

Projet d'évaluation de l'impact des vagues créées par les bateaux de type wakeboat sur la rive des lacs Memphrémagog et Lovering



Sara Mercier-Blais et Yves Prairie

Juin 2014



Organisation
des Nations Unies
pour l'éducation,
la science et la culture



Chaire UNESCO
en Changements
environnementaux
à l'échelle du globe

UQÀM

Université
du Québec à Montréal
(Canada)

UQÀM

Service aux collectivités

Université du Québec à Montréal



MEMPHRÉMAGOG
CONSERVATION INC.

Comité d'encadrement

Yves Prairie, professeur au Département des Sciences biologiques de l'UQAM, responsable de la recherche

Lucie Borne, Société de Conservation du Lac Lovering

Robert Benoit, Memphrémagog Conservation Inc.

Sara Mercier-Blais, étudiante à la maîtrise en Sciences biologiques de l'UQAM

Claire Vanier, Service aux collectivités de l'UQAM

Rédaction

Sara Mercier-Blais

Yves Prairie

Révision et coordination de la production

Claire Vanier

Soutiens financiers

Programme d'aide financière à la recherche et à la création, UQAM - recherche dans le cadre des services aux collectivités, Volet 2

Société de Conservation du Lac Lovering

Memphrémagog Conservation Inc.

Service aux collectivités de l'Université du Québec à Montréal	Société de Conservation du Lac Lovering	Memphrémagog Conservation Inc.
Case postale 8888, Succ. Centre-Ville, Montréal (Qc) H3C 3P8 Téléphone : (514) 987-3177 www.sac.uqam.ca/accueil.aspx	Case postale 447, Magog (Qc) J1X 3W7 (819) 868-2669 www.laclovering.org/	Case postale 70, Magog (Qc) J1X 3W7 (819)340-8721 www.memphremagog.org/fr/index.php

SOMMAIRE EXÉCUTIF

La présence des bateaux de type wakeboat s'intensifie depuis quelques années sur les plans d'eau du Québec. De plus en plus de résidents de bord de lacs s'inquiètent de l'impact éventuel du passage de tels bateaux sur le rivage des lacs, entre autres sur la remise en suspension des sédiments causée par une augmentation de l'énergie présente dans ces vagues.

L'objectif de la présente recherche était de développer un cadre scientifique permettant de valider l'existence, l'ampleur et les modalités des impacts des vagues surdimensionnées engendrées par des wakeboats sur l'environnement lacustre au Québec. La recherche a été réalisée aux lacs Lovering et Memphrémagog, en collaboration avec la SCLL et MCI, et avec le soutien du Service aux collectivités.

Les **principaux résultats** de la recherche sont les suivants :

- Tous les passages de wakeboats induisent une augmentation significative de l'énergie contenue dans les vagues qui atteignent le rivage, en moyenne par un facteur de 4.
- L'impact des passages de wakeboat est directement et inversement relié à la distance entre le passage et la rive.
- Des trois différents types de vagues produites par un wakeboat, les vagues de wakesurf sont celles qui causent le plus grand impact lors de leur arrivée au rivage (1.7 fois plus élevé que les vagues d'un bateau en déplacement normal).
- Les passages de wakeboat ont un impact plus grand sur les rivages ayant une pente accentuée que ceux ayant une pente douce.
- Nos données démontrent que l'énergie produite par le wakeboat se dissipe complètement avant d'atteindre les berges (et n'ont donc pas d'effet significatif) lorsque les passages de wakeboats se font à 300 m ou plus de la rive.

TABLE DES MATIÈRES

Sommaire exécutif	i
Liste des tableaux	iii
Liste des figures	iii
Introduction	1
Méthodologie	3
Plan d'échantillonnage	3
<i>Types de déplacement du wakeboat</i>	3
<i>Choix et caractérisation des sites - type de rivage</i>	4
Échantillonnage	5
<i>Remise en suspension des sédiments</i>	5
<i>Énergie cinétique turbulente</i>	5
<i>Évaluation des conditions normales</i>	6
Analyse de laboratoire	6
Analyses statistiques	7
Limites de l'étude	7
Résultats et discussion	8
Énergie cinétique turbulente (TKE)	9
Remise en suspension des sédiments	11
Distance de la berge	14
Impact de la pente du littoral sur l'énergie qui atteint le rivage	16
Caractéristiques des vagues	18
Conclusion	20
Bibliographie	21
Annexes	22
Annexe 1. Sites d'échantillonnage dans le lac Lovering et dans le lac Memphrémagog	22
Annexe 2. Carte de la réglementation nautique du lac Lovering	23
Annexe 3. Cartes de la réglementation nautique du lac Memphrémagog	24
Annexe 3. Tableaux des données brutes des paramètres physiques	25
Annexe 4. Tableaux des données brutes des valeurs de sédiments en suspension	31

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Caractéristiques des sites échantillonnés.....	4
Tableau 2. Comparaisons des résultats en conditions normales et lors du passage d'un wakeboat : vitesses (moyenne, maximale, minimale); énergie cinétique turbulente (TKE), énergie horizontale (ϵ_x) et verticale (ϵ_z); sédiments en suspension.....	8
Tableau 3. Moyenne de la durée du train de vagues (sec), du nombre de vagues par longueur des trains de vague et de la vitesse maximale ($m\ s^{-1}$) suivant les différentes distances de la rive (100, 150, 200 m) et les type de déplacement du wakeboat.....	19

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Plan d'échantillonnage pour la prise de mesure de trois différents types de déplacement à trois distances de la rive et à six sites d'échantillonnage	3
Figure 2. Illustration du calcul des pentes du littoral des sites échantillonnage.....	4
Figure 3. Exemple représentant la vitesse ($m\ s^{-1}$) des dimensions x (rouge), y (vert) et z (bleu) pour une période de vagues normales, et lors du passage de la vague de bateau (train de vague).....	5
Figure 4. Exemple de spectre de puissance permettant le calcul de la dissipation de l'énergie	6
Figure 5. L'énergie (TKE) présente dans les vagues normales (gris foncé) et celle présente dans les vagues suite au passage d'un wakeboat à 100, 150 et 200 m de la rive, et selon le type de passage du bateau (a : tous types de passage confondus; b : 10 miles/h; c : 20 miles/h; d : 30miles/h).	9
Figure 6. L'énergie supplémentaire induite par le passage d'un wakeboat (TKE vague – TKE normal) suivant le type de passage (10, 20 et 30 miles/h) et selon la distance à la rive (a : 100 m; b : 150 m ; c : 200m) et celle induite suivant la distance à la rive (100, 150 et 200 m) et selon le type de passage (d : 10 miles/h; e : 20 miles/h; f : 30 miles/h).	10
Figure 7. La remise en suspension des sédiments causée par les vagues normales (gris foncé) et causée par les vagues suite au passage d'un wakeboat à 100, 150 et 200 m selon le type de passage (a : tous types de passage; b : 10 miles/h; c : 20 miles/h; d : 30 miles/h).	12
Figure 8. La remise en suspension des sédiments supplémentaire induite selon le type de passage (10, 20 et 30 miles/h) et suivant la distance de passage (a : 100 m; b : 150 m; c : 200m) et celle induite selon la distance de la rive (100, 150 et 200 m) et suivant le type de passage (d : 10 miles/h; e : 20 miles /h; f : 30 miles/h;).	13
Figure 9. Régression linéaire de a) l'énergie (TKE) et b) des sédiments en suspension, en fonction de la distance de la rive pour les lacs Lovering (gris pâle) et Memphrémagog (noir).....	14
Figure 10. Carte de la zone navigable par les wakeboats (gris foncé) suite à une réglementation limitant leur activité à plus de 300 m de la rive des lacs Memphrémagog (a) et Lovering (b)....	16
Figure 11. Énergie (TKE) qui atteint le rivage selon les sites avec pente du littoral aigüe (gris foncé) ou douce (gris pale) pour des vagues normales (a) et celle de wakeboat (b).	17
Figure 12. Régression linéaire entre l'énergie (TKE) et la pente du littoral : a) en conditions normales et b) durant le passage d'un train de vagues de wakeboat pour 5 sites échantillonnés.	18

INTRODUCTION

Depuis quelques années, de nouveaux sports aquatiques émergent dans les plans d'eau au Québec. Notamment, la popularité des wakeboats augmente continuellement sur de nombreux lacs, dont les lacs Memphrémagog et Lovering. Situé au nord de la région des Appalaches, ces deux lacs sont des pôles récréotouristiques importants tant pour les riverains que pour les vacanciers. La configuration des wakeboats peut créer une vague suffisamment haute pour permettre aux adeptes de « surfer » à l'arrière de l'embarcation, soit sur un wakesurf ou sur un wakeboard. En faisant du wakesurfing, le surfeur n'est pas attaché au bateau, mais il surf derrière le sillage de celui-ci sur une planche très semblable à une planche de surf normale. Dans le cas du wakeboard, la personne surf derrière le bateau, en restant rattachée à celui-ci en tout temps, sur une planche se rapprochant beaucoup plus d'une planche de snowboard comportant des chausses.

Sauf quelques travaux, tels que ceux de Hill, Beachler and Johnson (2002), limités à la rivière Chilkat en Alaska, et ceux de Péloquin-Guay (Mémoire, U. de Montréal, 2013) sur la rivière Batiscan, très peu d'études expérimentales ont été effectuées pour évaluer rigoureusement et quantitativement le potentiel des embarcations à accélérer l'érosion des berges, et aucune n'a été effectuée spécifiquement sur les embarcations de type wakeboat dans des lacs. Or, l'érosion des berges peut constituer un important vecteur de nutriments vers les lacs, particulièrement sur les territoires déboisés qui les bordent (Keenan and Kimmins 1993). À ce jour, aucune réglementation n'encadre l'utilisation de ces embarcations en lien avec leur impact environnemental. En effet, la seule réglementation actuellement en vigueur est celle liée à la sécurité nautique, qui limite la vitesse à 10 km/h, lorsque l'embarcation se déplace à moins de 100 m de la rive. Dans le reste du lac, la limite de vitesse est à 70 km/h (Annexes 2 et 3: Cartes de la réglementation nautique du Gouvernement du Québec, MRC Memphrémagog 2011; MRC Memphrémagog 2013).

Or, chaque vague créée par une embarcation, ou par le vent, contient une certaine quantité d'énergie (énergie cinétique turbulente; TKE). Une partie de cette énergie sera dissipée rapidement mais une certaine quantité pourra atteindre les berges. C'est cette énergie supplémentaire qui peut contribuer à l'érosion accélérée des berges et à la remise en suspension des sédiments en place. Jusqu'à présent, aucune relation n'a été développée afin de permettre la

comparaison quantitative entre l'énergie induite par le train de vagues des embarcations et celles observées normalement.

L'objectif du présent projet était donc de développer un cadre scientifique permettant de valider l'existence, l'ampleur et les modalités des impacts des vagues causées par les wakeboats sur l'environnement lacustre au Québec, sur la base de mesures effectuées aux lacs Lovering et Memphrémagog. Trois sites dans chaque lac ont été tour à tour instrumentés, pour acquérir les données physiques permettant de quantifier l'énergie induite par le train de vagues de wakeboat qui atteignent les berges. De plus, des mesures ont été prises pour évaluer la remise en suspension des sédiments.

MÉTHODOLOGIE

Plan d'échantillonnage

Afin de bien quantifier l'effet des wakeboats sur l'énergie reçue par les berges, nous avons choisi de procéder avec un plan expérimental contrôlé, c'est-à-dire où nous pouvons imposer des configurations et trajectoires spécifiques à l'embarcation. Notre protocole permet de mesurer l'énergie engendrée par les vagues de wakeboats selon plusieurs combinaisons de trois facteurs principaux :

- 1) le type de déplacement de l'embarcation, caractérisé par la vitesse du bateau, et donc le type de vagues créées;
- 2) la distance de la rive à laquelle passe l'embarcation (100, 150 et 200 m);
- 3) le type de rivage, suivant la pente de la rive.

La Figure 1 illustre ce plan d'échantillonnage. Pour chaque combinaison, les mesures ont été prises à deux reprises afin d'évaluer la variabilité entre les essais d'une même configuration.

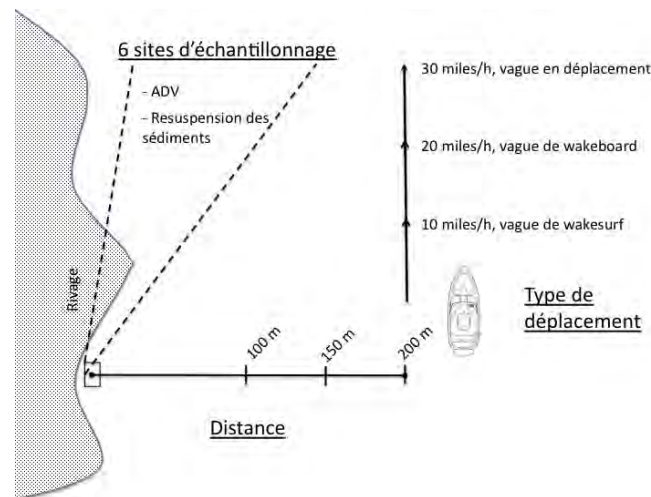


Figure 1. Plan d'échantillonnage pour la prise de mesure de trois différents types de déplacement à trois distances de la rive et à six sites d'échantillonnage

Types de déplacement du wakeboat

Le déplacement d'un bateau peut créer différents types de vagues. Dans cette recherche, trois types de vagues ont été étudiés, soit les vagues de wakesurf, les vagues de wakeboard et les vagues du wakeboat en déplacement sur le lac. Les vagues de wakesurf sont créées en remplissant un seul côté des ballasts du bateau et en naviguant à une vitesse assez basse (10 miles/h ; 16.1 km/h). Dans le cas des vagues de wakeboard, les deux côtés des ballasts sont remplis et le bateau se déplace à une vitesse de 20 miles/h (32.2 km/h). Lorsque le wakeboat se

déplace d'un endroit à l'autre, la vitesse moyenne de déplacement est de 30 miles/h (48.3 km/h), mais il se déplace à ce moment avec ces ballasts vides. Le plan d'échantillonnage a été élaboré pour mesurer la quantité d'énergie qui arrive à la rive et la remise en suspension des sédiments à la rive, selon les trois différents types de déplacements (vagues de wakesurf, vagues de wakeboard et vagues en déplacement), à trois distances de la rive et à six sites d'échantillonnage (3 par lac; Annexe 1).

