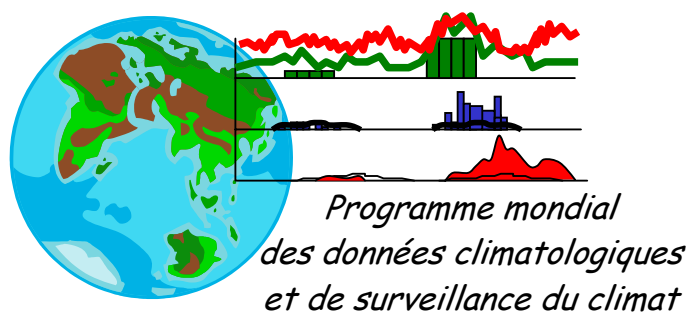


DIRECTIVES POUR LA GESTION DES CHANGEMENTS APPORTÉS AUX PROGRAMMES D'OBSERVATION DU CLIMAT

PMDSC-N° 62

OMM-DT N° 1378



Organisation météorologique mondiale

(Genève, mars 2007)

(Avec la contribution de R.B. Street, Debra Allsopp et Y. Durocher)

Publié sous la direction d'Omar Baddour et de Hama Kontongomde

©2007 Organisation météorologique mondiale

OMM-DT N° 1378

NOTE

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de toute institution participante aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

Ce document n'est pas une publication officielle de l'OMM et n'a pas été soumis aux procédures rédactionnelles habituelles de l'Organisation. Les opinions exprimées dans celui-ci n'ont pas nécessairement l'aval de l'OMM.

LA SÉRIE DES RAPPORTS DU PMDSC

La Commission de climatologie (CCI) de l'OMM, affirmant la nécessité pour les Services météorologiques et hydrologiques nationaux (SMHN) d'améliorer leurs services de production de données climatologiques et de surveillance du climat, a jugé qu'il était très important d'établir des directives à l'intention des SMHN.

Sous les auspices du Groupe d'action sectoriel ouvert des données climatologiques et de leur gestion (GASO I), l'Équipe d'experts pour les besoins en matière d'observation et les normes climatologiques a lancé la rédaction des présentes *Directives* dans le cadre du Programme mondial des données climatologiques et de surveillance du climat. Ce document a pour objet de présenter aux cadres et aux exploitants, notamment au sein des SMHN, un ensemble de procédures et de pratiques recommandées pour la gestion des changements apportés aux programmes d'observation du climat afin de préserver au mieux l'intégrité nécessaire des relevés climatiques.

Il est à noter que ce document technique, comme d'autres documents techniques publiés dans la série des rapports du PMDSC, a pour but de donner aux Membres une orientation sur les meilleures pratiques. En raison de la diversité des SMHN de par leur taille et de leur degré d'avancement technique, il peut ne pas être très utile à certains Membres. Toutefois, comme il porte sur une vaste gamme de sujets, il devrait pouvoir venir en aide à tous les Membres.

Directives pour la gestion des changements apportés aux programmes d'observation du climat

Roger B. Street¹, Debra Allsopp² et Yves Durocher³

Table des matières

INTRODUCTION	2
LES PROMOTEURS DES CHANGEMENTS	2
EFFETS DES CHANGEMENTS	3
GESTION DES CHANGEMENTS	4
IMPORTANCE DES MÉTADONNÉES	6
TECHNIQUES EN VUE D'UNE GESTION EFFICACE DES CHANGEMENTS	7
<i>Observations parallèles: la démarche privilégiée</i>	8
Frais connexes	8
Exemples	9
<i>Observations par paires</i>	11
Frais connexes	11
<i>Technique fondée sur la modélisation ou sur l'homogénéité</i>	12
Frais connexes	13
CONCLUSIONS	14
BIBLIOGRAPHIE	14
APPENDICE A - LISTE DE CONTRÔLE DES PHOTOS PRISES LORS DE LA VISITE ANNUELLE D'ENTRETIEN DES SITES DE L'USCRN	16

¹ Environnement Canada, Downsview, Canada

² Environnement Canada, Downsview, Canada

³ Environnement Canada, Downsview, Canada

INTRODUCTION

Il est inévitable que la capacité des plates-formes et des instruments de surveillance du climat et leurs incidences sur la facilité d'emploi des données évoluent. C'est pourquoi il est essentiel de gérer les changements que cela implique, afin de préserver l'intégrité des données et des informations relatives aux programmes de surveillance du climat.

La gestion de ces changements dans le cadre d'un tel programme a pour objet d'assurer la comparabilité des relevés climatiques tout au long du processus de mutation. Il est indispensable de subvenir aux besoins des secteurs de la recherche et des applications climatologiques, des utilisateurs des services et des décideurs. Contrairement aux observations effectuées uniquement à l'appui de la production de prévisions et d'avis, la réalisation de relevés climatiques permanents et ininterrompus est à la base de nombreuses études importantes auxquelles participent divers protagonistes du secteur de la climatologie qui ont un besoin impérieux de données homogènes sur le climat.

Les présentes *Directives* ont pour objet d'offrir aux administrateurs et aux exploitants de réseaux de surveillance du climat un ensemble de procédures et de pratiques recommandées permettant de gérer les changements apportés aux programmes d'observation du climat de façon à préserver au mieux l'intégrité nécessaire des relevés climatiques. Ne sont incluses dans ces *Directives* ni les procédures et les pratiques recommandées pour l'analyse des flux de données de sortie, et notamment l'analyse d'homogénéité, ni les besoins détaillés des réseaux d'observation du climat. Ces sujets sont amplement traités dans les *Guidelines on Metadata and Homogeneity* (Aguilar, E. *et al.*, 2003), et dans les *Guidelines on Climate Observational Networks and Systems* (Plummer, N. *et al.*, 2003). Les lecteurs qui cherchent de plus amples renseignements sur ces sujets pourront s'y référer.

LES PROMOTEURS DES CHANGEMENTS

Des changements tels que le remplacement de capteurs ou la localisation ou la visualisation d'instruments sont des réalités d'un programme évolutif, essentielles à sa longévité. Par exemple, l'amélioration ou le remplacement d'un capteur donné ou de l'ensemble des capteurs d'un site peut être planifié (par exemple dans le cas d'une opération de modernisation où l'on introduit des technologies plus récentes ou des capteurs plus appropriés) ou non (dans le cas de la perte d'un capteur qui s'est cassé ou endommagé, qui a vieilli prématurément ou qui a été volé). Avec le temps, les observations dans des stations surveillées peuvent évoluer du fait que les observateurs tombent malades, partent, perdent leur motivation ou sont remplacés par des stations météorologiques automatiques (SMA). Il faut aussi tenir compte, pour gérer les changements apportés aux sites d'observation, de facteurs tels que la mutation des caractéristiques locales d'un site, qui modifient la place occupée par les observations (par exemple adjonction d'un nouveau bâtiment), ou la nécessité de déplacer des capteurs en raison d'un changement d'affectation des sols sur le plan local.

