

## EXTRÊMES MÉTÉOROLOGIQUES ET LEURS IMPACTS GÉOMORPHOLOGIQUES : LE CAS DE LA GASPÉSIE

FORTIN G.<sup>(1)</sup>, HÉTU B.<sup>(2)</sup>, GAUTHIER F.<sup>(2)</sup> & GERMAIN D.<sup>(3)</sup>

<sup>1</sup>Département d'histoire et de géographie, Université de Moncton, 18 avenue Antonine-Maillet, Moncton, Nouveau-Brunswick, Canada [guillaume.fortin@umoncton.ca]

<sup>2</sup>Département de biologie, chimie et géographie, Université du Québec à Rimouski, C. P. 3300, succ. A, 300, allée des Ursulines, Rimouski, Québec, Canada, G5L 3A1 [francis\_gauthier@uqar.qc.ca ; bernard\_hetu@uqar.qc.ca]

<sup>3</sup>Département de géographie, Université du Québec à Montréal, 1255 rue Saint-Denis, Montréal, Québec, Canada [germain.daniel@uqam.ca]

**Résumé** – Dans cette étude préliminaire sept indices climatiques ont été calculés à partir des quantités de précipitations totales provenant de sept stations météorologiques gaspésiennes entre 1974 et 2013. Existe-t-il des tendances pour ces indices et est-ce que ceux-ci peuvent être liés à l'occurrence des coulées de débris ? Entre 1979 à 2009 sept événements de coulées de débris ont été observés. Nos résultats indiquent que les indices climatiques présentent une grande variabilité dans le temps et l'espace et qu'il est difficile d'associer les indices climatiques avec les coulées de débris qui répondent à des événements météorologiques ponctuels plutôt qu'aux tendances climatiques révélées par les indices.

**Mots-clés** : extrêmes météorologiques, risques naturels, impacts géomorphologiques, Gaspésie.

**Abstract - Weather extremes and their geomorphological impacts : a case study from Gaspé Peninsula.** In this preliminary study, seven climatic indices were calculated from the total amounts of precipitation for seven weather stations located in Gaspé Peninsula between 1974 and 2013. Are there any trends in these indices and can these indices be linked to the occurrence of debris flows? Between 1979-2009, seven debris flow events were observed. Our results indicate that climate indices are highly variable in both time and space. Moreover it is difficult to associate climate indices with debris flows that respond to specific weather events rather than climate trends revealed by climate indices.

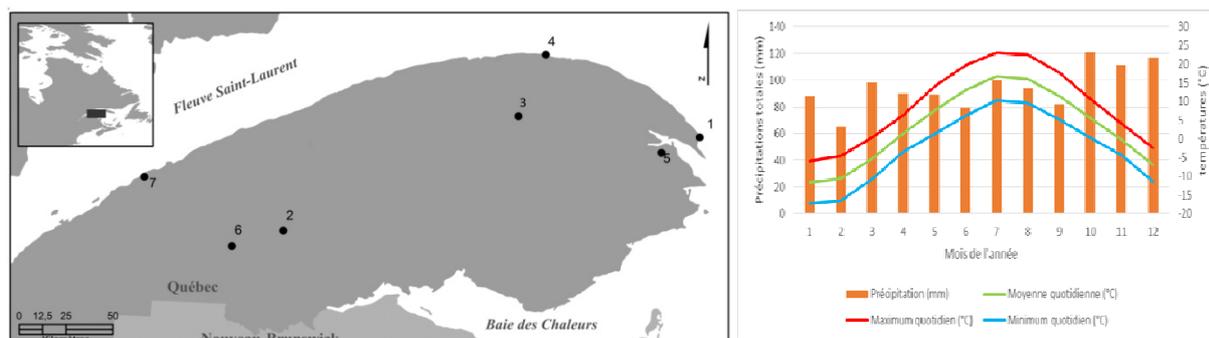
**Keywords:** Weather extremes, natural hazards, geomorphologic impacts, Gaspé Peninsula.

