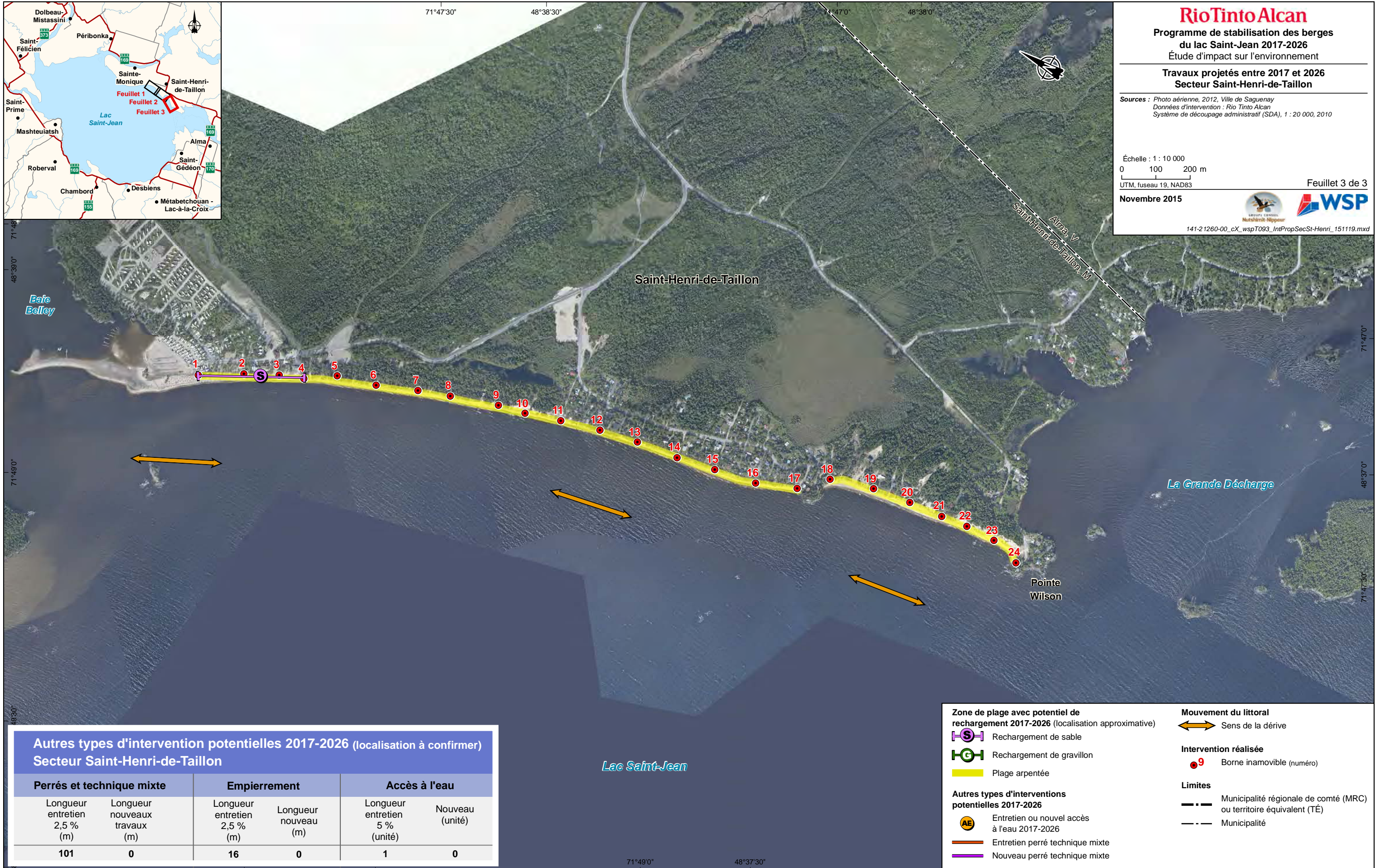
Échelle : 1 : 10 000  
0 100 200 m  
UTM, fuseau 19, NAD83

Feuille 3 de 3

Novembre 2015



141-21260-00\_cX\_wspT093\_IntPropSecSt-Henri\_151119.mxd



**Autres types d'intervention potentielles 2017-2026 (localisation à confirmer)  
Secteur Saint-Henri-de-Taillon**

Perrés et technique mixte		Empierrement		Accès à l'eau	
Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveaux travaux (m)	Longueur entretien 2,5 % (m)	Longueur nouveau (m)	Longueur entretien 5 % (unité)	Nouveau (unité)
101	0	16	0	1	0

**Zone de plage avec potentiel de rechargement 2017-2026 (localisation approximative)**

- Rechargement de sable
- Rechargement de gravillon
- Plage arpentée

**Autres types d'interventions potentielles 2017-2026**

- Entretien ou nouvel accès à l'eau 2017-2026
- Entretien perré technique mixte
- Nouveau perré technique mixte

**Mouvement du littoral**

- Sens de la dérive

**Intervention réalisée**

- Borne inamovible (numéro)

**Limites**

- Municipalité régionale de comté (MRC) ou territoire équivalent (TÉ)
- Municipalité

## Annexe 12. Préoccupations et attentes exprimées à l'endroit du PSBLSJ

Thème	Enjeu	Préoccupation - attente
Harmonisation des usages	Usages multiples	<p>Assurer les conditions favorables à un développement régional ordonné qui harmonise tous les potentiels en fonction des besoins, des perceptions et des exigences de chacun, prendre conscience de l'importance du récréotourisme comme activité économique. (a, e)</p> <p>Protéger cette « mer intérieure » pour la pratique des activités traditionnelles. (b)</p> <p>Concilier l'intérêt de tous les utilisateurs. (b)</p> <p>Protéger et ouvrir les accès publics sur le lac. (b, e)</p> <p>Intégrer les impératifs de sécurité pour l'ensemble des usages (notamment pour la navigation). (a)</p>
	Gestion du niveau du lac	<p>Mesurer le niveau du lac à partir de trois échelles, assurer le niveau maximal de 16,5 pieds tout le tour du lac avec trois lectures, considérer l'effet du vent et de la densité de l'eau. (a)</p> <p>Encourager une navigation de plaisance originale et conforme aux caractéristiques du plan d'eau. (b, e)</p> <p>Diverses propositions de gestion ont été fournies (a) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 14 pieds jusqu'au 1<sup>er</sup> septembre</li> <li>- 15.5 pieds maximum à l'automne, 14 pieds minimum à l'été, gestion jusqu'à la fin du décret à 16 pieds au lieu de 16,5 pieds</li> <li>- 16 pieds maximum et 13,5 pieds minimum mi-mai à mi-octobre</li> <li>- Maximum 15 pieds, minimum 14 pieds</li> <li>- Allonger la période du niveau à 15,5 pieds pour navigation</li> <li>- Stabiliser le niveau entre 14 pieds et 15,5 pieds du 1<sup>er</sup> mai au 1<sup>er</sup> octobre</li> </ul>
	Production d'énergie	<p>Gérer le niveau en assurant un juste équilibre entre la production énergétique, la recherche de profits et les autres besoins. (a)</p> <p>Maintenir l'adéquation entre la génération d'électricité et la production d'aluminium. (e)</p>

<p>Intégration des travaux</p>	<p>Protection de l'environnement et des paysages</p>	<p>Préoccupations au sujet de l'enneigement des terres, érosion, perte et protection des habitats de la faune aquatique et aviaire, impacts sur le chenal de la rivière Ashuapmushuan et les poissons. Crainte pour l'aster d'Anticosti, espèce menacée. (b)</p> <p>Intervenir de manière sectorielle plutôt que ponctuelle et consulter et obtenir des consensus entre riverains. (a)</p> <p>Réduire l'érosion au minimum. (b, e)</p> <p>Perte des accès où il y a des murs de soutènement. (b)</p> <p>Assurer la qualité esthétique du milieu naturel et sauvegarder les îles, intégrer les interventions dans le paysage. (a, e)</p> <p>Protéger toutes les plages (privées et publiques) et assurer leur qualité. Des secteurs visés par des interventions de protection ont été identifiés plus spécifiquement : (a, b, e)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Terres publiques de la Pointe-Taillon</li> <li>- Île Boulianne</li> <li>- Pointe-Racine, Vauvert (problème d'ensablement)</li> <li>- Intégrer le secteur de Mashteuatsh au complet</li> <li>- Pointe Chambord</li> <li>- Île aux Coulevres</li> <li>- Pointe de St-Méthode</li> <li>- Grand marais de Saint-Gédéon (en raison de l'assèchement progressif de ce milieu humide)</li> <li>- Petit marais de Saint-Gédéon</li> <li>- Embouchure de la rivière Ticouapé</li> <li>- Embouchure de la rivière Mistassini</li> <li>- Embouchure de la rivière Ashuapmushuan</li> <li>- Embouchure des ruisseaux</li> <li>- Rapide Arcand à Saint-Félicien</li> <li>- Domaine du Marais</li> </ul> <p>Utiliser des matériaux compatibles avec les matériaux en place et s'assurer de leur qualité (sable équivalent sans roches), évaluer la possibilité de draguer ou d'utiliser le matériel déplacé pour le rechargement. (a)</p> <p>Réduire les nuisances causées par les travaux, évaluer les impacts du transport de matériel (réseau routier, gaz à effet de serre). (a)</p> <p>Considérer le dragage pour faciliter la navigation dans les marinas. (a)</p> <p>Questionnements et critiques (a) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Efficacité des empierrements qui restreignent</li> </ul>
--------------------------------	--	---

		<p>l'utilisation des berges</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Devenir du sable rechargé à répétition</li> <li>- Descente graduelle en sable plus appréciée mais non applicable partout</li> <li>- S'assurer de la visibilité des bornes de mesure de largeurs de plage</li> <li>- Protéger les berges par des techniques de revégétalisation plutôt que de l'enrochement</li> </ul> <p>Investir en recherche et adopter des méthodes innovantes, réinvestir les profits dans la protection. (a)</p> <p>Inclure la création et la protection des milieux humides dans le programme (spécifiquement le petit et le grand marais de Saint-Gédéon). (a)</p>
	<p>Développement durable</p>	<p>Passer d'un mode réactif à un mode proactif de protection et de rechargement avec des solutions et des méthodes innovantes, variées et durables et des matériaux de qualité. (a)</p> <p>Accroître l'importance de l'environnement dans le débat, intégrer les effets du développement résidentiel et des changements climatiques sur les écosystèmes, particulièrement les milieux humides. (a)</p> <p>Créer un comité scientifique indépendant sur l'étude des impacts des travaux et de la gestion. (a)</p>
<p>Lien de confiance</p>	<p>Transparence et transfert de l'information</p>	<p>Clarifier la question des droits, devoirs et pouvoirs et rôle de Rio Tinto Alcan (soupçonné d'ingérence) et des riverains et les communiquer de manière transparente. (e)</p> <p>Communiquer le niveau de revenus de la production électrique et les coûts du PSBLSJ. (a)</p> <p>Améliorer la communication, adopter une approche de dialogue et de transparence de l'information afin de rétablir les ponts entre Rio Tinto Alcan et la population, rétablir le bulletin postal, personnaliser les envois par courriel, partager les données scientifiques des études commandées par Rio Tinto Alcan. (a, c)</p> <p>Mettre en place un processus de consultation en continu et de communication directe, développer des outils d'information adaptés aux besoins de la population autochtone. (b)</p> <p>Discuter des travaux et favoriser la participation citoyenne suffisamment longtemps en amont de leur réalisation, établir des canaux de communication accessibles et efficaces. (a)</p> <p>Questionnements et critiques (a) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- L'application du décret affecte le bien-être des riverains et « pèse trop » sur leur devoir moral</li> </ul>

Gouvernance	Gestion du niveau du lac	<p>Adopter une approche de coopération considérant les parties prenantes comme partenaires au chapitre de l'harmonisation des usages, en lien avec la gestion du niveau (le nouveau « partnership » imaginé par le BAPE en 1985) dans un souci de démocratie accordant davantage de place aux citoyens. (a, c, e)</p> <p>Consulter en utilisant les organismes existants, impliquer des experts indépendants pour répondre aux questionnements et mettre en place un mécanisme de gestion concertée (organe décisionnel multipartite) allant au-delà de la simple consultation. (a)</p> <p>Mettre en place un comité Mashteuiatsh - Rio Tinto Alcan pour établir une relation durable et consensuelle et conclure une Entente sur les répercussions et avantages (ERA) afin d'encadrer la relation dans le contexte des droits ancestraux. (b)</p> <p>Demander au gouvernement d'harmoniser la cohabitation entre les droits attribués par la convention de 1922 avec le contexte légal actuel. (e)</p> <p>Établir un mode de gestion préventif plus souple que l'application stricte du décret, notamment en fonction de la météo et d'autres facteurs. (a)</p> <p>Établir un mécanisme d'arbitrage, créer un poste d'ombudsman pour la gestion du lac et les travaux. (a)</p> <p>Questionnements et critiques (a) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Considérer la gestion du programme par un organisme indépendant et impartial</li> <li>- Donner un pouvoir décisionnel aux MRC, leur attribuer un rôle de surveillance</li> </ul>
-------------	--------------------------	---

Sources :

- a) Consultation citoyenne (rapport Transfert Environnement et Société T 2014)
- b) Consultation autochtone (rapport Transfert Environnement et Société 2015)
- c) Analyse de développement durable réalisée par la Chaire en éco-conseil (Segers et Tremblay 2015)
- d) Portail Synapse
- e) Bilan des audiences publiques de 1985
- f) Travaux du Comité de travail





# Érosion des berges du lac Saint-Jean

## Étude des vents

Projet Lasalle|NHC : 8000118 (Bon de commande : 2014-0194)

Rapport technique **FINAL**

Par

Yann ROPARS, ing., M.Sc.



CONSULTANTS ROPARS INC  
3643, Chemin Saint-Louis  
Québec (Québec) G1W 1T2  
[yann\\_ropars@videotron.ca](mailto:yann_ropars@videotron.ca)

Janvier 2015

Pour

**lasalle**  **nhc**

# TABLES DES MATIÈRES

1 Introduction.....	1
2 Information météorologique disponible.....	2
2.1 Stations terrestres.....	2
2.2 Stations virtuelles.....	2
2.3 Source des données.....	3
2.4 Station météorologique de Roberval.....	4
2.5 Station météorologique de Mistook.....	9
2.6 Station météorologique de Normandin.....	13
2.7 Comparaison des trois stations météorologiques.....	17
3 Comparaison des données de vent des stations météorologiques.....	19
3.1 Saison d'eau libre.....	19
3.2 Station de Roberval.....	19
3.3 Station de Mistook.....	19
3.4 Station de Normandin.....	20
4 Comparaison des données des stations de Roberval et Mistook.....	21
4.1 Comparaison des vitesses de vents.....	21
4.2 Comparaison des grandes vitesses de vent.....	22
4.3 Comparaison des directions de vents.....	24
4.4 Comparaison des directions des grands vents.....	26
5 Analyse des tempêtes.....	29
5.1 Contexte de l'étude des tempêtes.....	29
5.2 Saisons automnale des tempêtes.....	30
5.3 Tempêtes du secteur ouest.....	32
5.4 Tempêtes du secteur est.....	34
5.5 Tempêtes du secteur nord.....	37
5.6 Tempêtes du secteur sud.....	38
5.7 Évaluation des trois stations météorologiques.....	40
6 Conclusion et recommandations.....	42
6.1 Conclusion.....	42
6.2 Recommandations.....	43
Annexe A.....	Tempêtes du secteur Ouest sur la région du lac Saint-Jean
Annexe B.....	Tempêtes du secteur Est sur la région du lac Saint-Jean
Annexe C.....	Tempêtes des secteurs Nord et Sud sur la région du lac Saint-Jean

# 1 Introduction

Rio-Tinto-Alcan (RTA) prépare sa demande en vue de poursuivre son Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean entrepris en 1986 et reconduit en 1996 et 2006.



Figure 1.1 Plan de localisation du lac Saint-Jean (Google™ Maps)

En vue de répondre aux questions du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), une évaluation des impacts sur l'environnement doit être faite.

RTA a demandé à Lasalle|NHC d'étudier la dynamique sédimentaire des plages du lac Saint-Jean. Lasalle|NHC s'est adjoint les services de Consultants Ropars Inc. (CRI) pour l'étude des vents.

## 2 Information météorologique disponible

### 2.1 Stations terrestres

Une série de stations de mesure du vent sont réparties autour du lac Saint-Jean. Trois stations présentent un intérêt évident pour l'étude des vagues qui affectent les rives du lac (figure 2.1). Ces stations sont :

- Roberval : 48°31'12,000" N - 72°15'57,000" O – Altitude 178,60 m
- Mistook : 48°35'54,000" N - 71°42'57,000" O – Altitude 112,50 m
- Normandin : 48°50'30,000" N - 72°32'49,000" O – Altitude 137,20 m



Figure 2.1 Localisation des 3 stations de mesure du vent autour du Lac St-Jean (Google™ Earth)

### 2.2 Stations virtuelles

Deux stations météorologiques virtuelles sont également disponibles à proximité du lac Saint-Jean (figure 2.2). Ces stations du programme de réanalyses NARR<sup>1</sup> portent les numéros 251-156 (« LacStJean1 » sur la figure 2.2 au sud du lac) et 251-257 (« LacStJean2 » sur la figure 2.2 au nord du lac) et leurs données sont disponibles entre le 1<sup>er</sup> janvier 1979 et le 31 décembre 2010.

<sup>1</sup><http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.narr.html>



Figure 2.2 Localisation des stations virtuelles NARR (Google™ Earth)

La position des stations virtuelles est :

- 251-156 : 48,46° N – 72,09° O
- 251-157 : 48,72° N – 71,89° O

### 2.3 Source des données

Les données de vent des trois stations de Roberval, Mistook et Normandin fournies par Rio-Tinto-Alcan (RTA) ont été utilisées pour comparer heure par heure les données des stations entre elles et sélectionner la ou les stations à retenir pour la suite des études, en particulier pour l'étude des tempêtes qui se produisent sur le lac Saint-Jean. Ces séries de données ont été utilisées pour la comparaison des différentes vitesses et directions de vent enregistrées au trois stations.

Les données de ces trois stations ont été fournies par RTA entre le 19 avril 2005 à 19:00 et le 9 octobre 2014 à 00:00. Un contrôle de qualité minimal a été fait sur ces données.

Les données des trois stations météorologiques disponibles sur le site Internet d'Environnement Canada ont également été récupérées pour les évaluations à plus long terme (tendances générales, roses des vents, etc.), ces données étant disponibles de 1994 à 2014 pour les trois stations.

Les données des stations virtuelles n'ont pas été utilisées. L'utilisation des données de vent provenant de ces stations virtuelles n'est pas recommandée dans un environnement aussi diversifié que celui de la région du lac Saint-Jean (topographie, terre versus eau, végétation arbustive, etc.), surtout lorsque des données de stations météorologiques sont disponibles.

## 2.4 Station météorologique de Roberval

Les vents de la station de Roberval sont disponibles depuis 1958. Ces informations de vent ont été recueillies sur le site d'Environnement Canada<sup>2</sup>. La station météorologique de Roberval a subi un changement en mars 2014 mais le site d'Environnement Canada (EC) ne donne aucune information sur ce changement. Les données des deux stations (#7066685 jusqu'en mars 2014 et #7066686 à partir de mars 2014) ont été amalgamées en prenant en considération l'absence de changement d'altitude de la station (178,6 m). Pour permettre de comparer ces vents avec ceux des autres stations, trois périodes ont été retenues pour la production des statistiques générales de vent :

- 1958 à 2014,
- 1994 à 2014 (période commune aux trois stations) et
- 2005 à 2014 (période d'étude détaillée des tempêtes).

Pour chacune de ces périodes, les roses de vent ont été produites pour l'année complète (1<sup>er</sup> janvier au 31 décembre) et pour la saison d'eau libre sur le lac Saint-Jean (9 mai au 5 décembre).

Les figures 2.3 à 2.8 illustrent des différences mineures entre les roses, mais le secteur ouest et surtout les directions nord-ouest et sud-ouest dominent toutes ces roses. Sauf pour la période 1958 à 2014 où apparaît une légère prépondérance des vents du secteur sud-ouest, les vents pendant la saison d'eau libre sont dominants des secteurs nord-ouest et sud-ouest de façon relativement équilibrée.

---

<sup>2</sup>[http://climat.meteo.gc.ca/advanceSearch/searchHistoricDataStations\\_f.html?searchType=stnName&timeframe=1&txtStationName=roberval&searchMethod=contains&optLimit=yearRange&StartYear=1840&EndYear=2014&Year=2014&Month=11&Day=18&selRowPerPage=25&cmdStnSubmit=Recherche](http://climat.meteo.gc.ca/advanceSearch/searchHistoricDataStations_f.html?searchType=stnName&timeframe=1&txtStationName=roberval&searchMethod=contains&optLimit=yearRange&StartYear=1840&EndYear=2014&Year=2014&Month=11&Day=18&selRowPerPage=25&cmdStnSubmit=Recherche)

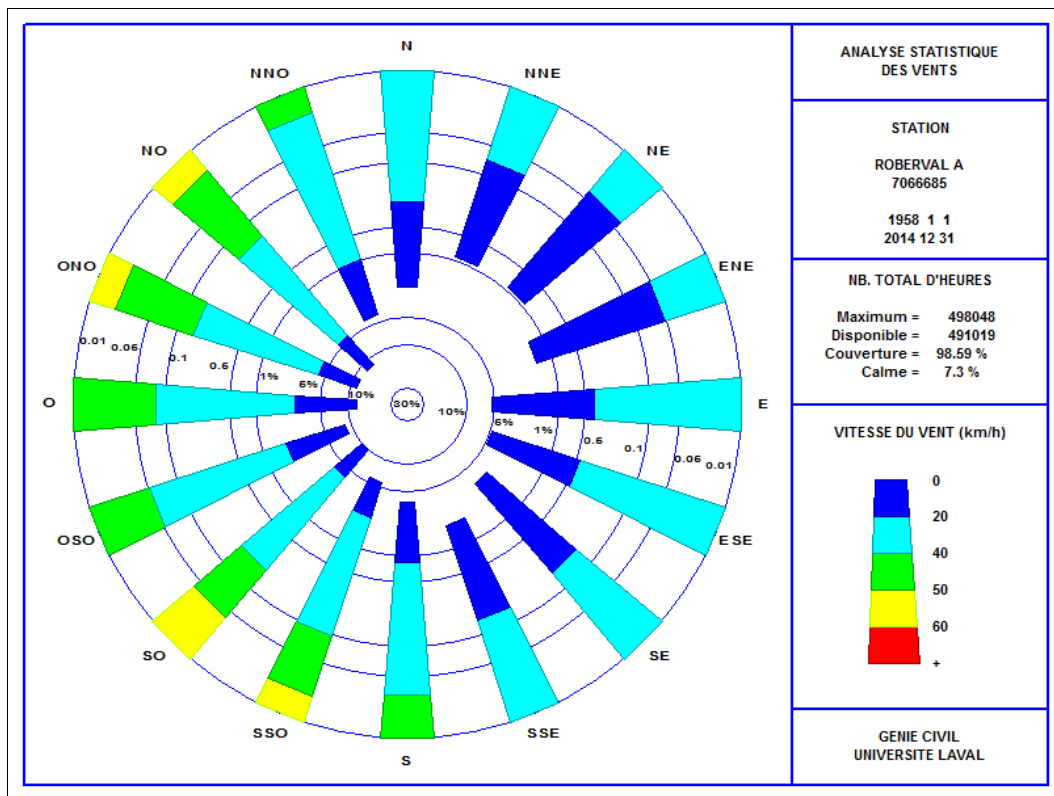


Figure 2.3 Rose des vents de la station de Roberval – 1958-2014 – Année complète

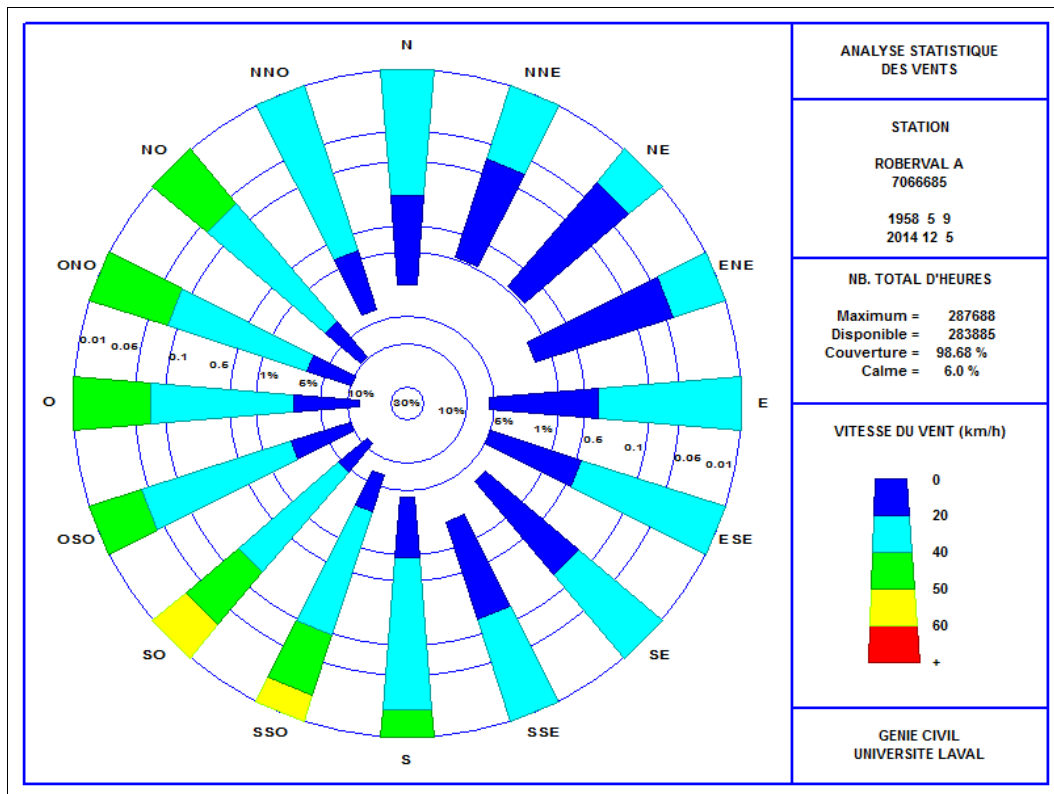


Figure 2.4 Rose des vents de la station de Roberval – 1958-2014 – Saison d'eau libre

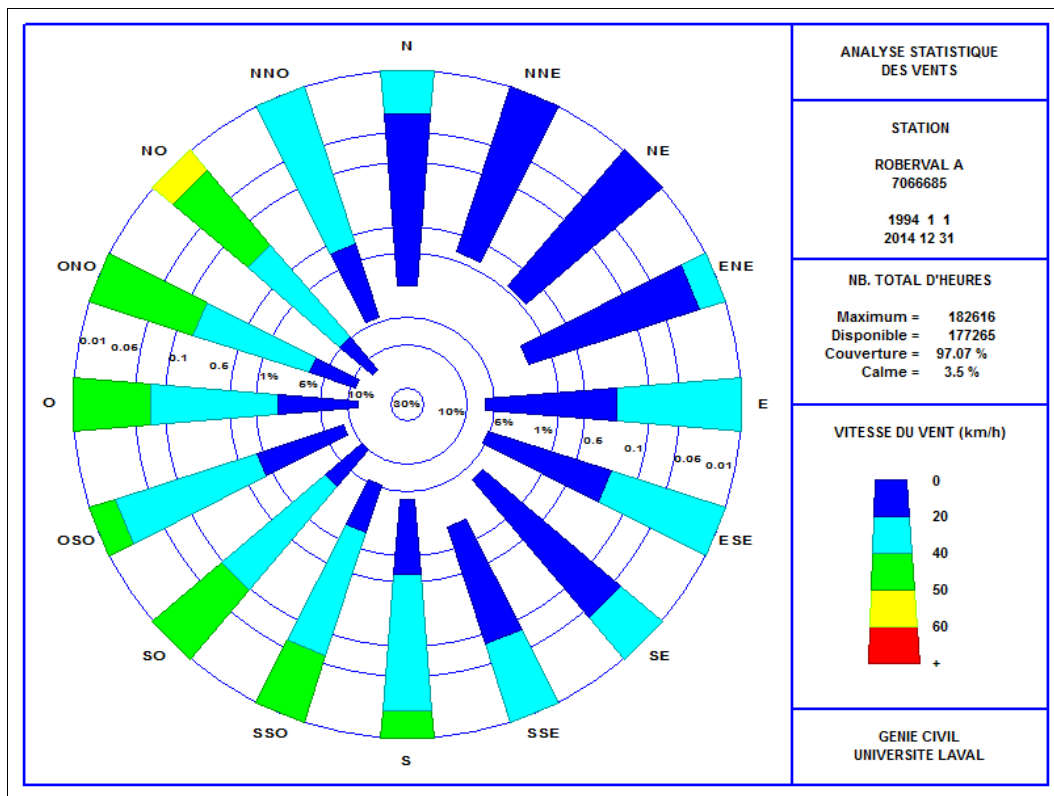


Figure 2.5 Rose des vents de la station de Roberval – 1994-2014 – Année complète

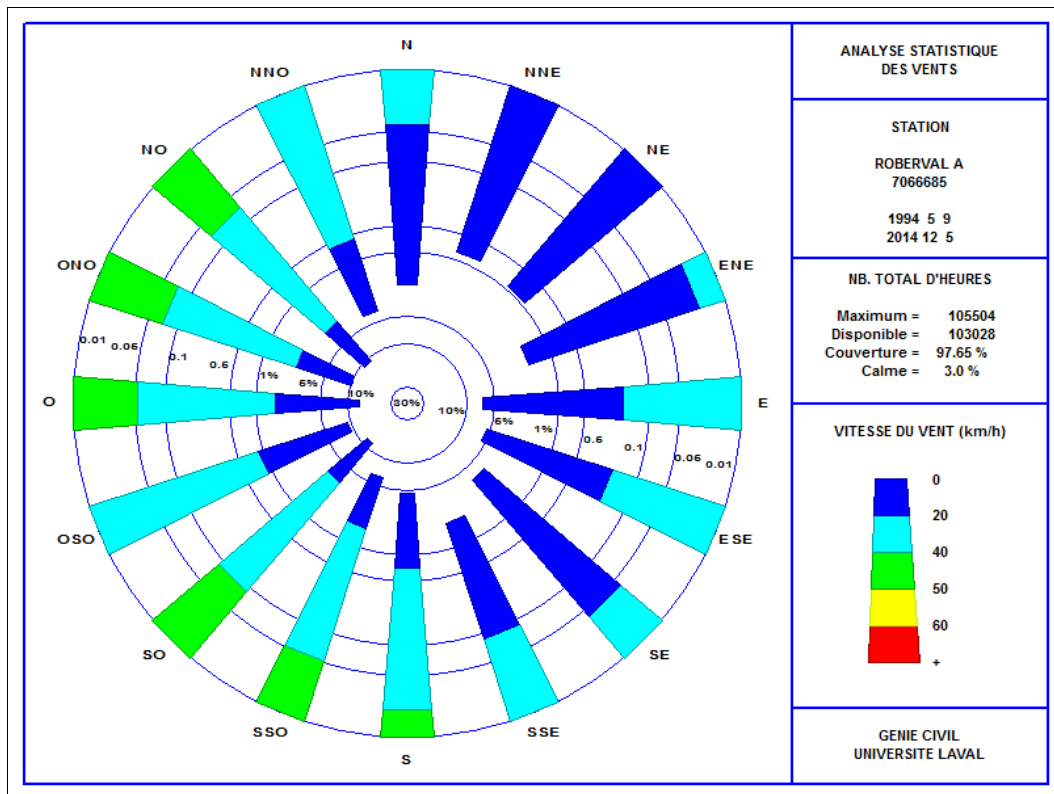


Figure 2.6 Rose des vents de la station de Roberval – 1994-2014 – Saison d'eau libre



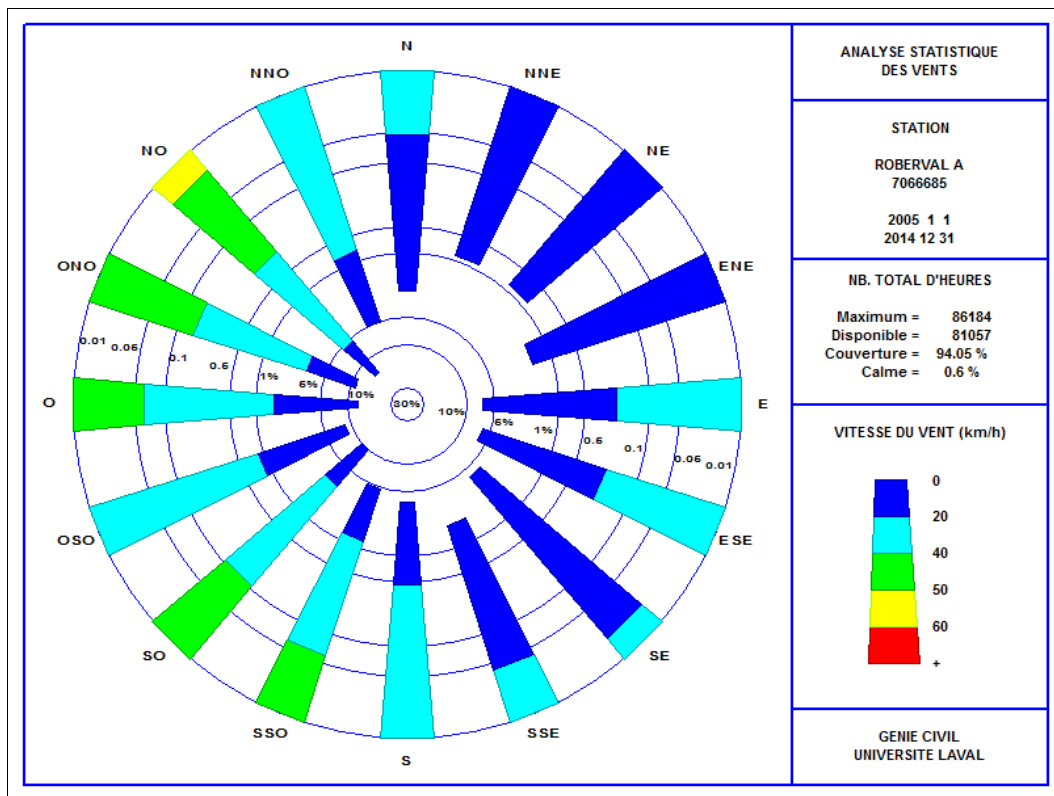


Figure 2.7 Rose des vents de la station de Roberval – 2005-2014 – Année complète

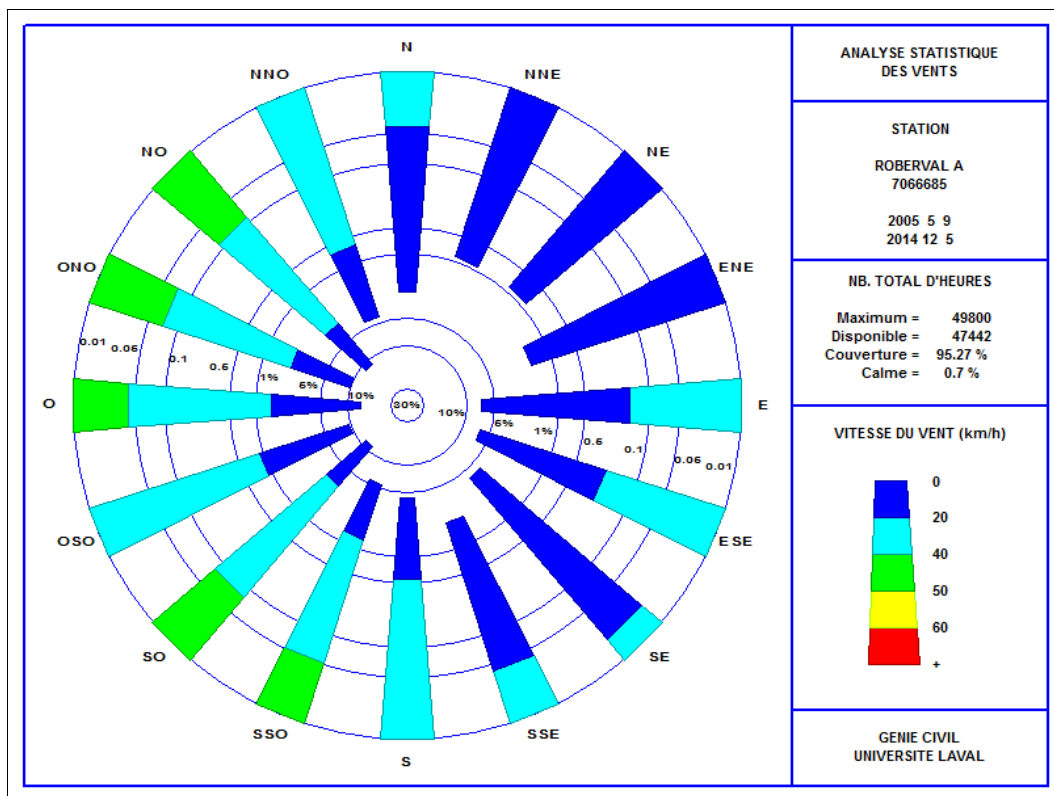


Figure 2.8 Rose des vents de la station de Roberval – 2005-2014 – Saison d'eau libre

Les informations concernant les périodes 1994-2014 et 2005-2014 ont été résumées pour la station de Roberval « Rob » dans les figures 2.9 (pourcentage de vent par direction) et 2.10 (fréquence de dépassement des vitesses de vent) pour l'année complète « \_An » et la saison d'eau libre « \_Sa ».

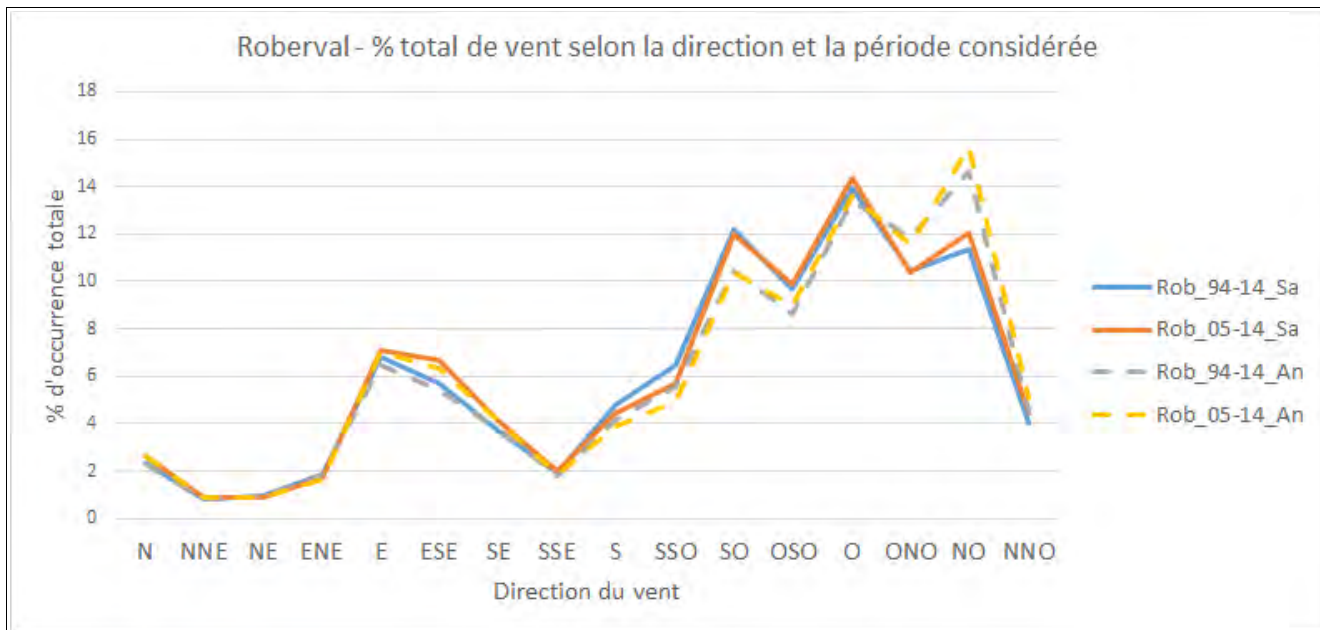


Figure 2.9 Roberval – Pourcentage de vent par direction (« An » = Année et « Sa » = Eau libre)

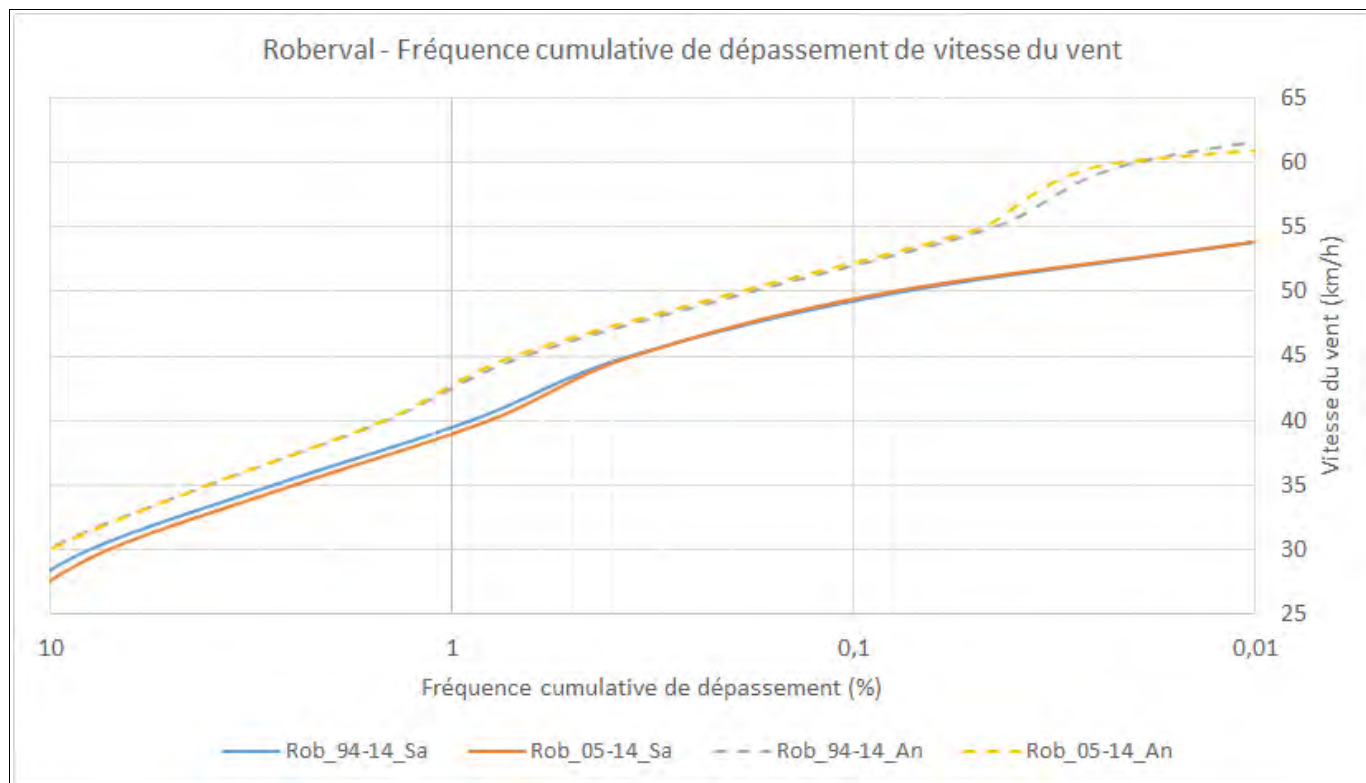


Figure 2.10 Roberval – Fréquence de dépassement des vitesses de vent (An=Année, Sa=Eau libre)

## 2.5 Station météorologique de Mistook

Les vents de la station de Mistook sont disponibles depuis février 1994. Une erreur s'est glissée dans la base de données d'Environnement Canada à partir de mai 2014. La correction de cette erreur n'ayant pu être obtenue, les données de vent de Mistook s'arrêtent en avril 2014 dans le cadre de la présente analyse. Les informations de vent ont été recueillies sur le site d'Environnement Canada<sup>3</sup>. Pour permettre de les comparer avec les données des autres stations, deux périodes ont été retenues pour la production des statistiques générales de vent :

- 1994 à 2014 (période commune aux trois stations) et
- 2005 à 2014 (période d'étude détaillée des tempêtes).

Pour chacune de ces périodes, les roses de vent ont été produites pour l'année complète (1<sup>er</sup> janvier au 31 décembre) et pour la saison d'eau libre sur le lac Saint-Jean (9 mai au 5 décembre).

Les figures 2.11 à 2.14 illustrent des différences relativement mineures entre les roses. Les secteurs ouest et est-sud-est dominent toutes ces roses. Les vents dominants pendant la saison d'eau libre sont équilibrés entre les secteurs ouest et est-sud-est.

---

<sup>3</sup>[http://climat.meteo.gc.ca/climateData/hourlydata\\_f.html?timeframe=1&Prov=QC&StationID=10797&hlyRange=1994-02-01|2014-11-18&Year=2014&Month=11&Day=18](http://climat.meteo.gc.ca/climateData/hourlydata_f.html?timeframe=1&Prov=QC&StationID=10797&hlyRange=1994-02-01|2014-11-18&Year=2014&Month=11&Day=18)

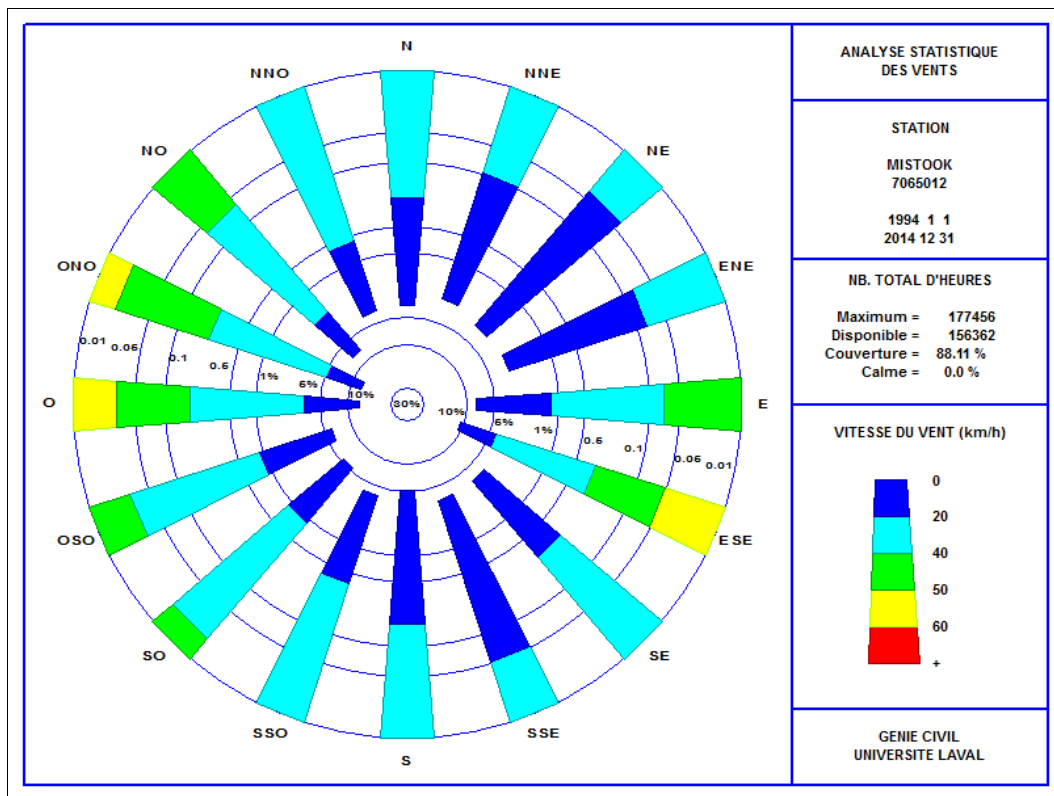


Figure 2.11 Rose des vents de la station de Mistook – 1994-2014 – Année complète

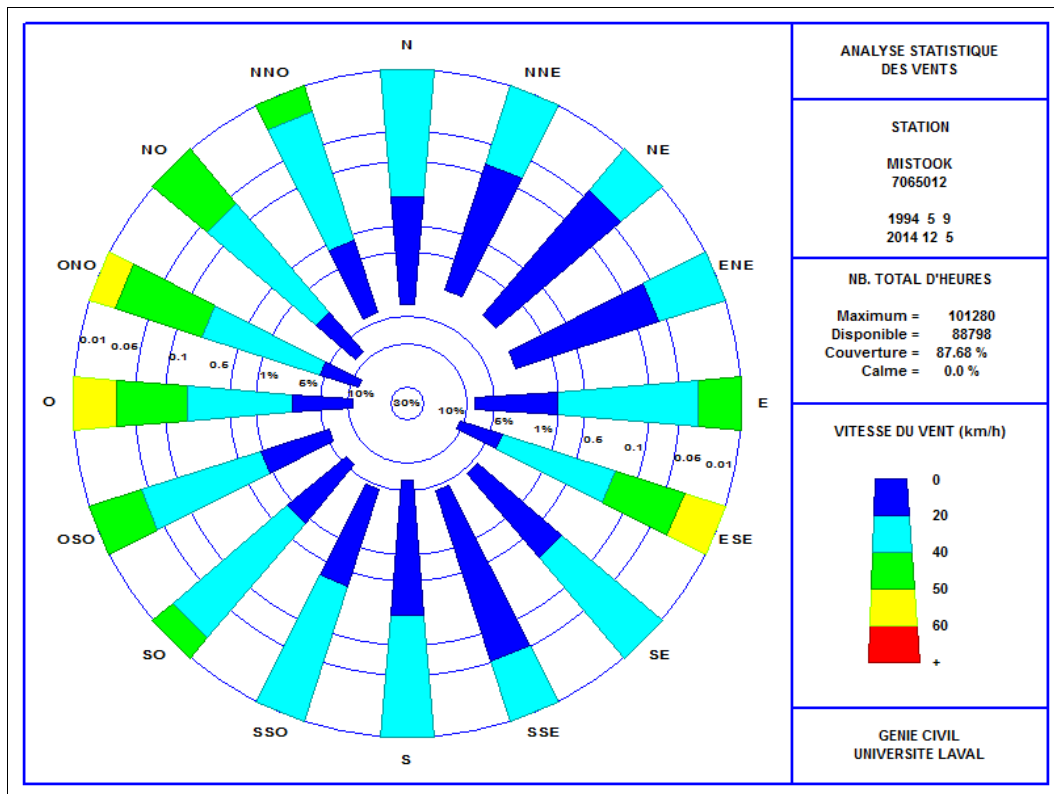


Figure 2.12 Rose des vents de la station de Mistook – 1994-2014 – Saison d'eau libre

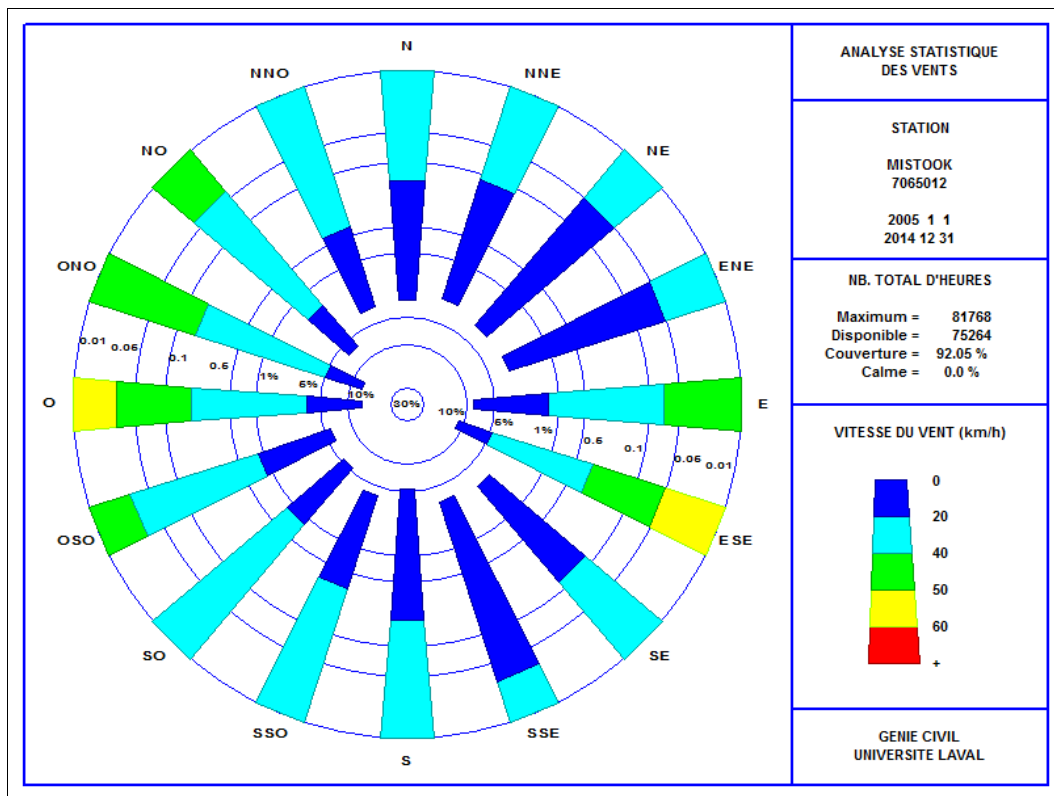


Figure 2.13 Rose des vents de la station de Mistook – 2005-2014 – Année complète

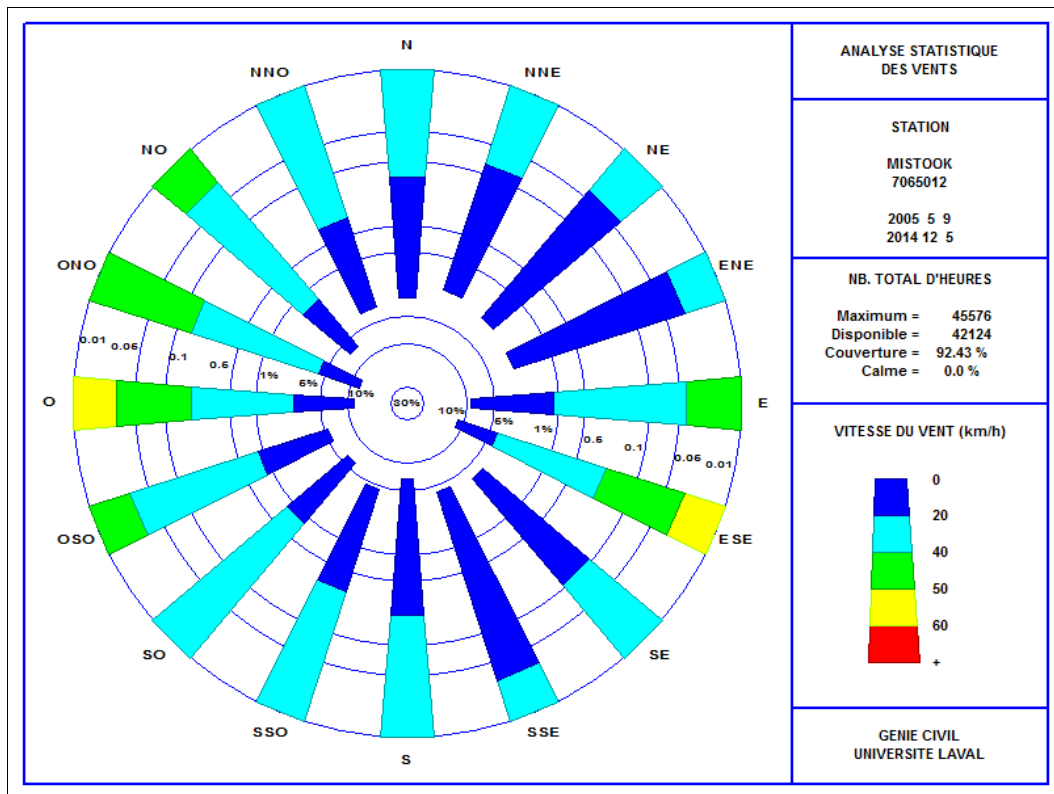


Figure 2.14 Rose des vents de la station de Mistook – 2005-2014 – Saison d'eau libre

Les informations concernant les périodes 1994-2014 et 2005-2014 ont été résumées pour la station de Mistook « Mistook » dans les figures 2.15 (pourcentage de vent par direction) et 2.16 (fréquence de dépassement des vitesses de vent) pour l'année complète « \_An » et la saison d'eau libre « \_Sa ».

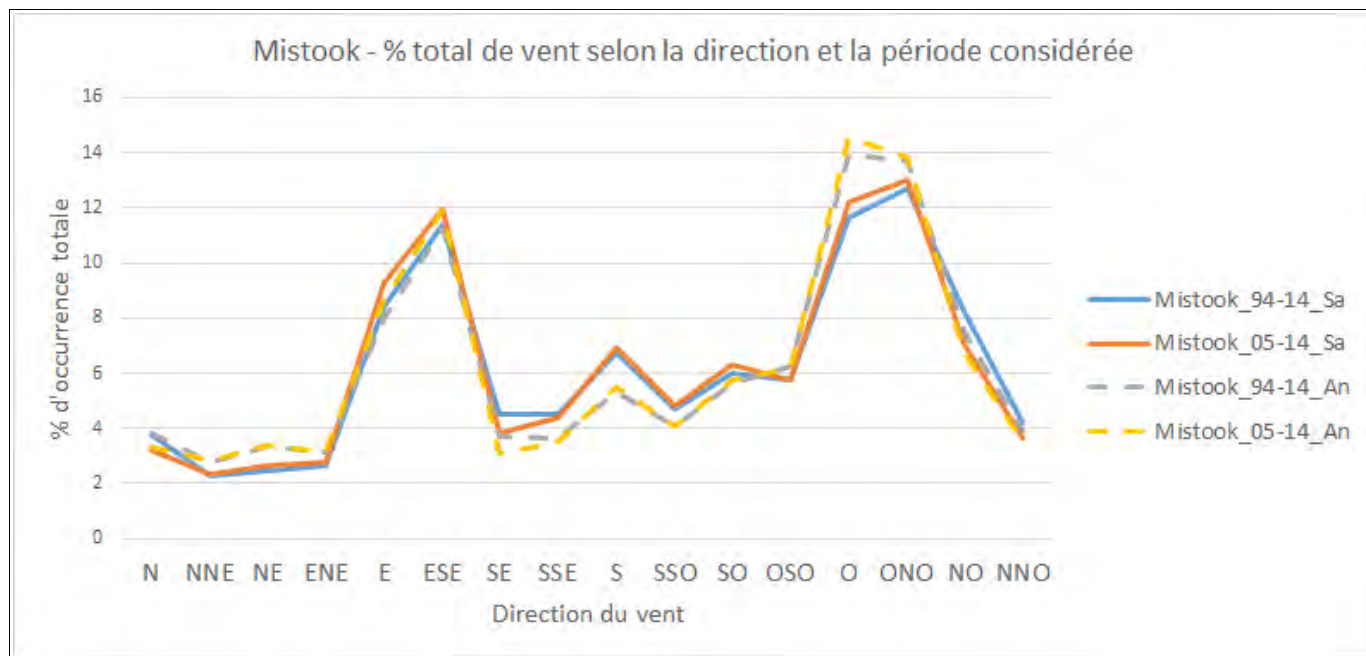


Figure 2.15 Mistook – Pourcentage de vent par direction (« An » = Année et « Sa » = Eau libre)

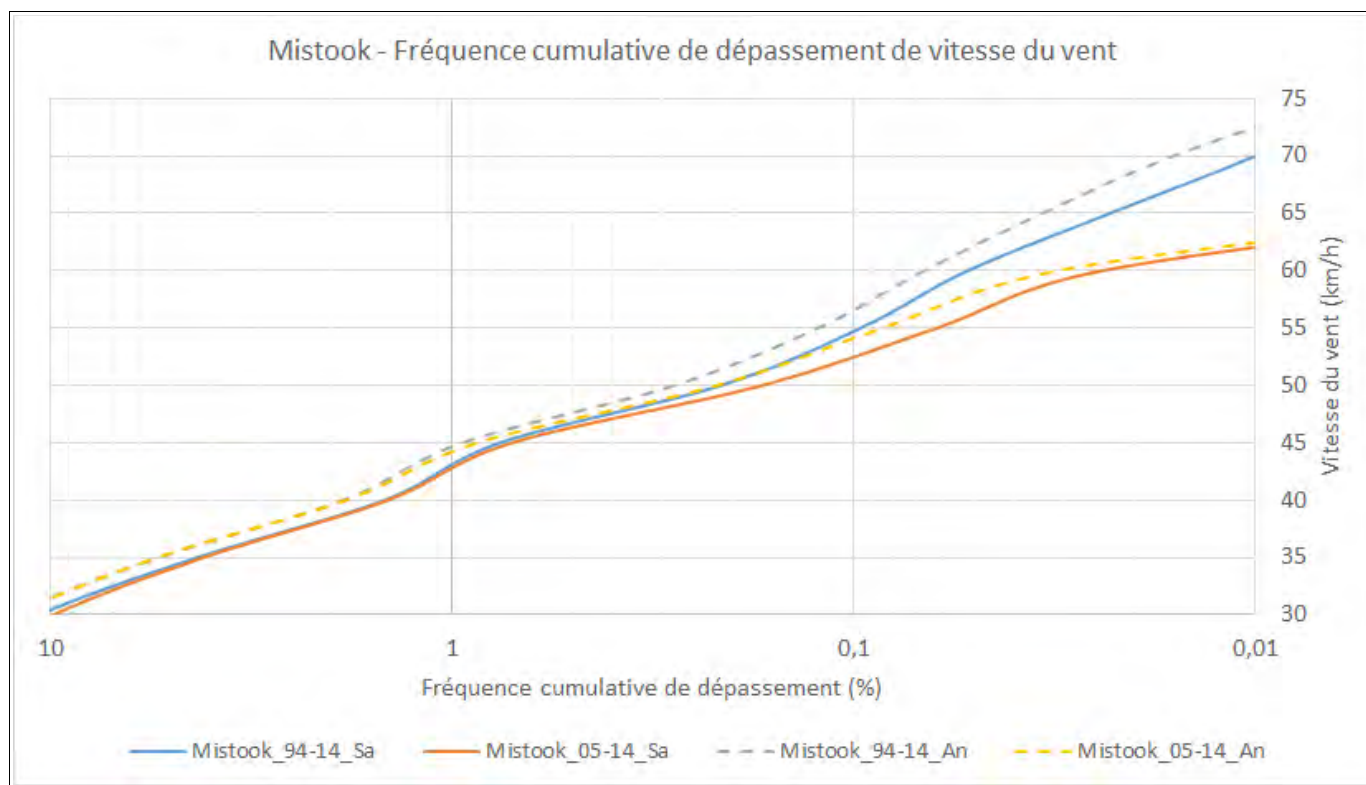


Figure 2.16 Mistook – Fréquence de dépassement des vitesses de vent (An=Année, Sa=Eau libre)

## 2.6 Station météorologique de Normandin

Les vents de la station de Normandin sont disponibles depuis février 1994. Ces informations de vent ont été recueillies sur le site d'Environnement Canada<sup>4</sup>. Pour permettre de les comparer avec ceux des autres stations, deux périodes ont été retenues pour la production des statistiques générales de vent :

- 1994 à 2014 (période commune aux trois stations) et
- 2005 à 2014 (période d'étude détaillée des tempêtes).

Pour chacune de ces périodes, les roses de vent ont été produites pour l'année complète (1<sup>er</sup> janvier au 31 décembre) et pour la saison d'eau libre sur le lac Saint-Jean (9 mai au 5 décembre).

Les figures 2.17 à 2.20 illustrent des différences entre les roses. Les vents dominants de l'ouest-nord-ouest sont plus forts sur l'année que sur la saison d'eau libre. Le secteur est est pratiquement absent de ces roses. Les conditions de vents sont similaires aux stations de Roberval et de Normandin, mais avec quelques différences mineures, comme des vitesses de vents plus grandes observées à Normandin et de légères variations dans l'orientation des vents les plus forts.

---

<sup>4</sup>[http://climat.meteo.gc.ca/climateData/hourlydata\\_f.html?timeframe=1&Prov=QC&StationID=10872&hlyRange=1994-02-01|2014-11-18&Year=2014&Month=11&Day=18](http://climat.meteo.gc.ca/climateData/hourlydata_f.html?timeframe=1&Prov=QC&StationID=10872&hlyRange=1994-02-01|2014-11-18&Year=2014&Month=11&Day=18)

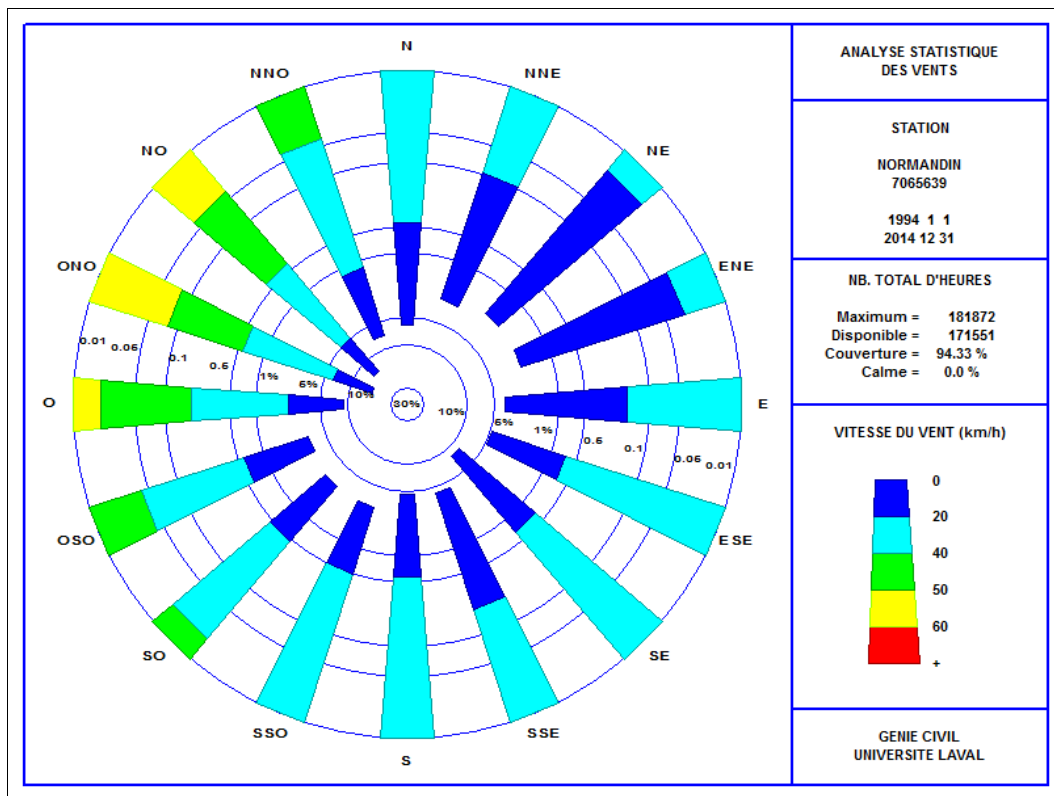


Figure 2.17 Rose des vents de la station de Normandin – 1994-2014 – Année complète

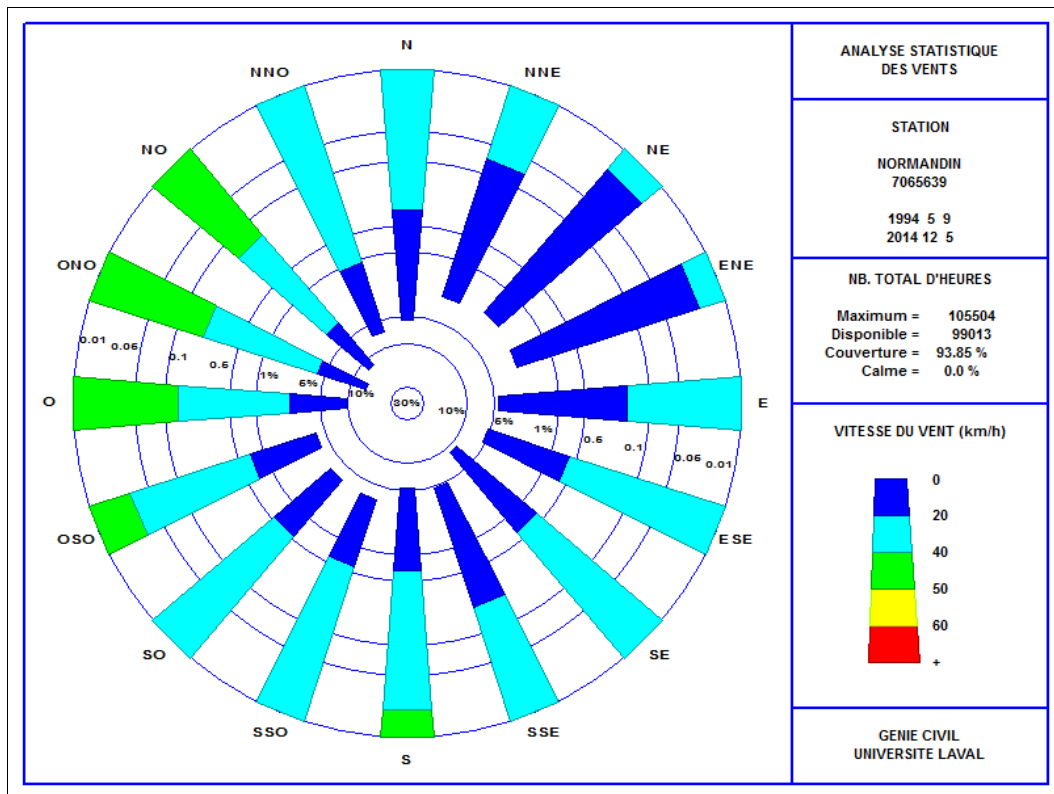


Figure 2.18 Rose des vents de la station de Normandin – 1994-2014 – Saison d'eau libre



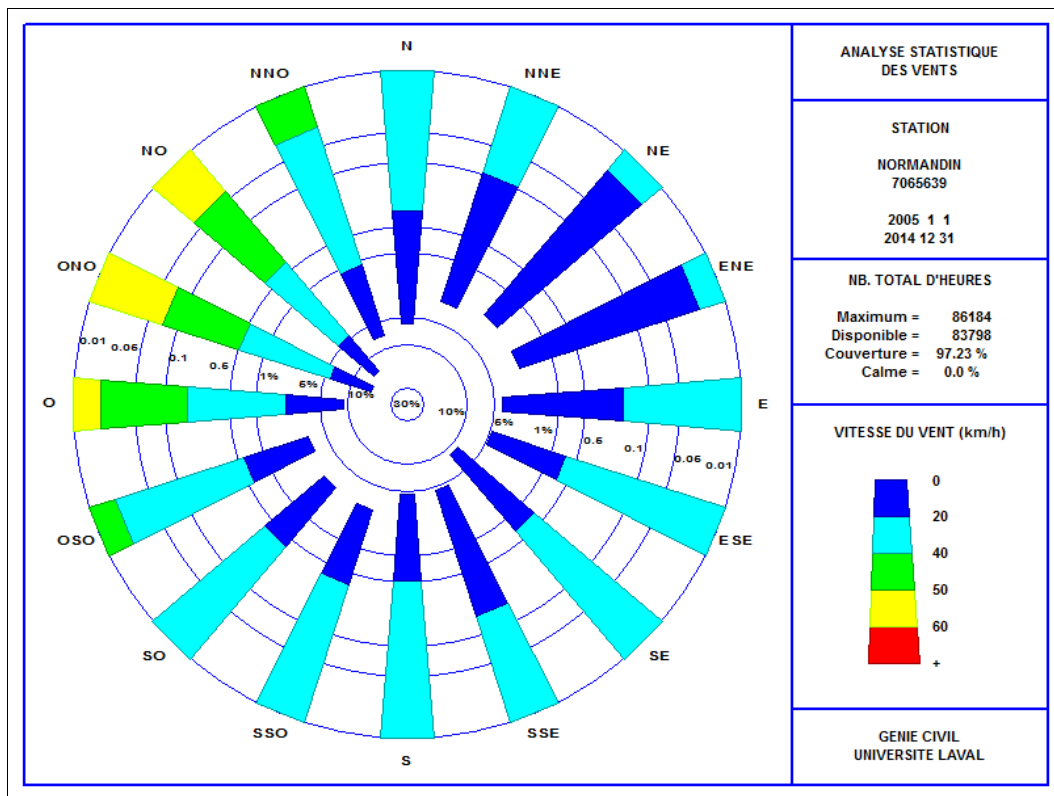


Figure 2.19 Rose des vents de la station de Normandin – 2005-2014 – Année complète

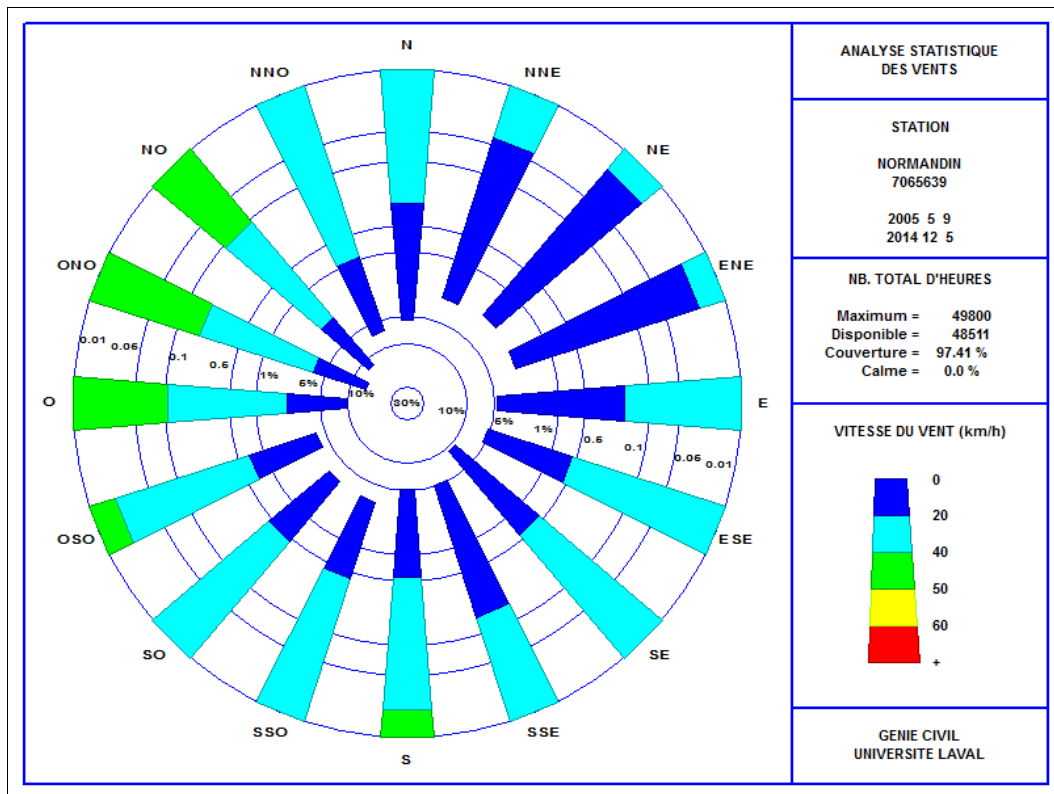


Figure 2.20 Rose des vents de la station de Normandin – 2005-2014 – Saison d'eau libre

Les informations concernant les périodes 1994-2014 et 2005-2014 ont été résumées pour la station de Normandin « Nor » dans les figures 2.21 (pourcentage de vent par direction) et 2.22 (fréquence de dépassement des vitesses de vent) pour l'année complète « \_An » et la saison d'eau libre « \_Sa ».

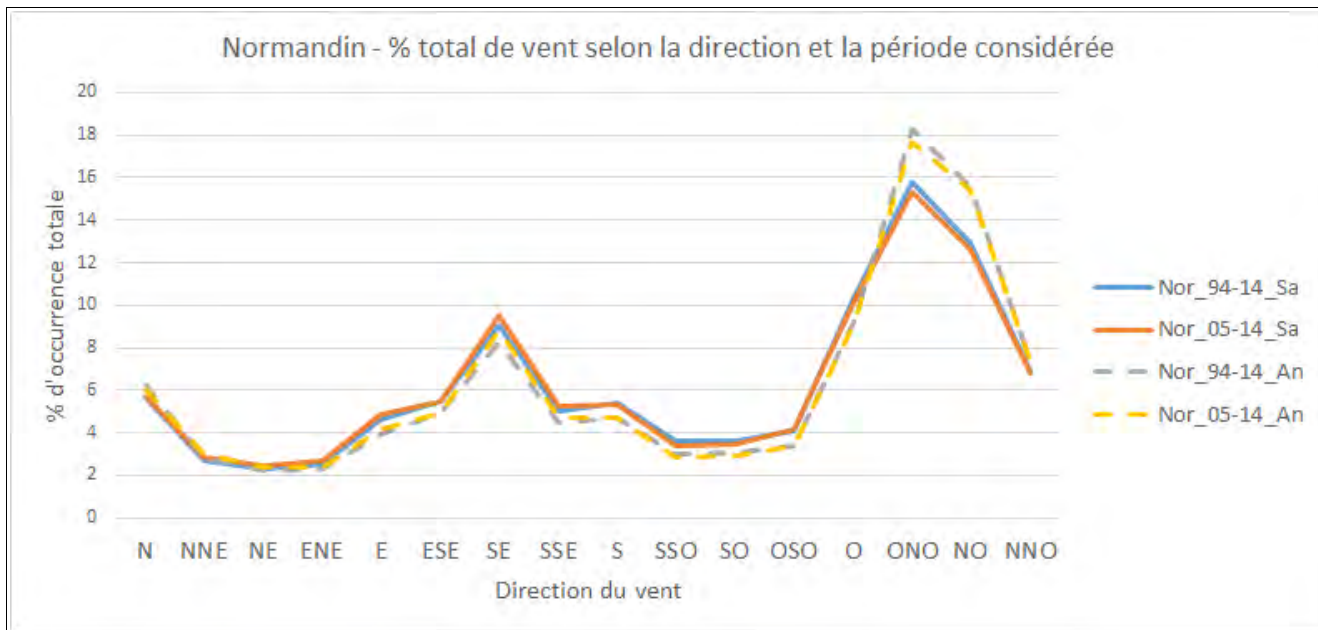


Figure 2.21 Normandin – Pourcentage de vent par direction (« An » = Année et « Sa » = Eau libre)

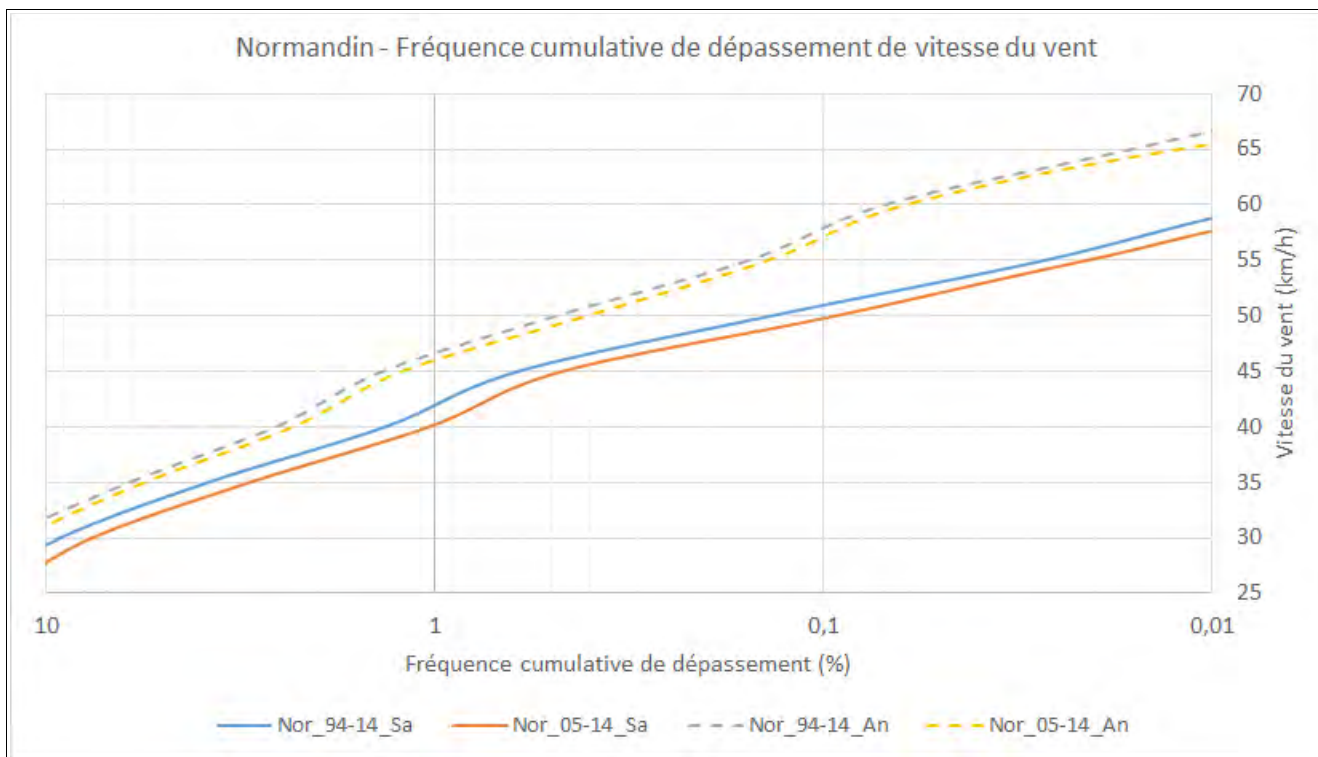


Figure 2.22 Normandin – Fréquence de dépassement des vitesses de vent (An=Année, Sa=Eau libre)

## 2.7 Comparaison des trois stations météorologiques

La comparaison des figures 2.9, 2.15 et 2.21 pour la répartition des directions du vent et la comparaison des figures 2.10, 2.16 et 2.22 pour l'intensité des vents met en lumière de grandes différences entre les stations de Roberval, Mistook et Normandin.

En ce qui concerne les directions du vent (figure 2.23), les stations de Roberval et Normandin montrent une dominance très nette des vents d'ouest alors que la station de Mistook montre un équilibre entre les vents d'ouest et d'est-sud-est.

En ce qui concerne les vitesses de vent en période d'eau libre (figure 2.24), les stations de Roberval et Normandin sont relativement similaires, alors que la station de Mistook donne des vents un peu plus forts, surtout sur la période 1994-2014.

S'il est possible de trouver des similitudes entre les grandes tendances du vent aux stations de Roberval et Normandin, la station de Mistook montre un régime de vent assez différent, que ce soit en direction ou en intensité des vents, par rapport aux deux autres stations météorologiques.

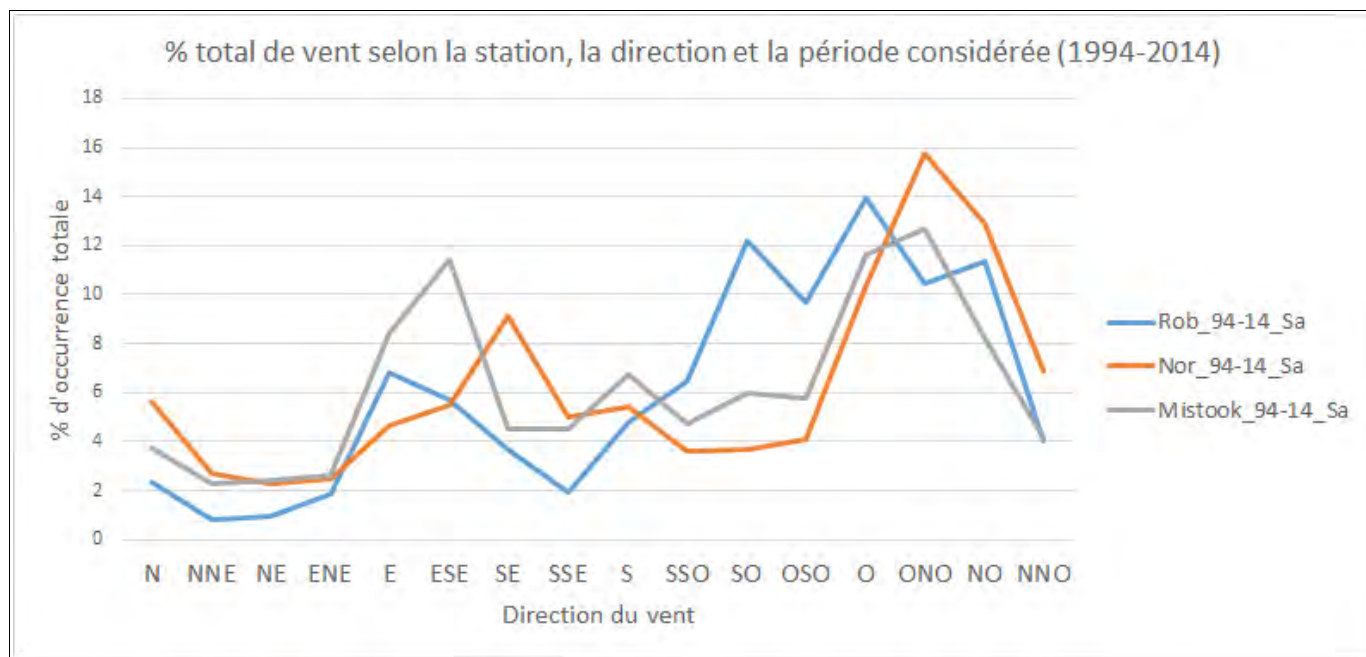


Figure 2.23 Comparaison des pourcentages de vent par direction pour les stations de Roberval (Rob), Normandin (Nor) et Mistook (1994-2014 – Saison d'eau libre)

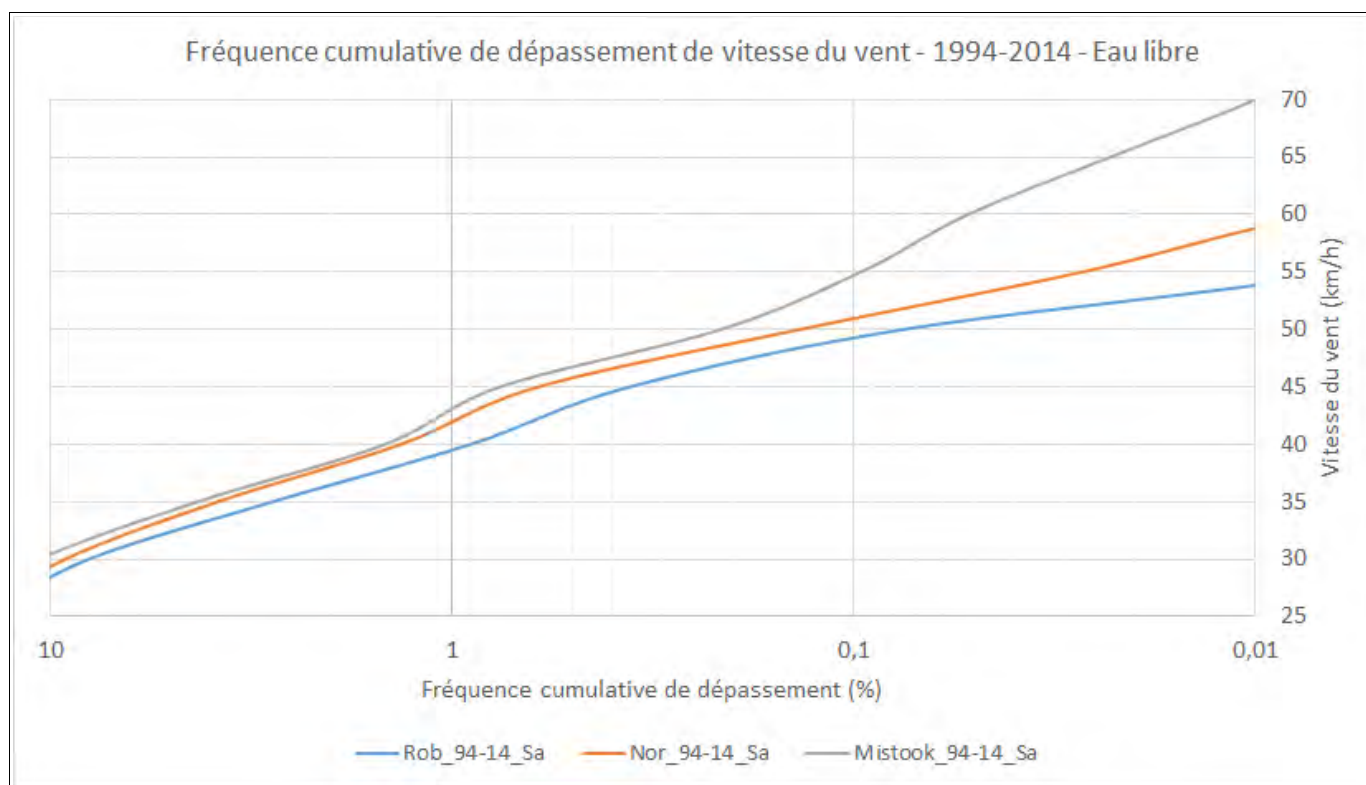


Figure 2.24 Comparaison des fréquences de dépassement des vitesses de vent pour les stations de Roberval (Rob), Normandin (Nor) et Mistook (1994-2014 – Saison d'eau libre)

## **3 Comparaison des données de vent des stations météorologiques**

### **3.1 Saison d'eau libre**

Une étude des photos aériennes (satellite MODIS) et une évaluation des degrés-jours de gel a permis de déterminer que la saison d'eau libre pouvait raisonnablement être fixée entre le **9 mai** et le **5 décembre** (source Lasalle|NHC).

Les caractéristiques des régimes de vent ont été faites sur l'année complète et sur cette période d'eau libre.

L'évaluation des tempêtes a été faite uniquement sur la saison d'eau libre.

### **3.2 Station de Roberval**

Un nettoyage des données de vent de la station de Roberval a été requis.

- 2005-11-23 18:00 : la valeur de 100,08 km/h a été retirée n'étant corrélée ni par les valeurs précédentes et suivantes de la station de Roberval, ni par les valeurs de vitesse de vent des deux autres stations,
- 2006-03-22 12:00 : la valeur de 83,52 km/h a été retirée n'étant corrélée ni par les valeurs précédentes et suivantes de la station de Roberval, ni par les valeurs de vitesse de vent des deux autres stations,
- 2010-04-05 05:00 : la valeur de 87,12 km/h a été retirée n'étant corrélée ni par les valeurs précédentes et suivantes de la station de Roberval, ni par les valeurs de vitesse de vent des deux autres stations,
- 2011-08-05 10:00 : la valeur de 74,16 km/h a été retirée n'étant corrélée ni par les valeurs précédentes et suivantes de la station de Roberval, ni par les valeurs de vitesse de vent des deux autres stations.

Ces données retirées de la base de données ne sont pas forcément des erreurs de lecture de l'appareil, mais ne sont pas utiles à l'analyse de tempêtes visée à cause de leur apparence erratique.

Une fois ces données retirées, entre le 19 avril 2005 à 19:00 et le 9 octobre 2014 à 00:00 (inclusivement), il reste 80 489 valeurs de vitesse de vent à la station de Roberval (incluant les périodes calmes) sur 83 022 valeurs possibles, soit 96,95 % de valeurs disponibles.

### **3.3 Station de Mistook**

Un nettoyage des données de vent de la station de Mistook a été requis.

- 2006-07-15 07:00 : la valeur de 117 km/h a été retirée n'étant corrélée ni par les valeurs précédentes et suivantes de la station de Mistook, ni par les valeurs de vitesse de vent des deux autres stations. De plus, la base de données d'Environnement Canada pour cette heure donne une vitesse de 24 km/h,
- 2007-01-23 16:00 : la valeur de 162 km/h a été retirée n'étant corrélée ni par les valeurs précédentes et suivantes de la station de Mistook, ni par les valeurs de vitesse de vent des deux autres stations. De plus, la base de données d'Environnement Canada pour cette heure donne une vitesse de 7 km/h,
- du 1er mai 2014 à 00:00 au 15 mai 2014 à 15:00, les vitesses de vent fournies par RTA varient de 870 à 908 km/h. Sur cette période, ces données peu réalistes ont été remplacées par celles fournies par Environnement Canada.

Une fois ces données retirées ou remplacées, entre le 19 avril 2005 à 19:00 et le 9 octobre 2014 à 00:00 (inclusivement), il reste 80 683 valeurs de vitesse de vent à la station de Mistook (incluant les périodes calmes) sur 83 022 valeurs possibles, soit 97,18 % de valeurs disponibles.

### **3.4 Station de Normandin**

Un nettoyage des données de vent de la station de Normandin a été requis.

- 2006-09-19 18:00 : la valeur de 12 962,1 km/h a été retirée, de même que la direction de 6 999 degrés correspondante,
- 2006-09-20 17:00 : la valeur de 12 962,1 km/h a été retirée, de même que la direction de 6 999 degrés correspondante

Une fois ces données retirées, entre le 19 avril 2005 à 19:00 et le 9 octobre 2014 à 00:00 (inclusivement), il reste 79 684 valeurs de vitesse de vent à la station de Normandin (incluant les périodes calmes) sur 83 022 valeurs possibles, soit 95,98 % de valeurs disponibles.