Choix et caractérisation des sites - type de rivage

Le choix des sites visait à obtenir différents types de pente du littoral, dans le but de confirmer si l'arrivée d'énergie et la remise en suspension des sédiments sont influencées par la pente d'une berge (Sorensen 1997). Nous avons échantillonné les lacs Lovering et Memphrémagog à trois sites différents sur chaque lac (Annexe 1) dans le but d'obtenir un gradient de pente représentatif des lacs de la région. L'échantillonnage s'est effectué les 4, 5 et 6 août 2013, entre 8h et 20h. Pour chacun des sites échantillonnés, la pente du rivage a été calculée à partir de cartes bathymétriques sur la base de la distance entre la rive et le lieu dans le lac où l'eau atteignait une profondeur de 3.05 m (10 pieds, unités de la carte bathymétrique).

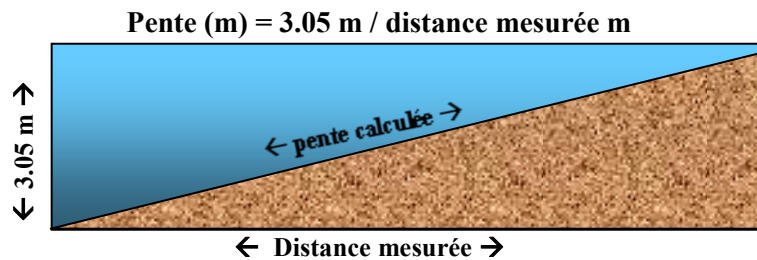


Figure 2. Illustration du calcul des pentes du littoral des sites échantillonnage

Une fois les pentes calculées (Tableau1), les six sites ont été séparés en sites de pente aigüe ($\geq 0.1 \text{ m m}^{-1}$) ou douce ($< 0.1 \text{ m m}^{-1}$).

Tableau 1. Caractéristiques des sites échantillonnés.

Lac	Site	Date d'échantillonnage	Pente du rivage (m m^{-1})	Type de pente
Lovering	LOV1	4 août 2013	0.096	Douce
	LOV2	5 août 2013	0.022	Douce
	LOV3	5 août 2013	0.044	Douce
Memphrémagog	MEM1	5 août 2013	0.203	Aigüe
	MEM2	5 août 2013	0.131	Aigüe
	MEM3	6 août 2013	0.299	Aigüe

Échantillonnage

Remise en suspension des sédiments

Pour mesurer la remise en suspension des sédiments, un échantillon d'eau a été prélevé avant (A) et après (B) chacun des passages de bateau, à chaque site d'échantillonnage. La remise en suspension représente la différence dans les quantités de sédiments en suspension mesurées entre les deux échantillons (B-A). La concentration de base de chaque site a été établie comme étant le premier échantillon prélevé à ce site.

Énergie cinétique turbulente

L'énergie apportée par les vagues des wakeboats a été mesurée à l'aide d'un micro-ADV (Acoustic Doppler Velocimeter), qui permet de mesurer la vitesse de l'eau dans les trois dimensions et ce, à fréquence élevée (25 fois/seconde; Figure 3).

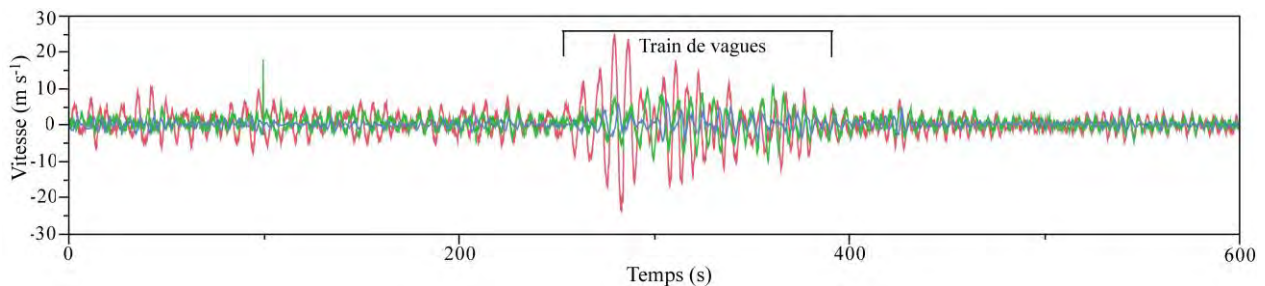


Figure 3. Exemple représentant la vitesse ($m\ s^{-1}$) des dimensions x (rouge), y (vert) et z (bleu) pour une période de vagues normales, et lors du passage de la vague de bateau (train de vague).

L'énergie cinétique turbulente (TKE, « turbulent kinetic energy ») contenue dans une vague (créée par une embarcation ou autrement) peut être calculée en connaissant les vitesses tridimensionnelles lors de son passage, selon l'équation :

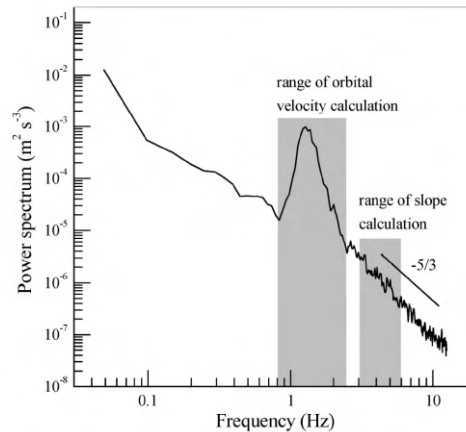
$$TKE = \frac{1}{2}(\overline{x^2} + \overline{y^2} + \overline{z^2})$$

où x , y et z sont les vitesses des micro-turbulences mesurées dans les trois dimensions (Wist 2004).

Ce type de mesure permet d'estimer la vitesse de dissipation de l'énergie (« energy dissipation rate », ϵ) qui est aussi une mesure de la production d'énergie lorsque le système est en équilibre. Ces mesures de vitesse tridimensionnelles sont ensuite décomposées en un spectre de puissance (Figure 4) dont la théorie de Kolmogorov (1941) en prévoit les caractéristiques selon l'équation :

$$S(f) = C_f \varepsilon^{2/3} u_{rms}^{2/3} f^{-5/3}$$

où $S(f)$ est la densité spectrale à la fréquence f (Hz), u_{rms} peut être considérée comme la vitesse advective moyenne (cm/s), C_f est une constante, et ε est le taux de dissipation de l'énergie ($m^2 s^{-3}$). On peut trouver les détails de cette méthodologie dans Vachon, Prairie, & Cole (2010).



(Tiré de Vachon, Prairie et Cole, 2010)

Figure 4. Exemple de spectre de puissance permettant le calcul de la dissipation de l'énergie

En utilisant le pic maximum du spectre de puissance obtenu pour chaque train de vagues, et en le divisant par la fréquence d'échantillonnage (25/seconde), nous obtenons le nombre de vagues présentes dans chaque train de vagues. Ce nombre de vagues est par la suite divisé par la longueur du train de vagues (nombre de vagues/ longueur des vagues) pour obtenir un nombre de vagues/seconde pour chaque train de vagues.

Évaluation des conditions normales

Les impacts sur les rives en conditions normales, c'est-à-dire sans passage de bateau, ont été évalués selon le même dispositif utilisé pour les mesures d'énergie causées par le passage du wakeboat. Ces données ont permis d'évaluer l'impact naturel des vagues générées par le vent et ce, pour chacun des sites.

Analyse de laboratoire

Les échantillons d'eau prélevés avant et après chacun passage de bateau ont été analysés en laboratoire. Pour chaque échantillon, un volume de 250 mL d'eau a été filtré sur des filtres 934-AH RTU (Glass Microfiber filters, 47 mm, prélavés et pré-pesés, Whatman) dans les 72 heures suivant leurs prélèvements sur le terrain. Dans les 7 jours suivants, les filtres ont été séchés

durant une heure dans un four à $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, puis conservés 30 minutes dans un dessiccateur pour éliminer toute trace d'humidité. Les filtres ont finalement été pesés avec une microbalance ayant une précision de 0.0001 g, pour obtenir la quantité de matériel sec et donc de sédiment contenue dans l'échantillon d'eau de 250 mL. Le résultat a ensuite été converti en mg/L (Gray et al. 2000; Environmental Sciences Section 1993).

Analyses statistiques

Le protocole BACI (Before-After-Impact-Control) a été utilisé comme design expérimental pour les analyses statistiques (Stewart-Oaten, Murdoch and Parker 1986). Ce type d'échantillonnage permet de comparer un site avant et après une perturbation, pour différents types de situation. Nous avons ici comparé la différence entre les mesures lors du passage des vagues du wakeboat et celles lors de conditions normales, et ce pour chaque type de déplacements, chaque distance de la rive et à chaque site d'échantillonnage. Des analyses de variance (ANOVA), des comparaisons de moyennes (t-test) et des régressions linéaires ont été effectuées avec le logiciel JMP pour analyser les données.

Limites de l'étude

Dans le cadre de cette étude, seulement deux lacs ont été échantillonnés (Memphrémagog et Lovering) à trois sites chacun. Ainsi, certaines caractéristiques des lacs de la région ne sont donc probablement pas représentées par le plan d'échantillonnage. De plus, trois déplacements typiques des embarcations de type wakeboat ont été utilisés dans le plan d'échantillonnage (wakeboard, wakesurf, en déplacement). Dans la réalité, l'énergie expérimentée par la rive est probablement beaucoup plus variée, car différents types de passage, à des vitesses variables, se suivent dans le temps.

Par ailleurs, dans le cas de la mesure de remise en suspension des sédiments, les résultats ont montré des quantités de sédiments plus faibles que ce que nous attendions et se situaient très près de la limite de détection de la méthode utilisée. Ils ne sont donc pas aussi précis que désiré et devraient donc être considérés comme très conservateurs.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Dans cette étude, nous avons analysé les variations dans l'énergie (TKE) et la remise en suspension des sédiments causée par les vagues de wakeboat lors de leur arrivée au rivage, en faisant varier le type de déplacement du wakeboat, la distance du rivage à laquelle il se situe, et la pente de ces rivages. La présente section s'ouvre sur les résultats globaux, c'est-à-dire les résultats de tous les types de passage, toutes les distances de la rive et toutes les pentes du rivage confondues, ainsi que les six sites confondus (i.e. les trois au lac Lovering et les trois au lac Memphrémagog). Dans les sections suivantes sont par la suite présentés les résultats suivant le type de déplacement du wakeboat (de wakesurf, de wakeboard et en déplacement) et donc du type de vagues, suivant la distance de la rive (100m, 150m, 200 m) et suivant les pentes du littoral. Une section aborde aussi certaines caractéristiques des différents types de vagues produites.

Le Tableau 2 présente les valeurs moyennes obtenues lors des échantillonnages dans les deux lacs. Les résultats montrent que les vagues créées par le wakeboat causent une augmentation importante (en moyenne, 4 fois plus élevée) et toujours significative de la quantité d'énergie (TKE) qui atteint le rivage, par rapport aux conditions normales (i.e. sans passage de bateau). Ce résultat général s'applique pour tous types de passage, toutes distances de la rive et toutes pentes du rivage confondues.

Tableau 2. Comparaisons des résultats en conditions normales et lors du passage d'un wakeboat : vitesses (moyenne, maximale, minimale); énergie cinétique turbulente (TKE), énergie horizontale (ϵ_x) et verticale (ϵ_z); sédiments en suspension

		Normal	Déplacement	t-test	n
Vitesse moyenne	cm s ⁻¹	3.04	6.27	<0.0001*	215
Vitesse maximum	cm s ⁻¹	10.58	20.39	<0.0001*	214
Vitesse minimum	cm s ⁻¹	0.08	0.12	0.0003*	214
TKE	m ² s ⁻²	7.91	31.81	<0.0001*	209
Sédiment en suspension	mg L ⁻¹	0.57	1.16	<0.0001*	215

Note : Nous avons considéré les différences comme étant significatives à un seuil de $p < 0.05$

De même, le passage d'un wakeboat crée des vagues transportant une énergie assez considérable pour directement induire une remise en suspension des sédiments statistiquement significative, en

moyenne 2 fois plus élevée qu'en conditions normales (Tableau 2), et ce pour tous types de déplacement, toutes distances et toutes pentes confondus.

Énergie cinétique turbulente (TKE)

La Figure 5 présente les résultats de TKE suivant la distance entre le passage du bateau et la rive (100m, 150m, 200m) et selon le type de passage, soit les mesures de TKE pour tous types de passage confondus (Figure 5a), celles pour le wakesurf (10 miles/h; (Figure 5b), celles pour le wakeboard (20 miles/h; Figure 5c) et celles pour le bateau en déplacement (30miles/h; Figure 5d).

Nos résultats montrent que, pour chacun des types de passage de bateau, quel que soit la distance, il y avait toujours une augmentation significative de la quantité d'énergie présente dans le train de vague de wakeboat (Figure 5) qui atteignait le rivage (gris pâle), par rapport aux conditions normales (gris foncé).

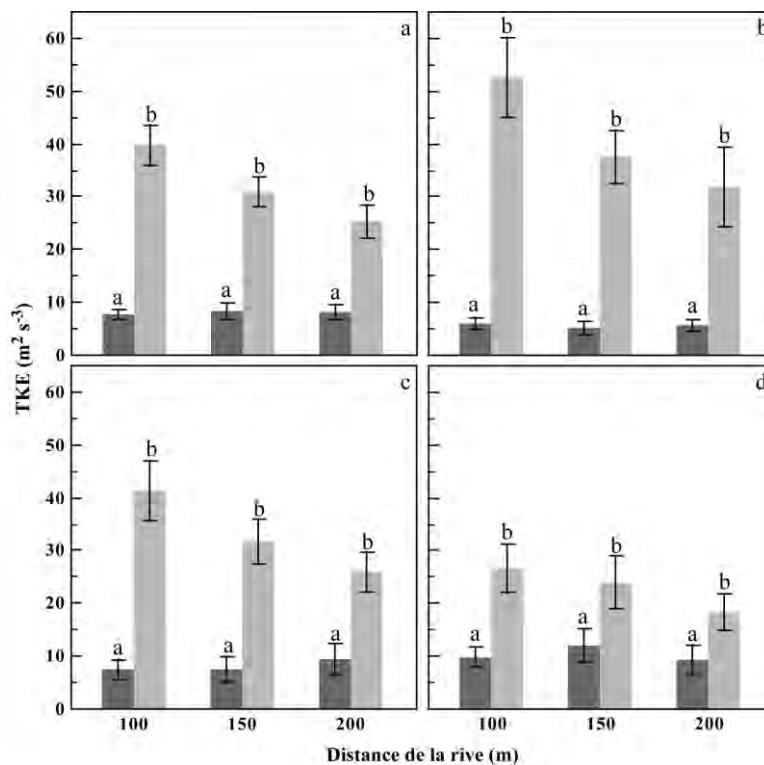


Figure 5. L'énergie (TKE) présente dans les vagues normales (gris foncé) et celle présente dans les vagues suite au passage d'un wakeboat à 100, 150 et 200 m de la rive, et selon le type de passage du bateau (a : tous types de passage confondus; b : 10 miles/h; c : 20 miles/h; d : 30miles/h).