### Introduction

Au Canada près de 90% des risques naturels sont associés à des aléas météorologiques ou climatiques (Conrad, 2009). La vaste majorité de ces aléas peuvent être considérés comme des événements extrêmes. Selon Field *et al.* (2012), un extrême climatique (ou météorologique) correspond à la probabilité d'occurrence d'une variable climatique (ou météorologique) au-dessus ou en-dessous d'une valeur seuil qui se situe près de la limite supérieure (ou inférieure) de la gamme des valeurs observées pour cette variable. En regard du réchauffement climatique, est-ce que la fréquence et l'intensité des pluies ont connu une augmentation au cours des dernières décennies en Gaspésie? De plus, comment cette variabilité de la pluviométrie se traduit-elle en termes d'impacts sur le paysage? Dans le cadre de cette étude, nous proposons d'utiliser plusieurs indices climatiques associés aux précipitations extrêmes et d'explorer les relations qui existent entre ceux-ci et leurs conséquences géomorphologiques sur le paysage gaspésien, plus précisément en ce qui concerne les coulées de débris (CD) dans le secteur de la vallée de Mont-St-Pierre.

### 1. Région d'étude

Couvrant près de 30.300 km<sup>2</sup>, la Gaspésie est située dans l'est de la province du Québec (Canada). Ayant la forme d'une péninsule, elle est entourée par de vastes étendues d'eau, soit le fleuve Saint-Laurent au nord et à l'est et la baie des Chaleurs au sud. Traversée en son centre par la chaîne des Appalaches, les dénivelées les plus fréquentes près des côtes sont comprises entre 200 et 400 mètres. Les étés sont généralement chauds et bien arrosés tandis que les hivers sont plutôt froids et bien enneigés. La fig. 1 localise les stations qui ont été retenues pour nos analyses ainsi que la vallée de Mont-St-Pierre décrite dans notre étude de cas (section 3).



**Figure 1.** (a) Localisation des stations météorologiques. Numéro de la station (tel que présenté sur la carte), nom de la station, abréviation pour la station, coordonnées géographiques, altitude et période des mesures : 1. Cap des Rosiers (CdR, 48°51'00" N, 64°12'00" O, alt. :15,0 m), 2. Causapscal (Ca, 48°22'00" N, 67°12'00" O, alt. 168,0 m), 3. Murdochville (Mu, 48°57'00" N, 65°31'00" O, alt. 574,5 m), 4. Cap-Madeleine (CM, 49°14'00" N, 65°19'00" O, alt. 2,0 m, 1974-1994, b : 49°15'03" N, 65°19'29" O, alt. 29,0 m, 1994-2013), 5. Gaspé A (Ga, 48°46'37" N, 64°28'41" O, alt. 34,1 m), 6. Lac Humqui (LH, 48°17'00" N, 67°34'00" O, alt. 235,9 m), 7. Mont Joli (MJ, 48°36'00" N, 68°13'00" O, alt. 52,4 m). (b) Diagramme ombrothermique pour la station de Cap-Madeleine.

## 2. Données et méthodes

La quantité de précipitations totales a été utilisée pour calculer les indices climatiques (tableau 1) qui sont, dans certains cas, des extrêmes météorologiques. Les données, au pas de temps journalier, proviennent de sept stations météo (fig. 1) et couvrent la période de 1974 à 2013 (Environnement Canada, 2015). Un contrôle de qualité a été effectué sur les données. De plus, toutes les stations utilisées avaient moins de 20 % de données manquantes.

Le premier traitement réalisé sur nos séries temporelles a consisté à vérifier leur homogénéité avec le logiciel RHtests\_dlyPrpc (Wang et Feng, 2013). Par la suite, nous avons comblé les lacunes dans nos séries en utilisant Hydrolab (Laborde et Mouhous, 1998). Puis, nous avons utilisé le logiciel ClimPACT, qui est basé sur RClimDex (Zhang et Yang, 2007), pour calculer une quarantaine d'indices climatiques (températures et précipitations) à partir de nos données. Cependant un nombre restreint d'indices, uniquement ceux qui sont susceptibles d'être liés aux coulées de débris et qui sont basées sur les précipitations totales, ont été retenus pour cette étude (tableau 1). Finalement le test de Mann-Kendall (MK) a été utilisé afin de déterminer si les séries présentaient des tendances statistiquement significatives pour la période de 1974 à 2013.