Le passage d'observations manuelles à des SMA pose un problème particulier. Des éléments météorologiques objectifs ou déterministes tels que la température, la pression, l'humidité relative et les précipitations, relevés par des SMA, sont comparables ou supérieurs à ceux enregistrés par des êtres humains. Il est essentiel d'établir des fonctions de transfert par le biais soit d'observations parallèles soit d'autres techniques afin de définir la continuité des données. Dans le cas d'éléments météorologiques subjectifs, toutefois, les SMA ne peuvent pas reproduire les observations faites par l'homme et l'on ne peut pas s'attendre à ce qu'elles le fassent. L'un des problèmes des observations effectuées par des SMA est celui de la continuité des jeux de données. Si, à court terme, les observations par SMA permettent de faire des économies du fait que des observateurs ne sont plus nécessaires sur place, elles ont tendance à entraîner une pénurie d'observateurs locaux compétents. Dans les pays en développement où les budgets sont très limités, faute d'observateurs de réserve suffisamment qualifiés, tout problème d'entretien des SMA risque de conduire à une absence d'observations pendant de longues périodes jusqu'à ce que les stations puissent être réparées.

Comme nous l'avons noté ci-dessus, le déplacement d'un site peut se révéler nécessaire en raison de l'expansion urbaine ou du développement naturel du fait duquel le site d'origine cesse d'exister ou ne convient plus à des observations climatologiques. Des zones industrielles, des lotissements ou des bâtiments apparaissent ou disparaissent, des arbres sont plantés ou arrachés, ce qui risque de modifier brusquement ou insidieusement le milieu dans lequel se situent les instruments.

Une mutation peut aussi résulter du changement d'objectif d'un programme d'observation (qui passe par exemple de la recherche ou de l'appui à la prévision à l'exploitation) ou des pratiques en matière d'observation. Au Canada, une transformation notable de ces pratiques est due à l'évolution de la journée climatologique. Avant l'existence de directives météorologiques nationales, les observateurs avaient leurs propres règles et leurs propres pratiques pour relever les phénomènes météorologiques. Ensuite, on a reconnu qu'une normalisation était nécessaire pour recueillir des données en obtenant des résultats comparables. Pour les stations primaires, une journée climatologique commence et se termine à la même heure de deux journées consécutives (elle commence par les observations effectuées à 6 h 00 GMT le premier jour et se termine par les observations effectuées à 6 h 00 GMT le deuxième jour). Selon l'élément, une observation peut être imputée au premier jour, comme c'est le cas pour la température et les précipitations maximales, ou au deuxième, comme c'est le cas pour la plupart des autres éléments. Les observations d'une journée climatologique transmises par des volontaires constituent une exception. Ces observations sont transmises à 08 h 00 et 17 h 00 environ, heure normale locale, et, selon l'élément, sont imputées au jour précédent, comme c'est le cas pour le relevé de température minimale et d'occurrence de conditions météorologiques, ou au jour civil pour tous les autres éléments.

EFFETS DES CHANGEMENTS

Des changements peuvent entraîner une discontinuité des relevés dans le temps ou une rupture due à l'altération d'un programme de surveillance plutôt qu'à une évolution du climat. Du point de vue de l'utilisateur, cette discontinuité ou cette rupture risque de masquer le véritable climat et/ou ses tendances ou d'autres mutations de celui-ci.

Les effets des changements apportés à la condition d'un site et sa détérioration apparaissent dans les relevés de la température effectués sur un site se trouvant à Vernon (Colombie-Britannique), au Canada. Lorsque ce site a été contrôlé par rapport à une série de références, on y a observé des décrochements ou des ruptures indéniables dans la continuité des données. Un examen des rapports d'inspection de la station a indiqué que ces discontinuités étaient manifestement liées à des changements d'aspect du site intervenus en 1957, lorsque l'écran a été retiré de la maison de l'observateur et installé sur son gazon, et en 1981, lorsqu'il a été de nouveau déplacé et mis à niveau. Une discontinuité importante s'est aussi produite en 1991 lorsque l'écran a été nettoyé et repeint et que les thermomètres ont été remplacés (voir la figure 1).

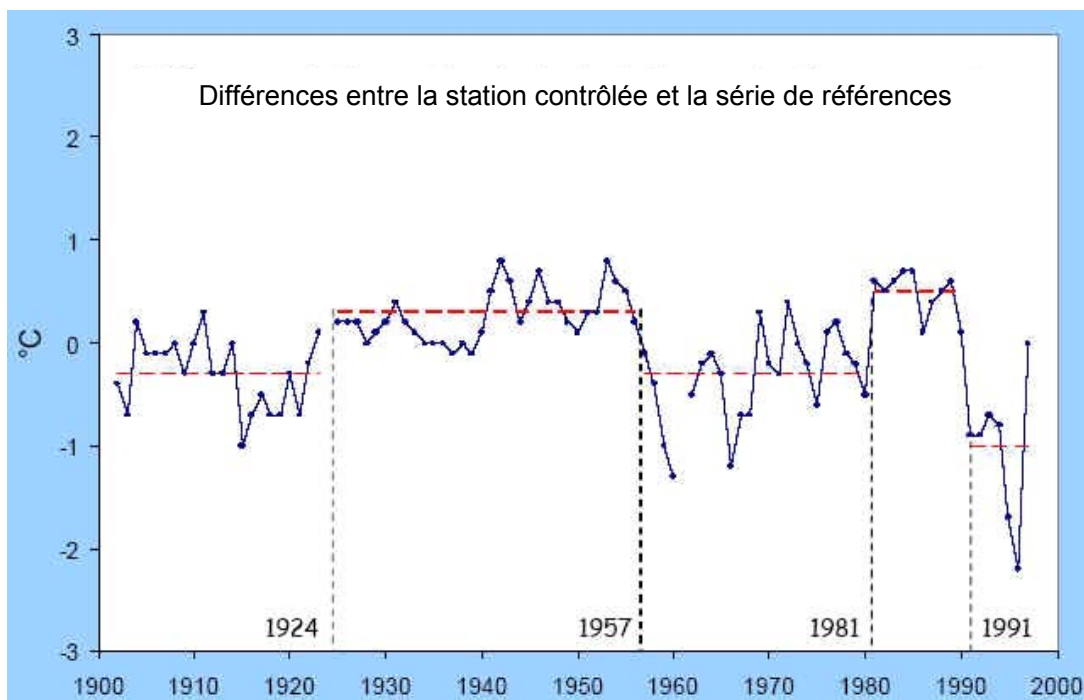


Figure 1. Les tiretés indiquent les discontinuités des données observées sur le site de Vernon (C.-B.). En 1957, l'écran a été retiré de la maison de l'observateur et installé sur son gazon. En 1981, il a été placé à un endroit plus à niveau. En 1991, il a été lavé et repeint et les thermomètres ont été remplacés. Présenté par Lucie Vincent: Homogénéisation de la température au Canada, Atelier sur l'homogénéisation des données climatiques, Marriot Eaton Centre Hotel, Toronto, Canada, 19-21 avril 2004.