Note : Les lettres a et b différentes au-dessus des colonnes signifient une différence significative ($p < 0.05$).

Ayant ainsi établi que tous les passages contiennent une énergie significativement plus élevée qu'en condition normale, des comparaisons vont être faites entre les différents types de passage et les différentes distances de la rive.

La Figure 6 présente l'énergie supplémentaire induite par le passage d'un wakeboat, soit la différence entre l'énergie en conditions normales et celle mesurée lors du passage du wakeboat (TKE vague - TKE normal).

Deux types de résultats sont présentés ici. D'une part, l'énergie supplémentaire induite est présentée suivant l'usage fait du bateau (wakesurf, wakeboard, en déplacement), et donc selon sa vitesse (10, 20 ou 30 miles/h), et suivant la distance du bateau par rapport à la rive (a : 100 m ; b : 150 m ; c : 200 m).

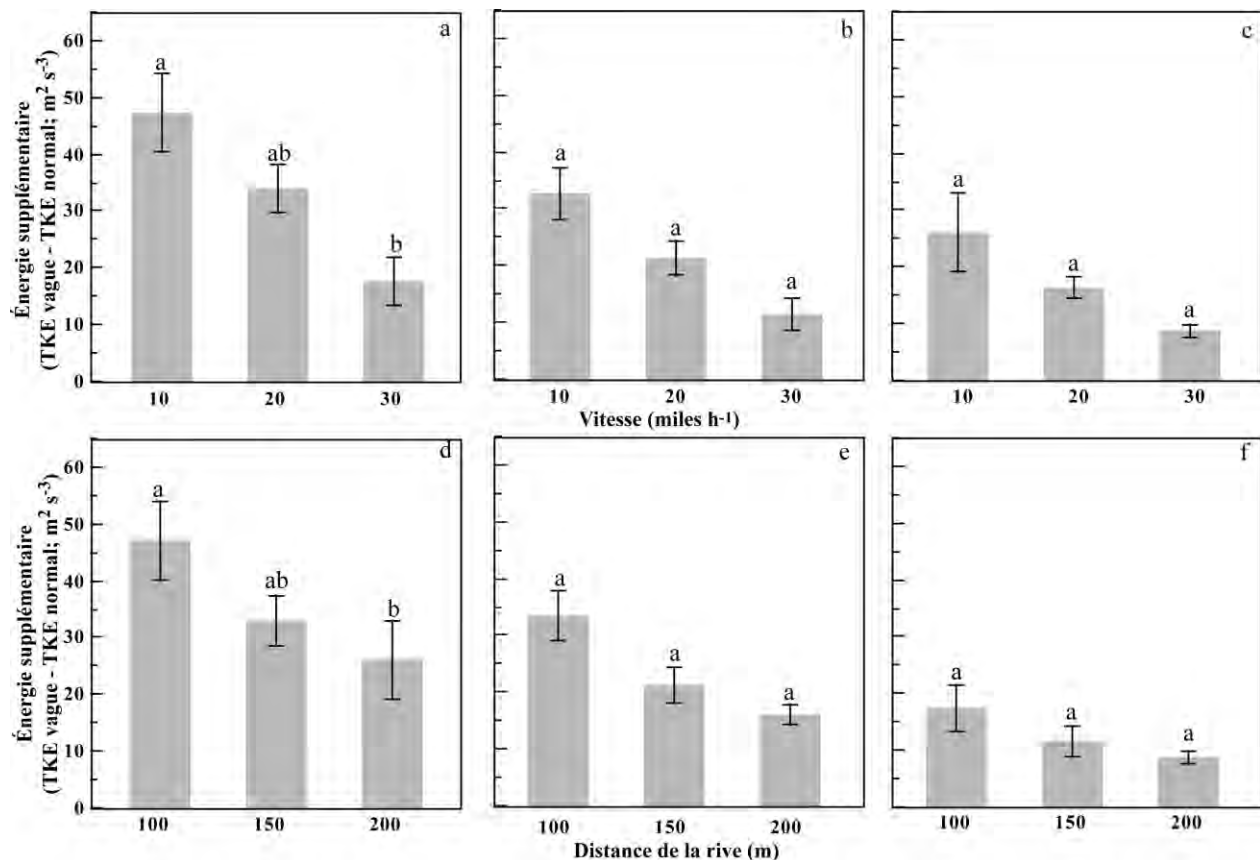


Figure 6. L'énergie supplémentaire induite par le passage d'un wakeboat (TKE vague - TKE normal) suivant le type de passage (10, 20 et 30 miles/h) et selon la distance à la rive (a : 100 m ; b : 150 m ; c : 200m) et celle induite suivant la distance à la rive (100, 150 et 200 m) et selon le type de passage (d : 10 miles/h; e : 20 miles/h; f : 30 miles/h).

Note : Les lettres a et b différentes au-dessus des colonnes signifient une différence significative ($p < 0.05$)

Cette première série de graphique permet de comparer l'effet des différents usages du bateau pour une même distance de la rive : par exemple, l'impact de la pratique du wakesurf (10 miles/h) à 100 m de la rive (Figure 6a) est beaucoup plus important que celui du bateau en déplacement (30 miles/h). En fait, l'énergie créée par le wakesurf est 1.7 fois plus élevée que celle produite par le bateau en déplacement, malgré sa vitesse de 30 miles/h. Dans le cas des autres distances à la rive (Figure b et c), les différences ne sont pas significatives, bien qu'on voit une tendance entre la distance de 300 m, et celle de 100 m.

La deuxième série de graphiques à la Figure 6 permet d'inverser l'analyse, c'est-à-dire de comparer la quantité d'énergie supplémentaire induite suivant la distance à la rive (100, 150 et 200 m) et selon l'usage du bateau, et donc selon sa vitesse (d : 10 miles/h ; e : 20 miles/h; f : 30 miles/h).

Cette deuxième série de graphiques montre que l'énergie supplémentaire induite lorsque le bateau passe à 100 m de la rive est de 2 fois plus élevée que celle induite par un passage à 200 m. Cette différence selon la distance de la rive n'est significative que dans le cas des vagues de wakesurf (Figure 6d), bien qu'une telle tendance soit observable lors de vagues de wakeboard et en déplacement (Figure 6e et f).

Remise en suspension des sédiments

La Figure 7 présente les quantités de sédiments remis en suspension pour chaque distance entre le passage du bateau et la rive (100m, 150m, 200m); la Figure 7a présente les résultats pour tous les types de passage confondus, la Figure 7b, ceux pour les vagues de wakesurf, la Figure 7c, ceux pour les vagues de wakeboard et la Figure 7d, les résultats pour les vagues en déplacement.

On note à la Figure 7 que, en général, le passage d'un bateau crée une remise en suspension des sédiments significativement supérieure à celle en conditions normales : c'est le cas des vagues de wakesurf (10 miles/h; Figure 7b) et des vagues en déplacement (30 miles/h, Figure 7d), lorsque les bateaux circulent à 100m ou à 150 m. de la rive. Lorsque le bateau passe à 200 m, il n'y a plus de changement significatif dans la remise en suspension des sédiments. On trouve des résultats contraires pour les passages de wakeboard (20 miles/h, Figure 7c), soit une remise en suspension significative uniquement à 200 m mais pas à 100m ou 150m.

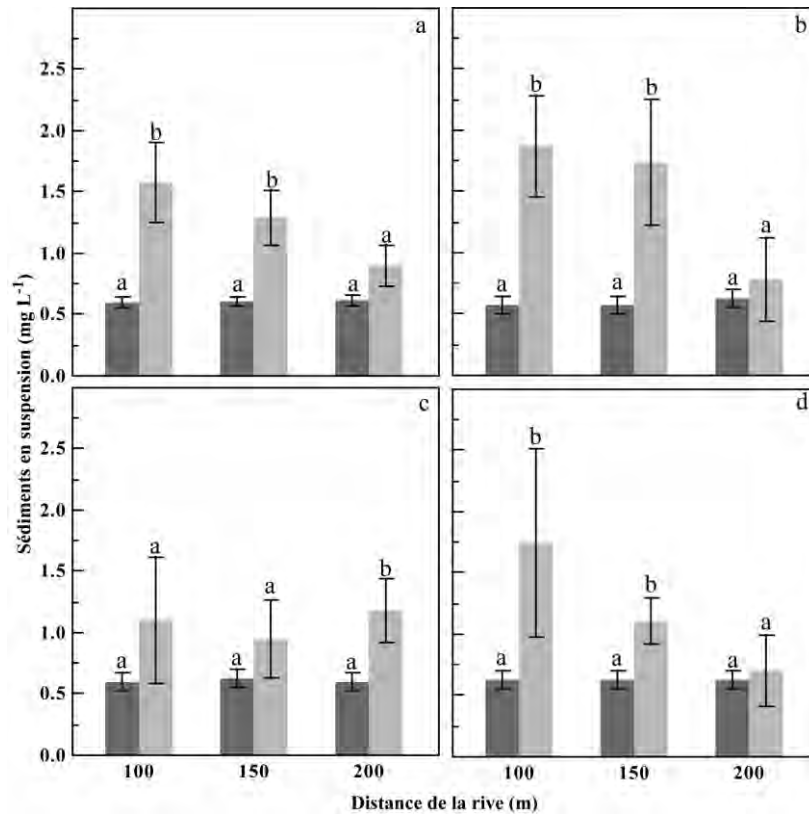


Figure 7. La remise en suspension des sédiments causée par les vagues normales (gris foncé) et causée par les vagues suite au passage d'un wakeboat à 100, 150 et 200 m selon le type de passage (a : tous types de passage; b : 10 miles/h; c : 20 miles/h; d : 30 miles/h).

Note : Les mêmes lettres au-dessus des colonnes signifient qu'il n'y a aucune différence significative des effets, entre les conditions normales et celles induites par un passage de vagues de wakeboat.

La Figure 8 (page suivante) présente les quantités de sédiments remis en suspension sous deux formes de résultats. La première série de graphiques présente les résultats pour chaque type de déplacement (wakeboat : 10 miles/h ; wakeboard : 20 miles/h; en déplacement : 30 miles/h) pour une distance de 100m (Figure 8a), une distance de 150m (Figure 8b) et une distance de 200 m. (Figure 8c). La deuxième série présente les résultats selon la distance de passage de la rive (100m, 150 et 200 m) selon le type d'usage du bateau, soit le wakesurf (10 miles/h; Figure 8d), le wakeboard (20miles/h; Figure 8d) et en déplacement (30 miles/h; Figure 8f).

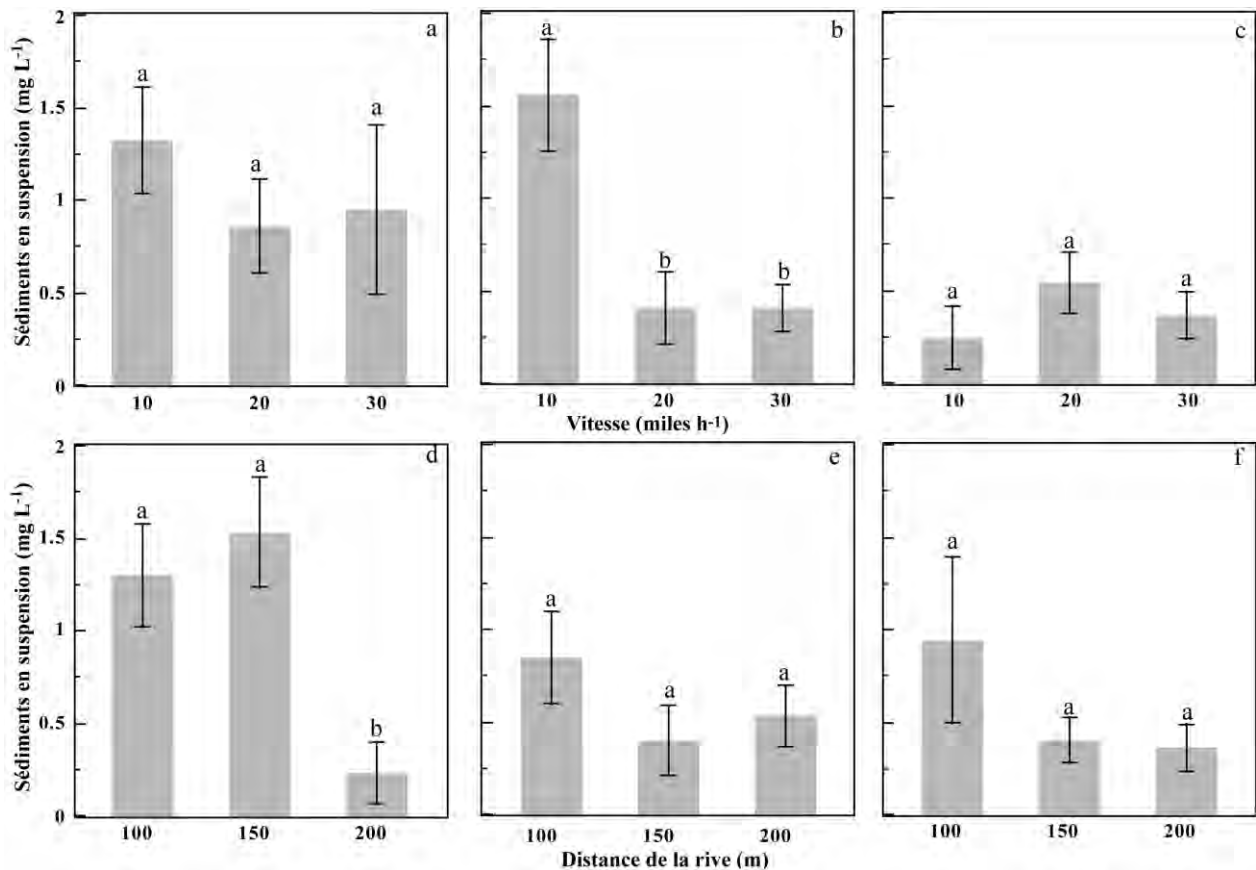


Figure 8. La remise en suspension des sédiments supplémentaire induite selon le type de passage (10, 20 et 30 miles/h) et suivant la distance de passage (a : 100 m; b : 150 m; c : 200m) et celle induite selon la distance de la rive (100, 150 et 200 m) et suivant le type de passage (d : 10 miles/h; e : 20 miles /h; f : 30 miles/h;).