## 4 Comparaison des données des stations de Roberval et Mistook

### 4.1 Comparaison des vitesses de vents

La comparaison des vitesses de vent s'est effectuée sur la base des données synchrones aux stations de Roberval et Mistook. Les données présentant des vitesses de moins de 1 km/h à l'une ou l'autre des stations comparées ont été retirées pour éviter d'inclure dans l'analyse des couples de valeurs de vitesses totalement divergentes (50 km/h à une station versus 0 km/h à l'autre station, par exemple).

La figure 4.1 présente les données synchrones aux stations de Roberval et Mistook sur la base d'un classement des vitesses de vent de la station de Roberval avec une valeur minimale de la vitesse de 20 km/h.

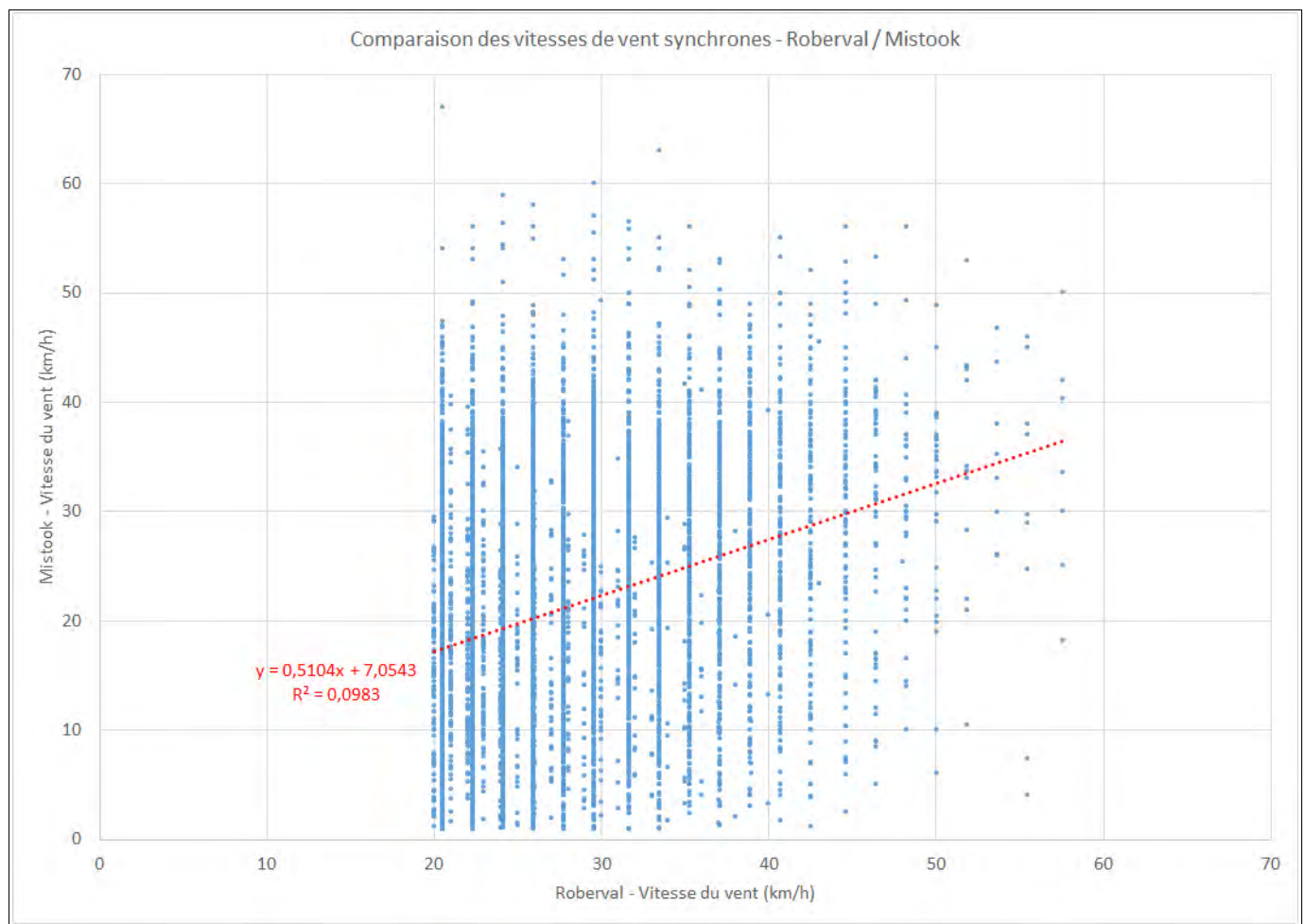


Figure 4.1 Comparaison des vitesses de vent – Roberval (>20 km/h) versus Mistook

La figure 4.2 présente les données synchrones aux stations de Roberval et Mistook sur la base d'un classement des vitesses de vent de la station de Mistook avec une valeur minimale de la vitesse de 20 km/h.

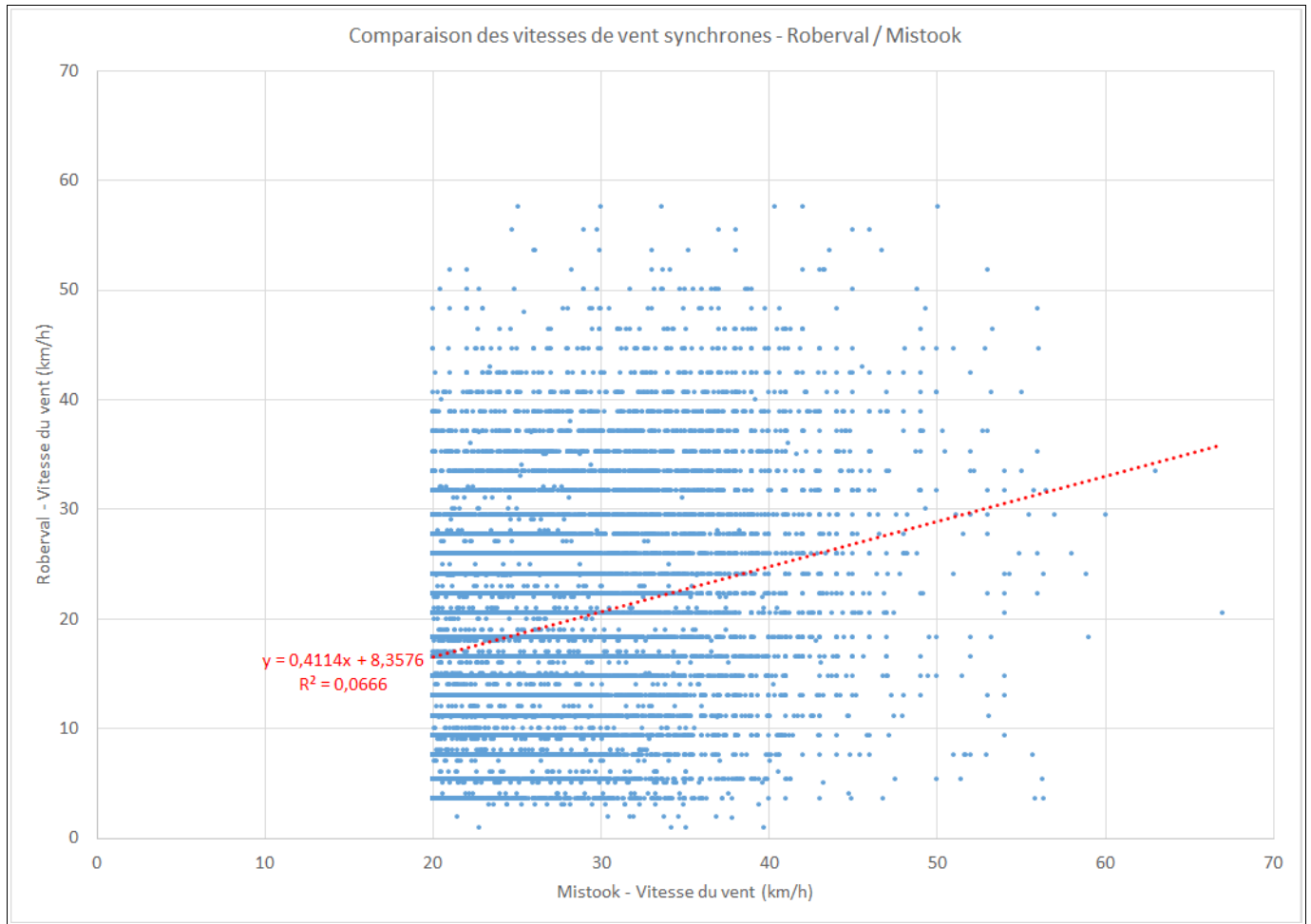


Figure 4.2 Comparaison des vitesses de vent – Roberval versus Mistook (>20 km/h)

Les deux figures indiquent les très grandes divergences et l'absence de corrélation entre les données synchrones aux deux stations de Roberval et Mistook.

## 4.2 Comparaison des grandes vitesses de vent

Afin de vérifier si les grandes vitesses de vent étaient mieux corrélées, les mêmes comparaisons que celles présentées ci-dessus ont été faites avec des seuils de vitesses de vent de 30 et 40 km/h. Seules les figures correspondant au seuil de 40 km/h sont présentées ci-dessous (figures 4.3 et 4.4), le résultat de ces comparaisons donnant des corrélations encore plus faibles entre les données synchrones aux stations de Roberval et Mistook que l'exercice précédent.



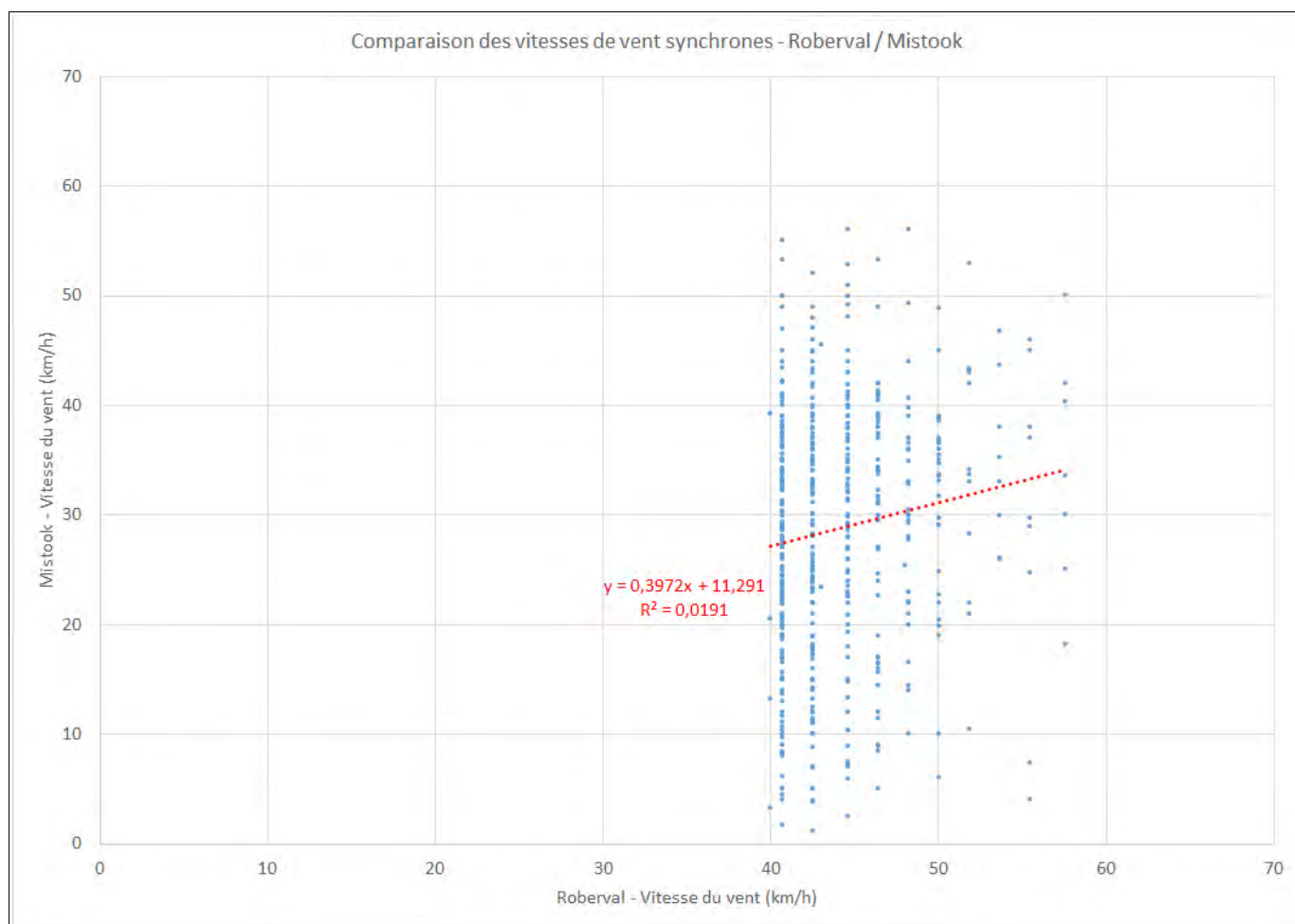


Figure 4.3 Comparaison des vitesses de vent – Roberval (>40 km/h) versus Mistook

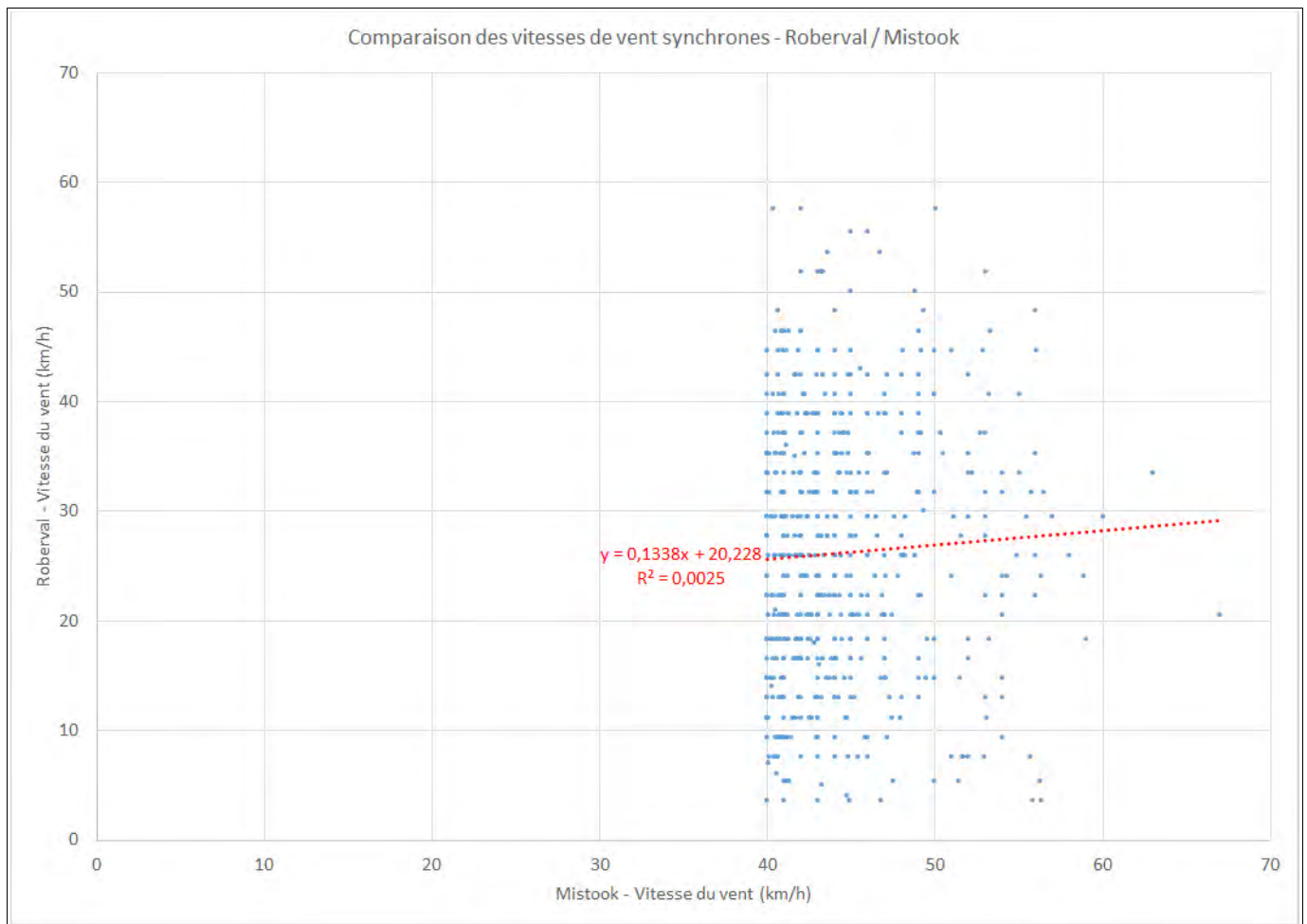


Figure 4.4 Comparaison des vitesses de vent – Roberval versus Mistook (>40 km/h)

### 4.3 Comparaison des directions de vents

La comparaison des directions de vent s'est effectuée sur la base des données synchrones aux différentes stations selon la même méthodologie que pour les vitesses.

Les figures 4.5 et 4.6 présentent les données synchrones aux stations de Roberval et Mistook sur la base d'un classement des vitesses de vent de la station de Roberval (figure 4.5) et Mistook (figure 4.6) avec une valeur minimale de la vitesse de 20 km/h.

La pente de la droite de régression est relativement proche de l'unité, mais les figures présentent une dispersion importante des directions du vent entre les stations de Roberval et Mistook.

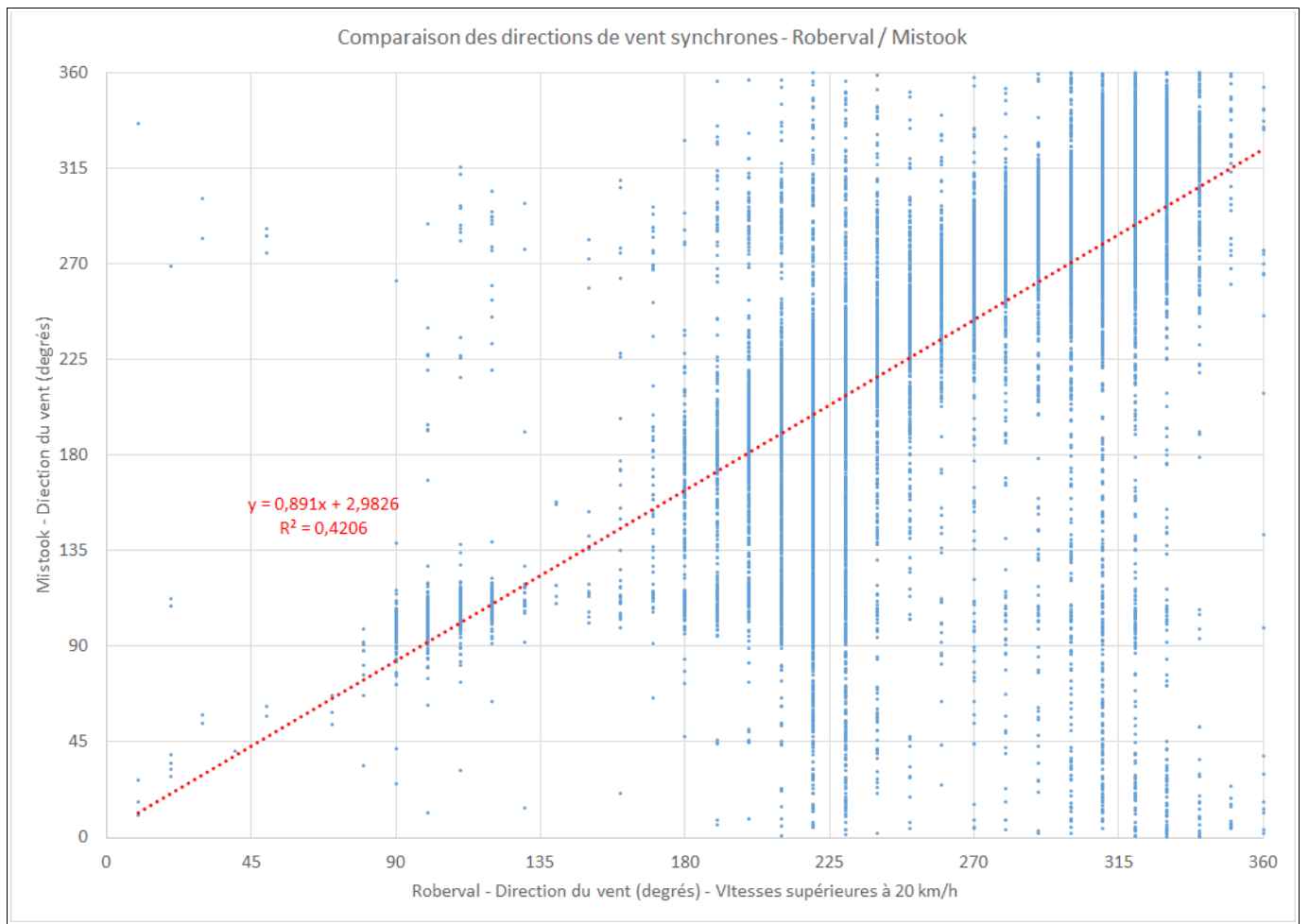


Figure 4.5 Comparaison des directions de vent – Roberval (>20 km/h) versus Mistook

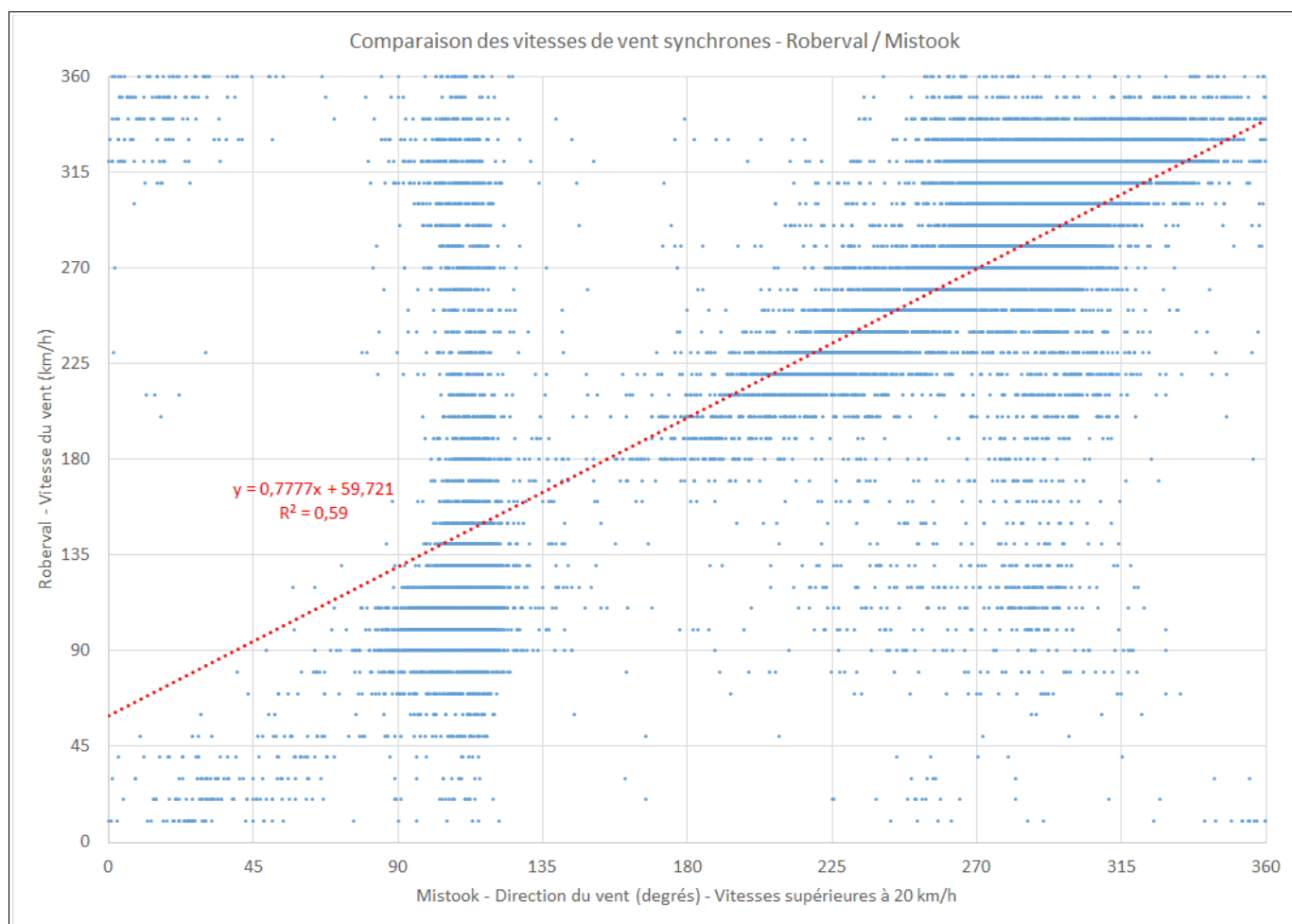


Figure 4.6 Comparaison des directions de vent – Roberval versus Mistook (>20 km/h)

#### 4.4 Comparaison des directions des grands vents

Afin de vérifier si les directions de vent correspondant aux grandes vitesses de vent étaient mieux corrélées, les mêmes comparaisons que celles présentées ci-dessus ont été faites avec des seuils de vitesses de vent de 30 et 40 km/h. Seules les figures correspondant au seuil de 40 km/h sont présentées ci-dessous (figures 4.7 et 4.8), le résultat des comparaisons correspondant au seuil de 30 km/h donnant des valeurs intermédiaires entre celles obtenues avec des seuils de 20 et 40 km/h.

Les figures 4.7 et 4.8 présentent les données synchrones aux stations de Roberval et Mistook sur la base d'un classement des vitesses de vent de la station de Roberval (figure 4.7) puis de Mistook (figure 4.8) avec une valeur minimale de la vitesse de 40 km/h.

La pente de la droite de régression est toujours relativement proche de l'unité et les figures présentent une dispersion un peu moins importante des directions du vent entre les stations de Roberval et Mistook que les figures 4.5 et 4.6.

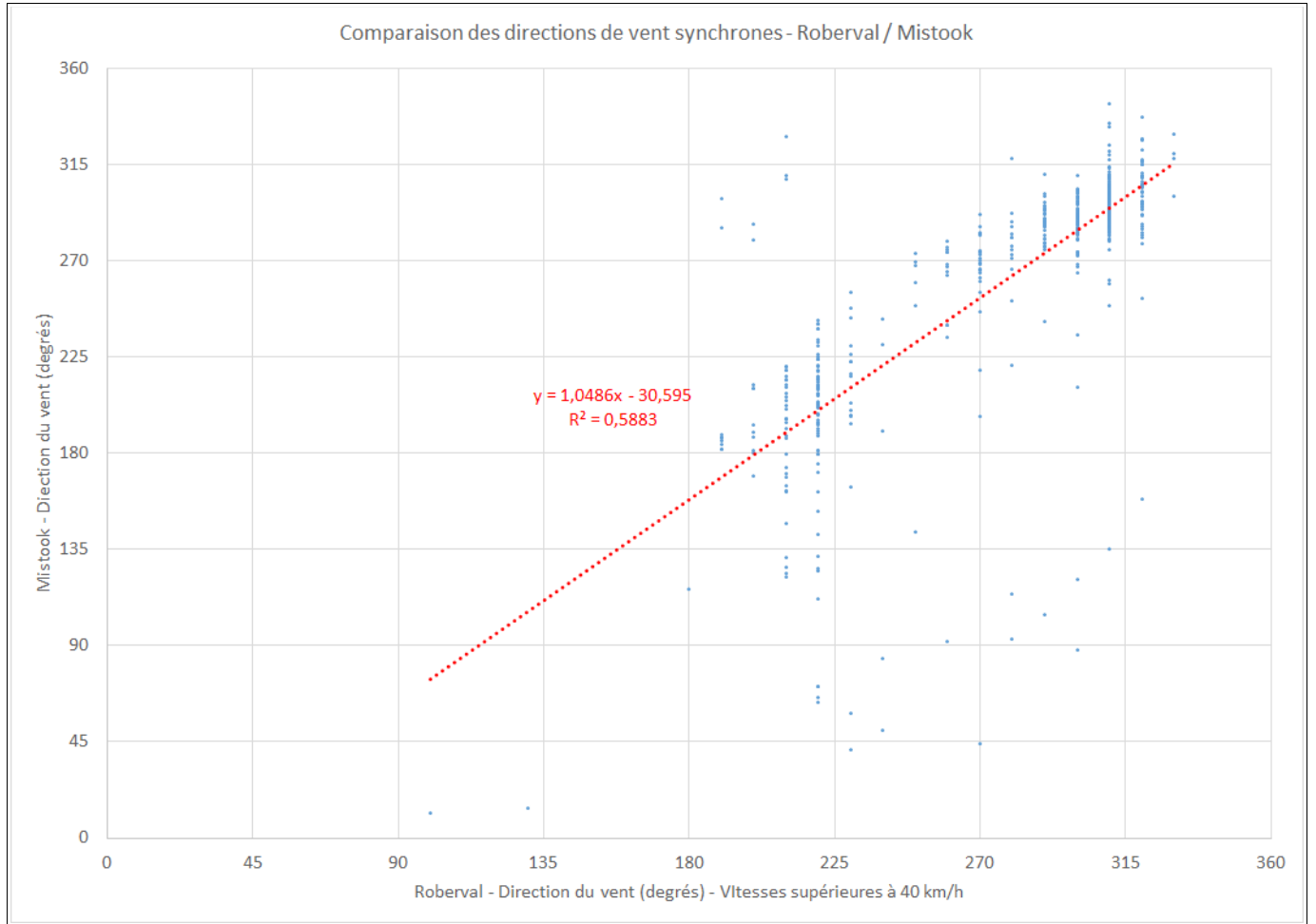


Figure 4.7 Comparaison des directions de vent – Roberval (>40 km/h) versus Mistook

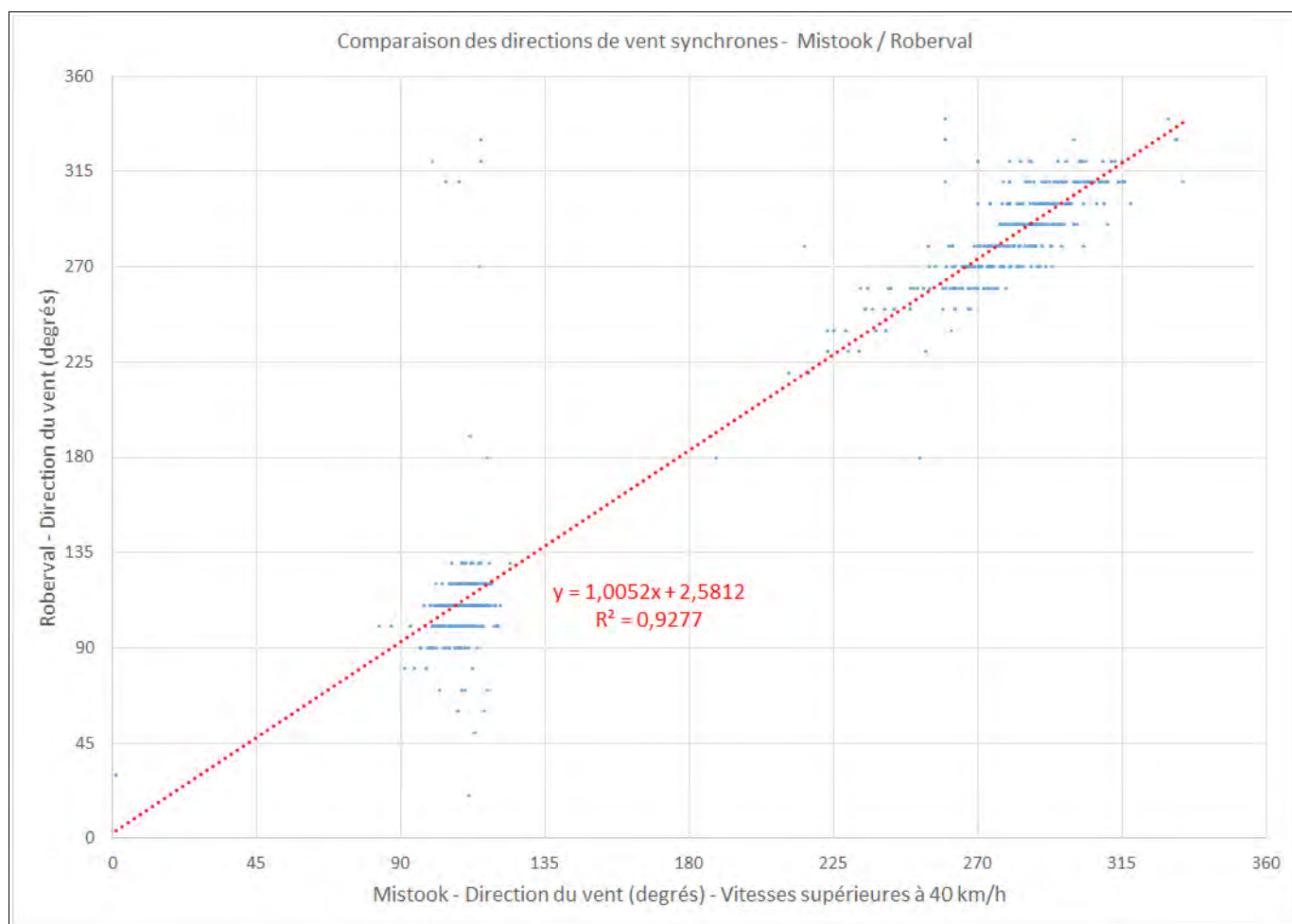


Figure 4.8 Comparaison des directions de vent – Roberval versus Mistook (>40 km/h)

Les directions de vents sont relativement bien corrélées pour les grandes vitesses de vent à Roberval et Mistook. Cette corrélation est un peu meilleure pour les vents d'ouest que pour les vents d'est.

## 5 Analyse des tempêtes

### 5.1 Contexte de l'étude des tempêtes

Une étude des tempêtes a été effectuée pour les trois stations de Roberval, Mistook et Normandin. Une « tempête » a été définie comme un événement au cours duquel la vitesse de vent a dépassé les 40 km/h à la station de Mistook<sup>5</sup>.

Les figures des séries chronologiques de vitesse et direction du vent pour les trois stations (Roberval, Mistook et Normandin) se trouvent dans les annexes de ce rapport pour la majorité des tempêtes identifiées. Seuls des exemples caractéristiques du régime de vent aux trois stations sont reproduits dans ce chapitre pour les directions principales de la rose des vents. La consultation des figures apparaissant dans les annexes permet de constater la variabilité des tempêtes.

La figure 5.1 illustre la chronologie des tempêtes pour les quatre secteurs de la rose des vents sur la période 2005-2014. La date (heure HNE) se trouve en abscisse et la valeur maximale de la vitesse de vent horaire mesurée à Mistook se trouve en ordonnée. Le critère de sélection d'une vitesse maximale de vent supérieure à 40 km/h mesurée à Mistook a fait l'objet d'une exception dans le cas de la tempête du secteur sud du 25 mai 2012. Ce genre de tempête du sud étant rare, cette tempête a été retenue dans l'analyse car les vitesses de vents ont dépassé les 40 km/h aux stations de Roberval et Normandin à cette occasion.

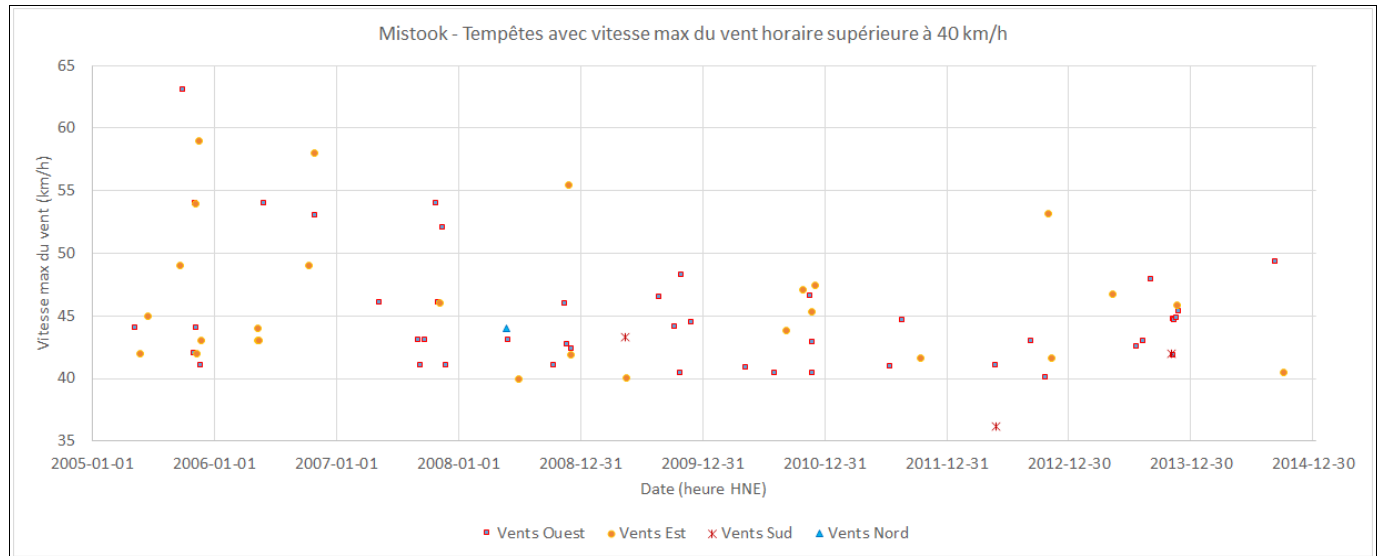


Figure 5.1 Chronologie des tempêtes de 2005 à 2014 – Vitesse maximale du vent horaire à Mistook

Le graphique de la figure 5.1 permet de constater que les tempêtes présentant les vents les plus violents se sont en général produites à l'automne.

<sup>5</sup>Ce critère de vitesse minimale de 40 km/h du vent à Mistook n'a été retenu que pour obtenir un nombre suffisant de tempêtes importantes permettant de faire la comparaison entre les vents forts enregistrés aux trois stations météorologiques étudiées

## 5.2 Saisons automnale des tempêtes

Des exemples de cette succession de tempêtes automnales, tous secteurs confondus, ont été produits pour mettre en lumière cette dynamique importante en termes d'érosion des berges.

Les figures 5.2 à 5.5 illustrent les saisons d'automne 2005, 2007, 2010 et 2013 (12 semaines / graphique).

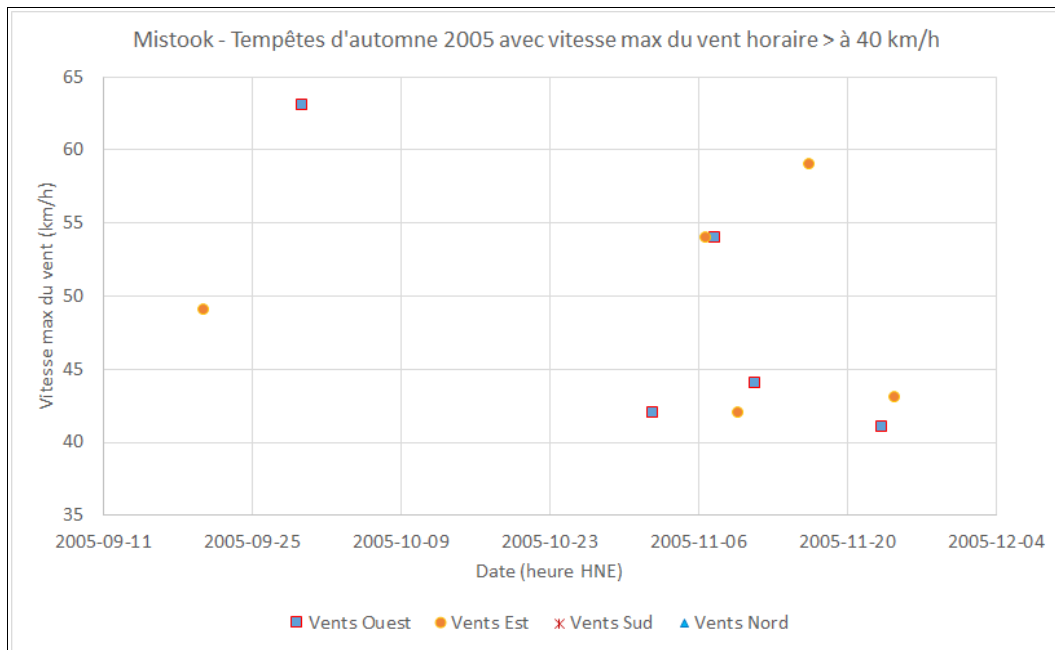


Figure 5.2 Chronologie des tempêtes d'automne 2005 (vents > 40 km/h à Mistook)

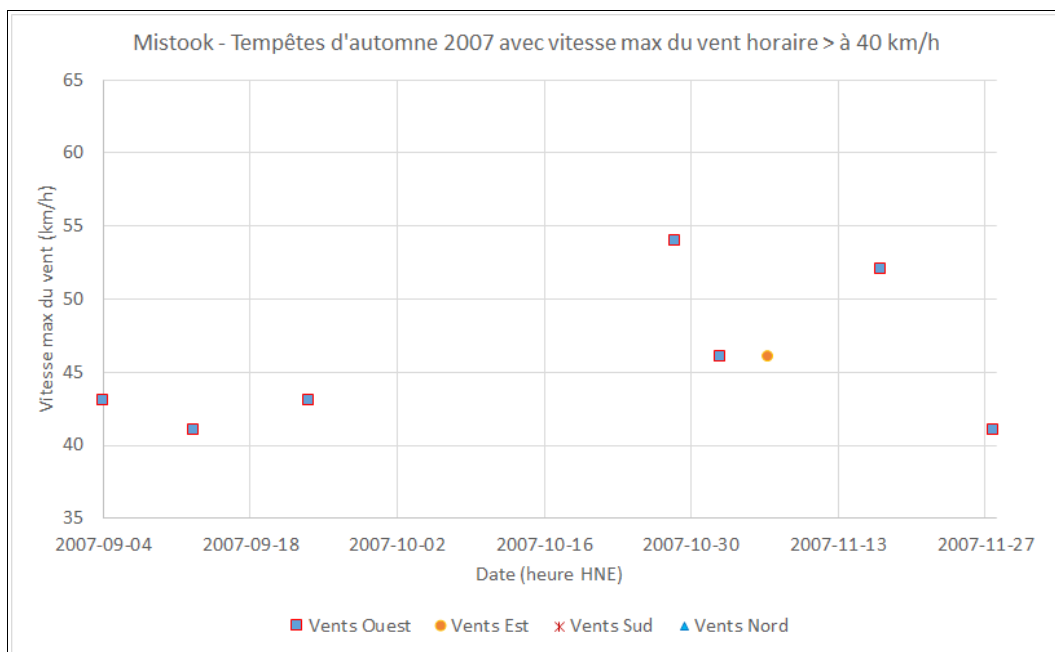


Figure 5.3 Chronologie des tempêtes d'automne 2007 (vents > 40 km/h à Mistook)



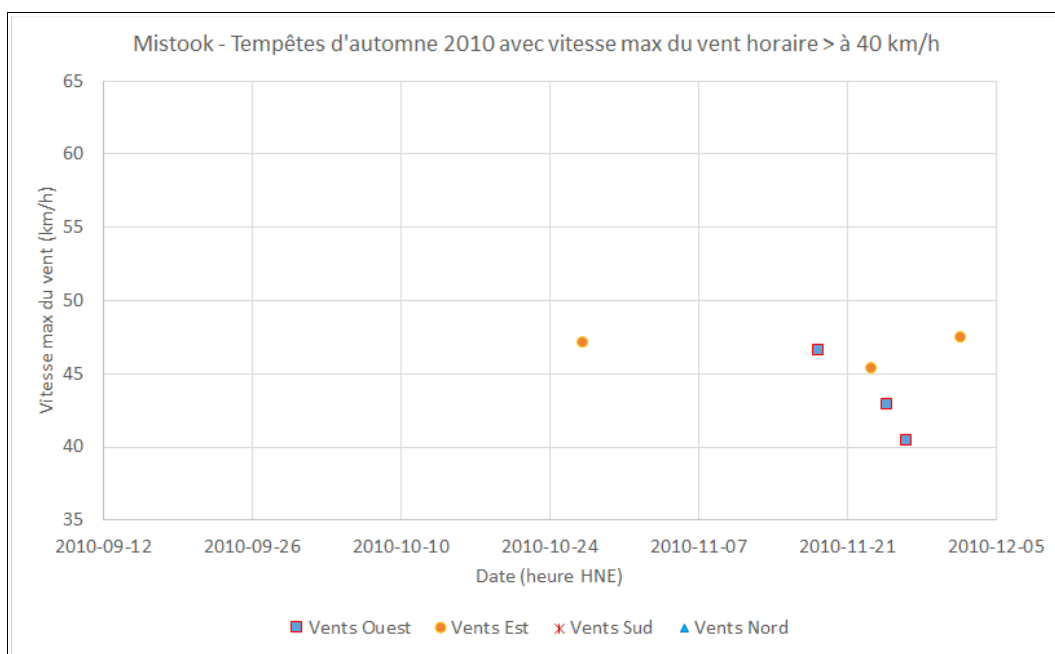


Figure 5.4 Chronologie des tempêtes d'automne 2010 (vents > 40 km/h à Mistook)

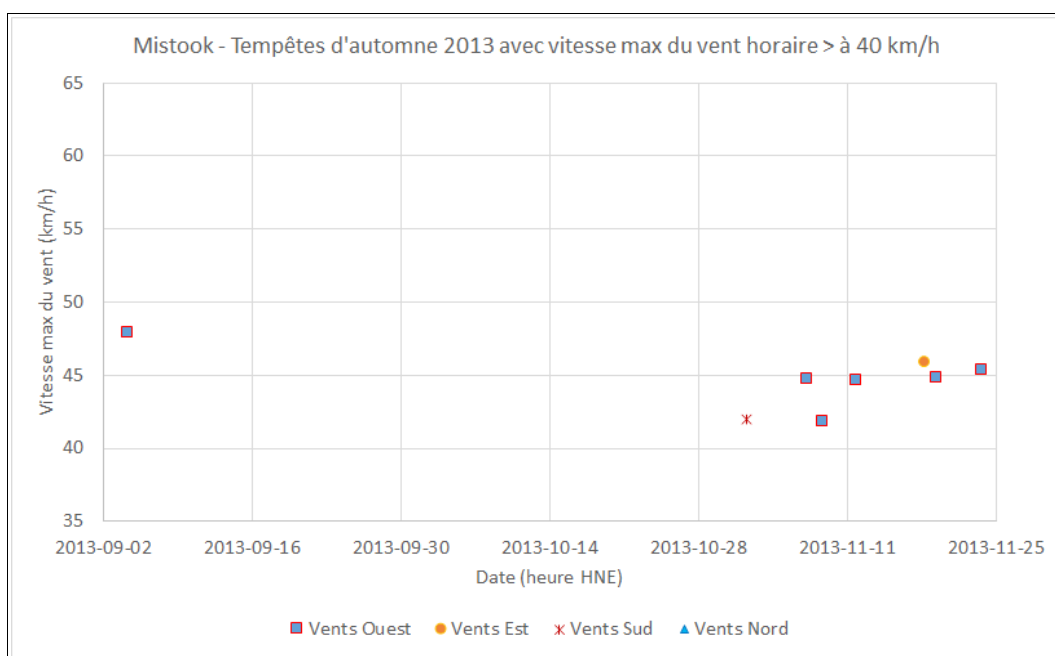


Figure 5.5 Chronologie des tempêtes d'automne 2013 (vents > 40 km/h à Mistook)

Les saisons d'automne 2005 et 2013 se révèlent avoir été des saisons particulièrement venteuses en novembre. La saison 2013 est tout à fait spéciale pas sa succession pratiquement ininterrompue de vents forts du secteur ouest, entrecoupée d'une tempête du secteur est. La saison 2005 a également été très venteuse, mais avec une alternance des tempêtes des secteurs est et ouest.

### 5.3 Tempêtes du secteur ouest

Les tempêtes du secteur ouest sont relativement fréquentes dans la région du lac Saint-Jean. Les figures 5.6 et 5.7 illustrent l'une de ces tempêtes qui s'est produite les 29 et 30 octobre 2006. Ces forts vents d'ouest se sont produits suite à une période de forts vents du secteur est (28 octobre 2006). Lorsque soufflent les vents d'ouest, la direction des vents est homogène et les vents soufflent à peu près avec la même intensité aux trois stations. Les vents se sont maintenus au-dessus de 30 km/h pendant plus de 36 heures à Mistook lors de cette tempête du secteur ouest, après s'être maintenu pendant 18 heures au-dessus des 30 km/h en provenance de l'est la veille. Les tempêtes du 28 octobre 2007 et du 25 octobre 2009 suivent le même patron (voir figures A17, A18, A39 et A40 de l'annexe A).

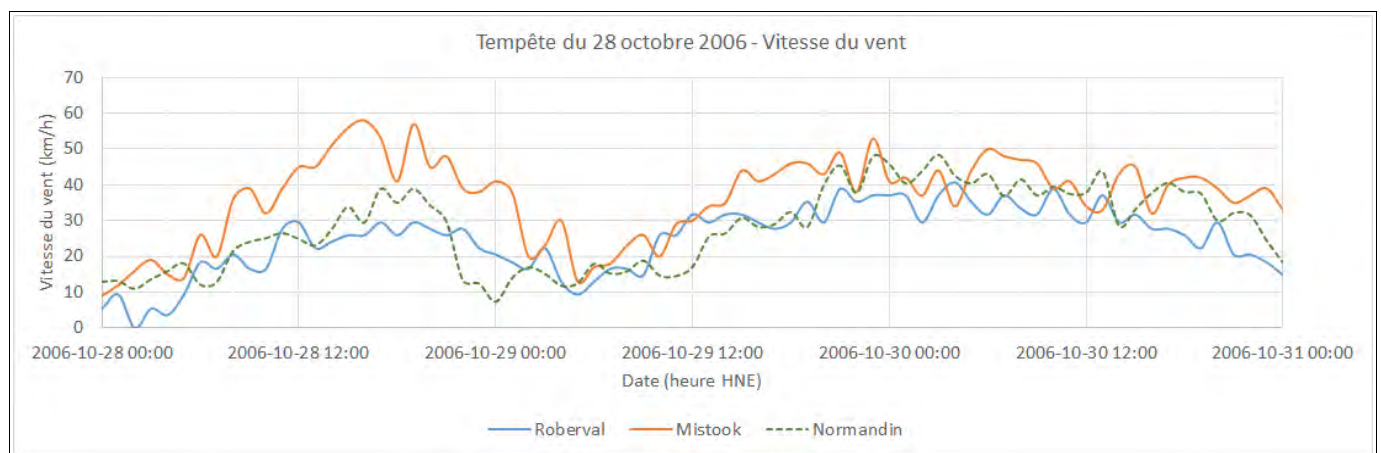


Figure 5.6 Série chronologique des vitesses de vent des stations de Roberval, Mistook et Normandin lors de la tempête des 29 et 30 octobre 2006

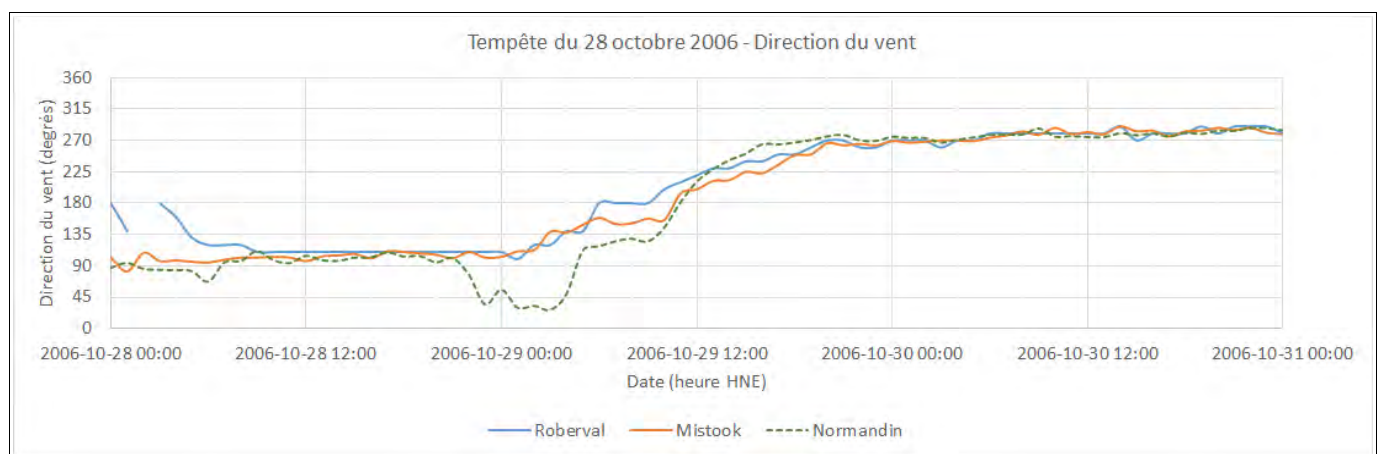


Figure 5.7 Série chronologique des directions de vent des stations de Roberval, Mistook et Normandin lors de la tempête des 29 et 30 octobre 2006

Les exceptions à cette règle de concordance des vitesses de vents des trois stations lors des tempêtes du secteur ouest sont relativement rares :

- le 29 septembre 2005, les vents étaient nettement plus forts à Mistook qu'à Roberval (figures A1 et A2),
- le 23 septembre 2007, les vents de Normandin étaient nettement plus forts que ceux de Roberval alors que les vitesses de vents de Mistook étaient intermédiaires (figures A15 et A16),
- le 29 mai 2008, la station de Roberval donne exceptionnellement des vents plus forts que les deux autres stations vers la fin de la tempête (figures A23 et A24).

La figure 5.8 illustre les vitesses maximales atteintes aux trois stations lors des tempêtes du secteur ouest. On peut constater sur cette figure qu'il est difficile de distinguer une tendance, les vitesses maximales aux trois stations étant relativement homogènes.

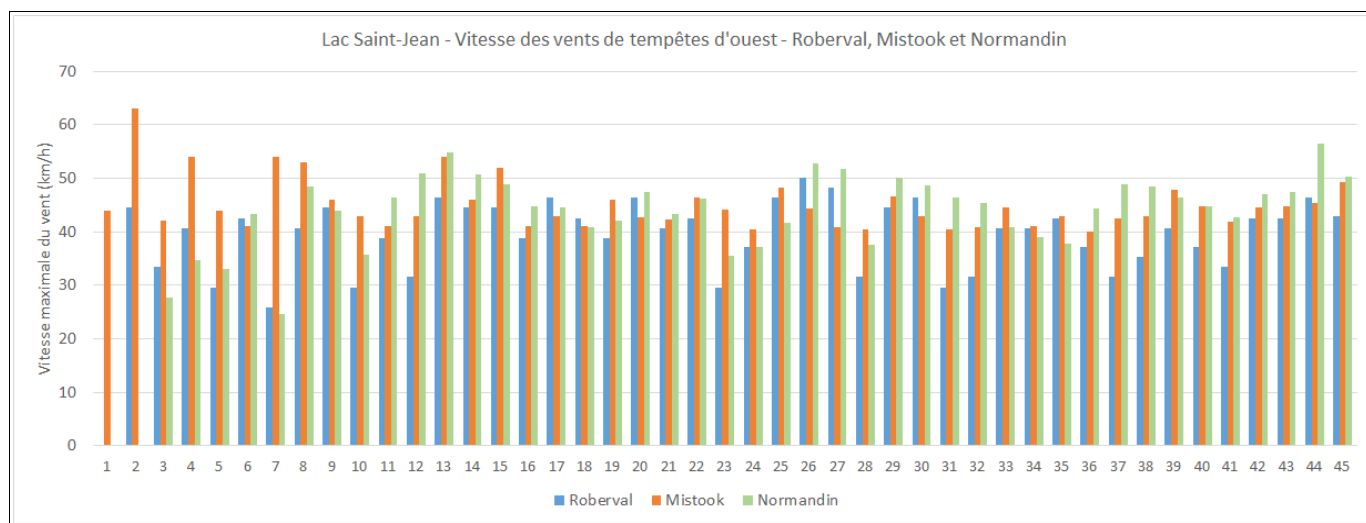


Figure 5.8 Comparaison des vitesses maximales de vent de tempêtes du secteur ouest – Roberval / Mistook / Normandin

Les moyennes des vitesses maximales du vent pour les tempêtes d'ouest illustrées sur la figure 5.8 sont :

- Roberval : 39,6 km/h
- Mistook : 45,0 km/h
- Normandin : 44,1 km/h

Les moyennes de vitesses maximales se comparent très bien entre Mistook et Normandin alors que celle de Roberval est d'environ 10% inférieure aux deux autres.

## 5.4 Tempêtes du secteur est

Les tempêtes du secteur est sont différentes des tempêtes du secteur ouest. Les tempêtes de ces deux secteurs sont à peu près aussi nombreuses lors de la période considérée. Par contre, les vitesses de vent enregistrées à Mistook lors de tempêtes du secteur est sont systématiquement plus grandes que celles enregistrées aux deux autres stations.

La figure 5.9 illustre bien ce phénomène. La vitesse maximale atteinte par le vent à Mistook le 26 novembre 2008 a été de 55,5 km/h, alors que les vitesses maximales enregistrées aux deux autres stations n'ont pas dépassé 38,5 km/h pour Roberval et 35,5 km/h pour Normandin. La direction des vents a été très homogène aux trois stations lors de cette tempête (figure 5.10). Les vents se sont maintenus au-dessus de 30 km/h pendant plus de 30 heures à Mistook.

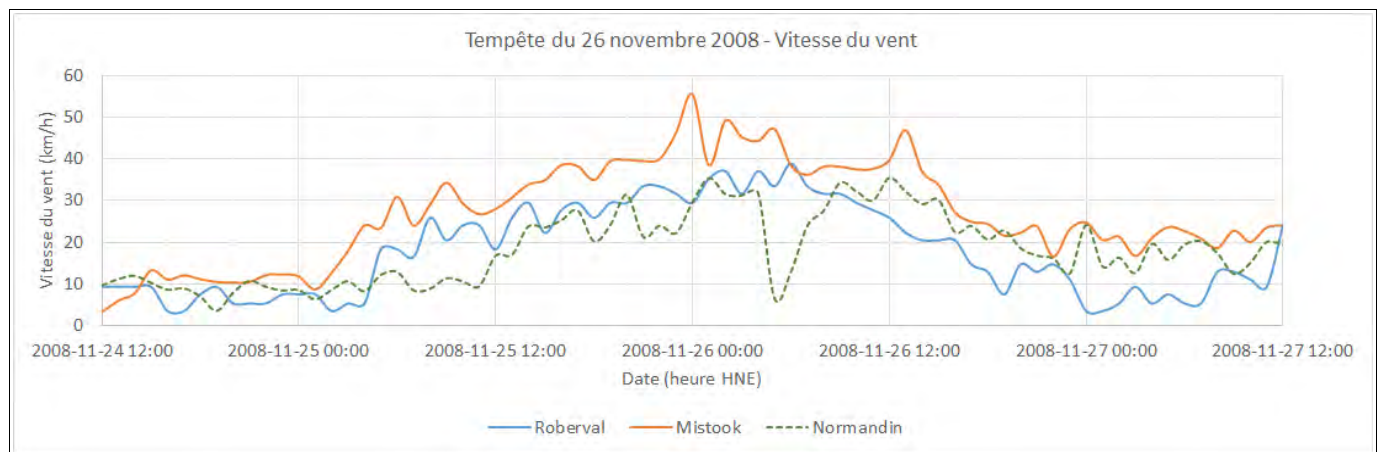


Figure 5.9 Série chronologique des vitesses de vent des stations de Roberval, Mistook et Normandin lors de la tempête du 26 novembre 2008

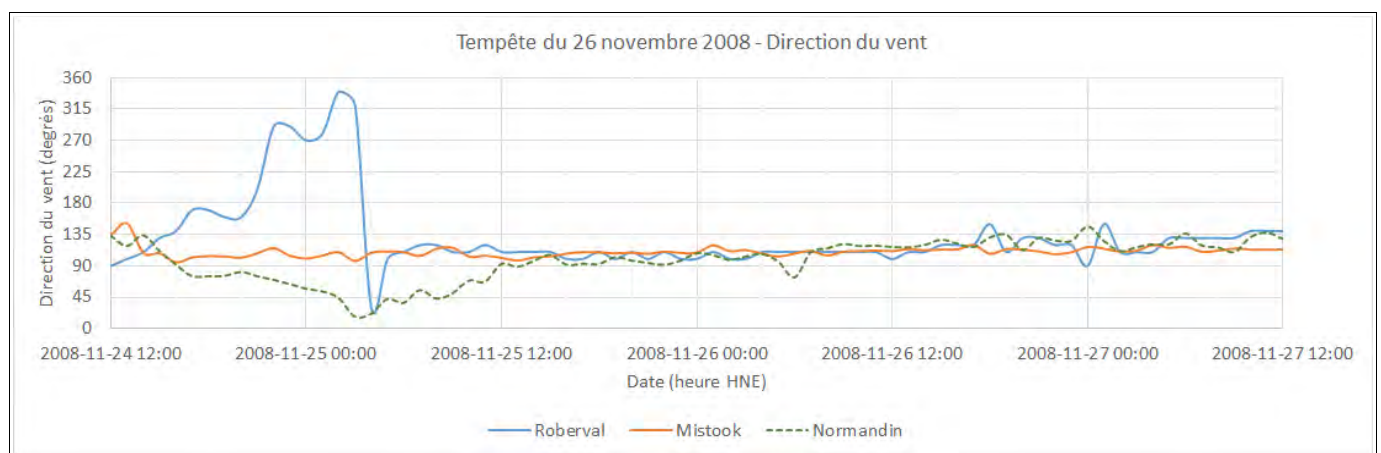


Figure 5.10 Série chronologique des directions de vent des stations de Roberval, Mistook et Normandin lors de la tempête du 26 novembre 2008

La tempête du secteur est du 16 novembre 2005, illustrée sur les figures 5.11 et 5.12, fait figure d'extrême dans cette différence de vitesse du vent entre les trois stations. Les vents à Mistook ont atteint des vitesses de 60 km/h alors qu'ils ne dépassaient pas les 24 km/h aux deux autres stations lors de cette tempête.

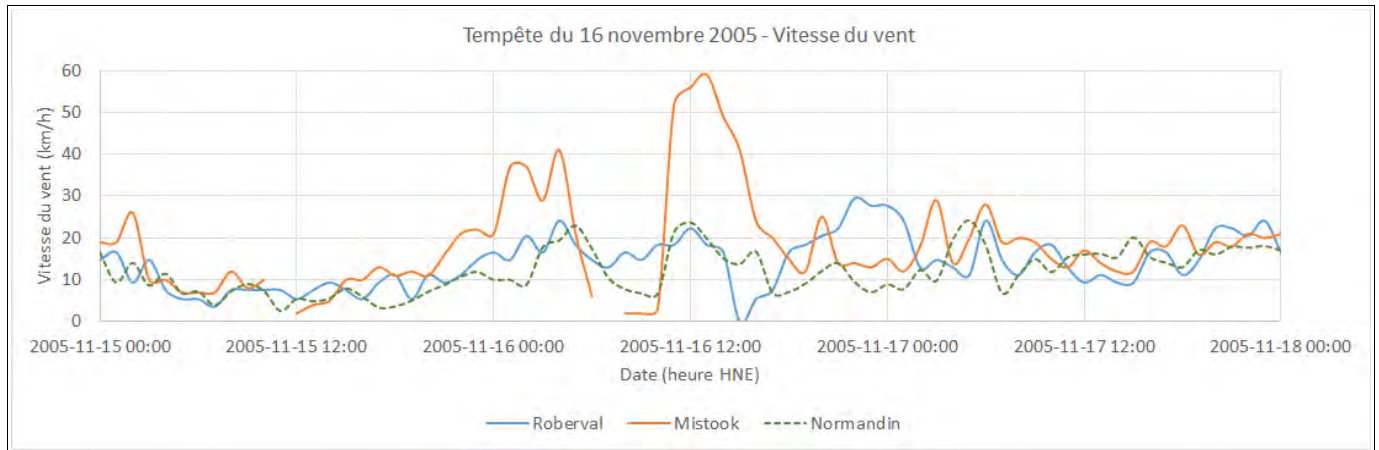


Figure 5.11 Série chronologique des vitesses de vent des stations de Roberval, Mistook et Normandin lors de la tempête du 16 novembre 2005

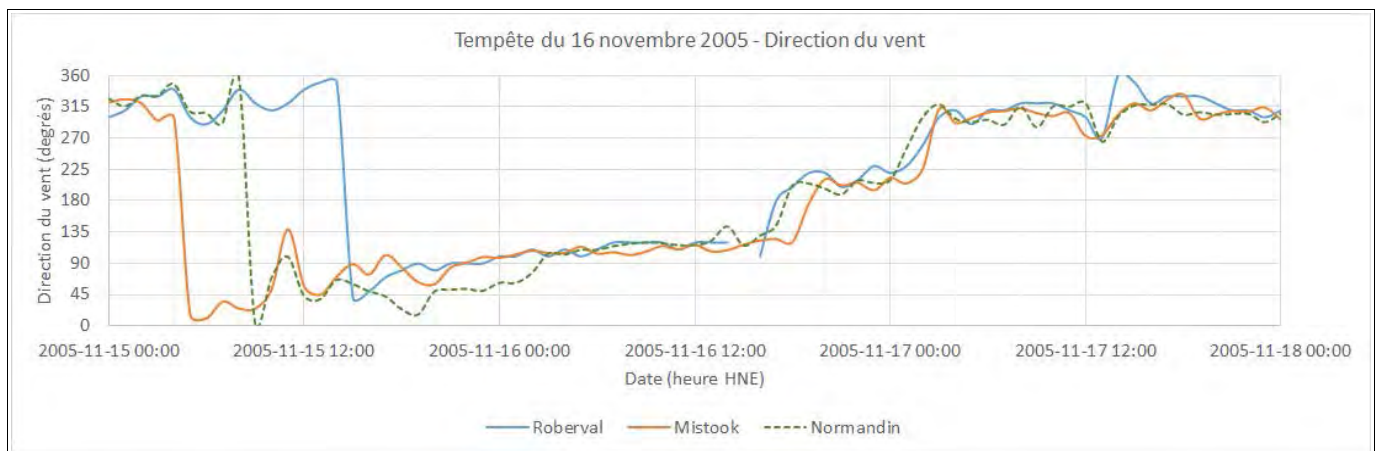


Figure 5.12 Série chronologique des directions de vent des stations de Roberval, Mistook et Normandin lors de la tempête du 16 novembre 2005

Les autres tempêtes pour lesquelles les vitesses de vent atteintes à Mistook ont été nettement plus grandes qu'aux deux autres stations ont eu lieu :

- le 20 septembre 2005 (figures B1 et B2),
- le 6 novembre 2005 (figures B3 et B4),
- le 10 novembre 2005 (figures B5 et B6),

- les 10, 11, 12 et 13 mai 2006 (figures B11, B12, B13 et B14),
- le 28 octobre 2006 (figures B19 et B20),
- le 6 novembre 2007 (figures B21 et B22),
- le 29 juin 2008 (figures B23 et B24),
- le 8 septembre 2010 (figures B33 et B34),
- le 27 octobre 2010 (figures B35 et B36),
- le 23 novembre 2010 (figures B37 et B38),
- le 1<sup>er</sup> décembre 2010 (figures B41 et B42),
- le 14 octobre 2011 (figures B43 et B44),
- le 30 octobre 2012 (figures B47 et B48),
- le 11 mai 2013 (figures B49 et B50),
- les 18 et 19 novembre 2013 (figures B51 et B52),
- le 4 octobre 2014 (figures B53 et B54).

La figure 5.13 illustre les vitesses maximales atteintes aux trois stations lors de tempêtes du secteur est. On peut constater sur cette figure les valeurs nettement plus grandes de vitesse maximale du vent enregistrées à Mistook par rapport aux valeurs de vitesse maximale enregistrées aux deux autres stations.

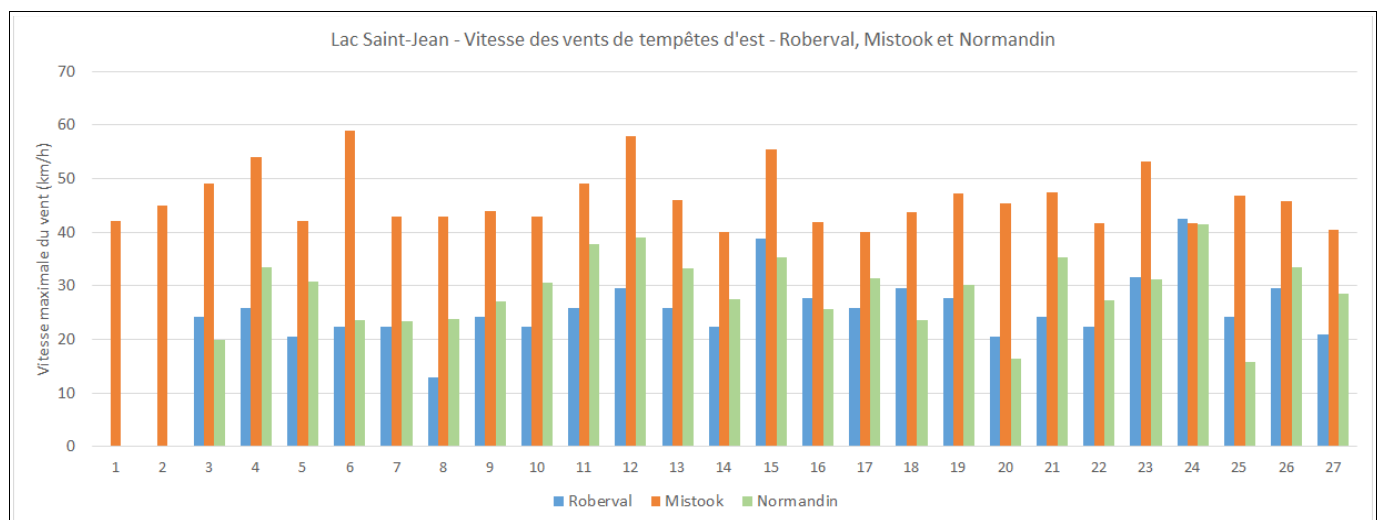


Figure 5.13 Comparaison des vitesses maximales de vent de tempêtes du secteur est – Roberval / Mistook / Normandin

Les moyennes des vitesses maximales du vent de tempêtes d'est illustrées sur la figure 5.13 sont :

- Roberval : 25,5 km/h
- Mistook : 45,6 km/h
- Normandin : 29,7 km/h

La moyenne des vitesses maximales de Mistook est significativement plus élevée que celles des stations de Roberval et Normandin pour les tempêtes d'est.

## **5.5 Tempêtes du secteur nord**

Les tempêtes du secteur nord sont très rares. Un seul exemple a pu être trouvé pendant la période 2005-2014, soit celle du 23 mai 2008 (figures 5.14 et 5.15). Il semble s'agir d'un événement qui n'a réellement affecté que la station de Mistook (avec la perte de ce qui pourrait avoir été une vitesse horaire plus grande que le maximum de 44 km/h enregistré). À l'occasion de cette tempête, la station de Roberval n'a pas connu de vitesses de vent supérieures à 27 km/h et les vitesses de vent enregistrées à Normandin n'ont pas dépassé les 35 km/h. Cette tempête n'aurait duré qu'environ deux heures.

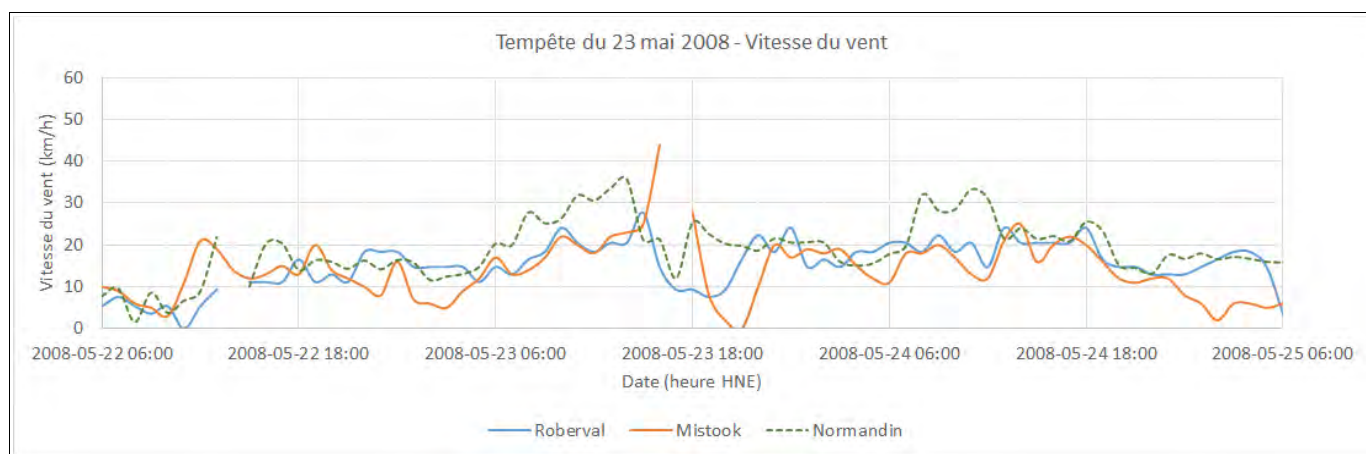


Figure 5.14 Série chronologique des vitesses de vent des stations de Roberval, Mistook et Normandin lors de la tempête du 23 mai 2008

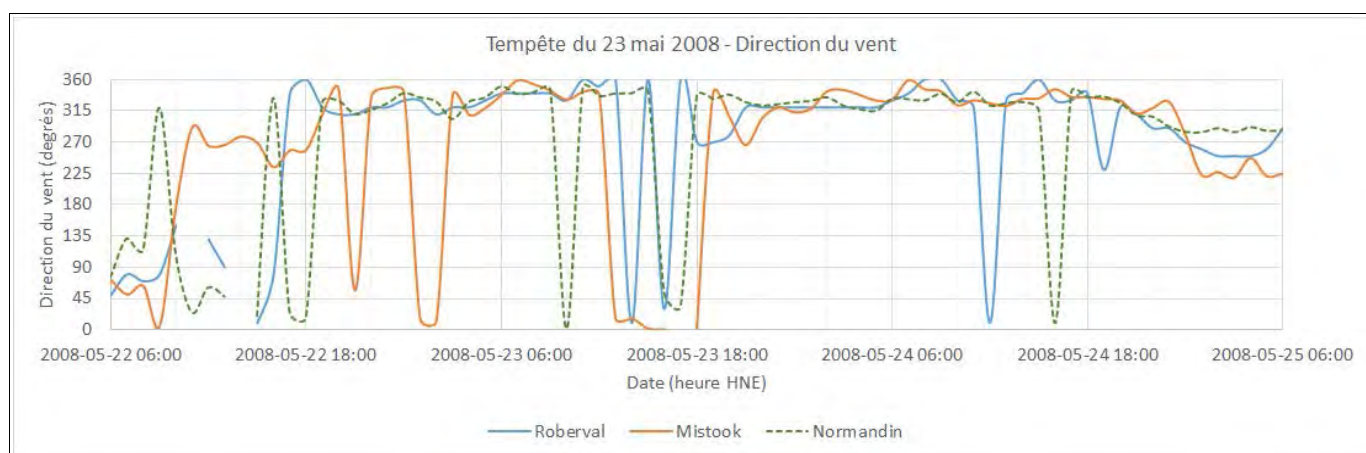


Figure 5.15 Série chronologique des directions de vent des stations de Roberval, Mistook et Normandin lors de la tempête du 23 mai 2008

## 5.6 Tempêtes du secteur sud

Les tempêtes du secteur sud sont également relativement rares. Cinq de ces tempêtes se sont produites dans la période 2005-2014.

Les figures 5.16 et 5.17 illustrent la tempête du 14 mai 2009. Les vitesses maximales de vent ont atteint 63,5 km/h à Normandin et 57,6 km/h à Roberval, alors que la vitesse maximale enregistrée à Mistook était de 43,3 km/h. Cette tempête n'a duré qu'environ quatre heures, contrairement aux tempêtes des secteurs est et ouest qui persistent nettement plus longtemps.



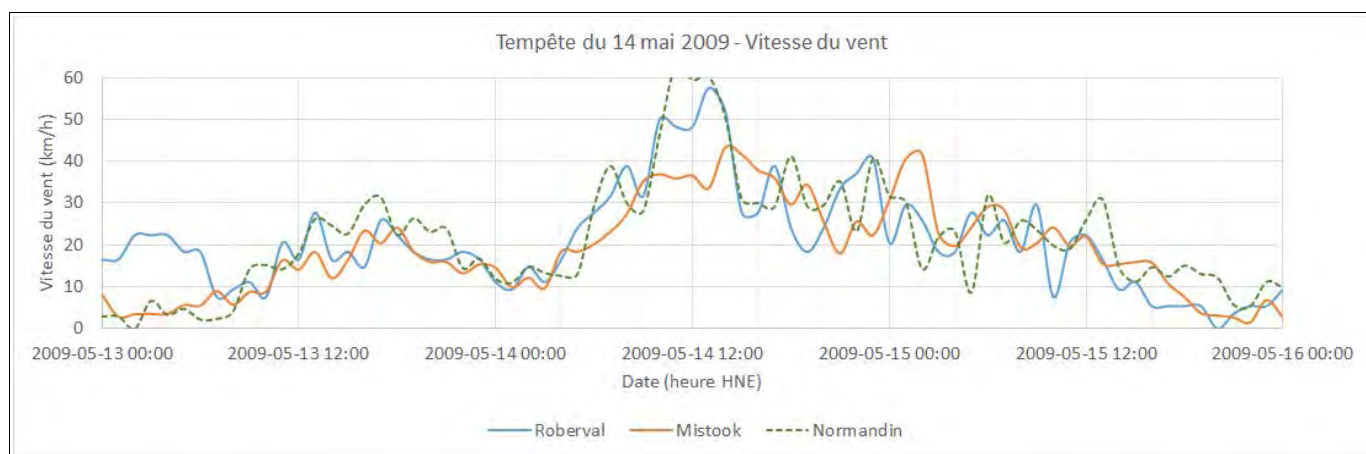


Figure 5.16 Série chronologique des vitesses de vent des stations de Roberval, Mistook et Normandin lors de la tempête du 14 mai 2009

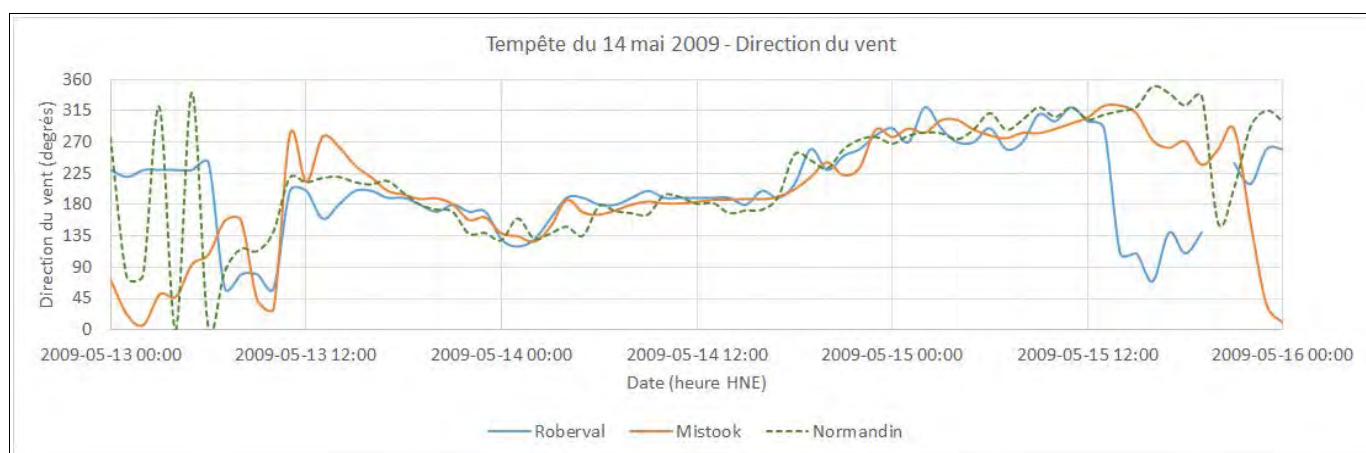


Figure 5.17 Série chronologique des directions de vent des stations de Roberval, Mistook et Normandin lors de la tempête du 14 mai 2009

La figure 5.18 illustre les différentes vitesses maximales du vent atteintes aux trois stations lors de la tempête du secteur nord et des tempêtes du secteur sud répertoriées de 2005 à 2014. Si la vitesse maximale du vent est supérieure à Mistook pour la tempête du secteur nord, c'est systématiquement l'inverse pour les vitesses maximales du vent lors de tempêtes du secteur sud. Les vitesses maximales aux stations de Roberval et Normandin sont en général comparables.

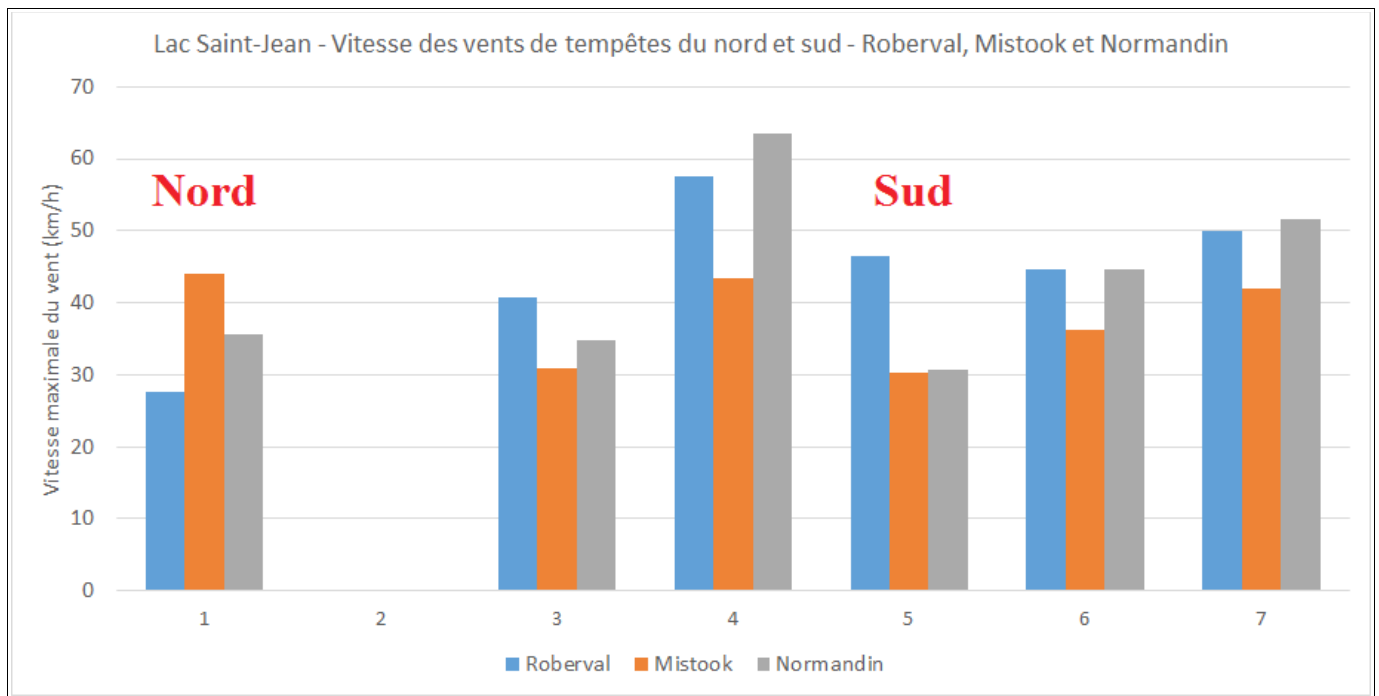


Figure 5.18 Comparaison des vitesses maximales de vent de tempêtes des secteurs nord et sud – Roberval / Mistook / Normandin

## 5.7 Évaluation des trois stations météorologiques

Dans le cadre de la génération des vagues et des surcotes dans le lac Saint-Jean, une évaluation comparative des stations météorologiques a été faite.

La première étape de l'évaluation a été celle du choix de la ou des stations à retenir pour l'analyse des vagues.

Les vitesses des vents de tempête sont relativement cohérentes entre les 3 stations, sauf en ce qui concerne les tempêtes du secteur est.

- Pour ce qui est des tempêtes du secteur est, la station de Normandin ne devrait pas être retenue car elle est située un peu loin du lac, même si sa position dans une zone plate de champs agricoles est très bonne du point de vue météorologique.
- Toujours pour les vents d'est, la station de Roberval est située près du lac, mais en haut d'une côte (environ 75 m de dénivelée par rapport au lac) et sur le plateau que constitue l'aéroport. Il se pourrait que cette situation topographique explique pourquoi les vents d'est à Roberval sont un peu faibles par rapport à ceux de Mistook.

- Pour ce qui est de la station de Mistook, elle est très bien située du point de vue de la topographie (champs agricoles plats à une dizaine de mètres au-dessus du niveau du lac) et entre deux plans d'eau (à l'est du lac et à l'ouest de la Grande Décharge). Cette situation pourrait expliquer pourquoi les vents d'est sont plus forts à cette station qu'aux 2 autres stations, mais sans qu'un phénomène d'accélération des vents d'est ne soit vraiment en cause dans le cas de Mistook.

Donc, la recommandation serait de considérer la station de Mistook comme étant la plus susceptible de donner des informations cohérentes avec ce qui se passe du point de vue des vagues de tempêtes sur le lac Saint-Jean. Il ne semble pas y avoir d'intérêt à considérer plusieurs stations pour recomposer un champ de vitesses de vent, les incohérences entre les stations étant relativement importantes.

La deuxième étape de l'évaluation est la factorisation éventuelle des vitesses de vent en fonction de la situation terrestre de la station météorologique retenue par rapport à la situation qui prévaut sur le plan d'eau qu'est le lac Saint-Jean. La station de Mistook se trouve à environ 5 km dans les terres par rapport au lac Saint-Jean pour les vents d'ouest et 1 km dans les terres par rapport à la Grande Décharge pour les vents d'est. La Grande Décharge étant très petite par rapport au lac, le facteur de pondération de vitesse des vents devrait être similaire pour les vents d'Est et d'Ouest. Là où les données de vents de Mistook se démarquent de celles des deux autres stations, c'est pour les vents du sud. La station de Mistook semble donner des vents systématiquement moins forts que les 2 autres stations pour ces tempêtes (relativement rares) du secteur sud.

À ce stade des études, la recommandation est donc de :

- retenir la **station de Mistook** comme station de référence pour les vents qui soufflent sur le lac Saint-Jean,
- corriger les vitesses de vent de la station de Mistook par un facteur de 1,05 à 1,10, sauf peut-être pour les vents du secteur sud dont les vitesses devraient être factorisées par 1,25 ou 1,30.

## 6 Conclusion et recommandations

---

### 6.1 Conclusion

Une analyse des bases de données de vent en provenance des stations météorologiques de la région du lac Saint-Jean a été effectuée. Les stations considérées lors de cette analyse ont été Roberval, Normandin et Mistook. Trois principaux types d'analyse ont été effectués sur ces bases de données, soit :

- une comparaison des données globales de chacune des trois stations : fréquence de dépassement des vitesses maximales, directions prépondérantes des vents (selon les roses et selon les pourcentages globaux des vents dans une direction donnée),
- une comparaison des données de vent (vitesse / direction) enregistrées simultanément aux trois stations (données synchrones) et
- une comparaison par secteur (ouest, est, sud et nord) des événements de tempête enregistrés par les différentes stations.

Ces analyses ont principalement été effectuées sur deux périodes, soit 1994 à 2014 (analyses globales) et 2005 à 2014 (analyse des données synchrones et des tempêtes).

La comparaison des données globales a montré des différences importantes dans les directions principales du vent entre les stations et des vitesses maximales de vent significativement supérieures pour la station de Mistook par rapport aux deux autres stations.

La comparaison des données synchrones aux trois stations a mis en lumière des différences importantes entre les vitesses et les directions des vents enregistrées simultanément par les trois stations. Il est très difficile de corréler les données synchrones des différentes stations.

Les tempêtes affectant le lac Saint-Jean se produisent surtout à l'automne. Certains automnes (2005, 2007, 2010 et 2013) ont vu se succéder d'importantes tempêtes. La comparaison des événements de tempêtes a montré que les vitesses maximales de vent observées aux trois stations lors des tempêtes du secteur ouest étaient sensiblement similaires, mais que les vitesses maximales de vent observées lors des tempêtes du secteur est étaient significativement plus élevées à Mistook qu'aux deux autres stations météorologiques. Les tempêtes des secteurs sud et nord sont rares et il n'a pas été possible de vraiment comparer les tempêtes de ces secteurs à cause du peu d'événements répertoriés.

## 6.2 Recommandations

La recommandation faisant suite à l'analyse présentée dans ce rapport est de considérer la station de Mistook comme étant la plus susceptible de donner des informations cohérentes avec ce qui se passe du point de vue des tempêtes sur le lac Saint-Jean. La situation géographique et topographique de cette station semble plus pertinente par rapport à l'étude des vagues qui se produisent sur le lac Saint-Jean que la position des deux autres stations.

La tendance des stations de Roberval et Normandin à sous-estimer les vitesses des vents lors des tempêtes du secteur est pourrait provoquer une sous-estimation des hauteurs de vagues de ce secteur et de leur effet sur l'érosion des rives du lac.

Il est recommandé d'appliquer un facteur sur les vitesses de vent de la station de Mistook pour calculer les vagues soulevées par le vent sur le lac. La définition des facteurs multiplicatifs à appliquer aux vitesses de vent de la station de Mistook doit passer par une modélisation des vagues de tempêtes qui se produisent sur le lac Saint-Jean et une comparaison des résultats de cette modélisation avec des mesures de hauteur et de direction des vagues faites sur le lac.

Préparé par :



Yann Ropars, ing., M. Sc.

Consultants Ropars, Inc.

[yann\\_ropars@videotron.ca](mailto:yann_ropars@videotron.ca)

Téléphone : (418) 998-6224

# ANNEXE A

## Tempêtes du secteur Ouest sur la région du lac Saint-Jean

Chacune des figures de cette annexe présente, pour un événement de forts vents du secteur ouest s'étant produit entre le 19 avril 2005 et le 9 octobre 2014, l'évolution temporelle de la vitesse (km/h) ou de la direction (degrés) des vents de trois stations météorologiques terrestres situées autour du lac Saint-Jean, soit :

- Roberval
- Mistook
- Normandin

Chaque figure représente une période de trois jours complets illustrant le contexte météorologique de la tempête ciblée.