Autres exemples des effets des changements:

- 1) Passage de capteurs de précipitations manuels à des capteurs automatiques dans les années 70. Les capteurs automatiques indiquent les précipitations totales et ne font pas la distinction entre la pluie et la neige. Dans ce cas, le changement d'instruments a entraîné non pas une discontinuité des données, mais, pour l'essentiel, une perte de données: il n'a plus été possible d'observer les chutes de neige. Pour la rue Bloor, à Toronto, le passage d'un capteur manuel à un écran de Geonor-Alter a posé un problème de taille: comment avertir les entreprises chargées du déneigement? Pour répondre à ce besoin particulier des utilisateurs, il a fallu passer des contrats saisonniers en vue de faire mesurer manuellement les chutes de neige;
- 2) Passage d'observations manuelles à des SMA: éléments tels que le temps, la visibilité, le plafond, etc. L'observation manuelle de ces éléments est subjective et peut porter sur un vaste champ de vision. Ces éléments ne doivent pas être évalués dans le même contexte que les observations émanant de SMA, qui sont discrètes et englobent un champ d'observation limité;
- 3) Avantages des changements: amélioration de l'accès et de la rapidité d'accès aux données, de la continuité et du délai de réaction pour résoudre les problèmes sur site.

GESTION DES CHANGEMENTS

La nécessité de gérer efficacement les changements se traduit par les principes de la surveillance du climat dans le cadre du Système mondial d'observation du climat (voir <http://www.wmo.ch/web/gcos/Publications/gcos-73.pdf>). Ces principes de base, adoptés sous une forme développée par la Conférence des Parties à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques dans la décision 5/CP.5 de la cinquième session de la Conférence des Parties (Bonn, novembre 1999), sont essentiels pour assurer une exploitation et une gestion efficaces des systèmes de surveillance du climat tout en respectant les besoins des usagers.

Le Canada, adhérant à ces directives, a adopté les pratiques générales suivantes pour moderniser son programme de surveillance du climat selon les plans établis:

- 1) On teste et on évalue tous les capteurs et les systèmes pour vérifier les incidences des changements avant leur mise en place. Le fonctionnement des plates-formes d'observation anciennes et nouvelles est mesuré dans l'espace et dans le temps. Lorsqu'on apporte un changement, on doit rechercher des conditions aussi semblables que possible (même exposition du site, mêmes procédures, mêmes capteurs, par exemple) dans l'ancienne et la nouvelle installation pendant au moins un an et de préférence deux. Au cours de la période de chevauchement, il faut archiver les données d'observation émanant des deux installations et indiquer si les changements sont approuvés, désapprouvés ou différés. Grâce à des essais et à des évaluations approfondis avant la mise en place, on devrait améliorer sensiblement le passage de l'ancienne à la nouvelle installation en déterminant et en documentant les différences prévues;
- 2) Dans la mesure du possible, il faut prendre des dispositions pour poursuivre l'exploitation de stations et/ou de systèmes d'observation qui fonctionnent depuis longtemps afin d'établir une référence. Au Canada, par exemple, la survie d'un site météorologique situé dans une zone vierge (Beatrice (Ontario), en exploitation depuis les années 1860) était menacée du fait que le propriétaire avait l'intention de vendre et qu'il n'était pas certain qu'un acheteur éventuel serait disposé à conserver un site d'observation sur la propriété. Une partie de la propriété contenant le site a été achetée au propriétaire au prix du marché afin que le site puisse continuer à être exploité en parallèle pendant plus de deux ans;
- 3) L'emplacement, l'exposition, l'étalonnage et les procédures d'exploitation d'une station devraient être réévalués tous les six mois. Cette opération devrait être effectuée lors de l'inspection de la station, mais on lui préfère souvent des vérifications d'entretien;
- 4) Il est recommandé de procéder à intervalles déterminés (tous les 5 à 10 ans) à un contrôle ou examen national de toutes les stations pour vérifier si les inspections, l'exploitation et la documentation de chaque station répondent aux normes.

Le Canada a mis en place un processus de gestion des changements lors de l'installation méthodique de nouveaux capteurs, appareils, etc. en créant une Commission de gestion du changement composée de représentants des programmes de vérification opérationnelle, du secteur de la recherche et de celui de l'archivage de données. La Commission permet aux experts de la planification de réseaux, aux gestionnaires de l'exploitation et aux spécialistes de la surveillance de s'entretenir des besoins à long terme en matière d'observation du climat. Elle sert de carrefour d'information sur tous les changements qu'on se propose d'apporter aux systèmes de surveillance afin d'en déterminer les incidences et devrait inclure des analyses coûts-avantages. Elle sert de centre de liaison pour les décisions, veillant à ce que les demandes de changements soient évaluées et traitées et à ce que des résolutions soient adoptées en temps utile par consensus.

Le fonctionnement adéquat de la Commission repose largement sur un processus clair et transparent de demande de changements (formulaire de demande, instructions et éléments justificatifs) facile à appréhender et à comprendre par ceux qui proposent de tels changements. Toutes les demandes de changements se rapportant à la surveillance du climat sont examinées et évaluées. L'ensemble des systèmes, des instruments, des algorithmes, des procédures, des processus et de la documentation connexe qui influent sur la collecte, le traitement, la transmission et l'archivage de données d'observation émanant de réseaux météorologiques et climatologiques relèvent du processus de gestion des changements. Celui-ci comprend les archives sur les données climatologiques dans le cas desquelles les changements apportés à la gestion des bases de données peuvent se répercuter sur les systèmes de surveillance du climat. Au besoin, des analyses ou des examens plus approfondis sont demandés.

La gestion opérationnelle des systèmes de surveillance est exclue des attributions de la Commission, ainsi que les décisions relatives à la densité et à la distribution des réseaux, qui relèvent des comités d'administration de ces réseaux.

Enfin, il convient de gérer la documentation concernant les changements approuvés à apporter aux systèmes, les configurations et les applications à utiliser comme références lors de l'examen des demandes de changements. Toute modification ou tout écart par rapport aux approbations documentées doit être considéré comme un nouveau changement et passer par le processus relevant de la Commission.

IMPORTANCE DES METADONNEES

Les métadonnées sont rarement plus importantes que lorsqu'elles documentent des changements apportés à des réseaux. Les métadonnées de recherche qui donnent accès aux données ou présentent des informations de base sur un site comprenant en général l'indicatif de la station, son nom, sa latitude, sa longitude, son altitude et les dates de départ et de fin sont insuffisantes pour retracer l'historique des stations et connaître les incidences des changements apportés à celles-ci. Des métadonnées complètes devraient inclure des comptes rendus exhaustifs sur les stations depuis leur création jusqu'à l'heure actuelle. Il est essentiel de considérer tous les changements apportés à un site — exposition, modifications concernant les instruments, y compris leur hauteur au-dessus du sol, étalonnages, visites d'inspection, ajustement des données, applications du contrôle qualité, etc. — pour prendre des décisions scientifiques appropriées et formuler des jugements sur l'utilité des données. Les métadonnées ne doivent pas exclure les informations issues de documents d'archives tels que manuels sur les pratiques en matière d'observation, rapports d'inspection des stations, directives gouvernementales, programmes relatifs aux ressources et au financement et même journaux locaux.