Note : Les lettres a et b différentes au-dessus des colonnes signifient une différence significative ($p < 0.05$)

La première série de graphiques, qui compare les effets de remise en suspension entre les types de déplacement, montre que seules les vagues de wakesurf (10 miles/h) créées à une distance de 150 m de la rive (Figure 8b) produisent une remise en suspension significativement supérieure à celle des deux autres types de déplacement. Dans la deuxième série de graphiques, la Figure 8d montre que les vagues de wakesurf créent une remise en suspension des sédiments supérieure à 100 et à 150 m de la berge, comparativement à la distance de 200 m. Le peu de différences significatives entre les résultats, malgré des valeurs moyennes apparemment différentes, s'explique par la grande variabilité des données, probablement liée au manque de sensibilité des mesures de sédiment en suspension.

Distance de la berge

Tel qu'on pouvait s'y attendre, la quantité d'énergie qui atteint la rive diminue avec la distance des passages de wakeboat. Notre protocole ne nous permettait pas de mesurer précisément la distance de la rive où aucun changement d'énergie n'est visible à l'arrivée à la rive. Cependant, sur la base des données relevées pour tous les types de déplacement, si on prolonge la tendance linéaire observée entre les distances étudiées et les effets mesurés en rive (TKE, remise en suspension des sédiments), il est possible d'évaluer approximativement cette distance. La Figure 9 présente les résultats de ces calculs pour chaque effet mesuré.

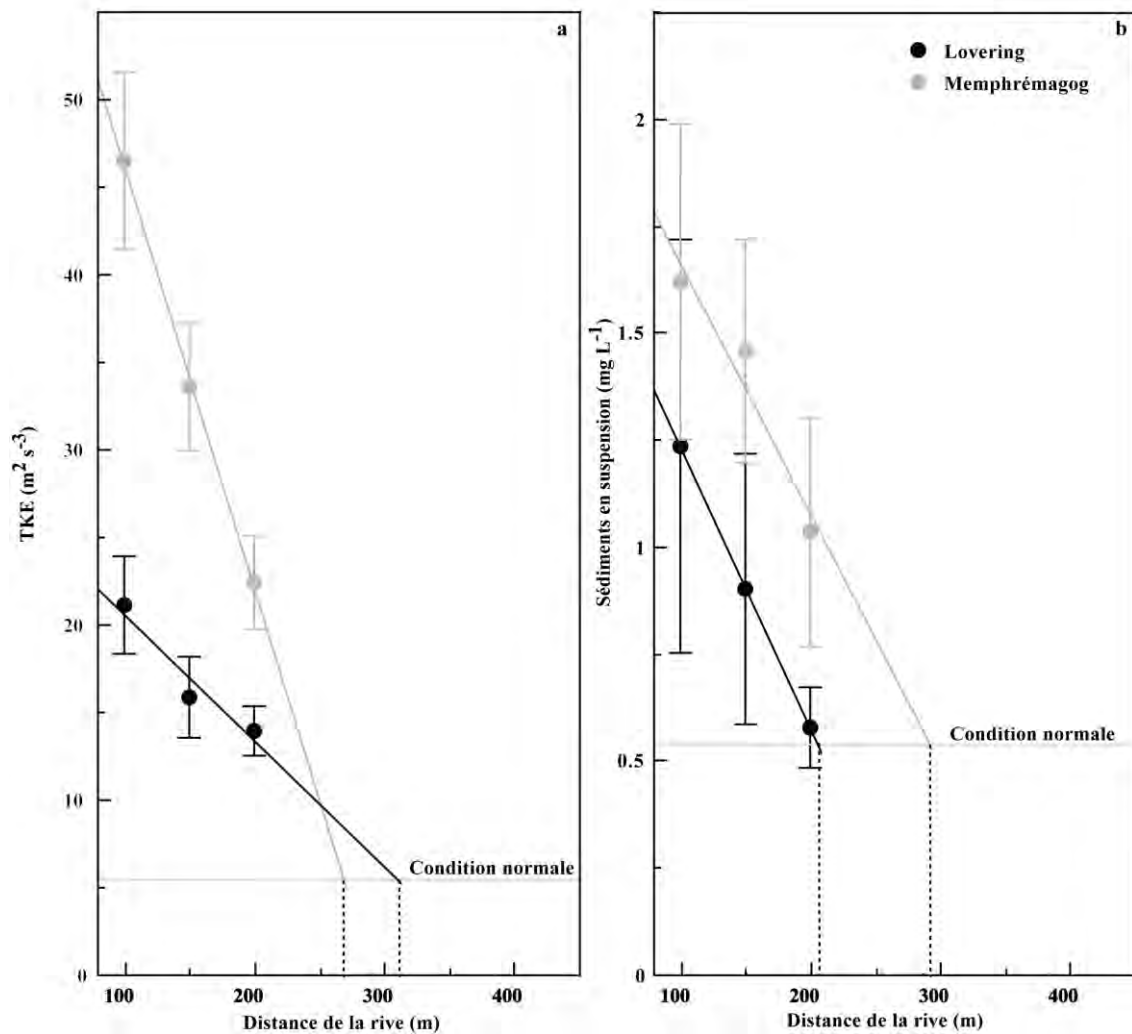


Figure 9. Régression linéaire de a) l'énergie (TKE) et b) des sédiments en suspension, en fonction de la distance de la rive pour les lacs Lovering (gris pâle) et Memphrémagog (noir).

Note : La ligne horizontale grise représente respectivement le niveau d'énergie (a) et de sédiments en suspension (b) en conditions normales.

On retrouve ainsi à la Figure 9 les résultats de l'extrapolation des mesures en vue d'estimer la distance à laquelle il n'y aurait aucun effet mesurable d'apport d'énergie (TKE ; Figure 9a) ni de remise en suspension des sédiments (Figure 9b). Dans ces figures, les résultats pour le lac Lovering sont représentés par des points et une ligne gris pâle, et ceux pour le lac Memphrémagog, en points et ligne noirs.

Nous avons d'abord évalué la distance de passage des wakeboats à laquelle l'impact de la vague sur le rivage est équivalent à celui des conditions normales, soit $5.5 \text{ m}^2/\text{s}^2$ pour le TKE, et 0.57 mg/L pour les sédiments en suspension. Les valeurs en conditions normales de TKE et de sédiments en suspension sont représentées par une ligne horizontale grise. Sur la base des données de l'énergie (TKE; Figure 9a), les distances de déplacement équivalentes aux conditions normales sont de 268 m de la rive pour le lac Memphrémagog et de 312 m de la rive pour le lac Lovering. Dans le cas des sédiments en suspension (Figure 9b), les distances estimées sont de 286m (Memphrémagog) et 206 m (Lovering).

Suivant nos calculs, la distance à laquelle les wakeboats auraient des effets similaires à ceux en conditions normales est approximativement, en moyenne pour les deux lacs, de 300 m de la rive pour ce qui est de l'énergie, et de 250 m de la rive pour ce qui est des sédiments en suspension. Selon ces résultats, nous posons que 300 m représente une distance raisonnable au-delà de laquelle les vagues générées par les wakeboats seraient largement dissipées avant leur arrivée sur les berges et auraient donc un effet négligeable. Sur cette base et si l'objectif est d'éliminer tout impact sur le rivage que pourraient occasionner les passages de wakeboat, nous avons transposé ces résultats sur une carte pour chaque lac (page suivante : Memphrémagog : Figure 10a; Lovering : Figure 10b), pour représenter la zone navigable (en gris foncé) pour les wakeboats, dans le cas d'une réglementation limitant leur utilisation à une distance de 300 m de la rive des lacs.

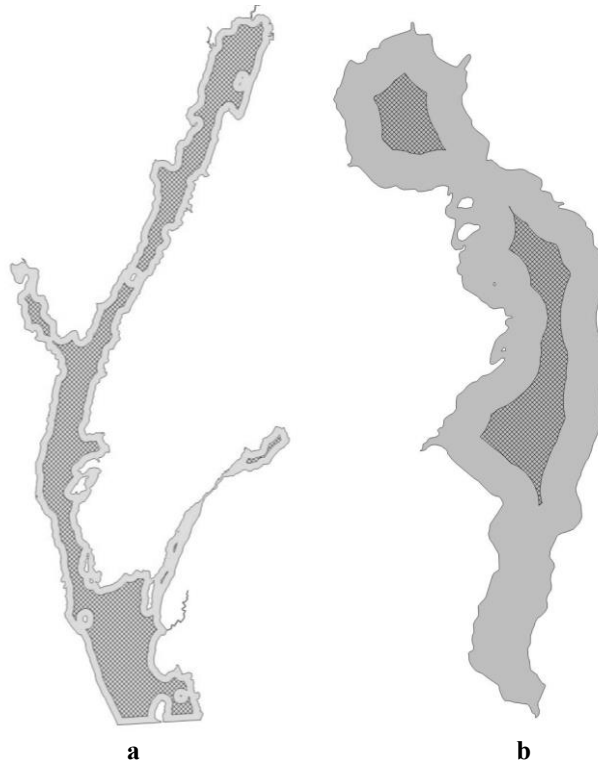


Figure 10. Carte de la zone navigable par les wakeboats (gris foncé) suite à une réglementation limitant leur activité à plus de 300 m de la rive des lacs Memphrémagog (a) et Lovering (b).

Impact de la pente du littoral sur l'énergie qui atteint le rivage

Selon la littérature, on s'attend à ce que le niveau d'énergie qui arrive à la rive soit fonction de la pente du littoral. Nous avons voulu évaluer cette hypothèse en mettant en lien les pentes du littoral de chaque site avec l'énergie (TKE), mesurée en conditions normales puis lors du passage d'un wakeboat, tous types de déplacement confondus et toutes distances confondues.

Nos résultats montrent que, en conditions normales, le niveau d'énergie qui arrive à une rive ayant une pente forte (aigüe : $\geq 0.1 \text{ m m}^{-1}$) n'est pas significativement différente de celle qui arrive à la rive ayant une faible pente (douce : $< 0.1 \text{ m m}^{-1}$). C'est ce que présente la Figure 11a, où on retrouve les valeurs d'énergie (TKE) en conditions normales avec pente douce (gris pâle) et pente aigüe (gris foncé).

Par contre, lorsqu'on augmente l'énergie qui atteint la rive (avec le passage d'un wakeboat), les pentes aigües reçoivent une énergie significativement plus élevée (Figure 11b). En effet, quand la pente d'un littoral est aigüe, la vague rencontre moins rapidement le fond du littoral et l'énergie

de la vague se dissipe donc moins rapidement. L'énergie qui arrive à la rive est alors beaucoup plus élevée, conduisant à un plus grand impact sur la remise en suspension des sédiments et éventuellement sur l'érosion de la berge.

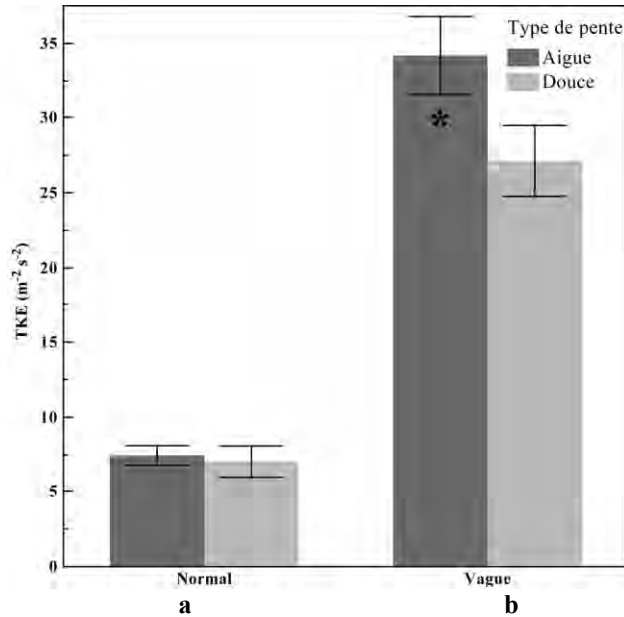


Figure 11. Énergie (TKE) qui atteint le rivage selon les sites avec pente du littoral aigüe (gris foncé) ou douce (gris pale) pour des vagues normales (a) et celle de wakeboat (b).

Note : L'astérisque (*) représente l'augmentation significative ($p < 0.05$).

Nous avons repris les données de pente du littoral et de TKE pour les mettre en relation dans une analyse de régression (page suivante : Figure 12), en conditions normales (Figure 12a) et lors du passage d'un wakeboat (Figure 12b). Tel que vu précédemment, en conditions normales (Figure 12a), il y a peu de différence entre l'énergie qui arrive sur un littoral de faible pente (1^{er} point en bas, dans la Figure 12a) et l'énergie qui arrive sur un littoral de pente aigüe (dernier point en haut, même figure). Par contre, avec la grande quantité d'énergie présente dans les vagues causées par le passage d'un wakeboat (Figure 12b), l'impact de la pente du littoral est beaucoup plus important. L'effet des vagues de wakeboat sur l'énergie (TKE) au site qui a le littoral avec la pente la plus aigüe (dernier point en haut, Figure 12b) est beaucoup plus grand que pour le site qui a le littoral avec la plus faible pente (1^{er} point en bas, même figure).

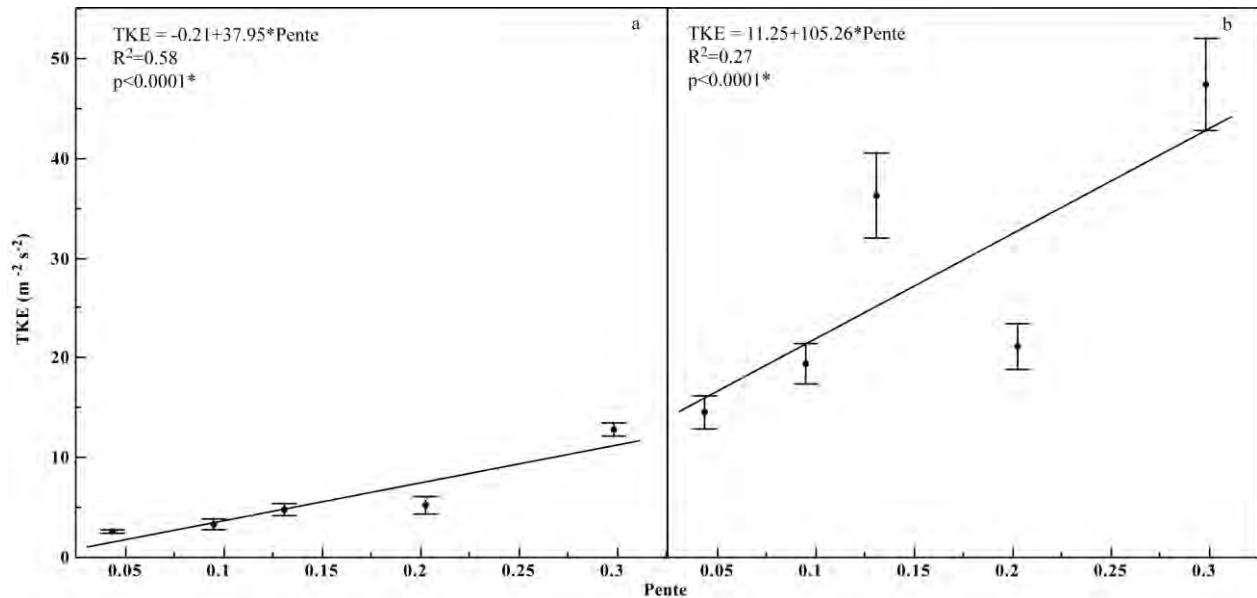


Figure 12. Régression linéaire entre l'énergie (TKE) et la pente du littoral : a) en conditions normales et b) durant le passage d'un train de vagues de wakeboat pour 5 sites échantillonnés.