### Liste des figures de l'Annexe A

- Figures A1 et A2 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 29 septembre 2005 (vents nettements plus forts à Mistook qu'à Roberval)
- Figures A3 et A4 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 7 novembre 2005 (vents plus forts à Mistook)
- Figures A5 et A6 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 11 novembre 2005 (vents plus forts à Mistook)
- Figures A7 et A8 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 23 novembre 2005

- Figures A9 et A10 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 31 mai 2006 (Est suivi d'Ouest – bourrasque unique à Mistook)
- Figures A11 et A12 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 30 octobre 2006
- Figures A13 et A14 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 11 mai 2007
- Figures A15 et A16 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 23 septembre 2007 (vents de Normandin nettement plus forts que ceux de Roberval – Mistook intermédiaire)
- Figures A17 et A18 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 28 octobre 2007
- Figures A19 et A20 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 1<sup>er</sup> novembre 2007
- Figures A21 et A22 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 17 novembre 2007
- Figures A23 et A24 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 29 mai 2008 (la station de Roberval donne exceptionnellement des vents plus forts que les deux autres stations vers la fin de la tempête)
- Figures A25 et A26 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 14 octobre 2008 (épisode de vents du Sud nettement plus forts à Roberval qu'aux 2 autres stations puis vent d'Ouest)
- Figures A27 et A28 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 16 novembre 2008
- Figures A29 et A30 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 23 novembre 2008
- Figures A31 et A32 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 4 décembre 2008
- Figures A33 et A34 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 17 mai 2009 (vents moins forts à Mistook) (voir 16 mai 2009)
- Figures A35 et A36 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 26 août 2009
- Figures A37 et A38 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 11 octobre 2009
- Figures A39 et A40 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 25 octobre 2009 (d'abord Est avec vents plus forts à Mistook suivi de vents d'Ouest légèrement plus forts à Mistook)
- Figures A41 et A42 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 28 novembre 2009 (vents légèrement moins forts à Mistook)
- Figures A43 et A44 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 9 mai 2010 (vents légèrement moins forts à Mistook)

- Figures A45 et A46 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 18 novembre 2010
- Figures A47 et A48 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 24 novembre 2010
- Figures A49 et A50 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 26 novembre 2010 (Est avec vents forts à Mistook puis Ouest avec vents comparables aux 3 stations)
- Figures A51 et A52 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 22 août 2011 (vents légèrement plus forts à Mistook)
- Figures A53 et A54 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 26 mai 2012 (Sud puis Ouest – vitesses et directions de vent relativement cohérentes entre les 3 stations)
- Figures A55 et A56 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 9 septembre 2012 (Est puis Ouest – vents légèrement plus forts à Mistook)
- Figures A57 et A58 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 22 octobre 2012 (vents légèrement plus forts à Mistook)
- Figures A59 et A60 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 10 novembre 2012
- Figures A61 et A62 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 20 juillet 2013
- Figures A63 et A64 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 10 août 2013 (vents moins forts à Roberval)
- Figures A65 et A66 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 4 septembre 2013
- Figures A67 et A68 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 1<sup>er</sup> novembre 2013 (Sud-Ouest puis Ouest)
- Figures A69 et A70 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête des 7 et 8 novembre 2013
- Figures A71 et A72 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 12 novembre 2013 (vents légèrement plus forts à Mistook)
- Figures A73 et A74 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête des 18 et 19 novembre 2013 (Est fort seulement à Mistook, puis Ouest)
- Figures A75 et A76 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête des 23 et 24 novembre 2013 (vents légèrement moins forts à Mistook)
- Figures A77 et A78 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 11 septembre 2014



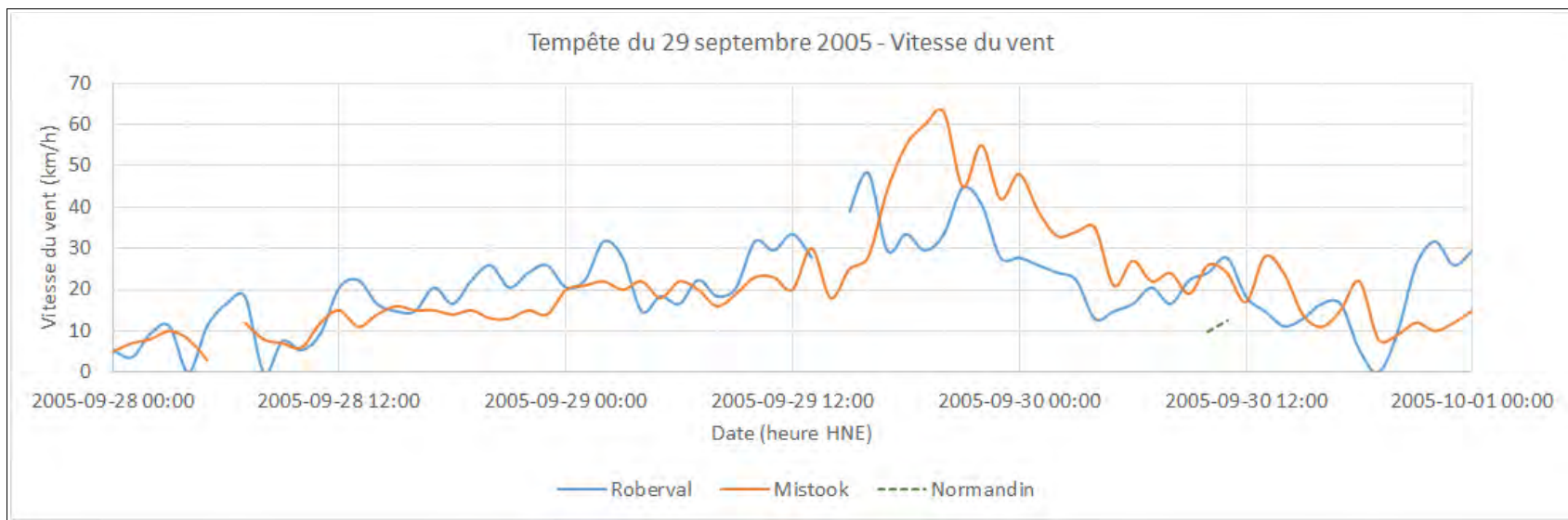


Figure A1 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 29 septembre 2005

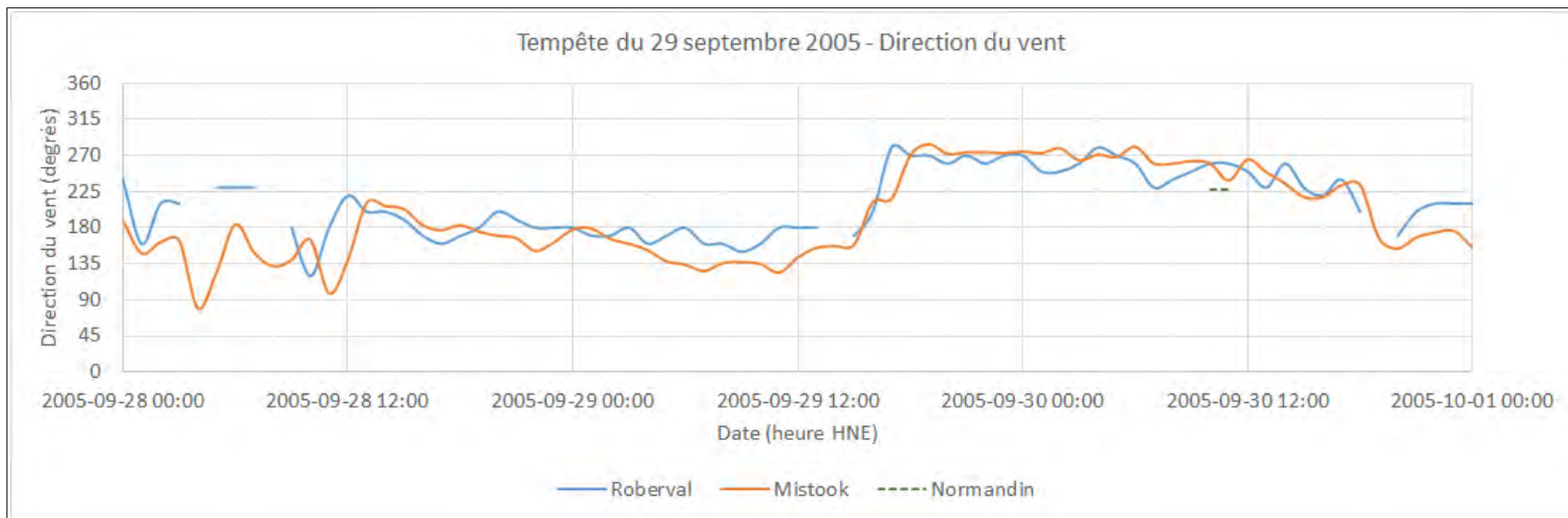


Figure A2 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 29 septembre 2005

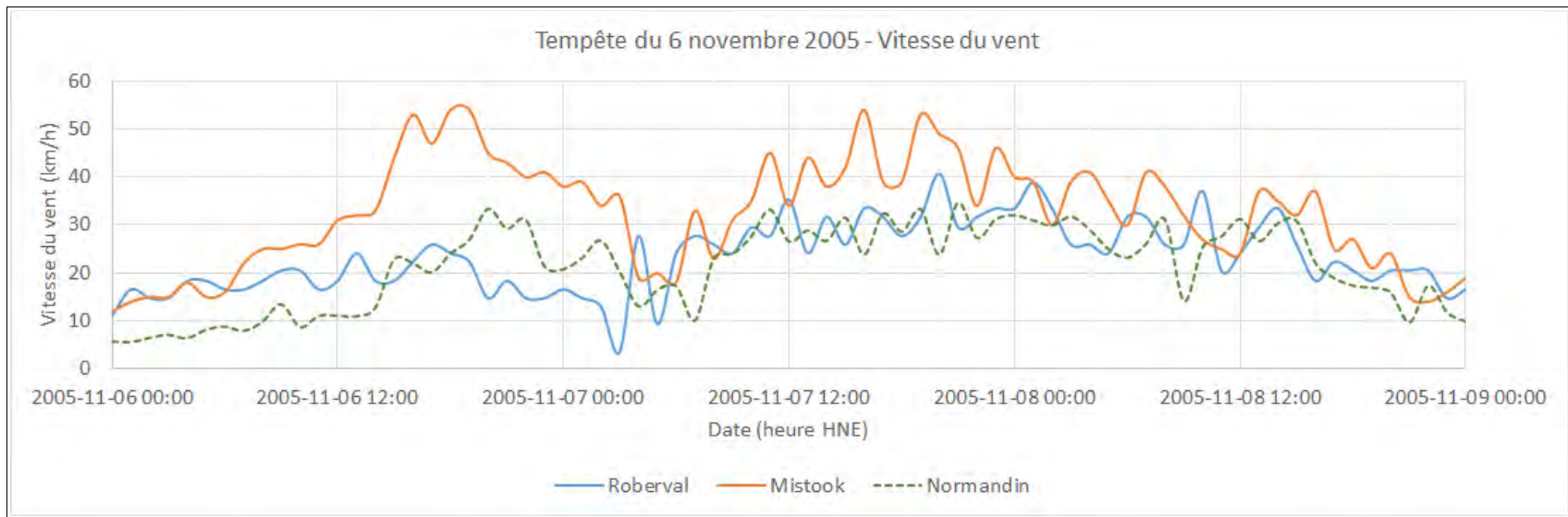


Figure A3 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 7 novembre 2005

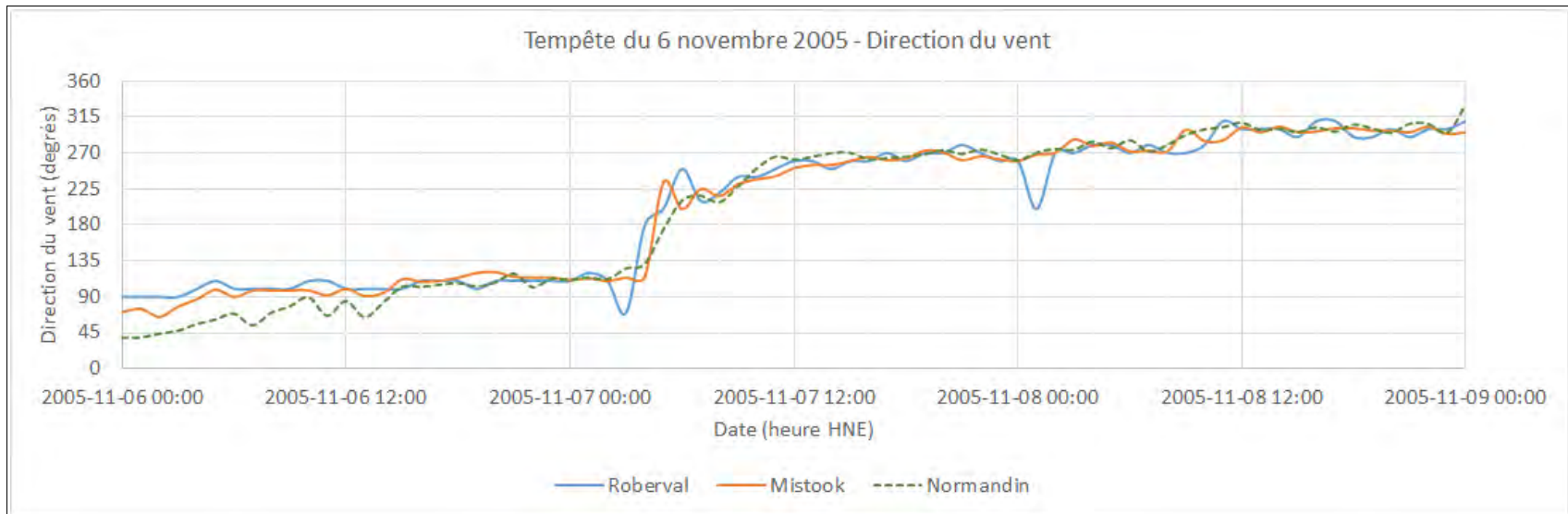


Figure A4 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 7 novembre 2005

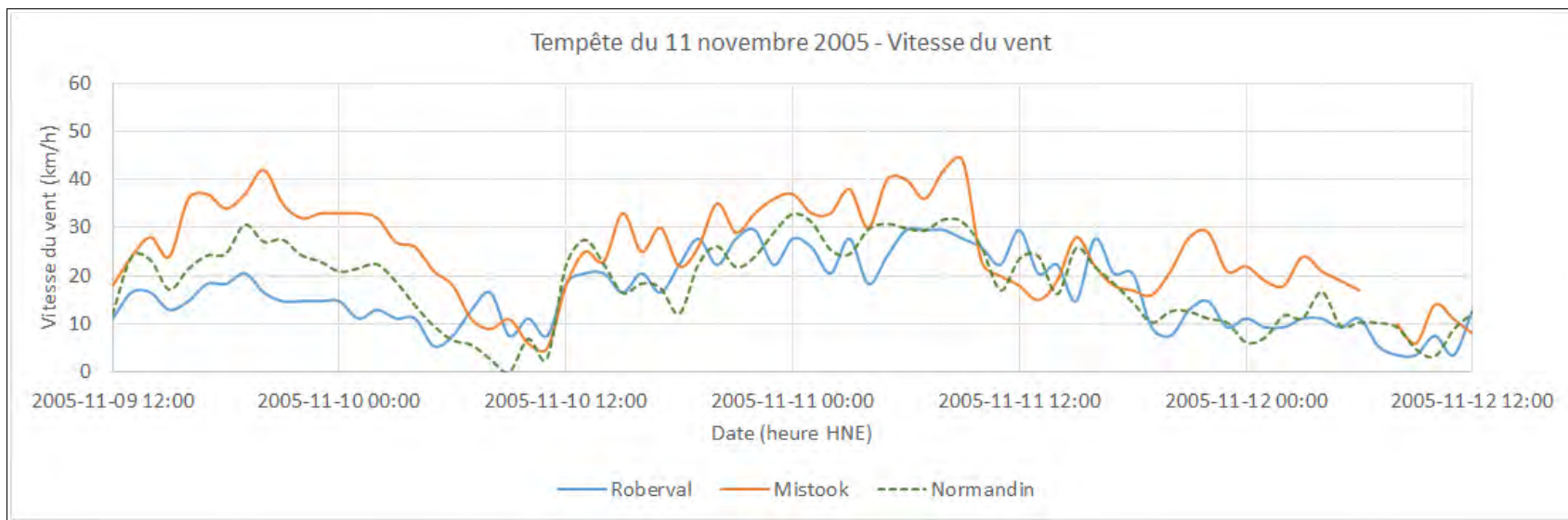


Figure A5 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 11 novembre 2005

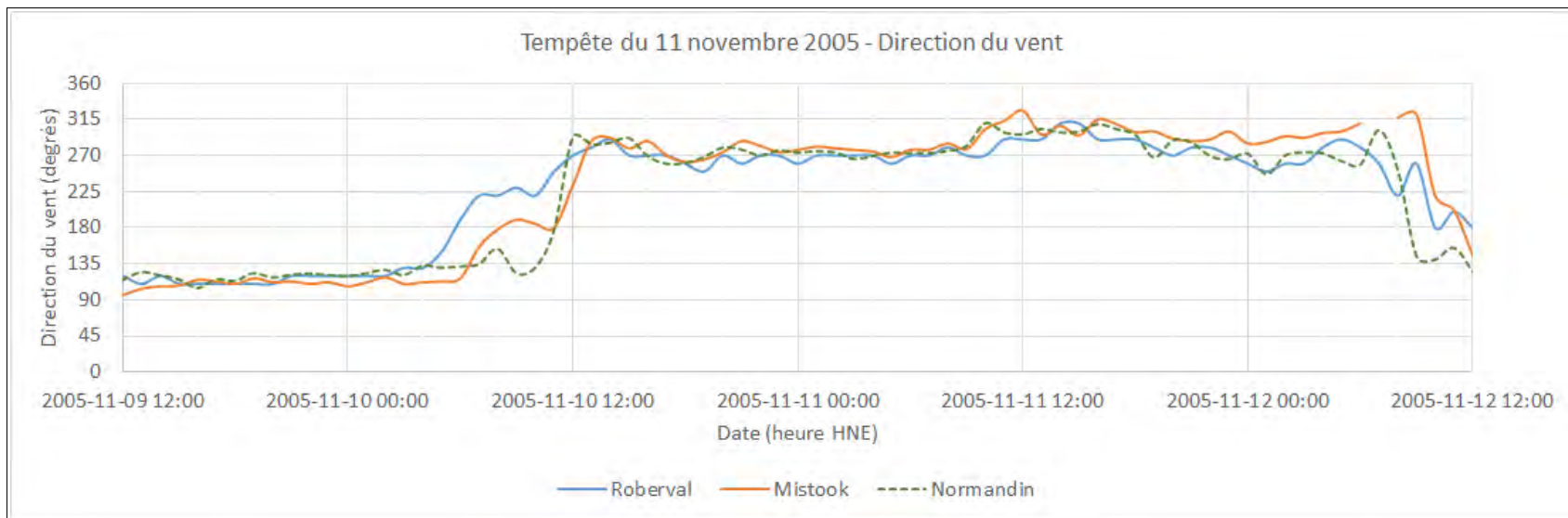


Figure A6 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 11 novembre 2005

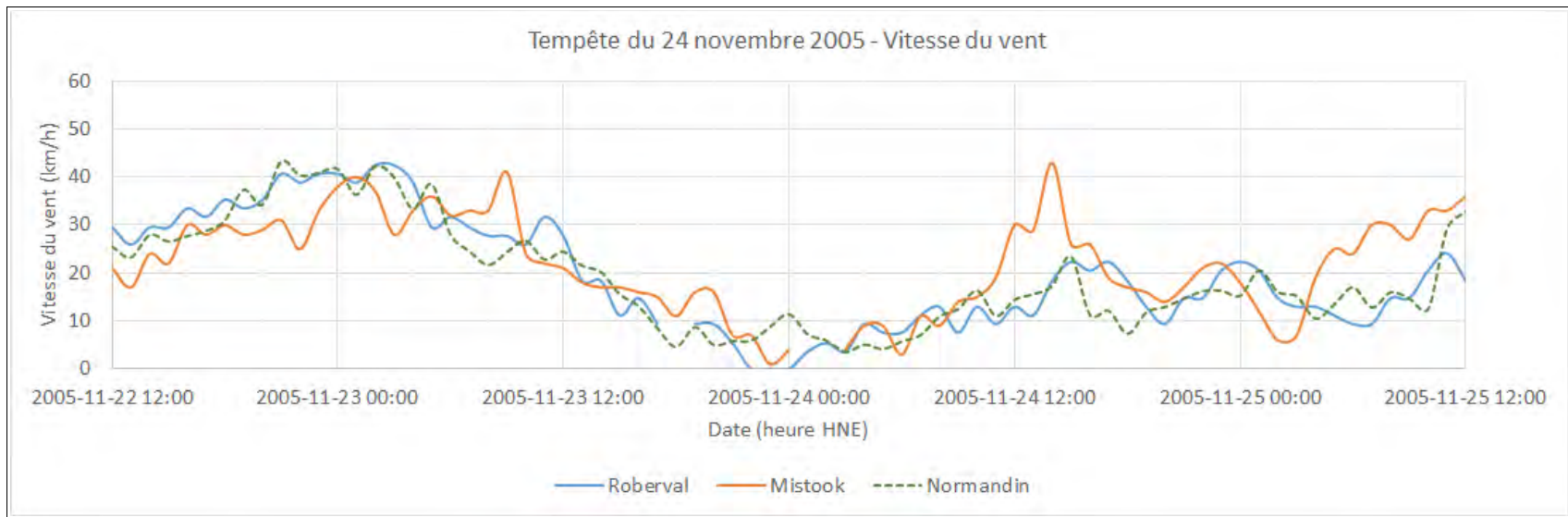


Figure A7 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 23 novembre 2005

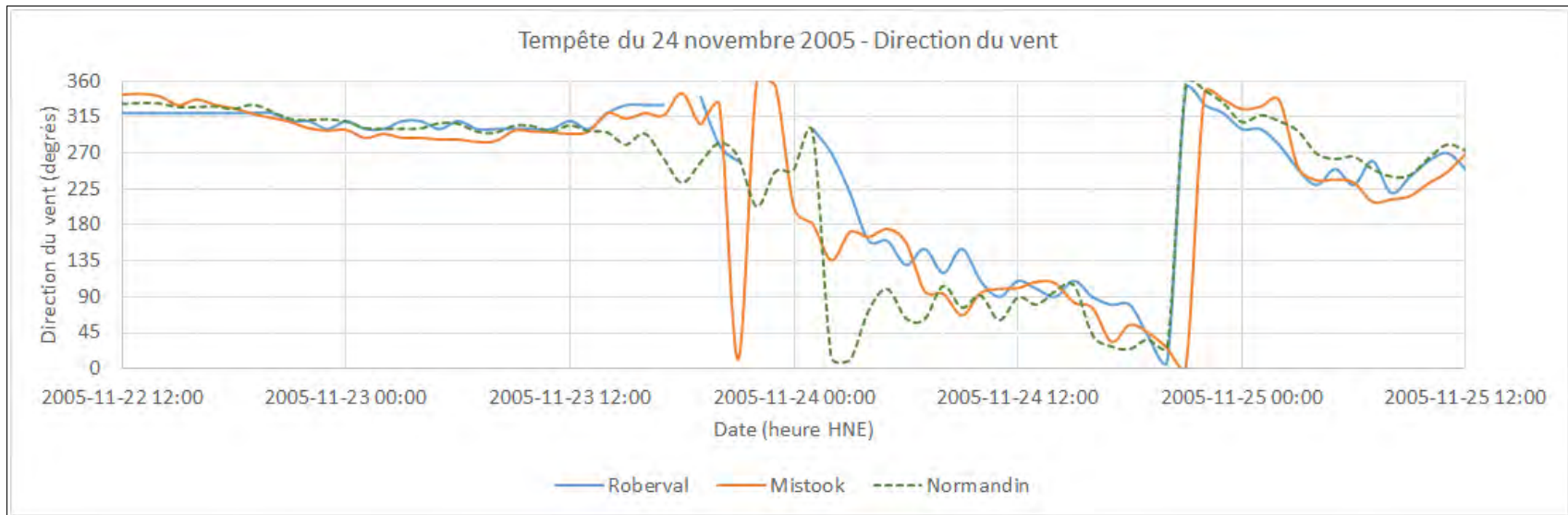


Figure A8 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 23 novembre 2005

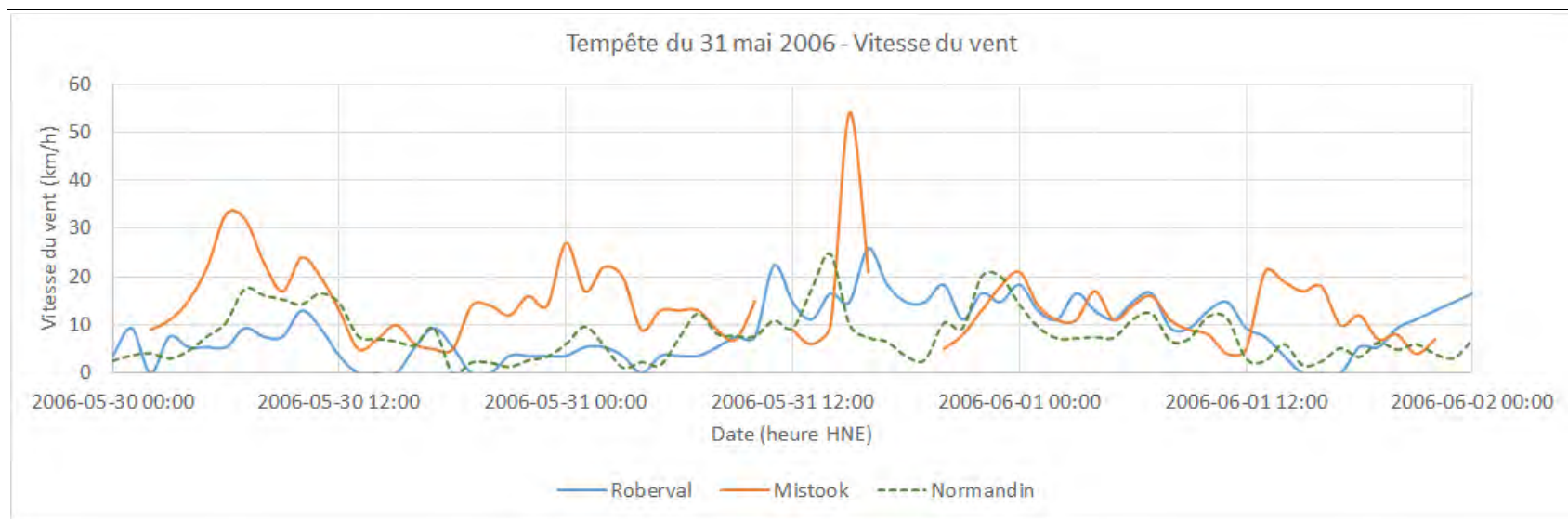


Figure A9 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 31 mai 2006

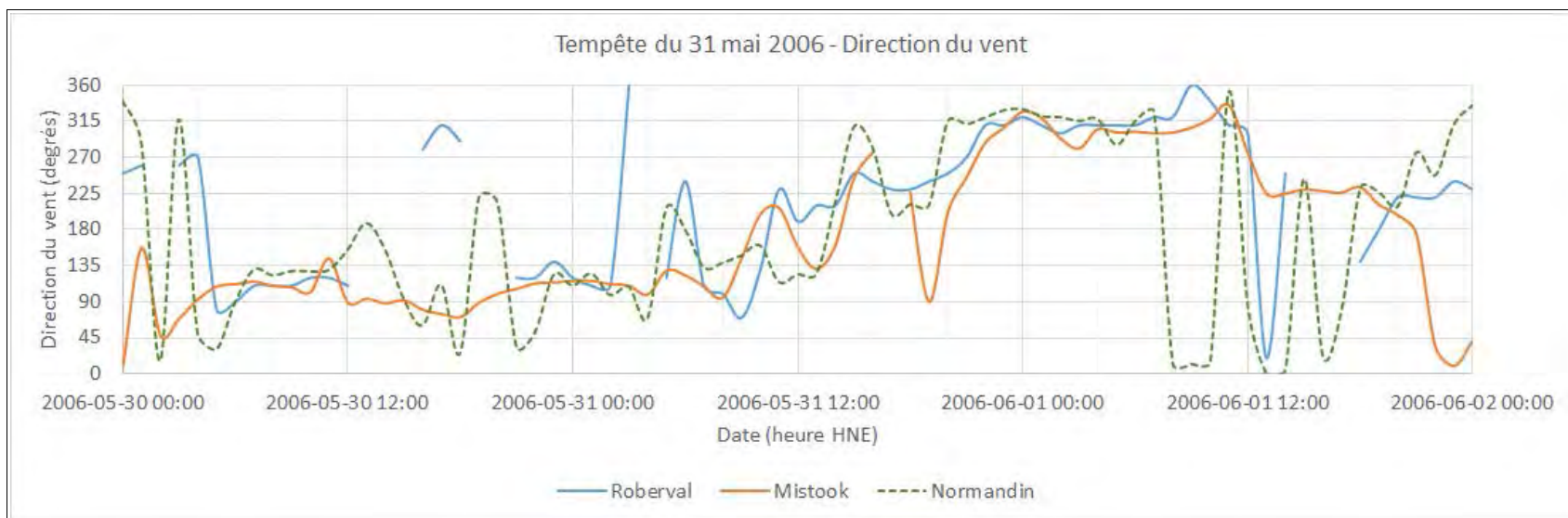


Figure A10 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 31 mai 2006

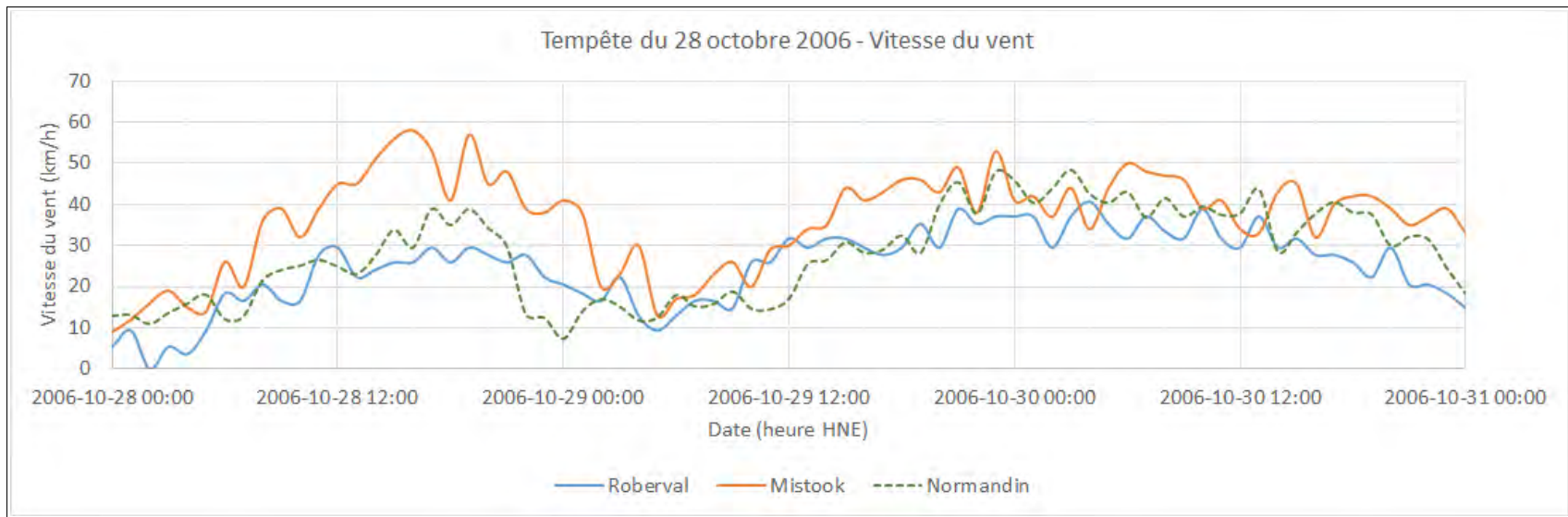


Figure A11 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 30 octobre 2006

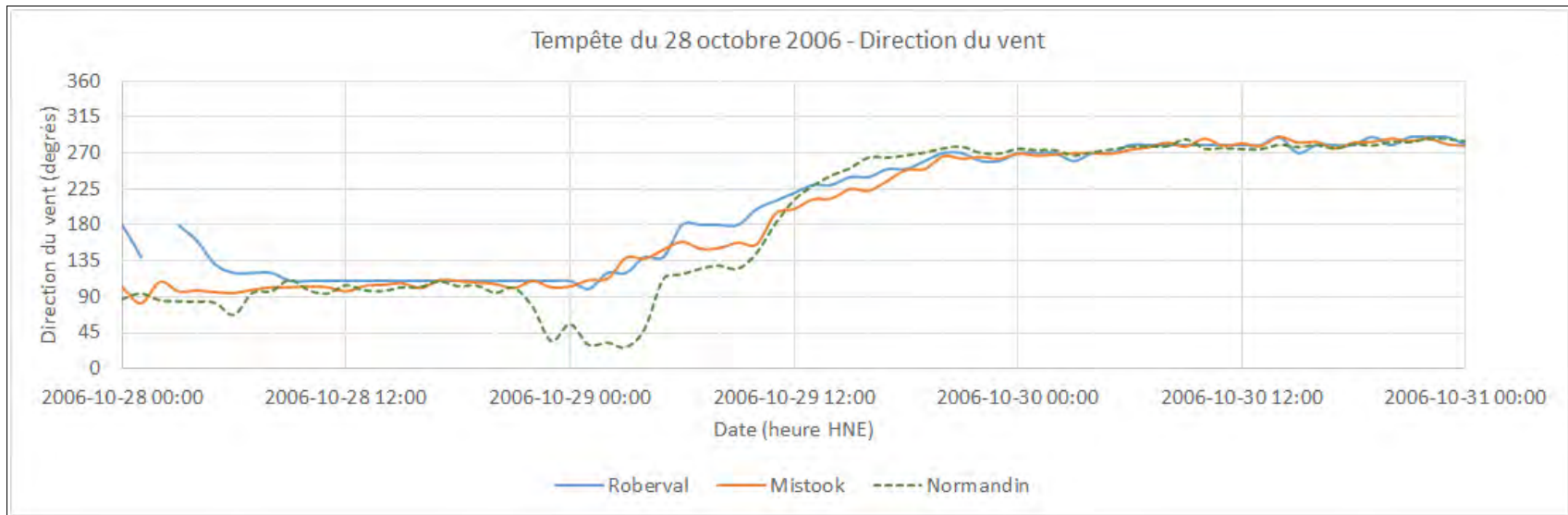


Figure A12 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 30 octobre 2006

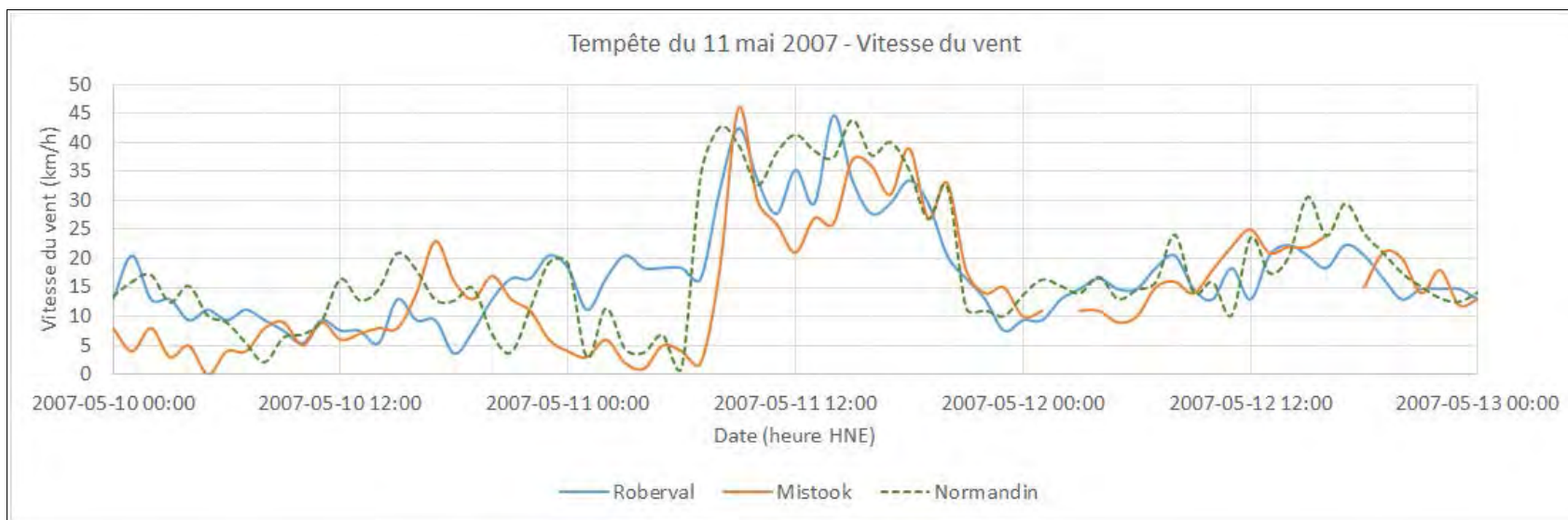


Figure A13 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 11 mai 2007

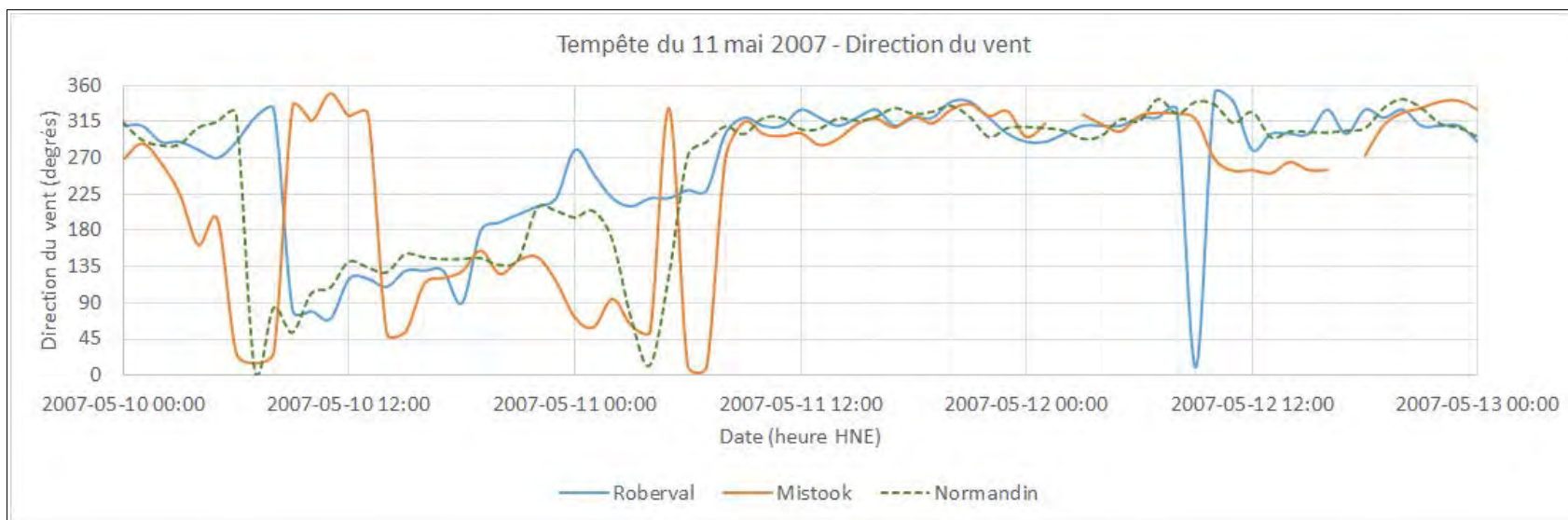


Figure A14 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 11 mai 2007

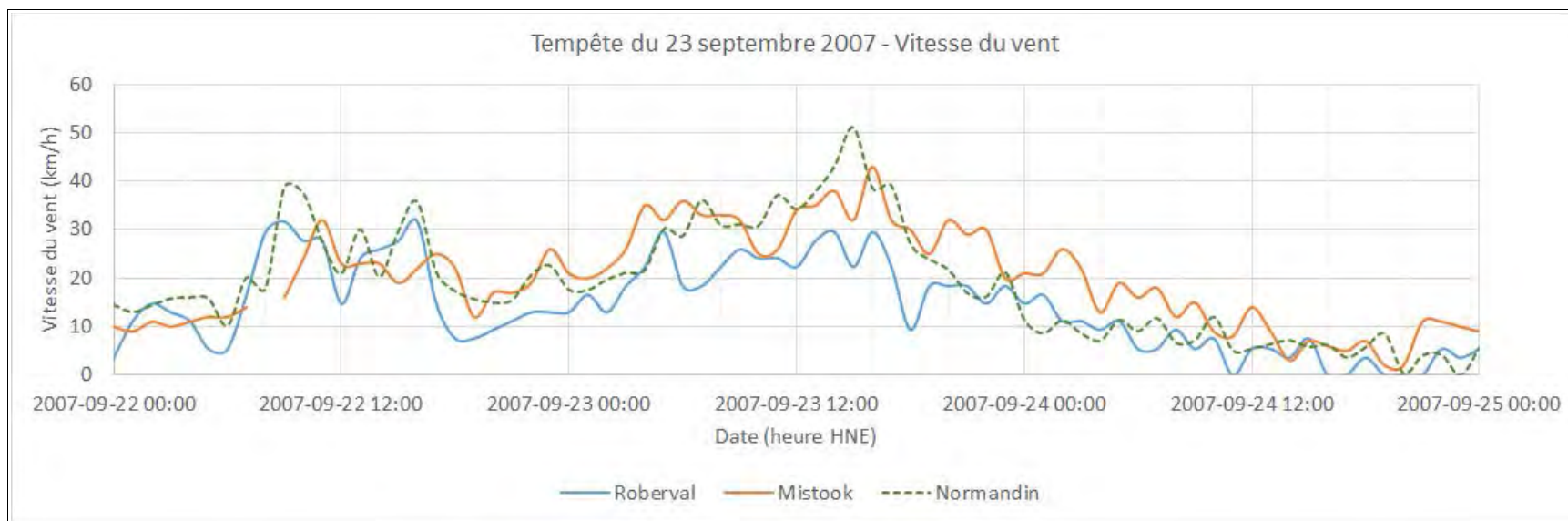


Figure A15 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 23 septembre 2007

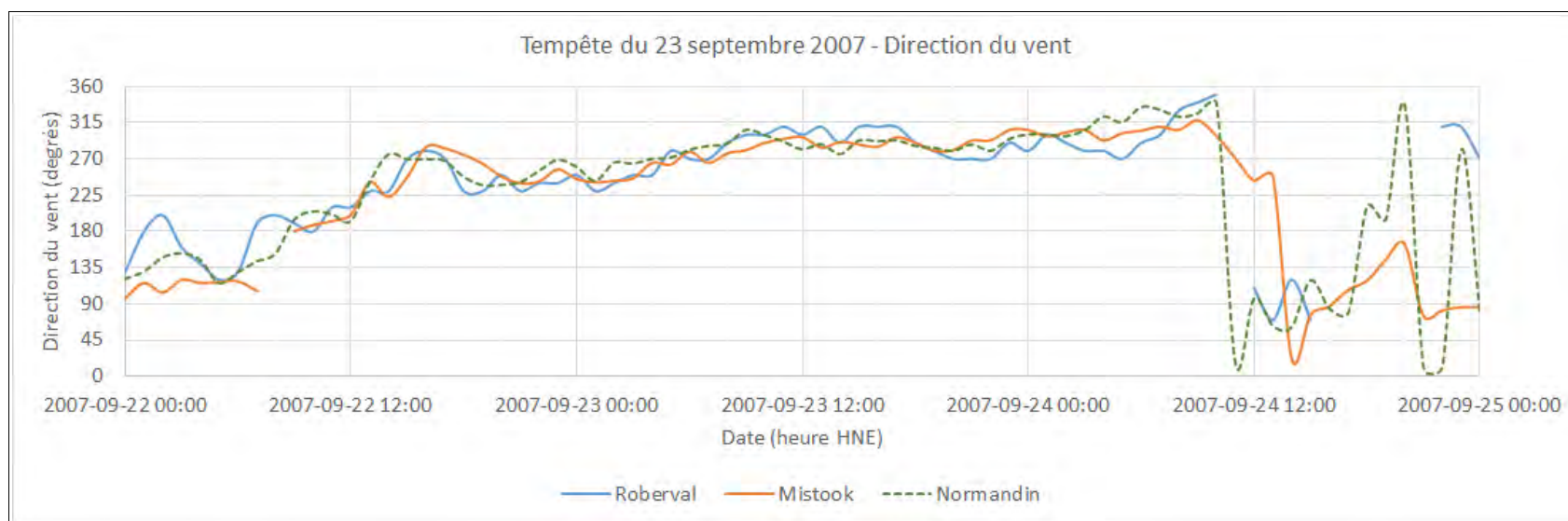


Figure A16 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 23 septembre 2007



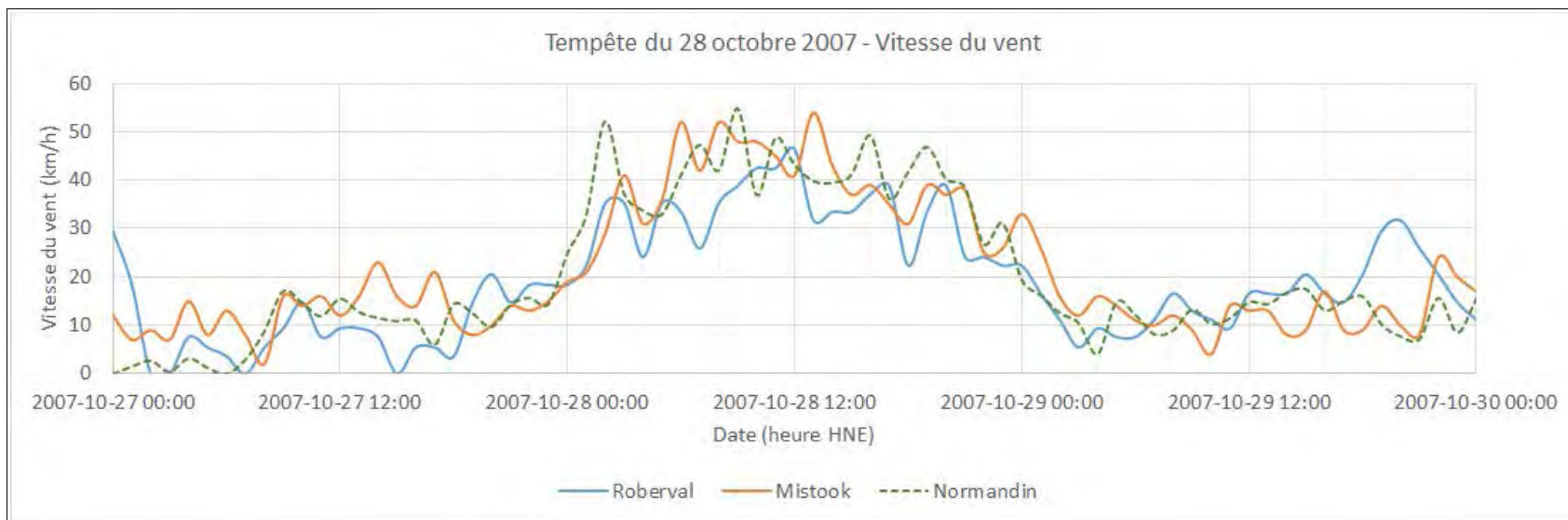


Figure A17 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 28 octobre 2007

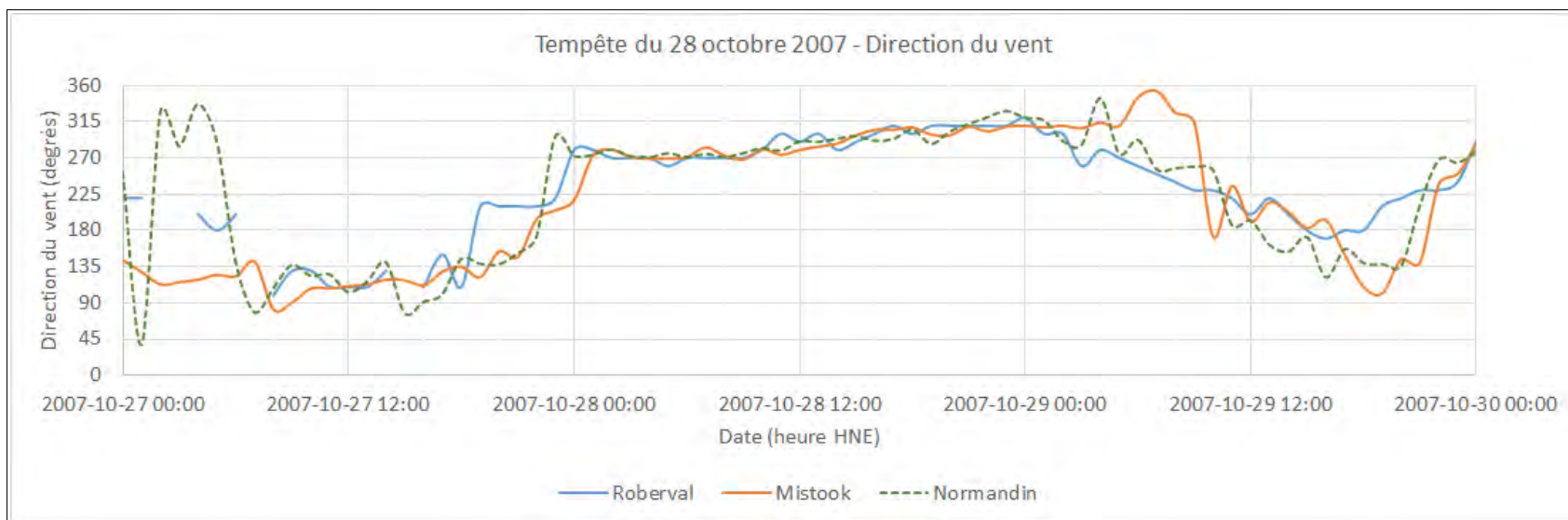


Figure A18 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 28 octobre 2007

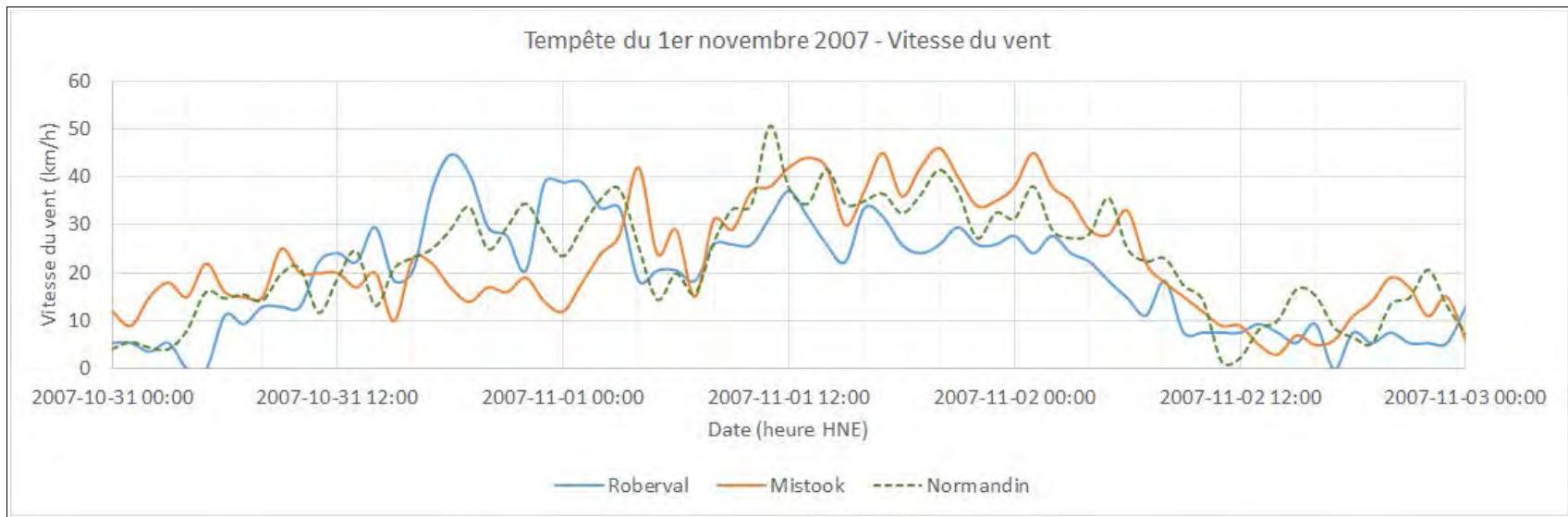


Figure A19 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 1<sup>er</sup> novembre 2007

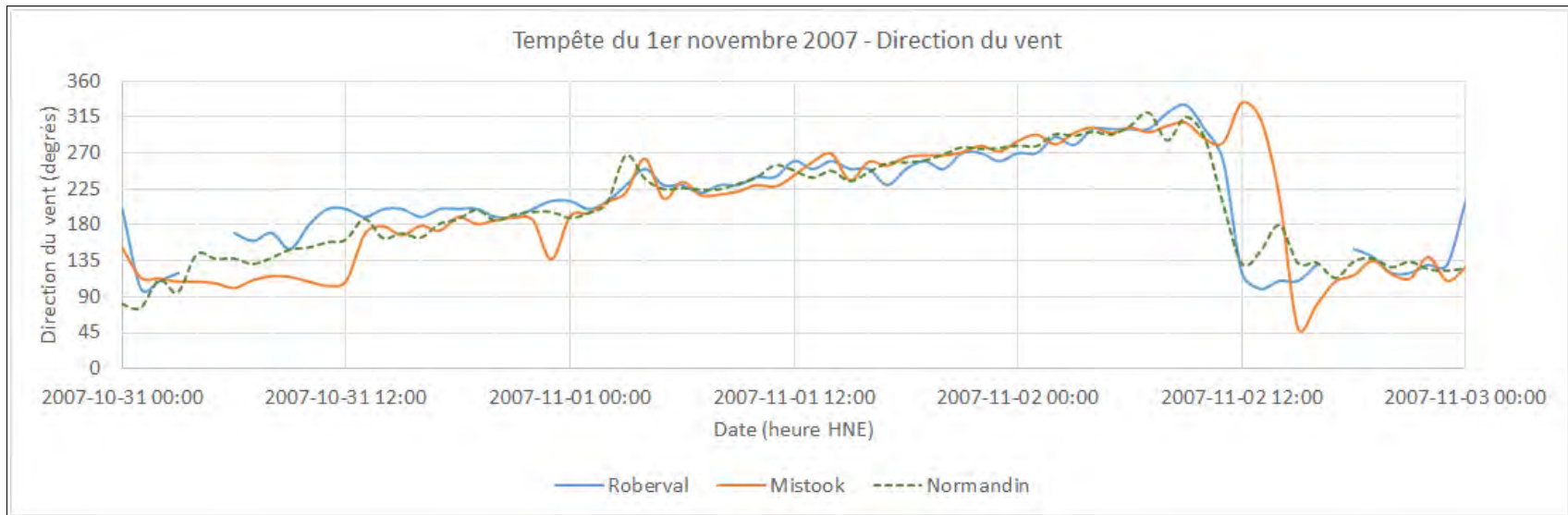


Figure A20 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 1<sup>er</sup> novembre 2007

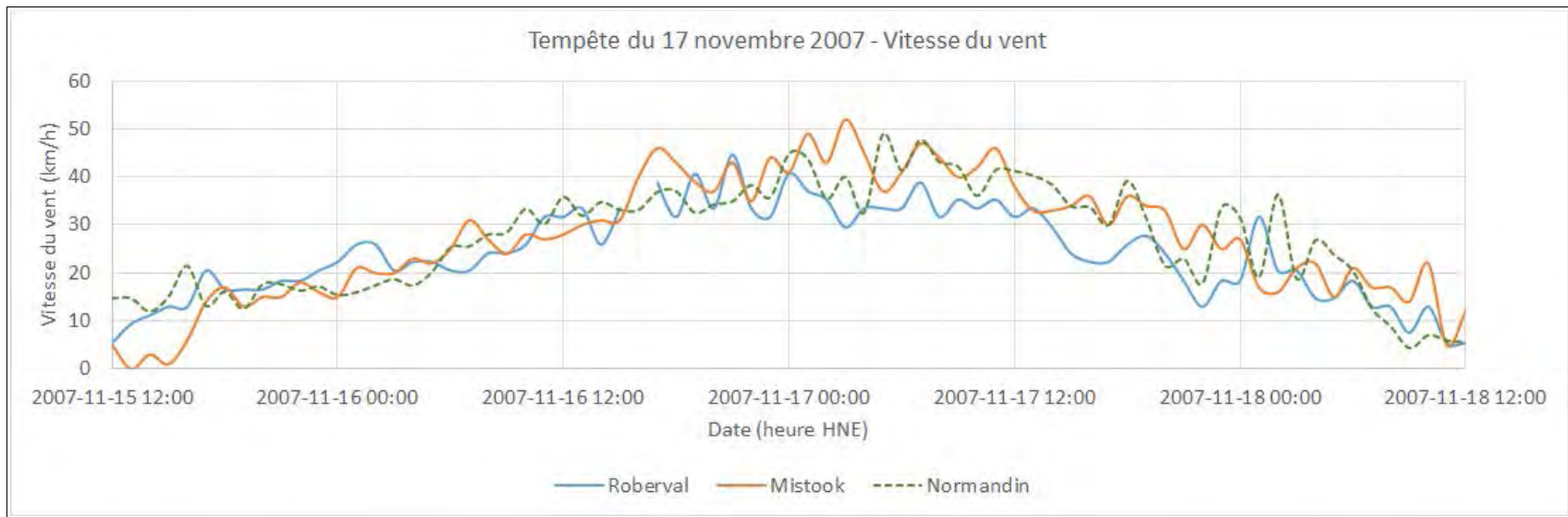


Figure A21 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 17 novembre 2007

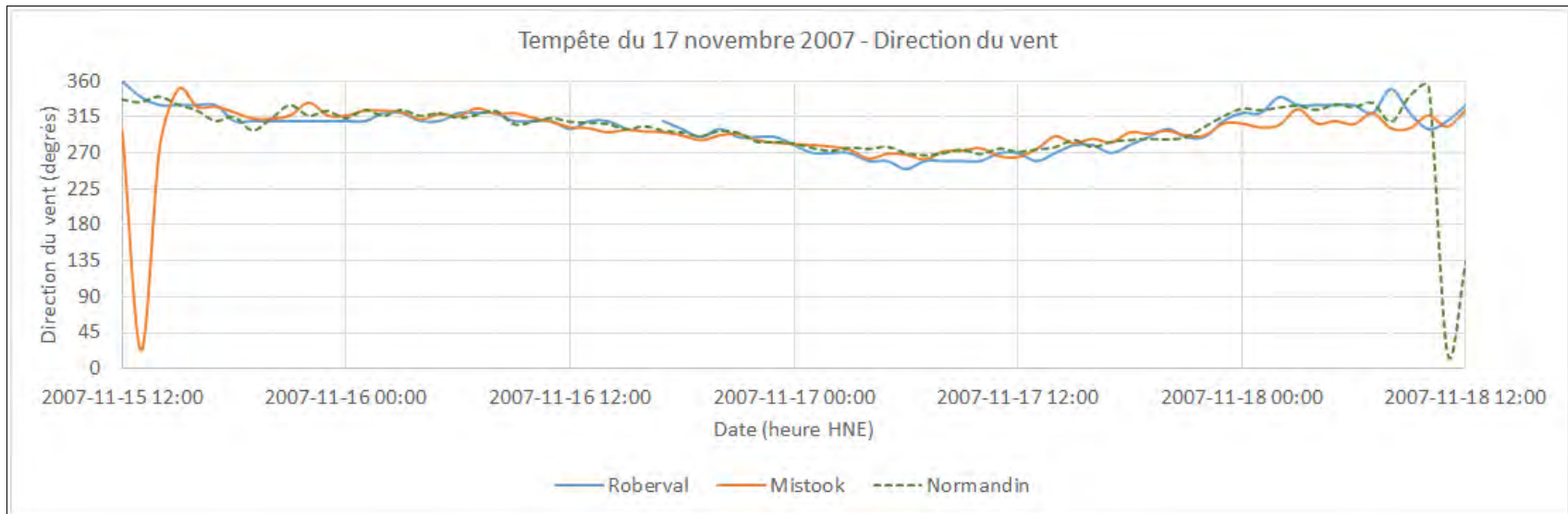


Figure A22 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 17 novembre 2007

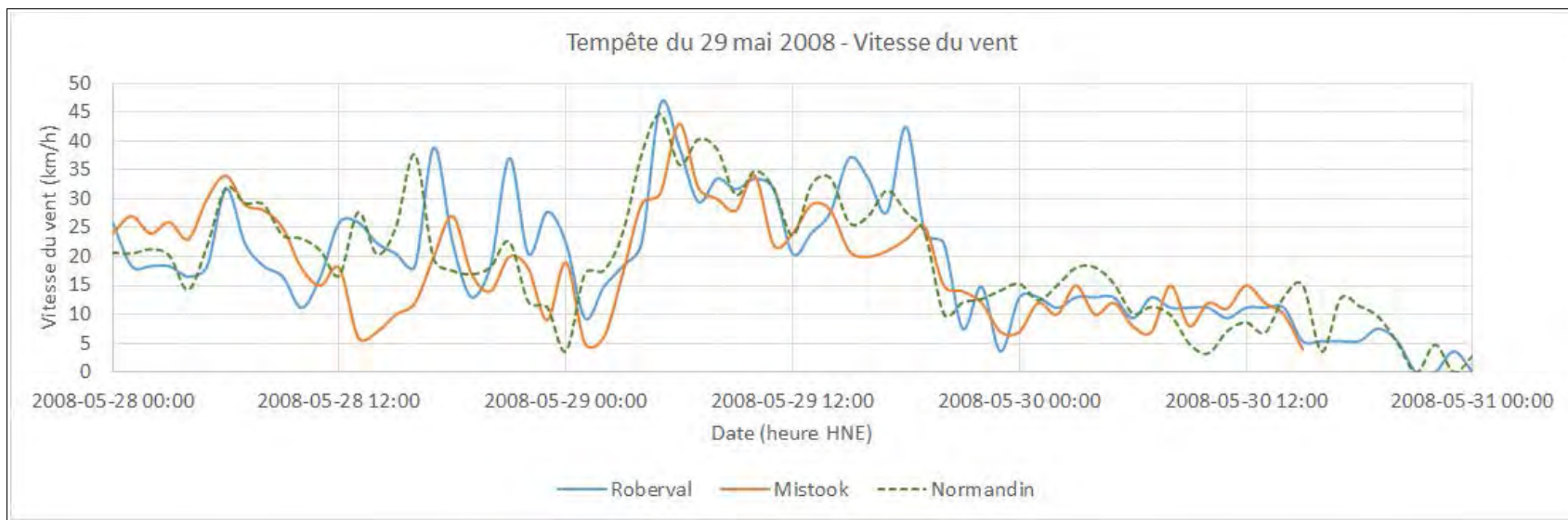


Figure A23 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 29 mai 2008

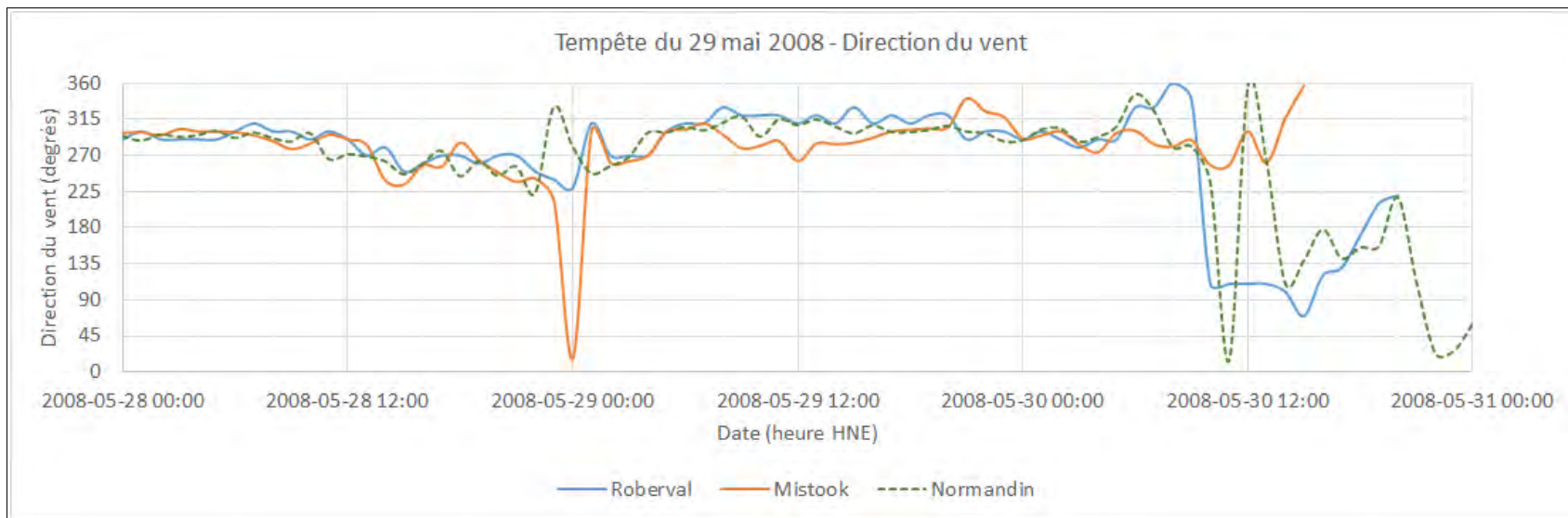


Figure A24 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 29 mai 2008

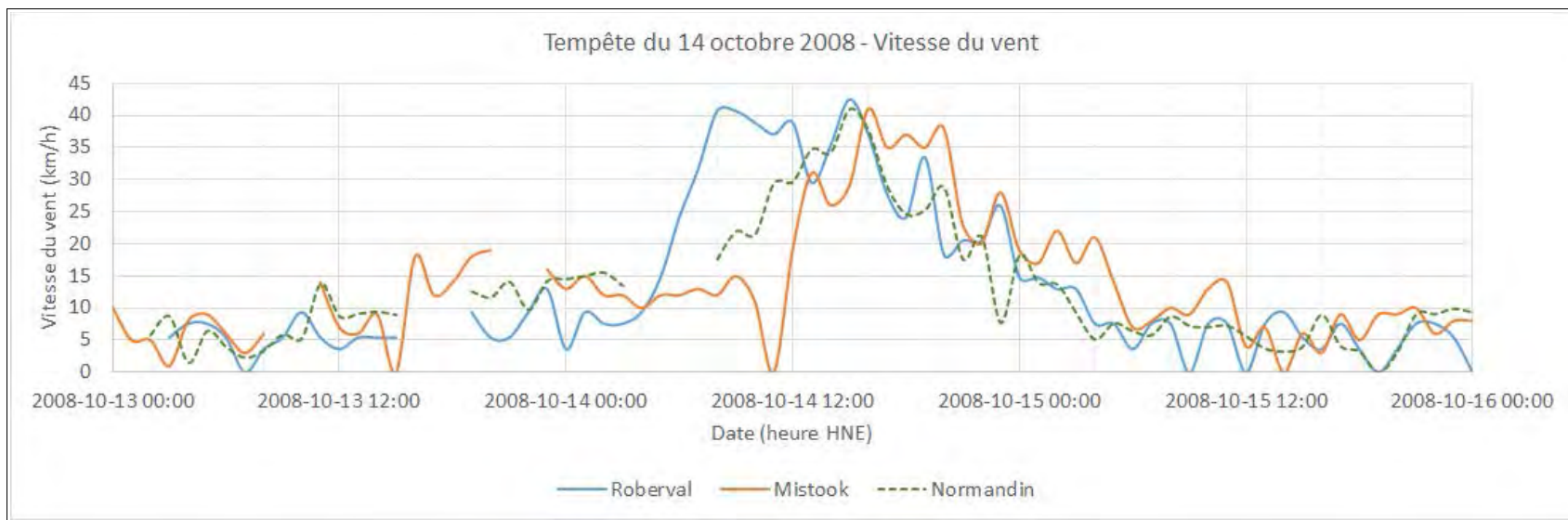


Figure A25 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 14 octobre 2008

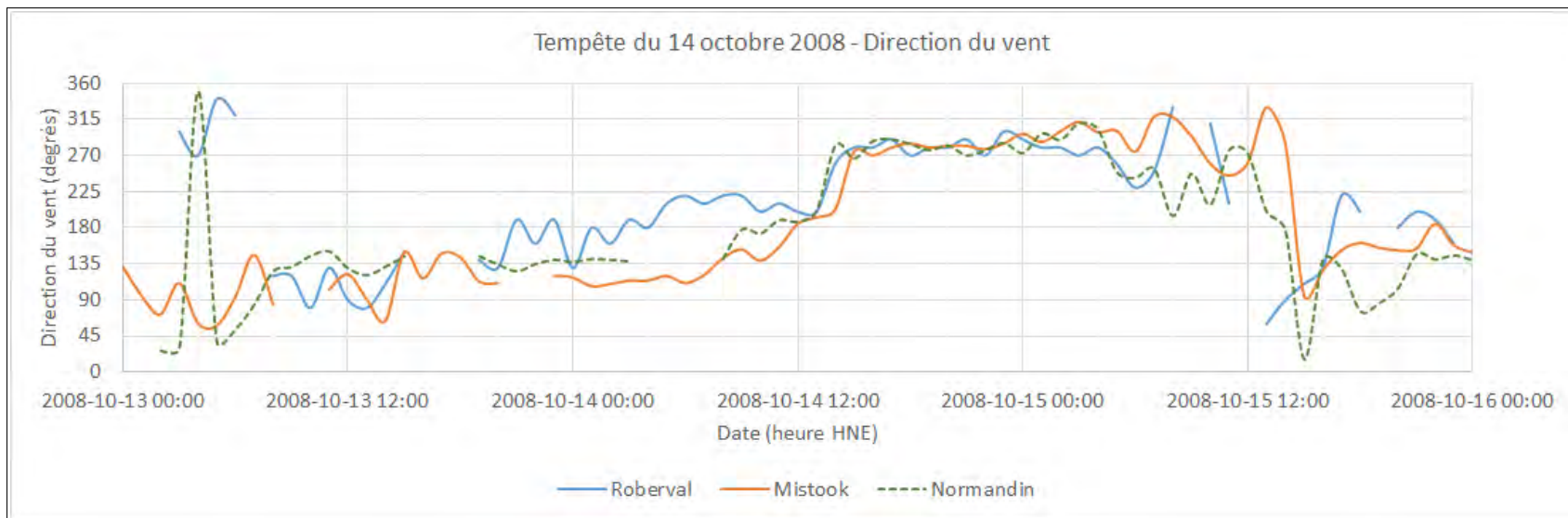


Figure A26 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 14 octobre 2008

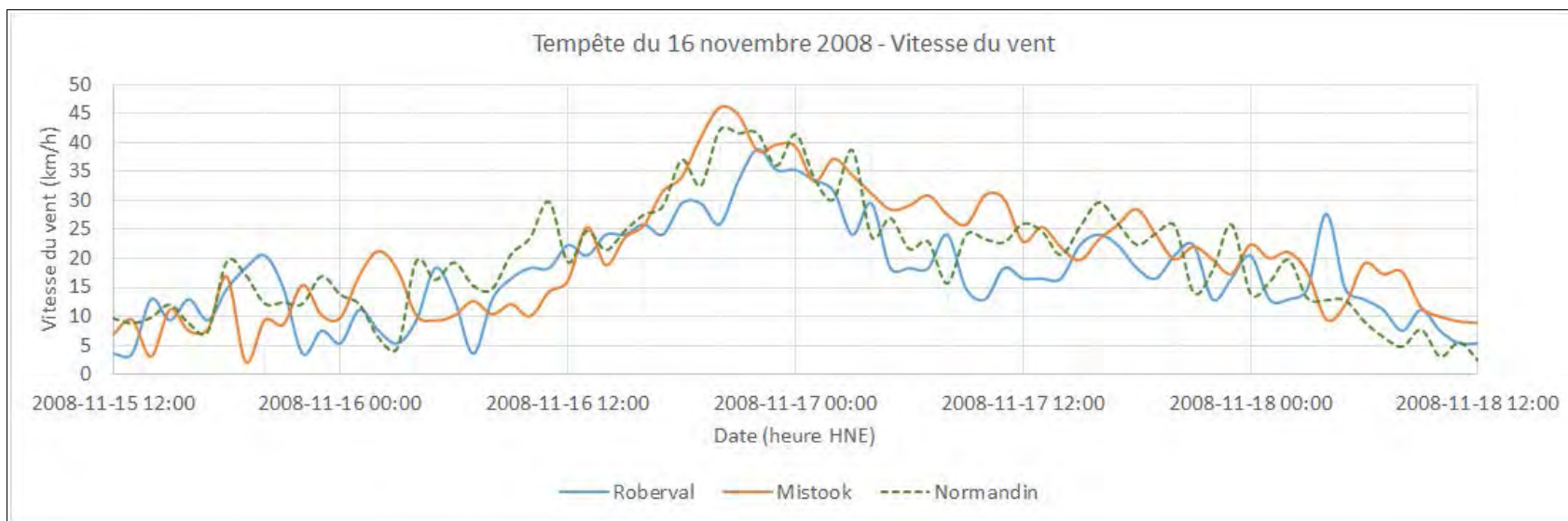


Figure A27 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 16 novembre 2008

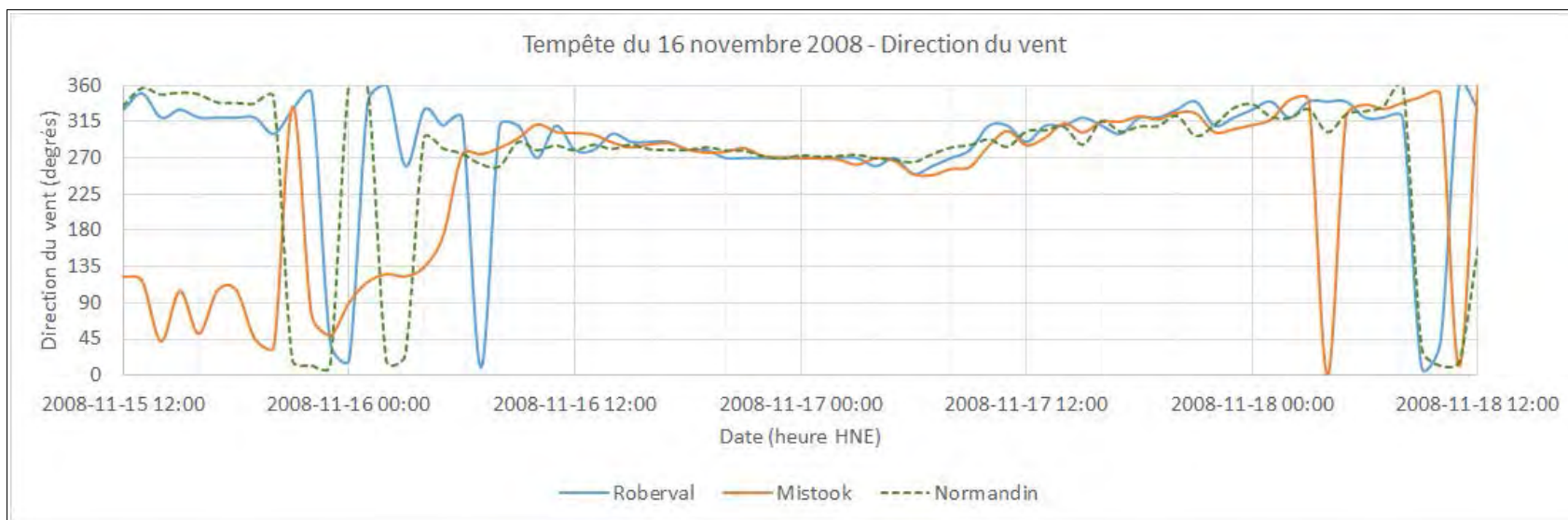


Figure A28 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 16 novembre 2008

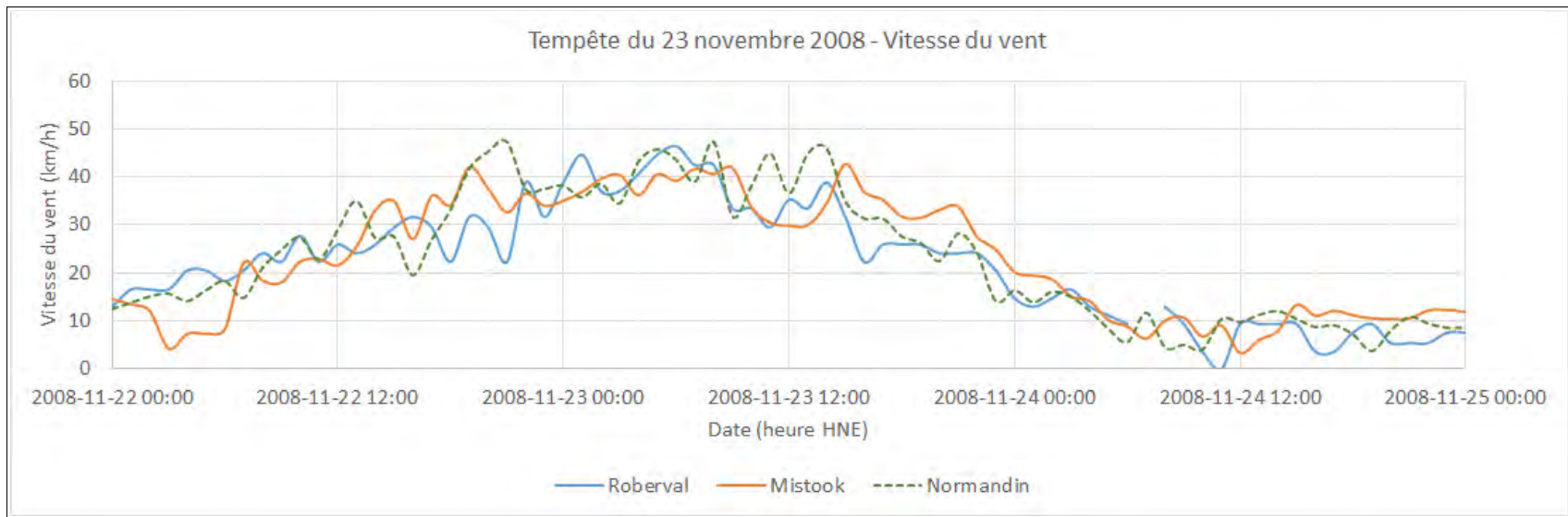


Figure A29 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 23 novembre 2008

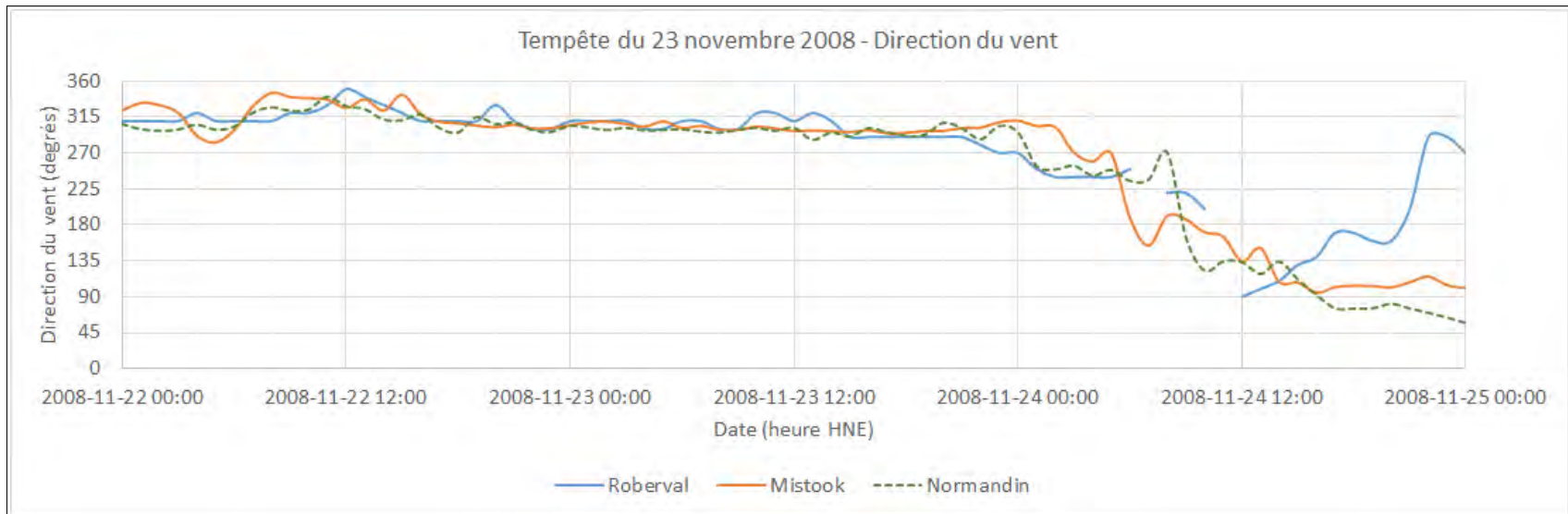


Figure A30 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 23 novembre 2008