Les problèmes de collecte et de coordination des métadonnées relèvent de la gestion et de la mise à jour de celles-ci. L'avantage des techniques actuelles de stockage des métadonnées numérisées dans des bases de données est qu'on peut accéder à celles-ci, les lier à des données d'observation et les transférer. Pour favoriser la multiplication des métadonnées, il faut mettre au point des applications qui les assimilent directement ou qui, lors d'opérations courantes telles que les inspections de stations, en introduisent autant que possible dans des bases de données. Les politiques et les pratiques relatives aux observations au niveau des réseaux, les algorithmes de calcul, les procédures de contrôle de la qualité, les ajustements de données, les unités, les formats des données, etc. devraient venir en complément du système de gestion de bases de données. Toutes les métadonnées stockées dans des bases de données peuvent et devraient être conformes à des normes descriptives reconnues relatives aux métadonnées, comme la norme ISO 19115, afin que leur accessibilité puisse être élargie au domaine de la climatologie.

Un autre problème auquel sont confrontés les utilisateurs de métadonnées est l'impossibilité d'accéder à des informations ou à des données de grande valeur que contient leur support d'origine. Des documents d'archives tels que les comptes rendus d'observations ou les comptes rendus d'inspection de stations sur support papier doivent être protégés des effets nuisibles d'un usage fréquent. Malheureusement, des considérations financières et le volume même de ces documents empêchent qu'ils soient numérisés ou enregistrés, par exemple dans des fichiers PDF ou TIFF. Les documents d'archives devraient au moins être inventoriés et conservés correctement jusqu'à ce que les informations qu'ils contiennent puissent être transférées sur un support susceptible de résister à un accès fréquent des usagers.

Les métadonnées doivent recevoir le même soin que les données d'observation. Des métadonnées incomplètes, dépassées ou inexactes peuvent être aussi nuisibles et même plus nuisibles que l'absence de métadonnées. Il faudrait, dans le cadre des opérations courantes, examiner régulièrement le contenu des métadonnées pour en vérifier l'exactitude. On devrait soutenir les recherches sur de nouvelles sources de métadonnées, sur les techniques de gestion de l'information et sur les capacités de partage de l'information pour rendre accessibles et protéger les travaux effectués par le passé sur les données recueillies.

Toujours en ce qui concerne les métadonnées, comme on a noté que la visualisation des instruments d'une station par rapport à diverses structures et surfaces est très importante pour

assurer l'homogénéité des données d'observation, il est essentiel de déterminer de façon concluante la proportion des changements régionaux éventuels concernant la température de l'air observée qui peuvent être dus à un changement d'affectation des sols sur le site proprement dit (Davey et Pielke, 2005). Comme l'indiquent Davey et Pielke, de tels changements peuvent inclure une expansion urbaine d'échelon local dans les environs du site, une évolution des caractéristiques de la végétation locale, etc. Il est donc indispensable de prendre au moins 5 photos, l'une du capteur de température, les autres depuis les quatre points cardinaux (nord, est, sud et ouest) ainsi que d'autres au besoin pour documenter entièrement les caractéristiques importantes du site.

C'est ce que s'emploie à faire aux États-Unis, pour 1 221 sites, le National Climatic Data Center (NCDC) au nom de l'U.S. Historical Climate Network. On évalue le coût de la collecte initiale de ces métadonnées photographiques à 46 dollars É.-U. par site, soit un coût initial total de 56 000 dollars É.-U. Le NCDC utilise une liste de contrôle de la documentation photographique, reproduite à l'appendice A ci-après. Le stockage et la tenue à jour des données ont manifestement un prix, mais on estime que cet apport est un élément essentiel de la mise sur fichier des métadonnées relatives aux stations. Les responsables de la section américaine du SMOC, qui relève du NCDC, cherchent comment contribuer à la création de métadonnées photographiques pour le millier de stations du réseau d'observation en surface du SMOC, ce qu'ils considèrent comme un aspect important du rôle du NCDC en tant que grand centre pour les données relevant du SMOC. L'opération a un coût sensiblement plus élevé (1,4 million de dollars É.-U. environ), mais elle se déroulera sur une période plus longue dans le cadre d'autres activités telles que les trois projets d'appui technique du SMOC mis en œuvre actuellement dans les îles du Pacifique, dans la région Caraïbes-Amérique centrale et en Afrique australe et orientale. Dans le cadre de ces projets, par exemple, lors de visites d'entretien sur site, des photos de la configuration des stations du GSN seront prises. Le NCDC poursuivra son action lorsque d'autres occasions se présenteront.

TECHNIQUES EN VUE D'UNE GESTION EFFICACE DES CHANGEMENTS

La meilleure pratique pour préserver l'intégrité des relevés climatiques en cas de changements consiste à exploiter les anciens et les nouveaux systèmes et capteurs en parallèle. Un programme d'observations parallèles permet d'identifier les fonctions de transfert nécessaires, ce qui réduit au minimum ou élimine les incidences des changements sur les relevés climatiques. Cette technique donne les meilleurs résultats lorsque les changements sont planifiés ou du moins prévisibles.

Cependant, les changements ne sont pas toujours planifiés: ils peuvent être imposés (décisions prises d'en haut), résulter d'une insuffisance de fonds (ce qui entraîne la cessation d'une partie du programme d'observation ou l'impossibilité de lancer un programme d'observations parallèles) ou être dus à des circonstances imprévues (catastrophes naturelles ou d'origine humaine, par exemple). Lorsque la réalisation d'observations parallèles n'est pas possible ou pratique, il faut faire appel à d'autres techniques ou démarches telles que les observations par paires ou les méthodes fondées sur la modélisation ou sur l'homogénéité pour rétablir l'intégrité des relevés climatiques.

Observations parallèles: la démarche privilégiée

La technique des observations parallèles donne les meilleurs résultats dans le cas de changements planifiés plutôt qu'imposés. L'objectif est de retenir la configuration d'origine, d'établir la nouvelle de façon à conserver un maximum d'éléments de l'ancienne — même lieu, même procédures, mêmes capteurs — et de documenter, dans les métadonnées associées, les éléments de la nouvelle installation qui ont changé. Selon les principes de contrôle du SMOC, l'exploitation sur site en parallèle de l'ancien et du nouveau programme ou système d'observation du climat pendant une période de chevauchement avant d'éliminer l'installation de départ est considérée comme la meilleure solution pour gérer les changements.