Note : Le site LOV2 a été éliminé des analyses de pente du littoral, car sa pente très faible et sur une très grande longueur élimine les tendances observées ici.

Caractéristiques des vagues

Outre les informations précédentes, nous avons caractérisé les vagues et les trains de vagues, pour en évaluer l'impact sur les rives. Suivant nos résultats, le train de vagues très court et intense créé par le wakesurf est celui qui a le plus d'impact lorsqu'il atteint la rive, car il contient beaucoup plus d'énergie (Figures 5 et 6). En effet, malgré une durée moyenne de train de vague plus courte (52,5 s) et un nombre de vagues par seconde plus bas (0,54 vague s⁻¹), les vitesses maximales atteintes par les vagues sont les plus élevées (25,0 m s⁻¹), causant une remise en suspension significative des sédiments lors du passage de ces vagues (Tableau 3). En effet, l'énergie plus élevée est concentrée dans un faible nombre de vagues, ce qui lui donne plus de puissance.

Le train de vagues de wakeboard est quant à lui beaucoup plus long en durée (71,8 s) mais, malgré une augmentation assez importante de l'énergie (Figure 5) et de la vitesse maximum (21,1 m s⁻¹), nous n'avons pas été en mesure de détecter une remise en suspension significative de sédiments. Le train de vagues deviendrait trop étendu pour avoir un impact majeur sur les sédiments.

Tableau 3. Moyenne de la durée du train de vagues (sec), du nombre de vagues par longueur des trains de vague et de la vitesse maximale ($m s^{-1}$) suivant les différentes distances de la rive (100, 150, 200 m) et les type de déplacement du wakeboat

Distance		Tous confondus	Wakesurf	Wakeboard	En déplacement
Durée du train de vagues (sec)	Toutes confondues	--	52.47	71.79	65.46
	100 m	47.64	40.42	54.03	48.6
	150 m	62.83	52.36	69.96	64.64
	200 m	80.63	64.63	89.92	83.13
Nombre de vagues par longueur (vague s^{-1})	Toutes confondues	--	0.54	0.60	0.65
	100 m	0.59	0.52	0.59	0.67
	150 m	0.60	0.55	0.61	0.64
	200 m	0.60	0.59	0.59	0.64
Vitesse maximum ($m s^{-1}$)	Toutes confondues	--	25.04	21.07	15.94
	100 m	22.17	29.3	23.16	16.7
	150 m	20.18	25.46	20.27	15.97
	200 m	17.99	20.36	19.96	15.14

Le train de vagues de déplacement est d'une durée intermédiaire (65,5 s); il contient moins d'énergie et a une moins grande vitesse maximum ($15,9 m s^{-1}$) que les deux autres types de trains de vagues, mais il a malgré tout un impact considérable sur le rivage (Tableau 3 et Figures 7 et 8). Cette tendance pour chacun des trois types de vague reste la même selon la distance de la rive (Tableau 3). Ainsi, le nombre de vagues par durée du train de vague n'est pas fonction de la distance de la rive ($p > 0.05$). Par contre, le train de vagues de wakesurf contient significativement moins de vagues, et ce, peu importe la distance de la rive ($p < 0.0001^*$, pour les trois distances et toutes distances confondues : Tableau 3).

La puissance d'un train de vagues est donc fortement influencée par l'intensité que chacune des vagues le constituant à la capacité d'accumuler.

CONCLUSION

À la suite de cette étude expérimentale, il est possible d'établir que le passage de bateau de type wakeboat cause un impact considérable sur le rivage lorsqu'il passe à 100 m de la rive, et que tous les passages à moins de 300 m ajoutent significativement de l'énergie aux vagues naturellement présentes (Figure 9). De plus, les vagues créées par un wakeboat pour faire du wakesurf (1 côté des ballasts rempli) sont celles qui ont le plus grand impact lors de leur arrivée à la rive, compte tenu de la grande quantité d'énergie contenue dans leur court train de vagues, qui contient peu de vagues. Étant donné leur train de vagues beaucoup plus long et contenant plus de vagues, les vagues de wakeboard (2 côtés des ballasts remplis) et le déplacement du wakeboat (ballasts vides) ont un impact moins sévère sur le rivage, l'énergie étant répartie durant toute la durée du train de vagues. Malgré tout, il faut rappeler que tous les passages de bateau observés dans cette étude transportent une quantité d'énergie significativement plus élevée vers le rivage qu'en conditions normales.

L'énergie présente dans le train de vagues créé par les wakeboats entraîne une remise en suspension des sédiments et probablement aussi une érosion accélérée des berges.

Selon les conclusions de cette recherche et afin d'éliminer tout impact supplémentaire sur le rivage occasionné par des passages de wakeboat, nous suggérons qu'une réglementation limite le passage des bateaux de type wakeboat sur les lacs à au moins à 300 m des rives, dans le but d'éviter leur érosion (Figure 9). Les zones navigables illustrées par les cartes de la Figure 10 ont été établies sur la base de cette distance de 300m des rives, pour les deux lacs à l'étude (Memphrémagog : Figure 10a; Lovering : Figure 10b).

BIBLIOGRAPHIE

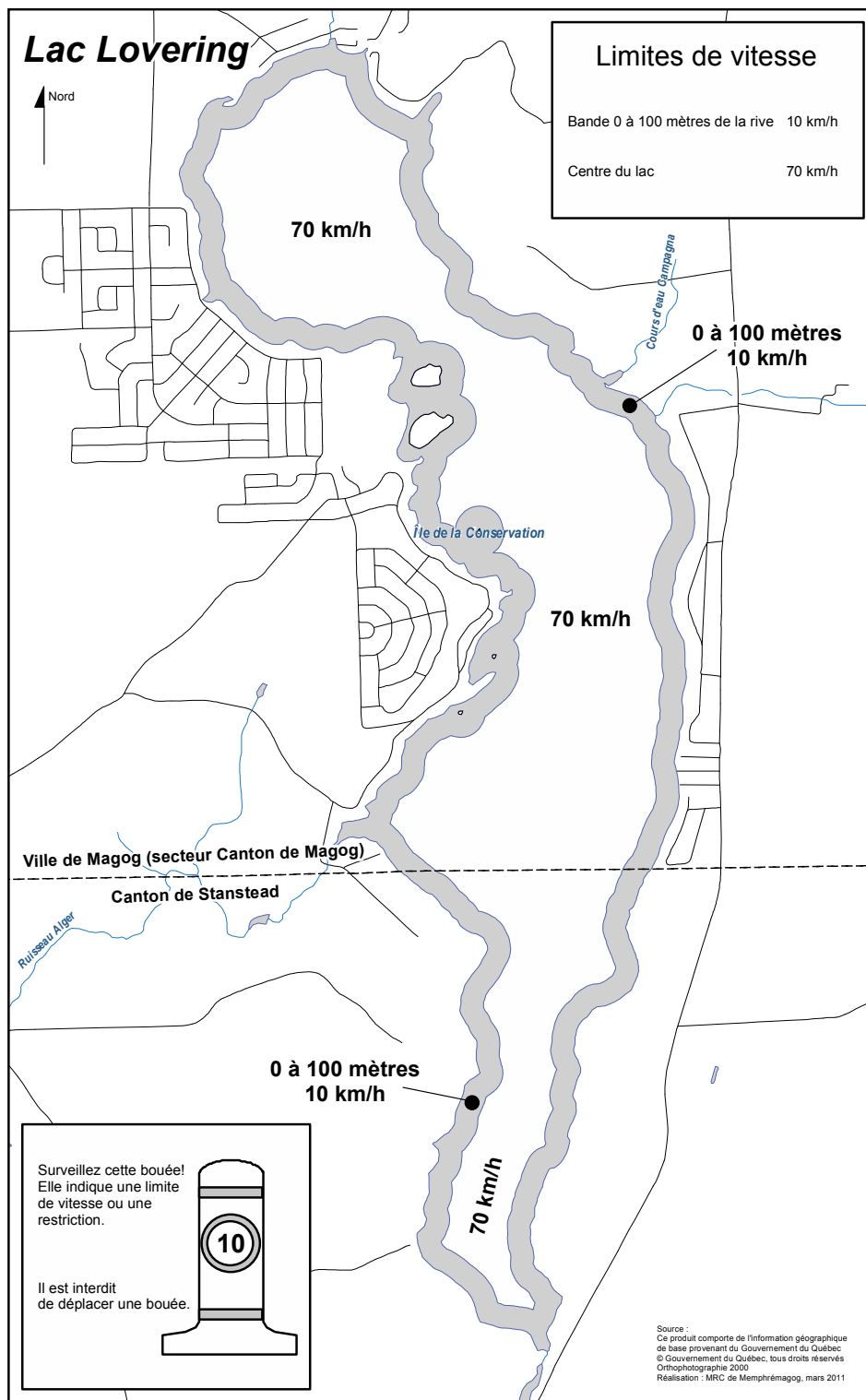
- EnvironmentalSciencesSection. 1993. ESS Method 340.2: Total Suspended Solids, Mass Balance (Dried at 103-105EC), Volatile Suspended Solids (Ignited at 550EC).
- Gray, JR, Glysson, GR, Turcios, LM and Schwarz, GE. 2000. Comparability of suspended-sediment concentration and total suspended solids data. US geological survey: Water-Ressources Investigations Report, vol. 00-4191, no 1-14.
- Hill, DF, Beachler, MM and Johnson, PA. 2002. Hydrodynamic impacts of commercial Jet-boating on the Chilkat river, Alaska.
- Keenan, RJ and Kimmins, JPH. 1993. The ecological effects of clear-cutting. Environ. rev., vol. 1, p. 121–144.
- Kolmogorov, AN. 1941. The local structure of turbulence in incompressible viscous fluid for very large Reynolds numbers. Dokl. Akad. Nauk SSSR, vol. 30, p. 299–303.
- MRCMemphrémagog. 2011. Carte de la réglementation nautique au lac Lovering. Gouvernement du Québec. Récupéré le 18 décembre 2013 de <http://www.mrcmemphremagog.com/pdf/Patrouille%20nautique/Cartes/Carte%20Lovering-FR.pdf>
- MRCMemphrémagog. 2013. Carte de la réglementation nautique au lac Memphrémagog. Gouvernement du Québec. Récupéré le 18 décembre 2013 de <http://www.mrcmemphremagog.com/pdf/Patrouille%20nautique/Cartes/Carte%20Memph-FR.pdf>.
- Péloquin-guay, M. 2013. Évaluation de l'effet des vagues de bateau sur les conditions hydrauliques près des berges en milieu fluvial. Université de Montréal.
- Sorensen, RM. 1997. Prediction of vessel-generated waves with reference to vessels common to the upper mississippi river system. rapport technique, Department of Civil and Environmental Engineering, Lehigh University.
- Stewart-Oaten, A, Murdoch, WW and Parker, KR. 1986. Environmental impact assessment:“Pseudoreplication” in time? Ecology, vol. 67, no 4, p. 929–940.
- Vachon, D, Prairie, YT and Cole, JJ. 2010. The relationship between near-surface turbulence and gas transfer velocity in freshwater systems and its implications for floating chamber measurements of gas exchange. Limnology and oceanography, vol. 55, no 4, p. 1723–1732.
- Wist, HT. 2004. Statistical properties of successive ocean wave parameters. Faculty of engineering science and technology, Norwegian university of science and technology.

ANNEXES

Annexe 1. Sites d'échantillonnage dans le lac Lovering et dans le lac Memphrémagog



Annexe 2. Carte de la réglementation nautique du lac Lovering

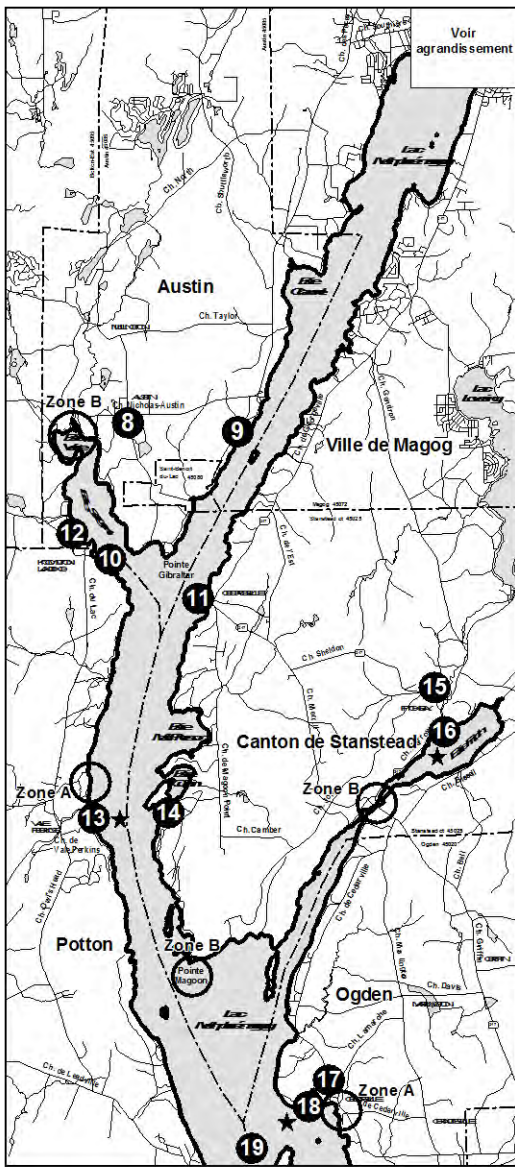
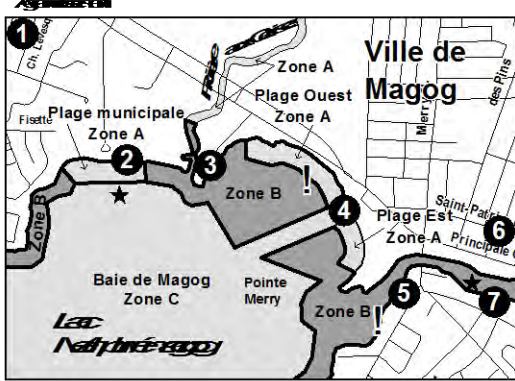


(MRC Memphrémagog 2011)

Annexe 3. Cartes de la réglementation nautique du lac Memphrémagog

Réglementation au lac Memphrémagog

- 1. ...
- 2. ...
- 3. ...
- 4. ...
- 6. ...
- 9. ...
- 10. ...
- 11. ...
- 12. ...
- 13. ...
- 14. ...
- 15. ...
- 16. ...
- 17. ...
- 18. ...