**Tableau 1.** Indices climatiques utilisés dans cette étude.

	Indices	Seuils retenus	Unités
1	Rx1day, quantité max. de PRCP 1-jour	Valeur mensuelle max. 1-jour PRCP (précipitations)	mm
2	Rx5day, quantité max. de PRCP 5-jours	Maximum mensuel de PRCP pour 5 jours consécutifs	mm
3	SDII, indice d'intensité journalière	Préc. tot. annuelle divisée par le nombre de jours mouillés (PRCP > = 1,0 mm) dans l'année	mm/jour
4	R20, nombre de jours de fortes précipitations	Nombre de jours par année de jours où PRCP >= 20 mm	jours
5	CWD, jours mouillés consécutifs	Nombre max. de jours consécutifs avec PR (préc. reçues) >= 1 mm	jours
6	R95p, jours très mouillés	Tot. annuel de PRCP lorsque PR > 95e percentile	mm
7	R99p, jours extrêmement mouillés	Tot. annuel de PRCP lorsque PR > 99e percentile	mm
8	PRCPTOT, Préc. tot. annuelle pour les jours mouillés	Tot. annuel de PRCP pour les jours mouillés (PR > 1mm)	mm

## 3. Résultats

### 3.1. Extrêmes météorologiques

Tel que mentionné dans la section 2 nous avons calculé sept indices (tableau 1) sur l'ensemble de la période (1974-2013) et pour sept stations (figure 1) situées dans notre secteur

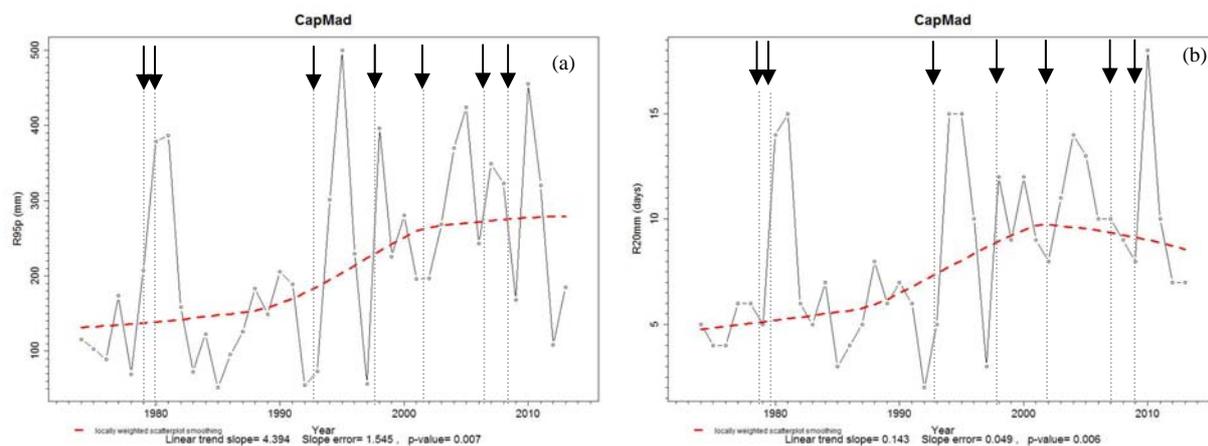
d'étude. Ensuite, nous avons calculé les tendances, avec le test de MK, pour ces indices tel que présenté dans le tableau 2. Le tableau 2 montre que toutes les tendances statistiquement significatives (à un taux de 95%) observées sont positives. Deux des stations (Mu et MJ) ne présentent cependant aucune tendance. Pour la station Ca il y a seulement une tendance pour SDII. Les stations CdeR, Ga et LH présentent toutes les trois des tendances pour les indices R20 et R95p.

**Tableau 2.** Tendances des sept indices pour les sept stations météorologiques.

Indices	CdeR	Ca	Mu	CM	Ga	LH	MJ
Rx1day	0,021	0,031	0,019	<b>0,223*</b>	0,139	0,181	0,181
Rx5day	<b>0,239*</b>	0,030	-0,032	<b>0,306*</b>	0,131	0,084	0,061
SDII	0,186	<b>0,247*</b>	0,105	-0,019	<b>0,276*</b>	<b>0,390*</b>	0,043
R20	<b>0,253*</b>	0,180	-0,185	<b>0,321*</b>	<b>0,284*</b>	<b>0,272*</b>	0,089
R95p	<b>0,223*</b>	0,117	-0,093	<b>0,310*</b>	<b>0,314*</b>	<b>0,260*</b>	0,115
R99p	0,082	-0,077	0	0,121	0,140	0,082	0,139
PRCPTOT	<b>0,242*</b>	0,045	-0,265	<b>0,287*</b>	0,217	<b>0,250*</b>	0,080

\* Tendance statistiquement significative à un taux de 95%.