La technique des observations parallèles permet de déterminer et de documenter les incidences et d'aider les usagers éventuels à calculer les facteurs de correction nécessaires pour ajuster les données en vue d'en assurer l'homogénéité avec le relevé précédent. Il faut définir la durée des observations parallèles en fonction du climat et de la nécessité pour les deux systèmes de fonctionner en parallèle dans toute la gamme de conditions climatiques du site (à toutes les saisons et/ou en couvrant cette gamme). On pourrait faire appel à une approche statistique en calculant les incertitudes pour chacune des valeurs mensuelles d'ajustement. Il pourrait être décidé de mettre fin aux observations parallèles lorsqu'on aurait, par exemple, recueilli suffisamment de données de comparaison pour déterminer que les incertitudes des ajustements mensuels sont inférieures ou égales à $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ pour un niveau de confiance de 95 %. Sur le plan de l'exploitation, des facteurs économiques et d'autres considérations opérationnelles (personnel disponible, sol, possibilité de maintenir l'ancienne installation, etc.) vont souvent limiter la durée de la période d'observations parallèles. La demande supplémentaire ainsi imposée à des ressources financières et humaines déjà surexploitées doit être envisagée selon le gain d'information qu'une période de chevauchement donne au coefficient d'utilisation des données. L'objectif devrait être de prolonger la durée de la période de chevauchement jusqu'à un an au minimum et de préférence deux.

Il importe, en vue de procéder à des observations parallèles, de créer et de tenir à jour les métadonnées associées pour l'ancienne et la nouvelle configuration. Les deux séries de métadonnées, qui comprennent la date et le moment du changement, aideront les usagers et les chercheurs à comprendre sur quoi sont fondés les ajustements visant à l'homogénéité et permettront de vérifier la validité des corrections à la lumière de nouvelles informations ou de nouveaux développements.

Il est essentiel d'archiver les deux séries d'observations pendant la période de chevauchement. Selon le système d'archivage utilisé, il peut s'avérer nécessaire pour cela de désigner l'ancienne ou la nouvelle installation de façon que les données d'observation des deux séries puissent être archivées et récupérées à l'avenir.

Frais connexes

Du point de vue des ressources humaines, cette technique exige de maintenir deux installations sur chaque site qui subit des changements. Ainsi, sur chacun de ces sites, pendant la période d'observations parallèles, le personnel doit prévoir du temps pour inspecter les deux systèmes et pour réparer ou remplacer le matériel défectueux des deux installations. Cette exigence supplémentaire ne peut qu'exacerber tout problème de ressources humaines résultant du passage à une nouvelle configuration (création du site et du système, formation connexe, etc.). Il existe aussi, en matière de ressources humaines, quelques autres exigences relativement mineures concernant l'archivage et le contrôle qualité des nouvelles données d'observation lors de l'exploitation des deux installations en parallèle.

Comme l'installation d'origine existe déjà, les frais financiers d'exploitation de celle-ci, y compris les frais de déplacement du personnel technique vers et depuis le site pour y effectuer des inspections et des travaux d'entretien, peuvent relever du budget d'origine dans une certaine mesure. Il est à noter toutefois que l'appareillage supplémentaire exige d'autres pièces de rechange et implique un risque plus élevé de pannes, ce qui risque d'accroître le temps et l'argent à consacrer aux réparations.

Les frais augmentent aussi avec le montage d'une installation d'observations parallèles en raison du nouveau matériel à installer en un lieu approprié avec une infrastructure de soutien. L'emplacement de certains capteurs (précipitations, vent, etc.) ne peut pas être partagé ou alors ceux-ci exigent davantage d'espace ou une infrastructure plus importante (tours et câbles, par exemple). Non seulement cela alourdit les frais, mais il peut s'avérer impossible de trouver davantage d'espace, ce qui risque de limiter la possibilité de mettre en place un programme d'observations parallèles. Certains sites peuvent entraîner des frais particuliers: location d'un terrain, contrat spécial d'entretien à conclure avec le propriétaire du terrain, le responsable de

l'entretien ou les observateurs (par exemple pour entretenir le terrain autour du site), remise du site dans son état d'origine après l'achèvement du programme d'observation ou frais de démantèlement pour évacuer du site certaines structures (clôtures et/ou structures de béton) qui empêchent la mise en place d'un deuxième appareillage d'observation. Il peut y avoir aussi des frais de recrutement et de formation de nouveaux observateurs pour assumer la charge de travail supplémentaire.

Exemples

Depuis le milieu des années 90, le Service météorologique australien⁴ mène un programme d'observations parallèles (ou de comparaison), notamment pour ses stations climatologiques de référence, à la suite du remplacement de ses stations manuelles par des SMA et par souci d'homogénéité des relevés climatiques. En septembre 2005, il existait des données comparatives pour 31 sites, les variables climatologiques prioritaires étant la pluie quotidienne, le point de rosée et les températures maximales et minimales. L'objectif du programme était de relever des données d'observations parallèles sur deux ans, mais des données couvrant plus de cinq ans ont été recueillies sur bon nombre de ces sites.

Le tableau 1 présente le coût direct du programme d'observations parallèles mis en œuvre sur 31 sites australiens pendant une période de deux ans. Les frais sont imputables pour la plupart à la réalisation de deux observations manuelles par jour pour les variables prioritaires. Le coût direct total est d'environ 506 000 dollars australiens (382 000 dollars É.-U.), le coût moyen par site étant d'environ 16 300 dollars australiens (12 300 dollars É.-U.). Le tableau 2 présente les frais indirects et, du fait que les données comparatives n'ont de valeur réelle que lorsqu'elles sont exploitées, ces frais comprennent les frais d'analyse des données. Les frais indirects représentent au total environ 43 000 dollars australiens (32 000 dollars É.-U.).

Il arrive que les frais soient beaucoup plus élevés sur certains sites. Les frais de location de terrains sont parfois importants et il peut s'avérer nécessaire d'établir un contrat spécial d'entretien avec les observateurs (par exemple pour entretenir le terrain autour du site). Les frais de déclassement risquent également d'être élevés en raison d'une réglementation sur l'environnement de plus en plus stricte et de la nécessité de remettre les sites dans leur état d'origine. Parfois, les frais sont importants en raison de la nécessité d'évacuer certaines structures des sites, comme des clôtures ou des dalles de béton. Il peut aussi y avoir des frais de recrutement et de formation de nouveaux observateurs, le cas échéant.

Pour résumer, la mise en œuvre d'un programme d'observations parallèles en Australie a entraîné des frais élevés. Cependant, si l'on compare ces frais au coût de saisie des données d'observation (89 000 dollars australiens par an en 2003/04) et de gestion de la base de données climatologiques (5 000 dollars australiens par an), les dépenses engagées pour assurer l'homogénéité des relevés climatiques ne représentent que 0,3 % du total consacré à la saisie et à la gestion des données sur une période de deux ans. Voilà de l'argent bien investi!