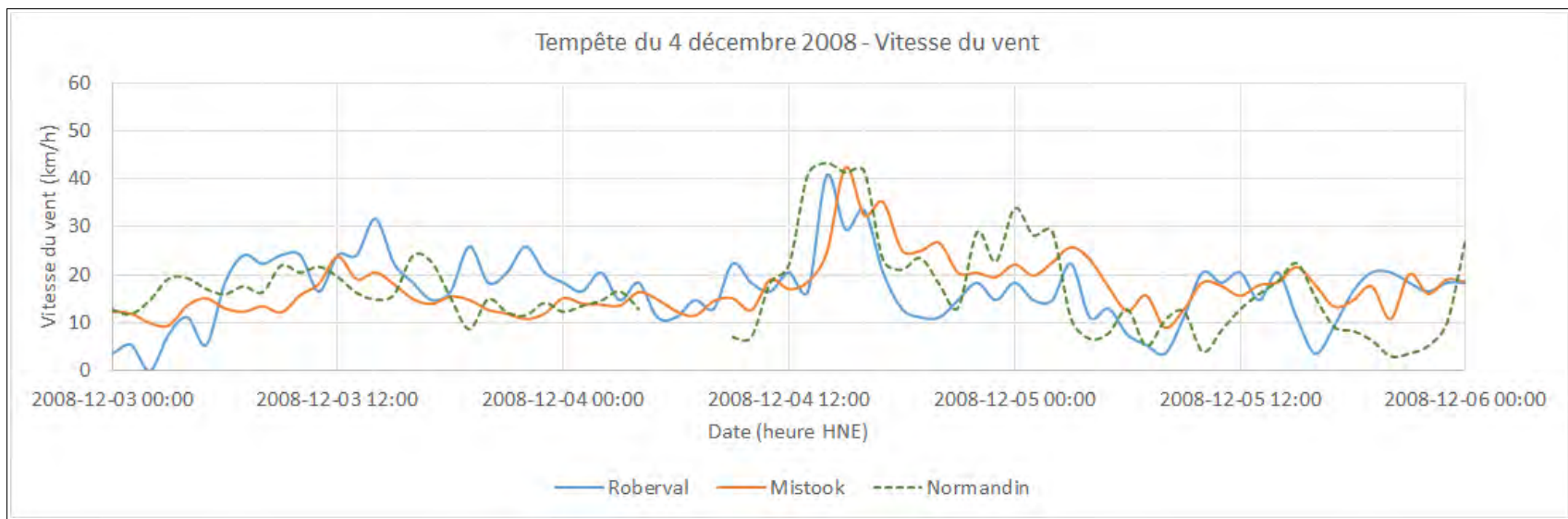


Figure A31 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 4 décembre 2008

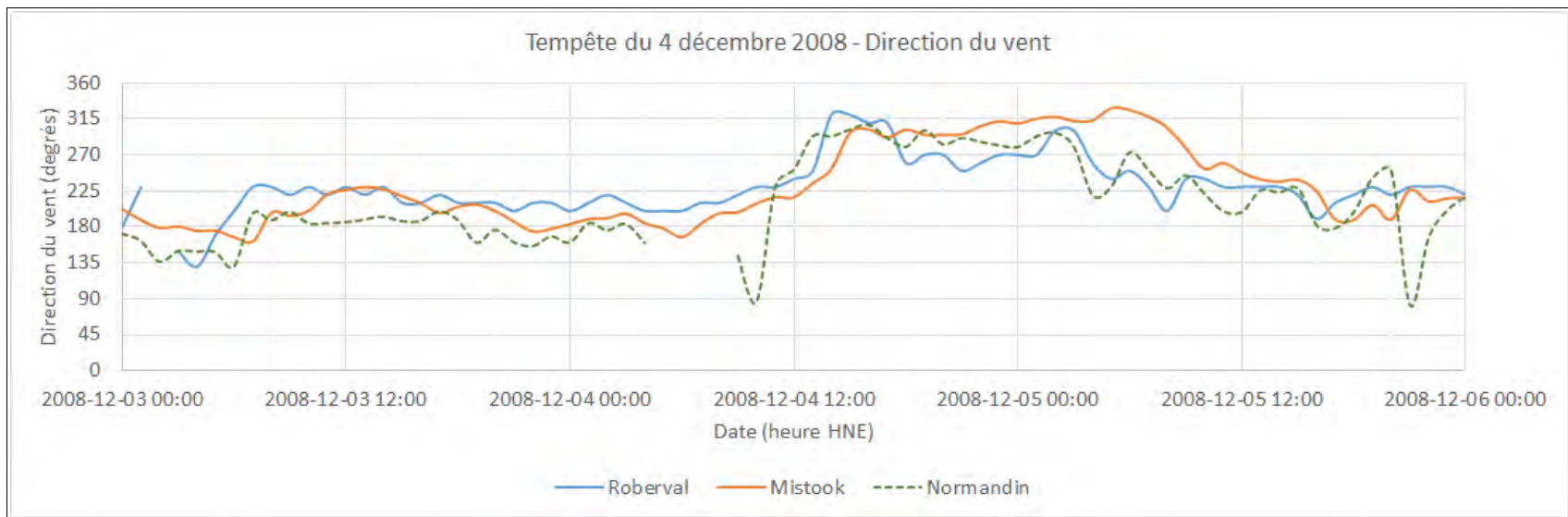


Figure A32 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 4 décembre 2008



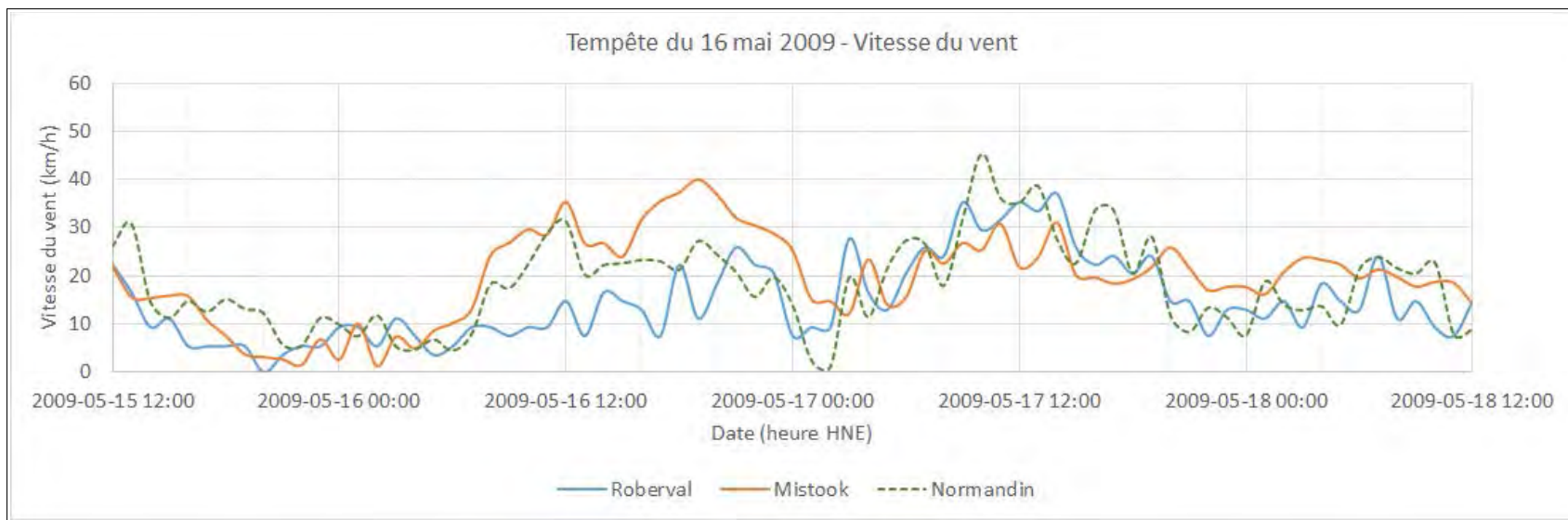


Figure A33 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 17 mai 2009

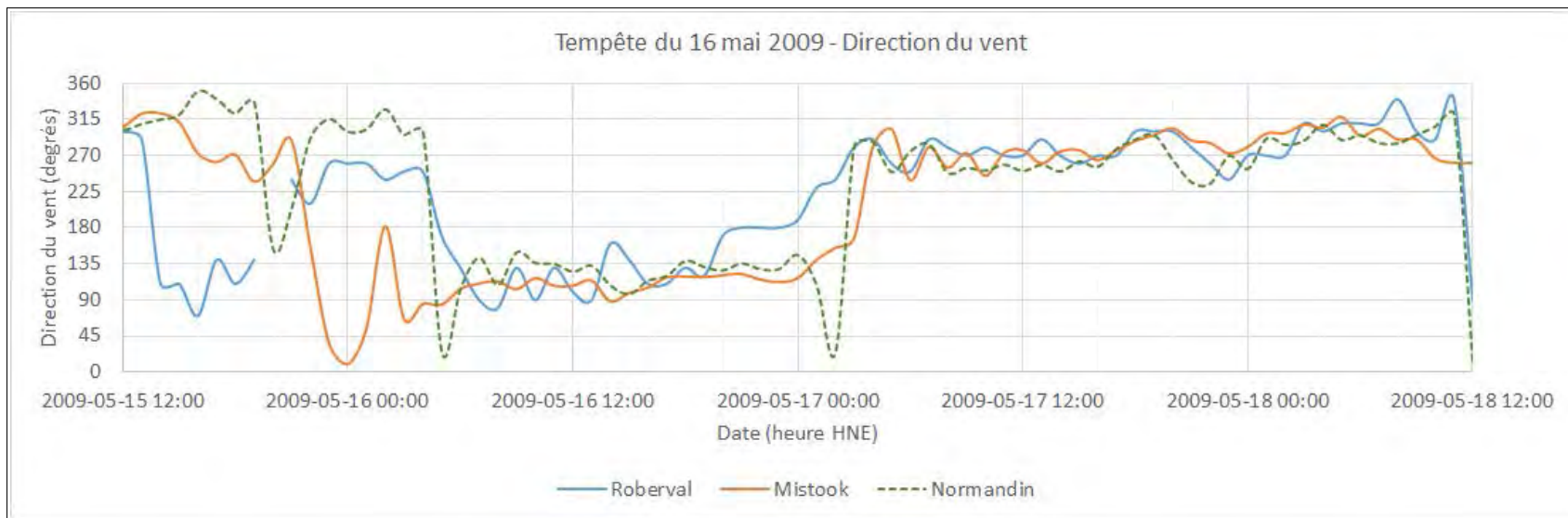


Figure A34 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 17 mai 2009

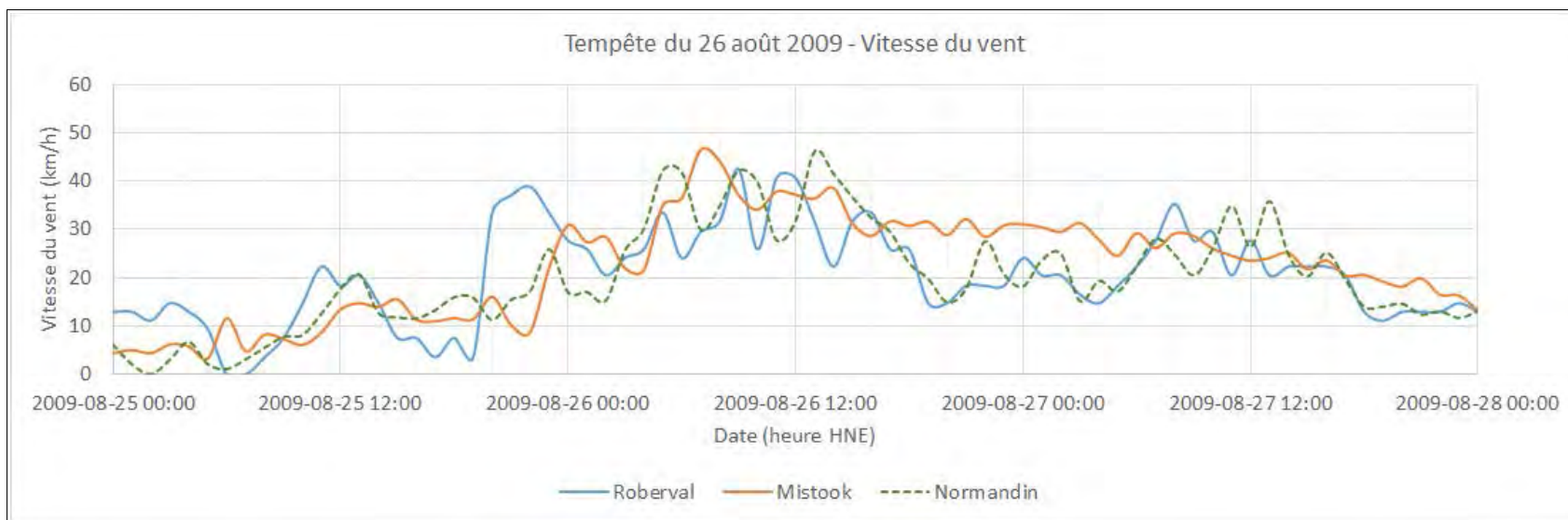


Figure A35 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 26 août 2009

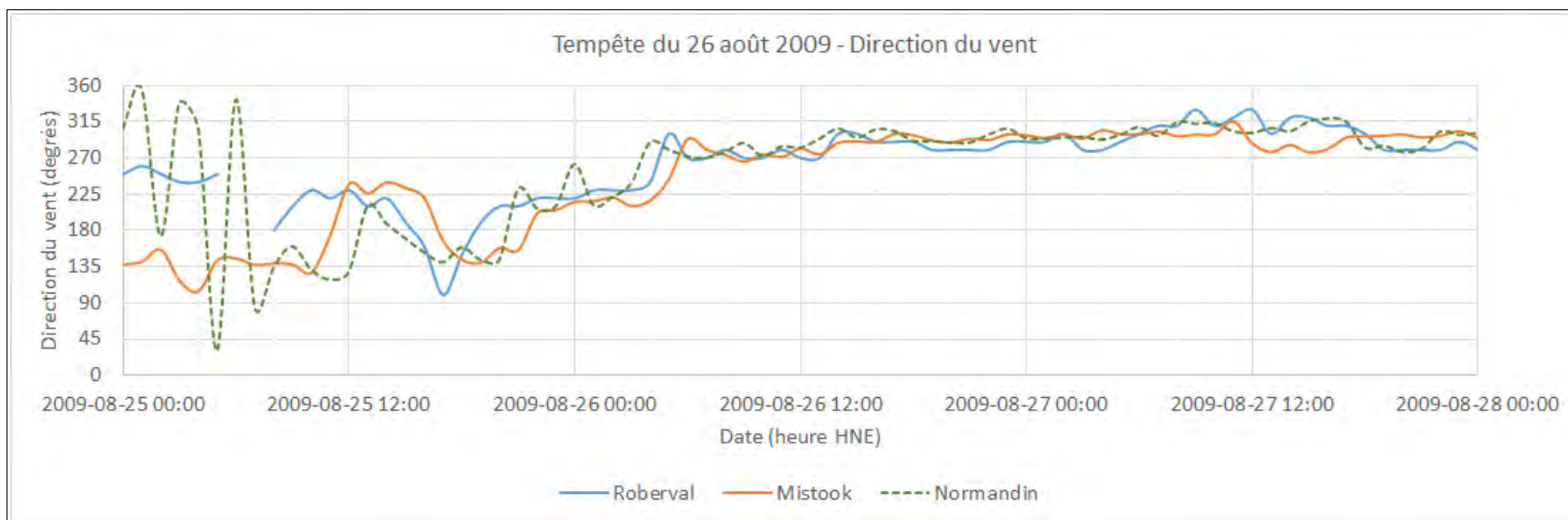


Figure A36 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 26 août 2009

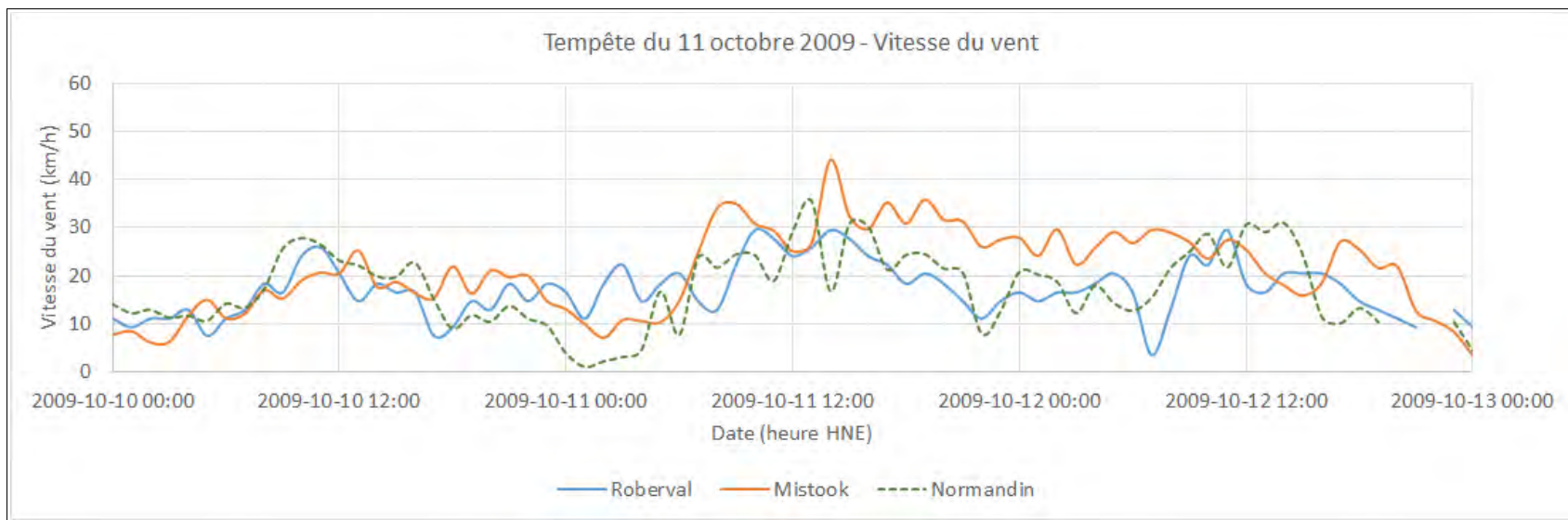


Figure A37 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 11 octobre 2009

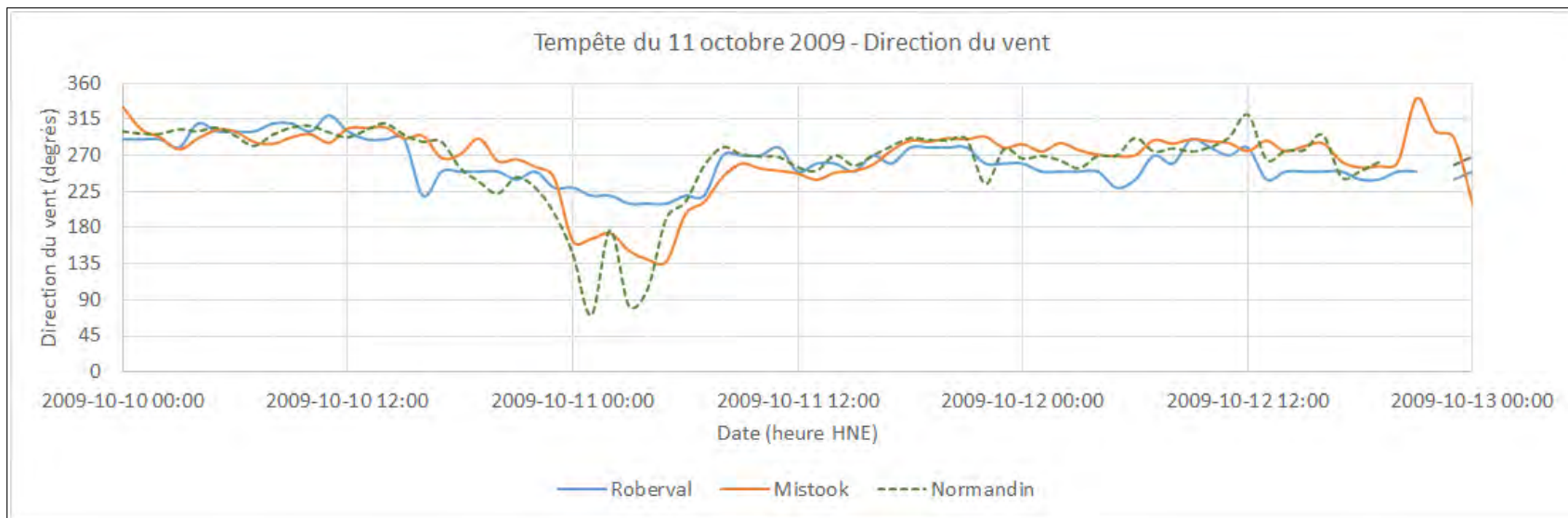


Figure A38 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 11 octobre 2009

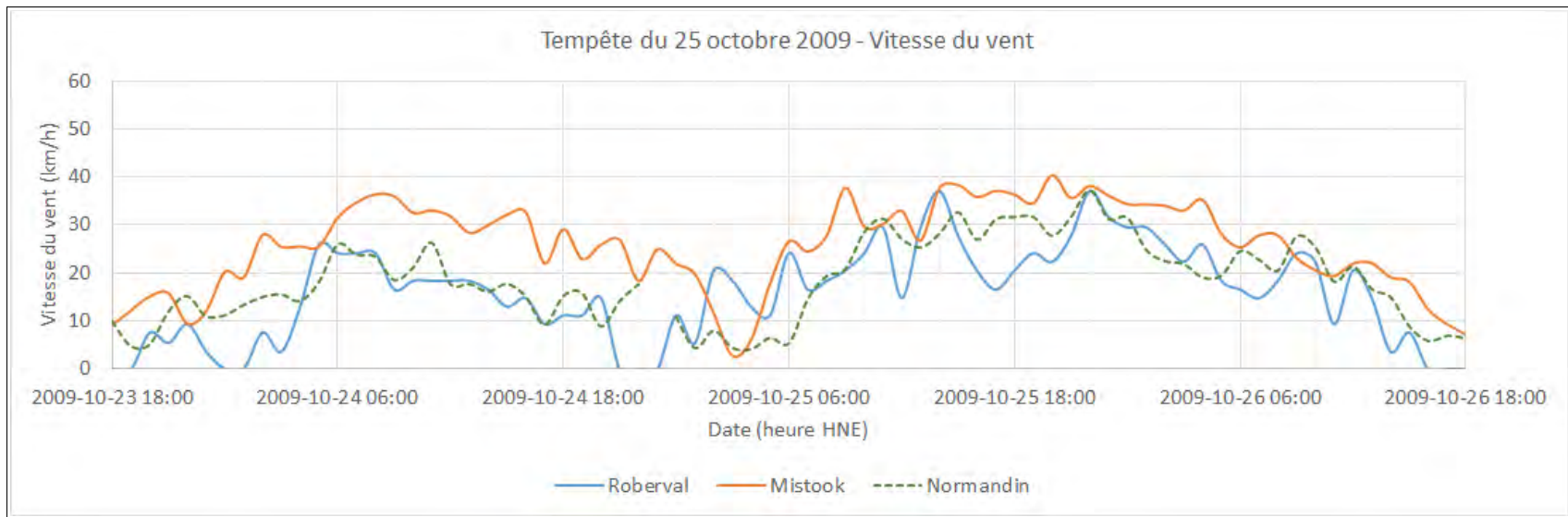


Figure A39 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 25 octobre 2009

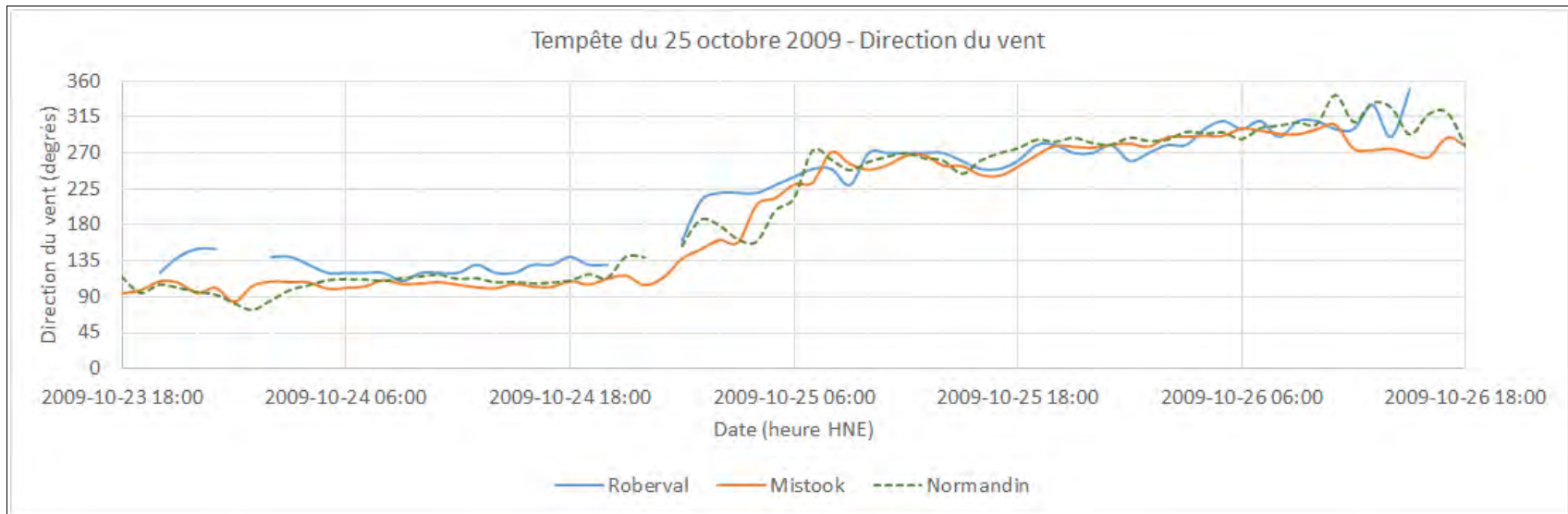


Figure A40 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 25 octobre 2009

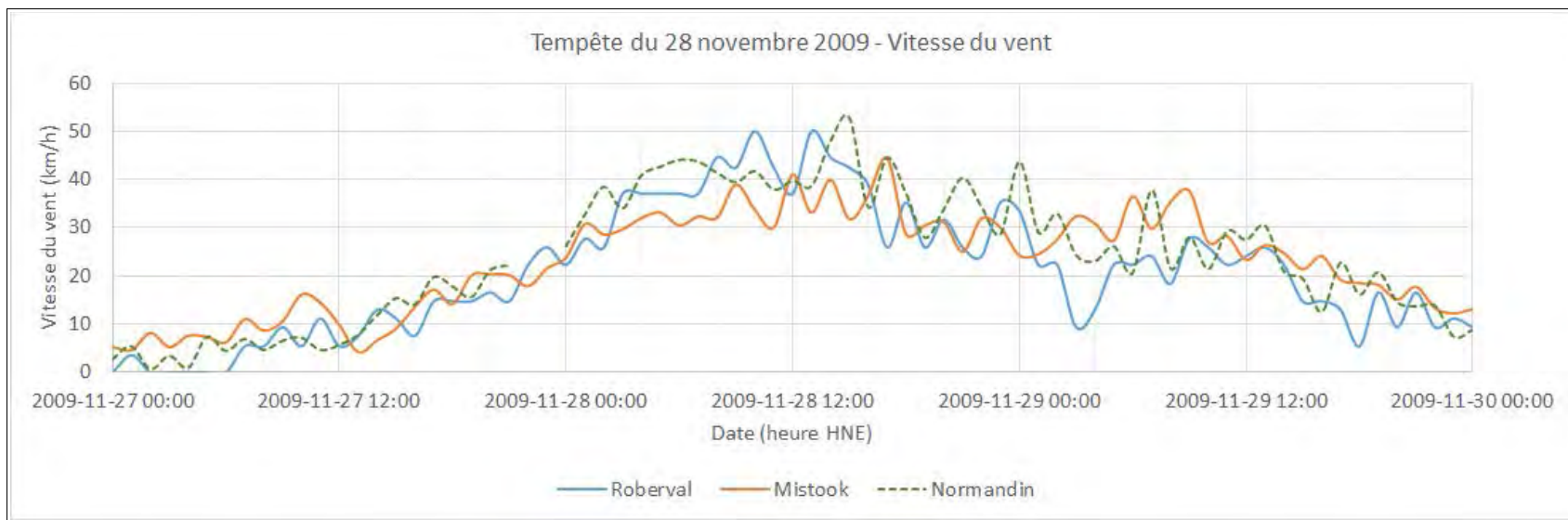


Figure A41 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 28 novembre 2009

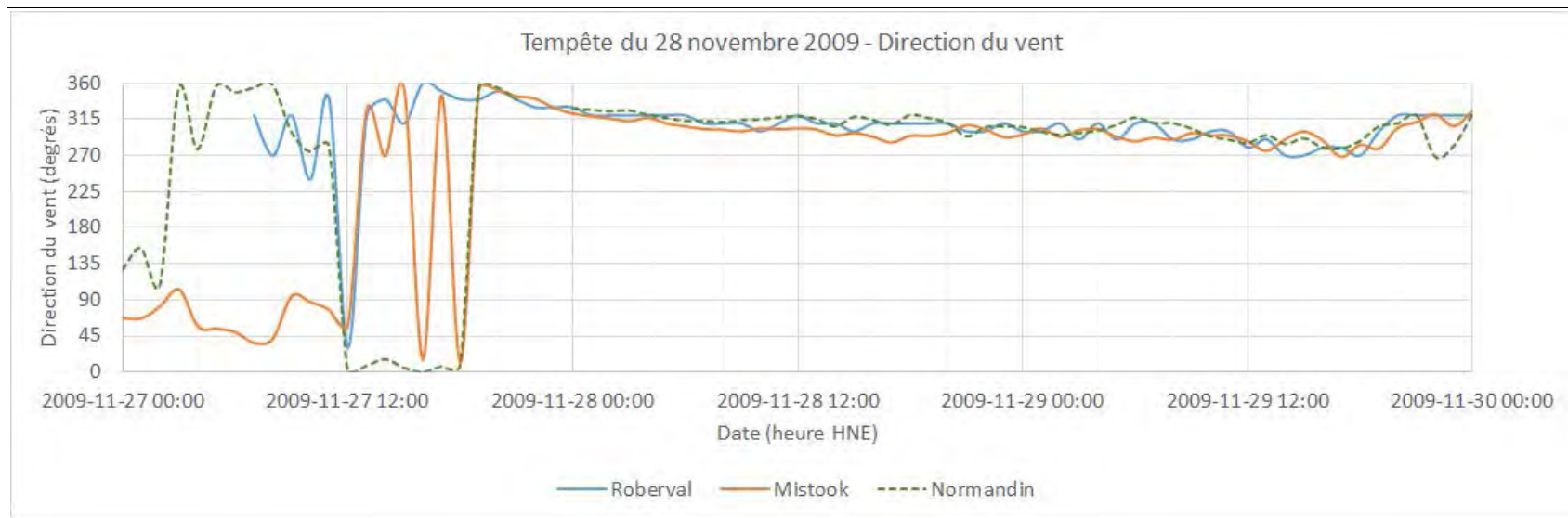


Figure A42 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 28 novembre 2009

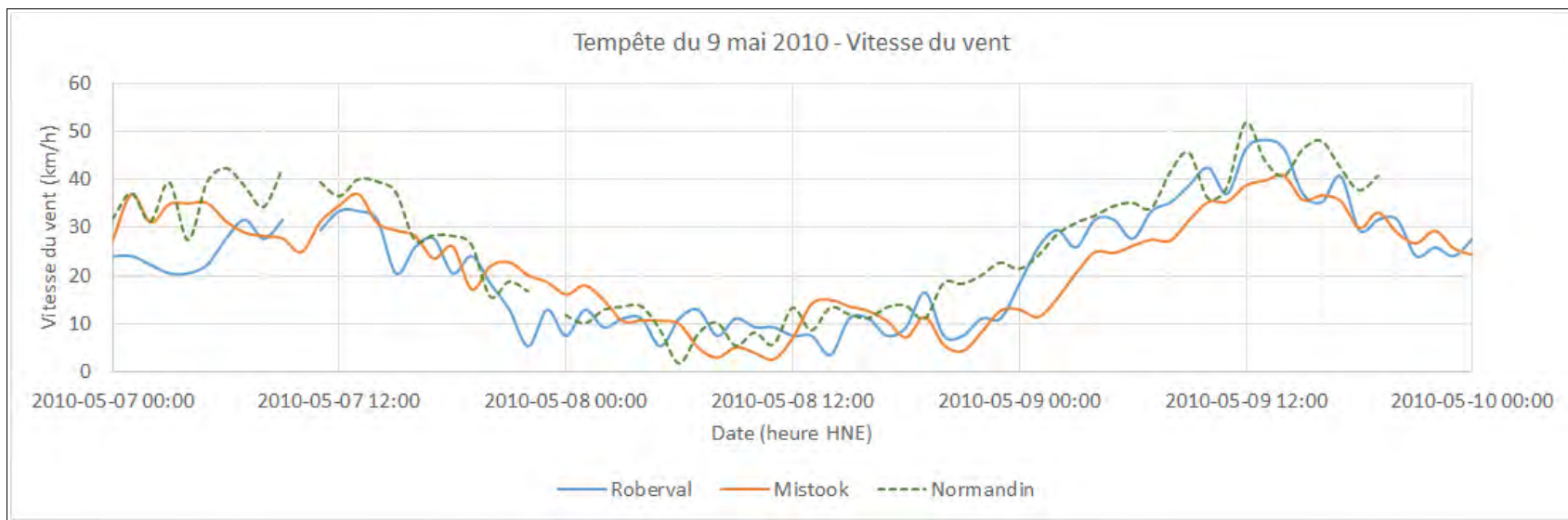


Figure A43 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 9 mai 2010

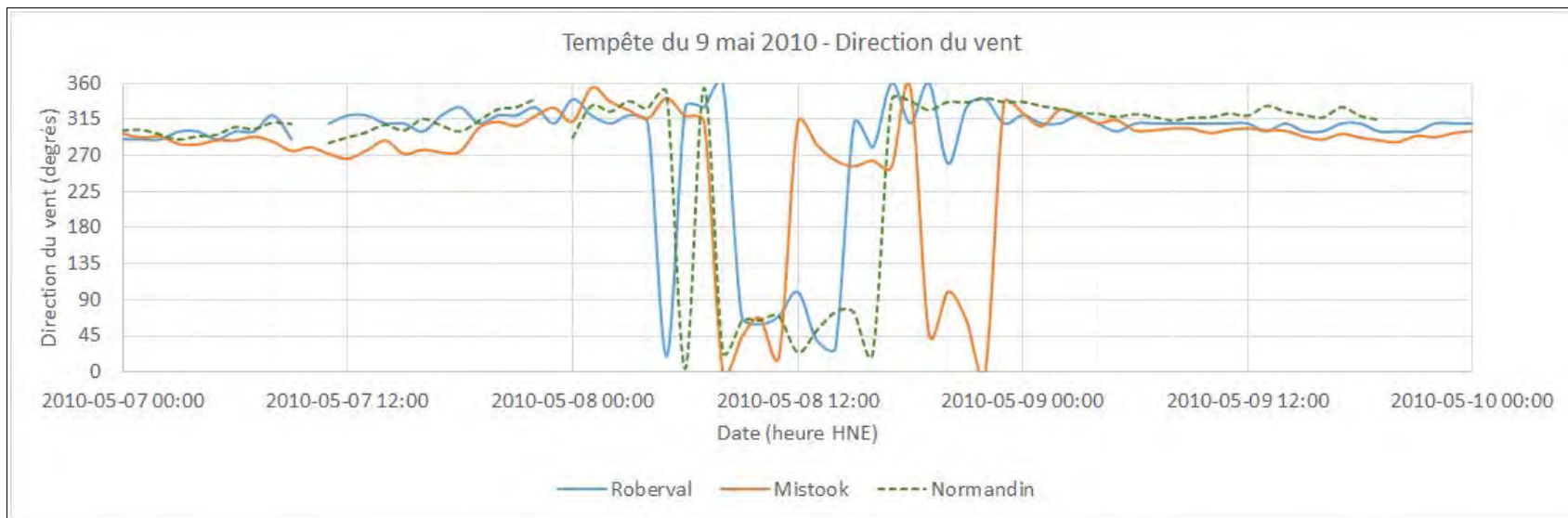


Figure A44 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 9 mai 2010

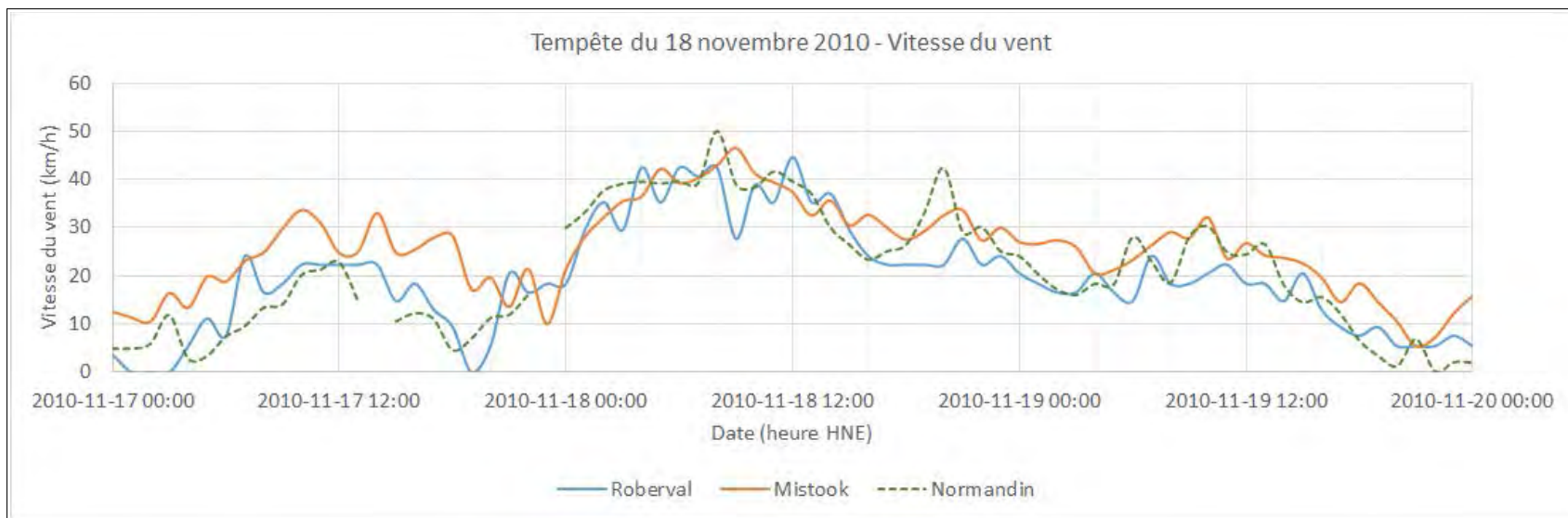


Figure A45 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 18 novembre 2010

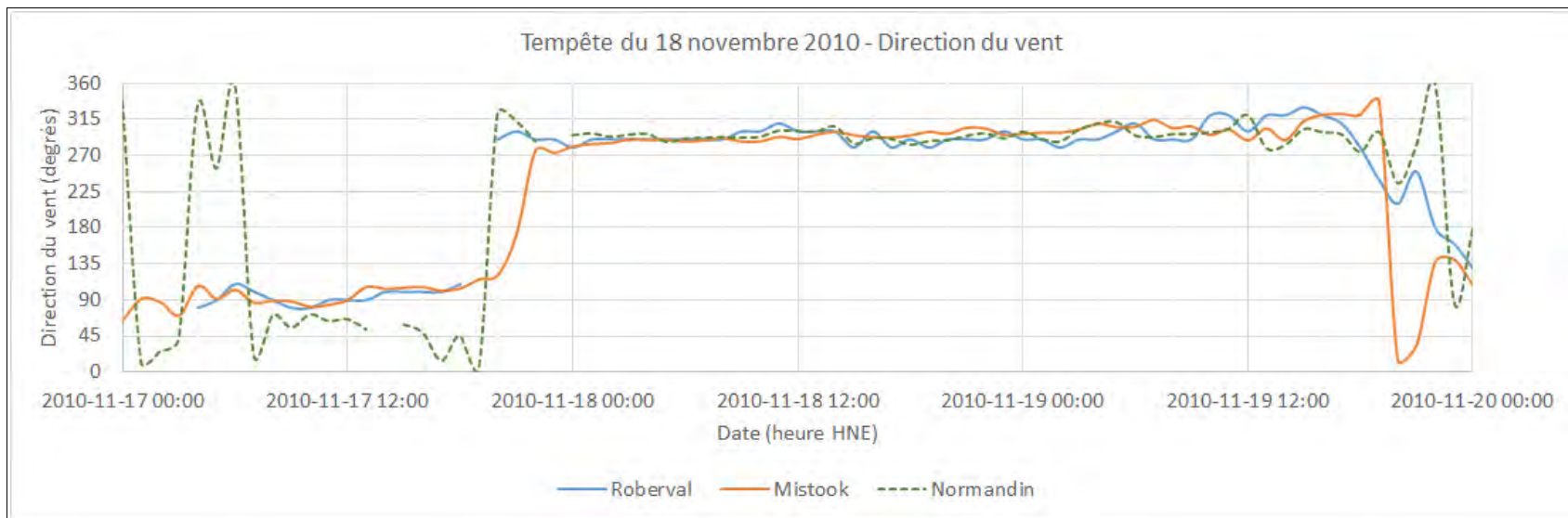


Figure A46 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 18 novembre 2010

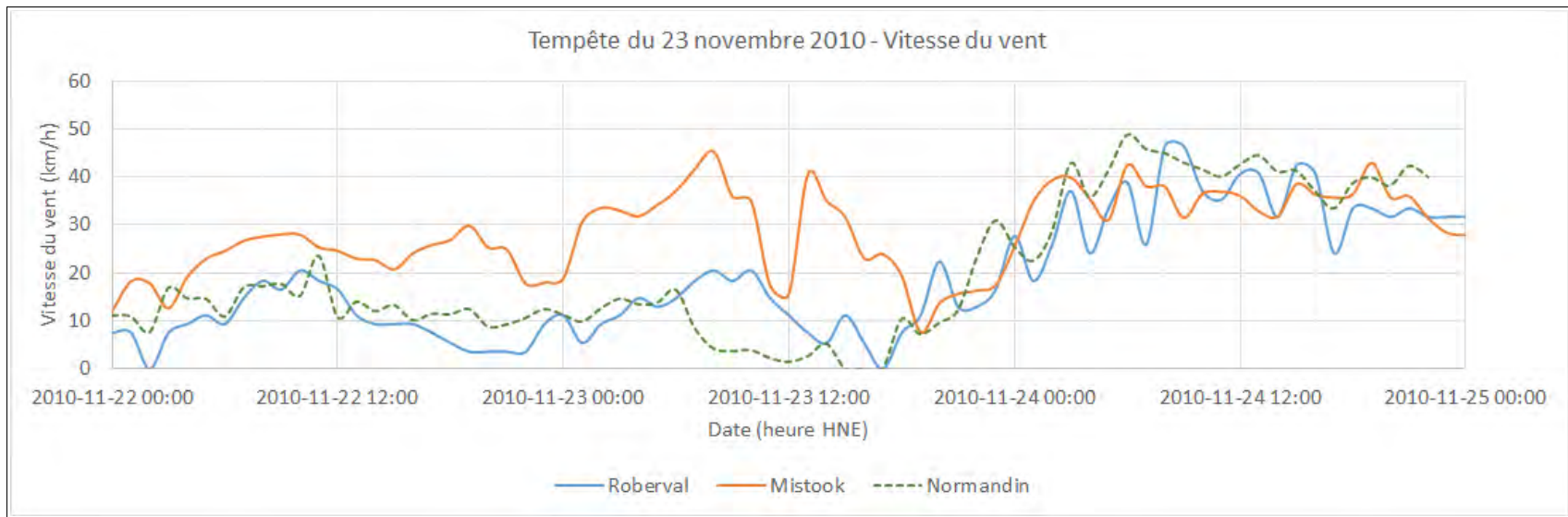


Figure A47 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 24 novembre 2010

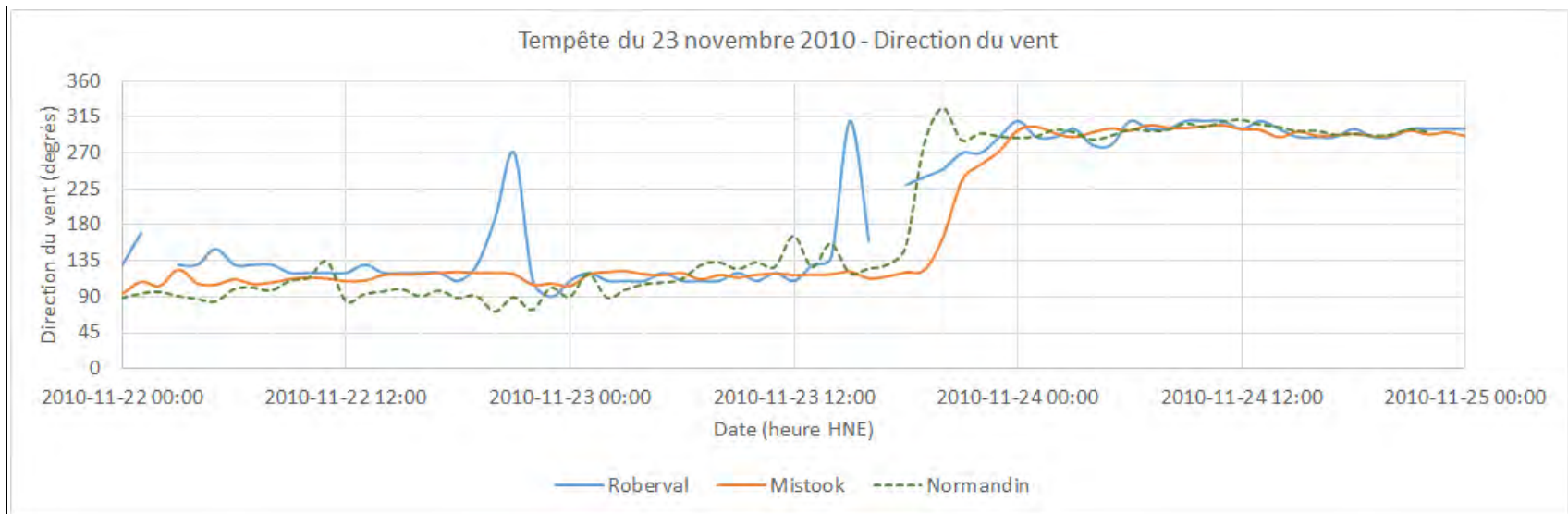


Figure A48 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 24 novembre 2010



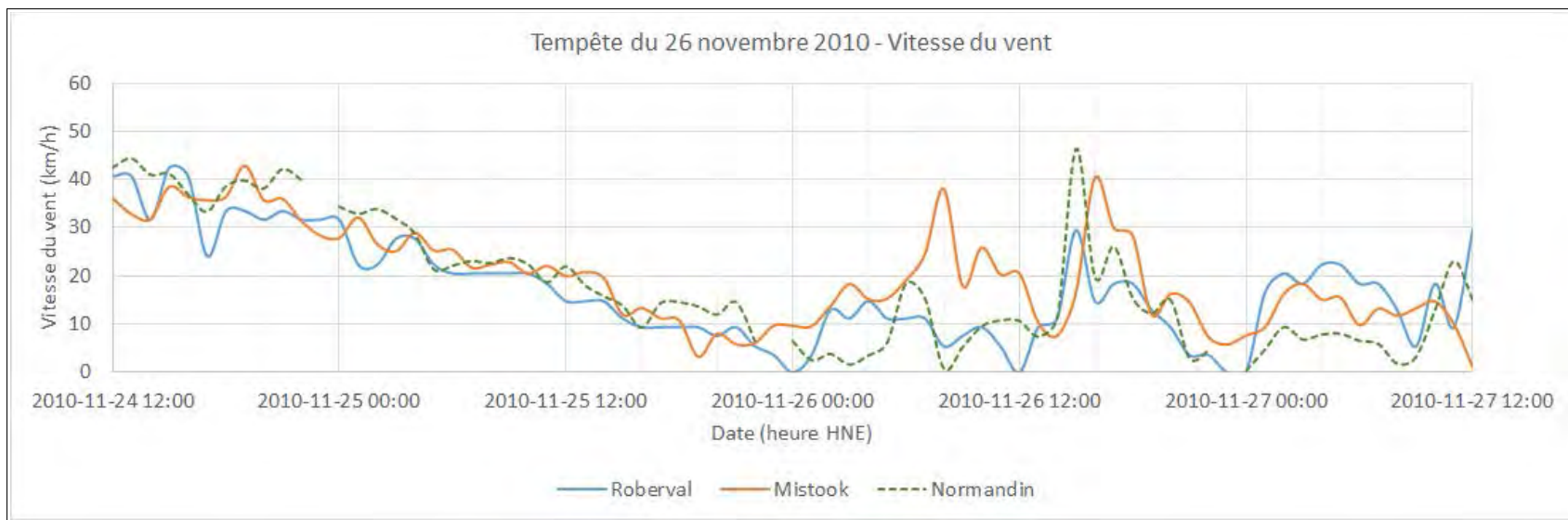


Figure A49 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 26 novembre 2010

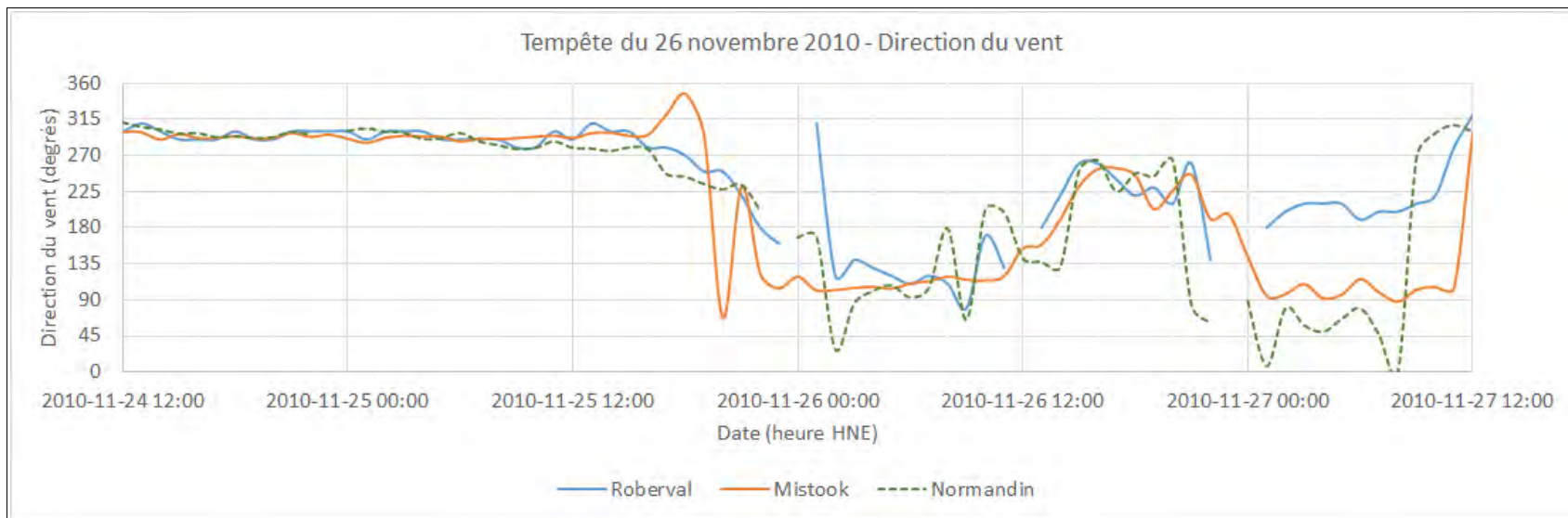


Figure A50 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 26 novembre 2010

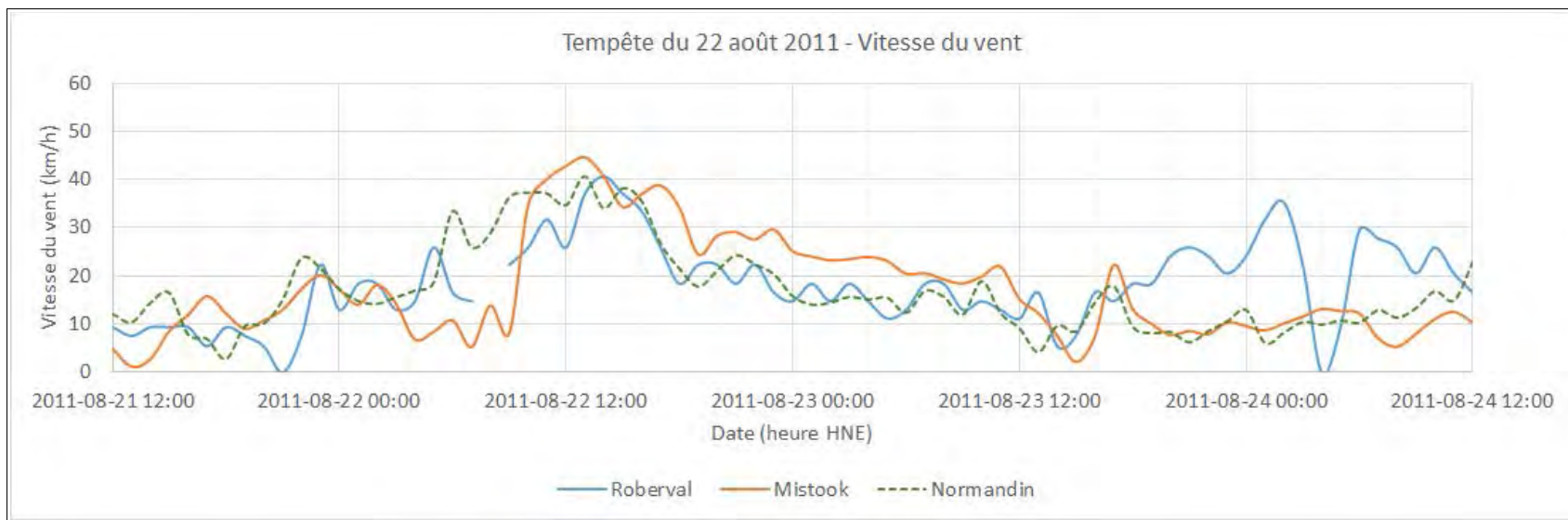


Figure A51 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 22 août 2011

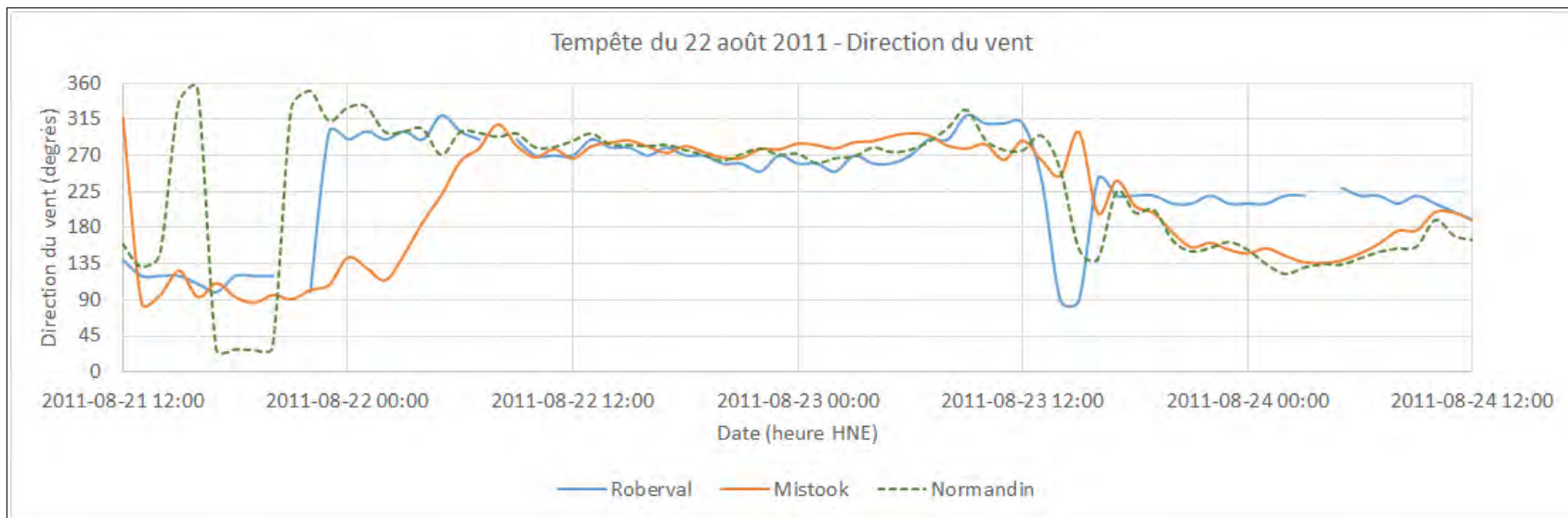


Figure A52 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 22 août 2011

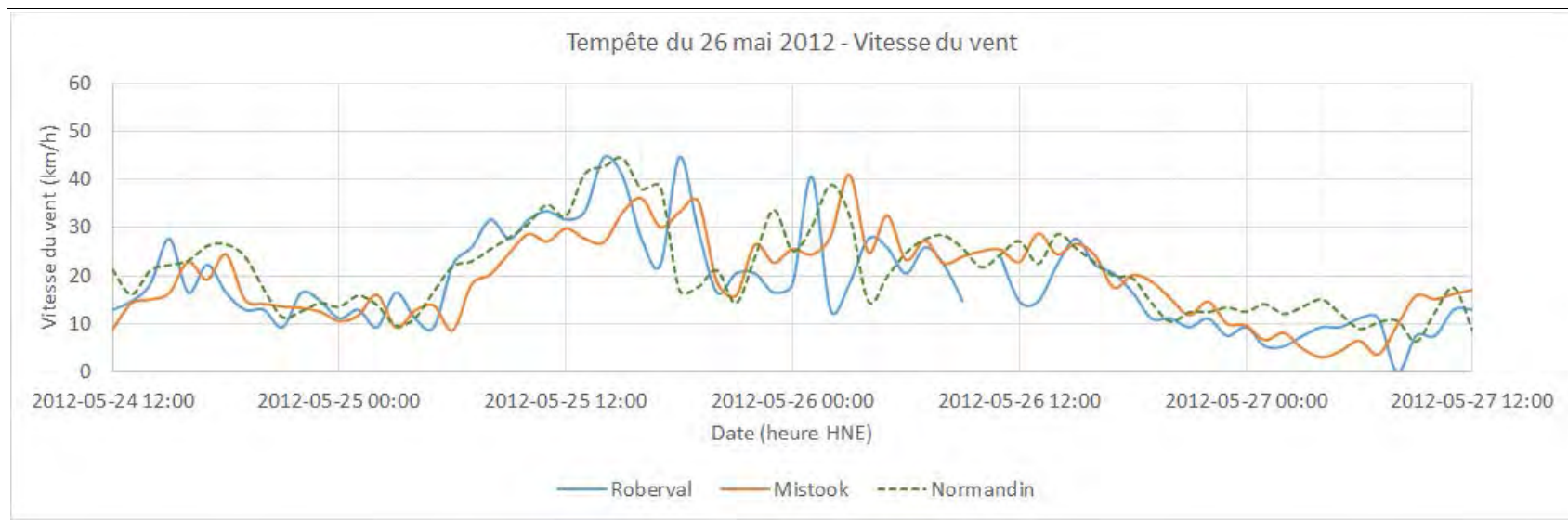


Figure A53 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 26 mai 2012

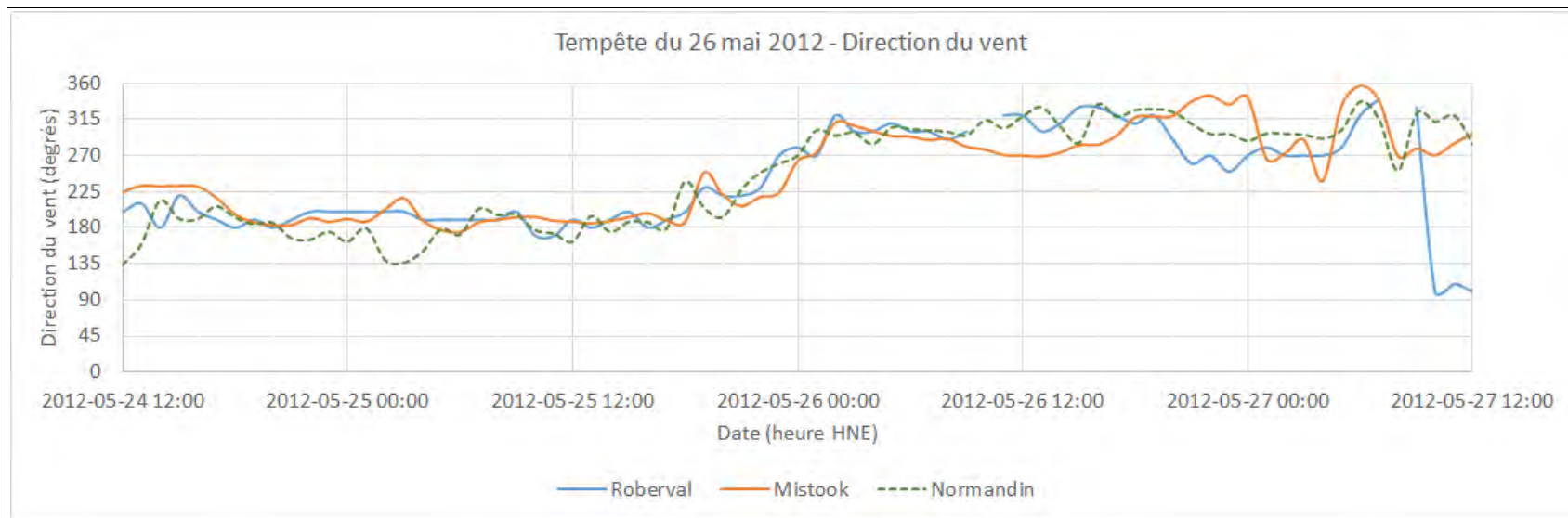


Figure A54 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 26 mai 2012

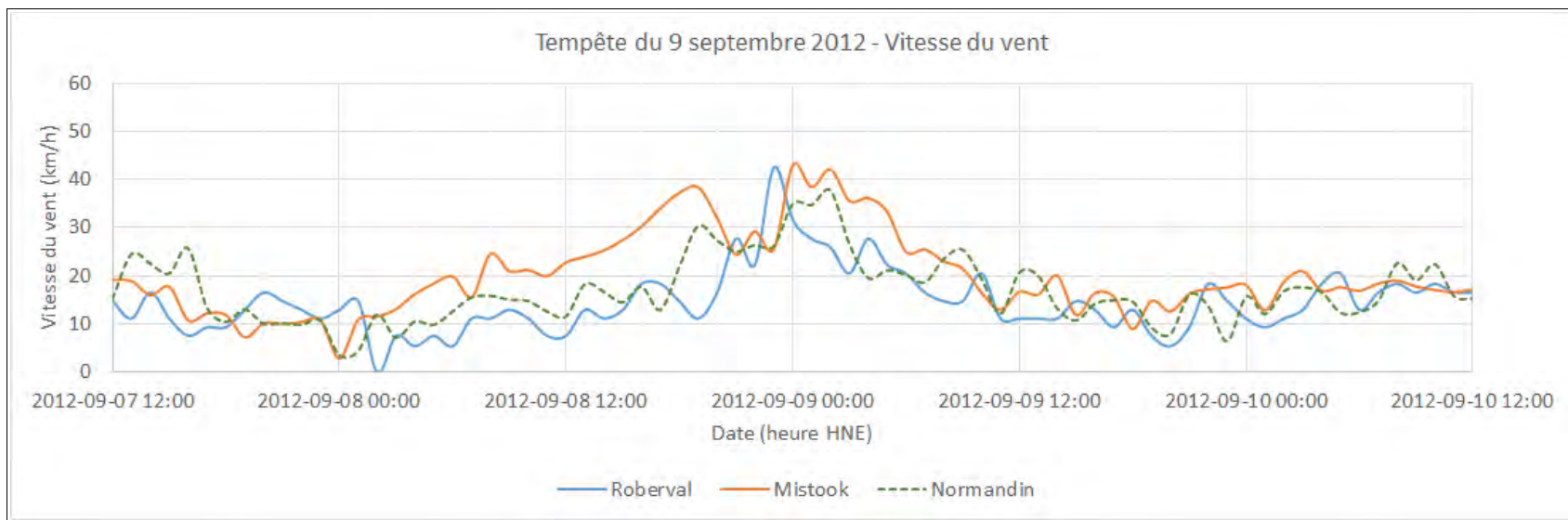


Figure A55 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 9 septembre 2012

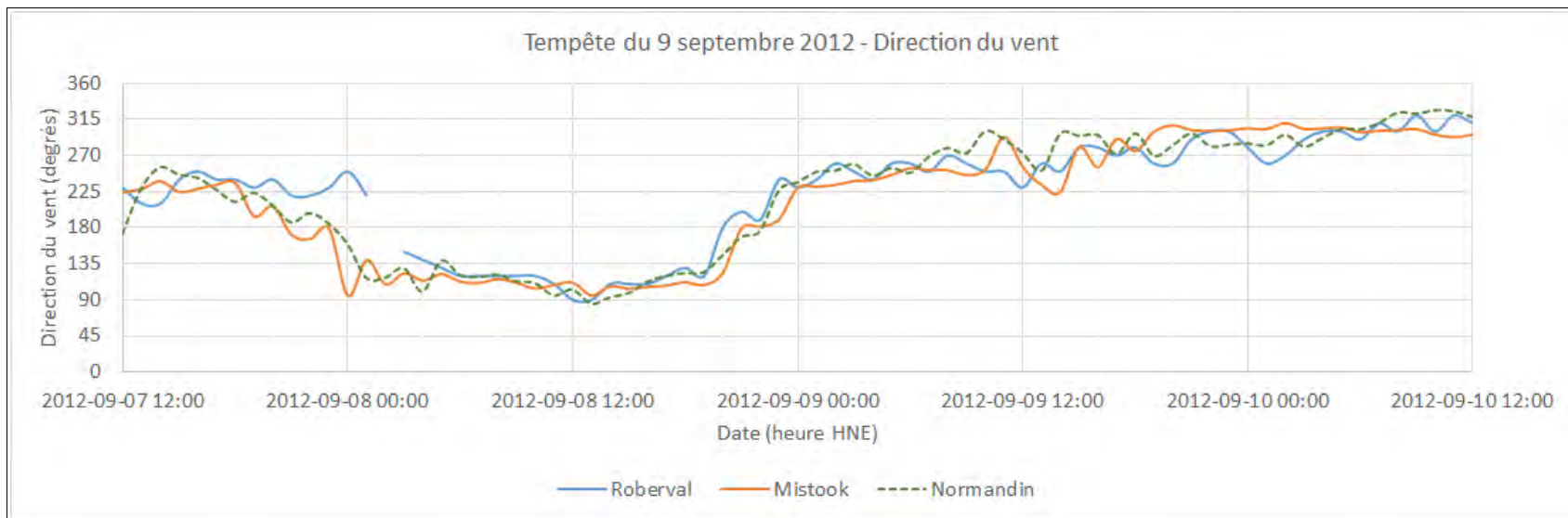


Figure A56 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 9 septembre 2012

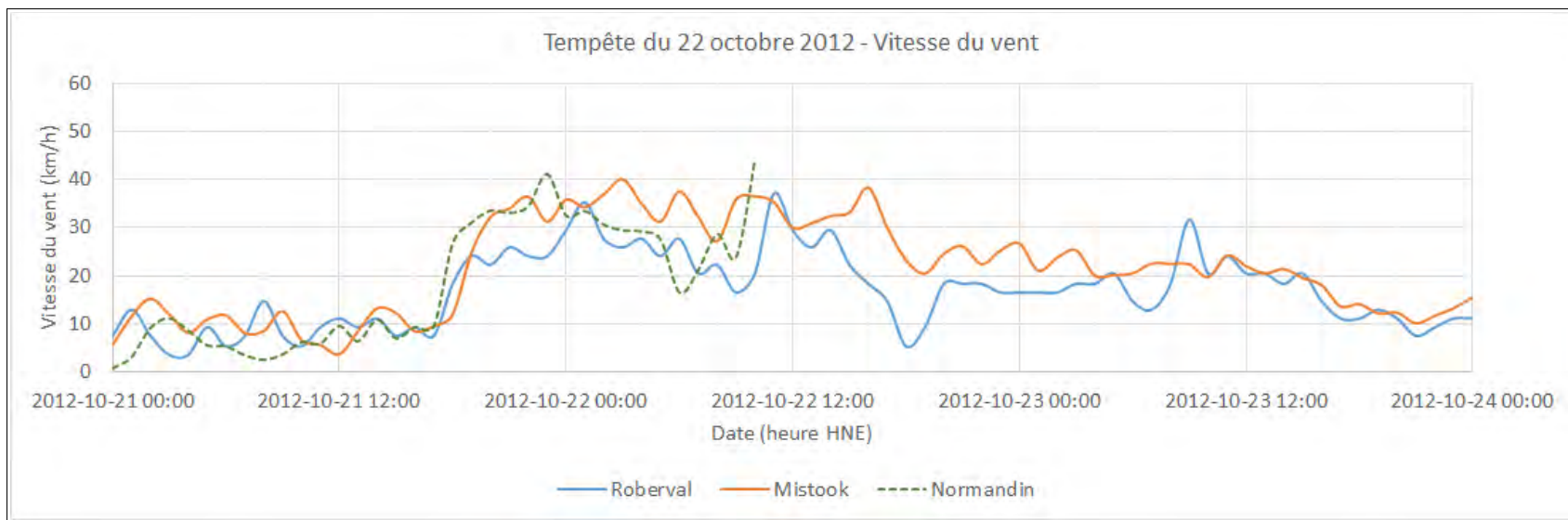


Figure A57 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 22 octobre 2012

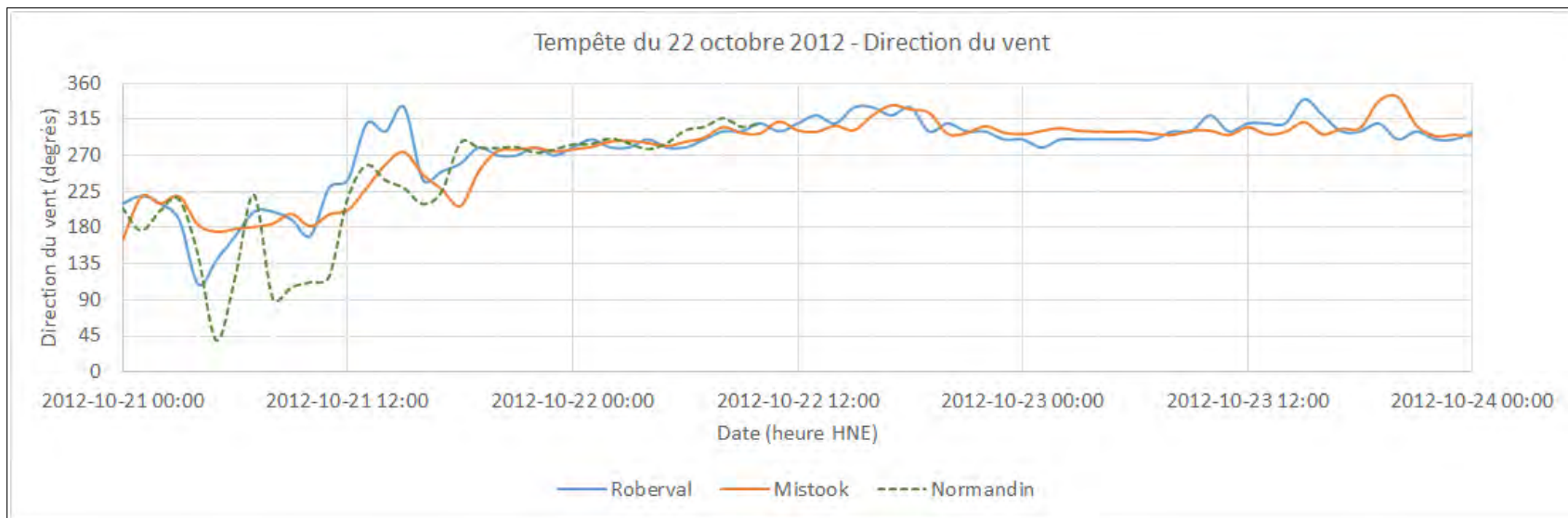


Figure A58 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 22 octobre 2012

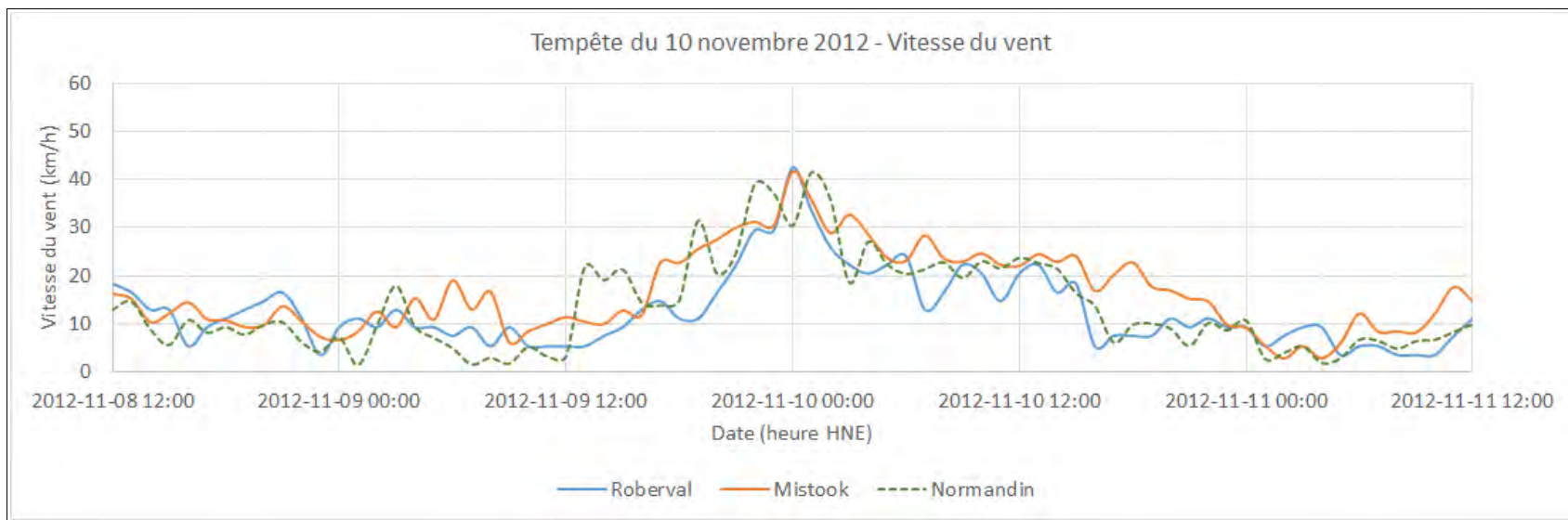


Figure A59 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 10 novembre 2012

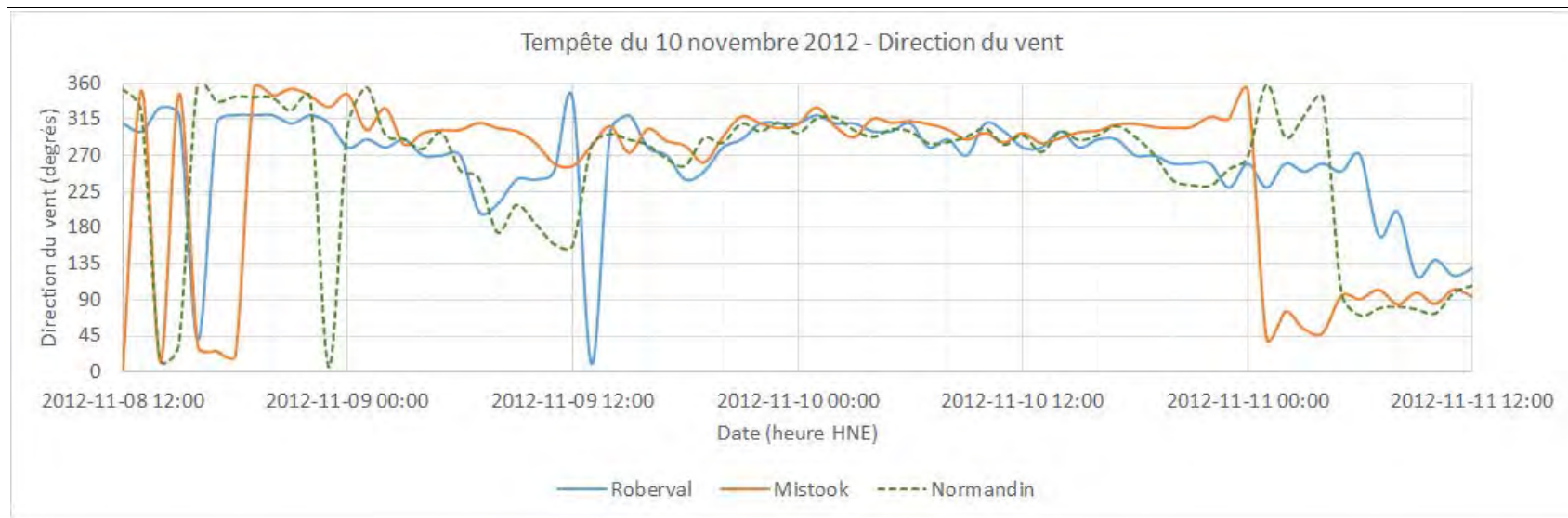


Figure A60 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 10 novembre 2012

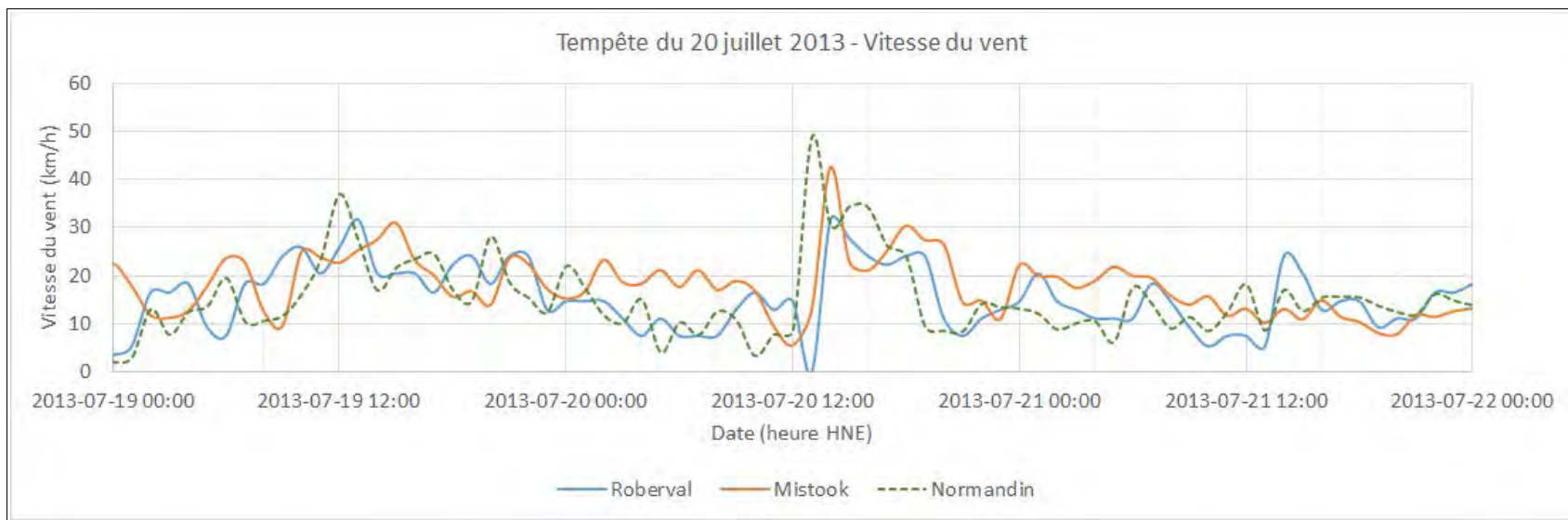


Figure A61 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 20 juillet 2013

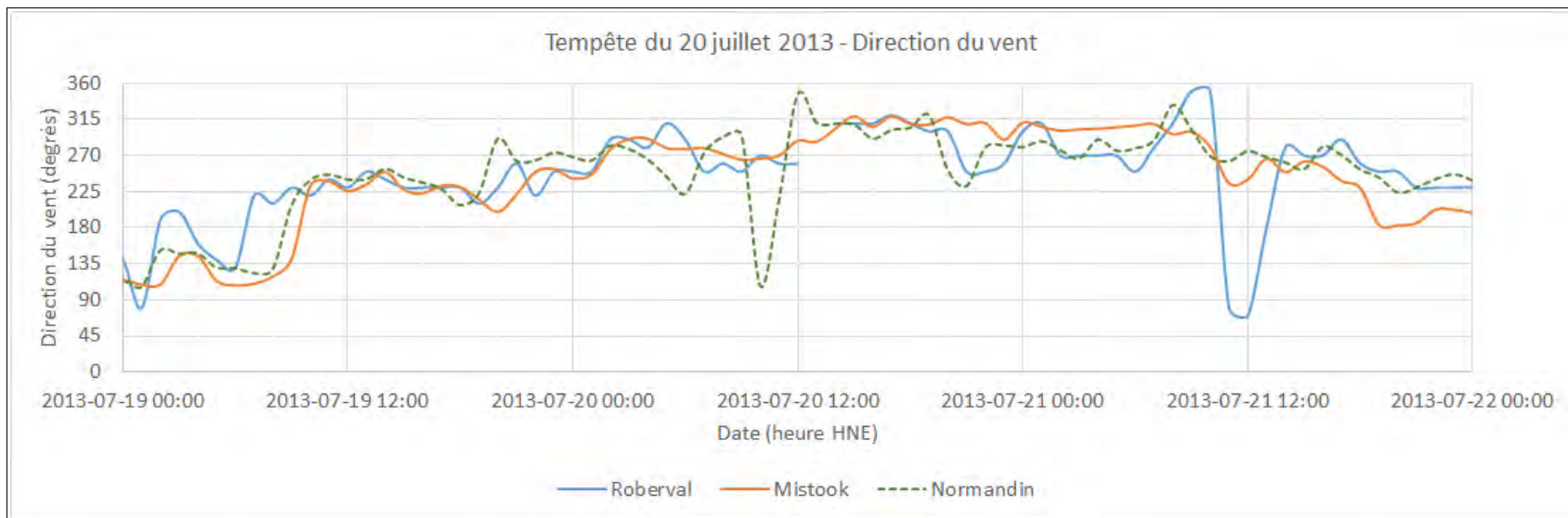


Figure A62 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 20 juillet 2013

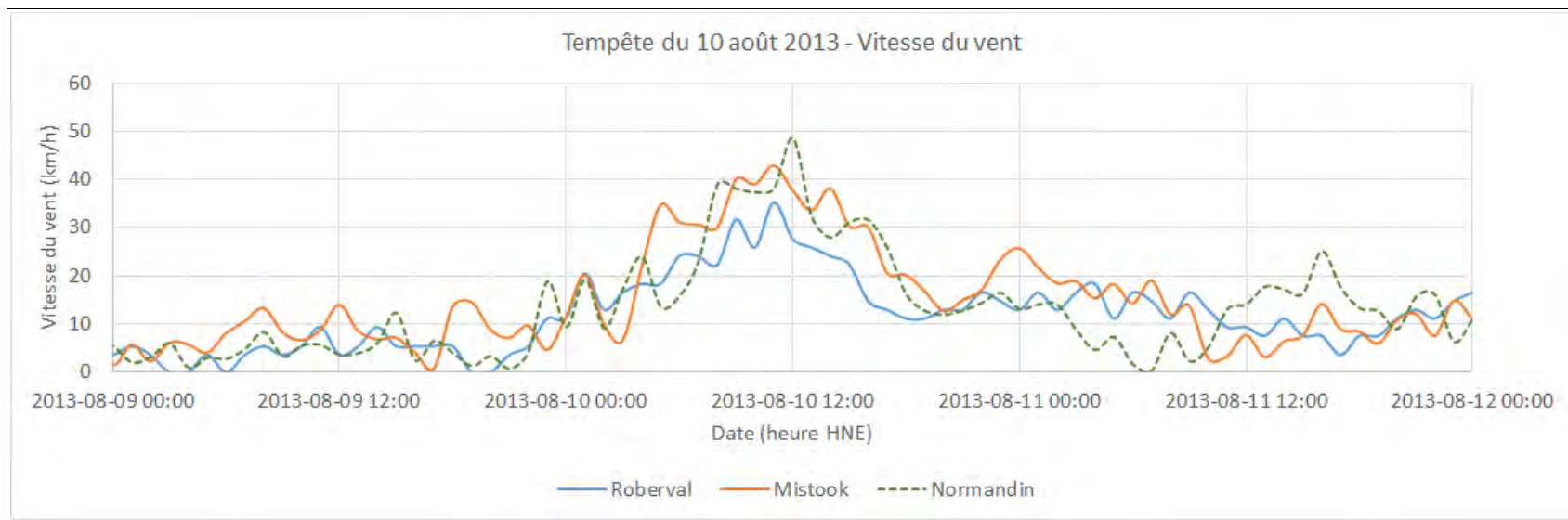


Figure A63 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 10 août 2013

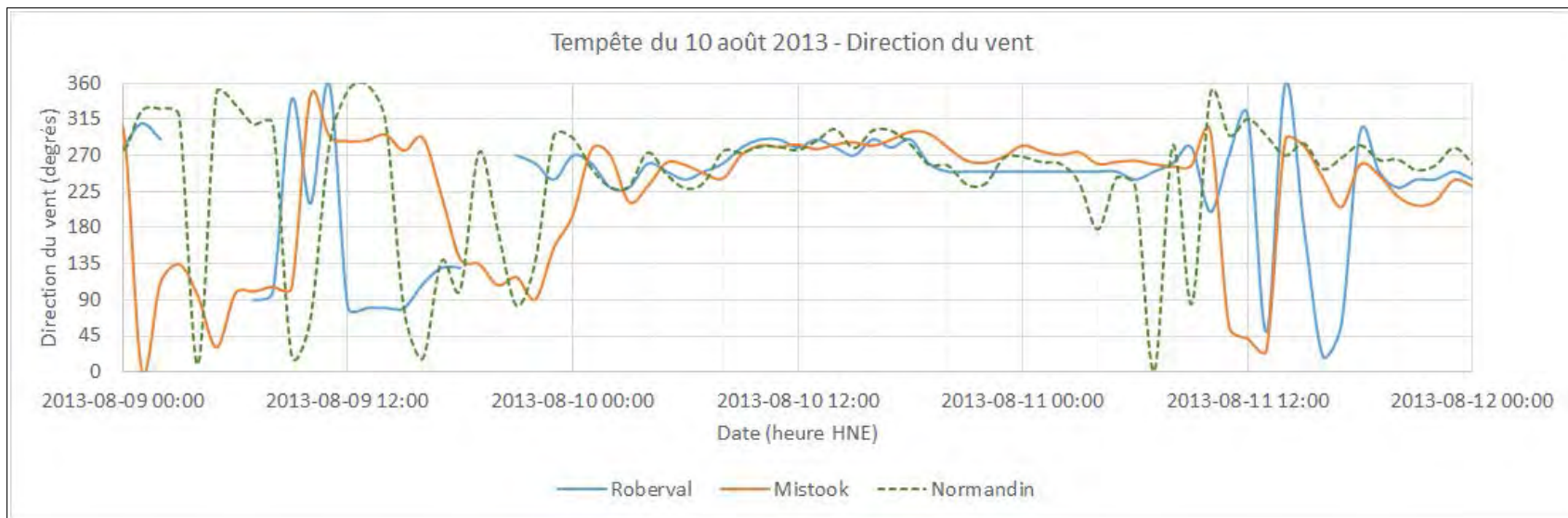


Figure A64 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 10 août 2013



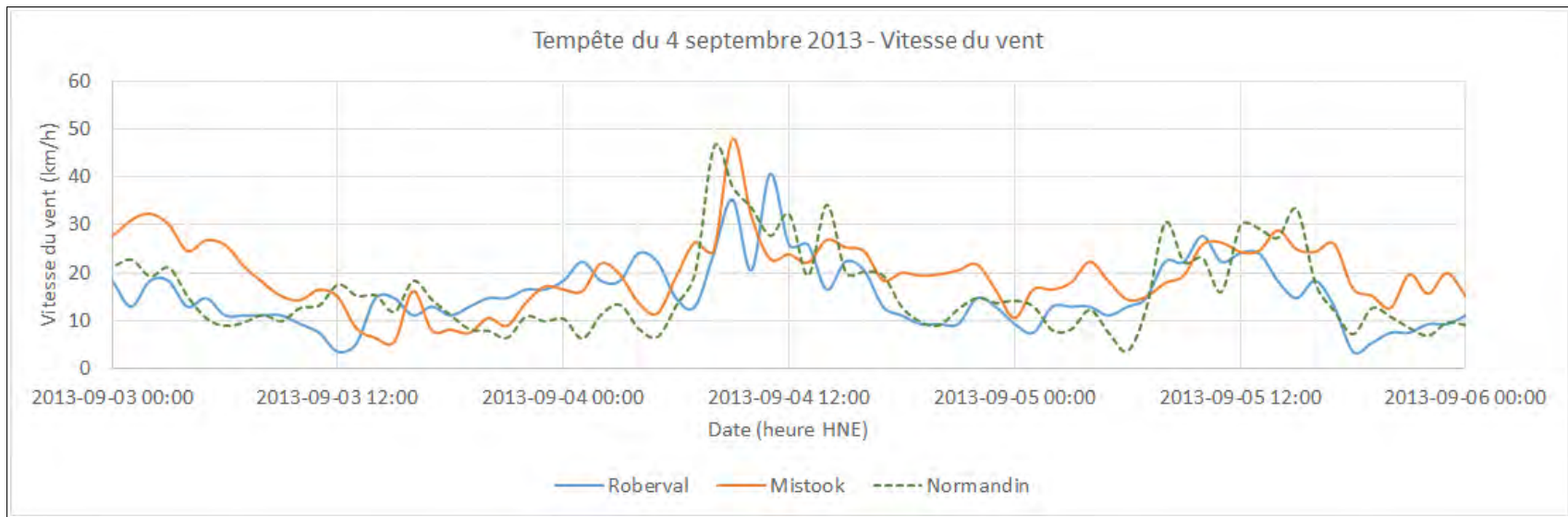


Figure A65 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 4 septembre 2013

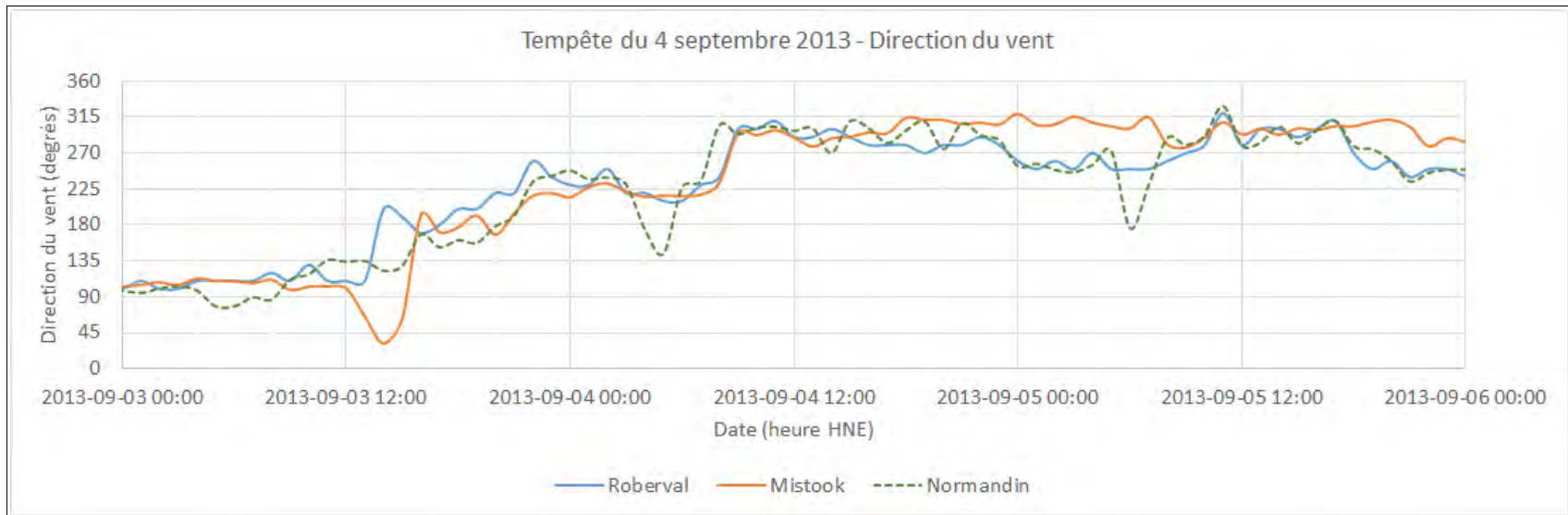


Figure A66 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 4 septembre 2013

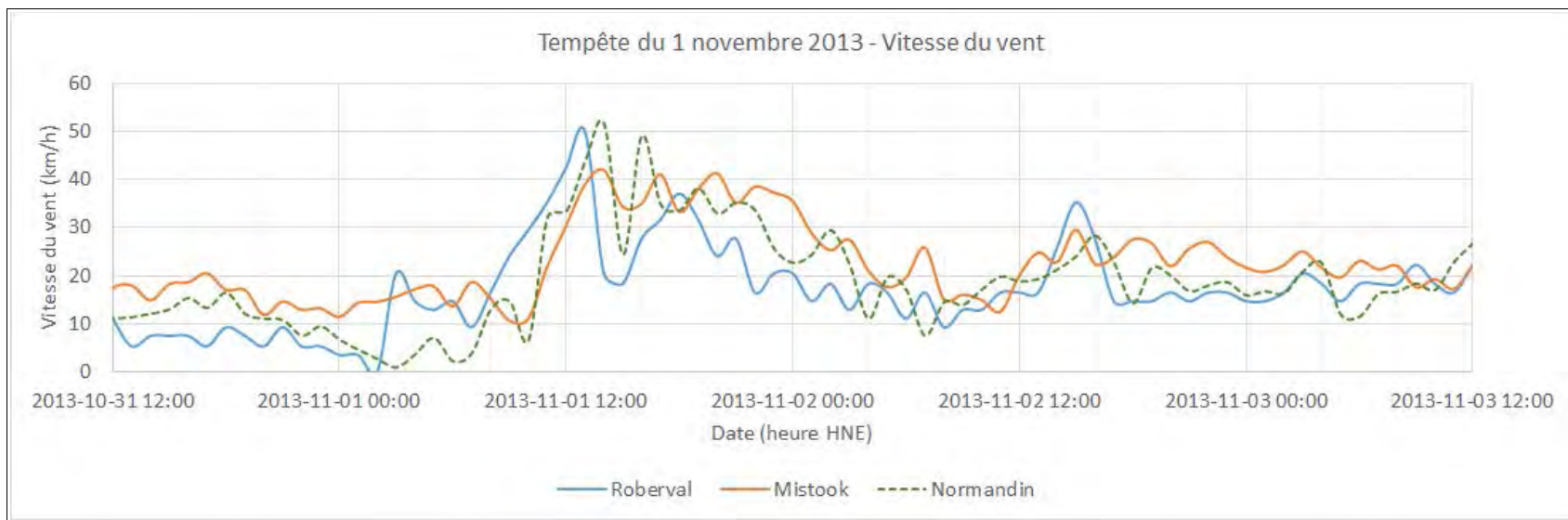


Figure A67 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête des 1<sup>er</sup> novembre 2013

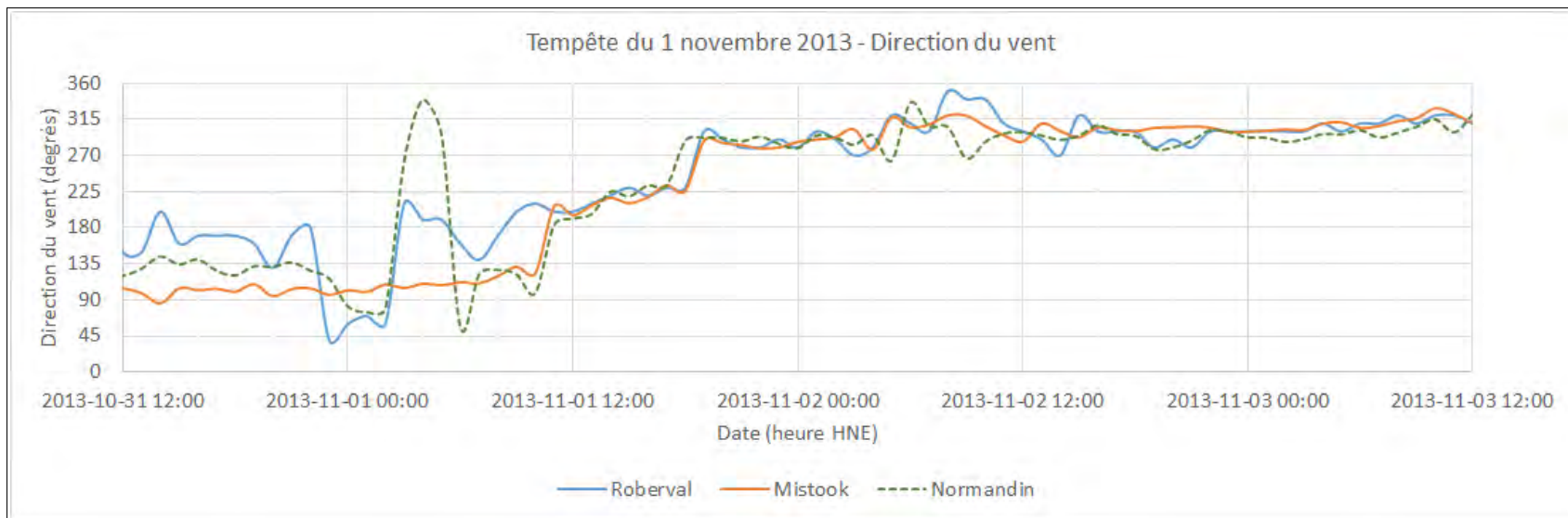


Figure A68 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 1<sup>er</sup> novembre 2013

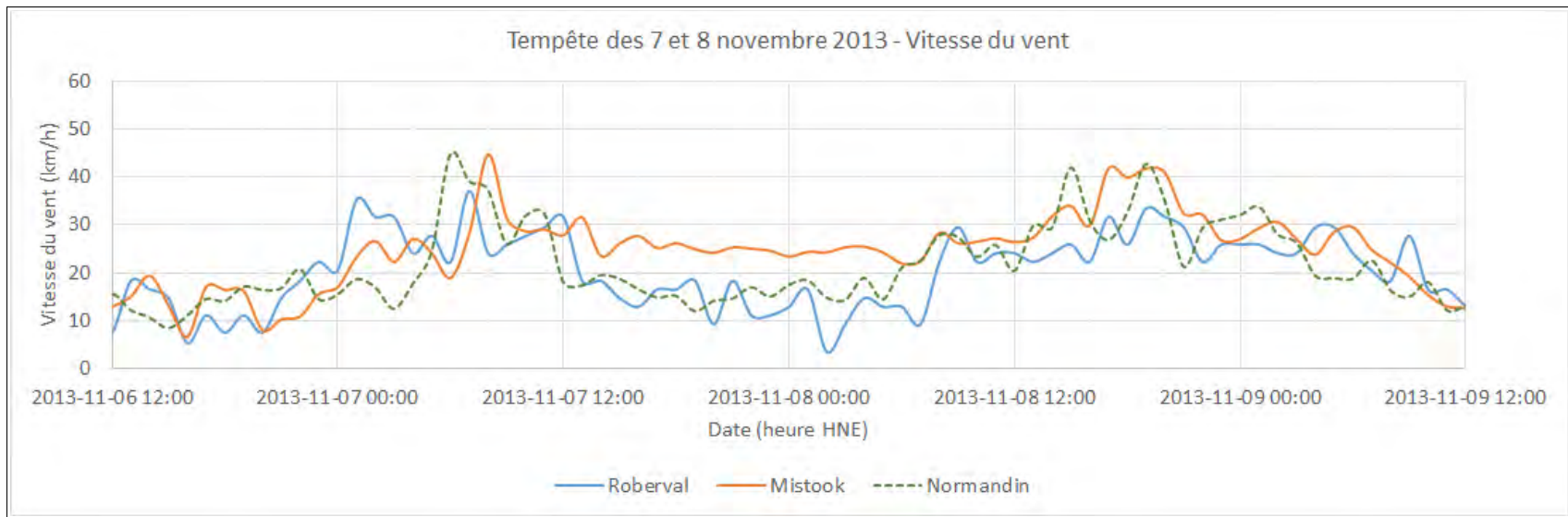


Figure A69 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête des 7 et 8 novembre 2013

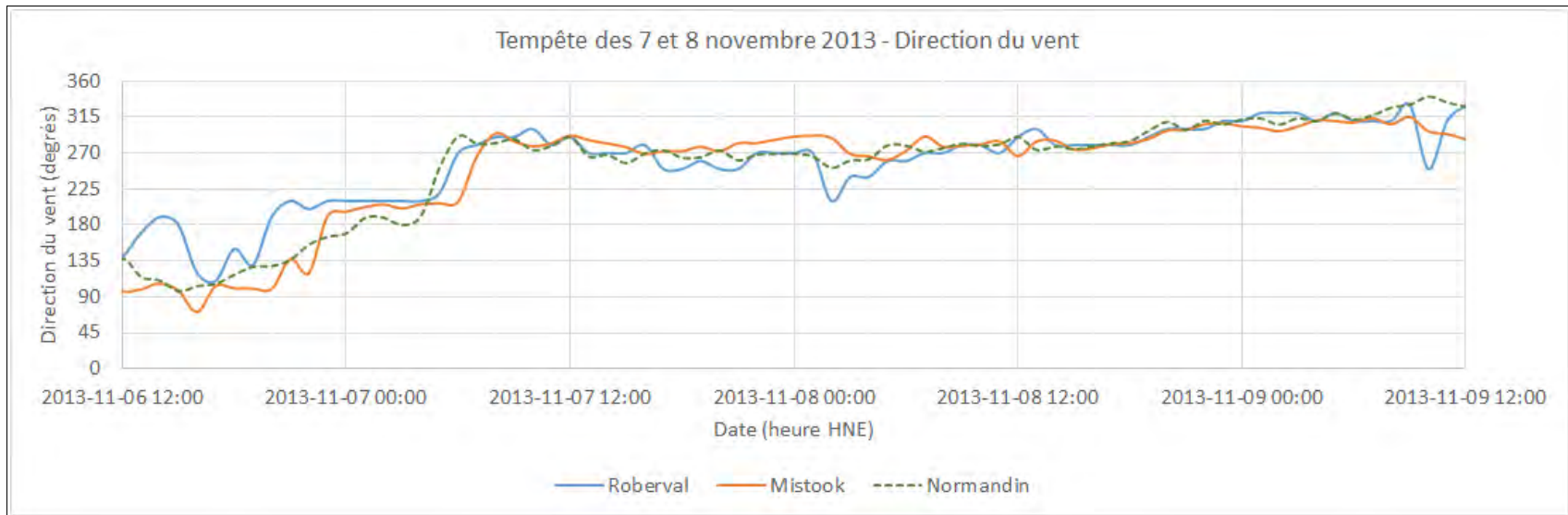


Figure A70 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête des 7 et 8 novembre 2013

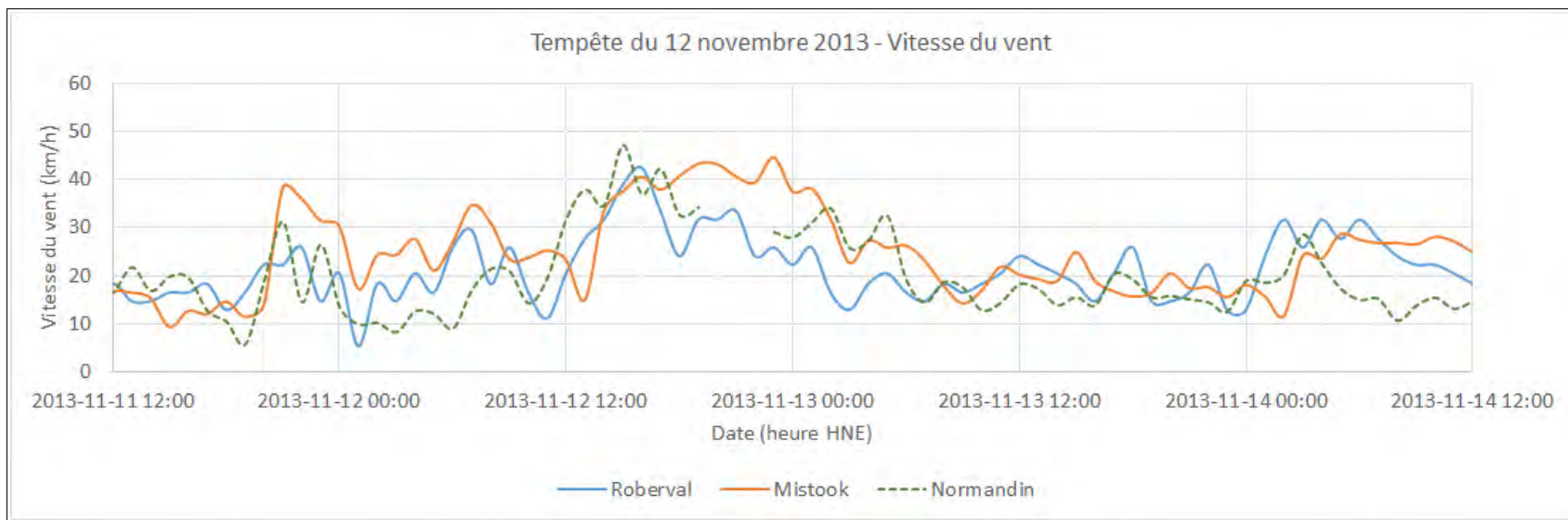


Figure A71 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 12 novembre 2013