Finalement pour la station de CM, celle qui est située la plus près de la vallée de Mont-St-Pierre où les CD ont été observés, cinq des sept indices présentent des tendances dont R20 et R95p (figure 2). Cela signifie qu'on y observe des hausses à la fois de la quantité totale de précipitation reçue lors des jours très mouillés (R95p) et du nombre de jours recevant de fortes précipitations (>20 mm). Cependant il faut être prudent dans l'interprétation des résultats puisqu'il existe une grande hétérogénéité quant à la présence ou absence de tendances d'une station à une autre. Cela confirme la difficulté d'observer des tendances sur un vaste territoire présentant des contrastes climatiques (Fortin et Héту, 2013).

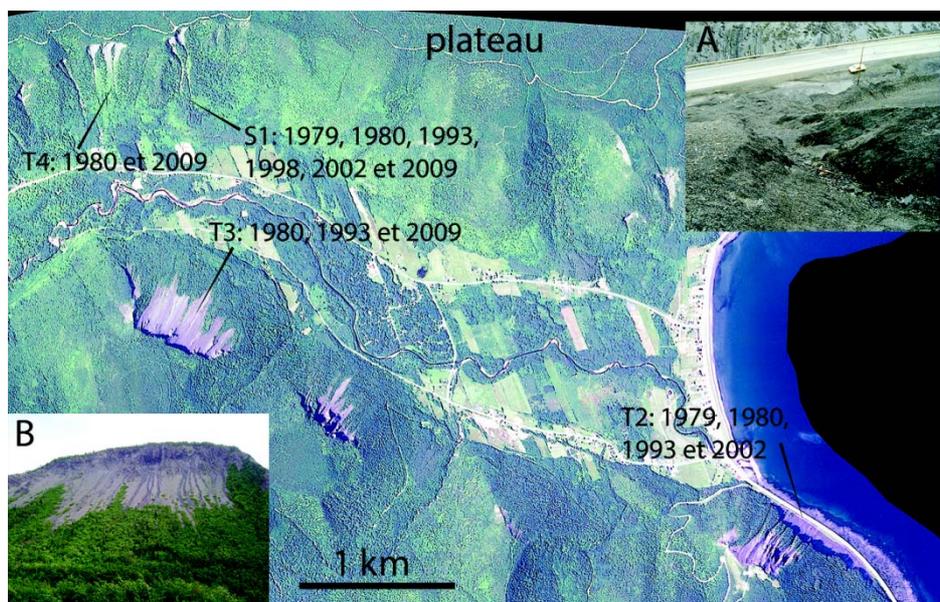


**Figure 2.** (a) R95p et (b) R20 pour la station de Cap-Madeleine, les flèches en noir correspondent aux années où des coulées de débris sont survenues. La ligne pointillée rouge correspond à une courbe de régression LOWESS.

### 3.2. Fréquence des coulées de débris

Dans un deuxième temps nous avons cherché à savoir si les tendances positives observées à la station de Cap-Madeleine avaient un impact réel sur la fréquence des coulées de débris (CD) dans la vallée de Mont-Saint-Pierre. Bien que de dimensions restreintes, ce secteur a été choisi parce que c'est le seul en Gaspésie pour lequel nous disposons d'un inventaire des coulées de débris s'étendant sur 30 ans (1979 à 2009) (figure 3). Il est bien connu que les coulées de débris sont généralement déclenchées par des précipitations de forte intensité et/ou

de longue durée (Guzzetti *et al.*, 2008). Théoriquement, ces deux caractéristiques du régime des précipitations devraient être bien traduites par les indices climatiques du tableau 1. Dans le nord de la Gaspésie, les coulées de débris (CD) se produisent sur les talus d'éboulis constitués de gravier et de cailloux de schiste noyés dans une abondante matrice silto-argileuse. Ce substrat fin offre des conditions édaphiques idéales pour le déclenchement des coulées de débris. Le tableau 3 présente la liste des sept événements observés dans la vallée de Mont-St-Pierre (Gaspésie) depuis 1979 ainsi que des informations sur les précipitations, la longueur des coulées et les volumes de sédiments déplacés. Les hauteurs d'eau mentionnées dans le tableau 3 correspondent au total des précipitations quotidiennes.