Rubrique	Coût unitaire (\$ Aus)	Quantité	Nombre de sites	Coût total (\$ Aus)
1. Inspections	200	1	31	6 200
2. Communications	0,15	40 150	31	6 022
3. Déclassement des sites (un)	1 500	1	31	46 500
4. Dotations				444 638
5. Remplacement d'instruments	200	0,4	31	2 480
6. Total				505 840

⁴ Nous remercions ici Neil Plummer (Centre climatologique national, Service météorologique australien), Helmut Abt (Programme d'observation, Service météorologique australien), le directeur régional des observations et ses collègues de nous avoir communiqué certains chiffres, reproduits dans le tableau 1. Nous remercions en particulier Rod Hutchinson, Margaret Kaskin et Blair Trewin (Centre climatologique national) de leur aide.

Tableau 1. Coût direct estimatif du programme d'observations parallèles du Service météorologique australien. Ces chiffres correspondent à des observations comparatives effectuées à deux moments de la journée (9 h 00 et 15 h 00, heure normale locale) pendant une période de deux ans dans deux stations, sur 31 sites. Les éléments suivantes ont servi pour les calculs: les frais d'inspection comprennent les salaires, les transports et les faux frais; les frais de communication sont imputables à la transmission de données; les frais de déclassement des sites comprennent les frais d'inspection et une dotation pour les heures supplémentaires ou les fonds supplémentaires à verser aux entrepreneurs; les dotations sont des sommes versées aux observateurs; pour les frais de remplacement d'instruments, on a supposé qu'un thermomètre est remplacé tous les 5 ans.

Rubrique	Coût total (\$ Aus)
1. Frais d'administration générale	3 462
2. Gestion de données	5 500
3. Analyse et communication de données	33 750
4. Total	42 712

Tableau 2. Frais supplémentaires imputables au programme d'observations parallèles du Service météorologique australien. Les éléments suivants ont servi pour les calculs: les frais d'administration générale correspondent à la création d'indicatifs de nouvelles stations, aux dispositions prises avec les observateurs, à l'administration des paiements, aux fournitures de bureau et à la rédaction d'instructions; les frais de gestion de données comprennent la saisie de données sur 5 des 31 sites, la saisie de métadonnées sur les 31 sites et le coût marginal de gestion de nouvelles données dans la base de données; pour les frais d'analyse et de communication de données, on a supposé qu'il faudrait à un météorologue 4 mois ½ pour analyser l'ensemble des données et produire un rapport.

Il existe des statistiques détaillées sur le coût d'exploitation du réseau canadien de stations climatologiques de référence. Ces statistiques ont été établies dans le cadre de l'action entreprise pour moderniser le réseau et pour remplacer les observateurs humains par des systèmes automatiques dans plusieurs de ces stations.

Dans le cas d'observations parallèles (et par paires) sur un même site, les services publics (eau et électricité) n'entraînent pas de frais annuels supplémentaires importants, contrairement aux communications et à l'informatique (1 150 dollars canadiens par site), aux inspections, aux réparations et aux pièces de rechange (11 060 dollars canadiens par site), en calculant 5 % pour les pièces de rechange et 10 % pour les déplacements d'urgence en vue de réparations, ainsi que le contrôle des performances et l'assurance et le contrôle de la qualité (290 dollars canadiens par site). Les inspections périodiques et l'entretien d'autres systèmes impliquent aussi des frais annuels supplémentaires (1 365 dollars canadiens par site) si l'on compte deux jours de déplacement et d'inspection par site. Si, pour une question d'hygiène et de sécurité du travail, un technicien subalterne doit accompagner un inspecteur lors d'une visite périodique d'inspection et d'entretien sur un site isolé, le coût annuel de l'opération (2 493 dollars canadiens) peut être sensiblement plus élevé en raison des frais de déplacement.

Observations par paires

S'il est impossible de procéder à des observations parallèles du fait que les changements sont imposés par la perte de matériel, par des dégâts subis par celui-ci, par l'impossibilité d'accéder à un site, par le fait de partenaires ou de propriétaires ou du fait que l'installation d'origine n'est plus disponible ou ne peut être remise en service, il existe une solution consistant à reproduire l'ancienne installation, autant que possible, puis à réaliser des observations par paires en faisant appel à une nouvelle installation située au même endroit que l'ancienne ou à plusieurs sites d'observation voisins abritant la nouvelle installation. Comme dans le cas des observations parallèles, les observations par paires devraient durer aussi longtemps que possible et couvrir toute la gamme de conditions climatiques (c'est-à-dire un ou deux ans ou jusqu'à ce que

les incertitudes quant aux ajustements mensuels soient considérées comme suffisamment faibles — voir la section précédente).

Un programme d'observations par paires exige qu'au moins deux installations coexistent, l'une reproduisant l'installation d'origine et l'autre constituant la nouvelle installation. Si l'homogénéité de l'installation d'origine, de la nouvelle installation et de leur entourage est semblable, on peut faire appel à une installation d'origine coexistant avec une nouvelle installation pour établir les facteurs de correction (ou de relation) pour divers sites similaires.

La technique des observations par paires n'est pas aussi efficace que la technique des observations parallèles, mais elle offre une solution viable pour le maintien de la continuité des relevés. On peut déduire des facteurs de correction (ou de relation) des observations par paires en liant les données d'observation recueillies par la nouvelle installation à celles recueillies par l'installation d'origine.

Cette technique a des défauts en ce qui concerne la reproduction de l'installation d'origine, et notamment la recherche et la gestion d'un ensemble original de capteurs, ainsi que la reproduction de la configuration du système, du programme d'observations et de l'entourage (bâtiments et végétation). Pour le passage d'observations manuelles à des observations par une SMA, il risque d'être tout à fait irréaliste de vouloir reproduire l'installation d'origine, donc impossible de faire appel à des observations par paires. En outre, le prix du rétablissement et de l'entretien d'un grand nombre d'installations d'origine risque d'être prohibitif.

Frais connexes

La technique des observations par paires exige davantage de travail, donc davantage de ressources financières et humaines. Ces ressources sont comparables à celles nécessaires pour les observations parallèles (voir les exemples sous cette rubrique). Toutefois, la technique des observations par paires implique des frais supplémentaires du fait qu'il faut rétablir l'installation d'origine après les changements. Ces frais comprennent le coût du travail supplémentaire exigé du personnel technique, notamment pour acquérir l'ensemble des capteurs d'origine et pour en assurer le fonctionnement (par exemple en donnant la preuve de leur exploitabilité, en les adaptant et en les réparant) et pour rétablir l'installation d'origine, notamment en positionnant les capteurs correctement et en créant l'infrastructure nécessaire. Comme dans le cas de la technique des observations parallèles, un espace disponible restreint ou un accès réduit à un espace supplémentaire risque d'accroître les coûts ou de limiter l'applicabilité de cette technique.

Technique fondée sur la modélisation ou sur l'homogénéité

On peut, au lieu de faire appel à l'une des deux techniques d'observation, modéliser les données recueillies par l'installation d'origine (c'est-à-dire modéliser les propriétés d'enregistrement des capteurs utilisés précédemment par rapport aux capteurs avoisinants) et les comparer aux données recueillies par la nouvelle installation. Bien que n'étant pas aussi judicieuse que les deux techniques d'observation, la technique fondée sur la modélisation permet d'établir une relation basée sur la climatologie qui peut servir à homogénéiser les données recueillies par la nouvelle installation par rapport à celles recueillies par l'ancienne.