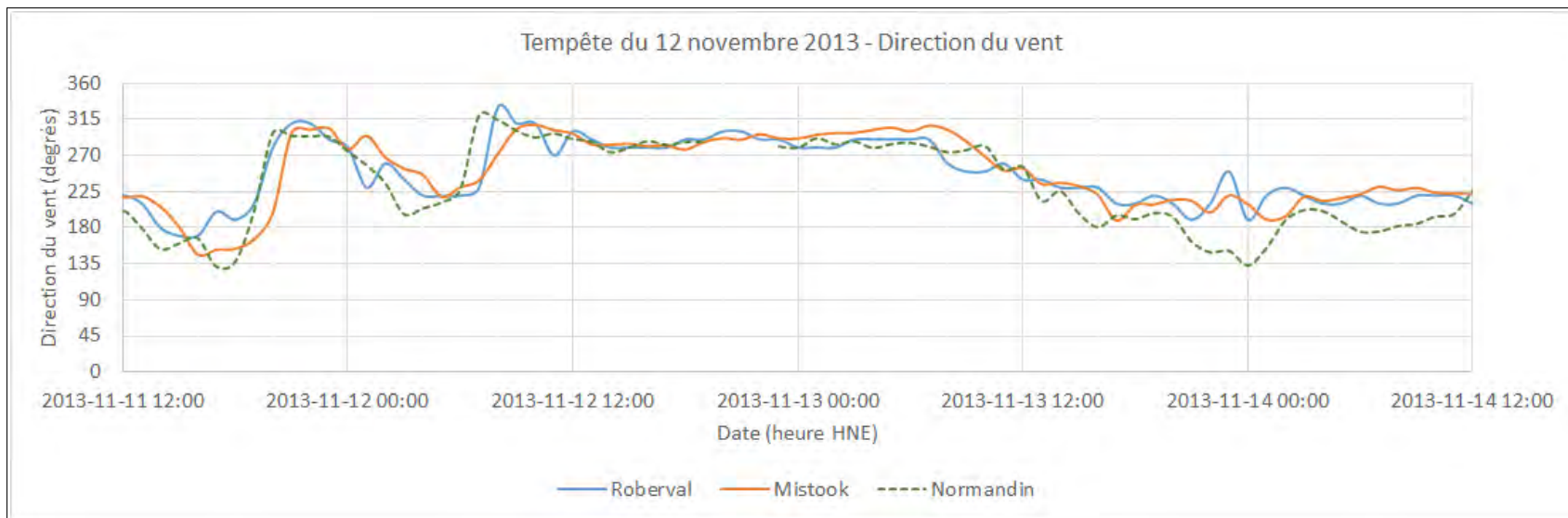


Figure A72 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 12 novembre 2013

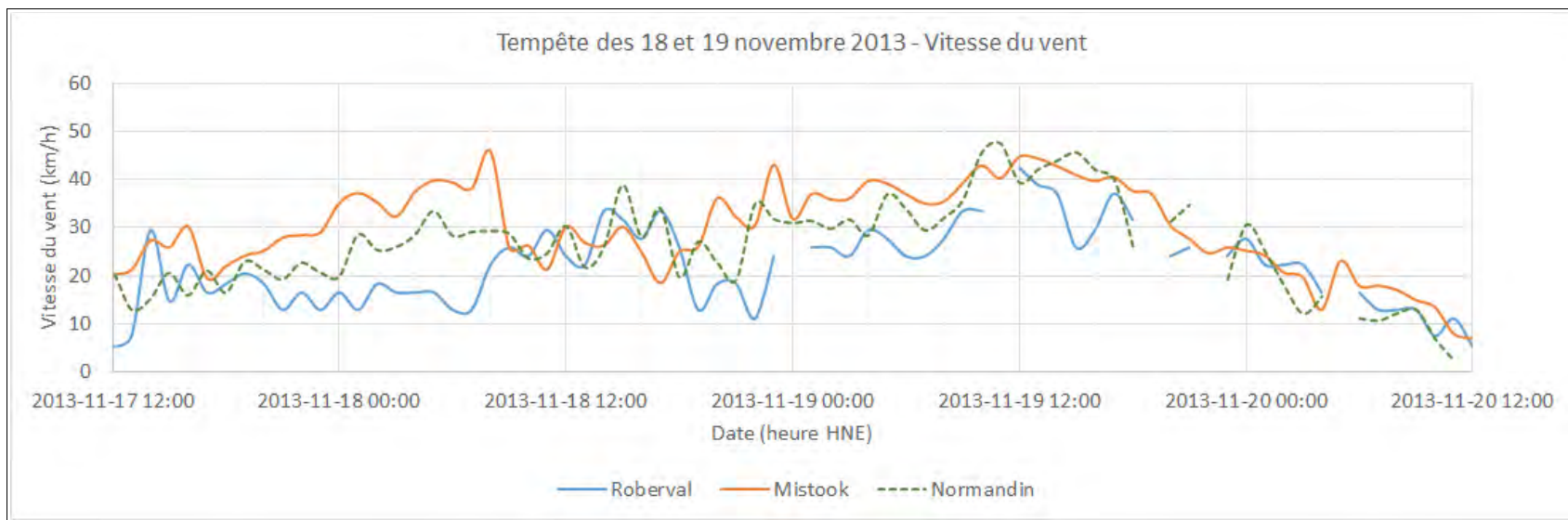


Figure A73 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempêtes des 18 et 19 novembre 2013

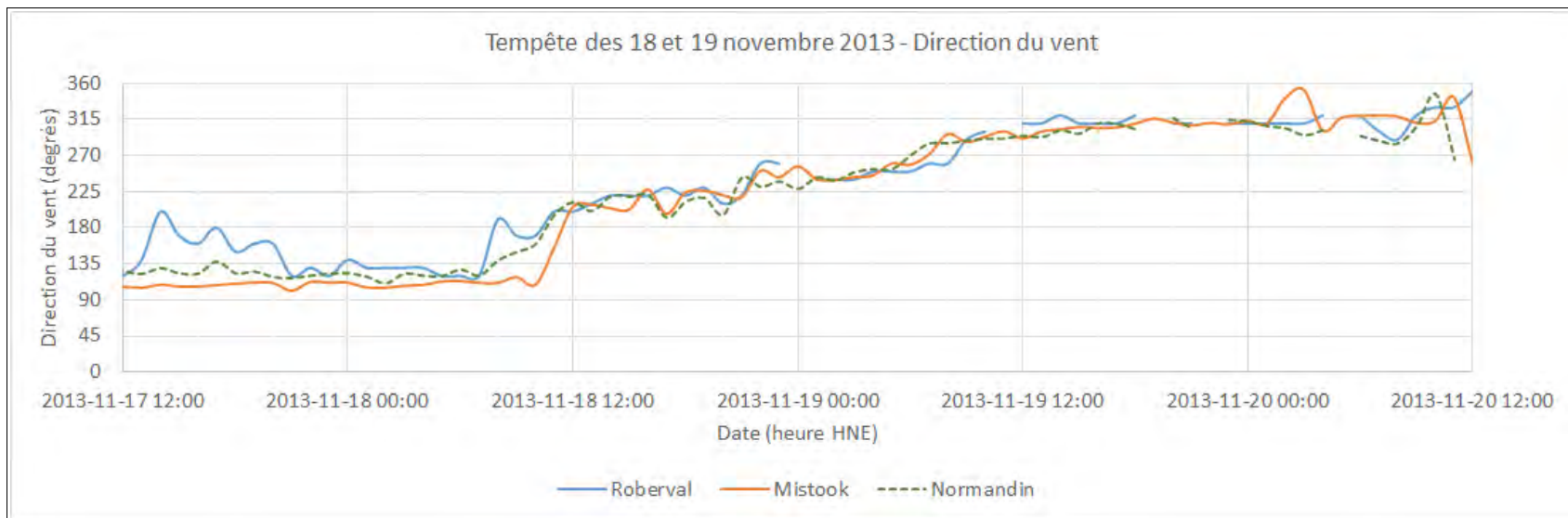


Figure A74 Direction des vents du secteur Ouest - Tempêtes des 18 et 19 novembre 2013

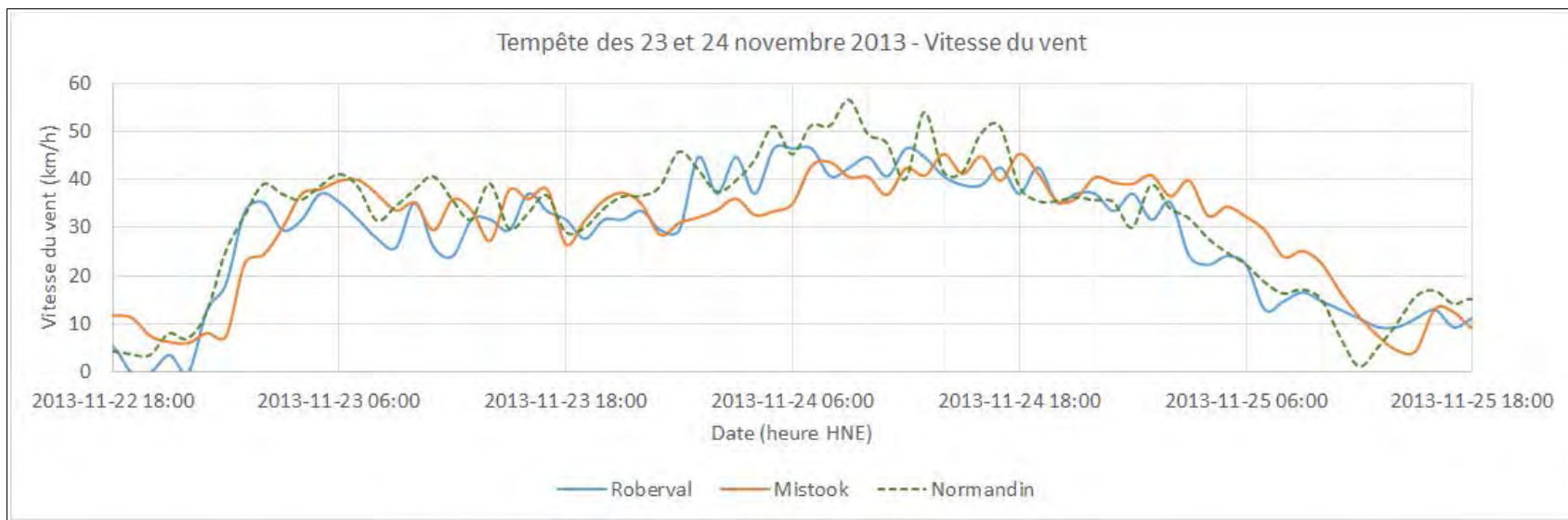


Figure A75 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 23 et 24 novembre 2013

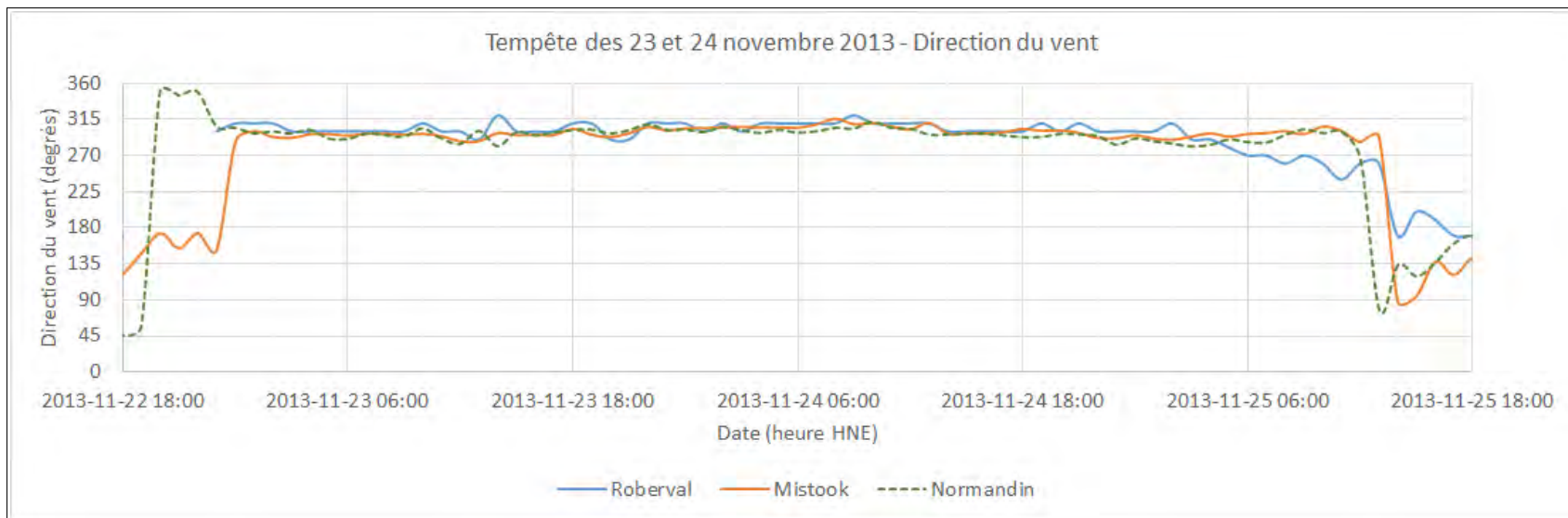


Figure A76 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 23 et 24 novembre 2013

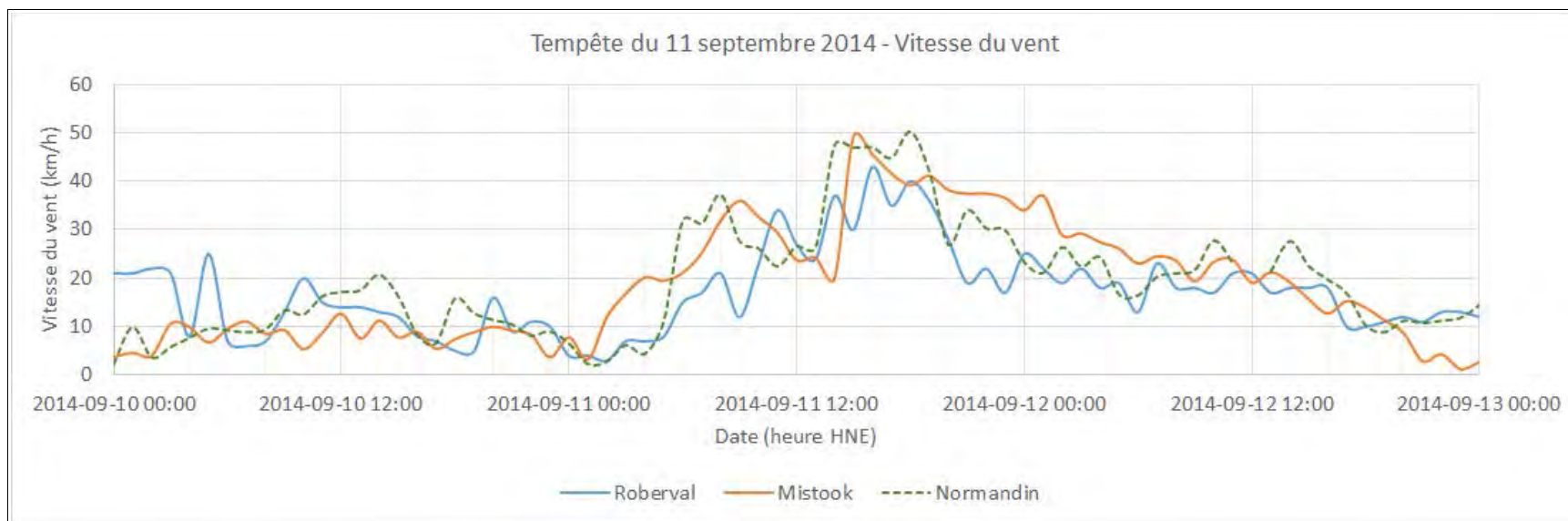


Figure A77 Vitesse des vents du secteur Ouest - Tempête du 11 septembre 2014

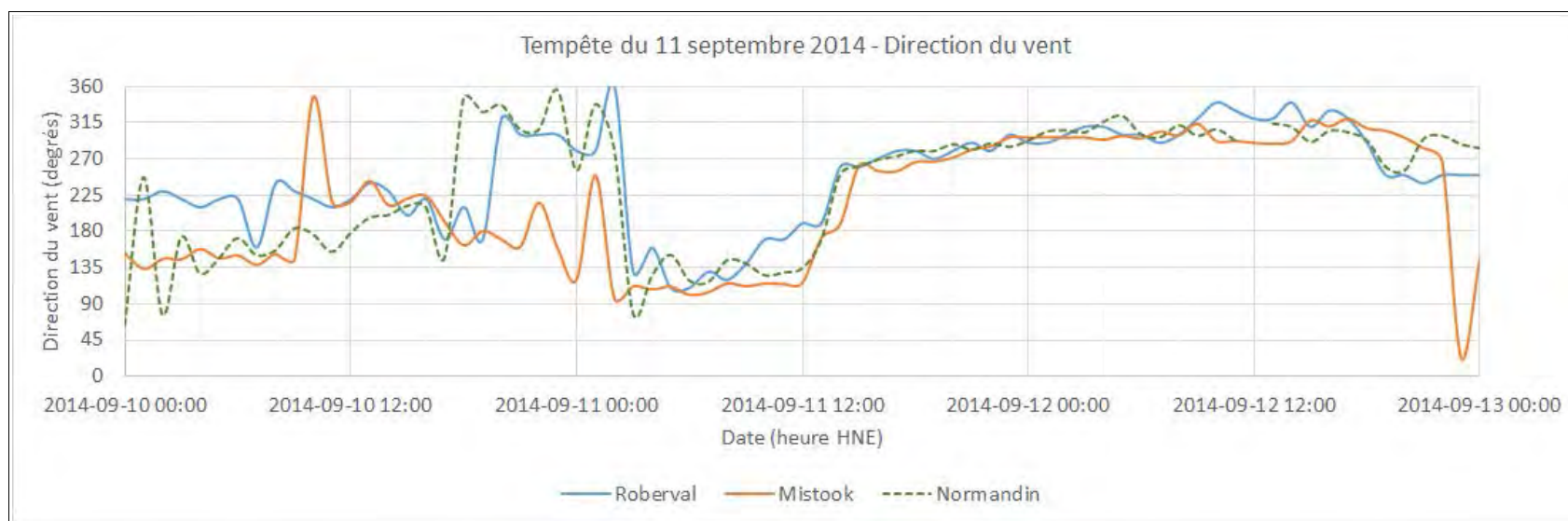


Figure A78 Direction des vents du secteur Ouest - Tempête du 11 septembre 2014

# ANNEXE B

## Tempêtes du secteur Est sur la région du lac Saint-Jean

Chacune des figures de cette annexe présente, pour un événement de forts vents du secteur est s'étant produit entre le 19 avril 2005 et le 9 octobre 2014, l'évolution temporelle de la vitesse (km/h) ou de la direction (degrés) des vents de trois stations météorologiques terrestres situées autour du lac Saint-Jean, soit :

- Roberval
- Mistook
- Normandin

Chaque figure représente une période de trois jours complets illustrant le contexte météorologique de la tempête ciblée.

### Liste des figures de l'Annexe B

- Figures B1 et B2 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 20 septembre 2005 (vents nettement plus forts à Mistook – à la renverse du vent vers l'ouest, les vents à Mistook sont également nettement plus forts)
- Figures B3 et B4 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 6 novembre 2005 (vents nettement plus forts à Mistook)
- Figures B5 et B6 : 10 novembre 2005 (vents nettement plus forts à Mistook)
- Figures B7 et B8 : 16 novembre 2005 (vents très forts à Mistook alors que vents moyens aux 2 autres stations)



- Figures B9 et B10 : 24 novembre 2005 (vents plus forts à Mistook)
- Figures B11 et B12 : 10, 11 et 12 mai 2006 (vents nettement plus forts à Mistook)
- Figures B13 et B14 : 12 et 13 mai 2006 (vents nettement plus forts à Mistook)
- Figures B15 et B16 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 31 mai 2006 (Est suivi d'Ouest – bourrasque unique à Mistook)
- Figures B17 et B18 : 12 octobre 2006 (vents plus forts à Mistook)
- Figures B19 et B20 : 28 octobre 2006 (vents nettement plus forts à Mistook)
- Figures B21 et B22 : 6 novembre 2007 (vents nettement plus forts à Mistook)
- Figures B23 et B24 : 29 juin 2008 (est – vents nettement plus forts à Mistook)
- Figures B25 et B26 : 26 novembre 2008 (est – vents plus forts à Mistook)
- Figures B27 et B28 : 1<sup>er</sup> décembre 2008 (est – vents plus forts à Mistook)
- Figures B29 et B30 : 16 mai 2009 (est – vents plus forts à Mistook)
- Figures B31 et B32 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 25 octobre 2009 (d'abord est avec vents plus forts à Mistook suivi de vents d'ouest légèrement plus forts à Mistook)
- Figures B33 et B34 : 8 septembre 2010 (est – vents nettement plus forts à Mistook)
- Figures B35 et B36 : 27 octobre 2010 (est – vents nettement plus forts à Mistook)
- Figures B37 et B38 : 23 novembre 2010 (est – vents nettement plus forts à Mistook)
- Figures B39 et B40 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 26 novembre 2010 (est avec vents forts à Mistook puis ouest avec vents comparables aux 3 stations)
- Figures B41 et B42 : 1<sup>er</sup> décembre 2010 (est – vents nettement plus forts à Mistook)
- Figures B43 et B44 : 14 octobre 2011 (est – vents nettement plus forts à Mistook)
- Figures B45 et B46 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 9 septembre 2012 (est puis ouest – vents légèrement plus forts à Mistook)
- Figures B47 et B48 : 30 octobre 2012 (est – vents nettement plus forts à Mistook)
- Figures B49 et B50 : 11 mai 2013 (est – vents nettement plus forts à Mistook)

- Figures B51 et B52 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête des 18 et 19 novembre 2013 (est fort à Mistook seulement puis ouest)
- Figures B53 et B54 : 4 octobre 2014 (est – vents nettement plus forts à Mistook)

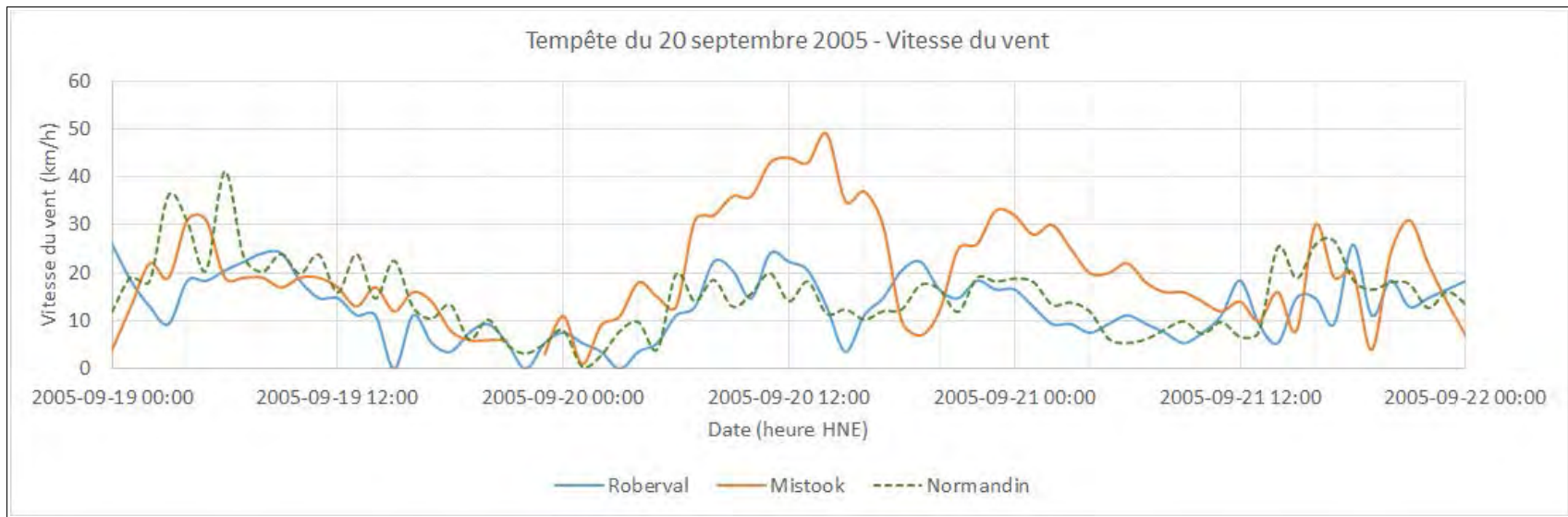


Figure B1 Vitesse des vents du secteur Est - Tempête du 20 septembre 2005

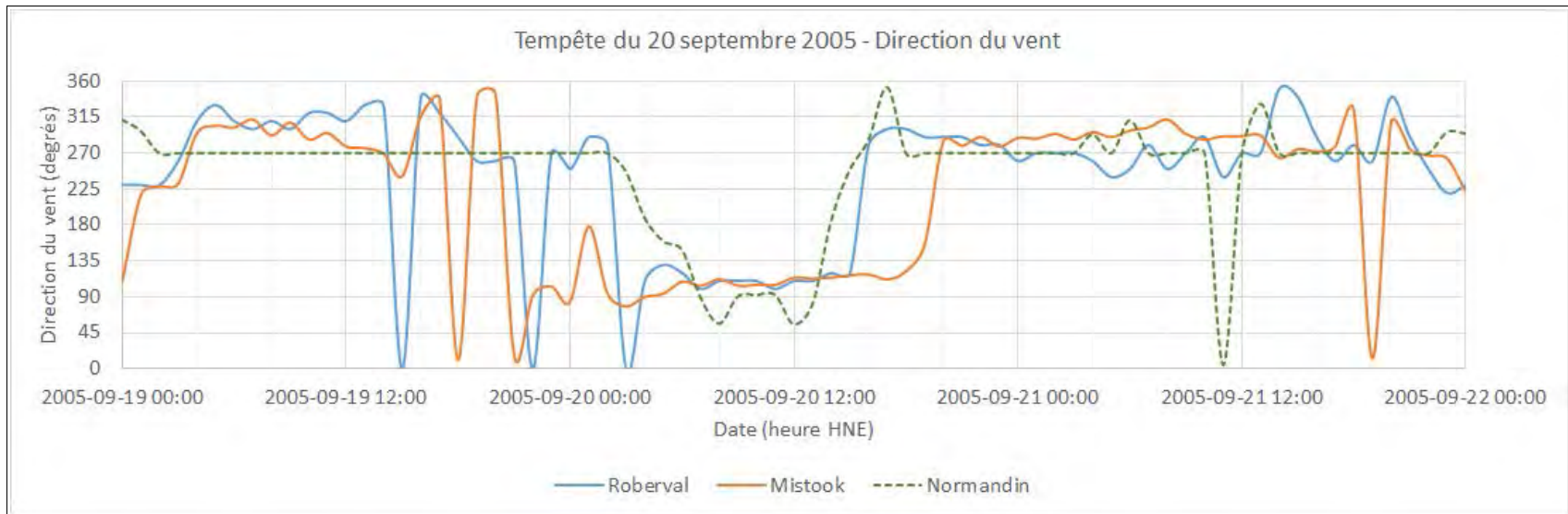


Figure B2 Direction des vents du secteur Est - Tempête du 20 septembre 2005

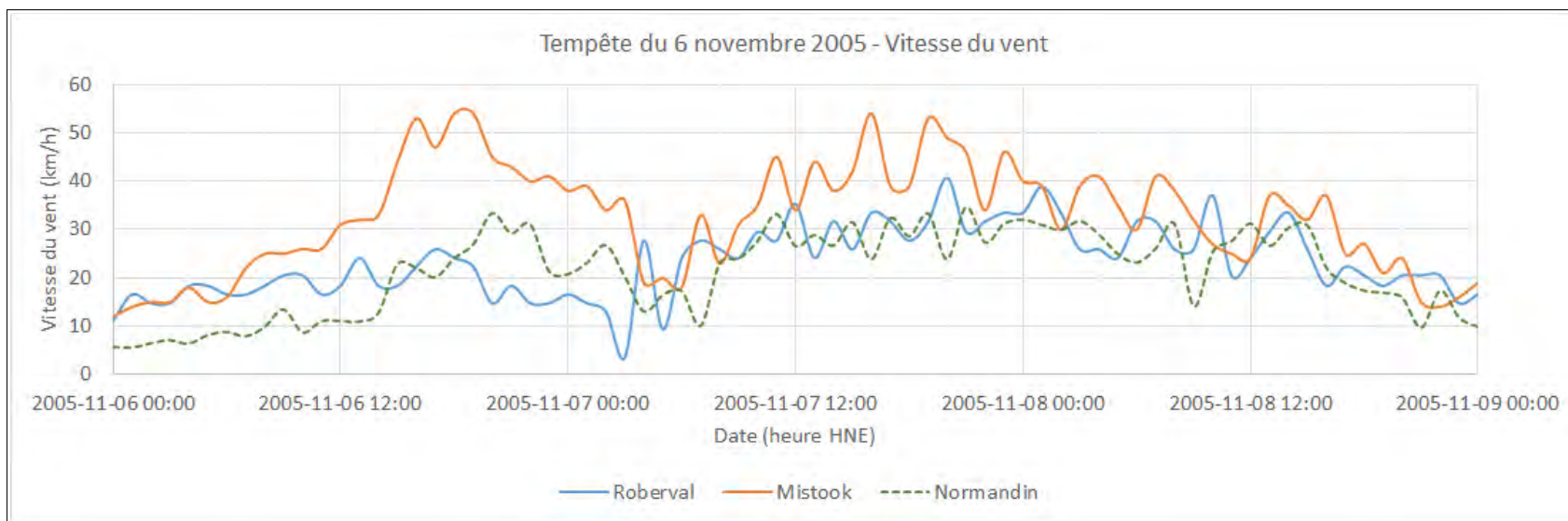


Figure B3 Vitesse des vents du secteur Est - Tempête du 6 novembre 2005

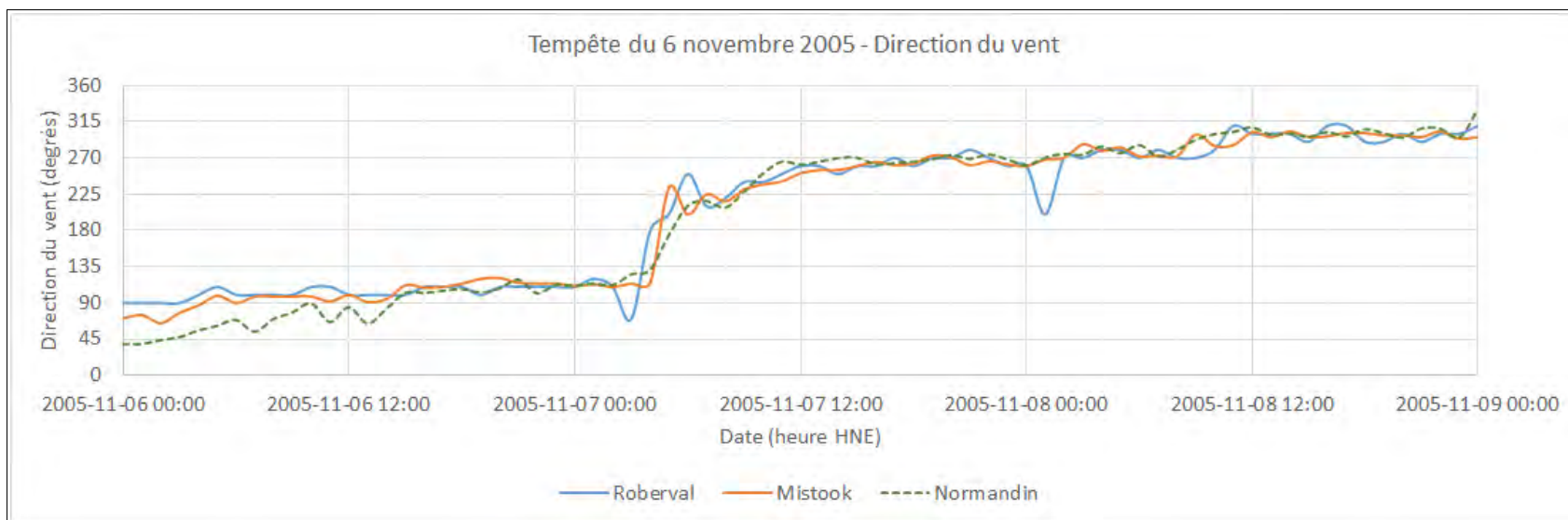


Figure B4 Direction des vents du secteur Est - Tempête du 6 novembre 2005

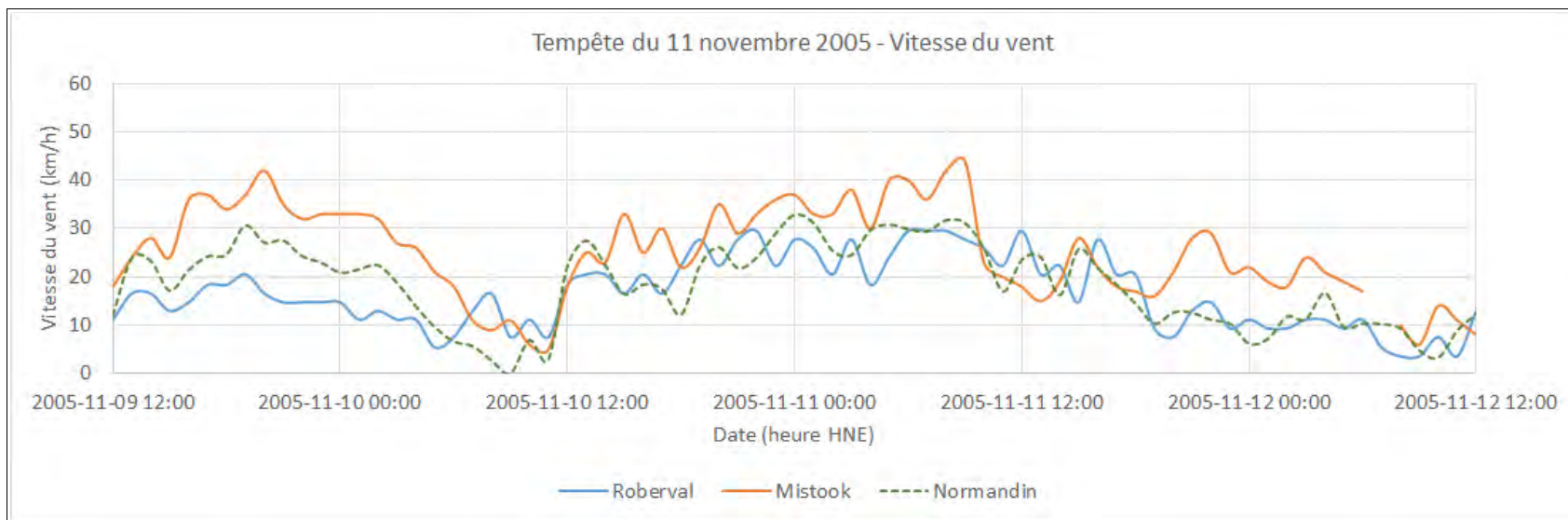


Figure B5 Vitesse des vents du secteur Est - Tempête du 10 novembre 2005

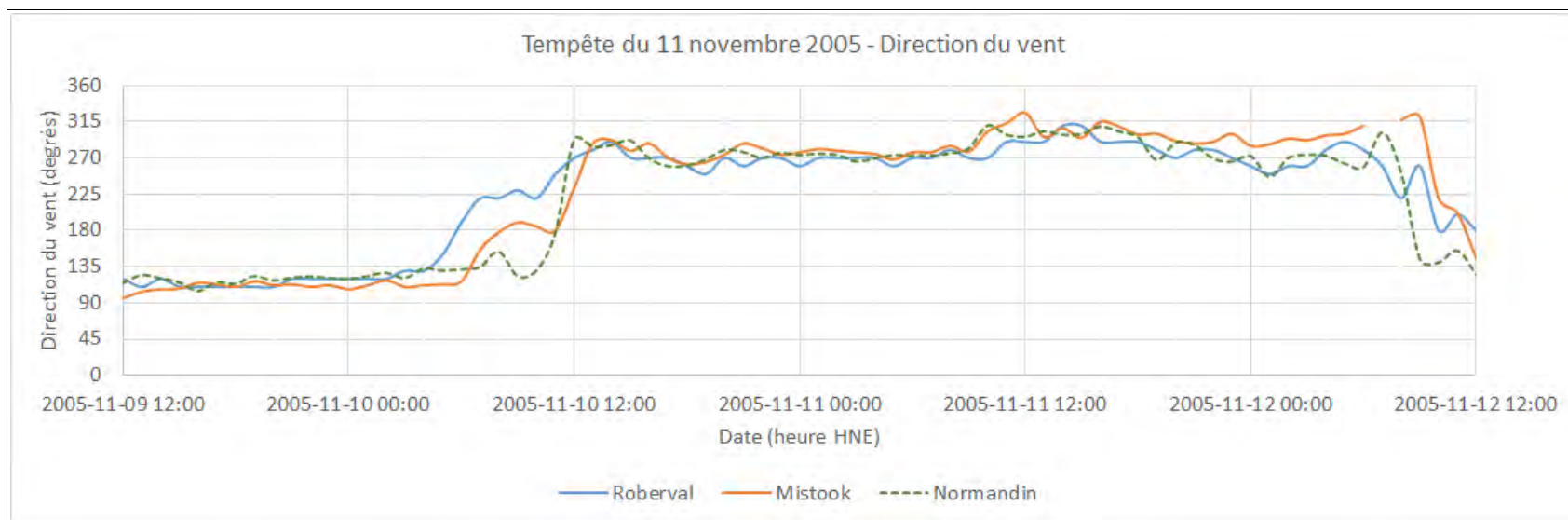


Figure B6 Direction des vents du secteur Est - Tempête du 10 novembre 2005

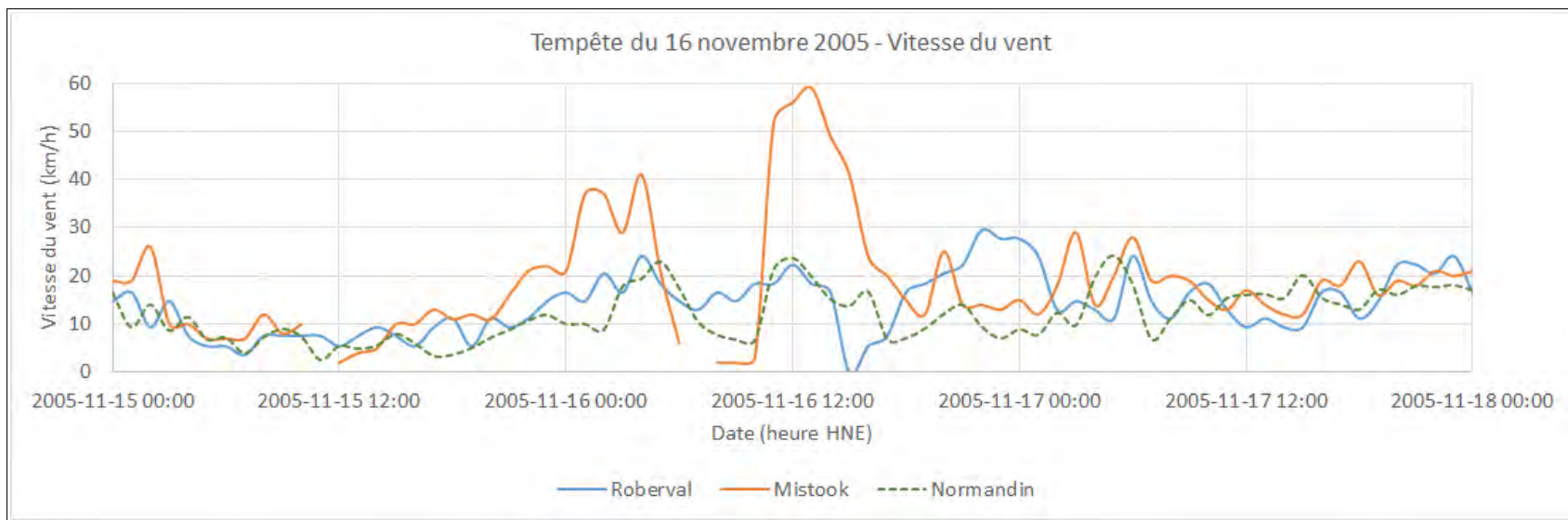


Figure B7 Vitesse des vents du secteur Est - Tempête du 16 novembre 2005

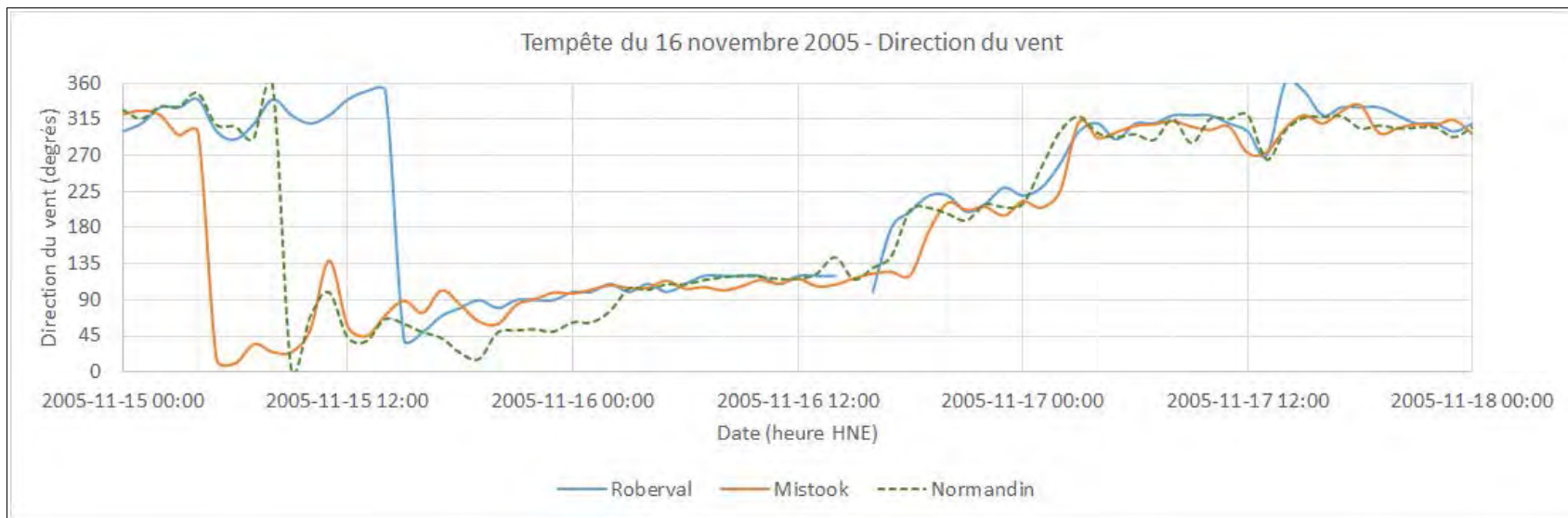


Figure B8 Direction des vents du secteur Est - Tempête du 16 novembre 2005

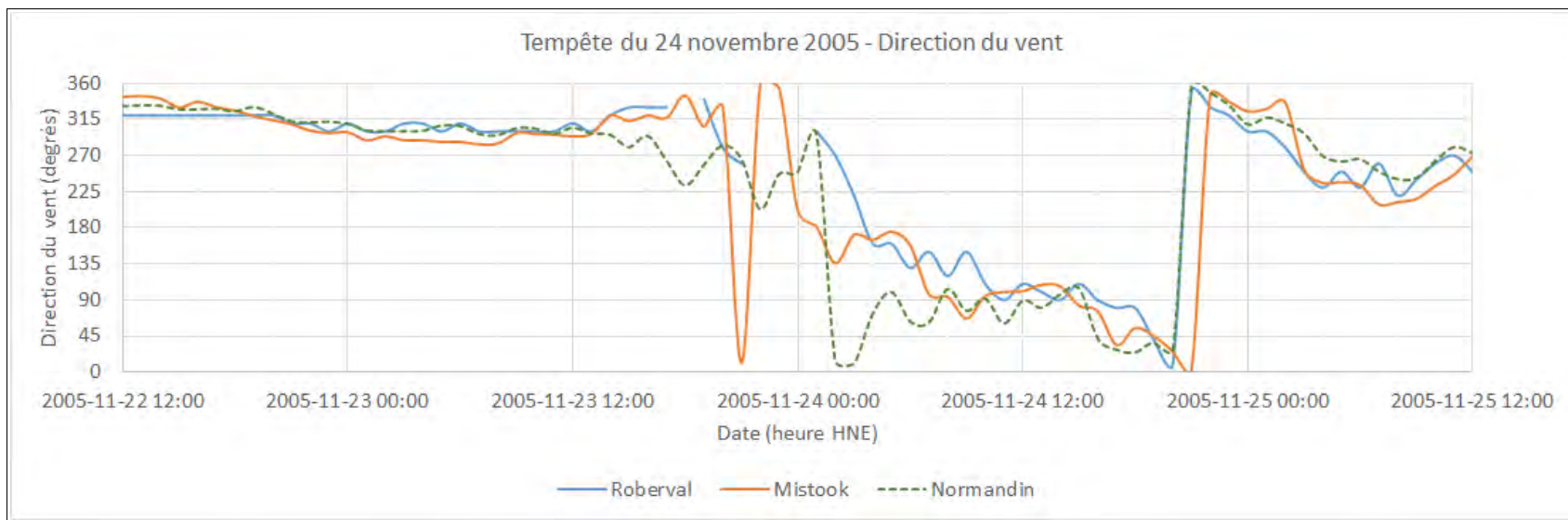


Figure B9 Vitesse des vents du secteur Est - Tempête du 24 novembre 2005

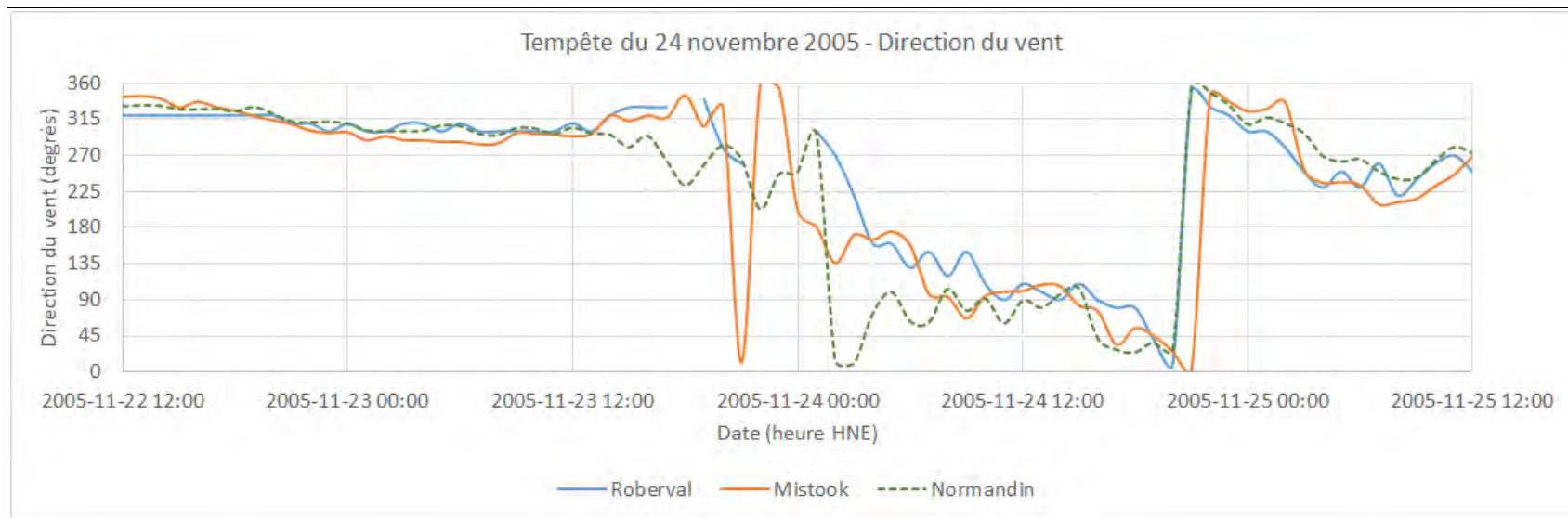


Figure B10 Direction des vents du secteur Est - Tempête du 24 novembre 2005

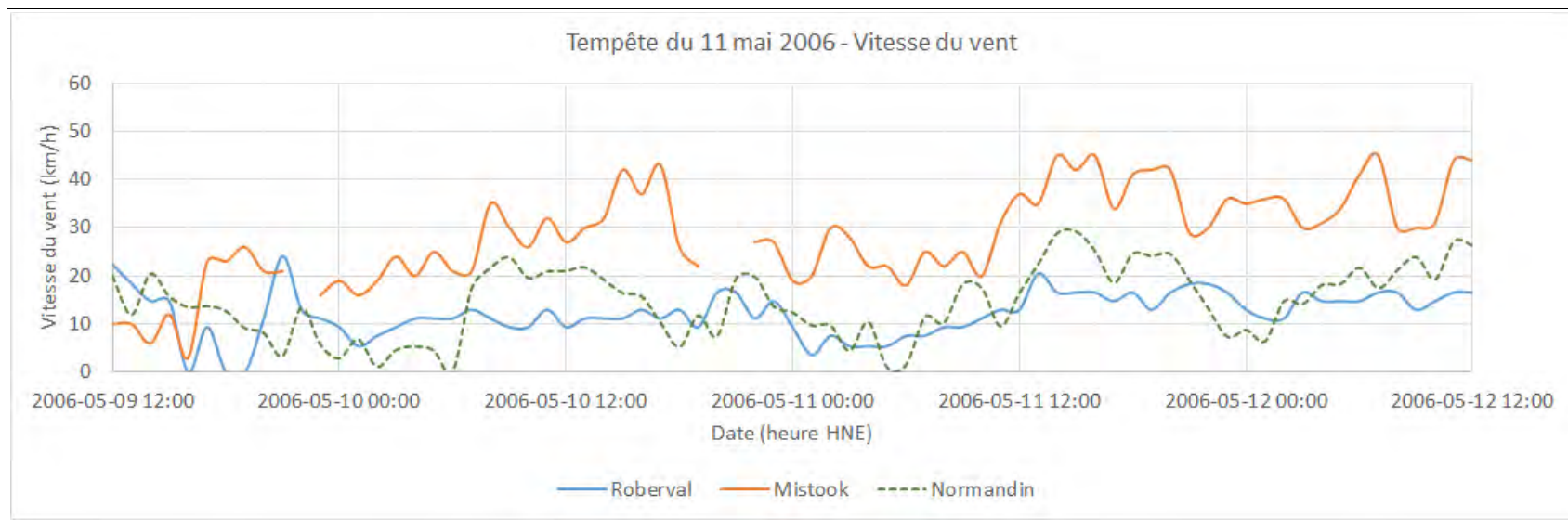


Figure B11 Vitesse des vents du secteur Est - Tempête du 10 au 12 mai 2006

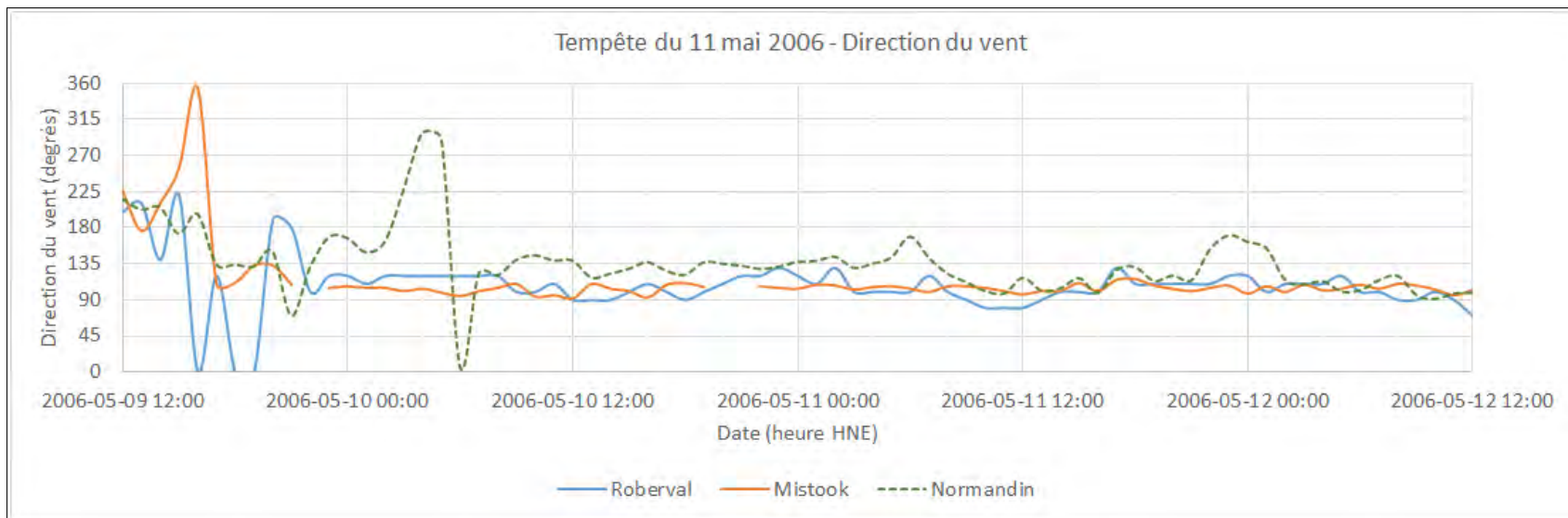


Figure B12 Direction des vents du secteur Est - Tempête du 10 au 12 mai 2006



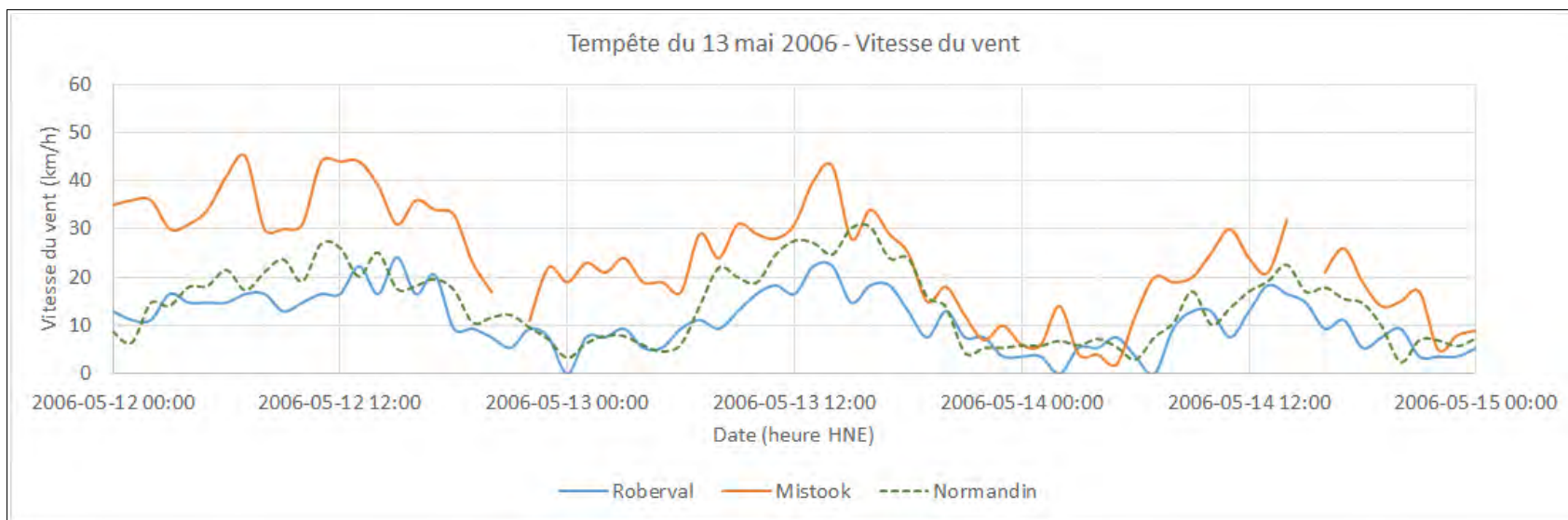


Figure B13 Vitesse des vents du secteur Est - Tempête des 12 et 13 mai 2006

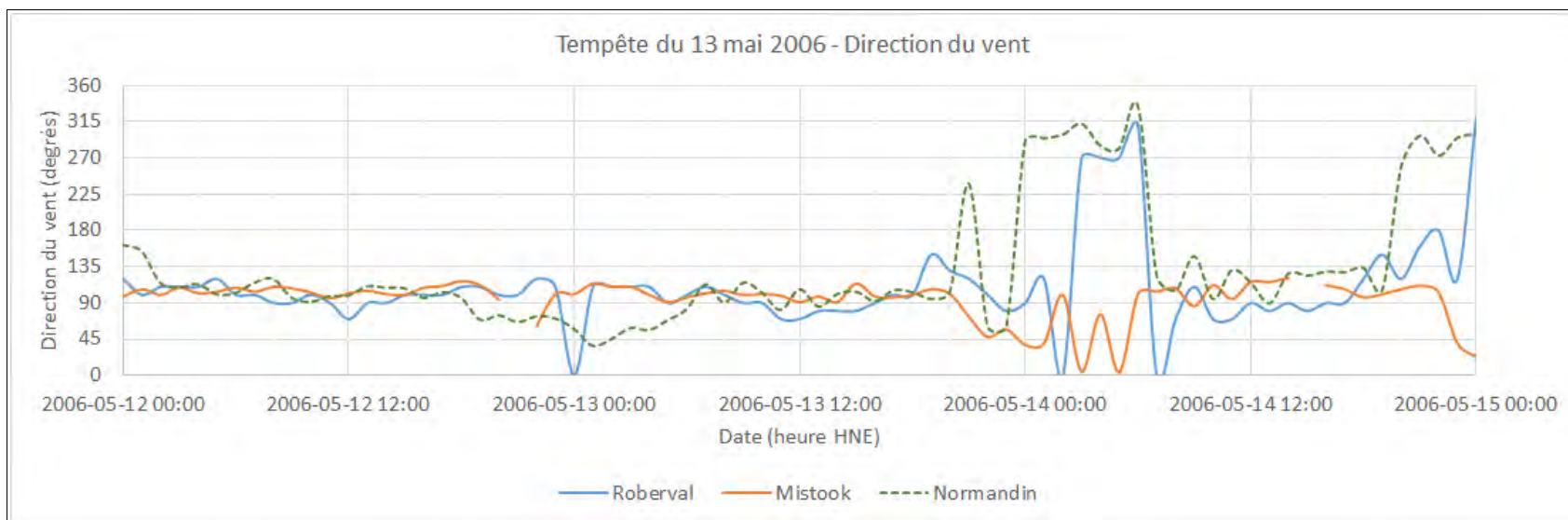


Figure B14 Direction des vents du secteur Est - Tempête des 12 et 13 mai 2006

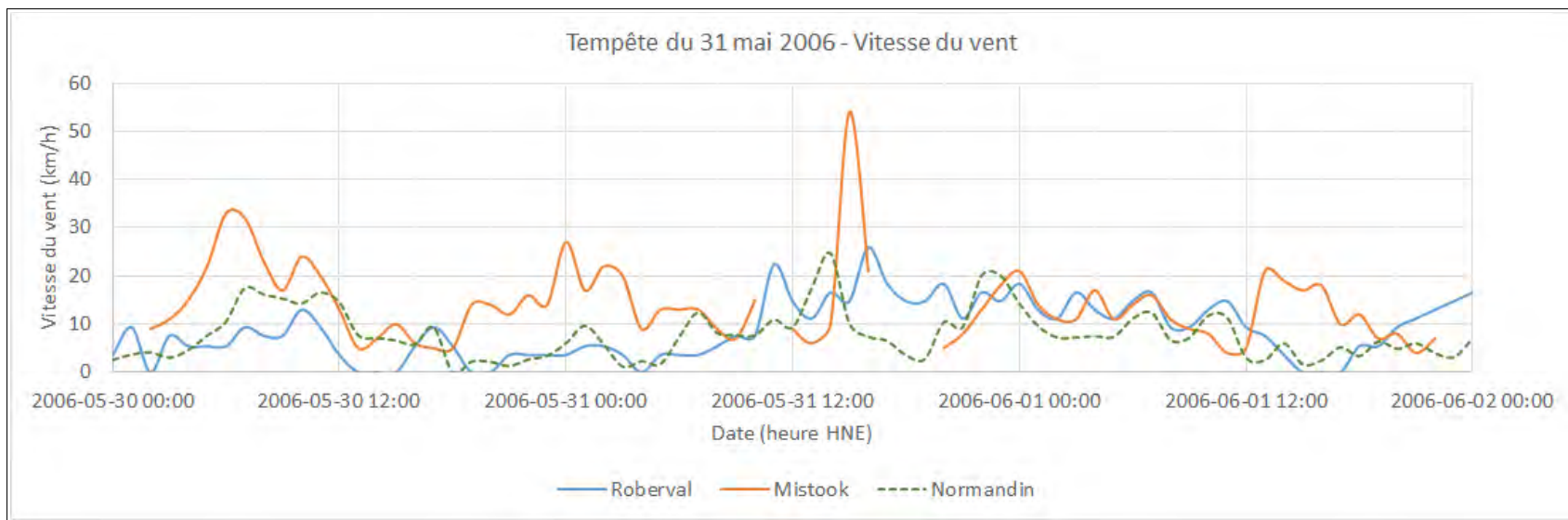


Figure B15 Vitesse des vents du secteur Est - Tempête du 31 mai 2006

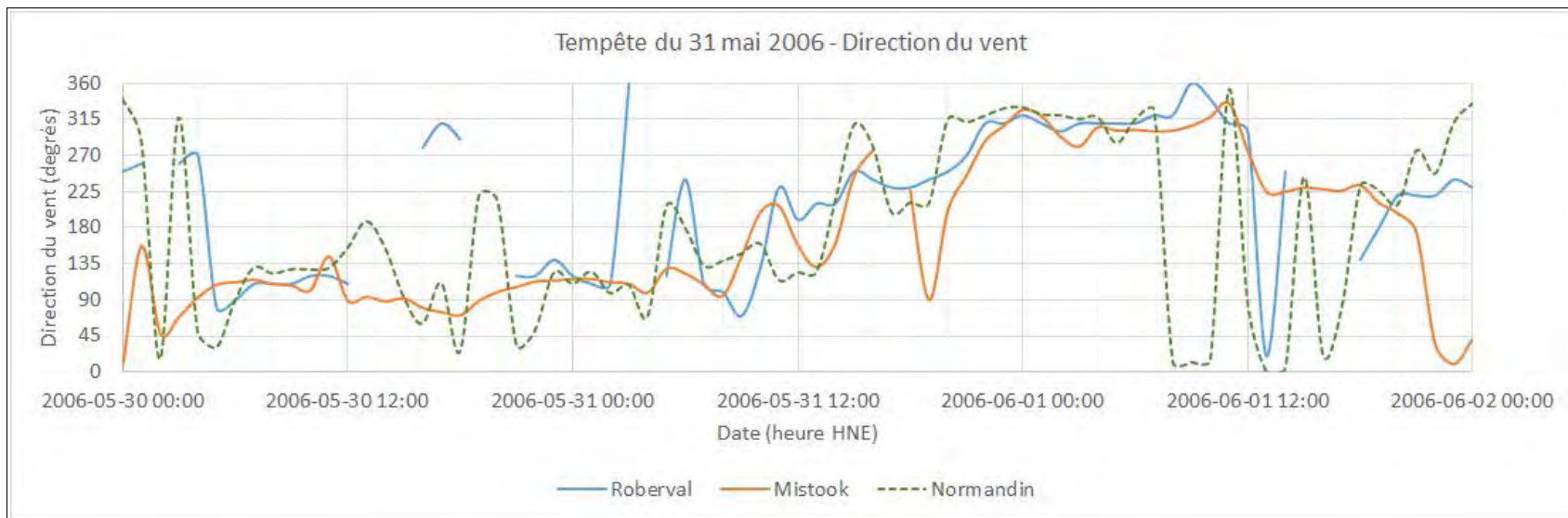


Figure B16 Direction des vents du secteur Est - Tempête du 31 mai 2006

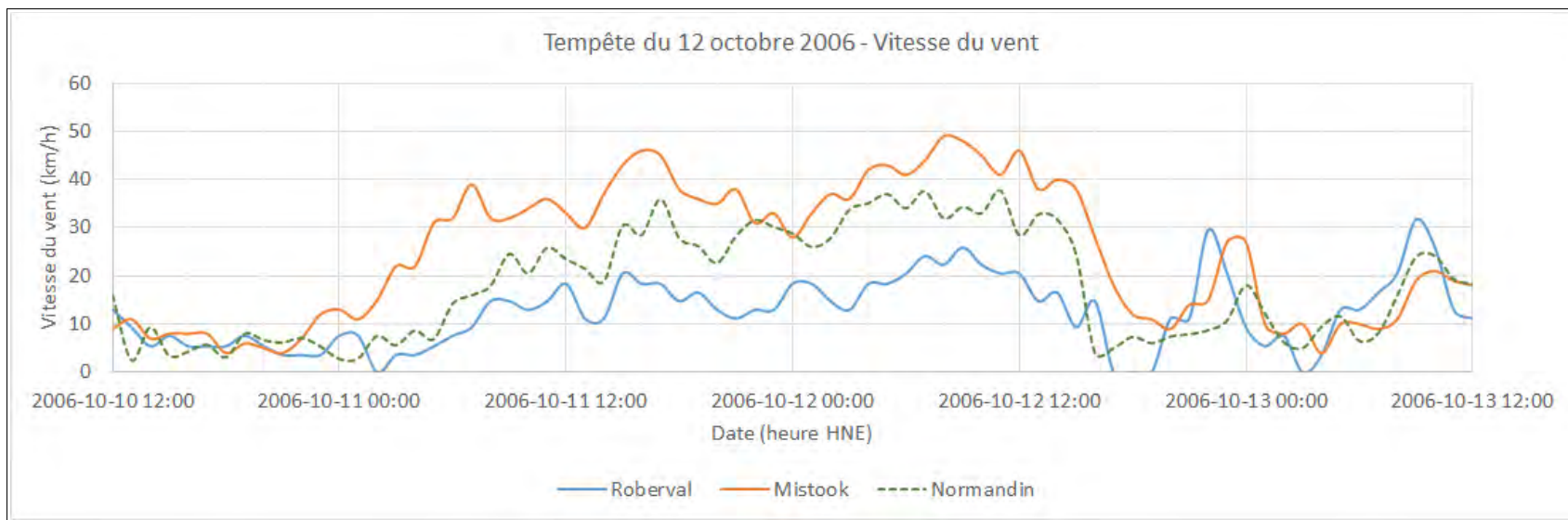


Figure B17 Vitesse des vents du secteur Est - Tempête du 12 octobre 2006

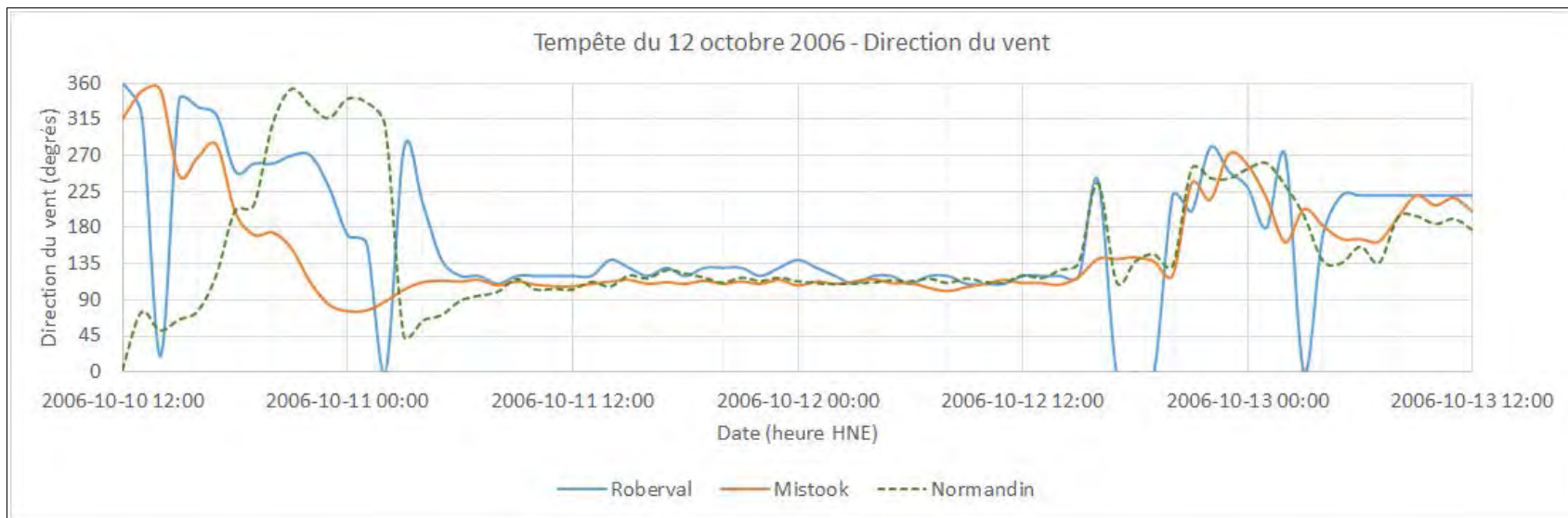


Figure B18 Direction des vents du secteur Est - Tempête du 13 mai 2006

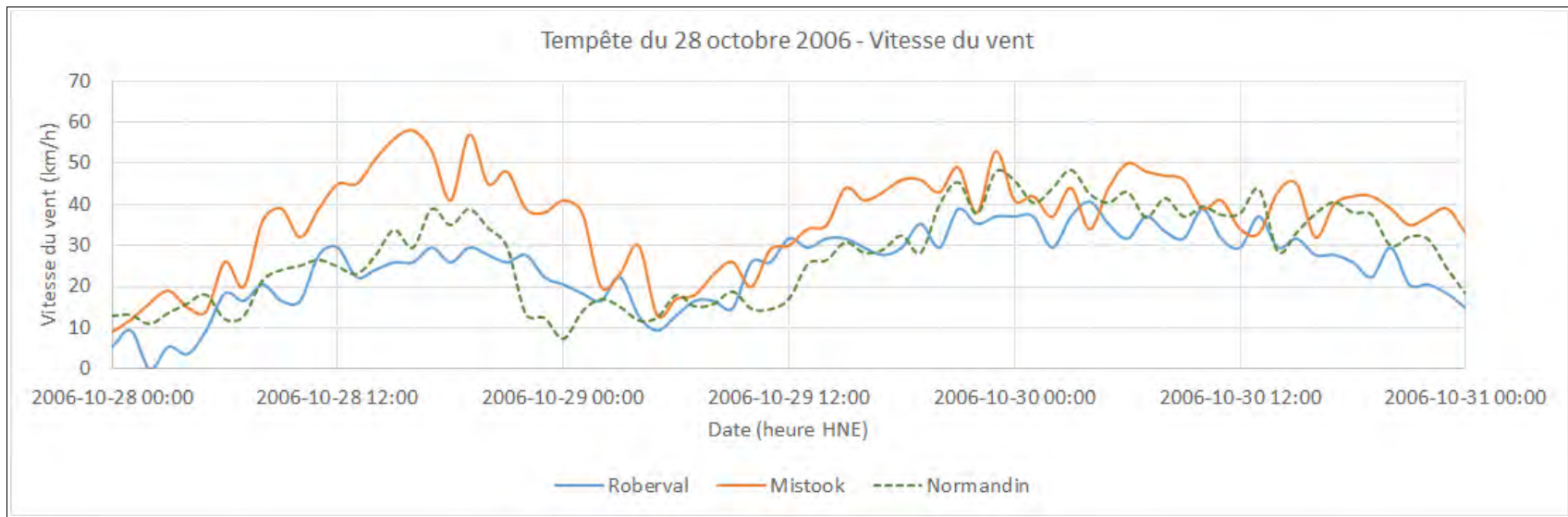


Figure B19 Vitesse des vents du secteur Est - Tempête du 28 octobre 2006

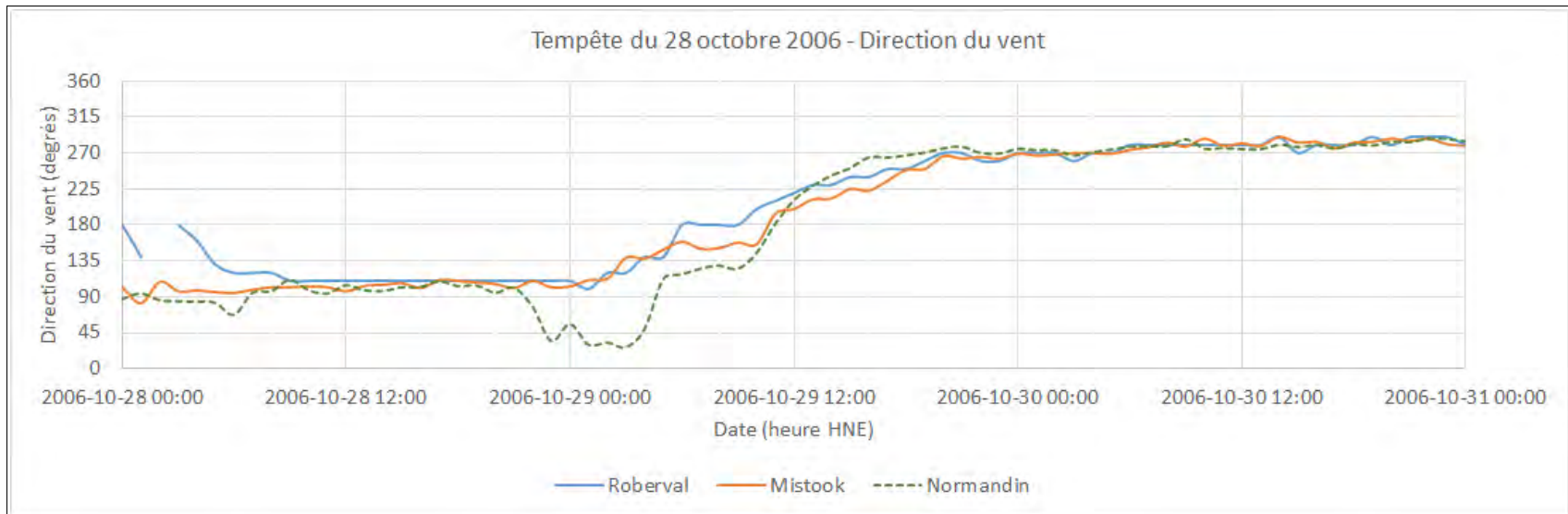


Figure B20 Direction des vents du secteur Est - Tempête du 28 octobre 2006

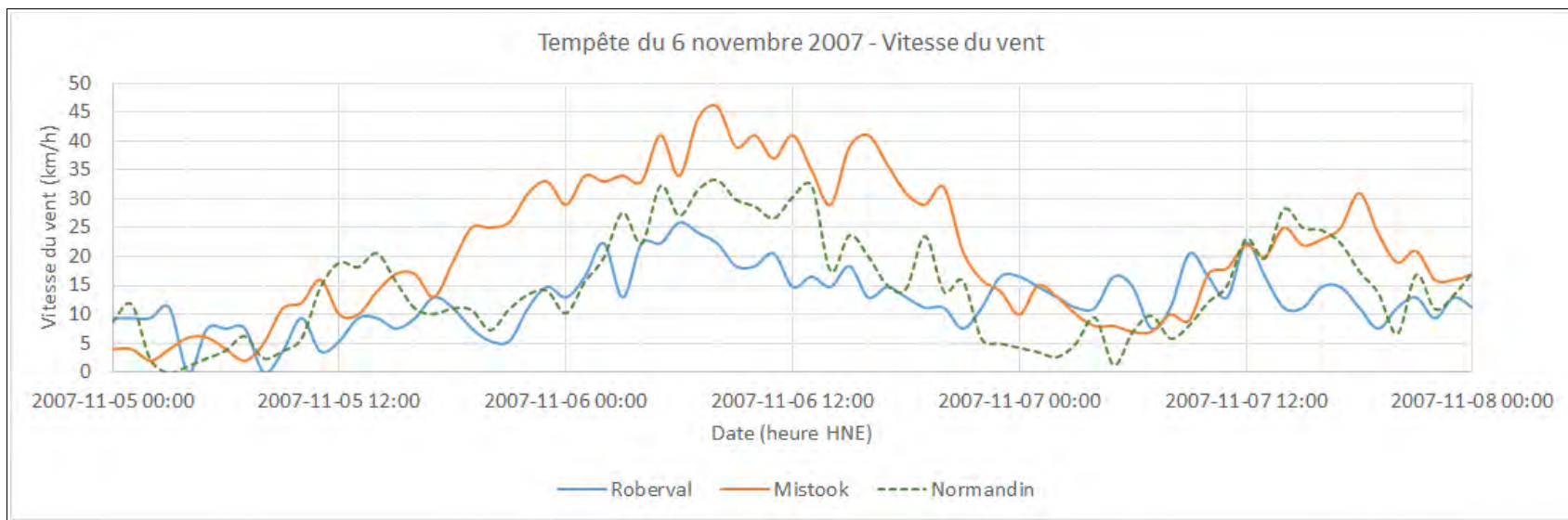


Figure B21 Vitesse des vents du secteur Est - Tempête du 6 novembre 2007

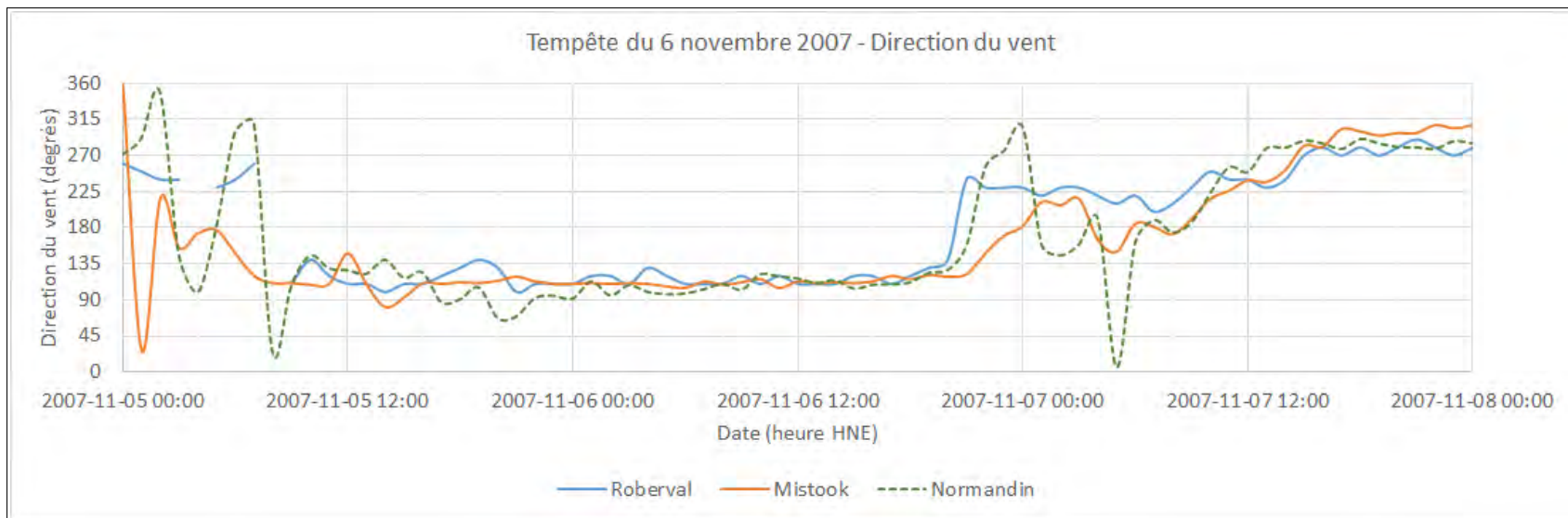


Figure B22 Direction des vents du secteur Est - Tempête du 6 novembre 2007

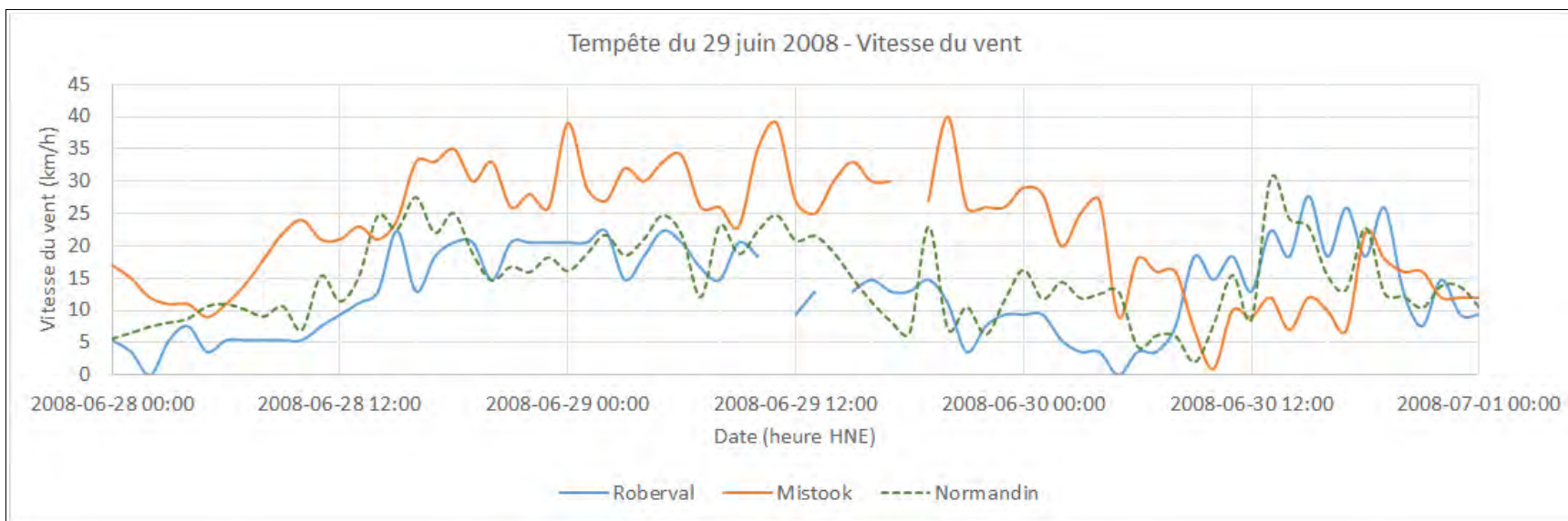


Figure B23 Vitesse des vents du secteur Est - Tempête du 29 juin 2008

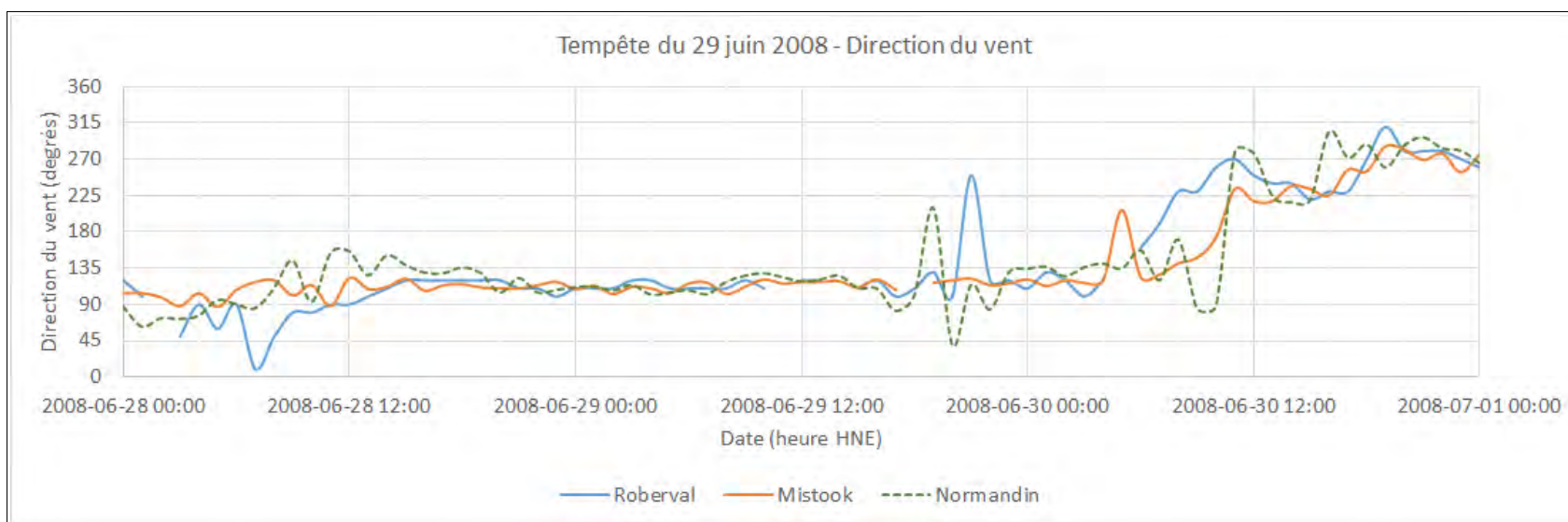


Figure B24 Direction des vents du secteur Est - Tempête du 29 juin 2008

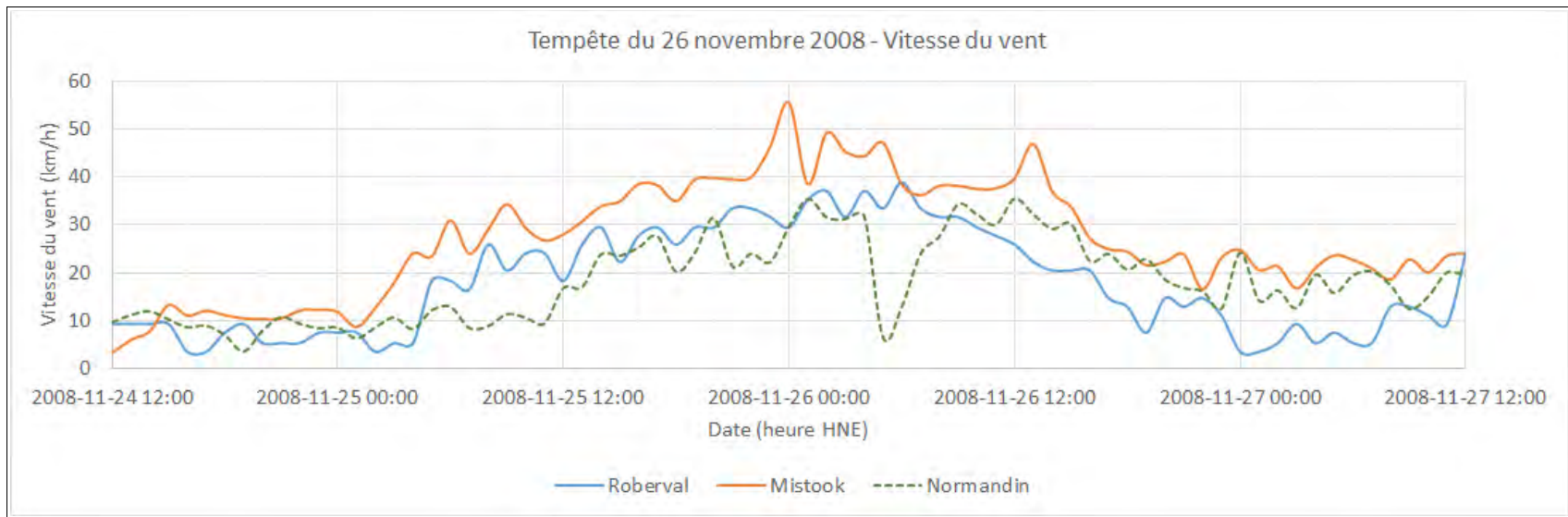


Figure B25 Vitesse des vents du secteur Est - Tempête du 26 novembre 2008

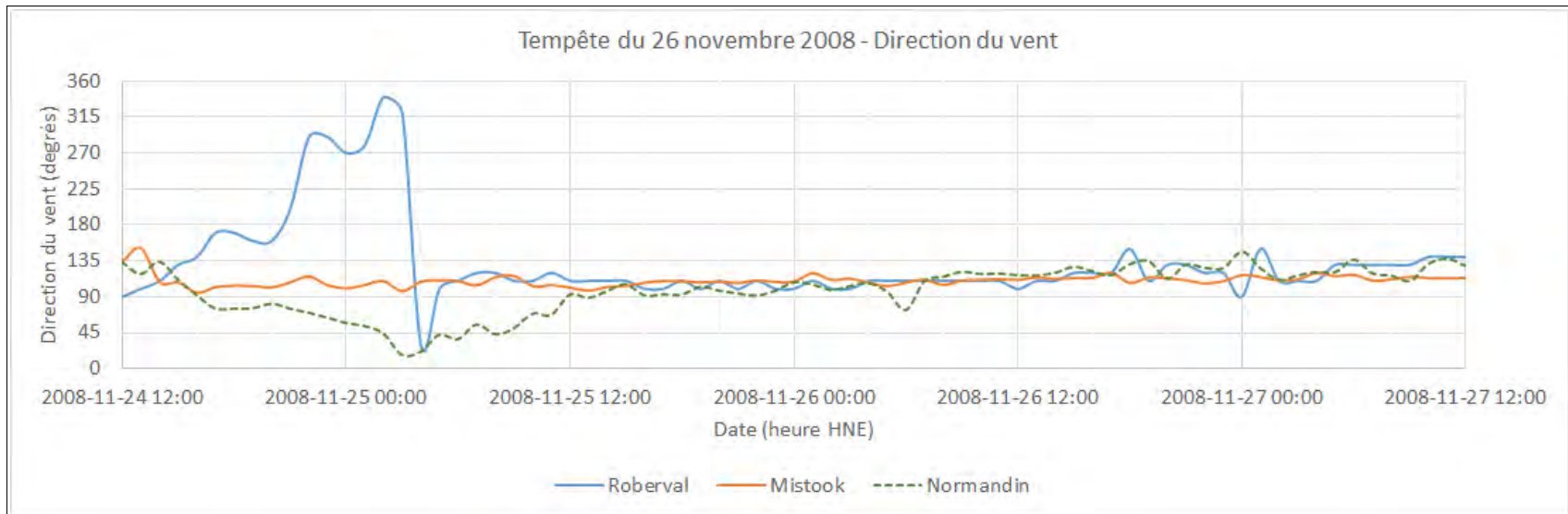


Figure B26 Direction des vents du secteur Est - Tempête du 26 novembre 2008

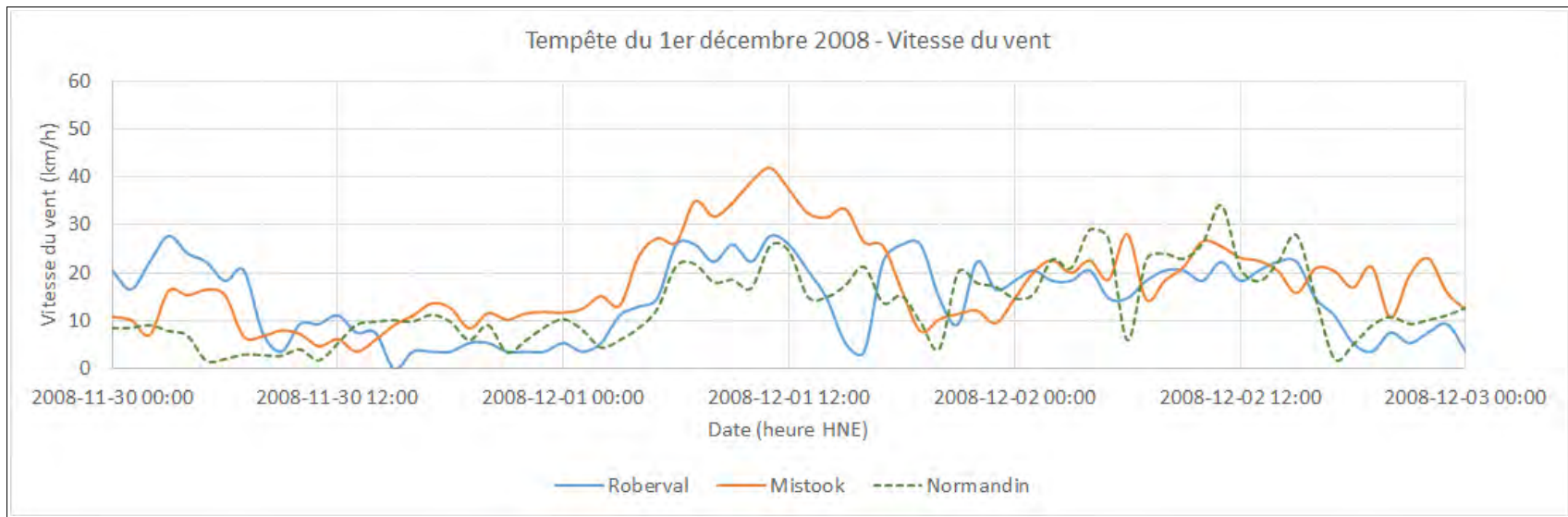


Figure B27 Vitesse des vents du secteur Est - Tempête du 1<sup>er</sup> décembre 2008