**Figure 3.** Répartition des coulées de débris dans la vallée de Mont-Saint-Pierre (le nord est à droite). A) Talus T2 le 8 juillet 1980 : ravin et coulées donnant sur la route 132; B) Talus T3 : ravins et CD du 27 juin 2009. Photos B. Héту et F. Gauthier.

L'analyse des précipitations reçues à chacune des stations de la figure 1 démontre que cinq des sept événements du tableau 3 (13/08/79, 06/07/80, 23/06/93, 07/08/02 et 08/08/07) correspondent à des systèmes météorologiques régionaux qui ont déversé des quantités de pluie variables mais abondantes. Les deux événements qui restent (18/06/98 et 26/06/09) correspondent, spatialement, à des fortes précipitations ponctuelles, vraisemblablement d'origine orageuse.

#### 4. Discussion

Nos résultats indiquent des tendances positives pour plusieurs indices climatiques au cours des 40 dernières années. Cette hausse du nombre de jours très mouillés (R95p) et du nombre de jours de fortes précipitations (R20) est en accord avec ce qui est prévu par les modèles climatiques au cours des années à venir pour la région d'étude, c'est-à-dire une intensification du cycle hydrologique, une hausse des précipitations totales et davantage d'extrêmes météorologiques (Field *et al.*, 2012). Cette situation est préoccupante en termes d'impacts puisqu'une augmentation de la durée et de l'intensité des précipitations constitue des conditions favorables aux coulées de débris. Même si le nombre d'événements de CD est trop faible pour en tirer des conclusions, il est intéressant de souligner que cinq des sept épisodes de CD surviennent après 1990 alors que les tendances positives s'affirment au niveau des indices météorologiques reliés à l'intensité et à la durée des précipitations. Dans une synthèse récente, Guzzetti *et al.* (2008) ont proposé des seuils de précipitations pour le déclenchement des CD en mettant en relation les intensités horaires ( $\text{mm h}^{-1}$ ) et la durée des précipitations

(heures). Étant donné que les stations météorologiques disponibles en Gaspésie ne fournissent que des totaux quotidiens, il n'est pas possible de vérifier si les intensités 'vécues' à Mont-St-Pierre lors des épisodes de CD sont similaires à celles dégagées par Guzzetti *et al.* (2008) pour des climats similaires (Dfb). Toutefois, dans trois cas au moins, nous savons, pour y avoir assisté, que les CD sont survenues alors que l'intensité des précipitations atteignait un paroxysme. De plus, nous savons que les coulées du 27 juin 2009 se sont produites vers 16:15 après une averse d'une rare violence sous ce type de climat : près de 50 mm en 45 minutes (station météorologique automatique de l'UQAR).

**Tableau 3.** Liste des événements de coulées de débris qui ont touché les versants de la vallée de Mont-Saint-Pierre entre 1979 et 2009. Les événements les plus importants en termes de volumes de sédiments mobilisés sont indiqués en caractères **gras**.

Date des événements de CD	Préc. J <sub>CD</sub> (mm) <sup>(1)</sup>	Préc. J <sub>CD-1</sub> (mm)	Préc. J <sub>CD-2</sub> (mm)	Versants touchés	Volume mobilisé (m <sup>3</sup> )	Runout (m) <sup>(2)</sup>
<b>13 août 1979</b>	CM : 49,8	CM : 0	CM : T	T2 (3 cônes) S1	1650 ?	3 à 8 0
<b>6 juillet 1980</b>	ML : 57,0 CM : 110,0	ML : 25,4 CM : 24,0	ML : 0 CM : 0	T2 (5 cônes) T3 (un ravin) T4 (un ravin) S1	4100 25 1050 ?	9 à 16 0 0 0
23 juin 1993	ML : 27,8 CM : 26,2	ML : 38,8 CM : 15,4	ML : 0,2 CM : 0,4	T3 (un ravin) S1	40 ?	0 0
<b>18 juin 1998</b>	CM : 42,0	CM : 1,0	CM : 1,0	T2 (3 cônes) S1	1800 ?	8 à 12 20
7 août 2002	CC : 12,0 CM : 76,1	CC : 3,1 CM : 0	CC : 0 CM : 0	T2 (2 ravins) S1	470 ?	2 à 3 0
8 août 2007	CC : 78,2 CM : 105,0	CC : 4,0 CM : 9,3	CC : 0 CM : 0	T2 (5 ravins) S1	280 ?	0 0
<b>27 juin 2009</b>	CM : 0,0 MSP : 87,8	CM : 53,0 MSP : 0	CM : 0	S1 T3 (29 ravins) T4	? 10000 ?	0 0 0