On a établi des procédures de contrôle de l'homogénéité pour repérer des décrochements artificiels dans les séries chronologiques de données climatologiques dus au déplacement d'une station, au remplacement de l'appareillage, au remplacement des observateurs ou à la modification des procédures d'observation. Ces procédures, fondées sur des méthodes statistiques, exigent un grand nombre d'observations sur le site contrôlé et dans les stations voisines et ne permettent qu'une estimation approximative des valeurs donnant l'apparence de l'homogénéité. Elles sont appropriées pour l'ajustement de relevés anciens, mais pour l'avenir, le mieux est de disposer d'instruments co-implantés qui recueillent quotidiennement des données d'observation concourantes pendant au moins deux ans mais de préférence cinq, et d'établir des relations mathématiques pour calculer les valeurs d'ajustement.

Lorsqu'il est impossible d'effectuer des observations parallèles, on peut procéder à des contrôles d'homogénéité, compte tenu des limites des procédures. La précision des chiffres est directement proportionnelle au nombre de stations voisines utilisées (au moins trois à cinq) pour les calculs. Ces stations doivent être proches du site contrôlé et avoir un régime climatique semblable. Pour la température, un site voisin peut être éloigné d'une vingtaine voire d'une trentaine de kilomètres, selon la topographie de la région, mais pour les précipitations, il doit être éloigné au maximum de quelques kilomètres. L'ensemble choisi de stations voisines doit rester constant pendant les changements et pour au moins deux ans ou davantage par la suite. Les données produites pendant cette période sont nécessaires pour créer un modèle de rapports valable pour la gamme de conditions climatiques qui existent sur le ou les sites concernés. Plus la période suivant le changement est longue, plus on peut compter sur la validité des rapports.

Les techniques employées pour choisir les stations voisines et élaborer le modèle de rapports doivent être celles utilisées dans les études d'homogénéité (Vincent, L.A. *et al.*, 2002). Il faut, dans le modèle, tenir compte des différences entre les variables mesurées sur une échelle d'intervalle, comme la température, et celles mesurées sur une échelle proportionnelle, comme les précipitations.

Une fois qu'un modèle a été mis au point, les données recueillies par la nouvelle installation peuvent être ajustées pour correspondre à celles recueillies par l'installation d'origine. On peut obtenir des facteurs d'ajustement en calculant des moyennes distinctes de la série de différences ou de ratios pour la période précédant et suivant les changements. On compare les moyennes obtenues en calculant leur ratio ou leur différence et l'on applique le facteur obtenu aux données suivant les changements. Les ajustements doivent être corroborés par les métadonnées dans la mesure où celles-ci sont considérées comme fiables et complètes.

Des études récentes ont démontré que les contrôles d'homogénéité sont fiables pour le calcul des températures annuelles et mensuelles mais que l'erreur devient plus importante pour les valeurs quotidiennes et en particulier pour les extrêmes. On a appliqué le contrôle d'homogénéité à d'autres éléments climatiques tels que la pression et l'humidité relative pour repérer des décrochements dans les séries chronologiques saisonnières, mais il convient de mieux définir les procédures d'ajustement. Pour les précipitations, il est difficile d'effectuer un contrôle d'homogénéité du fait de leur très grande variabilité dans l'espace. Cependant, des recherches actuelles visent à résoudre ce problème. Il est à noter par ailleurs qu'il n'existe encore de technique établie pour aucune variable et qu'il sera donc toujours nécessaire d'analyser l'évaluation des données et les ajustements effectués. Ainsi, il est très important de conserver les données brutes et de documenter dans les métadonnées associées toutes les procédures appliquées à l'ajustement des données.

Outre qu'elles s'appliquent aux variables, les données disponibles pour établir le modèle de rapports risquent d'être limitées. Si les réseaux d'observation ont une faible densité ou qu'il soit impossible de conserver les installations d'origine, il est difficile de construire le modèle de rapports nécessaire. Dans ce dernier cas, on peut associer des observations parallèles ou par paires et la modélisation, ce qui est susceptible de réduire le coût global de gestion de changements à grande échelle.

Frais connexes

Du point de vue des ressources financières et humaines, les frais connexes sont quelque peu inférieurs au coût des deux techniques d'observation et constituent parfois la seule option viable. Il n'est pas nécessaire d'entretenir deux sites et, tant que les sites voisins restent en service, il n'y a pas de frais supplémentaires pour l'exploitation du réseau. Les seuls frais sont les frais de création, d'exploitation et d'actualisation d'un modèle de rapports et de gestion des métadonnées associées. Les frais liés à ces techniques dépendent de l'expérience du personnel concerné, du temps et des données disponibles et de l'élément climatique à modéliser.

Les considérations relatives aux frais sont les suivantes⁵:

- Il faut disposer d'un climatologue connaissant bien la climatologie de la région et d'un informaticien connaissant bien les algorithmes statistiques. Tous deux doivent avoir une bonne formation en ce qui concerne l'utilisation des procédures de contrôle de la technique fondée sur la modélisation ou sur l'homogénéité;
- Il faut disposer de données d'observation quotidiennes pour un minimum de 25 ans avant et 5 ans après les changements sur le site concerné et les stations voisines, avec peu de valeurs manquantes;
- En ce qui concerne la puissance de calcul nécessaire, l'analyse statistique et la modélisation peuvent s'effectuer sur un ordinateur personnel où sont installés les logiciels statistiques voulus;
- Il faut disposer, pour l'ensemble des sites et des appareils concernés, de métadonnées détaillées concernant le type d'instruments, les observateurs, les heures d'observation, les emplacements, les programmes d'observation et l'entourage.

L'expérience australienne indique que les premiers travaux consacrés à la technique fondée sur la modélisation ou sur l'homogénéité ont pris beaucoup de temps et ont été coûteux. Par exemple, la constitution des premiers jeux de données homogénéisés entièrement australiens concernant les précipitations (Lavery *et al.*, 1997) et la température (Torok et Nicholls, 1996) a exigé pour chacun environ deux ans de travail de la part d'un climatologue qualifié. (Le deuxième jeu de données a été réuni dans le cadre d'un doctorat.) Cette activité a inclus la collecte et l'inventariage de métadonnées, l'élaboration de techniques statistiques de repérage et d'ajustement des éléments non homogènes, la collecte et l'analyse de données, y compris l'application d'ajustements aux séries chronologiques, la documentation et la rédaction de rapports. La constitution d'un jeu de données homogénéisé a coûté environ 180 000 dollars australiens (135 000 dollars É.-U.) au Service météorologique australien⁶. Mis à part les frais d'observation associés, l'actualisation et la gestion de ce jeu de données représentent environ six mois de travail tous les trois à cinq ans pour un climatologue, pour un coût de 45 000 dollars australiens (34 000 dollars É.-U.).