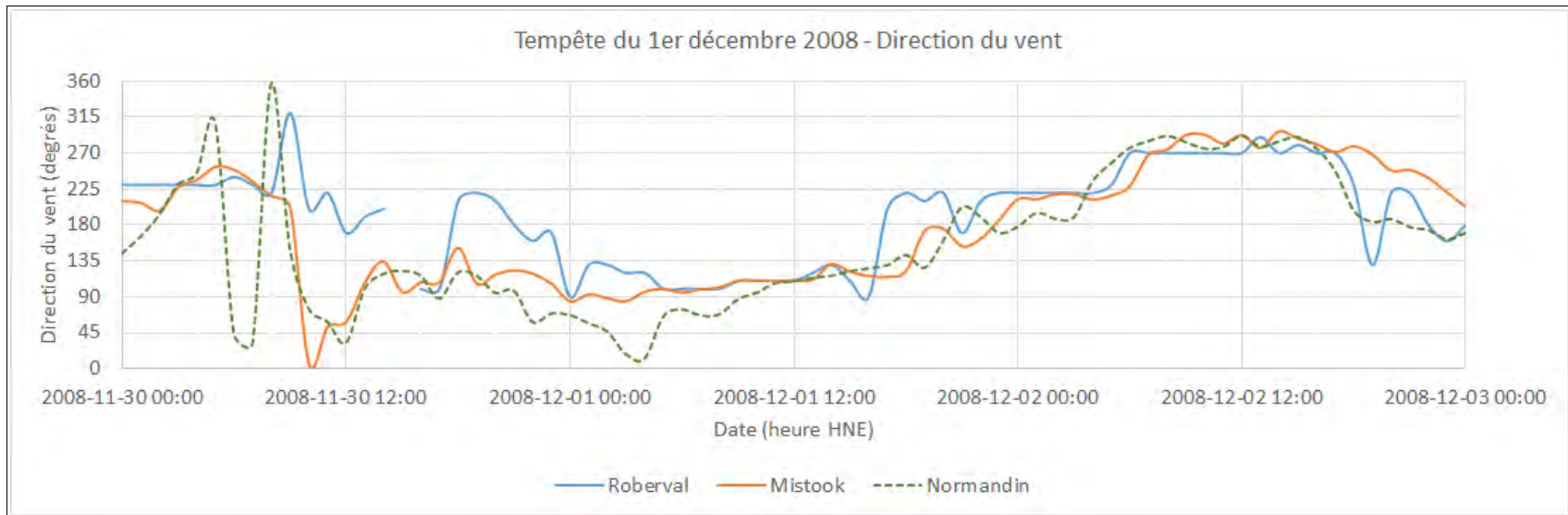


Figure B28 Direction des vents du secteur Est - Tempête du 1<sup>er</sup> décembre 2008



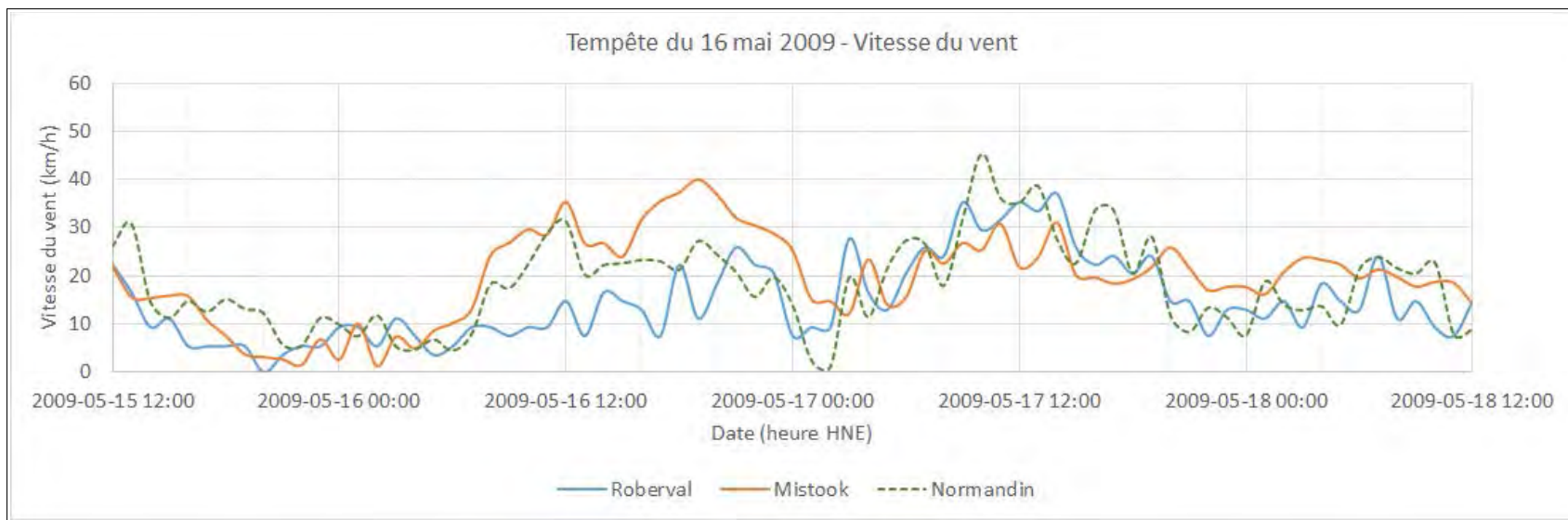


Figure B29 Vitesse des vents du secteur Est - Tempête du 16 mai 2009

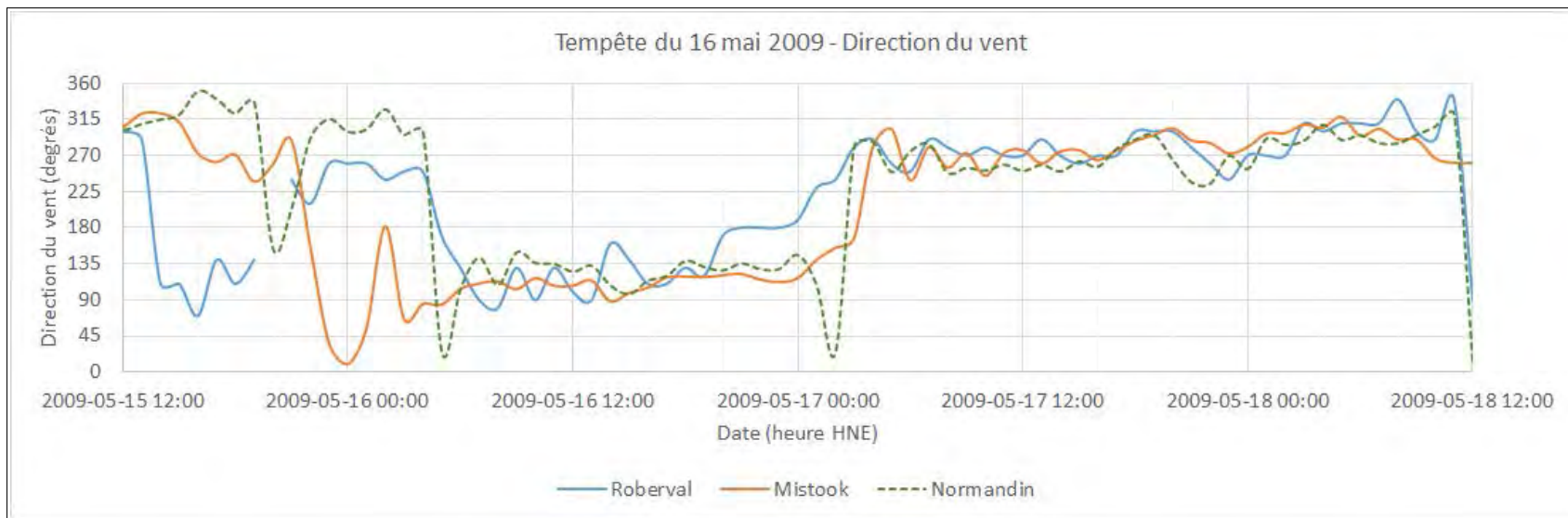


Figure B30 Direction des vents du secteur Est - Tempête du 16 mai 2009

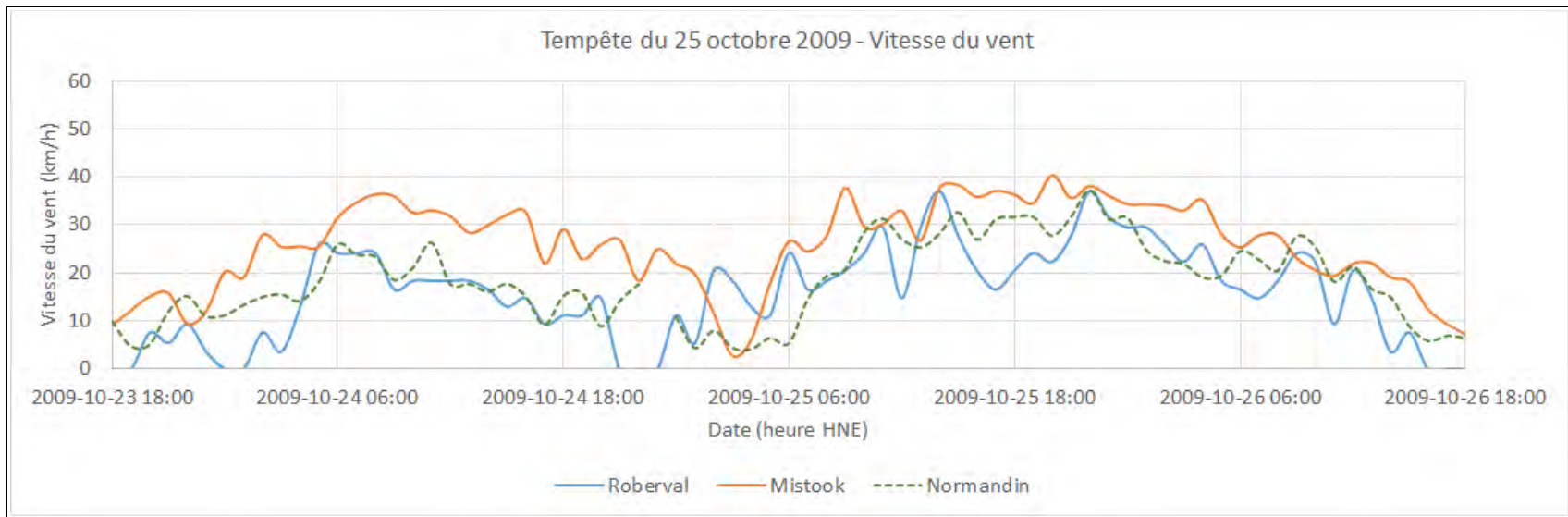


Figure B31 Vitesse des vents du secteur Est - Tempête du 25 octobre 2009

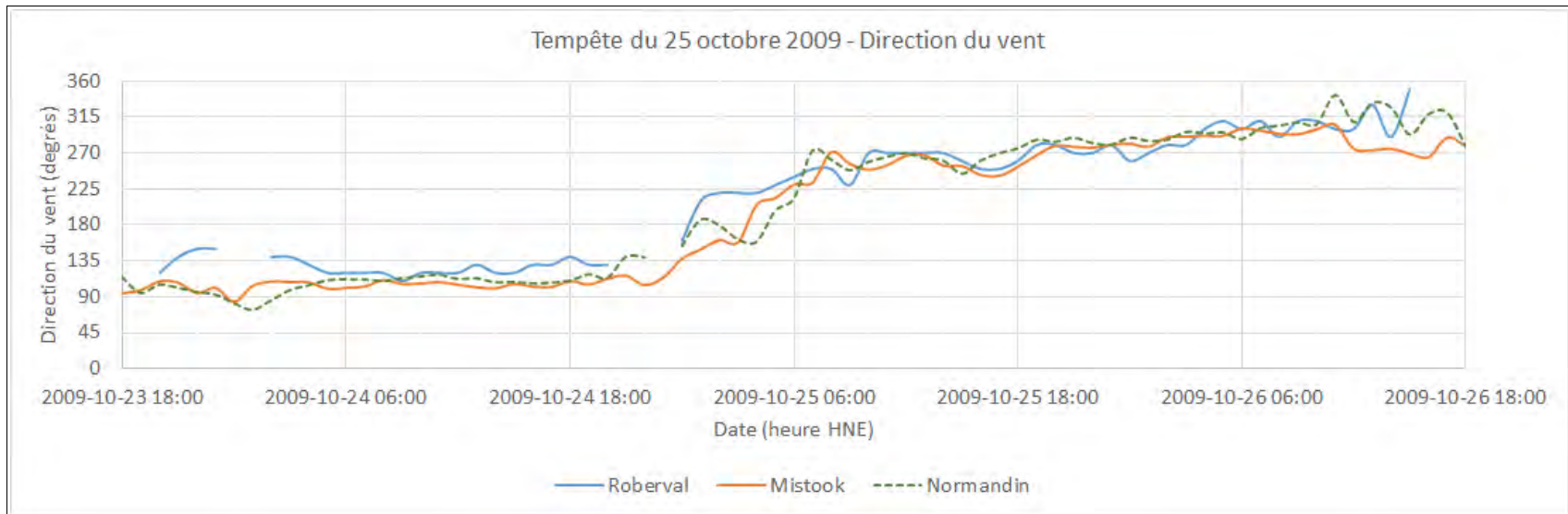


Figure B32 Direction des vents du secteur Est - Tempête du 25 octobre 2009

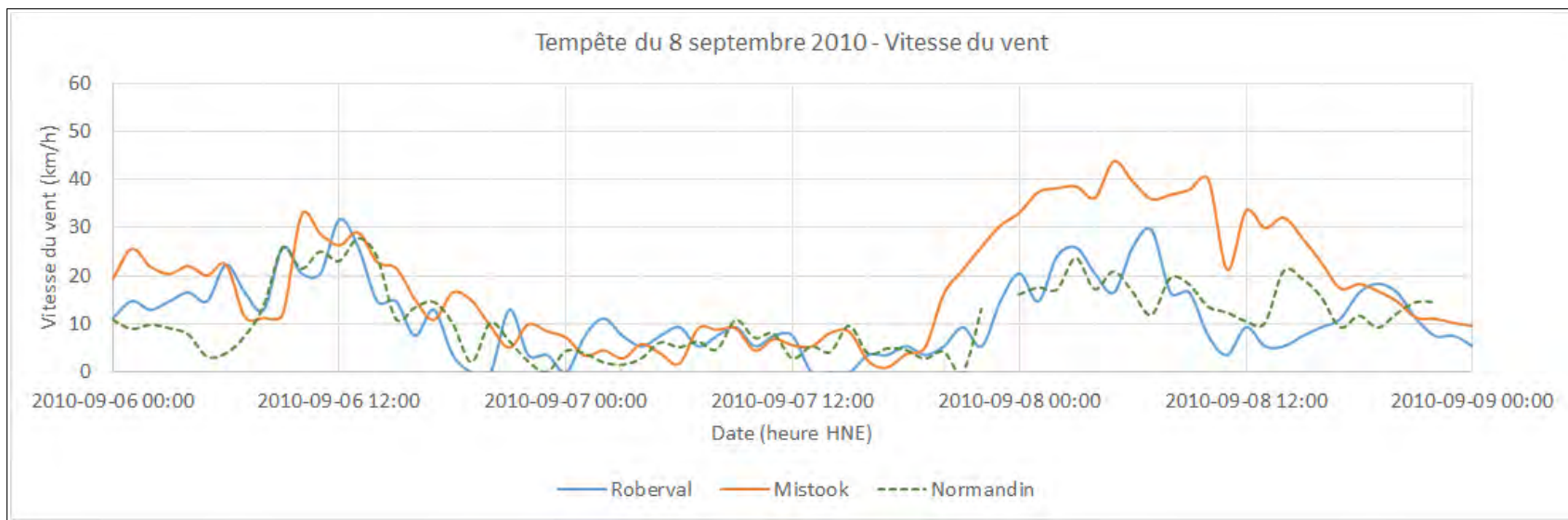


Figure B33 Vitesse des vents du secteur Est - Tempête du 8 septembre 2010

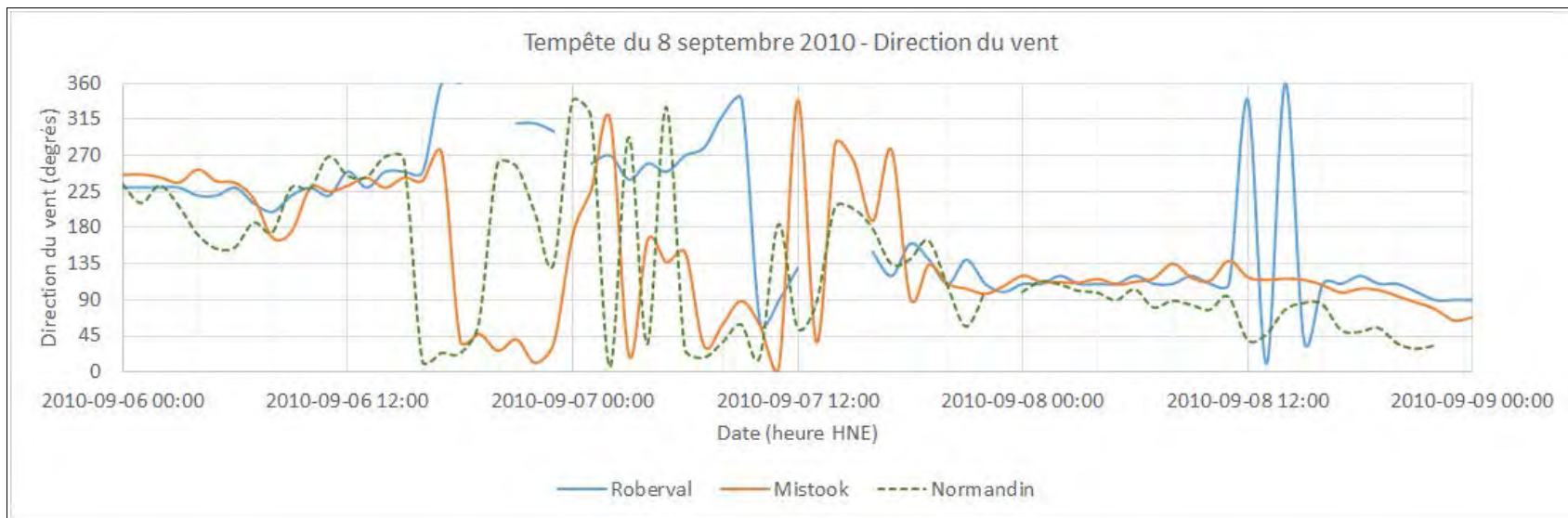


Figure B34 Direction des vents du secteur Est - Tempête du 8 septembre 2010

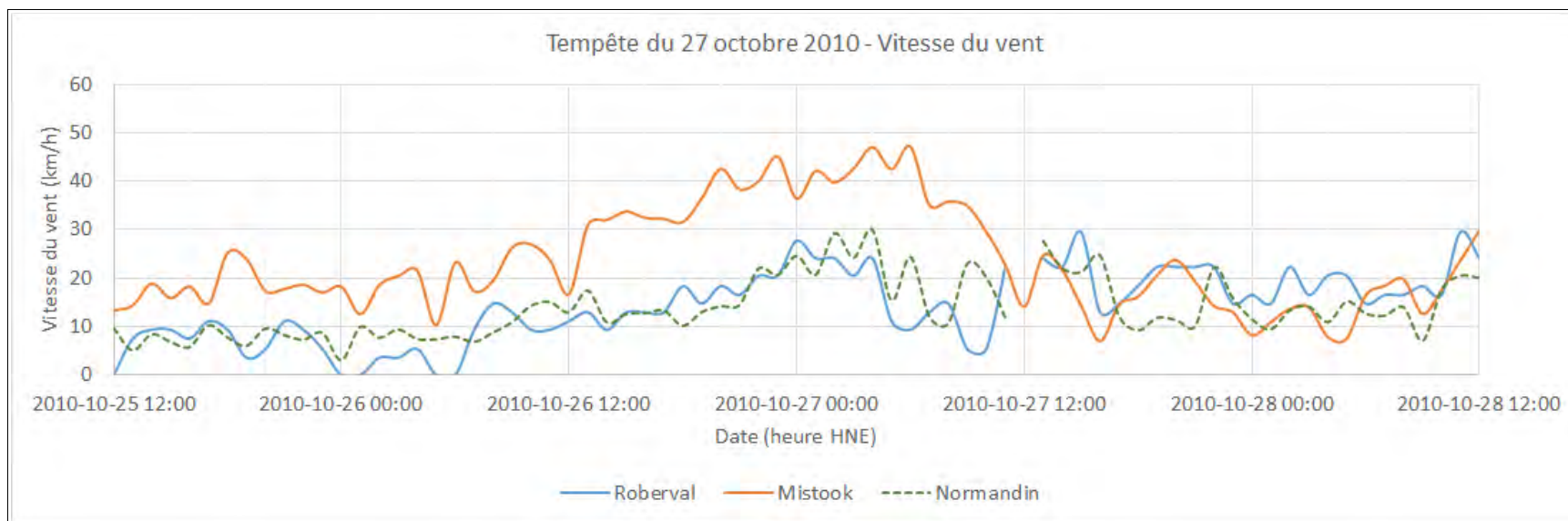


Figure B35 Vitesse des vents du secteur Est - Tempête du 27 octobre 2010

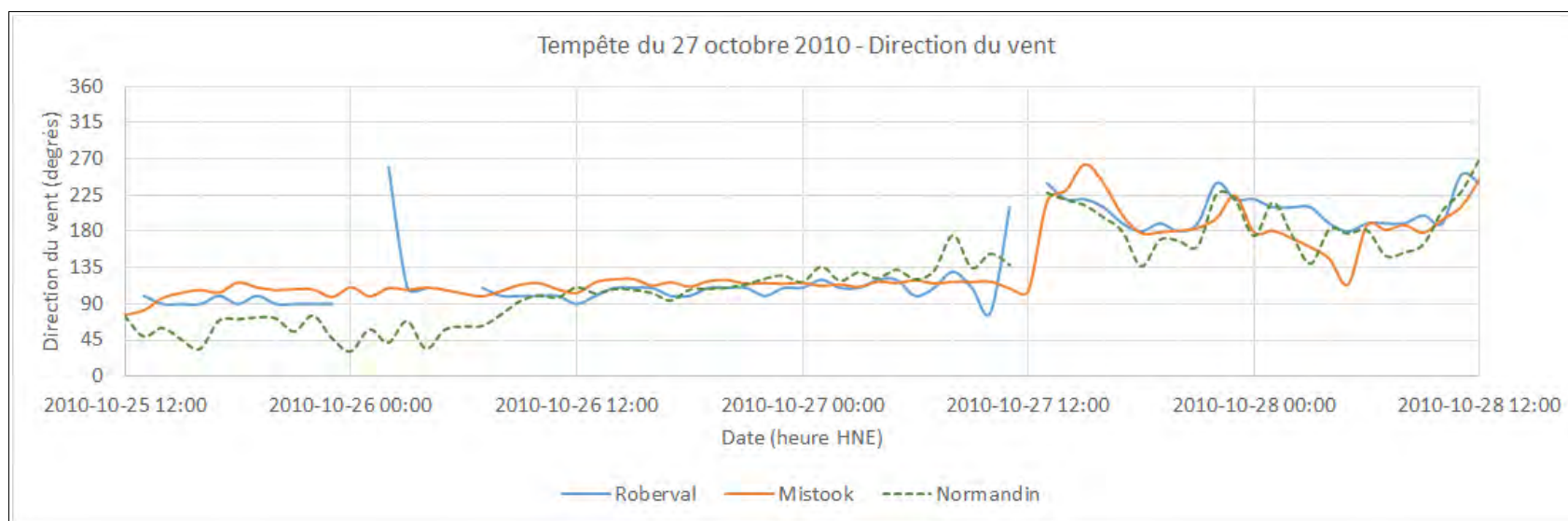


Figure B36 Direction des vents du secteur Est - Tempête du 27 octobre 2010

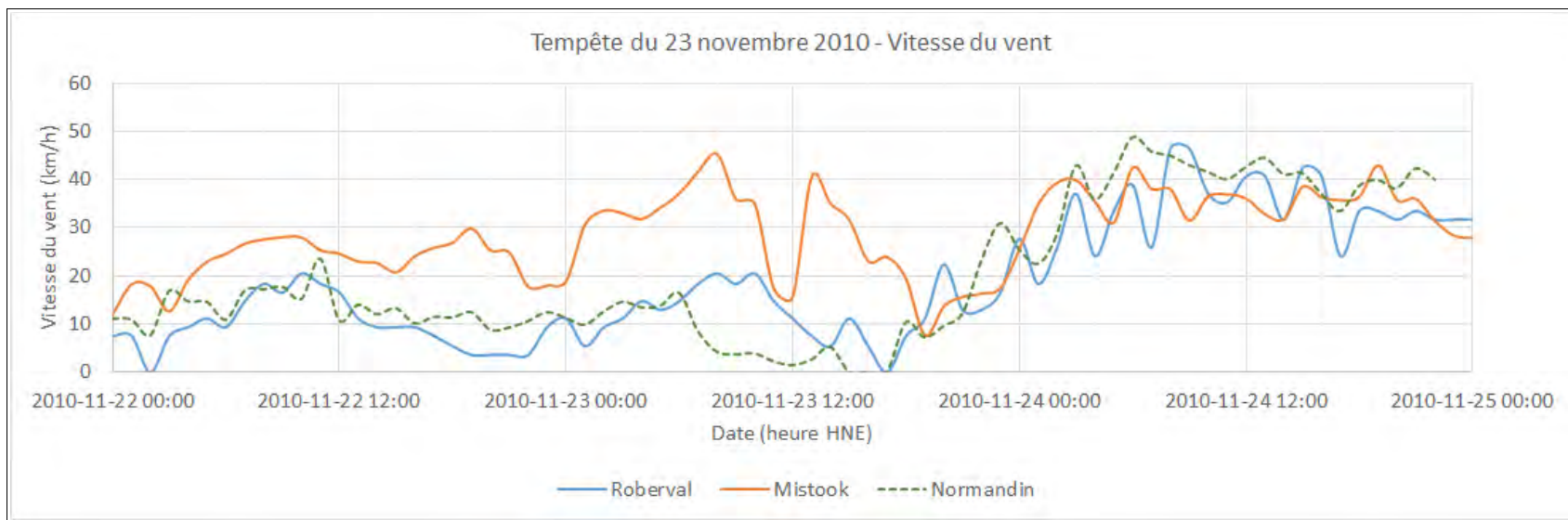


Figure B37 Vitesse des vents du secteur Est - Tempête du 23 novembre 2010

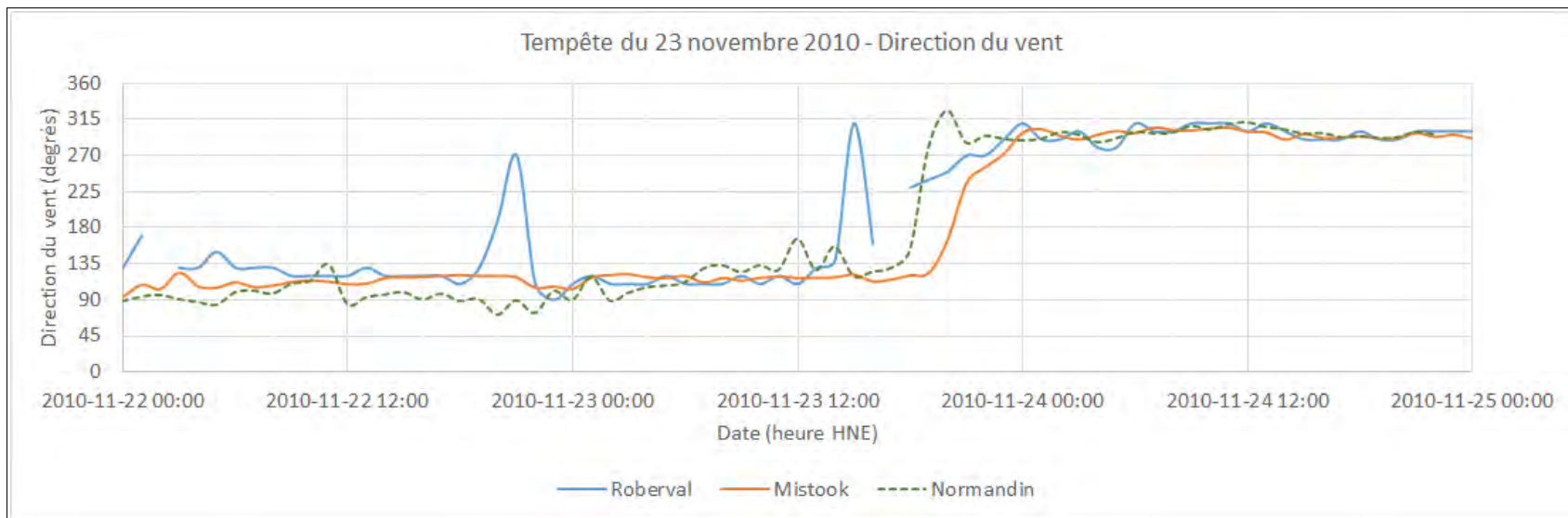


Figure B38 Direction des vents du secteur Est - Tempête du 23 novembre 2010

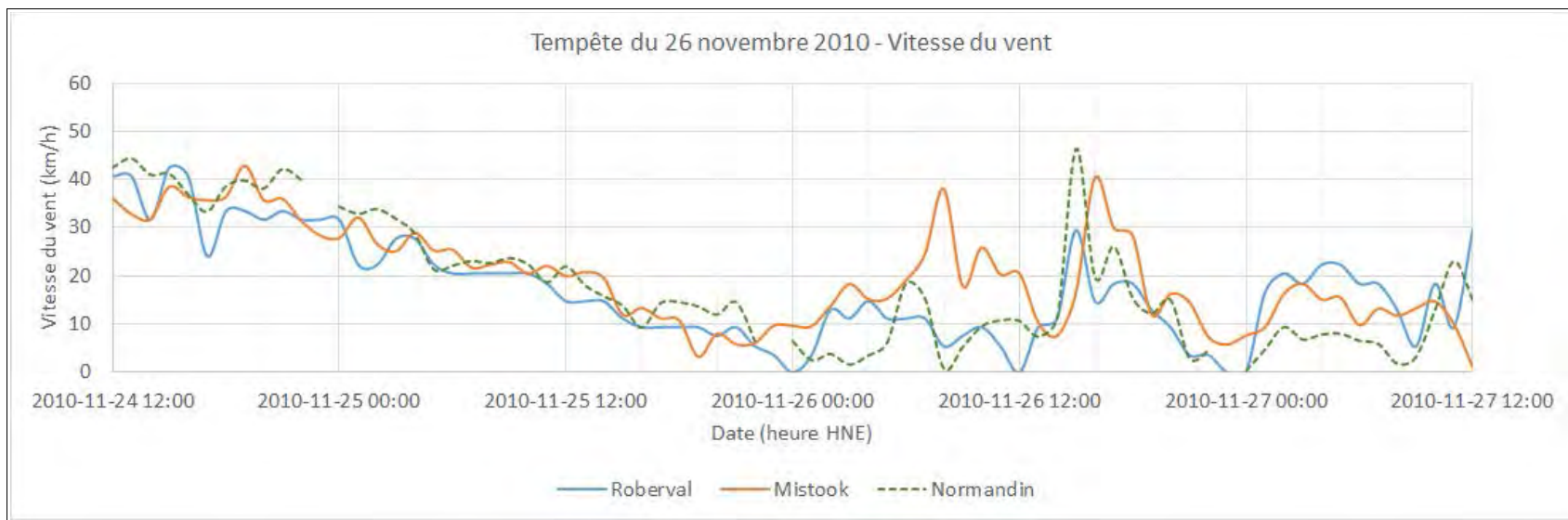


Figure B39 Vitesse des vents du secteur Est - Tempête du 26 novembre 2010

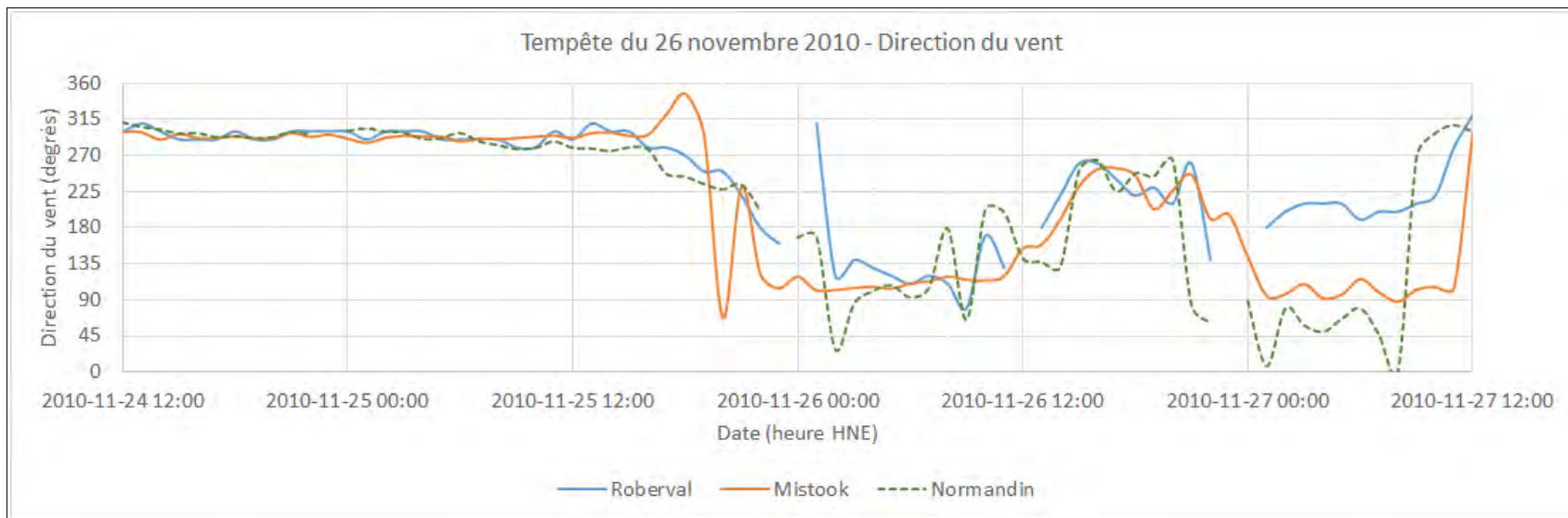


Figure B40 Direction des vents du secteur Est - Tempête du 26 novembre 2010

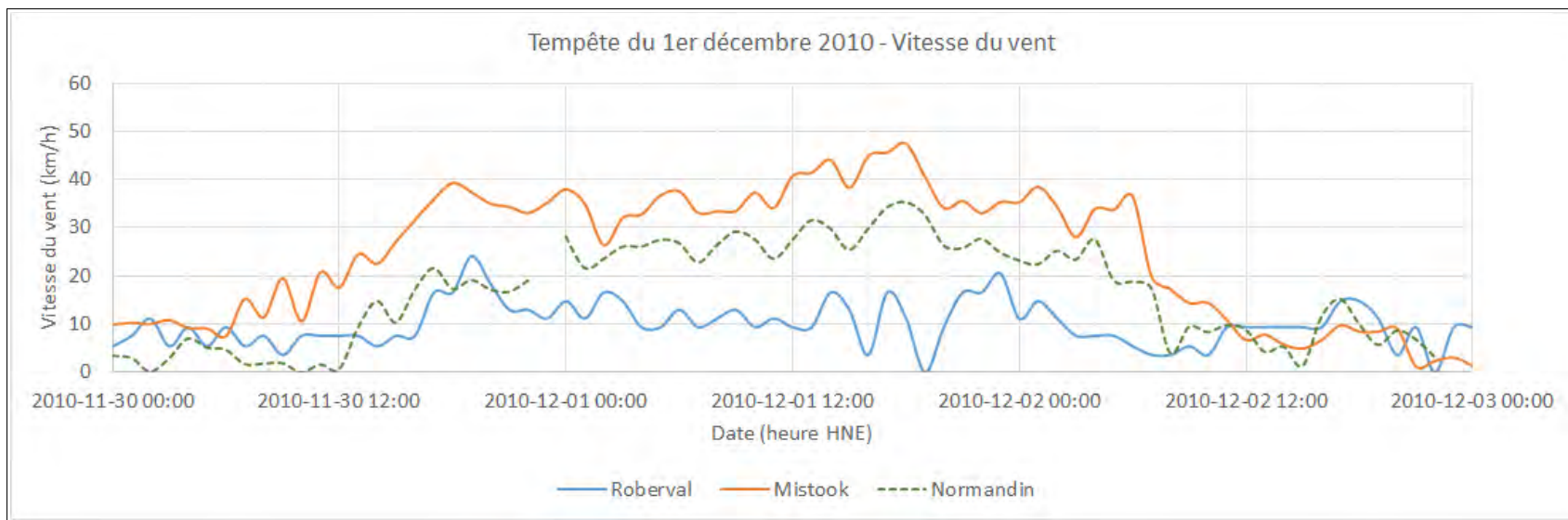


Figure B41 Vitesse des vents du secteur Est - Tempête du 1<sup>er</sup> décembre 2010

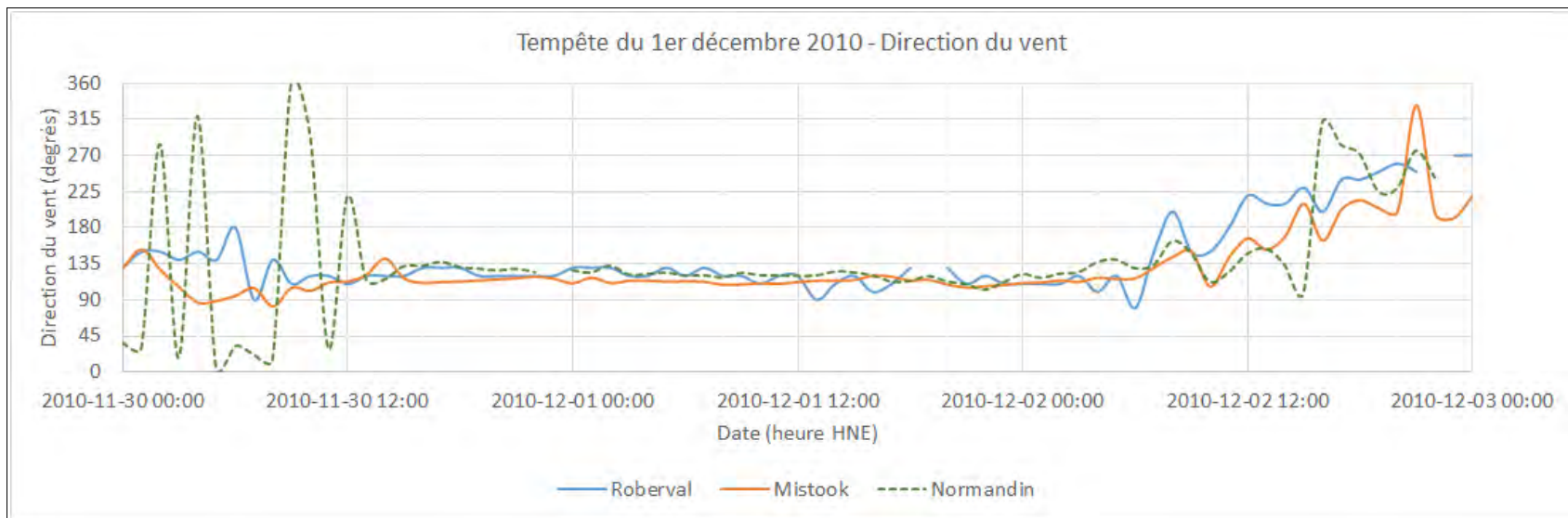


Figure B42 Direction des vents du secteur Est - Tempête du 1<sup>er</sup> décembre 2010

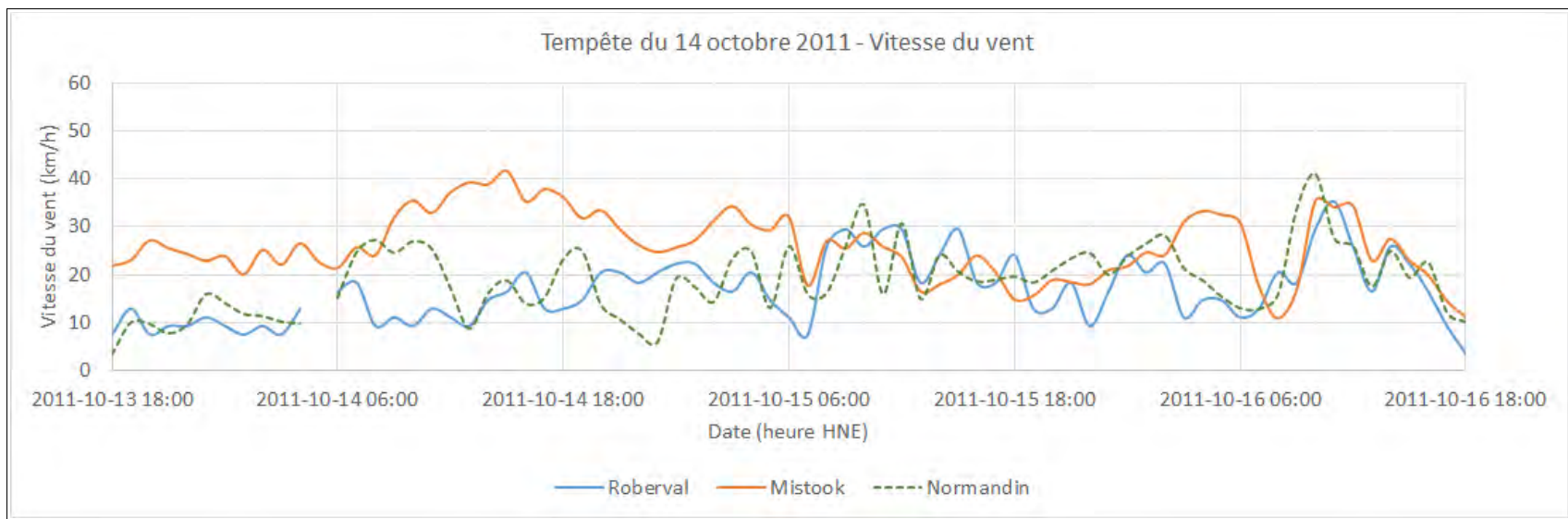


Figure B43 Vitesse des vents du secteur Est - Tempête du 14 octobre 2011

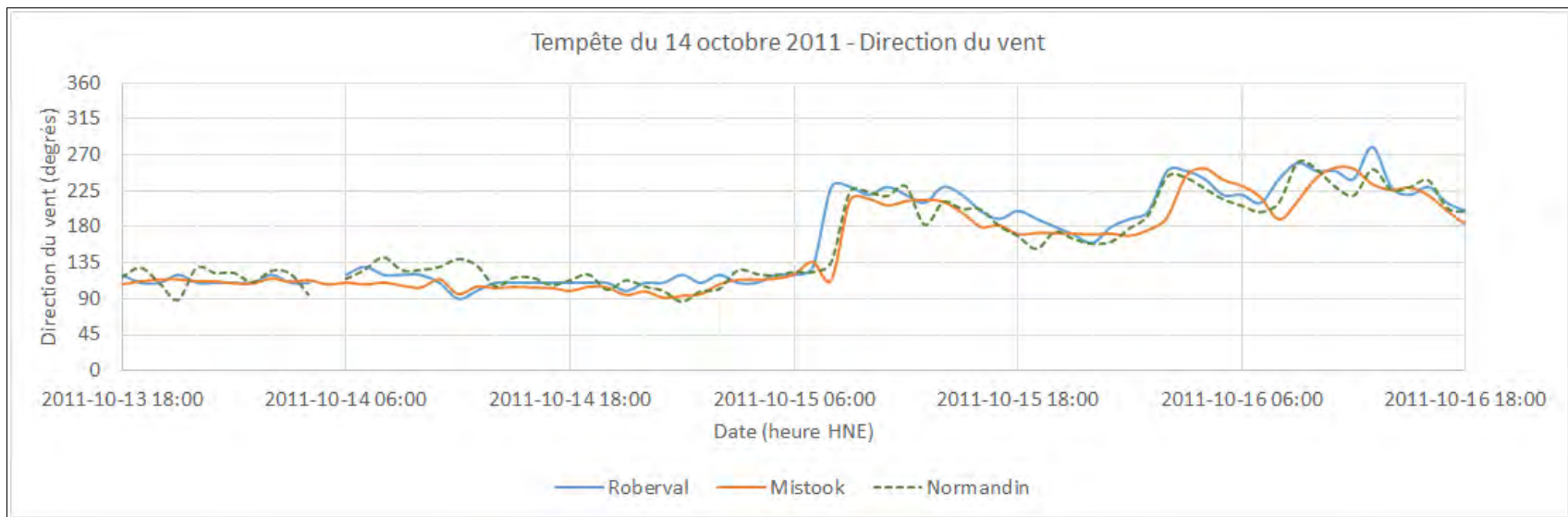


Figure B44 Direction des vents du secteur Est - Tempête du 14 octobre 2011



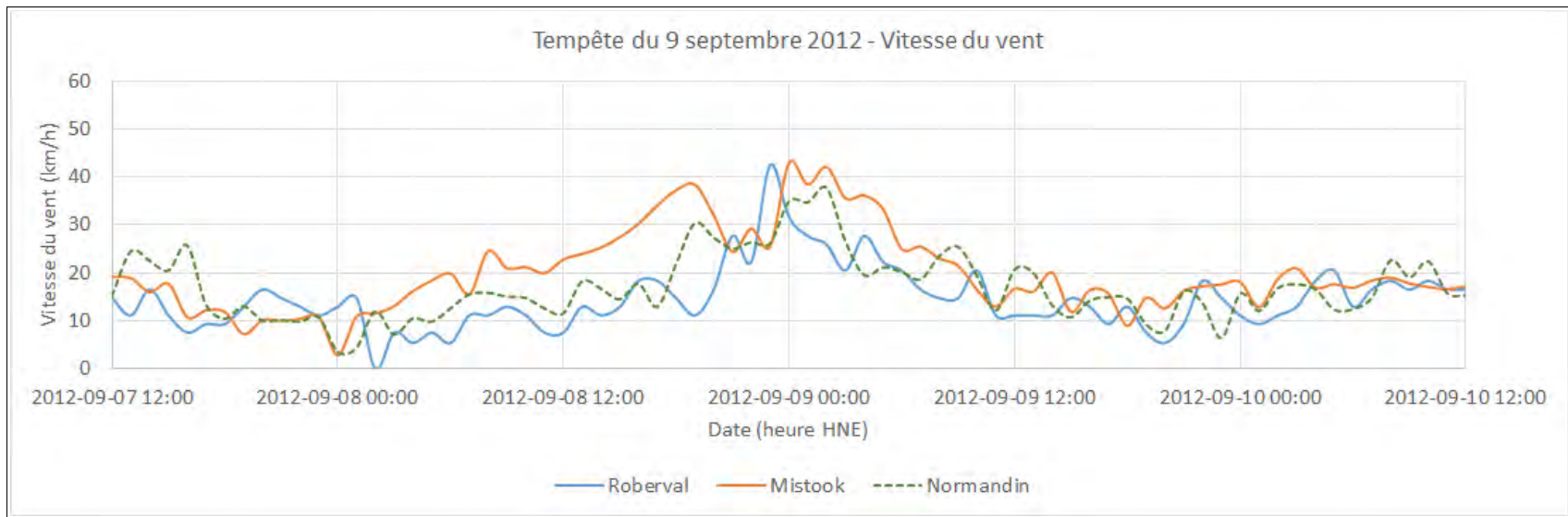


Figure B45 Vitesse des vents du secteur Est - Tempête du 9 septembre 2012

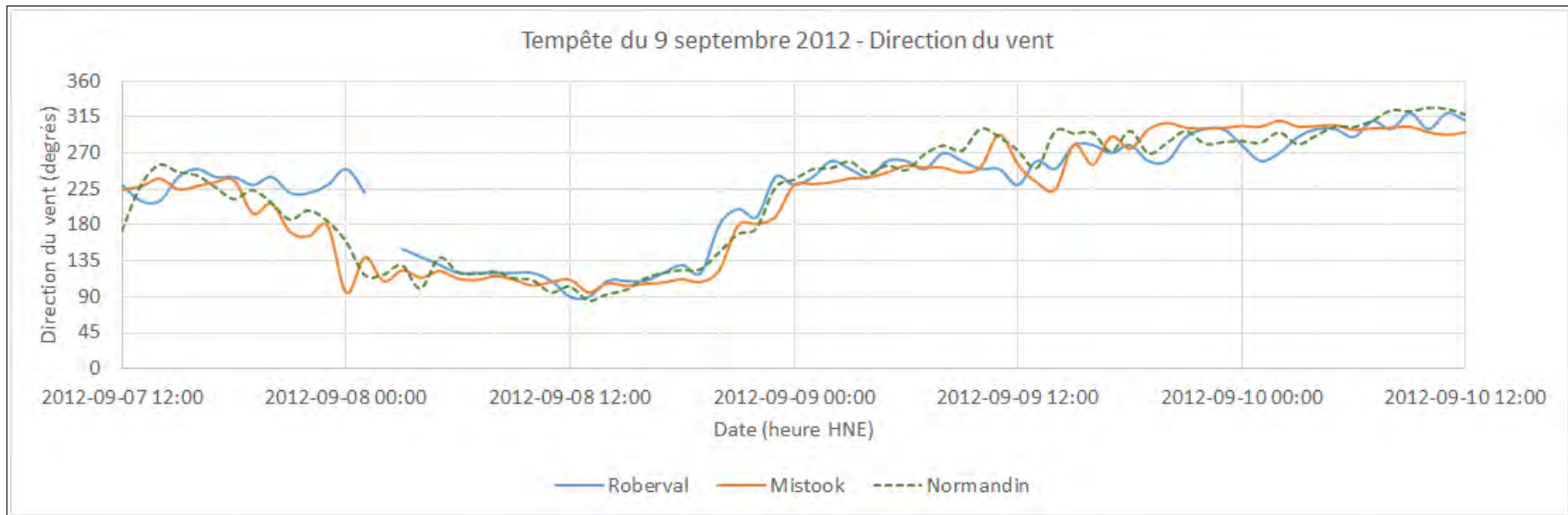


Figure B46 Direction des vents du secteur Est - Tempête du 9 septembre 2012

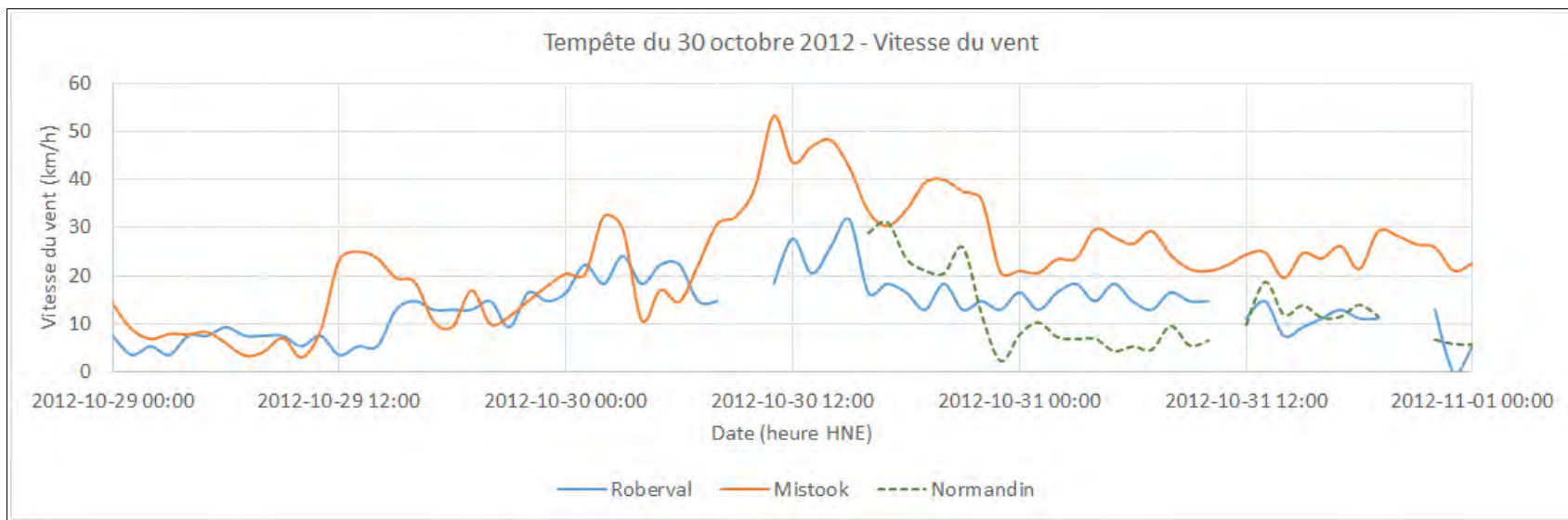


Figure B47 Vitesse des vents du secteur Est - Tempête du 30 octobre 2012

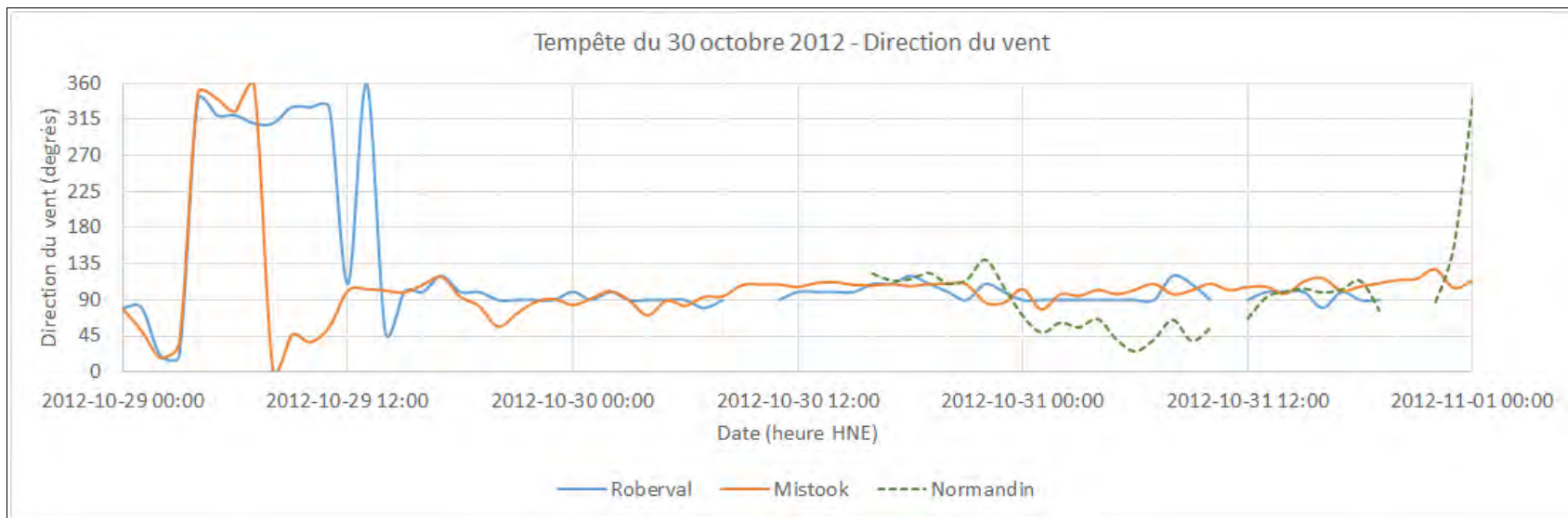


Figure B48 Direction des vents du secteur Est - Tempête du 30 octobre 2012

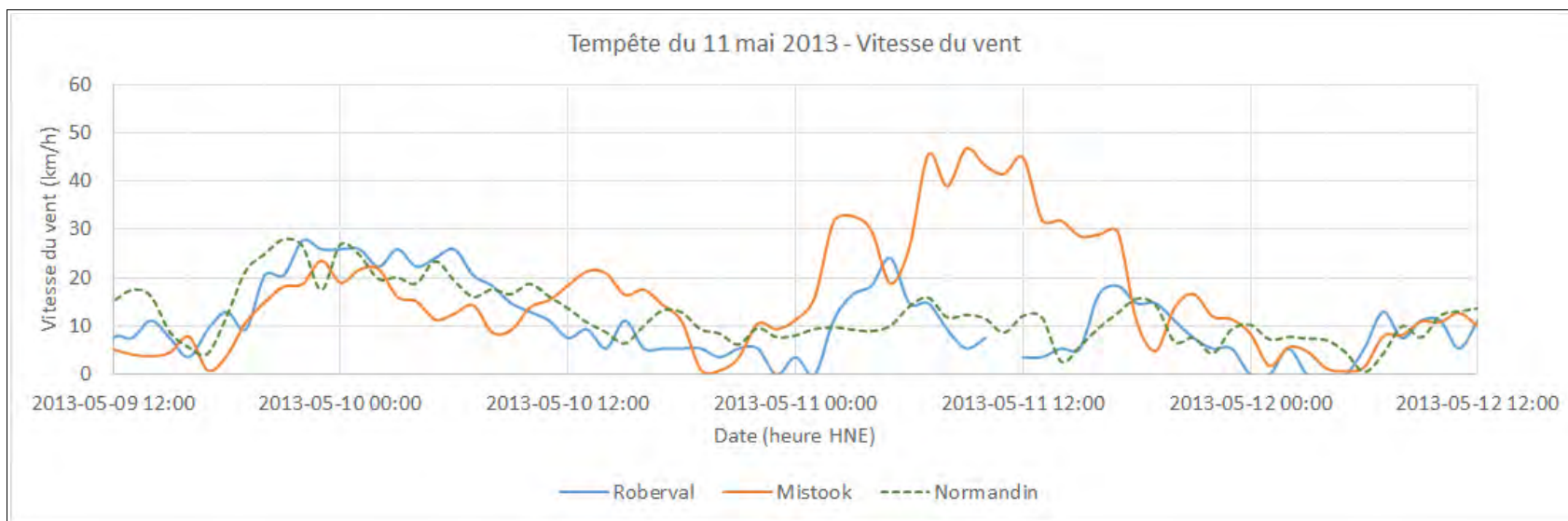


Figure B49 Vitesse des vents du secteur Est - Tempête du 11 mai 2013

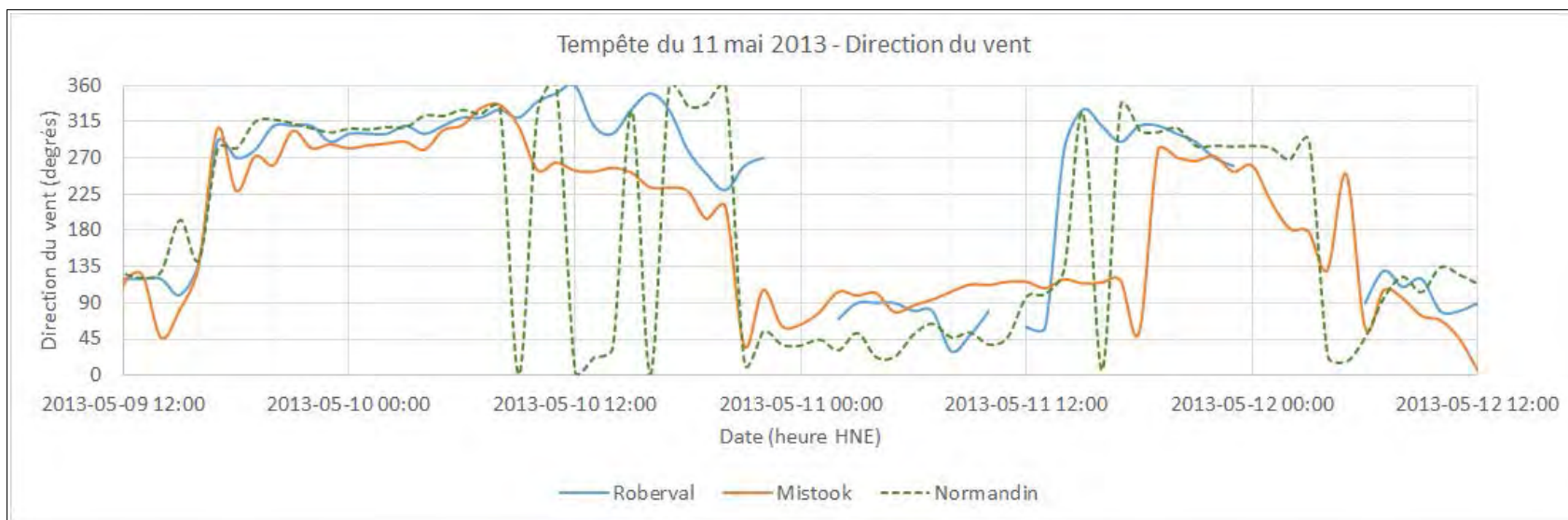


Figure B50 Direction des vents du secteur Est - Tempête du 11 mai 2013

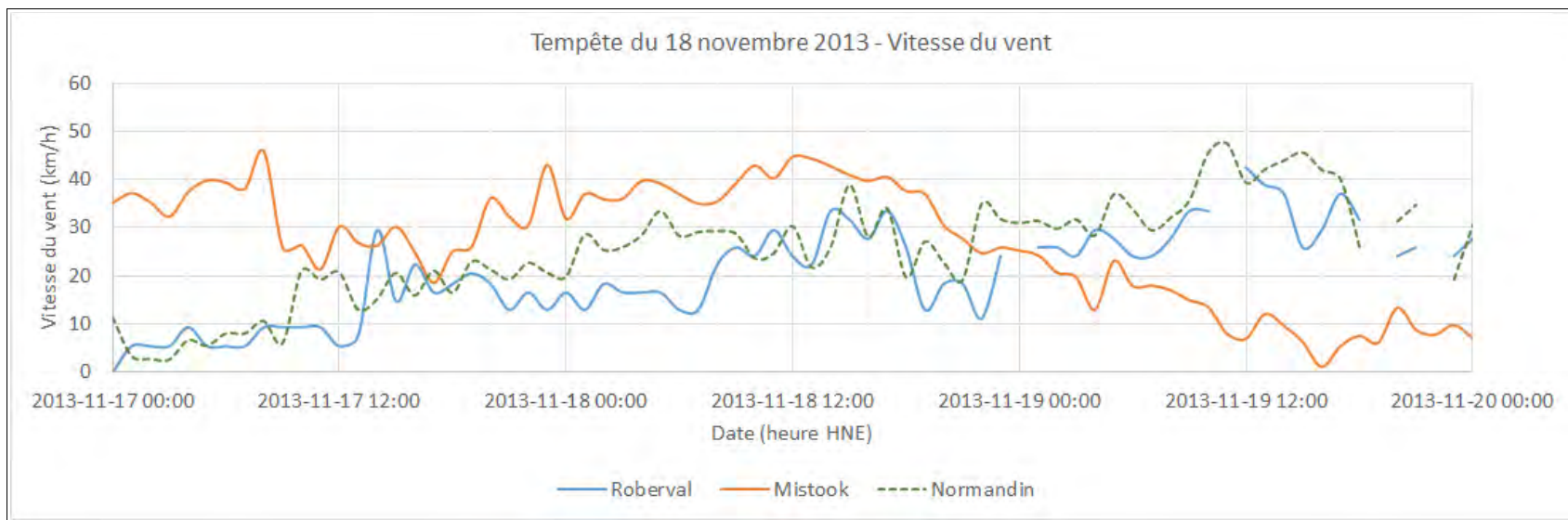


Figure B51 Vitesse des vents du secteur Est - Tempête du 17 novembre 2013

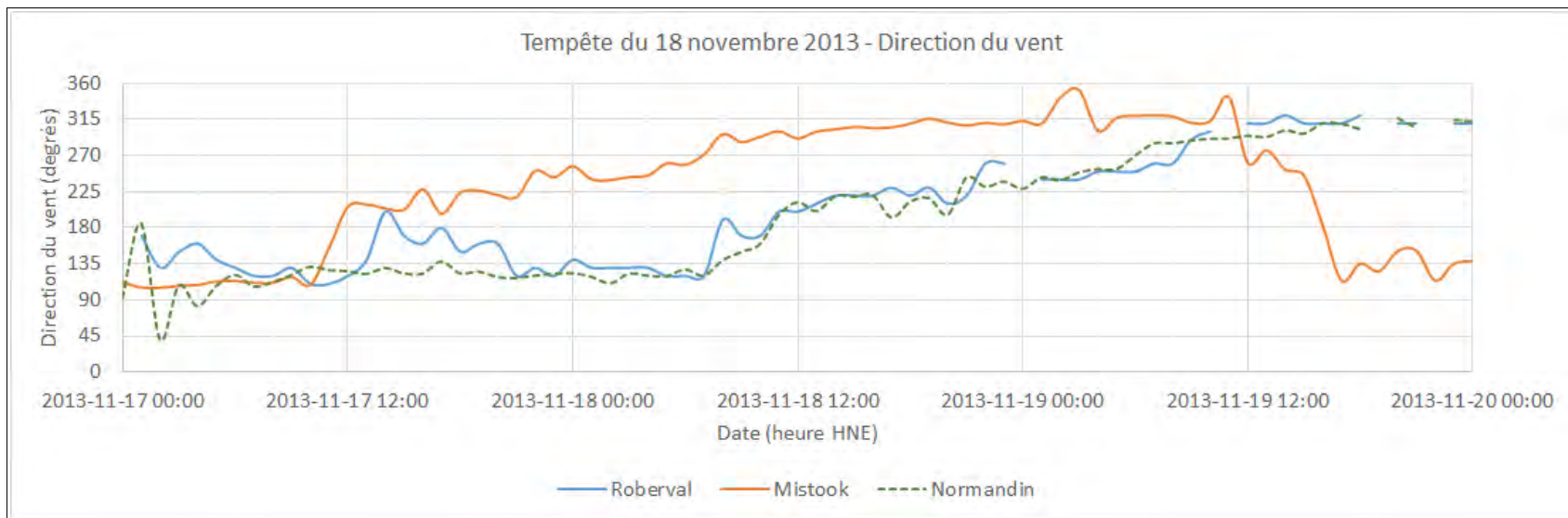


Figure B52 Direction des vents du secteur Est - Tempête du 17 novembre 2013

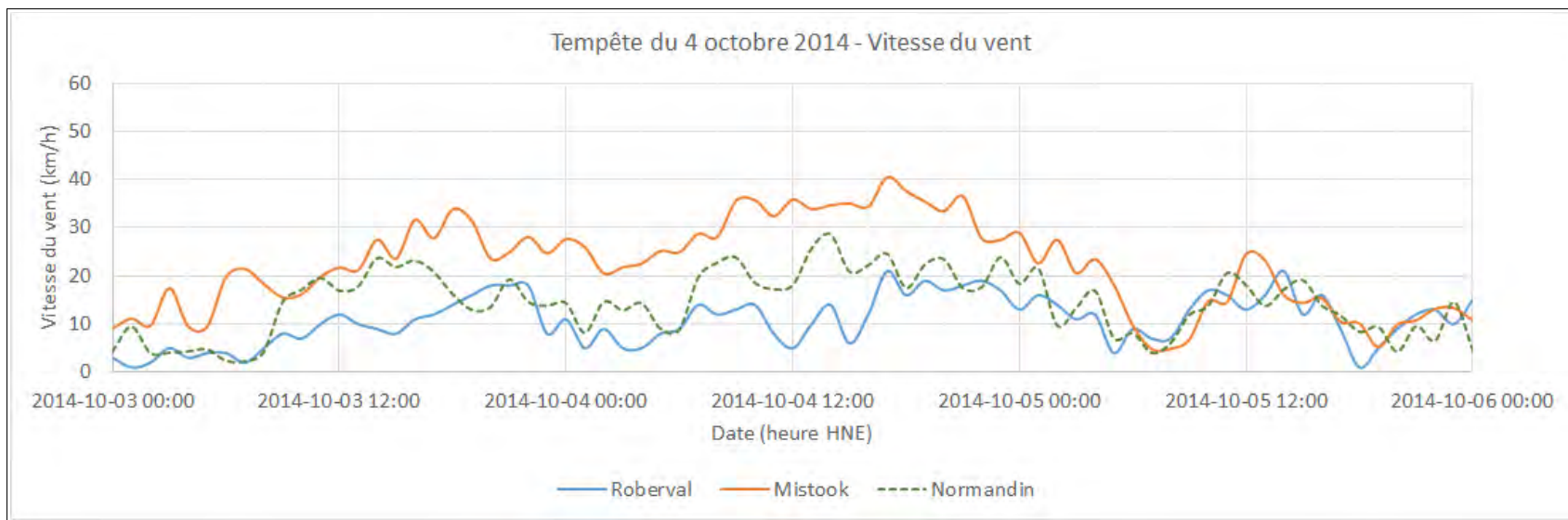


Figure B53 Vitesse des vents du secteur Est - Tempête du 4 octobre 2014

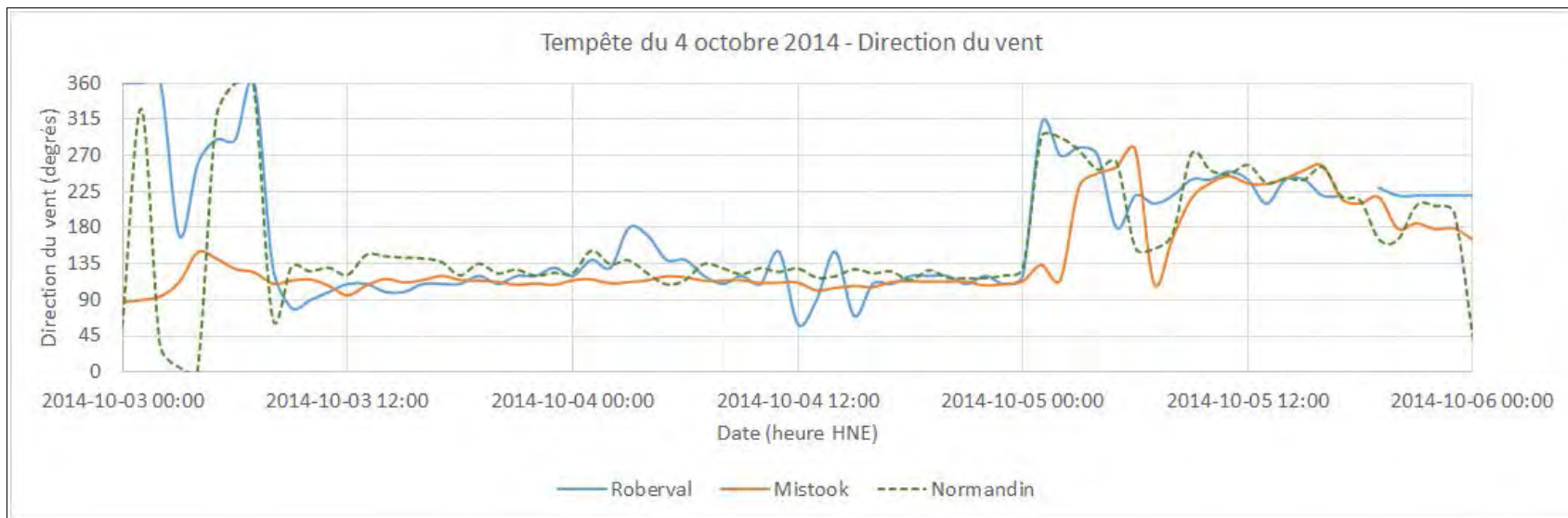


Figure B54 Direction des vents du secteur Est - Tempête du 4 octobre 2014

# ANNEXE C

## **Tempêtes des secteurs Nord et Sud sur la région du lac Saint-Jean**

Chacune des figures de cette annexe présente, pour un événement de forts vents des secteurs nord et sud s'étant produit entre le 19 avril 2005 et le 9 octobre 2014, l'évolution temporelle de la vitesse (km/h) ou de la direction (degrés) des vents de trois stations météorologiques terrestres situées autour du lac Saint-Jean, soit :

- Roberval
- Mistook
- Normandin

Chaque figure représente une période de trois jours complets illustrant le contexte météorologique de la tempête ciblée.

### **Liste des figures de l'Annexe C**

- Figures C1 et C2 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 23 mai 2008 (Nord – peu de cohérence entre les stations)
- Figures C3 et C4 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 14 octobre 2008 (épisode de vents du Sud nettement plus forts à Roberval qu'aux 2 autres stations. puis vent d'Ouest)
- Figures C5 et C6 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 14 mai 2009 (Sud – vents moins forts à Mistook et très forts à Normandin)

- Figures C7 et C8 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 31 octobre 2009 (Sud – peu de cohérence des vitesses alors que les directions sont plutôt cohérentes)
- Figures C9 et C10 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 26 mai 2012 (Sud puis Ouest – vitesses et directions de vent relativement cohérentes entre les 3 stations)
- Figures C11 et C12 : Vitesse et direction du vent lors de la tempête du 1<sup>er</sup> novembre 2013 (Sud puis Ouest – vitesses et directions de vent relativement cohérentes entre les 3 stations)

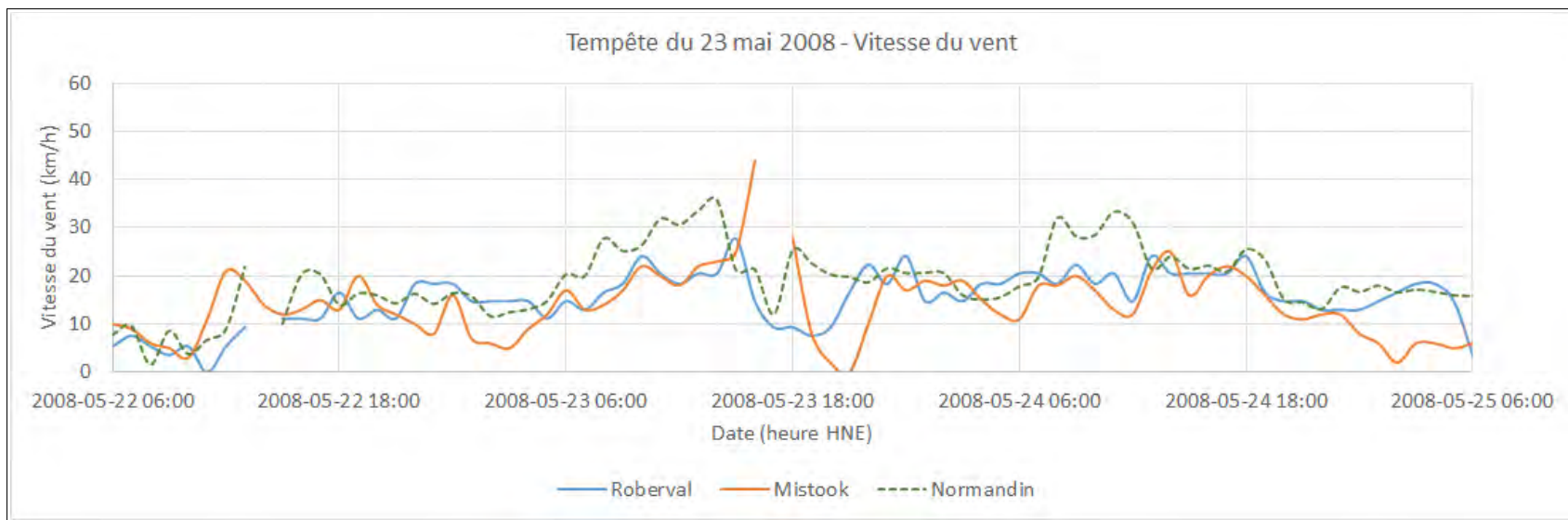


Figure C1 Vitesse des vents du secteur Nord - Tempête du 23 mai 2008

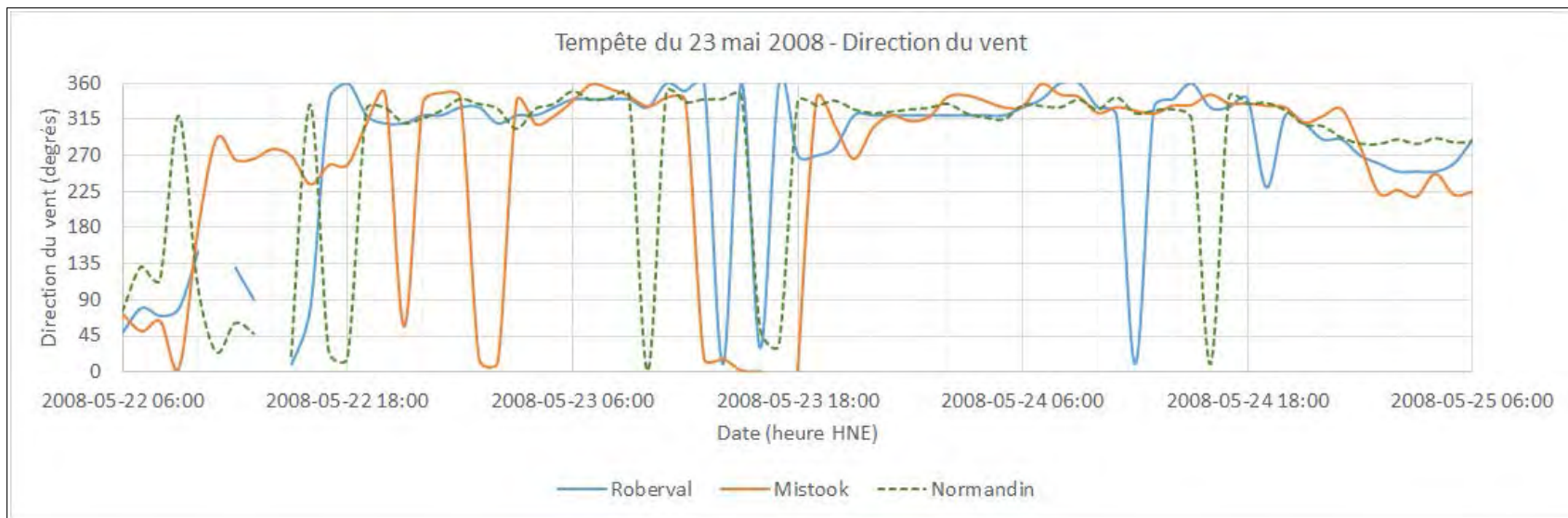


Figure C2 Direction des vents du secteur Nord - Tempête du 23 mai 2008



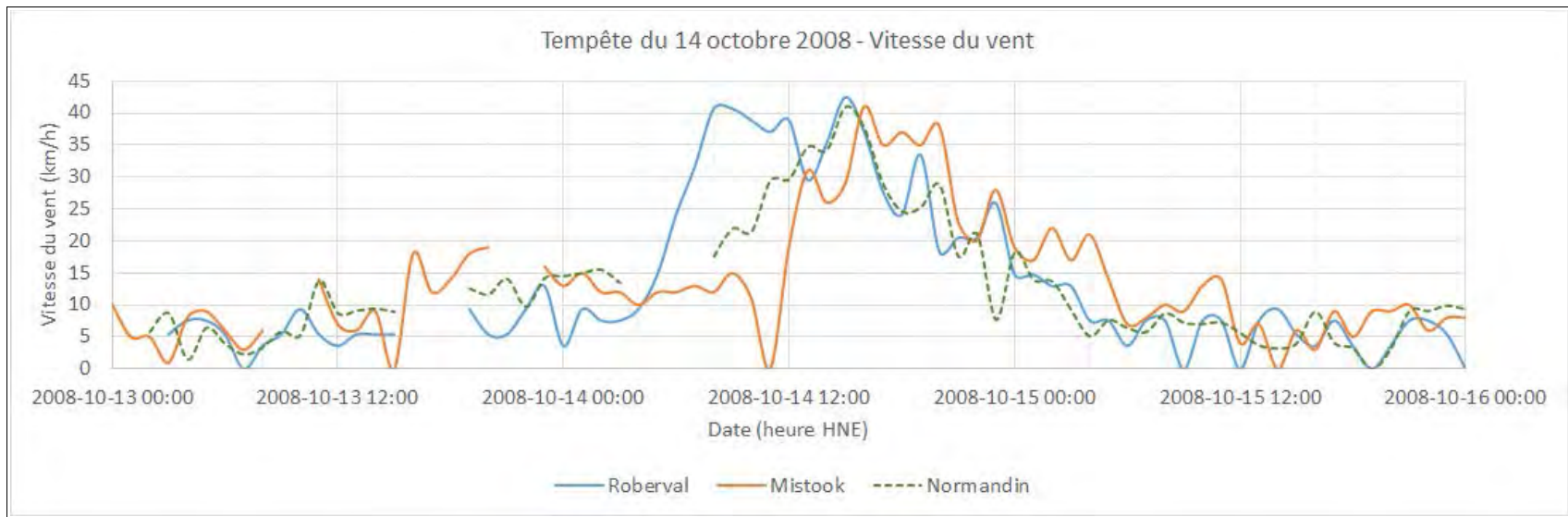


Figure C3 Vitesse des vents du secteur Sud - Tempête du 14 octobre 2008

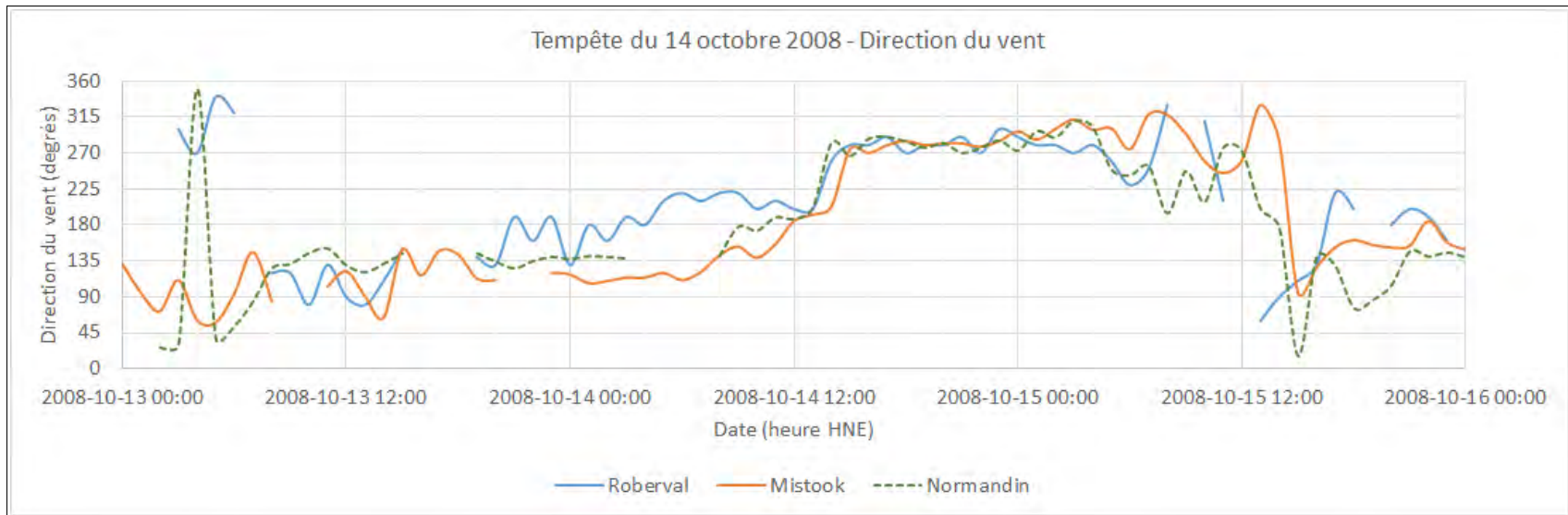


Figure C4 Direction des vents du secteur Sud - Tempête du 14 octobre 2008

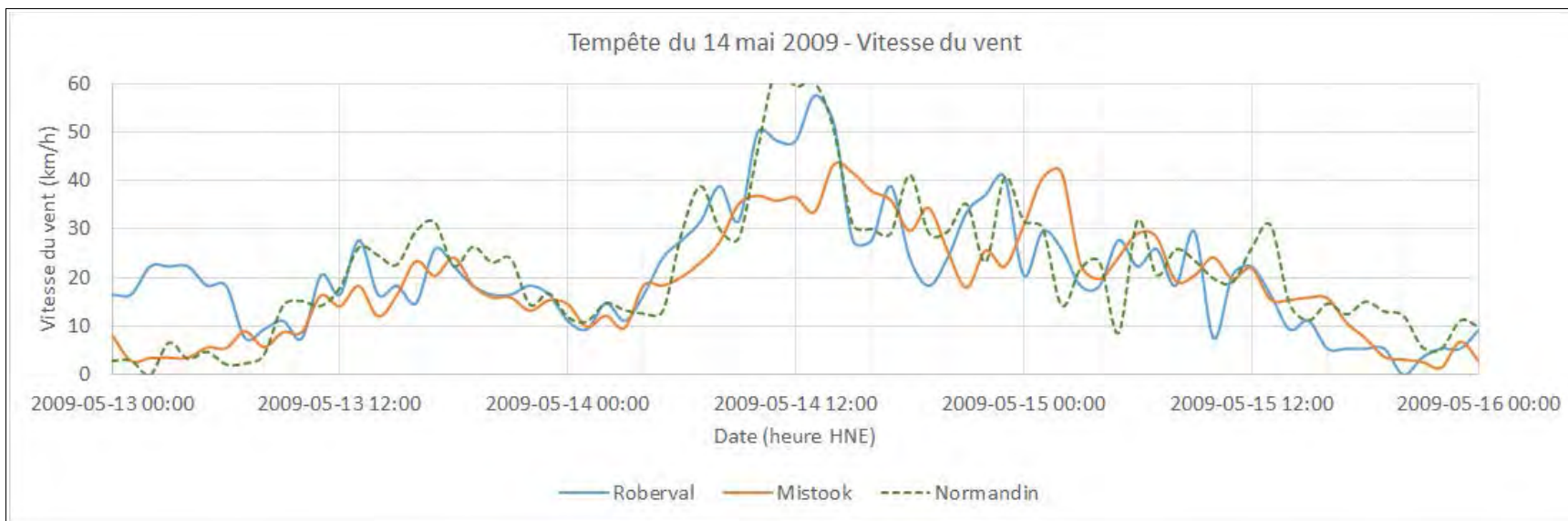


Figure C5 Vitesse des vents du secteur Sud - Tempête du 14 mai 2009

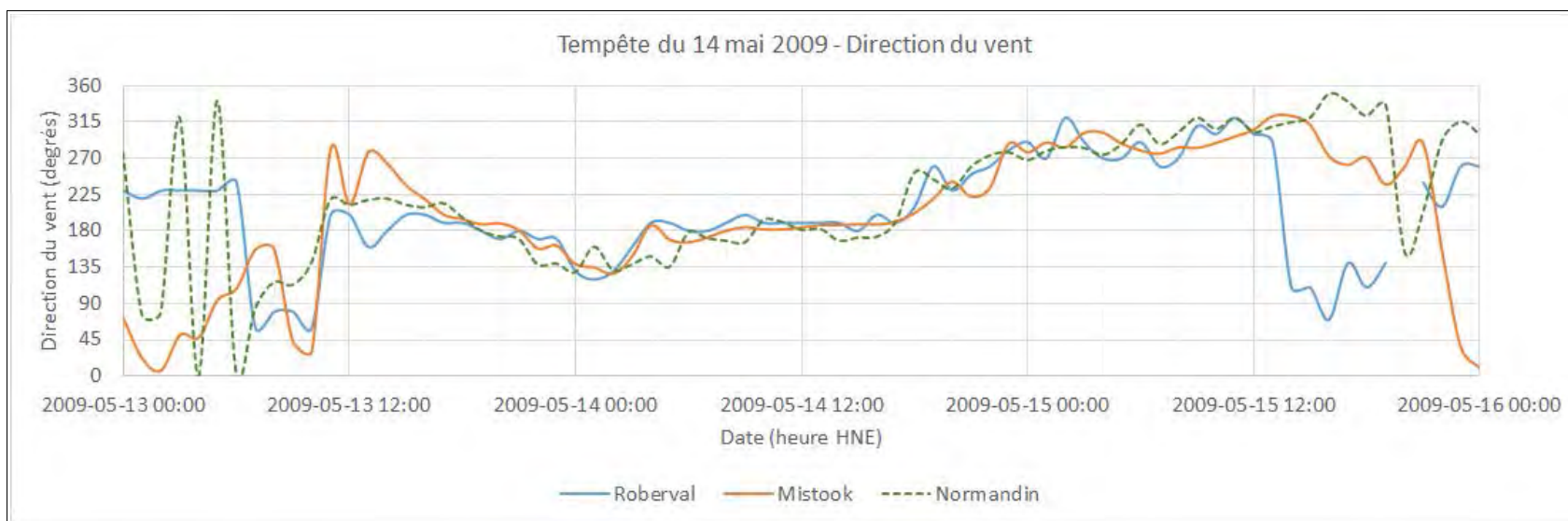


Figure C6 Direction des vents du secteur Sud - Tempête du 14 mai 2009

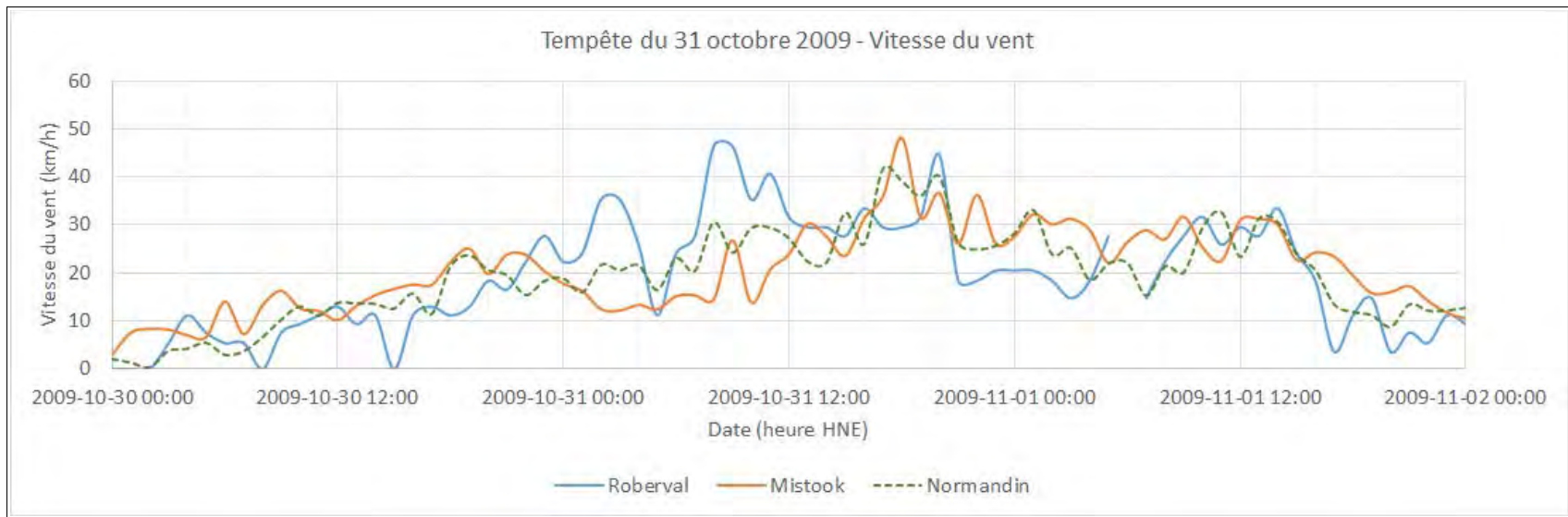


Figure C7 Vitesse des vents du secteur Sud - Tempête du 31 octobre 2009

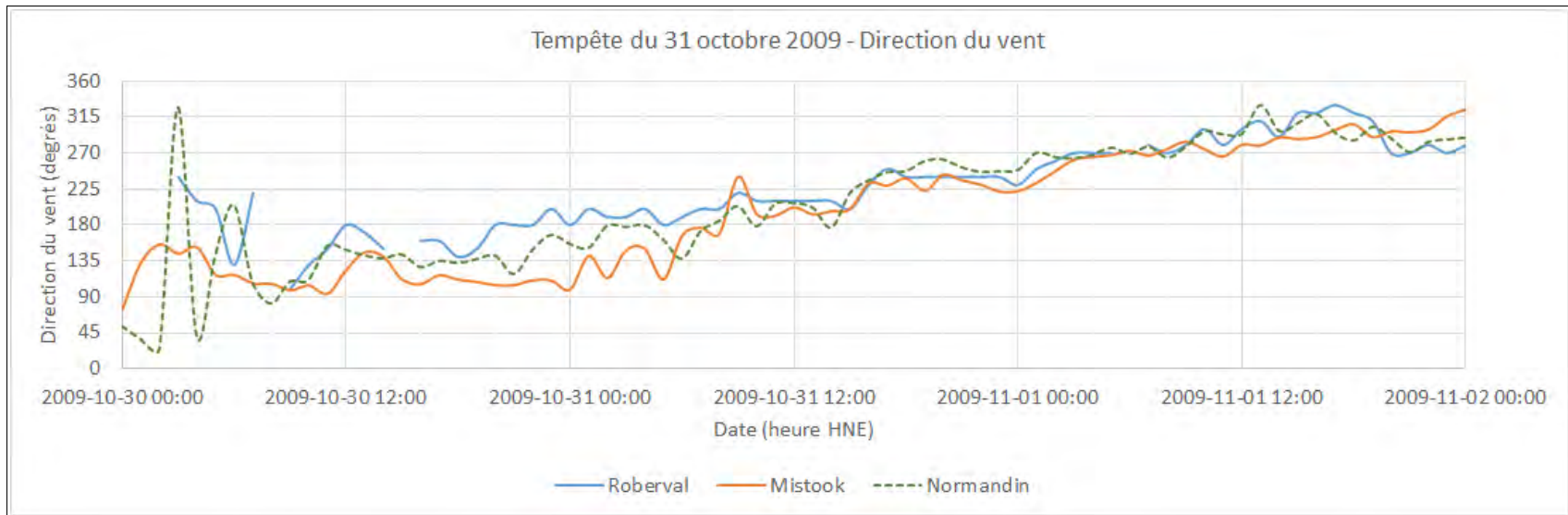


Figure C8 Direction des vents du secteur Sud - Tempête du 31 octobre 2009

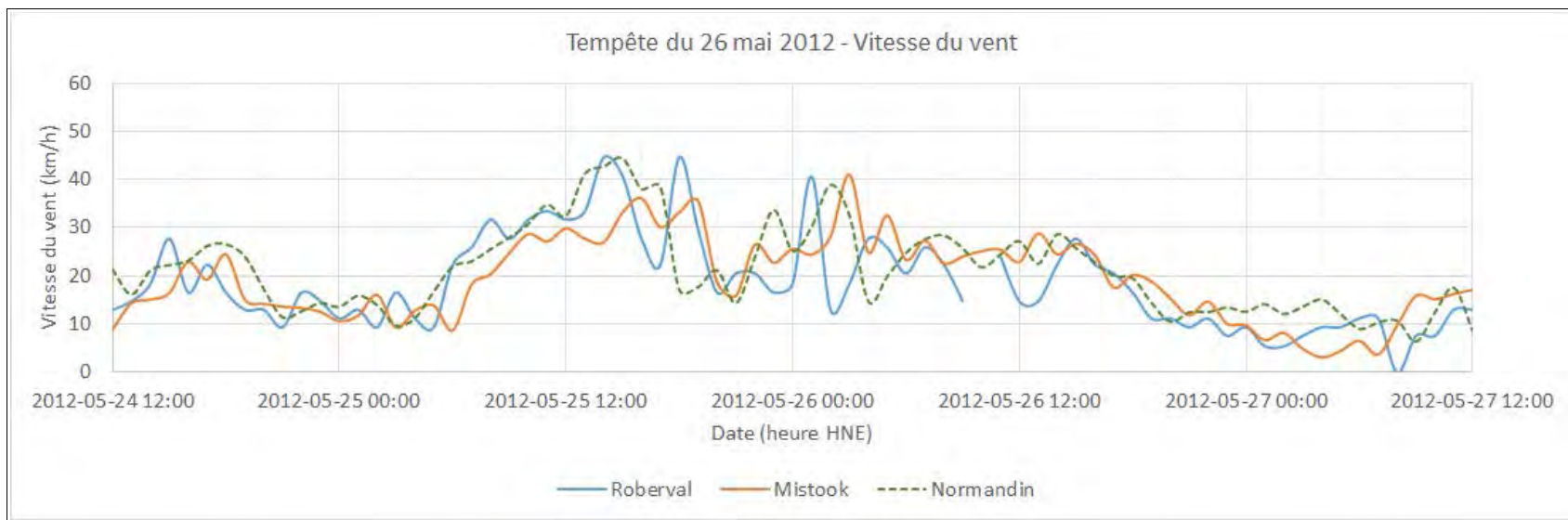


Figure C9 Vitesse des vents du secteur Sud - Tempête du 25 mai 2012

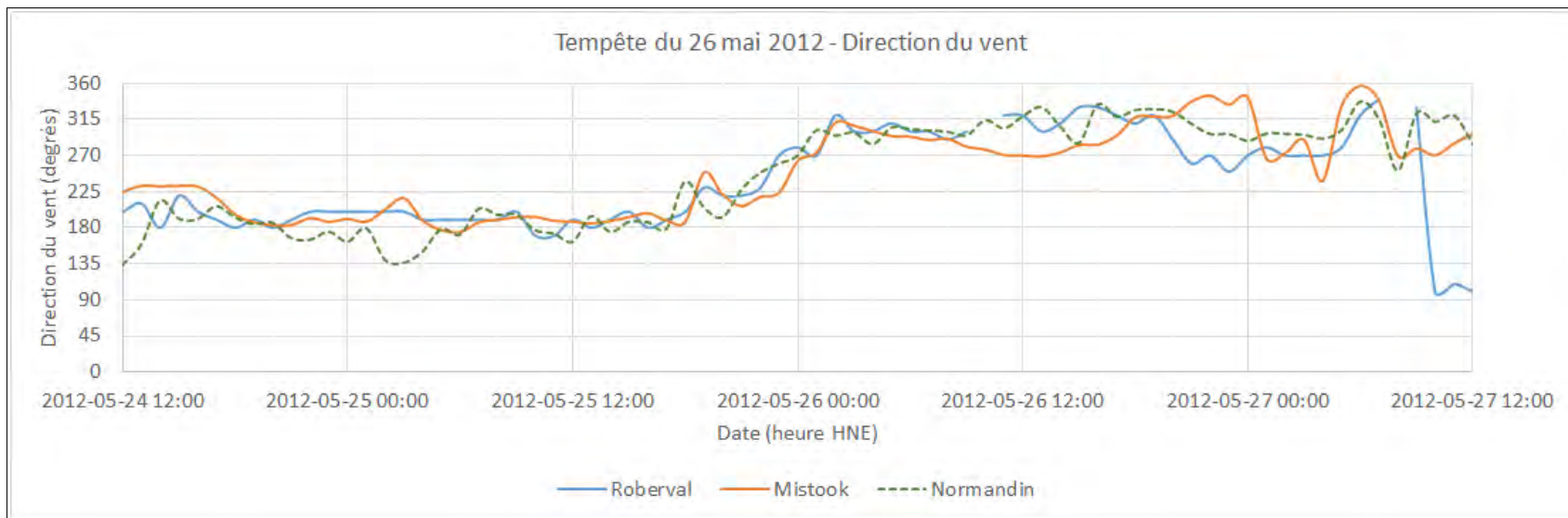


Figure C10 Direction des vents du secteur SUD - Tempête du 25 mai 2012

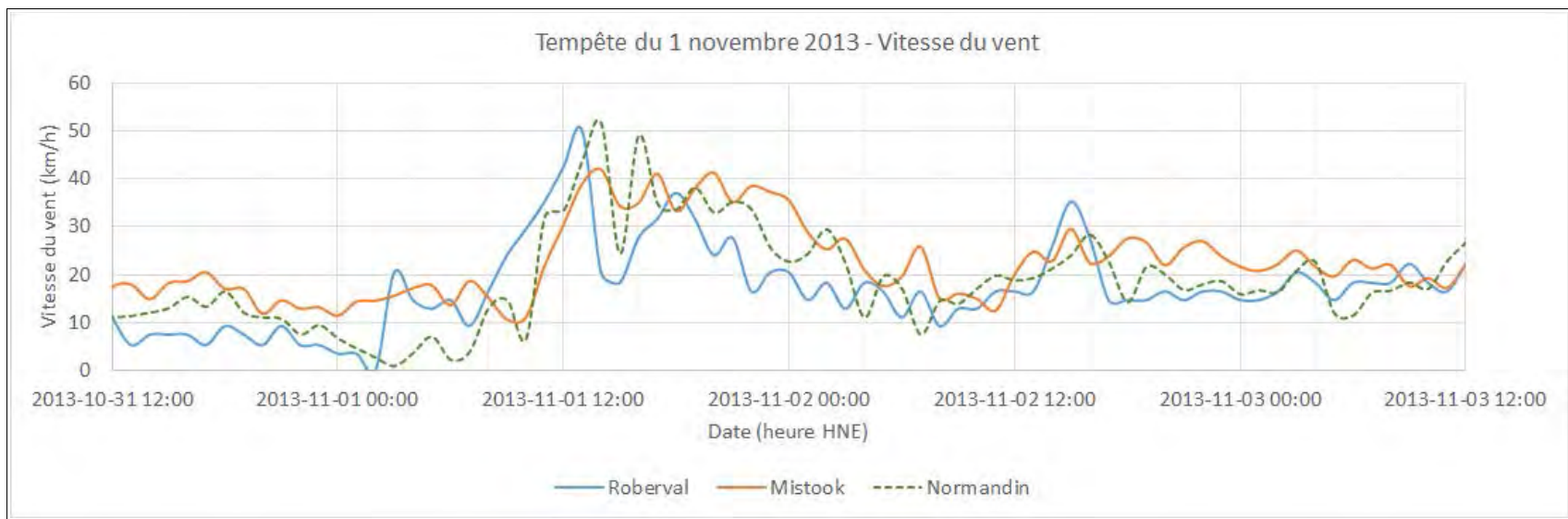


Figure C11 Vitesse des vents du secteur Sud - Tempête du 1<sup>er</sup> novembre 2013

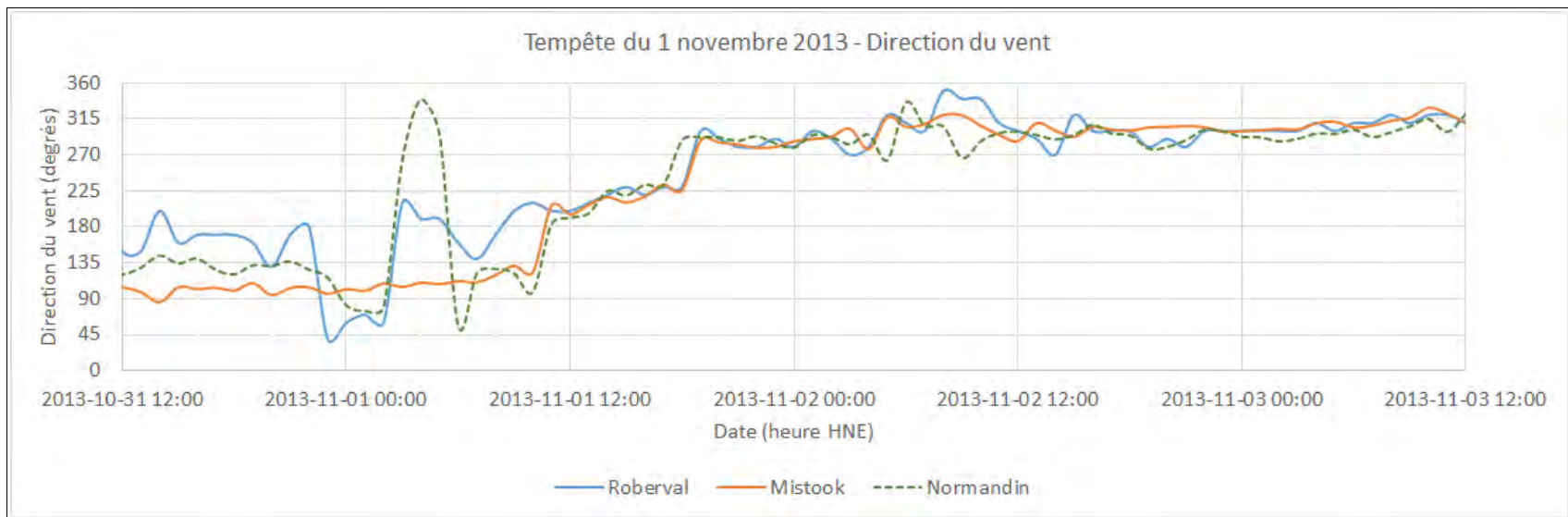


Figure C12 Direction des vents du secteur Sud - Tempête du 1<sup>er</sup> novembre 2013

**IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES  
INDICATEURS HYDROLOGIQUES À L'ÉCHELLE DU SYSTÈME  
HYDRIQUE DU SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN**

Noël Evora

Gestion des Ressources Hydriques

Page laissée blanche intentionnellement

## REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier vivement Rio Tinto Alcan de m'avoir donné l'opportunité de réaliser cette étude à Ouranos dans un environnement idéal pour mener à bien ce genre de travaux.