- 1. ...
- 6. ...
- 7. ...



Symboles

- * ...
-
- \$...
- # ...
- ! ...
- C ...
- Q ...
- ! ...

Restrictions

Maximum 10 knots

ZONE A

Maximum 10 knots et sans vague

ZONE B

Maximum 10 knots et sans vague

ZONE C

Maximum 20 knots

19. ...

Annexe 3. Tableaux des données brutes des paramètres physiques

Date de prise d'échantillons	Lac	Site	Période	Vitesse (miles/h)	Distance de la rive (m)	Vitesse moyenne ($m s^{-1}$)	Vitesse maximum ($m s^{-1}$)	Vitesse minimum ($m s^{-1}$)	TKE ($m^2 s^{-2}$)	Epsilon z ($m^2 s^{-3}$)	Nombre de vagues par train	Durée du train de vague (sec)	Nombre/Longueur (vague s^{-1})
4/8/2013	Lovering	LOV1	Normal	10	100	2,41	21,52	0,04	4,38	3,8E-08			
4/8/2013	Lovering	LOV1	Vague	10	100	6,49	25,81	0,10	33,07	2,2E-07	29,46	62,20	0,47
4/8/2013	Lovering	LOV1	Normal	10	150	1,13	17,33	0,02	0,96	2,2E-08			
4/8/2013	Lovering	LOV1	Vague	10	150	6,02	25,32	0,05	29,52	1,4E-07	43,69	78,88	0,55
4/8/2013	Lovering	LOV1	Normal	10	150	1,23	4,82	0,03	1,12	6,7E-08			
4/8/2013	Lovering	LOV1	Vague	10	150	5,75	19,65	0,12	23,54	6,7E-08	31,83	67,64	0,47
4/8/2013	Lovering	LOV1	Normal	10	200	2,85	10,21	0,06	5,96	6,0E-08			
4/8/2013	Lovering	LOV1	Vague	10	200	5,46	17,09	0,02	21,06	3,3E-08	29,49	53,04	0,56
4/8/2013	Lovering	LOV1	Vague	10	100	6,82	20,54	0,10	33,45	1,6E-07	25,37	51,80	0,49
4/8/2013	Lovering	LOV1	Normal	10	100	1,89	8,53	0,07	2,54	3,3E-08			
4/8/2013	Lovering	LOV1	Vague	10	200	5,03	14,77	0,13	16,87	1,7E-08	43,11	74,84	0,58
4/8/2013	Lovering	LOV1	Normal	10	200	2,28	7,64	0,12	3,89	1,5E-07			
4/8/2013	Lovering	LOV1	Normal	20	200	1,91	8,52	0,02	3,11	1,5E-07			
4/8/2013	Lovering	LOV1	Vague	20	200	4,99	18,88	0,14	18,53	8,0E-08	51,66	90,40	0,57
4/8/2013	Lovering	LOV1	Normal	20	150	2,09	12,40	0,11	3,37	2,1E-07			
4/8/2013	Lovering	LOV1	Vague	20	150	5,48	17,55	0,02	21,90	1,3E-07	38,01	63,36	0,60
4/8/2013	Lovering	LOV1	Normal	20	200	2,01	8,02	0,04	3,12	2,5E-07			
4/8/2013	Lovering	LOV1	Vague	20	200	4,67	19,31	0,07	16,57	1,1E-07	58,45	96,60	0,61
4/8/2013	Lovering	LOV1	Normal	20	100	2,66	7,05	0,04	4,74	2,5E-07			
4/8/2013	Lovering	LOV1	Vague	20	100	6,30	19,08	0,34	29,20	2,1E-07	27,76	51,28	0,54
4/8/2013	Lovering	LOV1	Normal	20	100	1,58	6,38	0,05	1,81	5,4E-08			
4/8/2013	Lovering	LOV1	Vague	20	100	5,84	20,49	0,04	26,12	1,4E-07	37,14	59,84	0,62
4/8/2013	Lovering	LOV1	Vague	20	150	4,47	17,06	0,11	14,98	1,7E-07	66,39	103,28	0,64
4/8/2013	Lovering	LOV1	Normal	20	150	2,38	12,37	0,06	3,86	1,1E-07			
4/8/2013	Lovering	LOV1	Normal	30	150	1,59	5,03	0,07	1,72	9,9E-08			
4/8/2013	Lovering	LOV1	Vague	30	150	3,17	9,14	0,03	6,92	5,0E-08	53,36	81,52	0,65
4/8/2013	Lovering	LOV1	Vague	30	200	3,83	11,47	0,10	10,25	3,3E-08	26,28	38,32	0,69
4/8/2013	Lovering	LOV1	Normal	30	200	1,26	5,64	0,02	1,10	4,4E-08			
4/8/2013	Lovering	LOV1	Normal	30	100	1,61		0,05	10,50	2,4E-07			
4/8/2013	Lovering	LOV1	Vague	30	100	3,78	13,32	0,01	10,26	5,2E-08	22,27	33,40	0,67
4/8/2013	Lovering	LOV1	Normal	30	150	1,55	5,18	0,04	1,62	9,5E-08			
4/8/2013	Lovering	LOV1	Vague	30	150	3,14	11,06	0,04	7,13	9,9E-08	52,16	79,68	0,65
4/8/2013	Lovering	LOV1	Vague	30	100	5,06	14,41	0,08	18,49	8,7E-08	39,36	59,04	0,67
4/8/2013	Lovering	LOV1	Normal	30	100	1,94	8,15	0,00	2,78	9,3E-08			
4/8/2013	Lovering	LOV1	Vague	30	200	3,70	11,51	0,04	10,04	5,8E-08	67,91	99,04	0,69
4/8/2013	Lovering	LOV1	Normal	30	200	1,54	5,75	0,05	1,68	6,1E-08			
5/8/2013	Lovering	LOV2	Normal	10	200	3,95	16,21	0,15	11,76	9,4E-07			
5/8/2013	Lovering	LOV2	Vague	10	200	6,70	21,41	0,05	34,65	3,5E-07	53,90	89,84	0,60

Date de prise d'échantillons	Lac	Site	Période	Vitesse (miles/h)	Distance de la rive (m)	Vitesse moyenne (m s ⁻¹)	Vitesse maximum (m s ⁻¹)	Vitesse minimum (m s ⁻¹)	TKE (m ² s ⁻²)	Epsilon z (m ² s ⁻³)	Nombre de vagues par train	Durée du train de vague (sec)	Nombre/Longueur (vague s ⁻¹)
5/8/2013	Lovering	LOV2	Vague	10	100	10,17	28,68	0,13	79,82	1,5E-06	16,06	36,80	0,44
5/8/2013	Lovering	LOV2	Normal	10	100	3,98	12,77	0,09	11,78	3,1E-07			
5/8/2013	Lovering	LOV2	Normal	10	100	3,44	11,16	0,00	8,91	1,9E-07			
5/8/2013	Lovering	LOV2	Vague	10	100	10,65	30,38	0,30	89,23	1,1E-06	16,93	31,04	0,55
5/8/2013	Lovering	LOV2	Normal	10	150	3,26	10,82	0,07	7,86	2,9E-08			
5/8/2013	Lovering	LOV2	Vague	10	150	8,40	28,02	0,04	51,91	4,8E-07	27,26	49,04	0,56
5/8/2013	Lovering	LOV2	Normal	10	200	3,27	11,53	0,09	8,14	5,9E-08			
5/8/2013	Lovering	LOV2	Vague	10	200	8,20	25,64	0,09	49,81	8,2E-08	24,29	46,56	0,52
5/8/2013	Lovering	LOV2	Vague	10	150	7,71	25,43	0,09	43,57	3,0E-07	25,92	46,44	0,56
5/8/2013	Lovering	LOV2	Normal	10	150	3,72	10,84	0,09	9,76	2,1E-07			
5/8/2013	Lovering	LOV2	Vague	20	150	8,10	28,32	0,10	48,36	2,7E-07	31,67	50,80	0,62
5/8/2013	Lovering	LOV2	Normal	20	150	5,00	15,52	0,10	18,12	1,6E-07			
5/8/2013	Lovering	LOV2	Vague	20	200	7,82	31,55	0,23	47,66	1,9E-07	36,85	64,48	0,57
5/8/2013	Lovering	LOV2	Normal	20	200	6,20	20,47	0,09	29,09	1,3E-07			
5/8/2013	Lovering	LOV2	Vague	20	150	8,32	29,10	0,13	52,70	1,8E-07	24,47	41,12	0,60
5/8/2013	Lovering	LOV2	Normal	20	150	5,09	19,96	0,04	19,49	2,2E-07			
5/8/2013	Lovering	LOV2	Normal	20	200	6,09	19,47	0,04	27,84	1,9E-07			
5/8/2013	Lovering	LOV2	Vague	20	200	7,86	25,67	0,14	46,30	2,1E-07	35,13	58,56	0,60
5/8/2013	Lovering	LOV2	Normal	20	100	4,51	16,30	0,07	15,42	6,7E-08			
5/8/2013	Lovering	LOV2	Vague	20	100	8,07	28,93	0,16	50,20	5,4E-07	31,75	50,92	0,62
5/8/2013	Lovering	LOV2	Normal	20	100	4,76	14,83	0,17	16,29	1,8E-07			
5/8/2013	Lovering	LOV2	Vague	20	100	8,51	30,62	0,25	53,98	4,2E-07	24,60	40,40	0,61
5/8/2013	Lovering	LOV2	Normal	30	100	4,94	14,93	0,19	17,60	1,8E-07			
5/8/2013	Lovering	LOV2	Vague	30	100	7,63	19,41	0,36	39,06	1,0E-07	30,23	34,96	0,86
5/8/2013	Lovering	LOV2	Normal	30	200	5,77	17,92	0,04	23,59	1,1E-07			
5/8/2013	Lovering	LOV2	Vague	30	200	6,98	24,98	0,09	35,83	1,0E-07	48,65	74,32	0,65
5/8/2013	Lovering	LOV2	Normal	30	100	5,36	20,25	0,00	21,36	1,3E-07			
5/8/2013	Lovering	LOV2	Vague	30	100	6,85	18,78	0,13	33,32	9,9E-08	47,36	68,08	0,70
5/8/2013	Lovering	LOV2	Normal	30	150	6,92	21,01	0,09	34,48	1,1E-07			
5/8/2013	Lovering	LOV2	Vague	30	150	8,27	22,49	0,05	48,24	1,2E-07	36,15	56,24	0,64
5/8/2013	Lovering	LOV2	Normal	30	150	6,61	22,47	0,04	31,59	1,8E-07			
5/8/2013	Lovering	LOV2	Vague	30	150	8,65	28,30	0,11	55,08	1,4E-07	41,85	65,32	0,64
5/8/2013	Lovering	LOV2	Normal	30	200	6,61	24,82	0,23	31,69	1,0E-07			
5/8/2013	Lovering	LOV2	Vague	30	200	7,68	23,44	0,08	43,63	2,1E-07	31,60	47,40	0,67
5/8/2013	Lovering	LOV3	Vague	10	100	6,18	18,59	0,08	27,96	3,7E-07	35,70	57,52	0,62
5/8/2013	Lovering	LOV3	Normal	10	100	2,55	6,79	0,13	4,50	4,5E-07			
5/8/2013	Lovering	LOV3	Vague	10	150	4,49	17,16	0,04	16,05	1,8E-07	51,30	82,28	0,62
5/8/2013	Lovering	LOV3	Normal	10	150	1,80	6,23	0,02	2,83	1,4E-07			
5/8/2013	Lovering	LOV3	Vague	10	100	5,87	16,87	0,09	25,17	2,0E-07	34,01	54,56	0,62
5/8/2013	Lovering	LOV3	Normal	10	100	1,96	6,67	0,03	2,80	2,2E-08			
5/8/2013	Lovering	LOV3	Vague	10	200	5,19	17,27	0,08	20,14	1,2E-07	50,02	87,88	0,57