<sup>(1)</sup> Précipitations totales (mm) le jour des coulées (J<sub>CD</sub>), la veille (J<sub>CD-1</sub>) et l'avant-veille (J<sub>CD-2</sub>). Stations météo du réseau national – ML : Mont-Louis (6 km E.) ; CM : Cap-Madeleine (35 km E.); MSP : Mont-St-Pierre (station UQAR). Entre parenthèses, distances à vol d'oiseau entre la station et la vallée de Mont-St-Pierre. T = trace.

<sup>(2)</sup> Le *Runout* des CD est mesuré à partir du pied des versants. Un *runout* de 0 signifie que les coulées ne sont pas sorties du talus d'éboulis.

## Conclusion

Les résultats de notre étude ont permis de déterminer la présence de tendances statistiquement significatives à la hausse de plusieurs indices climatiques associés aux extrêmes météorologiques (précipitations) qui sont favorables au déclenchement des CD. Les CD sont un aléa naturel peu documenté en Gaspésie où ils sont rarement pris en compte par les gestionnaires des risques naturels. Cette étude représente une première étape en vue de mettre en relation les conditions climatiques à l'échelle régionale et à un pas de temps quotidien avec des phénomènes locaux qui surviennent sur de courtes durées (pas de temps quotidien et horaire). Les travaux futurs feront face à plusieurs défis liés aux notions d'échelles spatiales et temporelles. Une première piste de solution consisterait à développer des indices climatiques à un pas de temps horaire, ce qui permettrait de mieux identifier les conditions météorologiques associées à certains risques naturels qui surviennent rapidement. De plus, il serait particulièrement utile de mettre en relation d'autres indices climatiques avec d'autres types de risques naturels afin de mieux comprendre les conditions météorologiques extrêmes qui sont susceptibles de déclencher les risques naturels qui ont des impacts importants sur les sociétés et les paysages. Enfin, d'autres études impliquant la

dendrochronologie seront nécessaires pour bien établir la fréquence à long terme des épisodes de CD à l'échelle régionale.

### Références bibliographiques

Buffin-Bélanger T., Héту B., 2008 : Les risques d'inondation sur les cônes alluviaux dans l'Est du Québec. Actes de la 4<sup>e</sup> Conférence canadienne sur les géorisques : des causes à la gestion, Québec, 20-24 mai 2008, Presses de l'Université Laval, p. 359-366.

ClimPACT software, 2013 : Disponible en ligne :  
<http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/opace/opace4/meetings/linkedfiles/climpact.r>

Conrad C.T., 2009 : *Severe and Hazardous Weather in Canada: The Geography of Extreme Events*. Oxford University Press, 256 p.

Environnement Canada, 2015 : Données climatiques historiques. Disponible en ligne :  
[http://climat.meteo.gc.ca/index\\_f.html#access](http://climat.meteo.gc.ca/index_f.html#access)

Field C. B. (Ed.). 2012 : *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: special report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press.

Fortin G., Héту B., 2013 : Estimating winter trends in climatic variables in the Chic-Chocs Mountains (1970-2009). *International Journal of Climatology*, **34**(10), 3078-3088.

Guzzetti F., Perruccacci S., Rossi M., Stark C.P., 2008 : The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows : an update. *Landslides*, **5**, 3-17.

Laborde J.-P., Mouhous M. 1998 : Hydrolab Software, V.98.2. Équipe Gestion et valorisation de l'environnement de l'UMR 5651, « Espace » du CNRS.

Wang L.X., Feng Y., 2013 : RHtests\_dlyPrcp User Manual. Disponible en ligne :  
[http://etccdi.pacificclimate.org/RHtest/RHtests\\_dlyPrcp\\_UserManual\\_14Aug2013.pdf](http://etccdi.pacificclimate.org/RHtest/RHtests_dlyPrcp_UserManual_14Aug2013.pdf)

Zhang X., Yang F., 2007 : RClmDex (1.0) User Manual. Available from  
<http://ccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/software.html>