Je témoigne aussi de ma gratitude à tous mes collègues du comité technique du projet (cQ)<sup>2</sup> pour leur collaboration fructueuse et dévouée. Leur contribution a permis de réaliser des pas de géant en un temps record.

Je remercie aussi Ouranos d'avoir permis la mise en place d'une plateforme de collaboration entre plusieurs intervenants du monde de l'hydrologie au Québec. Le projet (cQ)<sup>2</sup> est maintenant reconnu comme un exemple de partenariat efficace et productif au Québec et ailleurs au Canada.

J'exprime mes sincères remerciements à mon collègue Marco Latraverse qui a « roulé » notre nouvelle plateforme de modélisation hydrologique Cequeau en un temps record pour obtenir les scénarios hydrologiques en contexte de changement climatique à partir de l'information fournie par les modèles climatiques.

Enfin, je ne saurais terminer sans noter la contribution de Bruno Larouche, notre chef d'équipe GRH, et de Dominique Paquin d'Ouranos. Leurs commentaires pertinents sur le contenu du rapport ont permis d'en étoffer la qualité. Une mention toute spéciale revient à Dominique pour ses excellents commentaires et suggestions principalement dans la section sur la modélisation climatique.



Page laissée blanche intentionnellement

## SOMMAIRE EXÉCUTIF

Ce rapport est le fruit du premier exercice d'évaluation de l'impact des changements climatiques sur le bassin du Saguenay réalisé dans le cadre du projet (cQ)<sup>2</sup>. Ce projet, né en novembre 2011, est une plateforme de collaboration et de partenariat développée au sein d'Ouranos. Cette plateforme regroupe le Centre d'Expertise Hydrique du Québec, Hydro-Québec, Ouranos et Rio Tinto Alcan. L'objectif du projet est de déterminer les impacts des changements climatiques sur l'hydrologie au Québec et de permettre une harmonisation des pratiques en la matière. Les conclusions d'une première analyse conjointe de l'impact des changements climatiques au Québec, menée dans le cadre de (cQ)<sup>2</sup>, ont été présentées au 5<sup>e</sup> symposium scientifique d'Ouranos en 2012.

Dans le présent rapport, le focus est mis sur le bassin du Saguenay et plus particulièrement sur les sous-bassins Passes Dangereuses (PD), Lac Manouane (LM), Lac-Saint-Jean (LSJ), Chute-du-Diable (CD) et Chute-à-la-Savane (CS). La période de référence couvre les années 1961-2000, et la période future s'étend de 2041 à 2070. Douze indicateurs hydrologiques ont été choisis, et les conclusions significatives pour le Saguenay-Lac-Saint-Jean à l'horizon 2050 en termes de changement et de probabilité d'occurrence sont fournies ci-dessous.

Débit moyen annuel	<b>Augmentation</b> 3.9% (CS) à 7.6% (LM)	Probable (PD, LSJ, CD et CS) Très probable (LM)
Débit moyen hivernal	<b>Augmentation</b> 16.8% (LM) à 34.4% (CD)	Probable (PD, LM, et LSJ) Très probable (CD et CS)
Débit moyen printanier	<b>Augmentation</b> 11.0% (CS) à 22.3% (LM)	Très probable pour le Saguenay-Lac-Saint-Jean
Débit moyen estival	<b>Diminution</b> 4.9% (LM) à 13.6% (CS)	Probable (PD, LM, LSJ et CD) Très probable (CS)
Volume de la crue printanière	<b>Augmentation</b> 5.2% (CS) à 11.4% (LM)	Probable (LSJ, CD et CS) Très probable (PD et LM)
Début de la crue printanière	<b>Plus hâtif</b> 8.5 jours (CD) à 9.3 jours (CS)	Très probable pour le Saguenay-Lac-Saint-Jean
Durée du régime hivernal	<b>Plus courte</b> 5.7 jours (CS) à 15.7 jours (LM)	Probable (LSJ et CD) Très probable (PD et LM)
Durée du régime printanier	<b>Plus longue</b> 1.7 jours (PD) à 4.1 jours (CS)	Probable pour le Saguenay-Lac-Saint-Jean

Page laissée blanche intentionnellement

## TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS .....	iii
SOMMAIRE EXÉCUTIF .....	v
TABLE DES MATIÈRES .....	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	ix
LISTE DES FIGURES.....	xi
1. INTRODUCTION .....	1
2. LA MODÉLISATION HYDROCLIMATIQUE.....	3
3. LES MODÈLES CLIMATIQUES .....	5
4. LE POST-TRAITEMENT DES SIMULATIONS CLIMATIQUES.....	10
5. LA MODÉLISATION HYDROLOGIQUE .....	12
6. LES SCÉNARIOS ET LES INDICATEURS HYDROLOGIQUES.....	14
7. L'ANALYSE DU SIGNAL DE CHANGEMENT .....	15
7.1. Ampleur du changement.....	15
7.2. Consensus sur l'ampleur du changement .....	16
8. PORTRAIT DE L'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES AU SAGUENAY.....	18
9. ANALYSE DES HYDROGRAMMES SIMULÉS .....	32
9.1. Tous les sous-ensembles climatiques (CMIP3, NARCCAP et Ouranos).....	32
9.2. Sous-ensemble climatique Ouranos .....	38
9.3. Sous-ensembles climatiques CMIP3 et NARCCAP .....	38
10. CONCLUSION .....	47
BIBLIOGRAPHIE.....	49

Page laissée blanche intentionnellement

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Sous-ensembles de simulations climatiques .....	9
Tableau 2	Indicateurs hydrologiques utilisés pour l'analyse du signal de changement.....	14
Tableau 3	Caractérisation du consensus sur l'ampleur du changement et sa probabilité d'occurrence .....	17
Tableau 4	Ampleur du changement au Saguenay-Lac-Saint-Jean.....	19

Page laissée blanche intentionnellement

## LISTE DES FIGURES

Figure 1	Les étapes de la modélisation hydroclimatique d'un bassin versant .....	4
Figure 2	La modélisation du climat (tirée de Karl and Trenberth, 2003) .....	5
Figure 3	Le schéma de production du modèle Cequeau .....	13
Figure 4	Mesure du changement entre la période de référence et la période future .....	15
Figure 5	Illustration du consensus sur l'ampleur du changement .....	16
Figure 6	Hydrogramme moyen à Passes Dangereuses en période de référence et en période future (horizon 2050) pour tous les sous-ensembles climatiques et en fonction des méthodes de post-traitement .....	33
Figure 7	Hydrogramme moyen à Lac Manouane en période de référence et en période future (horizon 2050) pour tous les sous-ensembles climatiques et en fonction des méthodes de post-traitement .....	34
Figure 8	Hydrogramme moyen à Lac-Saint-Jean en période de référence et en période future (horizon 2050) pour tous les sous-ensembles climatiques et en fonction des méthodes de post-traitement .....	35
Figure 9	Hydrogramme moyen à Chute-du-Diable en période de référence et en période future (horizon 2050) pour tous les sous-ensembles climatiques et en fonction des méthodes de post-traitement .....	36
Figure 10	Hydrogramme moyen à Chute-à-la-Savane en période de référence et en période future (horizon 2050) pour tous les sous-ensembles climatiques et en fonction des méthodes de post-traitement .....	37
Figure 11	Hydrogramme moyen à Passes Dangereuses en période de référence et en période future (horizon 2050) pour le sous-ensemble climatique Ouranos et en fonction des méthodes de post-traitement .....	39
Figure 12	Hydrogramme moyen à Lac Manouane en période de référence et en période future (horizon 2050) pour le sous-ensemble climatique Ouranos et en fonction des méthodes de post-traitement .....	40
Figure 13	Hydrogramme moyen à Lac-Saint-Jean en période de référence et en période future (horizon 2050) pour le sous-ensemble climatique Ouranos et en fonction des méthodes de post-traitement .....	41



Figure 14	Hydrogramme moyen à Chute-du-Diable en période de référence et en période future (horizon 2050) pour le sous-ensemble climatique Ouranos et en fonction des méthodes de post-traitement .....	42
Figure 15	Hydrogramme moyen à Chute-à-la-Savane en période de référence et en période future (horizon 2050) pour le sous-ensemble climatique Ouranos et en fonction des méthodes de post-traitement .....	43
Figure 16	Hydrogramme moyen aux 5 sous-bassins en période de référence et en période future (horizon 2050) pour les sous-ensembles climatiques (a) CMIP3 et (b) NARCCAP.....	44
Figure 17	Hydrogramme moyen aux 5 sous-bassins en période de référence et en période future (horizon 2050) pour les modèles (a) CM4, (b) EC4 et (c) ECO du sous-ensemble climatique CMIP3 .....	45
Figure 18	Hydrogrammes annuels atypiques aux 5 sous-bassins en période de référence pour les modèles (a) CM4, (b) EC4 et (c) ECO du sous-ensemble climatique CMIP3 .....	46

## 1. INTRODUCTION

Afin d'établir l'impact des changements climatiques sur l'hydrologie du Saguenay-Lac-Saint-Jean, Rio Tinto Alcan s'est associé à Ouranos à titre de membre affilié en octobre 2010. C'est dans ce cadre que ce rapport a été rédigé. Il fournit un portrait de l'impact des changements climatiques à l'horizon 2050 sur l'hydrologie de surface au Saguenay-Lac-Saint-Jean. Il est le fruit du premier exercice d'évaluation de l'impact des changements climatiques sur le bassin du Saguenay réalisé dans le cadre du projet (cQ)<sup>2</sup>. Ce projet<sup>1</sup>, né en novembre 2011, est une plateforme de collaboration et de partenariat développée au sein d'Ouranos. Cette plateforme regroupe le Centre d'Expertise Hydrique du Québec, Hydro-Québec, Ouranos et Rio Tinto Alcan. Le projet (cQ)<sup>2</sup> a pour objectif de déterminer les impacts des changements climatiques sur l'hydrologie au Québec et de permettre une harmonisation des pratiques au sein de la province en matière d'études d'impact des changements climatiques. Les conclusions d'une première analyse conjointe de l'impact des changements climatiques au Québec, menée dans le cadre du projet (cQ)<sup>2</sup>, ont été présentées lors du 5<sup>e</sup> symposium scientifique d'Ouranos en 2012. Ces conclusions ne tenaient compte que des scénarios hydrologiques à l'horizon 2050 obtenus avec HSAMI (utilisé par Hydro-Québec) et Hydrotel (utilisé CEHQ). En effet, pour des raisons de logistique interne, la version Matlab de Cequeau n'était pas disponible avant la tenue du 5<sup>e</sup> symposium scientifique d'Ouranos. Dès qu'elle a été opérationnelle en janvier 2013, un ensemble de 87 scénarios climatiques, fourni par Ouranos et provenant de 23 modèles climatiques, a été utilisé comme données d'entrée au modèle Cequeau pour obtenir un ensemble de 435 scénarios hydrologiques en raison du fait que les données climatiques originales et post-traitées pour corriger les biais (4 méthodes de post-traitement) ont été employées. Une analyse sommaire des scénarios climatiques permet de noter une surreprésentation des modèles climatiques globaux (avec un domaine d'intégration planétaire) puisque 73 scénarios parmi les 87 proviennent de modèles globaux.

Le portrait de l'impact des changements climatiques sur l'hydrologie de surface au Saguenay a été dressé en analysant le signal de changement tant en ce qui concerne son ampleur que le consensus sur l'ampleur du changement. En effet, le consensus entre les différents modèles climatiques est

---

<sup>1</sup> Le sigle du projet (cQ)<sup>2</sup> a été déterminé à partir de l'intitulé de l'objectif du projet qui est de déterminer l'impact des changements climatiques sur l'hydrologie (Q) au Québec.

un aspect très important de l'analyse faite au cours de cette étude. Douze indicateurs hydrologiques ont été définis et ont été analysés en période de référence (1961-2000) et en période future (2041-2070) pour estimer l'ampleur du signal de changement. En plus de l'intensité du changement (augmentation ou diminution en % ou en jour selon l'indicateur choisi), nous avons examiné le consensus entre les modèles climatiques pour qualifier le changement comme étant très probable, probable ou inexistant. Les résultats sont présentés de façon très originale sous forme de fiche individuelle pour chacun des indicateurs hydrologiques.

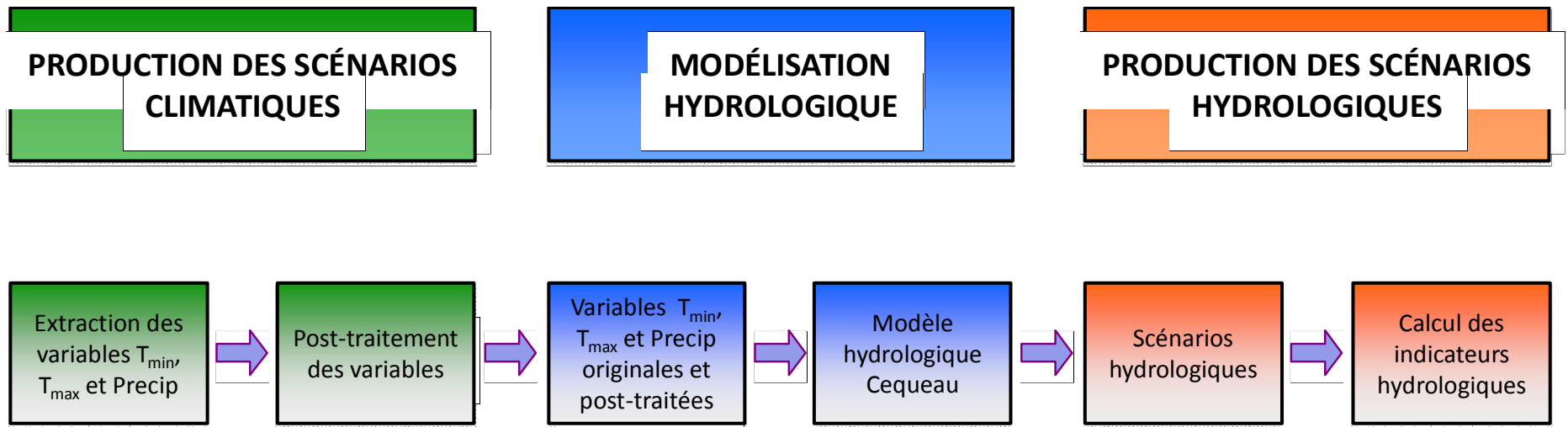
Enfin, la représentativité des hydrogrammes simulés a aussi été analysée ce qui nous a permis de constater que certains hydrogrammes simulés à partir des données provenant de 3 modèles climatiques globaux avaient des formes qui témoignaient de la mauvaise qualité ponctuelle de l'information climatique provenant de ces 3 modèles. Cependant, il est important de souligner que le nombre limité de ces hydrogrammes ne permet pas de remettre en cause les conclusions de cette étude.

## 2. LA MODÉLISATION HYDROCLIMATIQUE

La modélisation hydroclimatique d'un bassin versant comporte 3 étapes principales comme le montre la figure 1.

- **La production de scénarios climatiques** : elle consiste à extraire des données produites par des modèles climatiques. Pour chaque membre et pour chaque scénario d'émission de gaz à effet de serre (GES) et aérosols, les séries temporelles  $T_{\min}$ ,  $T_{\max}$  et Précip pour un ensemble de points de grille du modèle qui sont dans le domaine d'étude sont extraites. Ces séries font ensuite l'objet d'un traitement statistique qui permet de corriger les biais des modèles climatiques ;
- **La modélisation hydrologique** : les variables  $T_{\min}$ ,  $T_{\max}$  et Précip sont utilisées comme données d'entrée du modèle Cequeau (version Matlab avec les paramètres du modèle utilisé en prévision opérationnelle);
- **La production de scénarios hydrologiques** : En combinant les sorties directes et post-traitées de chaque modèle climatique, un total de 435 scénarios hydrologiques en période de référence (1961-2000) et en période future (2041-2070) sont générés à partir desquels les indicateurs hydrologiques sont calculés.

Ce sont les indicateurs hydrologiques qui seront utilisées pour estimer le signal de changement. Le changement moyen ainsi que le consensus entre les différents modèles serviront à la caractérisation du signal de changement.



- 87 simulations climatiques (modèles globaux et régionaux)
- 3 scénarios d'émission de gaz à effet de serre et aérosols
- 4 méthodes de post-traitement
- Période de référence: 1961-2000
- Période future: 2041-2070

- Version Matlab opérationnelle du modèle hydrologique Cequeau
- Pas de nouvel étalonnage des paramètres
- Autres modèles hydrologiques utilisés dans le cadre du projet (CQ)<sup>2</sup>
  - HSAMI (Hydro-Québec)
  - HEC-HMS (Hydro-Québec)
  - Hydrotel (CEHQ)
  - WaSim (LMU, Germany) – en cours

- 435 scénarios hydrologiques (en combinant les sorties directes des modèles climatiques et les sorties post-traitées)
- Indicateurs hydrologiques clés
- Impacts des changements climatiques (% de changement et consensus entre modèles du climat)
- Période de référence: 1961-2000
- Période future: 2041-2070

**Figure 1 Les étapes de la modélisation hydroclimatique d'un bassin versant**

### 3. LES MODÈLES CLIMATIQUES

Un modèle climatique est une représentation numérique de tous les processus physiques observés dans l'atmosphère ainsi que ceux qui régissent les interactions entre l'atmosphère et, respectivement, la surface terrestre (sol nu ou avec un couvert végétal ou neigeux), le sol en profondeur, les océans et toute autre étendue d'eau et la cryosphère (glacier, glace marine) (Figure 2). Un modèle climatique crée donc un climat virtuel qu'on espère être le plus proche possible du climat réel sur une période minimale de 30 ans.

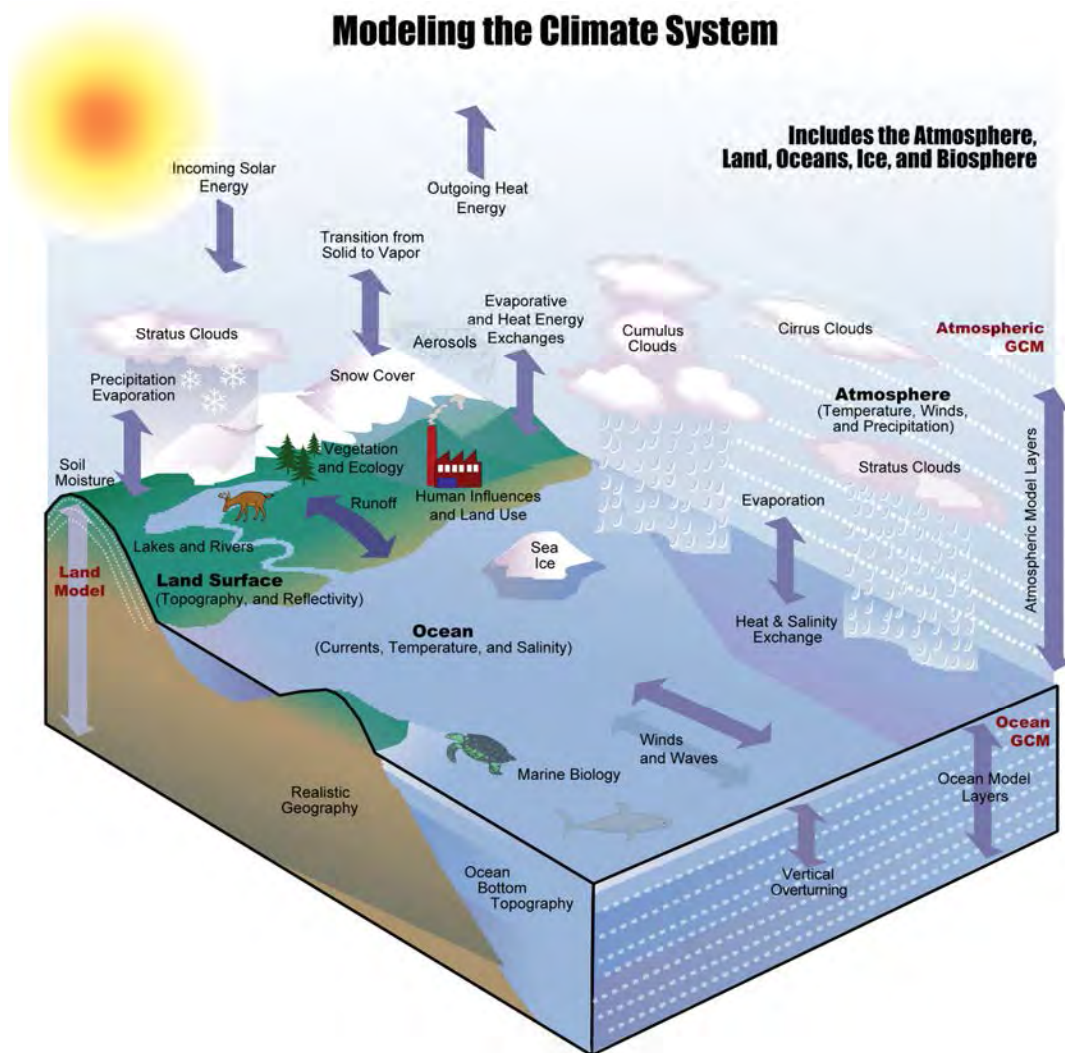


Figure 2 La modélisation du climat (tirée de Karl and Trenberth, 2003)

Contrairement à un modèle météo qui prévoit l'état de l'atmosphère dans une fenêtre d'environ 10 jours et qui vise, pour le moins, à avoir des événements synchrones dans leur apparition, un modèle climatique considère une période minimale de 30 ans au cours de laquelle les normales climatiques et leurs variabilités sont identiques entre le climat réel et le climat virtuel. Les optiques de ces deux types de modèles sont donc complètement différentes. Quand on considère le futur, on fait de la prévision météorologique en météo, et de la projection climatique en climat.

La résolution d'un modèle du climat est définie à trois niveaux : horizontal, vertical et temporel. La résolution horizontale est définie par la distance entre les empreintes au sol des points de la grille de calcul. La résolution verticale est déterminée par l'empilement des grilles de calcul (nombre de niveaux et espacement entre les niveaux) dans une colonne verticale comprenant l'atmosphère, le sol et l'océan. Elle se traduit par le nombre de niveaux verticaux et l'espacement entre ces différents niveaux. Quant à la résolution temporelle, elle est caractérisée par la durée du pas de temps de calcul du modèle numérique.

Il y a deux types principaux de modèles : les modèles globaux et les modèles régionaux. Les modèles globaux simulent le climat à l'échelle du globe terrestre. Puisque leurs domaines d'intégration est la planète, les modèles globaux ont de facto une résolution horizontale grossière en raison du volume important de données climatiques générées par le modèle climatique global. Leur maillage (empreinte au sol de la colonne atmosphérique) est de l'ordre de 200 km par 200 km. Lorsqu'on désire modéliser le climat avec une meilleure résolution horizontale, on utilise un modèle de climat régional à aire limitée. Les conditions aux frontières latérales du domaine modélisé sont fournies par le modèle global ou des observations sur grille afin de maintenir une cohérence avec la circulation générale. Pour faire des simulations de projections de changements climatiques, un modèle régional est généralement piloté<sup>2</sup> par un modèle global. Comme le domaine modélisé est assez limité, la modélisation des processus atmosphériques peut se faire à une résolution beaucoup plus fine que celle du pilote. La résolution horizontale d'un modèle régional est de l'ordre de 15-50 km (Teutschbein et Seibert, 2010).

---

<sup>2</sup> Un modèle régional peut être piloté par un modèle global, des réanalyses, un modèle régional de résolution plus grossière ou même par lui-même en cascade.

Quand on parle de changements climatiques dans le présent contexte, il faut préciser que l'on parle de l'impact des activités humaines sur le climat. Cet impact de nature anthropique s'ajoute à la variabilité naturelle du climat. En effet, le climat est appelé à varier de façon naturelle d'une période à une autre et cette incertitude ne peut être éliminée car elle sera toujours présente dans les années futures. Une projection climatique est une simulation numérique de l'évolution du climat en fonction de différents scénarios des futures émissions de GES et d'aérosols dans l'atmosphère, lesquels provoquent les changements climatiques. C'est une évolution plausible du climat puisque deux facteurs principaux dictent l'évolution de ces concentrations de GES : le développement économique et technologique ainsi que la croissance de la population mondiale. En fin de compte, on essaie de déterminer si les concentrations de GES et d'aérosols décrites par un scénario d'émission affecteront les normales climatiques d'une région et leurs variabilités.

Un ensemble de 87 simulations climatiques provenant de 23 modèles climatiques ont été utilisées au cours de cette étude. Le tableau 1 fournit des détails sur la provenance et les caractéristiques de base de ces simulations. Trois sous-ensembles climatiques ont servi de base de données lors de l'extraction des simulations climatiques :

- **CMIP3** (Coupled Model Intercomparison Project - Phase 3)
- **NARCCAP** (North American Regional Climate Change Assessment Program)
- **Ouranos** (Consortium sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques)

Soixante-treize (73) simulations climatiques proviennent de CMIP3. Ces simulations ont été produites par 15 modèles globaux provenant de 8 pays. Les scénarios GES possibles sont A1B, A2 et B1. Dix modèles parmi les quinze ont été exécutés avec les 3 scénarios GES alors que cinq modèles ont utilisé 2 scénarios GES sur les 3. Plusieurs membres ont été utilisés dans le cas de quatre modèles globaux (CCCMA CGCM3.1, MIUB ECHO G, MIROC3.2 MEDRES et MRI CGCM2.3.2a) parmi les 15. Pour de plus amples informations sur CMIP3, consulter Meehl et al. (2007).

Le sous-ensemble NARCCAP a été mis à contribution pour un total de 5 simulations climatiques qui ont été générées par 3 modèles climatiques régionaux. L'ensemble des pilotes est constitué par un groupe de 4 modèles globaux qui comprennent le modèle canadien CGCM3.1, deux modèles



américains (NOAA et UCAR), et le modèle anglais du Hadley Centre au Met Office. Le scénario GES A2 est le seul qui a été employé. Une excellente source d'information pour avoir plus de détails sur NARCCAP est l'article de Mearns et al. (2009).

Le dernier sous-ensemble, Ouranos, fournit 9 simulations climatiques provenant toutes du modèle régional canadien du climat, version 4.2.3 (Music et Caya, 2007) piloté respectivement par le modèle canadien CGCM3.1, le modèle français CM3 du CNRM et le modèle allemand ECHAM5. Dans le cas du modèle canadien et du modèle allemand, plusieurs membres ont été utilisés. Cependant, pour toutes les simulations de ce sous-ensemble, seul le scénario GES A2 a été employé.

Une analyse sommaire des détails ci-dessus nous permet de constater qu'il y a une surreprésentation des modèles globaux (83.9%) par rapport aux modèles régionaux (16.1%). Toutes les simulations climatiques ont été extraites et mises en forme par Marco Braun de l'équipe Scénarios climatiques d'Ouranos.

**Tableau 1 Sous-ensembles de simulations climatiques**

S-ensemble	Modèle global (pilote)	Centre	Modèle régional	Centre	Pays	Scénario GES		Simulation
						Type	Nombre	
CMIP3	1. GISS AOM	NASA / Goddard Institute for Space Studies	--	--	USA	B1 A1B A2	2	2
	2. BCCR BCM2.0	Bjerknes Centre for Climate Research	--	--	Norvège		2	2
	3. CSIRO MK3.0	CSIRO Atmospheric Research	--	--	Australie		3	3
	4. CSIRO MK3.5	CSIRO Atmospheric Research	--	--	Australie		3	3
	5. CCCMA CGCM3.1 t63	Canadian Centre for Climate Modelling & Analysis (CCCMA)	--	--	Canada		2	2
	6. CCCMA CGCM3.1	CCCMA	--	--	Canada		3	15
	7. GFDL CM2.0	NOAA / Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL)	--	--	USA		3	3
	8. IPSL CM4	Institut Pierre Simon Laplace	--	--	France		3	3
	9. CNRM CM3	Météo-France / Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM)	--	--	France		3	3
	10. INGV ECHAM4	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia	--	--	Italie		2	2
	11. ECHAM5	Max Planck Institute for Meteorology	--	--	Allemagne		3	3
	12. MIUB ECHO G	Meteorological Institute of the University of Bonn, Meteorological Research Institute of KMA, and Model and Data group	--	--	Allemagne/Corée		3	9
	13. MIROC3.2 HIRES	Center for Climate System Research (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Frontier Research Center for Global Change (JAMSTEC)	--	--	Japon		2	2
	14. MIROC3.2 MEDRES	CCSR (The University of Tokyo), NIES, and JAMSTEC	--	--	Japon		3	6
	15. MRI CGCM2.3.2a	Meteorological Research Institute	--	--	Japon		3	15
NARCCAP	16. CCCMA CGCM3.1	CCCMA	CRCM4	Ouranos / UQÀM	Canada/Canada	A2	1	1
	17. CCCMA CGCM3.1	CCCMA	RCM3	University of California (UC), Santa Cruz	Canada/USA		1	1
	18. GFDL CM2.0	NOAA / GFDL	RCM3	UC, Santa Cruz	USA/USA		1	1
	19. CCSM	Community Climate System Model / UCAR	CRCM4	Ouranos / UQÀM	USA/Canada		1	1
	20. HADCM3	Met Office Hadley Centre	HRM3	Met Office Hadley Centre	Angleterre/Angleterre		1	1
Ouranos	21. CCCMA CGCM3.1	CCCMA	CRCM4	Ouranos / UQÀM	Canada/Canada	A2	1	5
	22. CNRM CM3	Météo-France / CNRM	CRCM4	Ouranos / UQÀM	France/Canada		1	1
	23. ECHAM5	Max Planck Institute for Meteorology	CRCM4	Ouranos / UQÀM	Allemagne/Canada		1	3

## 4. LE POST-TRAITEMENT DES SIMULATIONS CLIMATIQUES

Il est bien connu que les modèles de climat génèrent des séries climatiques qui comportent des biais. Ces biais sont des erreurs systématiques causées par une conceptualisation imparfaite des processus physiques modélisés ainsi que par la discrétisation de l'espace modélisé et la moyenne spatiale qui est faite à l'intérieur des tuiles du modèle (Teutschbein et Seibert, 2010). Par exemple, après avoir comparé le climat virtuel généré par un modèle au climat récent des 30 à 40 dernières années, on peut constater que les températures estivales sont en moyenne plus froides en climat virtuel qu'en climat récent. Dans ce cas, le modèle comporte un biais froid pour la température estivale. Ce biais froid doit être corrigé pour assurer la cohérence avec le climat récent et permettre d'avoir un climat virtuel réaliste.

Le post-traitement des simulations climatiques dont il est question ici a donc pour objectif de corriger les biais présents dans les séries climatiques. Les méthodes de post-traitement sont regroupées dans 2 grandes familles :

- **Correction de biais**
- **Perturbation des observations**

Toutes les méthodes de post-traitement font une hypothèse assez forte de stationnarité du biais en stipulant que le biais en climat récent est identique au biais en climat futur. Pour chacune des familles, 2 méthodes de post-traitement ont été employées pour lesquelles des facteurs de correction ou des facteurs de perturbation sont déterminés.

Les facteurs de correction de la famille Correction de biais sont estimés en comparant les statistiques des séries observée et simulée en période de référence. Une fois estimés, les facteurs de correction sont appliqués à la série climatique en période future. Les 2 méthodes de correction de biais sont : (1) la **correction des fréquences et de la moyenne** (Schmidli et al., 2006), dénommée LOCI (*Local Intensity Scaling*); (2) la **correction par les différences de quantiles des biais** (Wood et al., 2004), dénommée CQT (*daily translation bias correction*, correction de biais – quantiles).

Les facteurs de perturbation sont déterminés en comparant les statistiques des séries climatiques simulées en période de référence et en période future. La série historique observée en période de référence est ensuite “perturbée” ou “mise à l’échelle” par l’emploi des facteurs de perturbation déterminés précédemment pour produire la série climatique de la période future. Les 2 méthodes de perturbation des observations sont : (1) la **perturbation par différence des moyennes mensuelles**, dénommée PDM (*Constant Scaling*, perturbation deltas mensuels); (2) la **perturbation par des différences de quantiles**, dénommée PQT (*daily translation bias correction*, perturbation quantiles).

La correction de biais permet de conserver la dynamique du processus générée par les modèles de climat. Il est admis que les biais des périodes de référence et future sont identiques. Les méthodes de perturbation des observations préservent la variance entre les séries observées et simulées en période future en raison du fait que la correction est tout simplement une mise à l’échelle des observations. Par le fait même, les caractéristiques principales des séquences des évènements (fréquence et variance) demeurent elles aussi inchangées. Pour les deux familles de correction, on peut noter qu’il y a une perte de cohérence physique entre les variables climatiques simulées par le modèle du climat. En effet, toutes les corrections effectuées sont de type univarié et non multivarié. Le post-traitement ne tient pas compte de la symbiose dans l’évolution des différentes variables climatiques. Il est réalisé pour une seule variable climatique indépendamment des autres variables.

Tous les facteurs de correction des quatre méthodes de post-traitement ont été calculés par Marco Braun d’Ouranos. Les grilles NLWIS (*National Land and Water Information Service*) ont été utilisées comme données historiques pour le post-traitement des scénarios climatiques du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Les grilles NLWIS ont été obtenues par interpolation spatiale par splines avec le logiciel ANUSPLIN. Leur résolution est de 10 km par 10 km. Les grilles NLWIS pour le secteur du Saguenay-Lac Saint Jean ont été extraites à Ouranos (travail d’extraction des grilles effectué par Blaise Gauvin St-Denis).

## 5. LA MODÉLISATION HYDROLOGIQUE

Notre modèle hydrologique opérationnel **Cequeau** a été employé pour simuler les débits du système hydrique du Saguenay-Lac-Saint-Jean en période de référence (1961-2000) et en période future (2041-2070). Le modèle n'a pas été ré-étalonné, les paramètres du modèle de prévision hydrologique opérationnelle ayant été utilisés.

Cequeau est un modèle hydrologique déterministe qui simule la quantité et la qualité de l'eau en rivière à un pas de temps choisi dans la gamme suivante : 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12, 24 heures (journalier). C'est un modèle conceptuel à bilan distribué qui tient compte des caractéristiques physiographiques d'un bassin versant ainsi que leurs variations spatiales et temporelles grâce à une schématisation du bassin réalisée par une série de deux découpages. Le premier découpage subdivise le bassin versant en surfaces élémentaires de forme carrée que l'on appelle **carreaux entiers**. Les données physiographiques de chaque carreau entier sont l'altitude et le pourcentage de forêt, de lac et de marais respectivement. Le deuxième découpage subdivise les carreaux entiers en fonction de la ligne de partage des eaux pour donner des **carreaux partiels** dont les attributs principaux sont le sens de l'écoulement de l'eau et son pourcentage de superficie par rapport au carreau entier qu'il subdivise. Un carreau entier peut compter un maximum de quatre carreaux partiels.

Le modèle Cequeau réalise une transformation pluie-débit par l'entremise d'un schéma de production qui décrit l'écoulement de l'eau vers l'exutoire du bassin versant (Figure 3). Ce schéma comporte deux fonctions principales : une **fonction de production** et une **fonction de transfert**. La fonction de production qui est calculée sur chaque carreau entier et à chaque pas de temps concerne l'écoulement vertical de l'eau dont les principales composantes sont la précipitation, la fonte de la neige, l'évapotranspiration, l'infiltration et les variations des réserves superficielles et profondes. La fonction de production fait donc un bilan hydrologique au niveau du carreau entier. L'eau produite au niveau des carreaux entiers doit ensuite être acheminée dans le réseau de drainage. Ce rôle est dévolu à la fonction de transfert qui achemine l'eau de carreau partiel à carreau partiel jusqu'à l'exutoire du bassin versant.

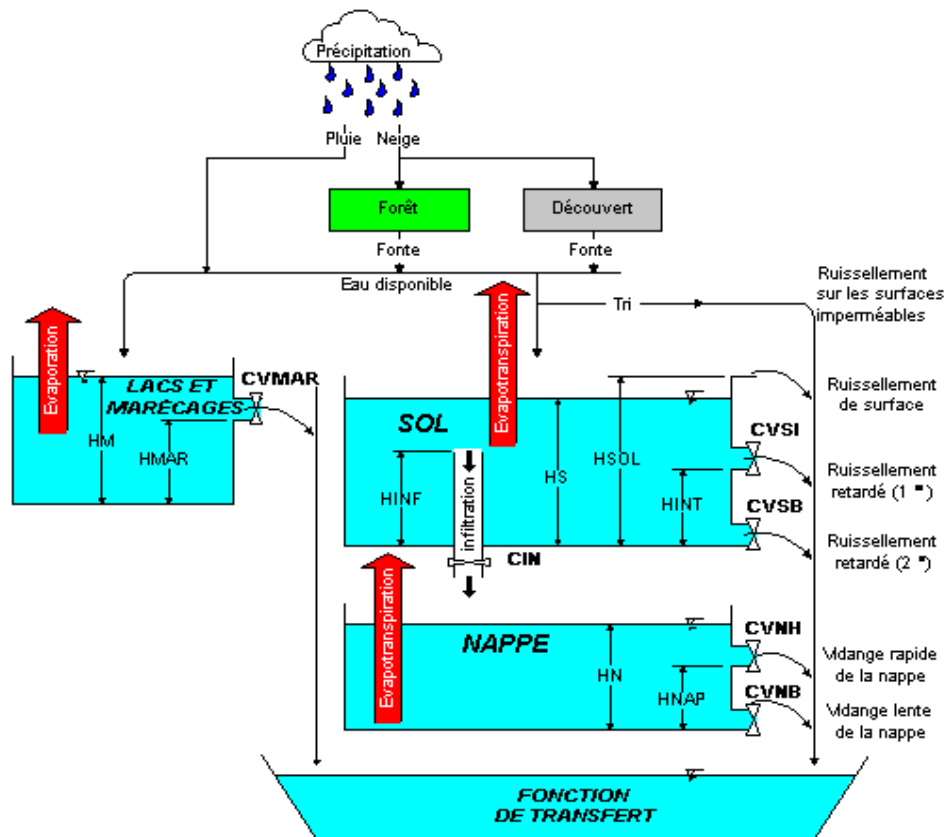


Figure 3 Le schéma de production du modèle Cequeau

Les cinq sous-bassins principaux du système hydrique du Saguenay-Lac-Saint-Jean ont été considérés :

- Passes Dangereuses (PD)
- Lac Manouane (LM)
- Lac Saint-Jean (LSJ)
- Chute-du-Diable (CD)
- Chute-à-la-Savane (CS)

La résolution des carreaux entiers est de 10 km par 10 km. Seuls les débits à l'exutoire de ces cinq sous-bassins ont été conservés en raison de l'espace de stockage important si on devait garder toutes les variables d'état simulées par Cequeau. Ce sont donc uniquement les chroniques de débit à l'exutoire des 5 sous-bassins qui ont servi à évaluer les impacts des changements climatiques à l'horizon 2050.

## 6. LES SCÉNARIOS ET LES INDICATEURS HYDROLOGIQUES

Les sorties directes et post-traitées (4 méthodes de post-traitement) des 87 scénarios climatiques en périodes de référence et future pour le système hydrique du Saguenay-Lac-Saint-Jean sont utilisées comme données d'entrée (températures minimale et maximale et précipitation) du modèle Cequeau. Ces données sont fournies à des points de grille et doivent être interpolées pour chaque carreau entier d'un bassin versant. Une méthode simple d'**interpolation par voisin le plus proche** a été préférée. En bout de ligne, on obtient un total de **435 scénarios hydrologiques** (87 × 5) pour les périodes de référence et future respectivement. Pour analyser le signal de changement, douze **indicateurs hydrologiques** ont été considérés et sont fournis au tableau 2.

**Tableau 2 Indicateurs hydrologiques utilisés pour l'analyse du signal de changement**

Indicateurs hydrologiques	Commentaires
Débit moyen annuel	L'année civile a été utilisée (1 <sup>er</sup> janvier au 31 décembre)
Débit moyen hivernal	Des saisons fixes ont été considérées : Hiver : Décembre-Janvier-Février Printemps : Mars-Avril-Mai Été : Juin-Juillet-Août Automne : Septembre-October-Novembre
Débit moyen printanier	
Débit moyen estival	
Débit moyen automnal	
Volume de la crue printanière	
Débit maximal de la crue printanière	Un code Matlab de l'IREQ développé à partir des algorithmes de Guenther Pacher a été utilisé. Pour estimer les dates de changement de régime, quatre points d'inflexion sont identifiés sur l'hydrogramme moyen cumulatif (HMC). Pour chaque hydrogramme annuel, la date de ces points d'inflexion est optimisée par une fonction de perte.
Date de départ de la crue printanière	
Durée du régime hivernal	
Durée du régime printanier	
Durée du régime estival	
Durée du régime automnal	

## 7. L'ANALYSE DU SIGNAL DE CHANGEMENT

Pour caractériser le signal de changement, nous utiliserons deux mesures : l'ampleur du changement et le consensus sur l'ampleur du changement.

### 7.1. Ampleur du changement

Considérons le cas de figure suivant et admettons que l'indicateur hydrologique soit le débit moyen annuel,  $Q_{\text{moy}}$  d'un bassin versant. Pour chacun des 435 scénarios hydrologiques, on peut tracer une chronique de débit moyen annuel pour la période de référence et pour la période future respectivement, comme le montre la figure 4. La différence de moyenne entre les deux séries chronologiques,  $\Delta Q_{\text{moy}}$ , est la mesure du changement entre la période de référence et la période future pour un scénario hydrologique. Disposant de 435 mesures de changement, l'ampleur du changement correspond à la médiane de la distribution empirique des mesures de changement.

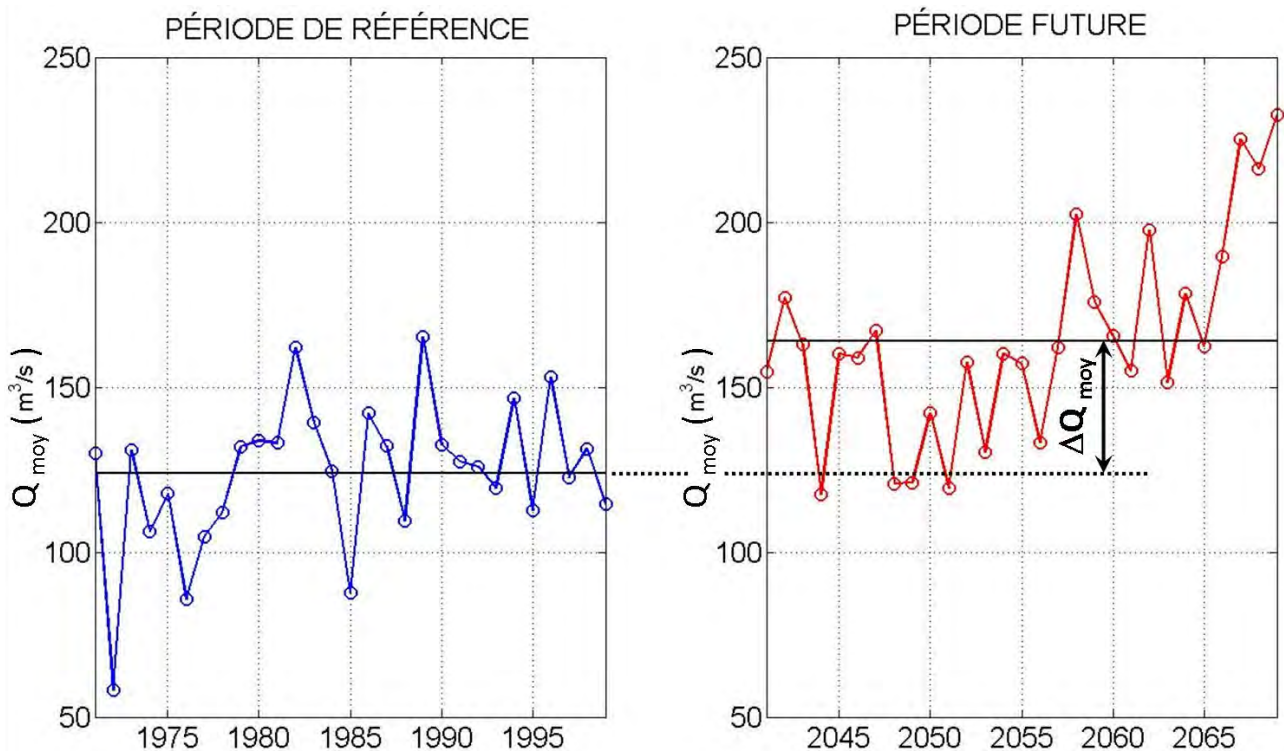


Figure 4 Mesure du changement entre la période de référence et la période future



## 7.2. Consensus sur l'ampleur du changement

Pour un indicateur hydrologique donné, les 435 mesures de changement peuvent être analysées en les regroupant en fonction du modèle climatique dont proviennent les données d'entrée (originales et post-traitées). Étant donné qu'il n'y a pas de degré de liberté au niveau du modèle hydrologique Cequeau, on peut plus facilement voir si les 23 modèles climatiques concordent entre eux et pointent vers la même direction en ce qui concerne le changement anticipé du climat. Cette information est très importante à considérer. En effet, examinons le cas de figure théorique suivant pour lequel le changement médian est de 0%. Par contre, en considérant le consensus entre les modèles climatiques, on remarque que la moitié des modèles climatiques fournissent un changement médian positif de 25% alors que l'autre moitié indique un changement médian négatif de -25% (on suppose que les scénarios sont également répartis entre les deux groupes).

Pour évaluer le consensus sur l'ampleur du changement pour un sous-bassin donné, des boîtes à moustaches du changement par modèle climatique seront fournies (Figure 5). Les points isolés dans cette figure sont considérés comme des données aberrantes au vu de la distribution empirique des données.

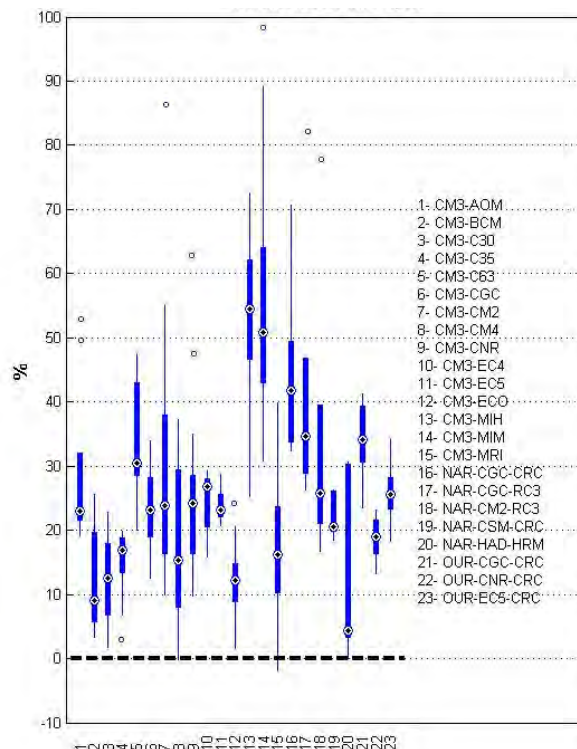







Figure 5 Illustration du consensus sur l'ampleur du changement

On calculera aussi le pourcentage de valeurs positives ( $\Delta > 0$ ) de changement pour caractériser le consensus entre les modèles en termes de probabilité d'occurrence du changement au moyen d'un code de couleur (Tableau 3).

**Tableau 3 Caractérisation du consensus sur l'ampleur du changement et sa probabilité d'occurrence**

$\Delta > 0$	Consensus/Probabilité d'occurrence	Code de couleur
Entre 90% et 100%	Augmentation très probable	
Entre 66% et 90%	Augmentation probable	
Entre 33% et 66%	Pas de consensus	
Entre 10% et 33%	Diminution probable	
Entre 0 et 10%	Diminution très probable	

## 8. PORTRAIT DE L'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES AU SAGUENAY

Dans les pages suivantes, chaque indicateur hydrologique est passé en revue et un portrait de l'impact des changements climatiques pour le système hydrique du Saguenay-Lac-Saint-Jean est dressé sous la forme d'une fiche par indicateur. Celle-ci comporte :

- Un diagramme en bâtons de l'ampleur du changement pour l'indicateur hydrologique en question. Les bâtons des bassins en amont (PD et LM) sont en jaune tandis que ceux des bassins en aval (LSJ, CD et CS) sont en bleu ciel.
- Des boîtes à moustaches du changement par modèle climatique ce qui donne une indication sur la variabilité et l'incertitude associées au changement et sur le consensus sur l'ampleur du changement. Les sigles<sup>3</sup> des 23 modèles climatiques sont les suivants :

1. CM3-AOM	6. CM3-CGC	11. CM3-EC5	16. NAR-CGC-CRC	21. OUR-CGC-CRC
2. CM3-BCM	7. CM3-CM2	12. CM3-ECO	17. NAR-CGC-RC3	22. OUR-CNR-CRC
3. CM3-C30	8. CM3-CM4	13. CM3-MIH	18. NAR-CM2-RC3	23. OUR-EC5-CRC
4. CM3-C35	9. CM3-CNR	14. CM3-MIM	19. NAR-CSM-CRC	
5. CM3-C63	10. CM3-EC4	15. CM3-MRI	20. NAR-HAD-HRM	

- Un degré de probabilité d'occurrence du changement qui correspond à la couleur de fond du sigle de chaque sous-bassin; c'est le pourcentage des valeurs positives de changement qui est l'information de base utilisée (voir Tableau 3).
- L'ampleur du changement (en % ou en jours selon l'indicateur hydrologique) et l'écart-type  $s$  de la distribution empirique des 435 valeurs de changement pour chacun des sous-bassins.
- Une carte de l'ampleur du changement et une carte du consensus qui ont été obtenues à partir des scénarios hydrologiques du modèle HSAMI d'Hydro-Québec<sup>4</sup>.
- Une note explicative.

<sup>3</sup> CM3, NAR et OUR désignent respectivement CMIP3, NARCCAP et OURANOS (voir tableau 1).

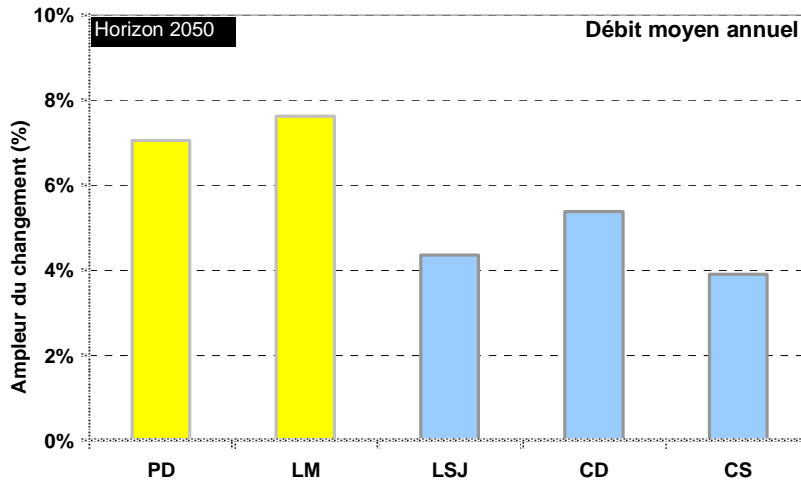
<sup>4</sup> Ces cartes ont été obtenues dans le cadre du projet (cQ)<sup>2</sup> auquel RTA participe. Elles ont été présentées lors du 5<sup>e</sup> symposium scientifique d'Ouranos tenu du 19 au 21 novembre 2012 à Montréal (Cœur des sciences, Université du Québec à Montréal).

Le tableau 4 est un récapitulatif de l'ampleur du changement à chaque grand sous-bassin du Saguenay-Lac-Saint-Jean et pour chacun des indicateurs hydrologiques considérés.

**Tableau 4 Ampleur du changement au Saguenay-Lac-Saint-Jean**

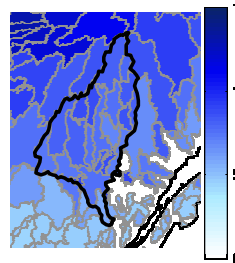
Indicateur hydrologique	PD	LM	LSJ	CD	CS
Débit moyen annuel	7.1%	7.6%	4.4%	5.4%	3.9%
Débit moyen hivernal	21.4%	16.8%	24.2%	34.4%	29.5%
Débit moyen printanier	18.6%	22.3%	15.6%	19.2%	11.0%
Débit moyen estival	-6.2%	-4.9%	-10.4%	-11.7%	-13.6%
Débit moyen automnal	7.0%	7.2%	1.6%	2.1%	0.4%
Volume de la crue printanière	8.8%	11.4%	8.2%	9.4%	5.2%
Débit maximal de la crue printanière	2.7%	5.5%	1.3%	1.6%	1.1%
Départ de la crue printanière (jour)	-8.7	-8.9	-8.8	-8.5	-9.3
Durée du régime hivernal (jour)	-14.9	-15.7	-9.3	-6.8	-5.7
Durée du régime printanier (jour)	1.7	3.0	3.8	3.8	4.1
Durée du régime estival (jour)	4.2	3.5	3.5	9.4	5.4
Durée du régime automnal (jour)	8.6	9.3	0.2	-8.2	-4.4

## DÉBIT MOYEN ANNUEL

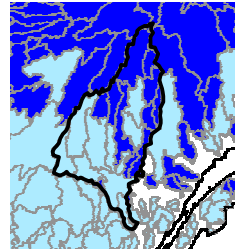


À l'horizon 2050, le débit moyen annuel **augmenterait de 3.9% (CS) à 7.6% (LM)**. L'augmentation est plus prononcée pour les sous-bassins en amont (en jaune) comparativement aux sous-bassins en aval (en bleu ciel). La variabilité est assez grande avec des valeurs s'échelonnant globalement entre - 16.0% et 25.3% pour l'ensemble des sous-bassins. Le consensus est assez élevé puisque la majorité des modèles climatiques projette un changement positif. L'augmentation du débit annuel est qualifiée de **probable pour PD, LSJ, CD et CS** et de **très probable pour LM**. Ce portrait obtenu avec Cequeau est très semblable à celui dressé par HSAMI tant en ce qui concerne l'ampleur du changement que le consensus.

### HSAMI (Ampleur)

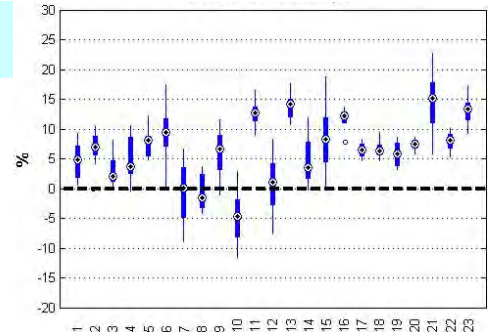


### HSAMI (Consensus)



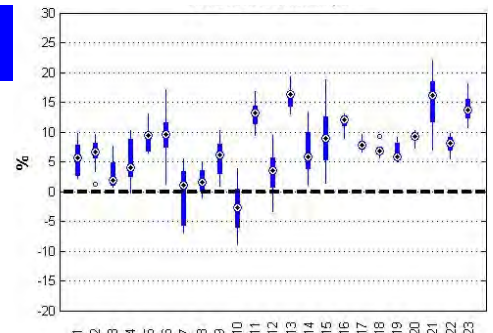
### PD

7.1  
s =  
5.8



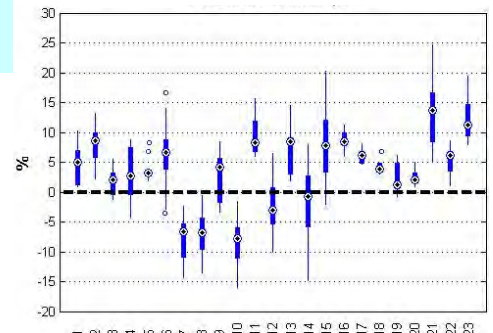
### LM

7.6  
s =  
5.3



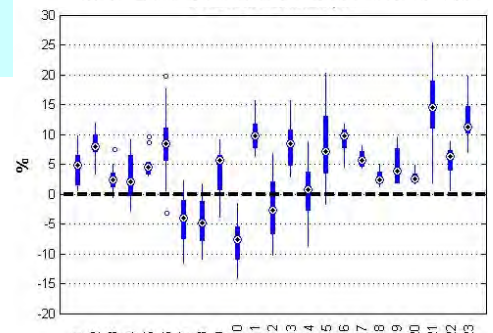
### LSJ

4.4  
s =  
7.1



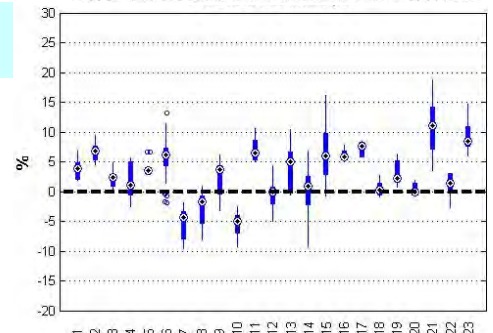
### CD

5.4  
s =  
7.0

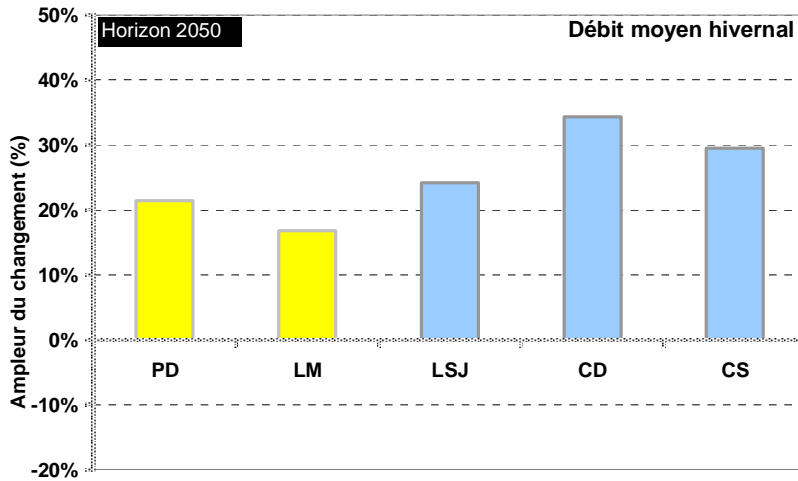


### CS

3.9  
s =  
5.0

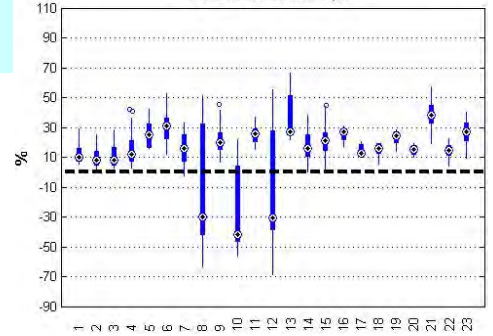


## DÉBIT MOYEN HIVERNAL



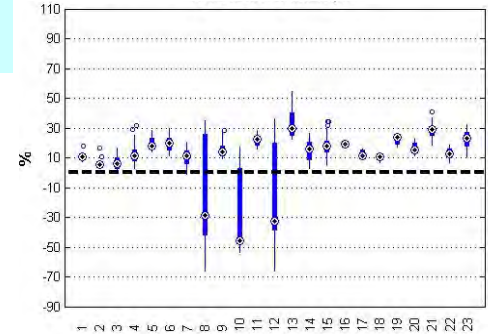
PD

21.4  
s = 23.5



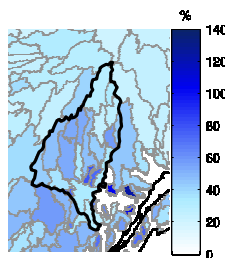
LM

16.8  
s = 20.0



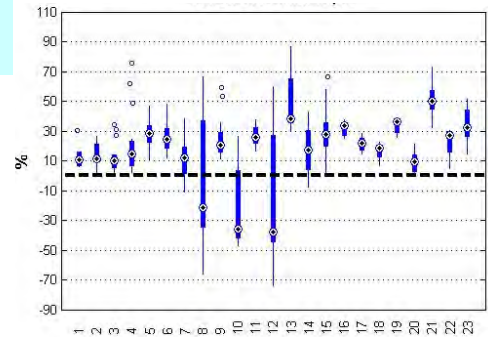
À l'horizon 2050, le débit moyen hivernal **augmenterait de 16.8% (LM) à 34.4% (CD)**. L'augmentation est plus prononcée pour les sous-bassins en aval. Bien que plus réduite à LM, la variabilité du changement est très grande pour les 5 sous-bassins, avec des valeurs comprises entre - 82.8% et 105.6%. Il y a un fort consensus sur l'ampleur du changement. L'augmentation du débit annuel hivernal est **probable pour PD, LM, et LSJ** (à un cheveu d'être très probable) et **très probable pour CD et CS**. Cet indicateur a un comportement singulier pour les scénarios obtenus avec les modèles climatiques 8, 10 et 12 (CMIP3). Même si les valeurs sont plus élevées en aval, HSAMI dresse un portrait quasi identique pour l'ampleur du changement avec un gradient amont-aval. Pour le consensus, le portrait de HSAMI est très proche de celui de Cequeau même si contrairement à Hydro-Québec, nous avons une période d'hiver fixe.

HSAMI (Ampleur)

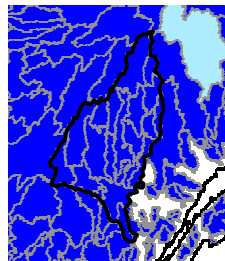


LSJ

24.2  
s = 26.2

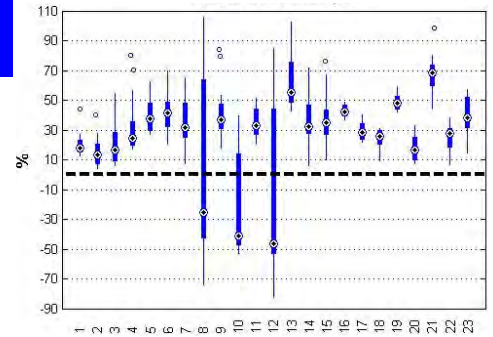


HSAMI (Consensus)



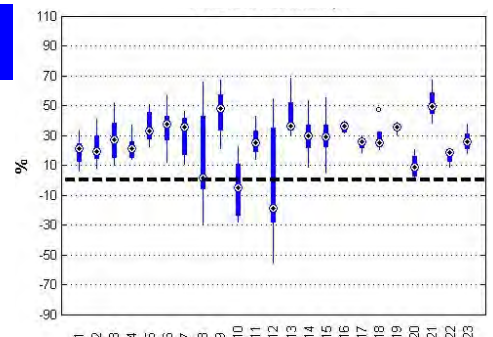
CD

34.4  
s = 32.7

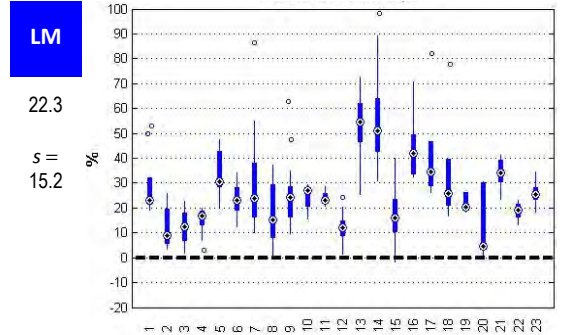
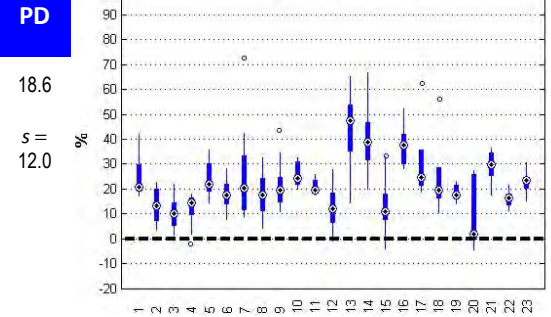
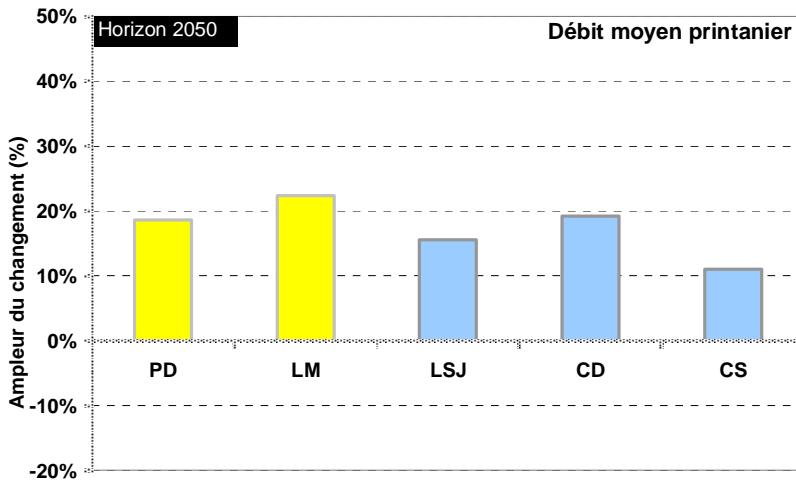


CS

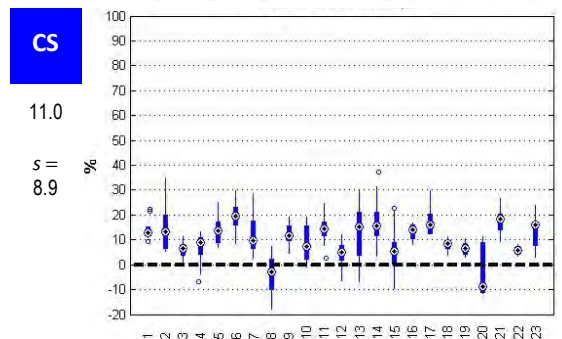
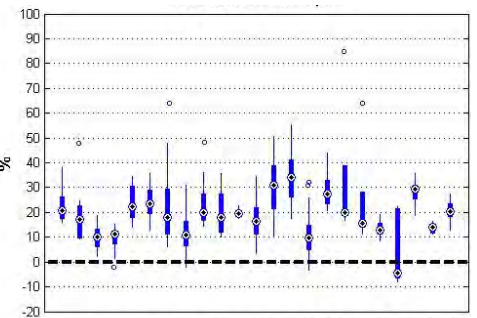
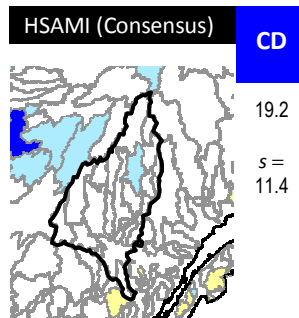
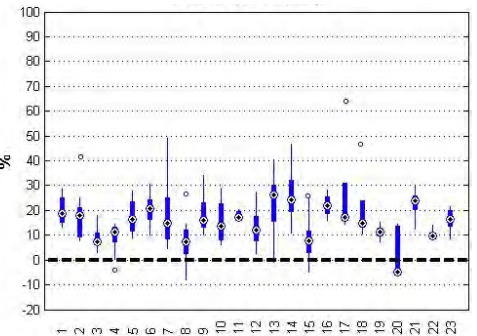
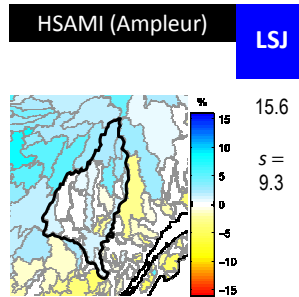
29.5  
s = 21.5



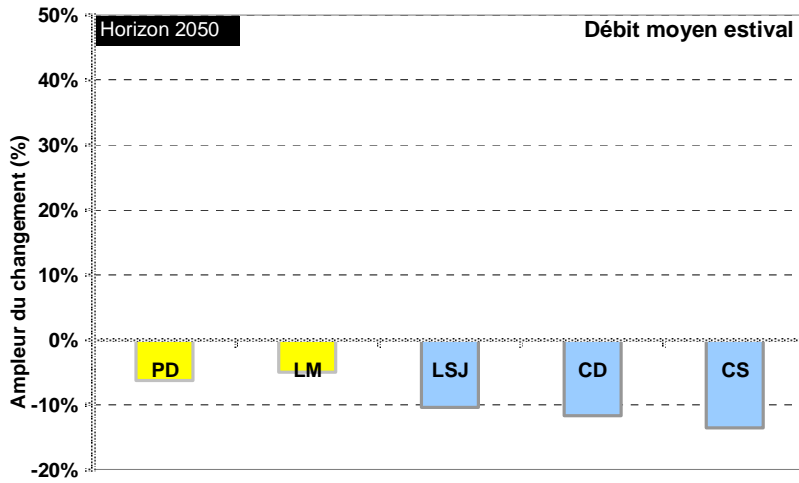
## DÉBIT MOYEN PRINTANIER



À l'horizon 2050, le débit moyen printanier **augmenterait de 11.0% (CS) à 22.3% (LM)**. L'augmentation est légèrement plus élevée en aval qu'en amont du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Bien qu'elle soit plus réduite en aval, la variabilité du changement demeure encore élevée, avec des valeurs comprises globalement entre - 17.7% et 98.4%. Le consensus sur l'ampleur du changement est très fort pour tous les bassins. **L'augmentation du débit annuel printanier est très probable pour PD, LM, LSJ, CD et CS.** HSAMI projette un changement de moindre ampleur comparé à Cequeau. Il est important de signaler qu'Hydro-Québec n'utilise pas de période fixe pour les régimes saisonniers. Pour le consensus, il est très fort pour Cequeau tandis que HSAMI n'a pas de consensus sur l'ampleur du changement hormis la portion amont de PD pour laquelle l'augmentation est probable.



## DÉBIT MOYEN ESTIVAL



À l'horizon 2050, le débit moyen estival **diminuerait de 4.9% (LM) à 13.6% (CS)**. Cette diminution est plus prononcée en aval qu'en amont du Saguenay-Lac-Saint-Jean. La variabilité du changement demeure assez constante d'un bassin à un autre, avec des valeurs comprises globalement entre - 52.7% et 45.7%. Le consensus sur l'ampleur du changement est assez fort pour tous les bassins. La **diminution du débit annuel estival est probable pour PD, LM, LSJ et CD et très probable pour CS**. Le portrait dressé par HSAMI n'est pas disponible.

HSAMI (Ampleur)

Non disponible

HSAMI (Consensus)

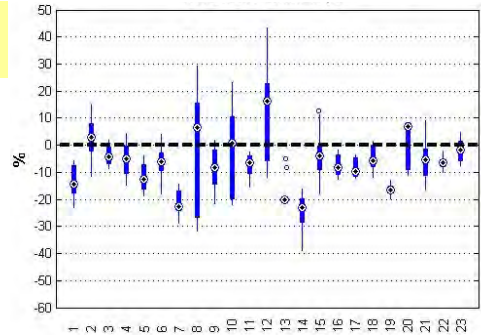
Non disponible

PD

-6.2

s =

12.1

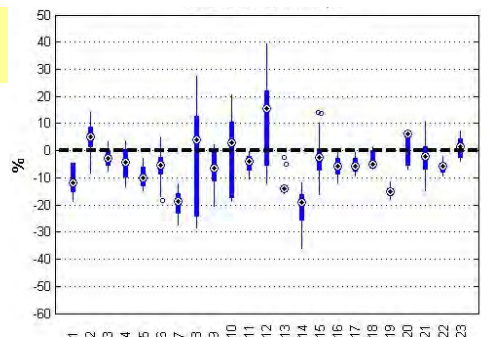


LM

-4.9

s =

11.1

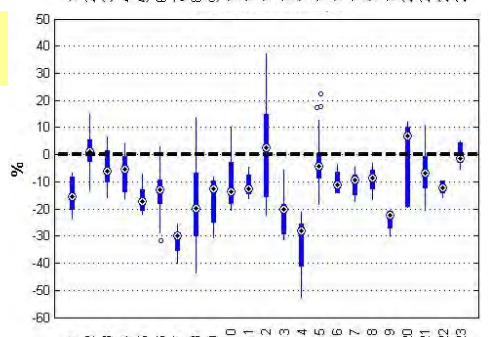


LSJ

-10.4

s =

13.4

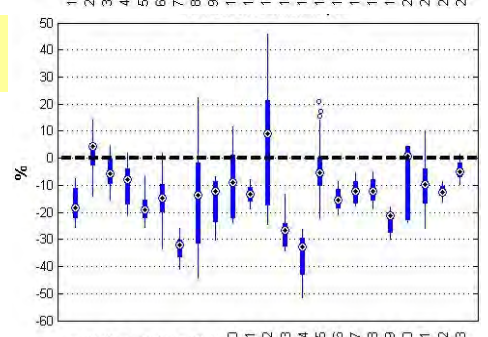


CD

-11.7

s =

14.7

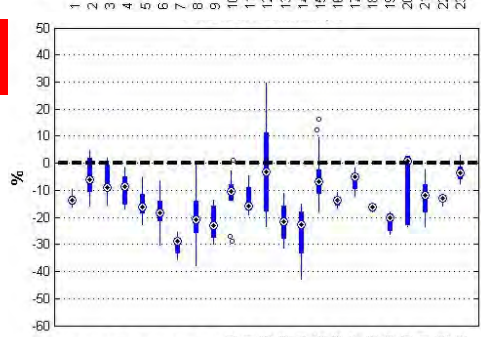


CS

-13.6

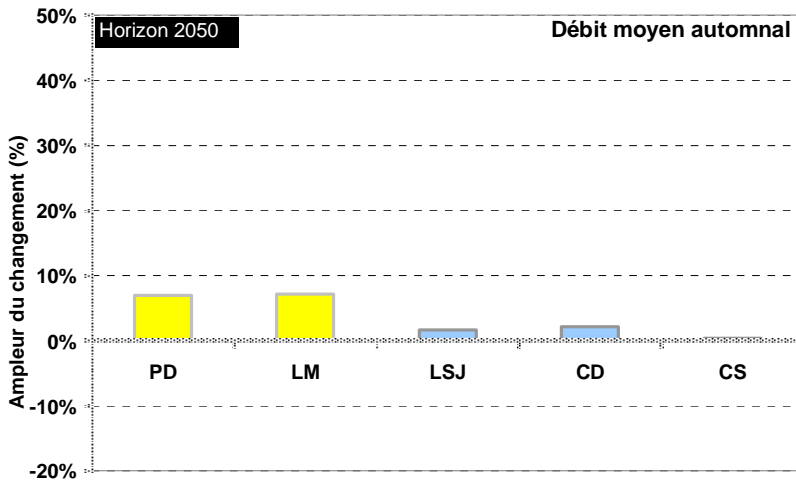
s =

10.9





## DÉBIT MOYEN AUTOMNAL



À l'horizon 2050, le débit moyen automnal connaîtrait une très légère augmentation de 0.4% (CS) à 7.2% (LM). Cette augmentation est plus prononcée en amont qu'en aval du Saguenay-Lac-Saint-Jean. La variabilité du changement est très élevée pour tous les sous-bassins avec des valeurs comprises globalement entre - 30.7% et 63.6%. Étant donné la très faible augmentation du débit moyen automnal pour les bassins en aval, il n'est pas étonnant qu'il n'y ait pas de consensus sur l'ampleur du changement. En effet, certains modèles anticipent une augmentation alors que d'autres projettent une diminution. Par contre, l'augmentation du débit moyen automnal est probable pour les bassins PD et LM. Le portrait dressé par HSAMI n'est pas disponible.

### HSAMI (HQ)

Non disponible

### HSAMI (Consensus)

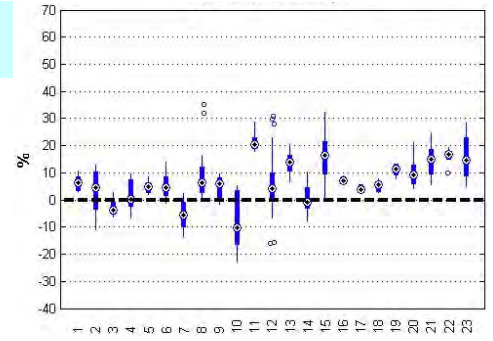
Non disponible

### PD

7.0

s =

9.4

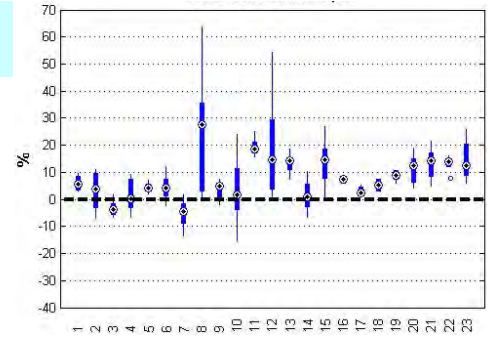


### LM

7.2

s =

10.9

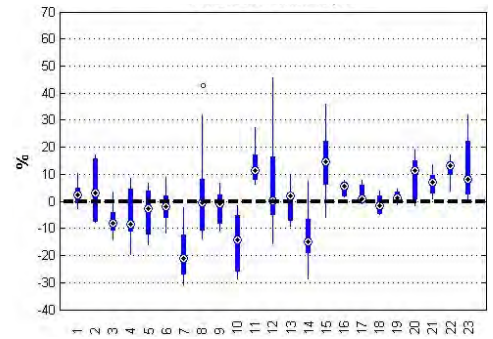


### LSJ

1.6

s =

13.0

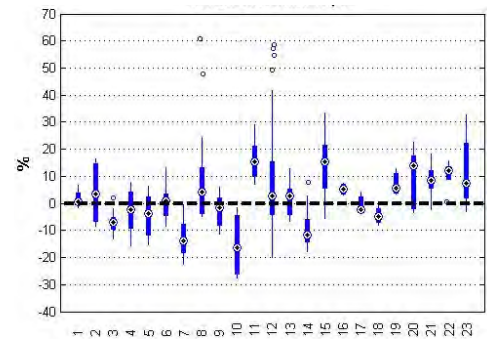


### CD

2.1

s =

13.1

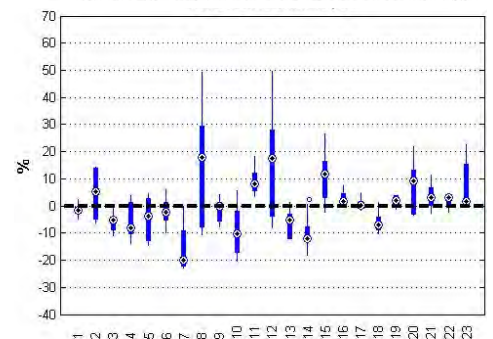


### CS

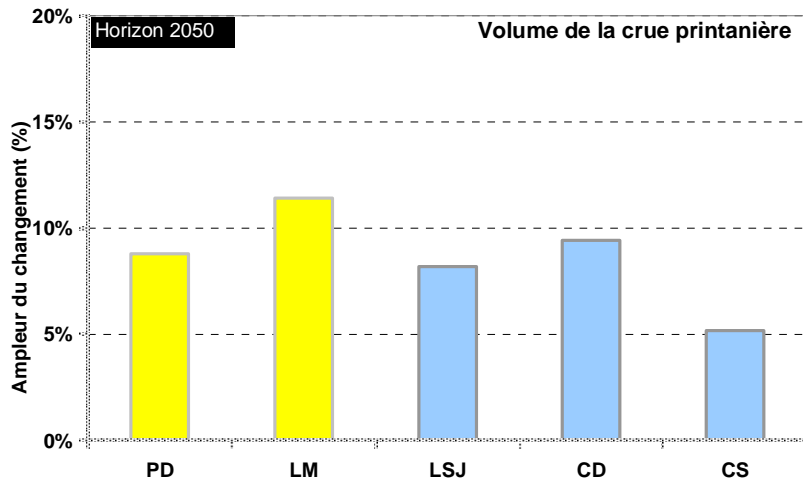
0.4

s =

12.3



## VOLUME DE LA CRUE PRINTANIÈRE



À l'horizon 2050, le volume de la crue printanière **augmenterait de 5.2% (CS) à 11.4% (LM)**. Cette augmentation est assez constante pour tous les sous-bassins mis à part CS où elle est plus réduite. La variabilité du changement reste encore très grande pour les 5 sous-bassins, avec des valeurs comprises globalement entre - 23.4% et 30.3%. Il y a un fort consensus sur l'ampleur du changement. L'**augmentation du volume de crue printanière est très probable pour PD et LM et probable pour LSJ, CD et CS**. Le portrait dressé par HSAMI n'est pas disponible.

### HSAMI (HQ)

Non disponible

### HSAMI (Consensus)

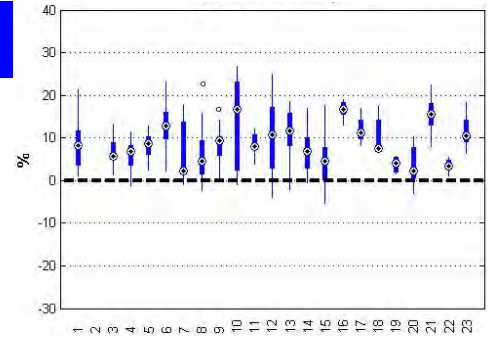
Non disponible

PD

8.8

s =

6.3

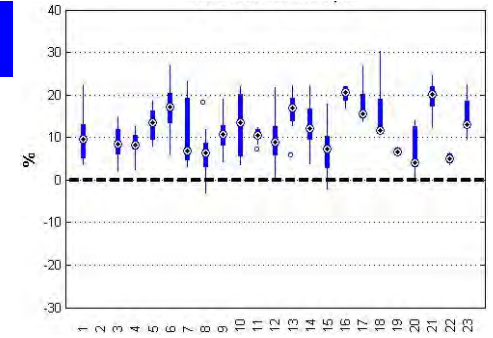


LM

11.4

s =

6.3

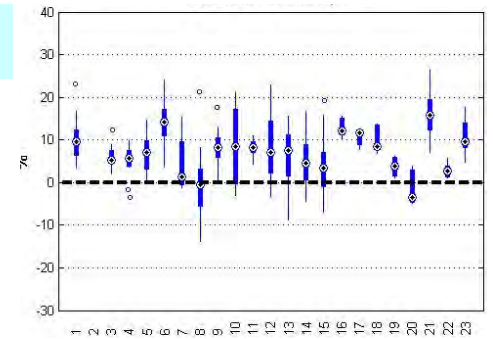


LSJ

8.2

s =

6.8

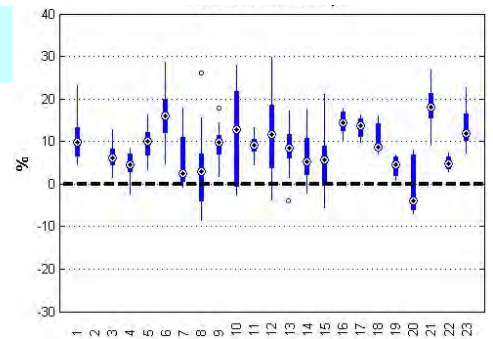


CD

9.4

s =

7.4

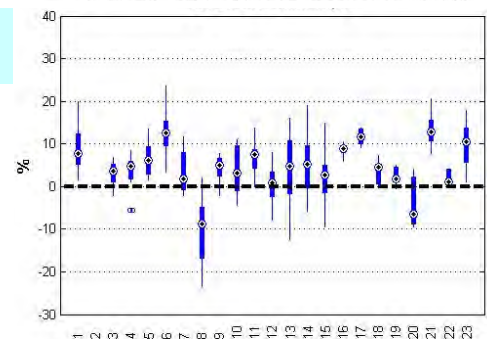


CS

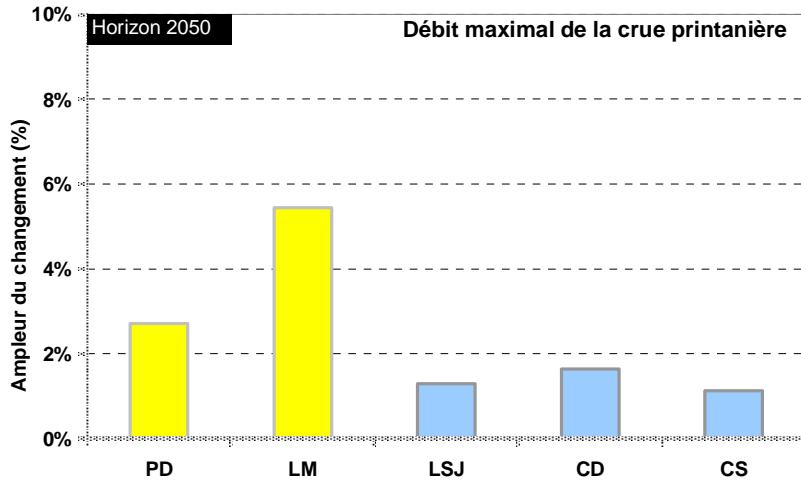
5.2

s =

7.2



## DÉBIT MAXIMAL DE LA CRUE PRINTANIÈRE



À l'horizon 2050, le débit maximal de la crue printanière **augmenterait de 1.1% (CS) à 5.5% (LM)**. Cette augmentation est plus importante en amont du Saguenay-Lac-Saint-Jean qu'en aval. La variabilité du changement reste encore très élevée pour les 5 sous-basins, avec des valeurs comprises globalement entre - 31.8% et 86.9%. Il n'y a pas de consensus fort sur l'ampleur du changement. L'**augmentation du débit maximal de la crue printanière** est jugée **probable pour LM** uniquement. Le portrait dressé par HSAMI n'est pas disponible.