Date de prise d'échantillons	Lac	Site	Période	Vitesse (miles/h)	Distance de la rive (m)	Vitesse moyenne (m s ⁻¹)	Vitesse maximum (m s ⁻¹)	Vitesse minimum (m s ⁻¹)	TKE (m ² s ⁻²)	Epsilon z (m ² s ⁻³)	Nombre de vagues par train	Durée du train de vague (sec)	Nombre/Longueur (vague s ⁻¹)
5/8/2013	Lovering	LOV3	Normal	10	200	1,97	6,36	0,05	2,94	2,5E-08			
5/8/2013	Lovering	LOV3	Vague	10	200	4,05	16,29	0,05	13,29	2,0E-07	50,08	91,80	0,55
5/8/2013	Lovering	LOV3	Normal	10	200	1,86	6,30	0,09	2,56	8,7E-08			
5/8/2013	Lovering	LOV3	Normal	10	150	1,94	6,56	0,07	2,84	8,7E-08			
5/8/2013	Lovering	LOV3	Vague	10	150	5,24	18,21	0,02	20,82	2,1E-07	45,76	73,08	0,63
5/8/2013	Lovering	LOV3	Vague	20	150	5,01	14,61	0,15		3,6E-07	52,57	84,32	0,62
5/8/2013	Lovering	LOV3	Normal	20	150	1,87	6,58	0,04		1,0E-07			
5/8/2013	Lovering	LOV3	Normal	20	100	2,13	6,10	0,15	2,94	1,8E-07			
5/8/2013	Lovering	LOV3	Vague	20	100	5,15	17,75	0,18	20,19	7,1E-07	44,88	74,80	0,60
5/8/2013	Lovering	LOV3	Vague	20	200	4,24	15,01	0,03	13,16	1,1E-07	66,14	109,32	0,61
5/8/2013	Lovering	LOV3	Normal	20	200	1,88	24,26	0,03	2,73	3,0E-08			
5/8/2013	Lovering	LOV3	Vague	20	150	4,73	17,76	0,04	17,04	3,7E-07	58,45	96,60	0,61
5/8/2013	Lovering	LOV3	Normal	20	150	1,83	5,88	0,08	2,29	2,0E-07			
5/8/2013	Lovering	LOV3	Normal	20	100	1,65	6,68	0,09	1,97	3,2E-08			
5/8/2013	Lovering	LOV3	Vague	20	100	4,52	17,25	0,11	15,78	4,9E-07	53,12	85,20	0,62
5/8/2013	Lovering	LOV3	Normal	20	200	1,79	5,57	0,09	2,35	2,4E-08			
5/8/2013	Lovering	LOV3	Vague	20	200	4,18	15,79	0,04	13,53	9,3E-08	74,75	116,28	0,64
5/8/2013	Lovering	LOV3	Normal	30	150	1,65	5,10	0,03	1,98	4,9E-08			
5/8/2013	Lovering	LOV3	Vague	30	150	3,29	11,33	0,09	7,81	8,2E-08	75,53	110,16	0,69
5/8/2013	Lovering	LOV3	Normal	30	200	1,69	6,33	0,10	2,08	7,9E-08			
5/8/2013	Lovering	LOV3	Vague	30	200	3,07	9,87	0,08	6,96	2,7E-08	86,92	112,40	0,77
5/8/2013	Lovering	LOV3	Vague	30	150	3,37	10,84	0,04	8,26	6,0E-08	73,45	107,12	0,69
5/8/2013	Lovering	LOV3	Normal	30	150	1,93	5,97	0,03	2,81	4,6E-08			
5/8/2013	Lovering	LOV3	Vague	30	100	2,92	8,40	0,02	5,92	5,7E-08	61,34	84,36	0,73
5/8/2013	Lovering	LOV3	Normal	30	100	1,54	6,73	0,01	1,54	2,5E-08			
5/8/2013	Lovering	LOV3	Vague	30	200	3,01	10,27	0,06	6,33	1,7E-07		135,96	
5/8/2013	Lovering	LOV3	Normal	30	200	1,59	4,88	0,02	1,79	9,2E-08			
5/8/2013	Lovering	LOV3	Vague	30	100	3,17	9,69	0,01	7,37	5,6E-08	73,41	91,76	0,80
5/8/2013	Lovering	LOV3	Normal	30	100	1,60	5,28	0,04	1,90	3,1E-08			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Normal	10	200	2,07	5,75	0,06	2,83	4,2E-07			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Vague	10	200	5,23	22,64	0,06	24,28	1,5E-07	27,87	54,20	0,51
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Vague	10	150	4,92	16,36	0,07	19,56	4,4E-08	26,33	46,08	0,57
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Normal	10	150	1,84	6,37	0,02	2,38	1,9E-07			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Vague	10	100	5,39	19,46	0,05	23,74	8,2E-08	19,18	41,76	0,46
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Normal	10	100	2,24	5,82	0,09	3,52	4,0E-07			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Normal	10	150	2,50	8,27	0,06	4,20	6,0E-08			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Vague	10	150	6,61	22,79	0,25	37,38	5,3E-07	26,89	52,28	0,51
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Vague	10	200	3,59	12,91	0,06	10,41	1,8E-08	52,11	95,52	0,55
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Normal	10	200	1,54	7,29	0,01	1,86	3,6E-08			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Vague	10	100	7,04	34,66	0,20	49,27	4,2E-07	17,07	33,60	0,51
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Normal	10	100	1,78	5,94	0,03	2,20	2,1E-07			

Date de prise d'échantillons	Lac	Site	Période	Vitesse (miles/h)	Distance de la rive (m)	Vitesse moyenne (m s ⁻¹)	Vitesse maximum (m s ⁻¹)	Vitesse minimum (m s ⁻¹)	TKE (m ² s ⁻²)	Epsilon z (m ² s ⁻³)	Nombre de vagues par train	Durée du train de vague (sec)	Nombre/Longueur (vague s ⁻¹)
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Normal	20	150	1,81	4,58	0,02	2,25	1,6E-06			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Vague	20	150	5,17	16,32	0,26	18,67	4,2E-07	47,87	80,44	0,60
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Normal	20	200	2,62	11,22	0,19	5,06	1,5E-07			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Vague	20	200	4,38	12,65	0,04	13,16	5,0E-07	75,03	116,72	0,64
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Vague	20	150	5,03	12,38	0,03	17,54	3,8E-07	39,72	64,00	0,62
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Normal	20	150	3,18	8,80	0,16	7,03	4,2E-07			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Normal	20	200	2,12	14,69	0,04	3,01				
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Vague	20	200	4,48	14,64	0,11	13,97	4,3E-07	72,79	121,32	0,60
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Normal	20	100	2,32	6,19	0,12	3,70	1,2E-06			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Vague	20	100	6,07	19,55	0,11	27,64	1,3E-06	29,39	51,44	0,57
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Vague	20	100	5,88	22,33	0,07	28,07	6,2E-07	37,69	65,96	0,57
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Normal	20	100	1,73	6,66	0,08	2,28	8,9E-07			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Normal	30	200	3,00	11,38	0,02	6,73	4,6E-07			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Vague	30	200	4,78	12,78	0,07	16,14	7,8E-07	37,68	62,80	0,60
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Vague	30	100	5,01	13,38	0,25	17,21	1,3E-06	22,22	44,44	0,50
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Normal	30	100		9,66						
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Vague	30	100	4,63	13,01	0,13	15,64	2,0E-07	32,87	54,32	0,61
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Normal	30	100	3,27	12,84	0,10	8,98	1,7E-08			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Vague	30	150	5,20	14,01	0,17	18,83	7,9E-07	19,05	30,16	0,63
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Normal	30	150	4,38	9,93	0,12	12,63	3,4E-07			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Normal	30	200	2,47	9,36	0,03	4,96	9,4E-07			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Vague	30	200	4,13	15,55	0,09	12,74	5,6E-07	52,82	84,72	0,62
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Normal	30	150	4,58	10,63	0,34	13,89	6,7E-07			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM1	Vague	30	150	4,46	12,74	0,11	14,73	5,8E-07	28,17	44,60	0,63
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Normal	10	100	2,09	6,99	0,08	3,27	2,7E-07			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Vague	10	100	8,15	36,25	0,06	67,82	2,4E-06	16,05	29,88	0,54
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Vague	10	150	8,12	32,63	0,14	61,86	3,1E-07	18,08	35,60	0,51
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Normal	10	150	2,07	6,72	0,08	3,08	2,5E-07			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Normal	10	200	2,16	6,16	0,02	3,18	6,8E-08			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Vague	10	200	3,48	11,71	0,02	8,86	9,1E-09	38,78	62,48	0,62
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Normal	10	200	2,13	8,43	0,04	3,45	3,1E-08			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Vague	10	200	6,50	20,04	0,04	35,24	2,1E-08	29,54	48,24	0,61
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Vague	10	100	7,56	35,70	0,24	62,72	2,5E-06	19,15	36,56	0,52
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Normal	10	100	1,78	4,34	0,08	2,12	2,4E-07			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Vague	10	150	6,71	33,51	0,05	48,93	4,4E-07	20,70	40,32	0,51
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Normal	10	150	1,90	6,56	0,00	2,60	3,4E-07			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Normal	20	150	2,61	6,81	0,04	4,62	7,3E-07			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Vague	20	150	7,04	22,82	0,36	36,89	3,2E-07	30,95	51,16	0,61
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Vague	20	200	6,60	25,18	0,22	33,21	3,6E-07	38,47	67,32	0,57
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Normal	20	200	2,67	7,50	0,08	4,82	9,3E-07			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Normal	20	200	1,50	5,48	0,03	1,69	9,3E-08			

Date de prise d'échantillons	Lac	Site	Période	Vitesse (miles/h)	Distance de la rive (m)	Vitesse moyenne (m s ⁻¹)	Vitesse maximum (m s ⁻¹)	Vitesse minimum (m s ⁻¹)	TKE (m ² s ⁻²)	Epsilon z (m ² s ⁻³)	Nombre de vagues par train	Durée du train de vague (sec)	Nombre/Longueur (vague s ⁻¹)
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Vague	20	200	5,19	20,95	0,04	22,22	1,1E-07	45,81	79,52	0,58
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Vague	20	100	7,66	25,91	0,24	48,80	1,2E-06	21,41	37,16	0,58
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Normal	20	100	2,19	8,47	0,04	3,73	7,2E-07			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Vague	20	150	6,61	21,87	0,16	33,50	4,2E-07	33,86	56,44	0,60
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Normal	20	150	2,68	7,33	0,14	5,35	1,4E-06			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Normal	20	100	2,00	6,56	0,03	3,23	1,2E-06			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Vague	20	100	8,06	28,34	0,18	52,53	1,2E-06	20,02	35,04	0,57
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Normal	30	150	3,97	9,94	0,08	10,56				
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Vague	30	150	5,31	15,05	0,09	19,51	6,1E-08	30,07	47,60	0,63
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Normal	30	150	2,74	7,81	0,09	5,12	1,3E-06			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Vague	30	150	6,00	14,18	0,10	24,58	9,8E-08	25,06	40,20	0,62
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Normal	30	100	2,95	8,82	0,05	6,15	1,6E-07			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Vague	30	100	6,77	15,11	0,15	30,53	7,4E-07	20,81	30,84	0,67
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Normal	30	200	3,02	9,98	0,13	6,51	2,9E-07			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Vague	30	200	4,11	11,70	0,07	11,86	1,5E-07	54,98	91,64	0,60
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Vague	30	100	7,43	24,18	0,23	40,52	1,1E-07	16,86	29,04	0,58
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Normal	30	100	3,81	13,95	0,09	10,86	1,3E-06			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Normal	30	200	2,66	6,73	0,14	4,66	1,1E-06			
5/8/2013	Memphrémagog	MEM2	Vague	30	200	4,01	13,25	0,06	11,77	5,1E-07	63,09	94,64	0,67
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Vague	10	200	11,09	35,95	0,39		4,5E-07	15,15	29,88	0,51
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Normal	10	200	3,63	12,52	0,03	9,32	1,0E-07			
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Normal	10	200	3,73	13,26	0,08	10,30	6,4E-08			
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Vague	10	200	7,35	28,59	0,04	42,18	2,0E-07	22,03	41,24	0,53
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Normal	10	150	3,65	14,11	0,07	10,67	2,1E-07			
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Vague	10	150	8,89	26,88	0,08	58,74	1,1E-06	20,33	33,68	0,60
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Normal	10	100	4,34	12,23	0,02	13,07	5,5E-07			
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Vague	10	100	11,79		0,25			10,99	24,04	0,46
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Normal	10	100	3,95	11,26	0,09	11,15	5,1E-07			
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Vague	10	100	10,32	30,13	0,09	83,96	4,8E-06	14,27	25,32	0,56
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Normal	10	150	4,21	16,18	0,09	12,52	4,7E-07			
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Vague	10	150	12,09	39,60	0,21		1,7E-06	11,11	22,96	0,48
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Normal	20	100	5,06	16,63	0,28	18,94	1,5E-06			
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Vague	20	100	11,28	23,66		81,75	2,1E-06	6,00	9,60	0,63
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Normal	20	150	6,81	18,52	0,23		1,7E-06			
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Vague	20	150	8,26	22,45	0,27	47,69		32,59	55,44	0,59
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Normal	20	150	6,01	19,64	0,18		1,2E-06			
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Vague	20	150	7,16	23,02	0,19	37,53	3,6E-07	55,48	92,48	0,60
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Normal	20	200	4,73	12,86	0,09	16,05	1,9E-06			
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Vague	20	200	6,92	19,41	0,16	32,54	1,1E-06	46,44	93,04	0,50
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Normal	20	200	4,22	12,14	0,04	12,62	4,4E-07			
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Vague	20	200	7,47	20,46	0,15	38,93	9,5E-07	37,39	65,44	0,57

Date de prise d'échantillons	Lac	Site	Période	Vitesse (miles/h)	Distance de la rive (m)	Vitesse moyenne (m s ⁻¹)	Vitesse maximum (m s ⁻¹)	Vitesse minimum (m s ⁻¹)	TKE (m ² s ⁻²)	Epsilon z (m ² s ⁻³)	Nombre de vagues par train	Durée du train de vague (sec)	Nombre/Longueur (vague s ⁻¹)
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Vague	20	100	9,32	24,54	0,05	60,35	9,4E-07	23,62	42,40	0,56
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Normal	20	100	4,29	12,59	0,03	13,00	8,5E-07			
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Vague	30	150	7,79	25,95	0,16	45,06	5,6E-07	28,71	50,24	0,57
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Normal	30	150	4,25	8,81	0,14	12,89	2,4E-06			
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Normal	30	100	4,38	16,56	0,19	14,48	3,8E-07			
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Vague	30	100	8,18	25,11	0,04	47,33	1,2E-06	21,28	36,20	0,59
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Normal	30	200	3,74	10,22	0,24	9,55	7,3E-07			
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Vague	30	200	6,41	18,95	0,10	27,01	4,2E-07	46,96	78,28	0,60
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Normal	30	200	4,99	23,96	0,22	15,81	6,4E-07			
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Vague	30	200	6,15	17,90	0,19	25,59	1,0E-06	40,03	77,84	0,51
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Normal	30	100	3,76	10,94	0,08	10,04	3,0E-07			
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Vague	30	100	8,35	25,62	0,34	51,91	1,4E-06	23,35	35,76	0,65
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Normal	30	150	4,20	11,85	0,15	13,45	2,8E-06			
6/8/2013	Memphrémagog	MEM3	Vague	30	150	6,64	16,61	0,14	29,18	7,0E-07	41,87	62,80	0,67