HSAMI (HQ)

Non disponible

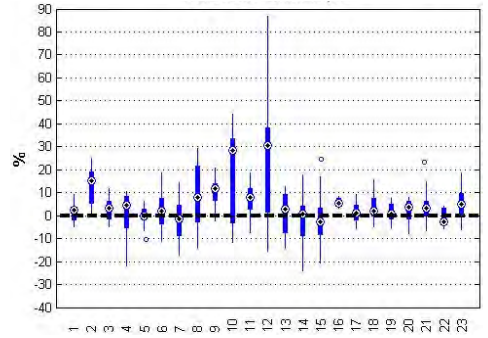
HSAMI (Consensus)

Non disponible

PD

2.7

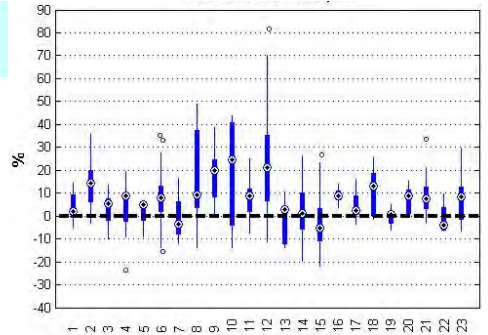
s = 13.7



LM

5.5

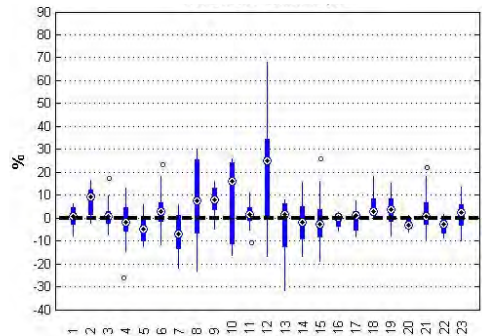
s = 14.7



LSJ

1.3

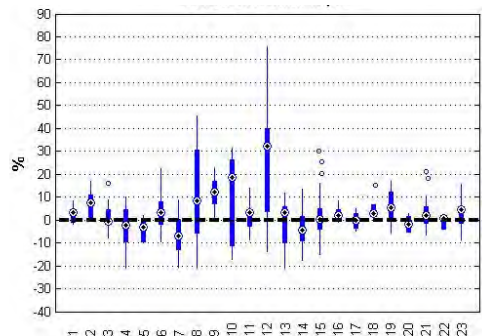
s = 12.8



CD

1.6

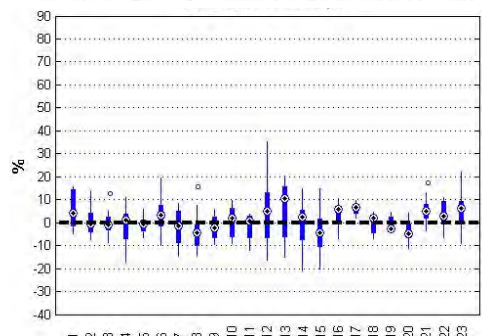
s = 13.6



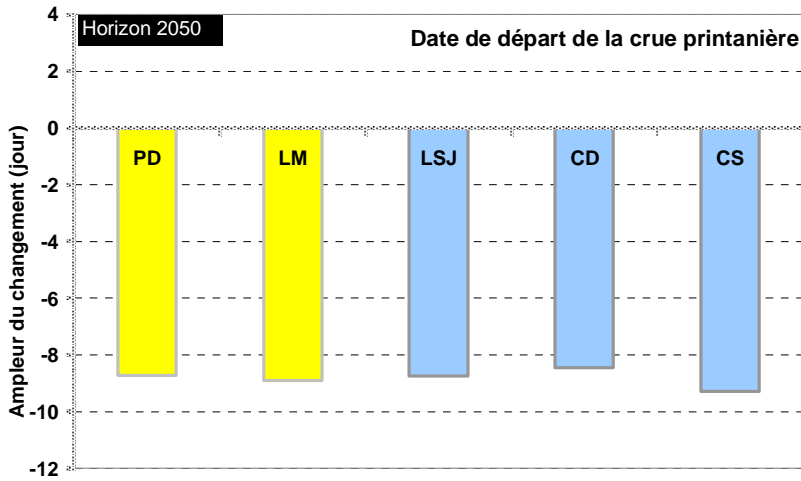
CS

1.1

s = 8.6

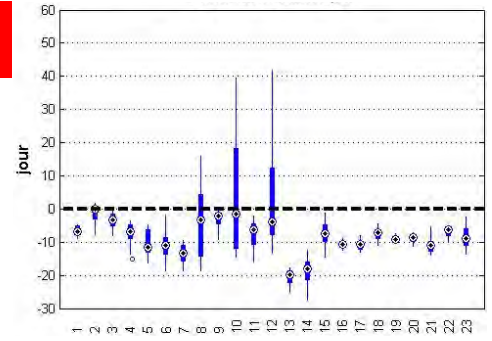


## DATE DE DÉPART DE LA CRUE PRINTANIÈRE



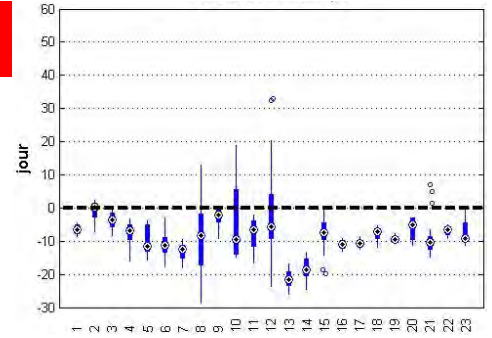
PD

-8.7  
s = 9.1



LM

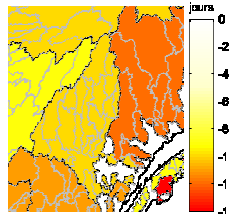
-8.9  
s = 7.3



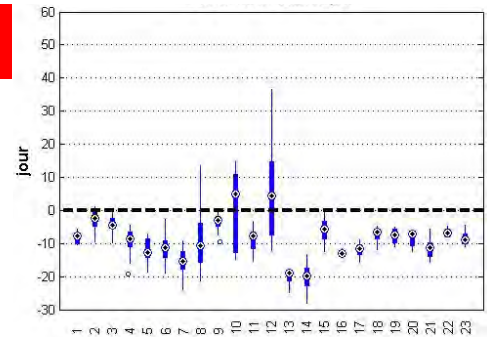
À l'horizon 2050, la crue printanière **débiterait plus tôt de 8.5 jours (CD) à 9.3 jours (CS)**. Cette projection est assez identique pour tous les sous-bassins. La variabilité du changement reste encore très grande pour les 5 sous-bassins, avec des valeurs comprises globalement entre - 59.5 jours et - 29.5 jours. Il y a un fort consensus sur l'ampleur du changement. Le **devancement de la crue printanière est très probable pour PD, LM, LSJ, CD et CS**. Les portraits dressés par Cequeau et HSAMI pour l'ampleur du changement sont identiques. Il en est de même pour le consensus entre les modèles climatiques.

HSAMI (Ampleur)

LSJ

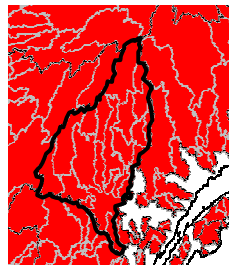


-8.8  
s = 8.6

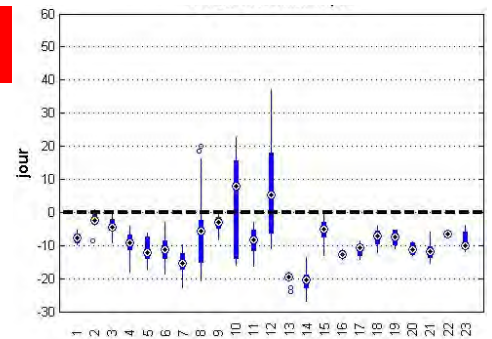


HSAMI (Consensus)

CD

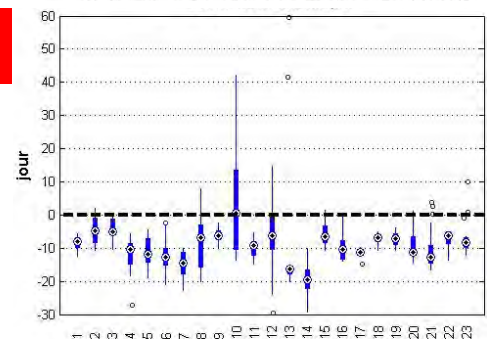


-8.5  
s = 9.4

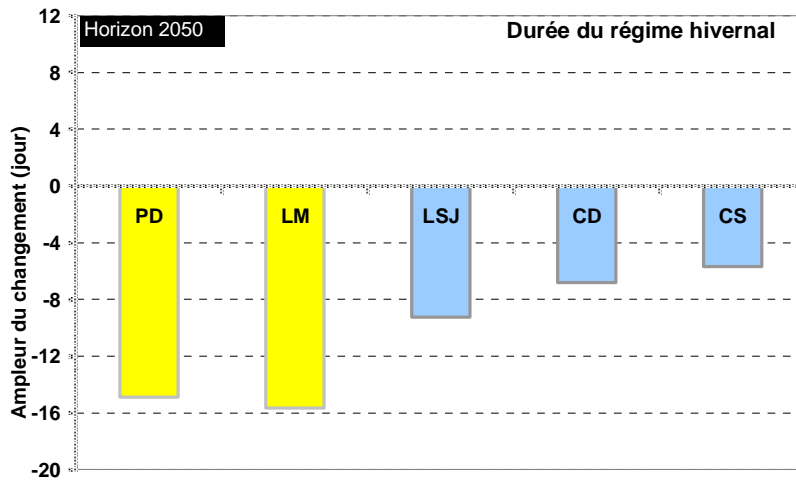


CS

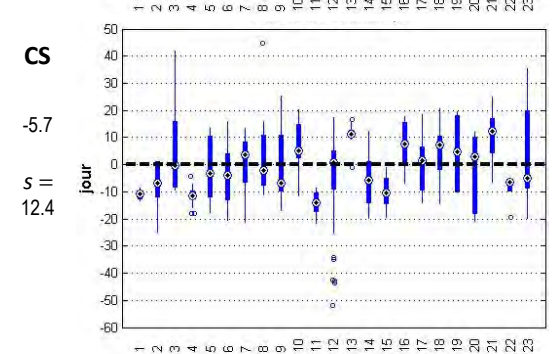
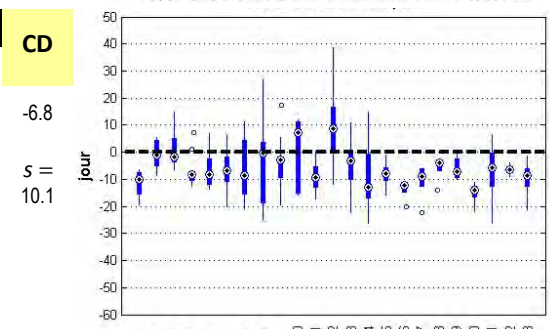
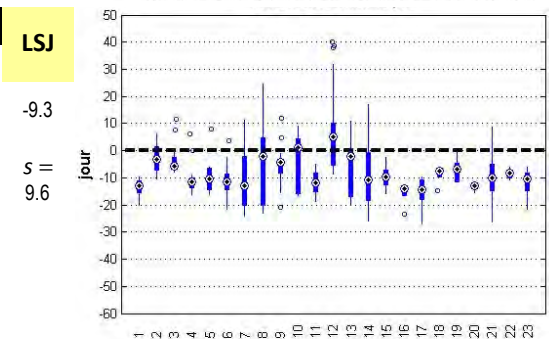
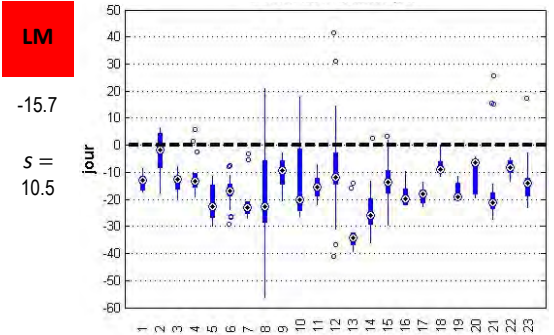
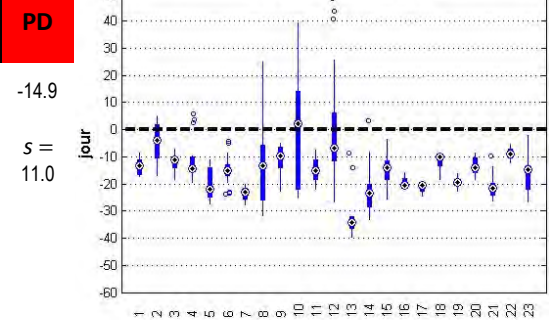
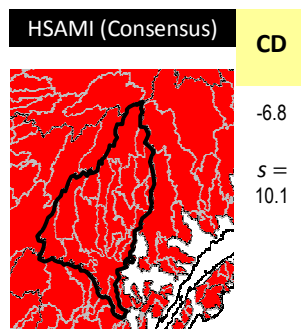
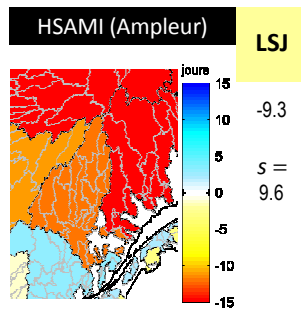
-9.3  
s = 8.4



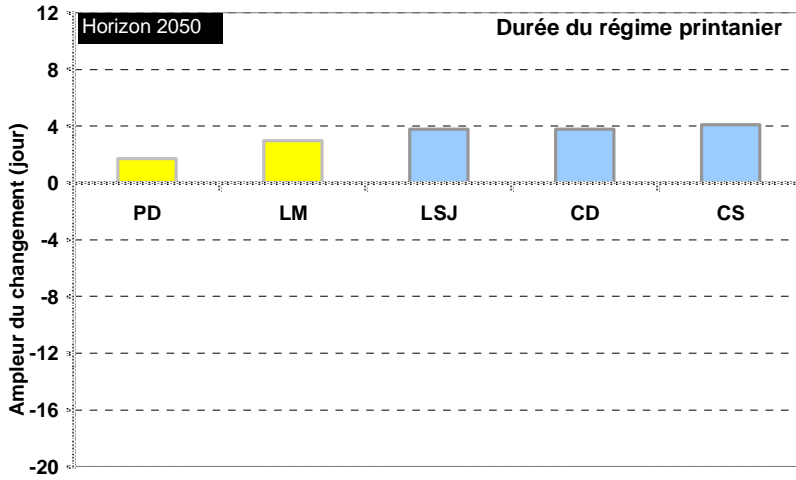
## DURÉE DU RÉGIME HIVERNAL



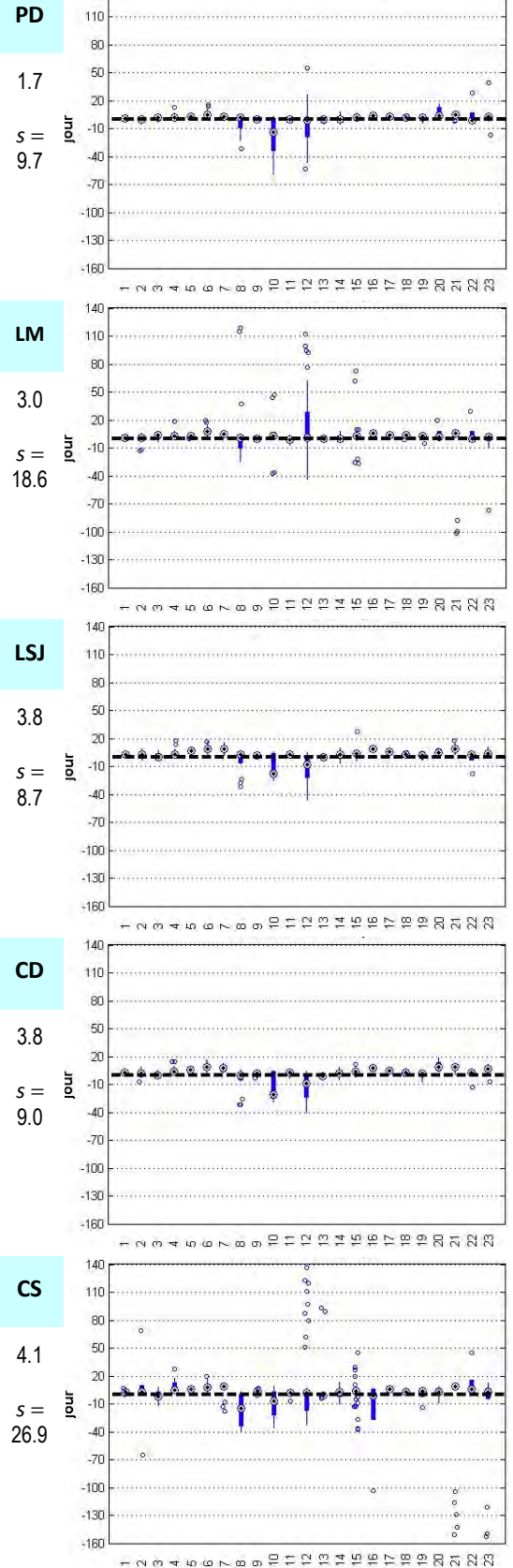
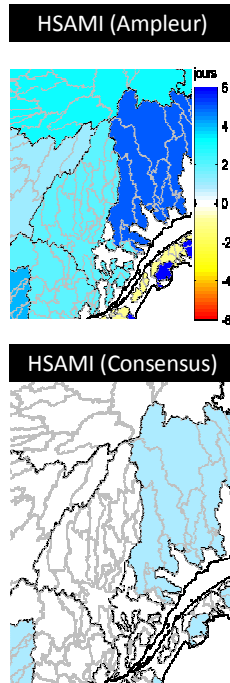
À l'horizon 2050, le régime hivernal serait de plus courte durée, de 5.7 jours (CS) à 15.7 jours (LM) de moins par rapport à la période actuelle. Les bassins amont (moyenne de 15.3 jours) seront plus affectés que les bassins aval (moyenne de 7.2 jours). La variabilité du changement reste encore très élevée pour les 5 sous-bassins, avec des valeurs comprises globalement entre - 56.2 jours et 48.3 jours. Le consensus sur l'ampleur du changement est assez fort hormis pour CS. En effet, la **réduction de la durée du régime hivernal est très probable pour PD et LM et probable pour LSJ et CD**. Contrairement à Cequeau, les portraits dressés par HSAMI pour l'ampleur du changement et le consensus sont d'une grande uniformité pour l'ensemble du bassin du Saguenay-lac-Saint-Jean.



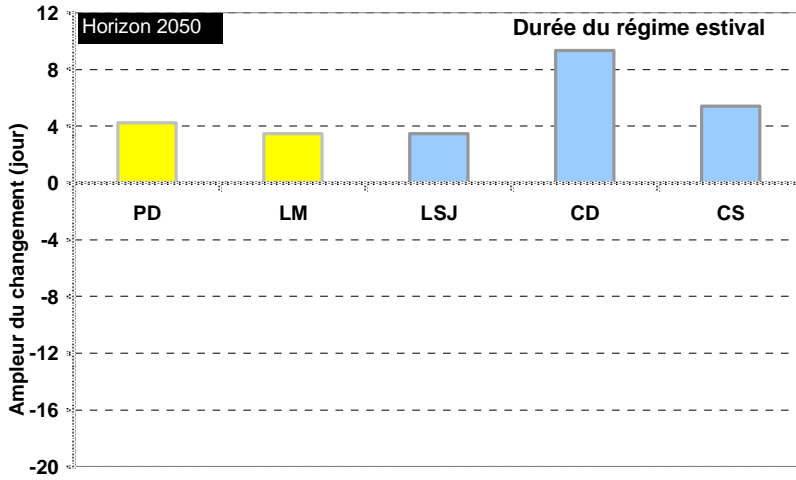
## DURÉE DU RÉGIME PRINTANIER



À l'horizon 2050, la durée du régime printanier serait un brin plus longue de 1.7 jours (PD) à 4.1 jours (CS). Cet impact est légèrement plus important en aval (moyenne de 3.9 jours) qu'en amont (moyenne de 2.4 jours). La variabilité du changement reste encore très élevée pour les 5 sous-bassins et plus particulièrement pour LM et CS où elle est considérable. Globalement, les valeurs de changement sont comprises entre - 153.0 jours et 136.7 jours. Le consensus sur l'ampleur du changement est assez fort pour tous les sous-bassins. En effet, l'augmentation de la durée du régime printanier est probable pour PD, LM, LSJ, CD et CS. Contrairement à Cequeau, il n'y a pas de consensus sur le changement pour HSAMI. Ce dernier projette une légère augmentation de la durée du régime printanier qui est très uniforme (autour de 2 à 3 jours) sur l'ensemble du Saguenay-Lac-Saint-Jean.



## DURÉE DU RÉGIME ESTIVAL



À l'horizon 2050, la durée du régime estival **augmenterait très légèrement de 3.5 jours (LM) à 9.4 jours (CD)**. L'augmentation est assez stable à travers le bassin sauf à CD où elle double quasiment. Comme pour les autres indicateurs hydrologiques, la variabilité du changement est considérablement élevée pour les 5 sous-bassins. Globalement, les valeurs de changement sont comprises entre - 69.3 jours et 68.0 jours. Le consensus sur l'ampleur du changement est assez fort pour tous les sous-bassins sauf à LM où il n'y a pas de consensus. **L'augmentation de la durée du régime estival est probable pour PD, LSJ, CD et CS**. Le portrait dressé par HSAMI n'est pas disponible.

HSAMI (Ampleur)

Non disponible

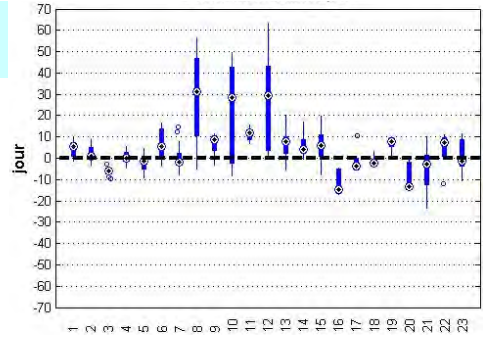
HSAMI (Consensus)

Non disponible

PD

4.2

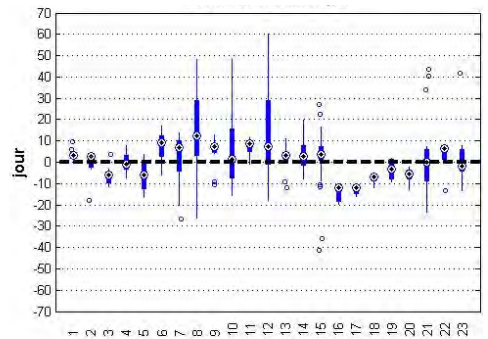
$s = 14.1$



LM

3.5

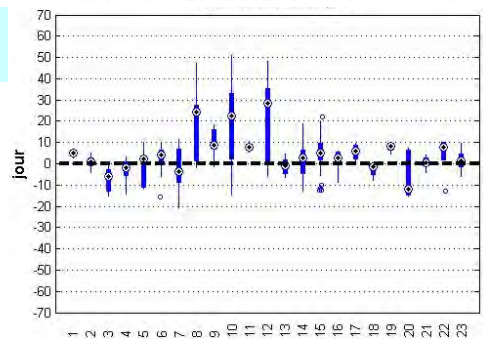
$s = 12.8$



LSJ

3.5

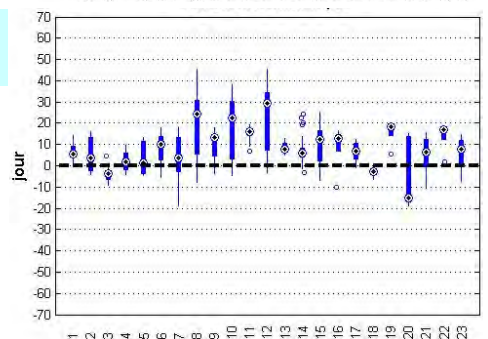
$s = 11.5$



CD

9.4

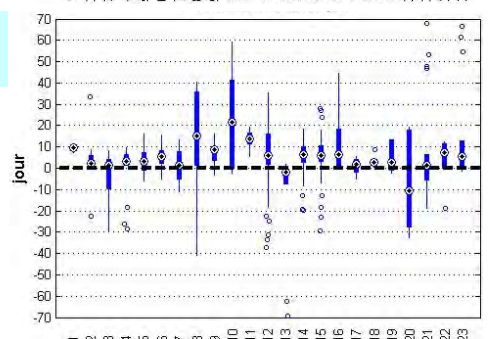
$s = 11.1$



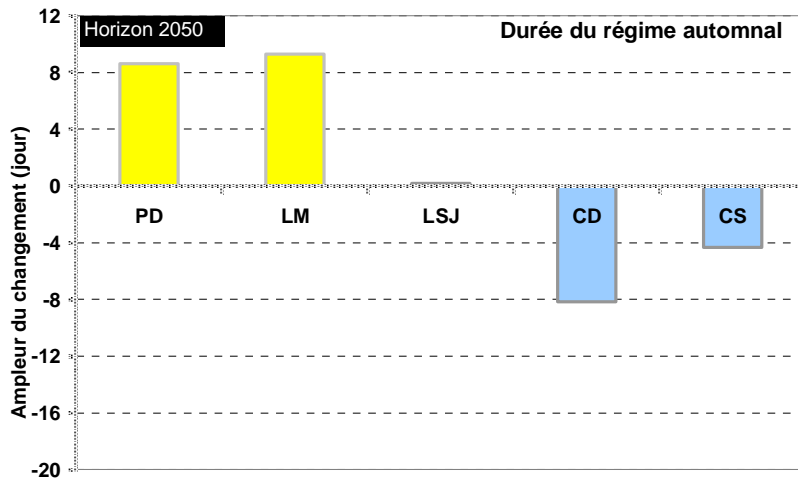
CS

5.4

$s = 14.3$



## DURÉE DU RÉGIME AUTOMNAL



À l'horizon 2050, l'impact sur la durée du régime automnal serait en opposition de phase entre les bassins en amont et les bassins en aval, la transition se faisant au LSJ où il est pratiquement nul. La durée du régime automnal connaîtrait une légère augmentation en amont (moyenne de 9 jours) et une légère baisse en aval hormis au LSJ (moyenne de 6.3 jours). La variabilité du changement est très élevée pour tous les sous-bassins avec des valeurs comprises globalement entre - 60.3 jours et 66.2 jours. Avec un impact inexistant au LSJ, il n'est pas étonnant d'y noter une absence de consensus. En effet, certains modèles anticipent une augmentation alors que d'autres projettent une diminution. Par contre, l'augmentation de la durée du régime automnal est probable pour PD et LM, et la diminution de la durée du régime automnal est probable pour CD et CS. Le portrait dressé par HSAMI n'est pas disponible.

HSAMI (Ampleur)

Non disponible

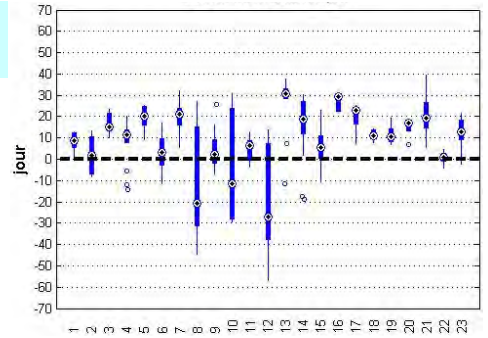
HSAMI (Consensus)

Non disponible

PD

8.6

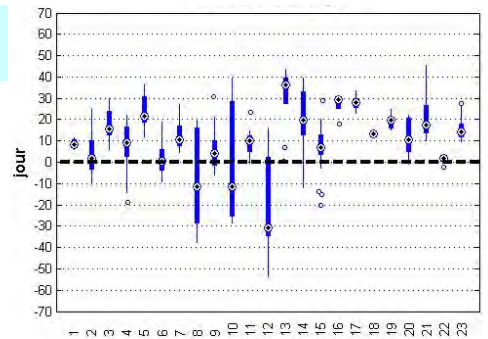
$s = 16.7$



LM

9.3

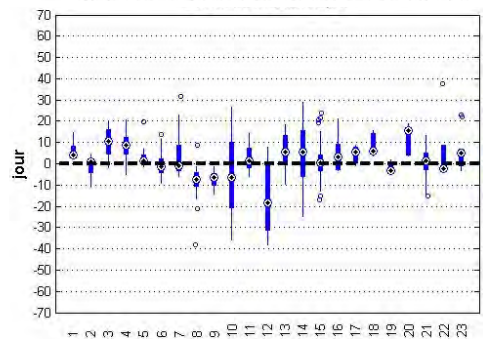
$s = 17.2$



LSJ

0.2

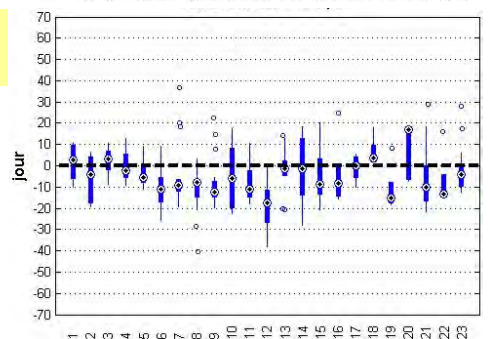
$s = 11.5$



CD

-8.2

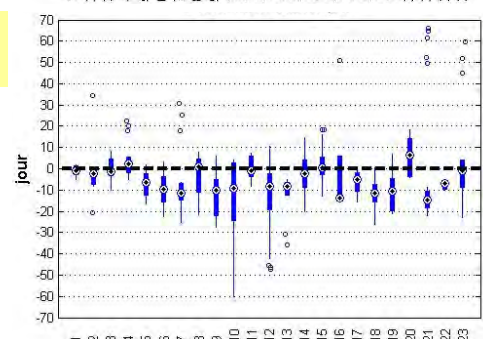
$s = 12.1$



CS

-4.4

$s = 14.4$





## 9. ANALYSE DES HYDROGRAMMES SIMULÉS

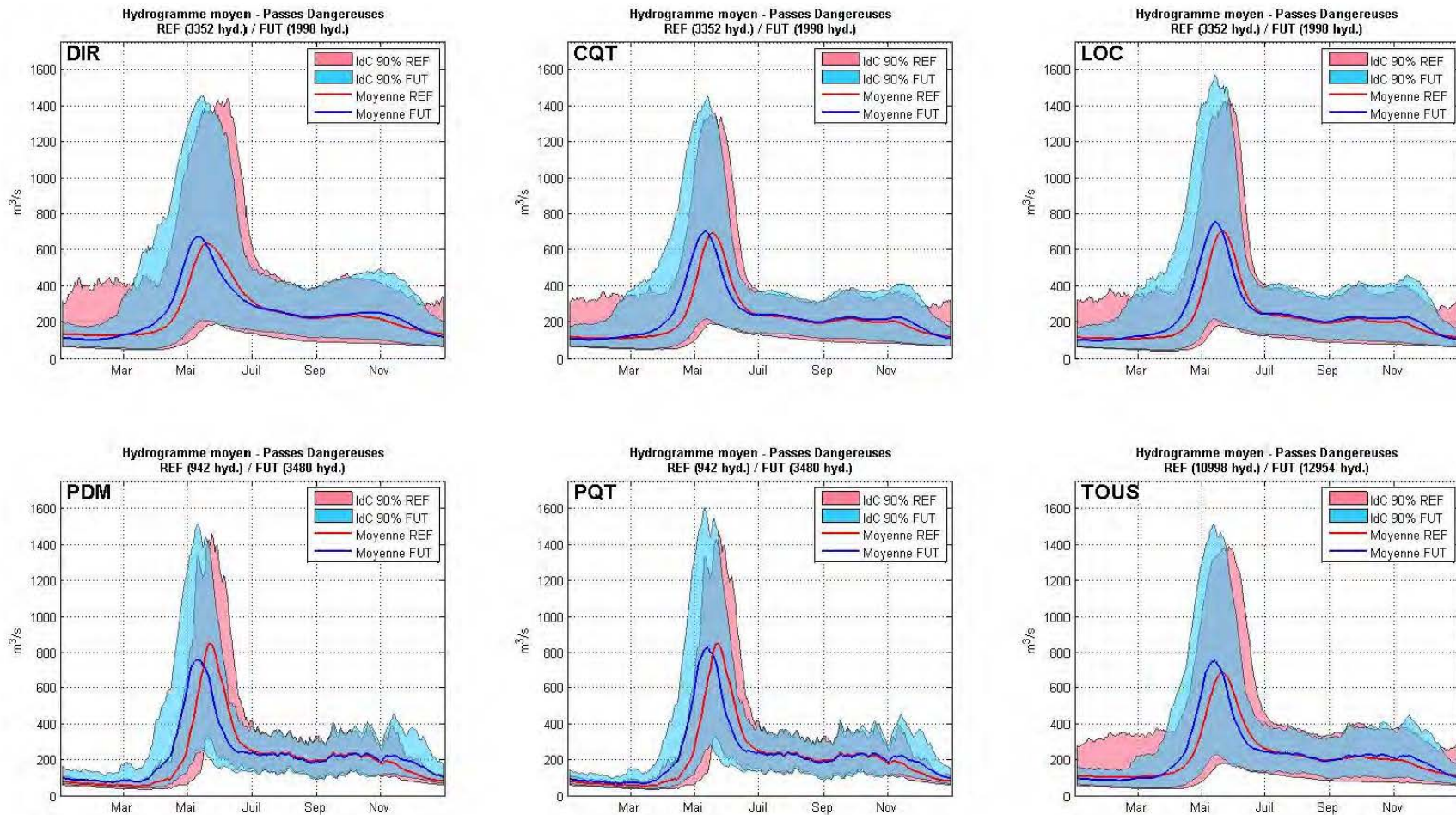
Les conclusions des études d'impacts de changements climatiques sur les ressources hydriques sont tirées de l'analyse des indicateurs hydrologiques qui sont, dans la grande majorité, des variables d'agrégation comme le débit moyen sur une période donnée ou le volume de crue printanière. Par contre, rarement on analyse la représentativité des hydrogrammes. Pourtant, il est important de considérer la forme des hydrogrammes des scénarios hydrologiques projetés à l'horizon 2050. Ce que les indicateurs hydrologiques ne font pas réellement. La forme des hydrogrammes révèlent des informations intéressantes à plusieurs égards :

- C'est un bon indicateur de la qualité de l'information météorologique provenant des simulations climatiques de la période de référence et des projections climatiques de la période future.
- Il est possible de détecter des problèmes éventuels lors de la mise en œuvre de la modélisation hydroclimatique et particulièrement dans la mise en œuvre de Cequeau.

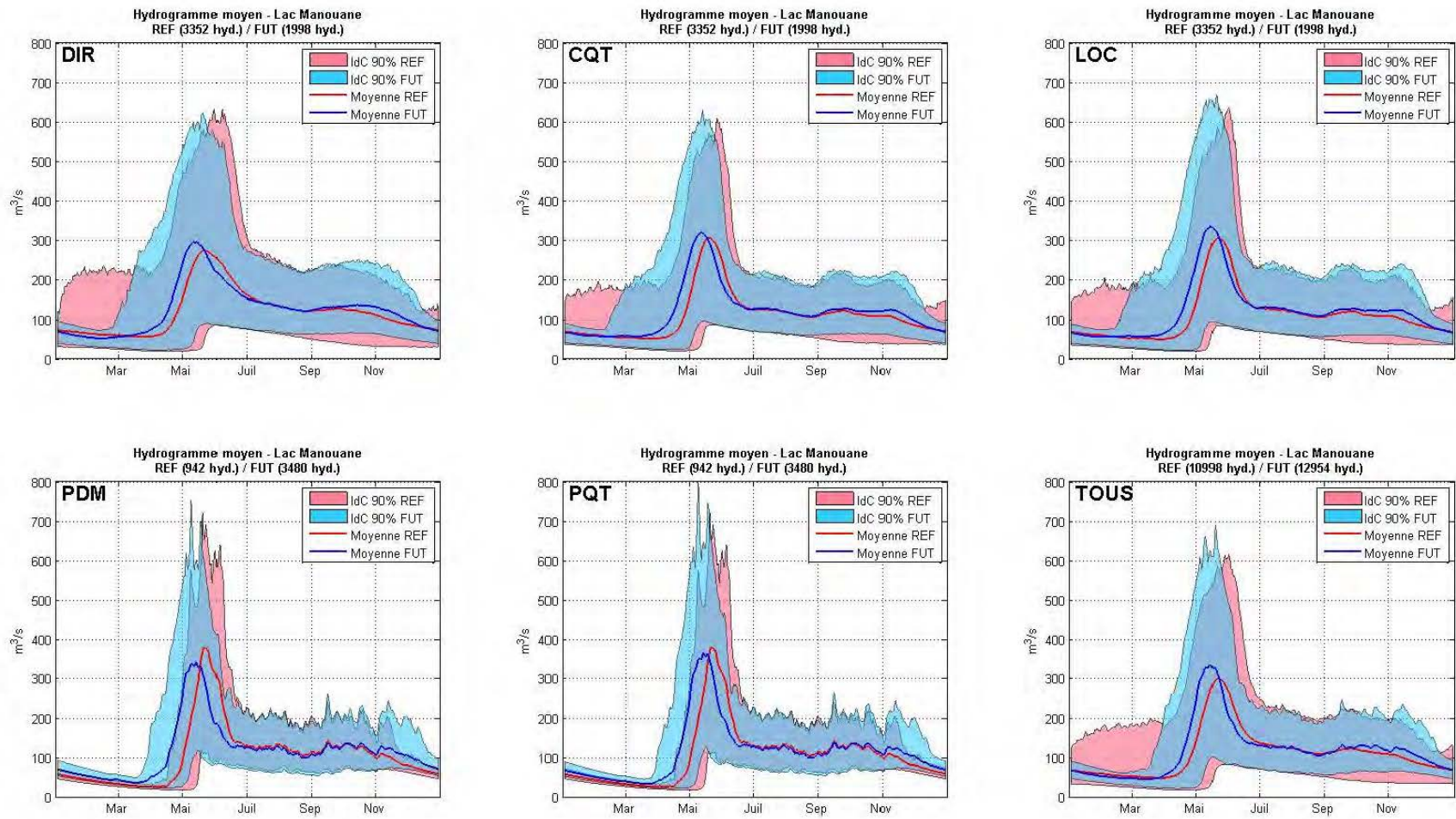
### 9.1. Tous les sous-ensembles climatiques (CMIP3, NARCCAP et Ouranos)

Les figures 6 à 10 illustrent les hydrogrammes moyens aux 5 sous-bassins en incluant tous les sous-ensembles climatiques indépendamment des méthodes de post-traitement (Graphique TOUS). On illustre aussi les hydrogrammes moyens pour les sorties directes (Graphique DIR) et pour chaque méthode de post-traitement (Graphiques CQT, LOC, PDM et PQT). Les intervalles de confiance à 90% sont fournis sur chaque graphique.

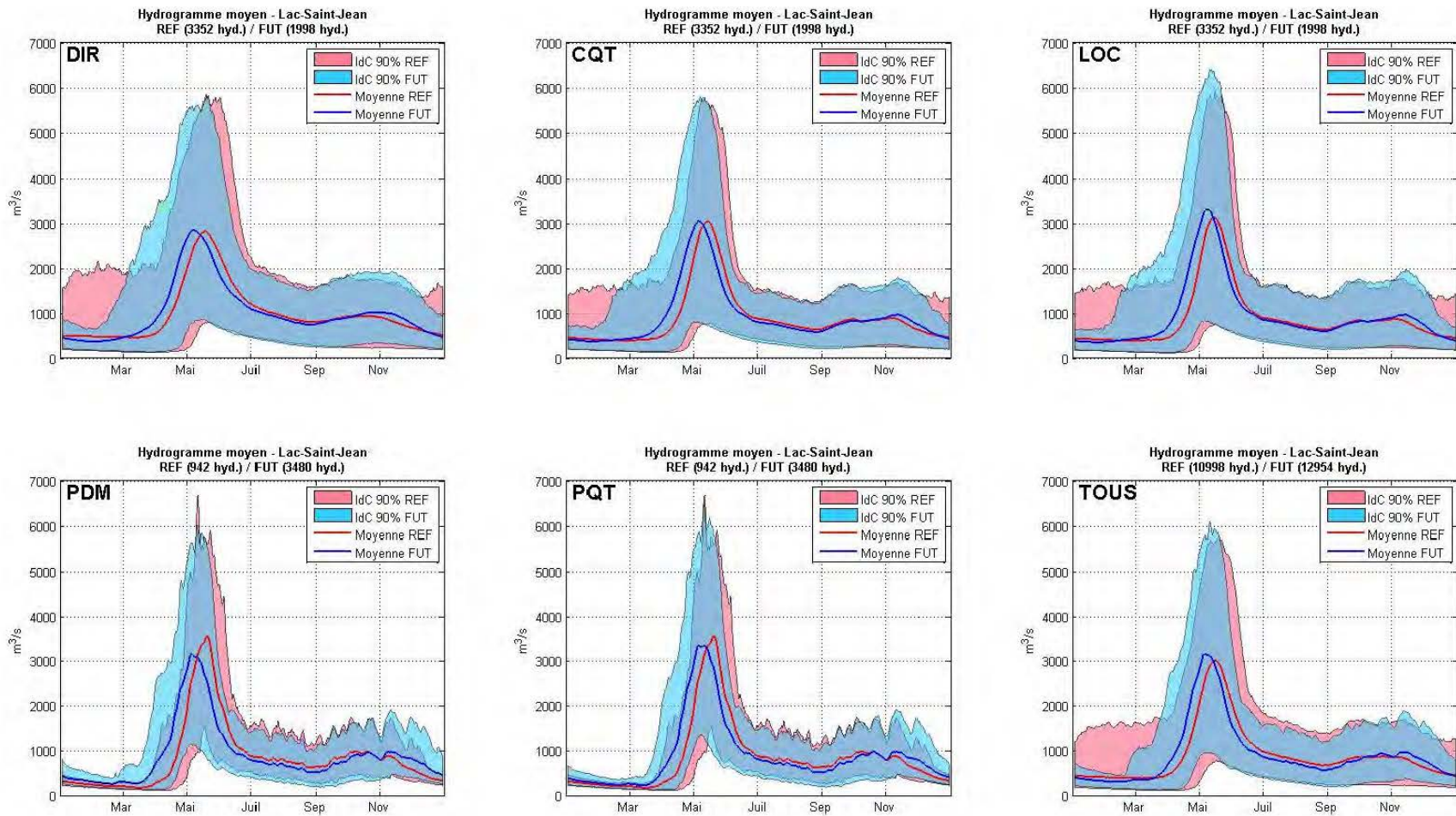
En règle générale, on constate le devancement des hydrogrammes de crue en période future ainsi que la hausse des débits hivernaux. La forme des hydrogrammes moyens ainsi que les intervalles de confiance indiquent que dans la grande majorité les hydrogrammes sont représentatifs du mode de fonctionnement hydrologique typique de notre système hydrique au Saguenay-Lac-Saint-Jean. On constate aussi la différence entre les méthodes de post-traitement par perturbation des données (PDM et PQT) et celles par correction du biais (CQT et LOC) et sans correction (DIR) à cause de la nature inhérente de ces méthodes. Les méthodes PDM et PQT étant des méthodes de mise à l'échelle des observations, il n'est pas étonnant d'avoir une différence de la sorte entre les 2 types de méthodes. La variabilité est donc plus élevée avec les méthodes PDM et PQT.



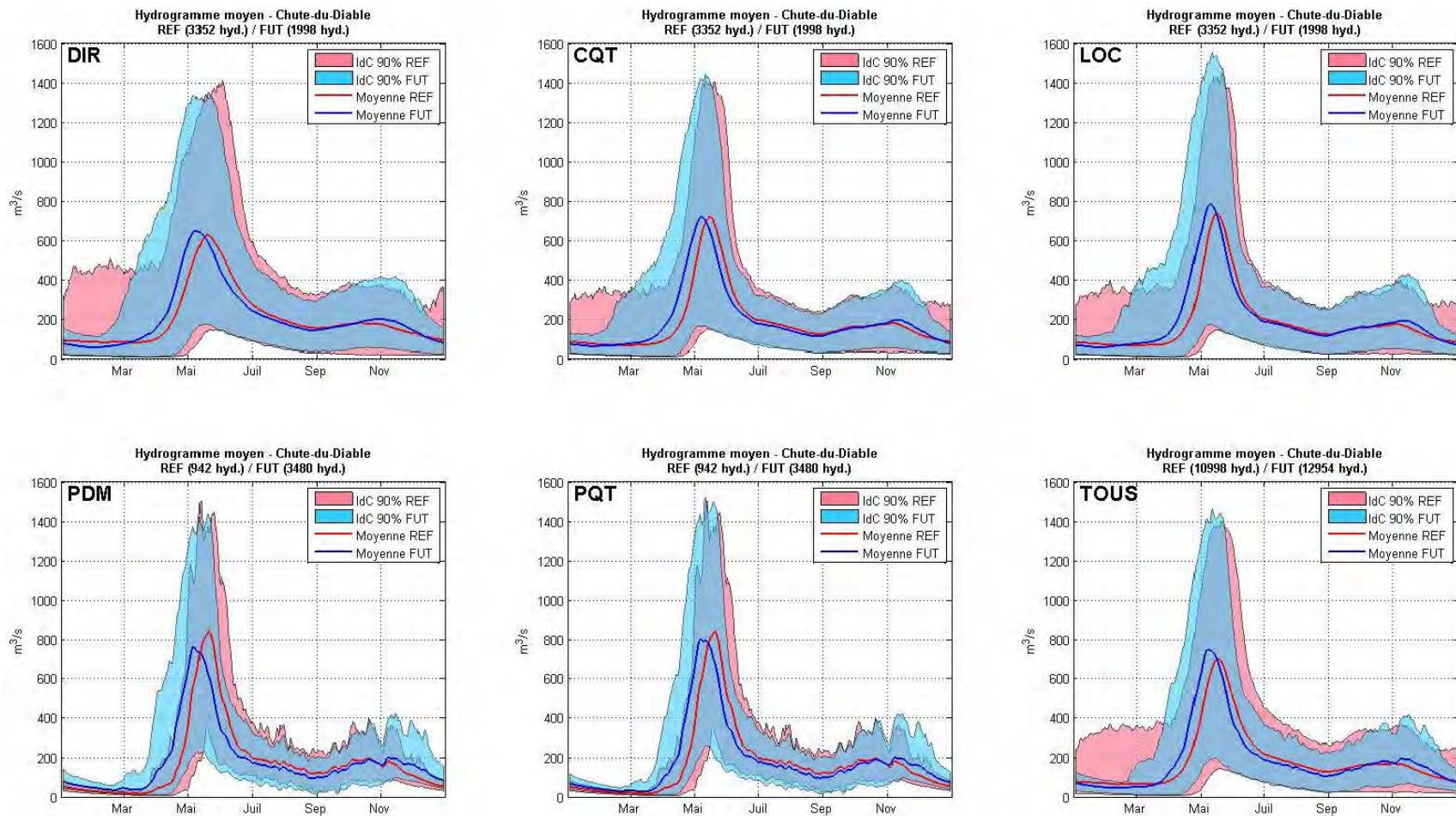
**Figure 6 Hydrogramme moyen à Passes Dangereuses en période de référence et en période future (horizon 2050) pour tous les sous-ensembles climatiques et en fonction des méthodes de post-traitement**



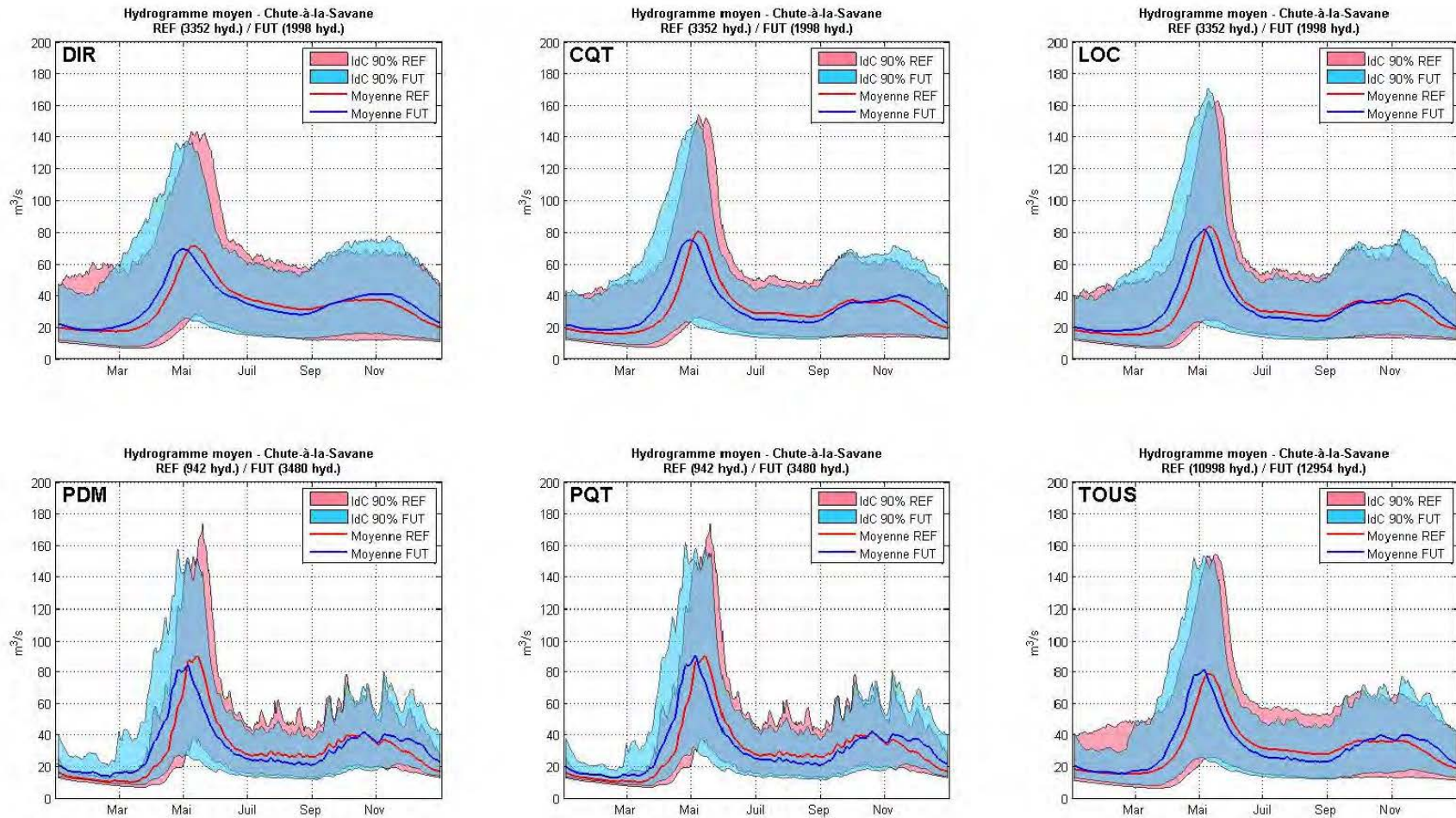
**Figure 7 Hydrogramme moyen à Lac Manouane en période de référence et en période future (horizon 2050) pour tous les sous-ensembles climatiques et en fonction des méthodes de post-traitement**



**Figure 8 Hydrogramme moyen à Lac-Saint-Jean en période de référence et en période future (horizon 2050) pour tous les sous-ensembles climatiques et en fonction des méthodes de post-traitement**



**Figure 9 Hydrogramme moyen à Chute-du-Diable en période de référence et en période future (horizon 2050) pour tous les sous-ensembles climatiques et en fonction des méthodes de post-traitement**



**Figure 10 Hydrogramme moyen à Chute-à-la-Savane en période de référence et en période future (horizon 2050) pour tous les sous-ensembles climatiques et en fonction des méthodes de post-traitement**

Un autre fait marquant concerne la largeur de l'intervalle de confiance en hiver pour la période de référence tant pour les méthodes CQT et LOC que pour la méthode DIR. Ceci est dû à la qualité de l'information climatique ce que nous allons démontrer en analysant séparément chaque sous-ensemble.

## **9.2. Sous-ensemble climatique Ouranos**

Les figures 11 à 15 fournissent les mêmes informations que l'on retrouve dans les figures 6 à 10 en se limitant uniquement au sous-ensemble climatique Ouranos. Une attention particulière est portée sur l'intervalle de confiance de l'hydrogramme moyen en hiver pour la période de référence (méthodes CQT, LOC et DIR). L'information climatique provenant du sous-ensemble Ouranos est excellente en raison du fait que les statistiques des hydrogrammes moyens restent stables et la largeur excessive de l'intervalle de confiance de l'hydrogramme moyen de la période de référence en hiver disparaît. Le débit moyen hivernal en période future est plus élevé que celui de la période de référence.

## **9.3. Sous-ensembles climatiques CMIP3 et NARCCAP**

La figure 16 permet de constater que la largeur excessive de l'intervalle de confiance de l'hydrogramme moyen de la période de référence est un problème beaucoup plus lié au sous-ensemble climatique CMIP3 qu'au sous-ensemble climatique NARCCAP. Il est restreint aux méthodes DIR, LOC et CQT. Rappelons que lors de l'étude d'impact du changement climatique sur le débit moyen hivernal, les modèles CM4 (#8), EC4 (#10) et ECO (#12) avaient un comportement singulier par rapport aux autres modèles. Ce qui est évident sur la figure 17, surtout en période de référence avec un hydrogramme moyen très aplati. La figure 18 illustre quelques hydrogrammes annuels atypiques en période de référence. Il est important de rappeler que le nombre d'hydrogrammes comme ceux qui sont montrés à la figure 18 sont tout de même en nombre très restreint ce qui ne met pas en cause la validité des résultats de cette étude.

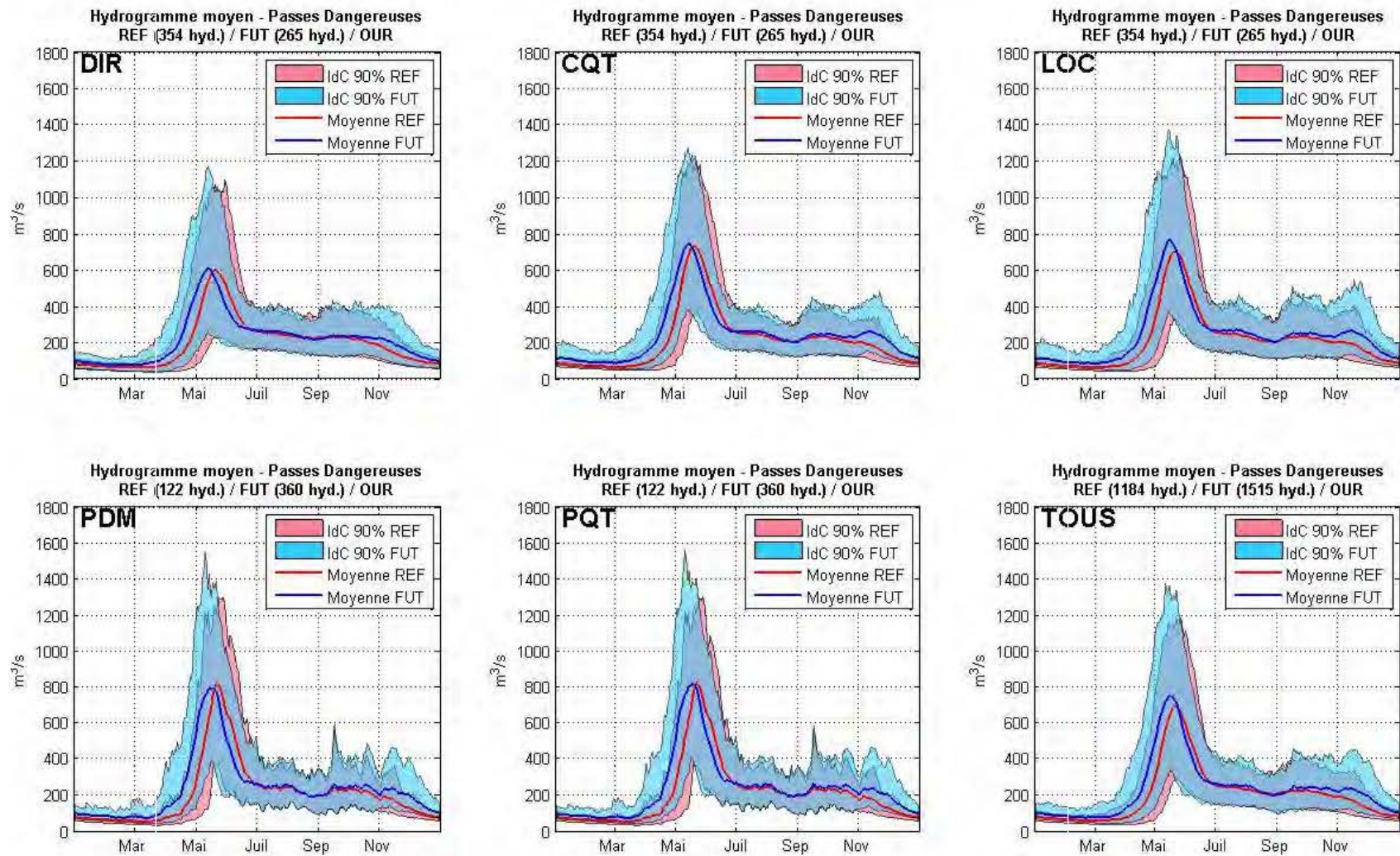


Figure 11 Hydrogramme moyen à Passes Dangereuses en période de référence et en période future (horizon 2050) pour le sous-ensemble climatique Ouranos et en fonction des méthodes de post-traitement



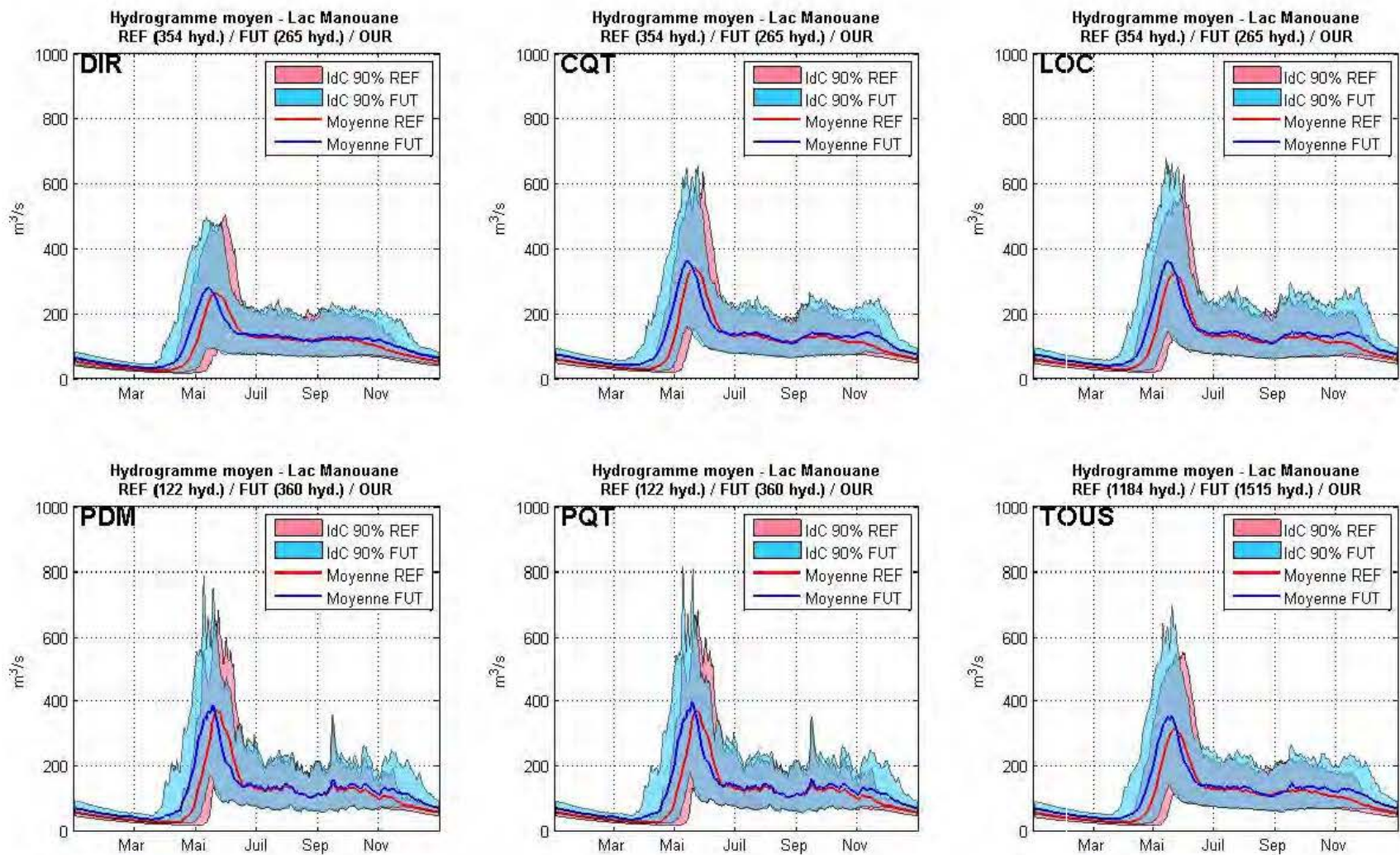
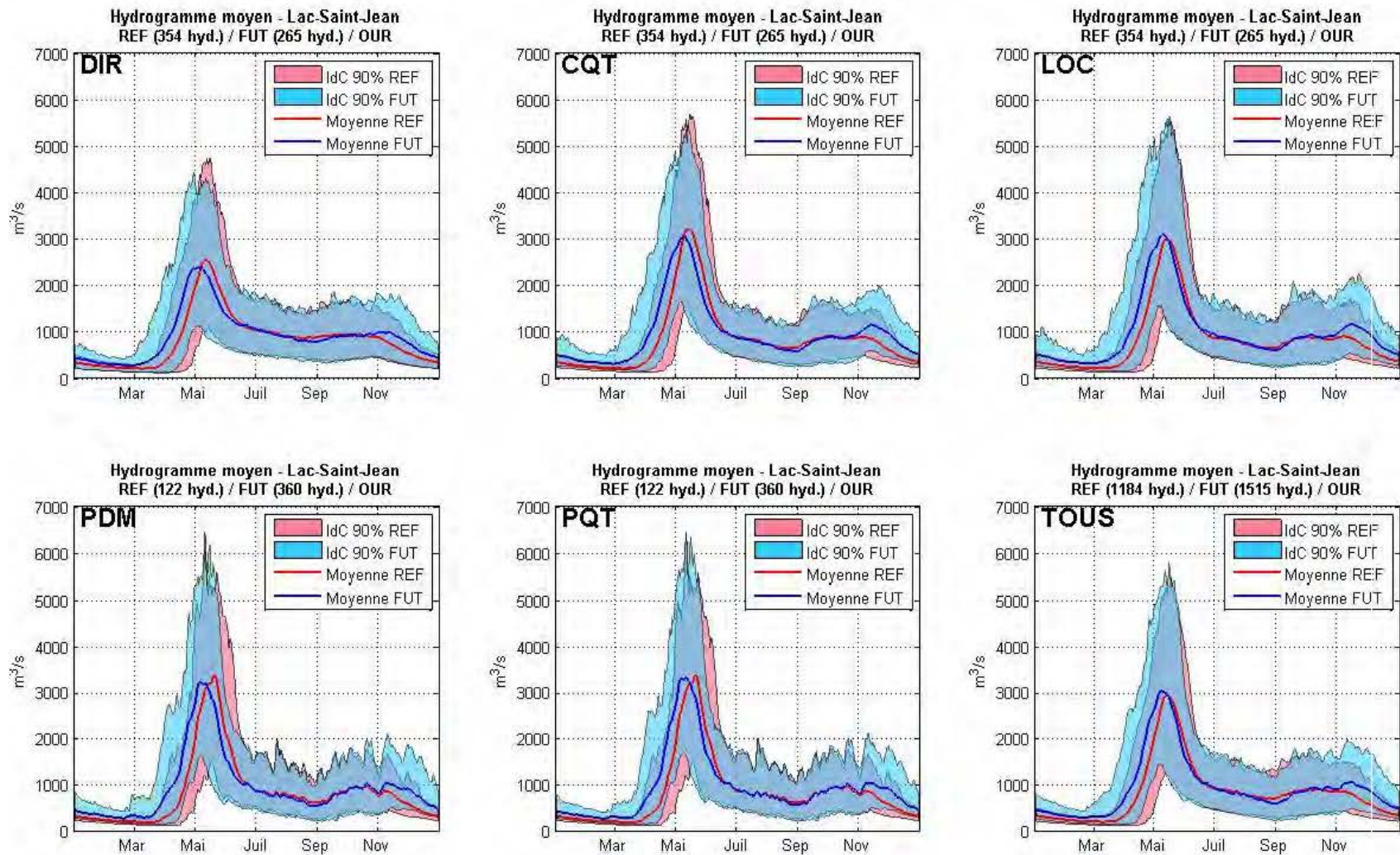


Figure 12 Hydrogramme moyen à Lac Manouane en période de référence et en période future (horizon 2050) pour le sous-ensemble climatique Ouranos et en fonction des méthodes de post-traitement



**Figure 13 Hydrogramme moyen à Lac-Saint-Jean en période de référence et en période future (horizon 2050) pour le sous-ensemble climatique Ouranos et en fonction des méthodes de post-traitement**

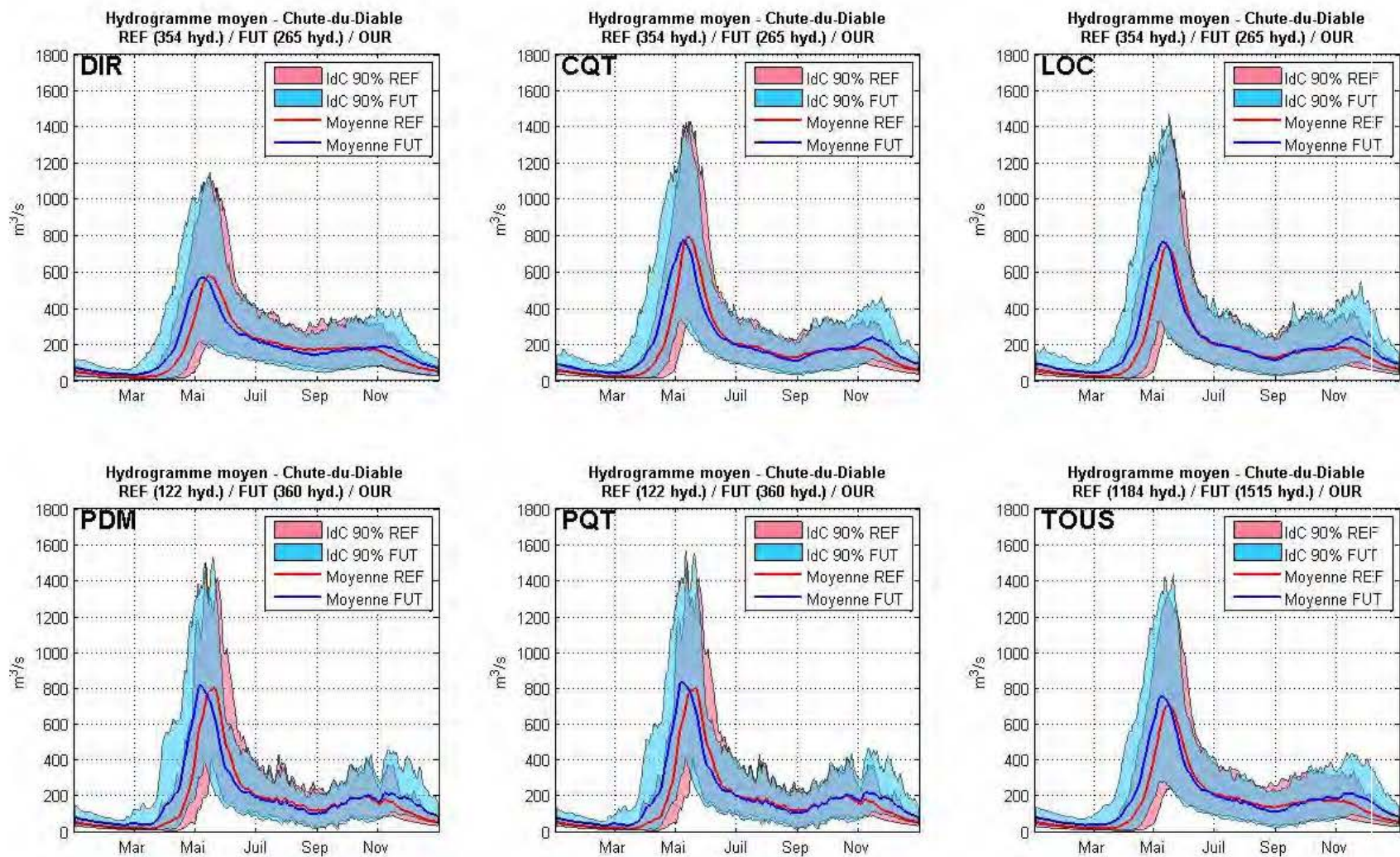


Figure 14 Hydrogramme moyen à Chute-du-Diable en période de référence et en période future (horizon 2050) pour le sous-ensemble climatique Ouranos et en fonction des méthodes de post-traitement

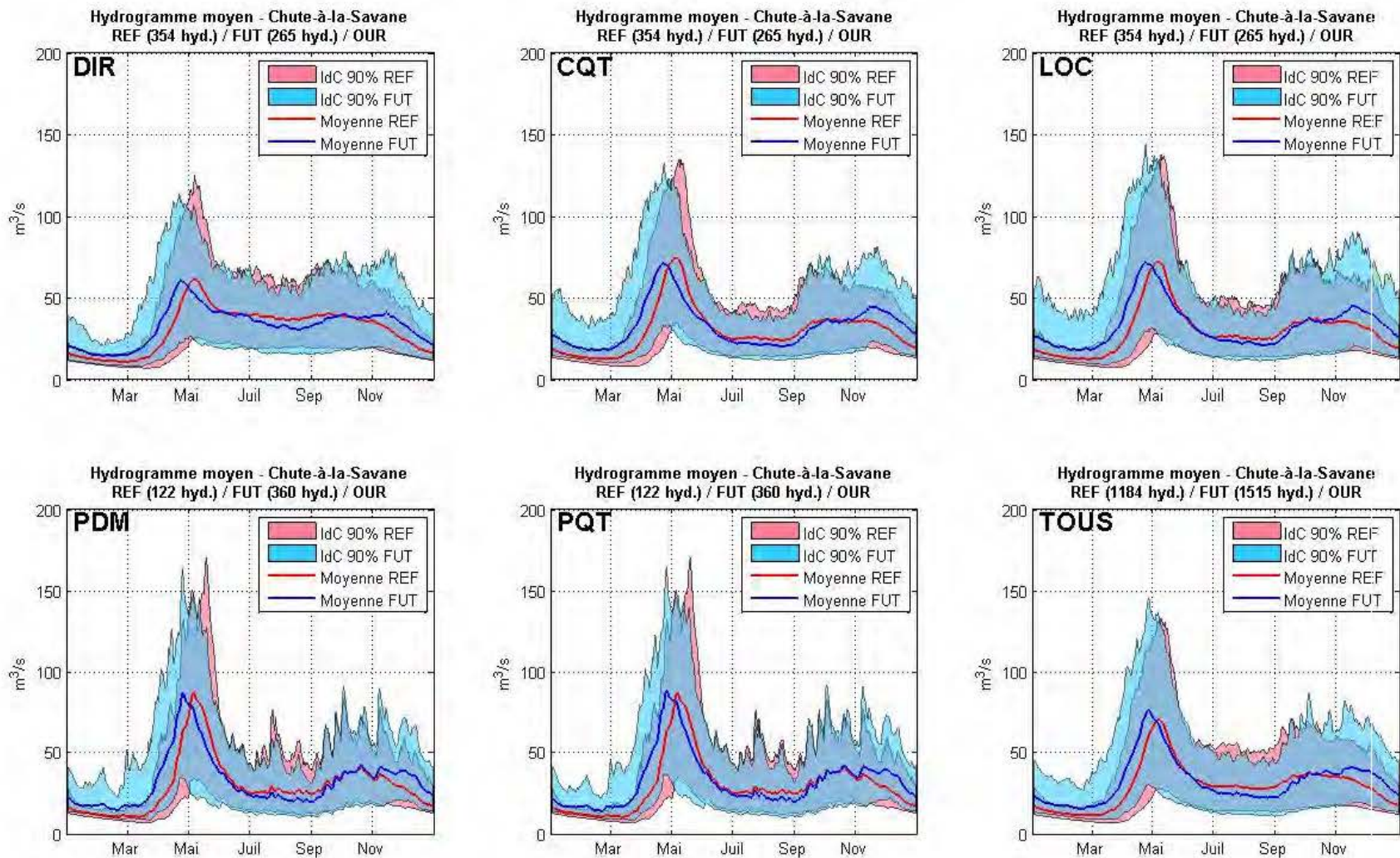


Figure 15 Hydrogramme moyen à Chute-à-la-Savane en période de référence et en période future (horizon 2050) pour le sous-ensemble climatique Ouranos et en fonction des méthodes de post-traitement

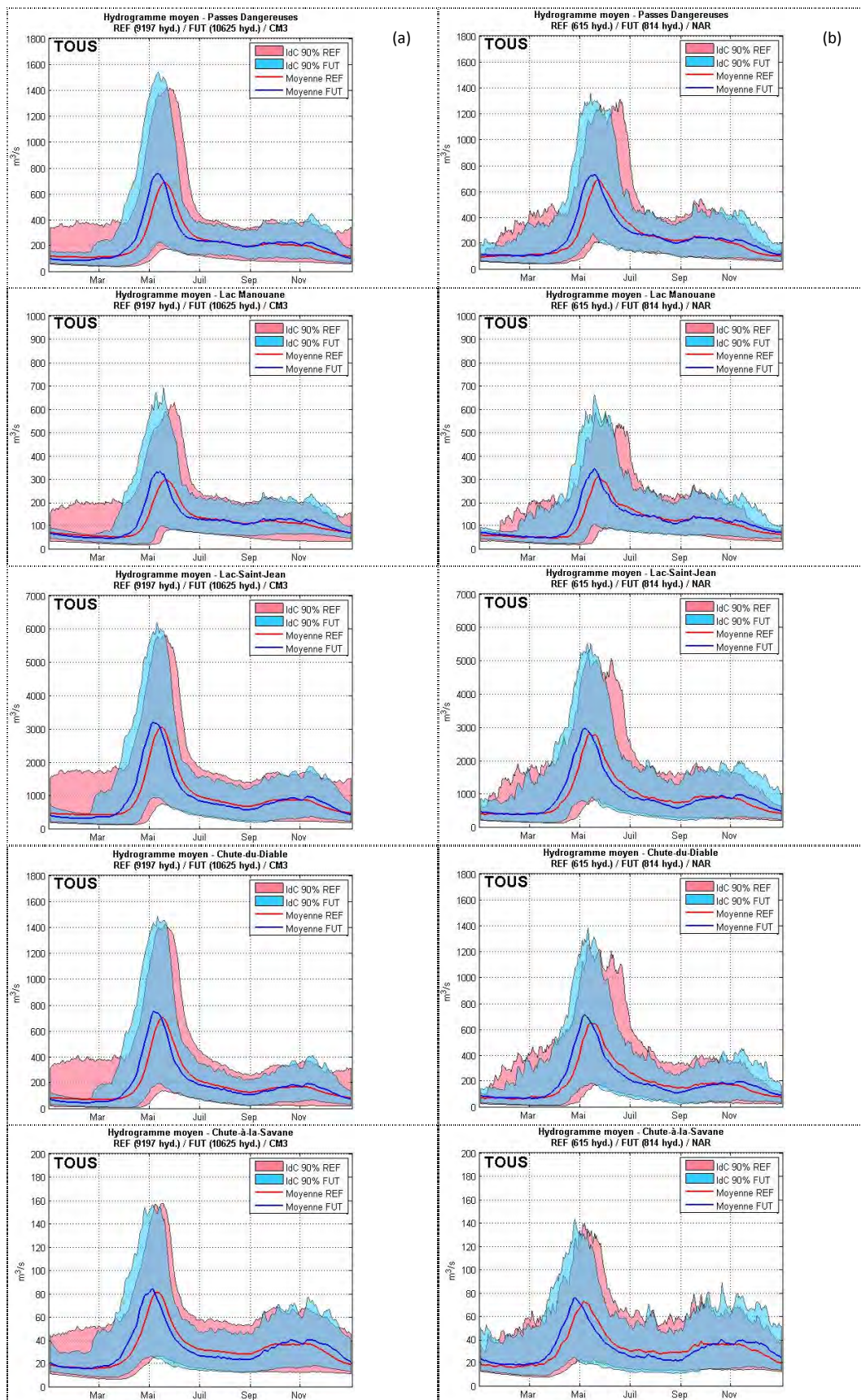
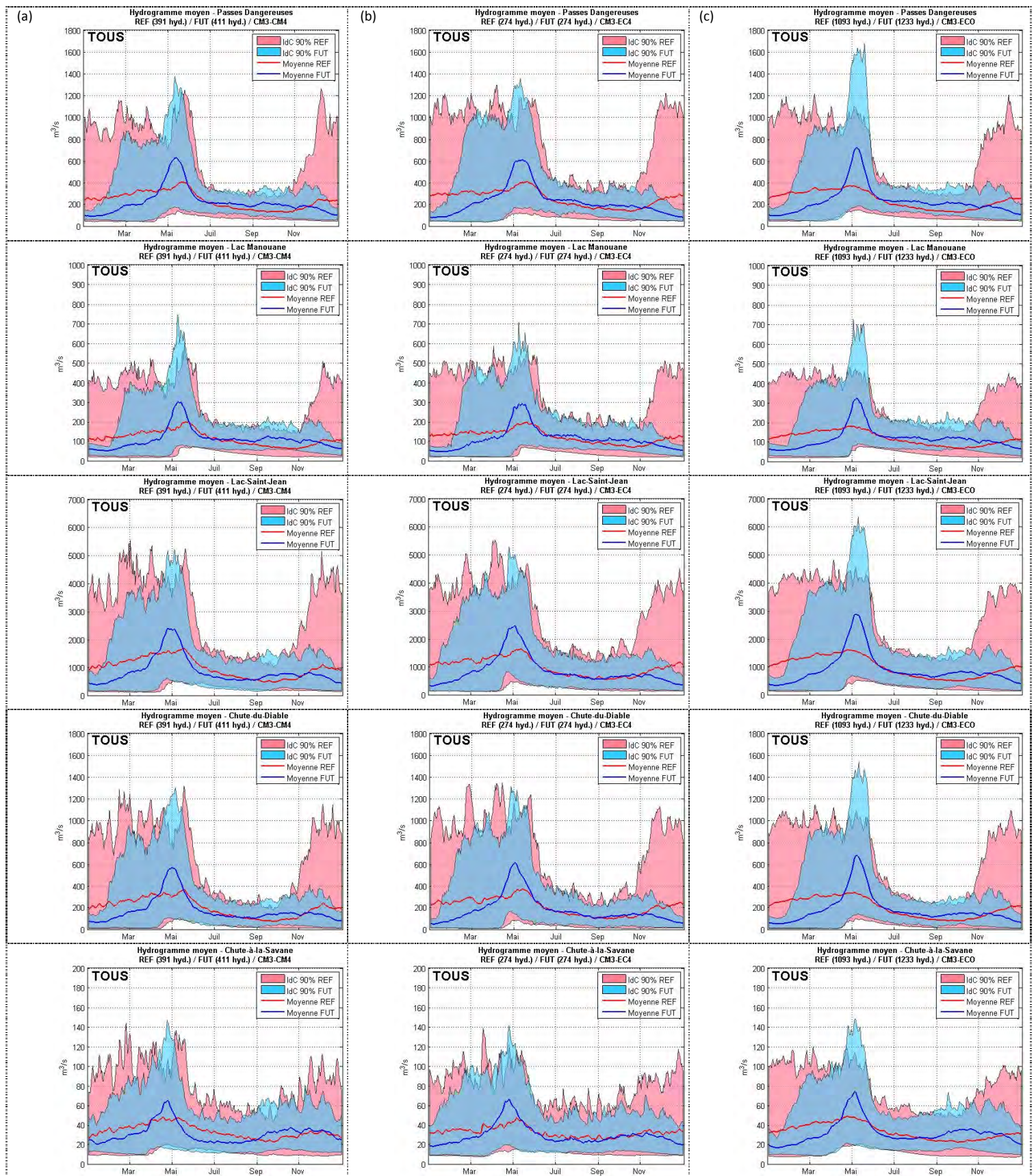
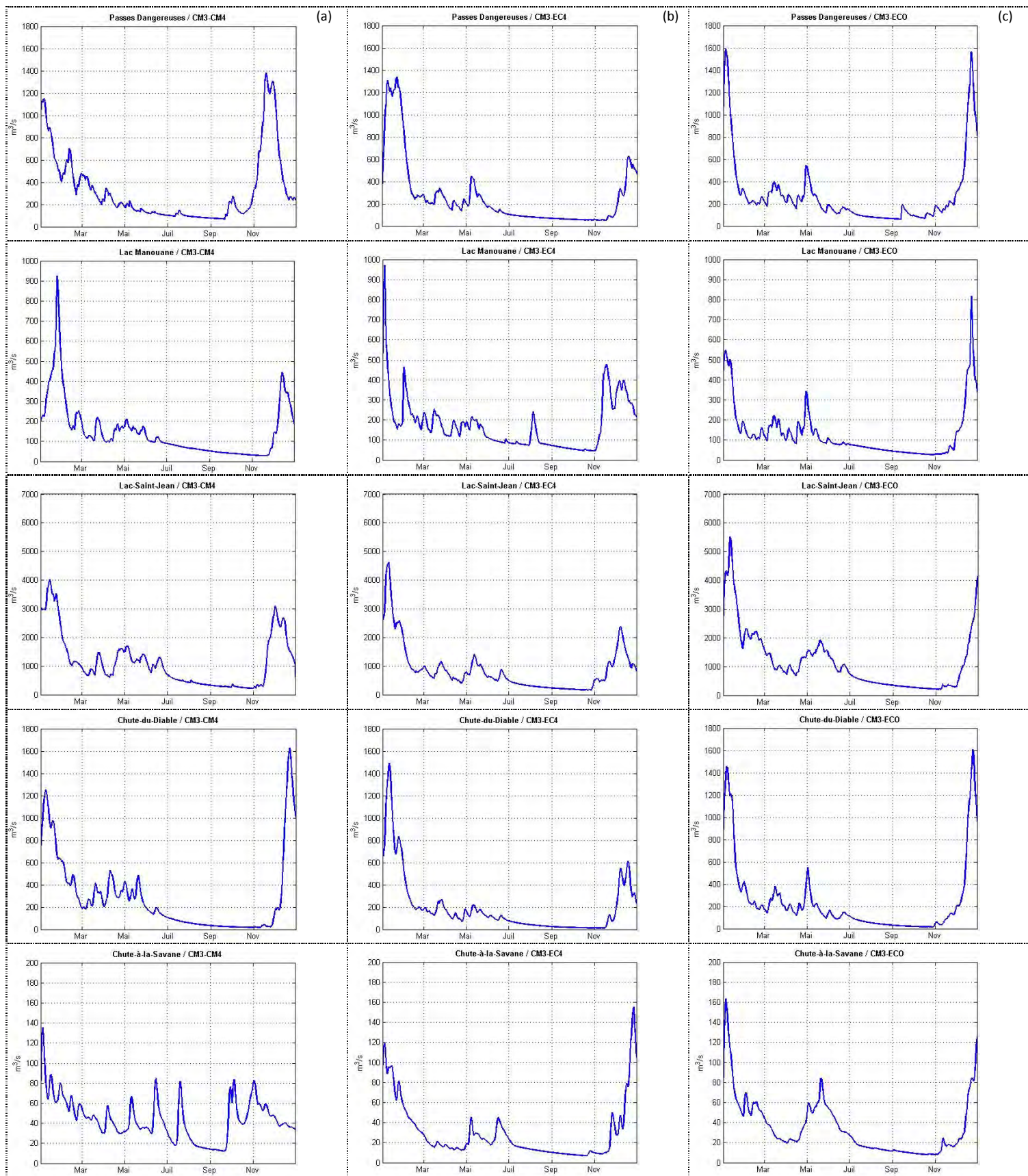


Figure 16 Hydrogramme moyen aux 5 sous-bassins en période de référence et en période future (horizon 2050) pour les sous-ensembles climatiques (a) CMIP3 et (b) NARCCAP



**Figure 17 Hydrogramme moyen aux 5 sous-bassins en période de référence et en période future (horizon 2050) pour les modèles (a) CM4, (b) EC4 et (c) ECO du sous-ensemble climatique CMIP3**



**Figure 18 Hydrogrammes annuels atypiques aux 5 sous-bassins en période de référence pour les modèles (a) CM4, (b) EC4 et (c) ECO du sous-ensemble climatique CMIP3**

## 10.CONCLUSION

Ce premier exercice d'évaluation de l'impact des changements climatiques sur le bassin du Saguenay réalisé dans le cadre du projet (cQ)<sup>2</sup> a permis d'utiliser le modèle hydrologique Cequeau comme noyau de la plateforme de modélisation hydroclimatique. Un ensemble de 87 scénarios climatiques, fourni par Ouranos et provenant de 23 modèles climatiques, a été utilisé comme données d'entrée au modèle Cequeau pour obtenir un ensemble de 435 scénarios hydrologiques en raison du fait que les données climatiques originales et post traitées pour corriger les biais (4 méthodes de post traitement) ont été employées. Les modèles climatiques globaux étaient surreprésentés par rapport aux modèles climatiques régionaux puisque 73 scénarios parmi les 87 proviennent de modèles globaux. Douze indicateurs hydrologiques ont été choisis pour évaluer le signal de changement entre la période de référence (1961-2000) et la période future (2041-2070) pour le bassin du Saguenay et plus particulièrement pour les sous-bassins Passes Dangereuses (PD), Lac Manouane (LM), Lac-Saint-Jean (LSJ), Chute-du-Diable (CD) et Chute-à-la-Savane (CS).

Le signal de changement est caractérisé par son ampleur et sa probabilité d'occurrence, ce dernier étant le reflet du consensus sur l'ampleur du changement entre les 23 modèles climatiques. C'est un fait indéniable que des projections climatiques à l'horizon 2050 contiennent une large part d'incertitude qui a été prise en compte en considérant 23 modèles climatiques globaux et régionaux de plusieurs pays dans le monde, 3 scénarios de GES et d'aérosols qui tiennent compte des projections sur la croissance de la population mondiale et le développement économique et technologique mondial, et 4 méthodes de post-traitement des scénarios climatiques en plus de l'utilisation des sorties directes des modèles climatiques. Comme on le constate, l'incertitude sur les projections est élevée. Cependant, des tendances centrales fortes et significatives ont été décelées lors de notre analyse. Elles sont résumées ci-dessous.

Au stade actuel et considérant le fait que ces résultats sont le fruit d'un premier exercice du genre, il est important de mettre en garde contre toute utilisation hâtive des projections de hausse anticipée de l'hydraulicité au Saguenay-Lac-Saint-Jean à des fins de conception d'ouvrage, de planification budgétaire et de planification à long terme des équipements de production.



Débit moyen annuel :	<b>Augmentation</b> 3.9% (CS) à 7.6% (LM)	Probable (PD, LSJ, CD et CS) Très probable (LM)
Débit moyen hivernal	<b>Augmentation</b> 16.8% (LM) à 34.4% (CD)	Probable (PD, LM, et LSJ) Très probable (CD et CS)
Débit moyen printanier	<b>Augmentation</b> 11.0% (CS) à 22.3% (LM)	Très probable pour le Saguenay-Lac-Saint-Jean
Débit moyen estival	<b>Diminution</b> 4.9% (LM) à 13.6% (CS)	Probable (PD, LM, LSJ et CD) Très probable (CS)
Volume de la crue printanière	<b>Augmentation</b> 5.2% (CS) à 11.4% (LM)	Probable (LSJ, CD et CS) Très probable (PD et LM)
Début de la crue printanière	<b>Plus hâtif</b> 8.5 jours (CD) à 9.3 jours (CS)	Très probable pour le Saguenay-Lac-Saint-Jean
Durée du régime hivernal	<b>Plus courte</b> 5.7 jours (CS) à 15.7 jours (LM)	Probable (LSJ et CD) Très probable (PD et LM)
Durée du régime printanier	<b>Plus longue</b> 1.7 jours (PD) à 4.1 jours (CS)	Probable pour le Saguenay-Lac-Saint-Jean

Cet exercice d'évaluation de l'impact des changements climatiques sur l'hydrologie de surface au Saguenay-Lac-Saint-Jean devra être réactualisé périodiquement ou dès que de nouvelles projections climatiques seront disponibles. Déjà, la disponibilité de l'ensemble climatique CMIP5 qui introduit un tout nouveau paradigme en matière de projections climatiques constitue le prélude à une mise à jour de cette étude. Par exemple, les politiques environnementales d'atténuation des émissions de GES et aérosols sont prises en compte de façon bien simpliste dans les scénarios qui ont été considérés dans le présent rapport. Les nouveaux scénarios qui sont utilisés dorénavant prennent en compte les diverses politiques de réduction des émissions de GES et aérosols et, par le fait même, considèrent les répercussions de ces politiques environnementales. Aucun des scénarios utilisés dans cette étude ne tenait effectivement compte de ces mesures en tant que telles bien que les scénarios A1B et B1 proposaient des augmentations d'émission seulement jusqu'en 2050 ou même presque pas d'augmentation.

## BIBLIOGRAPHIE

Karl, T. R., et K. E. Trenberth, 2003. Modern global climate change. *Science*, 302, 1719-1723.

Mearns, L. O., W. J. Gutowski, R. Jones, L.-Y. Leung, S. McGinnis, A. M. B. Nunes, et Y. Qian, 2009. A regional climate change assessment program for North America. *EOS*, Vol. 90, No. 36, 311-312.

Meehl, G. A., C. Covey, T. Delworth, M. Latif, B. McAvaney, J. F. B. Mitchell, R. J. Stouffer, et K. E. Taylor, 2007. The WCRP CMIP3 multi-model dataset: A new era in climate change research, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88, 1383-1394.

Music, B., et D. Caya, 2007. Evaluation of the Hydrological Cycle over the Mississippi River Basin as Simulated by the Canadian Regional Climate Model (CRCM). *Journal of Hydrometeorology*, 8(5), 969-988.

Schmidli, J., Frei, C. et P. L. Vidale, 2006. Downscaling from GCM precipitation: a benchmark for dynamical and statistical downscaling methods. *International Journal of Climatology*, 26, 679–689.

Teutschbein, C., et J. Seibert, 2010. Regional Climate Models for Hydrological Impact Studies at the Catchment Scale: A Review of Recent Modeling Strategies. *Geography Compass*, 4(7), 834–860.

Wood AW, Leung LR, Sridhar V, et D. P. Lettenmaier, 2004. Hydrologic implications of dynamical and statistical approaches to downscaling climate model outputs. *Climatic Change*, 62, 189–216.