Annexe 4. Tableaux des données brutes des valeurs de sédiments en suspension

Date de prise d'échantillons	Lac	Site	Periode	Vitesse (miles/h)	Distance de la rive (m)	Sédiments T0 (A) (mg L ⁻¹)	Sédiments T1 (B) (mg L ⁻¹)	Remise en suspension (mg L ⁻¹)
8/4/13	Lovering	LOV1	Normal	20	200	0,4	1,6	1,2
8/4/13	Lovering	LOV1	Vague	20	200	0,4	1,6	1,2
8/4/13	Lovering	LOV1	Normal	20	150	0,4	2,8	2,4
8/4/13	Lovering	LOV1	Vague	20	150	0,4	2,8	2,4
8/4/13	Lovering	LOV1	Normal	30	150	0,4	0,4	0
8/4/13	Lovering	LOV1	Vague	30	150	0,4	0,4	0
8/4/13	Lovering	LOV1	Normal	20	200	0,4	0,4	0
8/4/13	Lovering	LOV1	Vague	20	200	0,4	0,4	0
8/4/13	Lovering	LOV1	Normal	20	100	0,4	0,4	0
8/4/13	Lovering	LOV1	Vague	20	100	0,4	0,4	0
8/4/13	Lovering	LOV1	Vague	30	200	0,4	0,4	0
8/4/13	Lovering	LOV1	Normal	30	200	0,4	0,4	0
8/4/13	Lovering	LOV1	Normal	10	100	0,4	0,4	0
8/4/13	Lovering	LOV1	Vague	10	100	0,4	0,4	0
8/4/13	Lovering	LOV1	Normal	30	100	0,4	0,4	0
8/4/13	Lovering	LOV1	Vague	30	100	0,4	0,4	0
8/4/13	Lovering	LOV1	Normal	20	100	0,4	2,4	2
8/4/13	Lovering	LOV1	Vague	20	100	0,4	2,4	2
8/4/13	Lovering	LOV1	Normal	10	150	0,4	-2,4	-2,8
8/4/13	Lovering	LOV1	Vague	10	150	0,4	-2,4	-2,8
8/4/13	Lovering	LOV1	Normal	30	150	0,4	2	1,6
8/4/13	Lovering	LOV1	Vague	30	150	0,4	2	1,6
8/4/13	Lovering	LOV1	Normal	10	150	0,4	3,2	2,8
8/4/13	Lovering	LOV1	Vague	10	150	0,4	3,2	2,8
8/4/13	Lovering	LOV1	Normal	10	200	0,4	0,4	0
8/4/13	Lovering	LOV1	Vague	10	200	0,4	0,4	0
8/4/13	Lovering	LOV1	Vague	30	100	0,4	0,4	0
8/4/13	Lovering	LOV1	Normal	30	100	0,4	0,4	0
8/4/13	Lovering	LOV1	Vague	20	150	0,4	0,4	0
8/4/13	Lovering	LOV1	Normal	20	150	0,4	0,4	0
8/4/13	Lovering	LOV1	Vague	10	100	0,4	0,4	0
8/4/13	Lovering	LOV1	Normal	10	100	0,4	0,4	0
8/4/13	Lovering	LOV1	Vague	10	200	0,4		0
8/4/13	Lovering	LOV1	Normal	10	200	0,4		0
8/4/13	Lovering	LOV1	Vague	30	200	0,4	0,4	0
8/4/13	Lovering	LOV1	Normal	30	200	0,4	0,4	0
8/5/13	Lovering	LOV2	Normal	30	100	0,6	8,2	7,6
8/5/13	Lovering	LOV2	Vague	30	100	0,6	8,2	7,6
8/5/13	Lovering	LOV2	Vague	20	150	0,6	0,6	0
8/5/13	Lovering	LOV2	Normal	20	150	0,6	0,6	0

Date de prise d'échantillons	Lac	Site	Periode	Vitesse (miles/h)	Distance de la rive (m)	Sédiments T0 (A) (mg L ⁻¹)	Sédiments T1 (B) (mg L ⁻¹)	Remise en suspension (mg L ⁻¹)
8/5/13	Lovering	LOV2	Normal	30	200	0,6	0,6	0
8/5/13	Lovering	LOV2	Vague	30	200	0,6	0,6	0
8/5/13	Lovering	LOV2	Normal	10	200	0,6	0,6	0
8/5/13	Lovering	LOV2	Vague	10	200	0,6	0,6	0
8/5/13	Lovering	LOV2	Normal	30	100	0,6	0,6	0
8/5/13	Lovering	LOV2	Vague	30	100	0,6	0,6	0
8/5/13	Lovering	LOV2	Vague	10	100	0,6	0,6	0
8/5/13	Lovering	LOV2	Normal	10	100	0,6	0,6	0
8/5/13	Lovering	LOV2	Vague	20	200	0,6	0,6	0
8/5/13	Lovering	LOV2	Normal	20	200	0,6	0,6	0
8/5/13	Lovering	LOV2	Vague	20	150	0,6	0,6	0
8/5/13	Lovering	LOV2	Normal	20	150	0,6	0,6	0
8/5/13	Lovering	LOV2	Normal	30	150	0,6	0,6	0
8/5/13	Lovering	LOV2	Vague	30	150	0,6	0,6	0
8/5/13	Lovering	LOV2	Normal	10	100	0,6	0,6	0
8/5/13	Lovering	LOV2	Vague	10	100	0,6	0,6	0
8/5/13	Lovering	LOV2	Normal	20	200	0,6	0,6	0
8/5/13	Lovering	LOV2	Vague	20	200	0,6	0,6	0
8/5/13	Lovering	LOV2	Normal	20	100	0,6	3,4	2,8
8/5/13	Lovering	LOV2	Vague	20	100	0,6	3,4	2,8
8/5/13	Lovering	LOV2	Normal	20	100	0,6	1,8	1,2
8/5/13	Lovering	LOV2	Vague	20	100	0,6	1,8	1,2
8/5/13	Lovering	LOV2	Normal	10	150	0,6	0,6	0
8/5/13	Lovering	LOV2	Vague	10	150	0,6	0,6	0
8/5/13	Lovering	LOV2	Normal	10	200	0,6	0,6	0
8/5/13	Lovering	LOV2	Vague	10	200	0,6	0,6	0
8/5/13	Lovering	LOV2	Normal	30	150	0,6	0,6	0
8/5/13	Lovering	LOV2	Vague	30	150	0,6	0,6	0
8/5/13	Lovering	LOV2	Normal	30	200	0,6	0,6	0
8/5/13	Lovering	LOV2	Vague	30	200	0,6	0,6	0
8/5/13	Lovering	LOV2	Vague	10	150	0,6	0,6	0
8/5/13	Lovering	LOV2	Normal	10	150	0,6	0,6	0
8/5/13	Lovering	LOV3	Normal	30	150	0,3	0,3	0
8/5/13	Lovering	LOV3	Vague	30	150	0,3	0,3	0
8/5/13	Lovering	LOV3	Normal	30	200	0,3	0,3	0
8/5/13	Lovering	LOV3	Vague	30	200	0,3	0,3	0
8/5/13	Lovering	LOV3	Vague	30	150	0,3	0,3	0
8/5/13	Lovering	LOV3	Normal	30	150	0,3	0,3	0
8/5/13	Lovering	LOV3	Vague	10	100	0,3	1,9	1,6
8/5/13	Lovering	LOV3	Normal	10	100	0,3	1,9	1,6
8/5/13	Lovering	LOV3	Vague	20	150	0,3	0,3	0
8/5/13	Lovering	LOV3	Normal	20	150	0,3	0,3	0
8/5/13	Lovering	LOV3	Normal	20	100	0,3	0,3	0
8/5/13	Lovering	LOV3	Vague	20	100	0,3	0,3	0
8/5/13	Lovering	LOV3	Vague	10	150	0,3	3,5	3,2

Date de prise d'échantillons	Lac	Site	Periode	Vitesse (miles/h)	Distance de la rive (m)	Sédiments T0 (A) (mg L ⁻¹)	Sédiments T1 (B) (mg L ⁻¹)	Remise en suspension (mg L ⁻¹)
8/5/13	Lovering	LOV3	Normal	10	150	0,3	3,5	3,2
8/5/13	Lovering	LOV3	Vague	30	100	0,3	0,3	0
8/5/13	Lovering	LOV3	Normal	30	100	0,3	0,3	0
8/5/13	Lovering	LOV3	Vague	30	200	0,3	0,3	0
8/5/13	Lovering	LOV3	Normal	30	200	0,3	0,3	0
8/5/13	Lovering	LOV3	Vague	20	200	0,3	1,5	1,2
8/5/13	Lovering	LOV3	Normal	20	200	0,3	1,5	1,2
8/5/13	Lovering	LOV3	Vague	20	150	0,3	0,3	0
8/5/13	Lovering	LOV3	Normal	20	150	0,3	0,3	0
8/5/13	Lovering	LOV3	Vague	10	100	0,3	1,5	1,2
8/5/13	Lovering	LOV3	Normal	10	100	0,3	1,5	1,2
8/5/13	Lovering	LOV3	Vague	30	100	0,3	0,3	0
8/5/13	Lovering	LOV3	Normal	30	100	0,3	0,3	0
8/5/13	Lovering	LOV3	Vague	10	200	0,3	0,3	0
8/5/13	Lovering	LOV3	Normal	10	200	0,3	0,3	0
8/5/13	Lovering	LOV3	Vague	10	200	0,3	0,3	0
8/5/13	Lovering	LOV3	Normal	20	100	0,3	-1,7	-2
8/5/13	Lovering	LOV3	Vague	20	100	0,3	-1,7	-2
8/5/13	Lovering	LOV3	Normal	20	200	0,3	0,3	0
8/5/13	Lovering	LOV3	Vague	20	200	0,3	0,3	0
8/5/13	Lovering	LOV3	Normal	10	150	0,3	1,5	1,2
8/5/13	Lovering	LOV3	Vague	10	150	0,3	1,5	1,2
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Normal	30	200	1	2,2	1,2
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Vague	30	200	1	2,2	1,2
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Normal	10	200	1	1	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Vague	10	200	1	1	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Normal	20	150	1	1	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Vague	20	150	1	1	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Vague	30	100	1	1	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Normal	30	100	1	1	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Vague	10	150	1	1	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Normal	10	150	1	1	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Vague	10	100	1	4,2	3,2
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Normal	10	100	1	4,2	3,2
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Normal	10	150	1	1	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Vague	10	150	1	1	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Vague	10	200	1	1	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Normal	10	200	1	1	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Normal	20	200	1	1	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Vague	20	200	1	1	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Vague	30	100	1	1	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Normal	30	100	1	1	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Vague	20	150	1	1	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Normal	20	150	1	1	0

Date de prise d'échantillons	Lac	Site	Periode	Vitesse (miles/h)	Distance de la rive (m)	Sédiments T0 (A) (mg L ⁻¹)	Sédiments T1 (B) (mg L ⁻¹)	Remise en suspension (mg L ⁻¹)
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Vague	30	150	1	1	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Normal	30	150	1	1	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Normal	30	200	1	-0,2	-1,2
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Vague	30	200	1	-0,2	-1,2
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Normal	20	200	1	3	2
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Vague	20	200	1	3	2
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Normal	30	150	1	1	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Vague	30	150	1	1	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Normal	20	100	1	1	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Vague	20	100	1	1	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Vague	20	100	1	1	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Normal	20	100	1	1	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Vague	10	100	1	2,2	1,2
8/5/13	Memphrémagog	MEM1	Normal	10	100	1	2,2	1,2
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Normal	20	150	0,4	-0,8	-1,2
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Vague	20	150	0,4	-0,8	-1,2
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Normal	10	100	0,4	2,4	2
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Vague	10	100	0,4	2,4	2
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Vague	10	150	0,4	4	3,6
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Normal	10	150	0,4	4	3,6
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Vague	20	200	0,4	2,4	2
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Normal	20	200	0,4	2,4	2
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Normal	20	200	0,4	0,4	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Vague	20	200	0,4	0,4	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Normal	10	200	0,4	0,4	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Vague	10	200	0,4	0,4	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Normal	30	150	0,4	0,4	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Vague	30	150	0,4	0,4	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Normal	10	200	0,4	-0,8	-1,2
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Vague	10	200	0,4	-0,8	-1,2
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Normal	30	150	0,4	1,6	1,2
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Vague	30	150	0,4	1,6	1,2
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Normal	30	100	0,4	1,6	1,2
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Vague	30	100	0,4	1,6	1,2
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Normal	30	200	0,4	1,6	1,2
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Vague	30	200	0,4	1,6	1,2
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Vague	30	100	0,4	0,4	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Normal	30	100	0,4	0,4	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Vague	20	100	0,4	2	1,6
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Normal	20	100	0,4	2	1,6
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Vague	20	150	0,4	2,4	2
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Normal	20	150	0,4	2,4	2
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Normal	30	200	0,4	1,6	1,2
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Vague	30	200	0,4	1,6	1,2
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Normal	20	100	0,4	0,4	0

Date de prise d'échantillons	Lac	Site	Periode	Vitesse (miles/h)	Distance de la rive (m)	Sédiments T0 (A) (mg L ⁻¹)	Sédiments T1 (B) (mg L ⁻¹)	Remise en suspension (mg L ⁻¹)
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Vague	20	100	0,4	0,4	0
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Vague	10	100	0,4	4,4	4
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Normal	10	100	0,4	4,4	4
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Vague	10	150	0,4	3,2	2,8
8/5/13	Memphrémagog	MEM2	Normal	10	150	0,4	3,2	2,8
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Vague	30	150	0,7	1,9	1,2
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Normal	30	150	0,7	1,9	1,2
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Normal	20	100	0,7		
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Vague	20	100	0,7		
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Vague	10	200	0,7	3,1	2,4
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Normal	10	200	0,7	3,1	2,4
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Normal	30	100	0,7	0,7	0
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Vague	30	100	0,7	0,7	0
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Normal	30	200	0,7	0,7	0
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Vague	30	200	0,7	0,7	0
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Normal	30	200	0,7	-0,9	-1,6
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Vague	30	200	0,7	-0,9	-1,6
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Normal	10	200	0,7	0,7	0
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Vague	10	200	0,7	0,7	0
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Normal	30	100	0,7	3,1	2,4
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Vague	30	100	0,7	3,1	2,4
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Normal	20	150	0,7	0,7	0
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Vague	20	150	0,7	0,7	0
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Normal	20	150	0,7	0,7	0
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Vague	20	150	0,7	0,7	0
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Normal	10	150	0,7	2,7	2
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Vague	10	150	0,7	2,7	2
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Normal	10	100	0,7	0,7	0
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Vague	10	100	0,7	0,7	0
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Normal	30	150	0,7	1,5	0,8
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Vague	30	150	0,7	1,5	0,8
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Normal	20	200	0,7	0,7	0
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Vague	20	200	0,7	0,7	0
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Normal	20	200	0,7	0,7	0
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Vague	20	200	0,7	0,7	0
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Vague	20	100	0,7	-1,7	-2,4
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Normal	20	100	0,7	-1,7	-2,4
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Normal	10	100	0,7	3,1	2,4
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Vague	10	100	0,7	3,1	2,4
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Normal	10	150	0,7	1,9	1,2
8/6/13	Memphrémagog	MEM3	Vague	10	150	0,7	1,9	1,2