CONCLUSIONS

L'objectif pratique de la surveillance du climat est de disposer constamment de données cohérentes couvrant de longues périodes. Comme il n'existe en général pas de cohérence à long terme, il faut, pour simuler la continuité, gérer des erreurs systématiques éventuelles dues à des changements autres que les changements climatiques. Les principales conclusions des présentes *Directives* sont les suivantes:

- Il est primordial d'assurer l'intégrité des relevés climatiques, dont il est possible d'éviter la dégradation;
- Il faut veiller à ce que le besoin légitime d'intégrité des données d'observation et les frais et avantages connexes soient bien compris;
- Il est essentiel de lancer une opération de gestion des changements pour documenter les décisions relatives au processus de changement afin que les résultats escomptés soient atteints et de créer une tribune permettant de mieux comprendre les coûts et les avantages associés à ce processus;

⁵ Nous remercions ici Lucie Vincent, du Service météorologique du Canada (Environnement Canada), de nous avoir communiqué des chiffres sur le coût de la technique fondée sur la modélisation ou sur l'homogénéité.

⁶ Ces frais, évalués par Neil Plummer, du Service météorologique australien, comprennent les frais généraux, les salaires et l'équipement.

- Pour des raisons pratiques et d'économie, il sera sans doute possible, dans un grand nombre de cas, d'associer des techniques d'observations parallèles et des techniques de modélisation;
- Une gestion prudente des ressources en matière d'observations est essentielle pour assurer la surveillance à long terme du climat et analyser les effets de l'évolution et de la variabilité du climat sur les personnes et les biens.

BIBLIOGRAPHIE

Aguilar, E., Auer, I., Brunet, M., Peterson, T.C. et Wieringa, J., 2003: WCDMP No. 53, WMO/TD No. 1186: *Guidelines on climate metadata and homogenization*. Organisation météorologique mondiale, Genève, Suisse.

Davey, C. et Pielke, R.A., 2005: *Microclimate Exposures of Surface-Based Weather Stations: Implications for the Assessment of Long-Term Temperature Trends*. Bulletin of the American Meteorological Society, 86, 497-504.

Plummer, N., Allsopp, T. et Lopez, J.A., 2003: WCDMP No. 52, WMO/TD 1185: *Guidelines on climate observations networks and systems*. Organisation météorologique mondiale, Genève, Suisse.

Lavery, B., Joung, G. et Nicholls, N., 1997: *An extended high-quality historical rainfall dataset for Australia*. Australian Meteorological Magazine 46(1), 27-38.

Mekis, É. et Hopkinson, R., 2004: *Derivation of an improved snow water equivalent adjustment factor map for application on snowfall ruler measurements in Canada*. Compte rendu de la quatorzième Conférence sur la climatologie appliquée, Seattle (Washington), États-Unis d'Amérique, American Meteorological Society.

Mekis É. et Hogg, W.D., 1999: *Rehabilitation and analysis of Canadian daily precipitation time series*. Atmosphere-Ocean, 37, 53-85.

Metcalf, J.R., Routledge, B. et Devine, K., 1997: *Rainfall measurement in Canada: changing observational methods and archive adjustment procedures*. J. Climate, 10, 92-101.

Milewska, E.J. et Vincent, L.A., 2005: *The effect of modernization of climate reference networks on continuity of daily maximum and minimum temperature observations*. Compte rendu du treizième Colloque sur les observations et les instruments météorologiques, 20-24 juin 2005, Savannah (Géorgie), États-Unis d'Amérique.

Milewska, E.J. et Hogg, W.D., 2002: *Continuity of Climatological Observations with Automation - Temperature and Precipitation Amounts from AWOS (Automated Weather Observing System)*. Atmosphere-Ocean, 40(3), 333-359.

National Monitoring Change Management Board (NMCMB) Charter, charte publiée par T. Allsopp, Service météorologique du Canada, 2002, Downsview, Canada.

Organisation météorologique mondiale: *Guide des instruments et des méthodes d'observation météorologiques*, sixième édition (OMM-N° 8), 1996, Genève, Suisse.

Organisation météorologique mondiale: *Guide des pratiques climatologiques*, deuxième édition (OMM-N° 100), 1983, Genève, Suisse.

Organisation météorologique mondiale: *Guide du Système mondial d'observation* (OMM-N° 488), 1989, Genève, Suisse.

Organisation météorologique mondiale: *Manuel du Système mondial d'observation* (OMM-N° 544), Volume 1 (Annexe V du Règlement technique de l'OMM), Aspects mondiaux, 1981, Genève, Suisse.

Peterson, T.C., Easterling, D.R., Karl, T.R., Groisman, P., Auer, I., Boehm, R., Plummer, N., Nicholls, N., Torok, S., Vincent, L., Tuomenvirta, H., Salinger, J., Forland, E.J., Hanssen-Bauer, I., Alexandersson, H., Jones, P. et Parker, D., 1998: *Homogeneity adjustments of in situ climate data: a review*. International Journal of Climatology, 18, 1493-1517.

Torok, S.J. et Nicholls, N., 1996: *A historical annual temperature dataset for Australia*. Australian Meteorological Magazine 45(4), 251-260.

Vincent, L.A., Zhang, X., Bonsal, B.R. et Hogg, W.D., 2002: *Homogenization of daily temperatures over Canada*. Journal of Climate, 15, 1322-1334.

Vincent, L.A., 1998: *A Technique for the identification of inhomogeneities in Canadian temperature series*. Journal of Climate, 11, 1094-1104.

Wang, X. L., 2005: *Has Canada Experienced More Frequent Adverse or Fair Weather since 1953?* Présenté au Journal of Geophysical Research.

Wang, X. L., 2003: *Comments on «Detection of Undocumented Change-points: A Revision of the Two-Phase Regression Model»*. Journal of Climate, 16, 3383-3385.

Liste de contrôle des photos prises lors de la visite annuelle d'entretien
des sites de l'USCRN

☐ Photos prises par: _____ Date: _____

Les photos doivent être prises par bonne visibilité à 100 mètres. Les jours de ciel clair, elles doivent être prises le plus près possible de midi. Les noms de fichier doivent comprendre la direction de boussole, le cas échéant. Le format des fichiers d'archives est jpg. Les photos DOIVENT être prises dans l'ordre indiqué ci-après pour qu'on puisse les marquer et les créer correctement.

- 1) Quatre photos IPIX prises à 10 mètres de la clôture de la tour aux quatre points cardinaux. Sur chaque photo doit apparaître une boussole alignée dans la zone étiquette centrale. Les images à 186 degrés feront partie des archives officielles. **Si la visite annuelle du site fait apparaître des changements importants, les photos doivent être refaites.**

Photo 1: Nord: commencer par le sud, finir par le nord
Photo 2: Est: commencer par l'ouest, finir par l'est
Photo 3: Sud: commencer par le nord, finir par le sud
Photo 4: Ouest: commencer par l'est, finir par l'ouest

- 2) Au moins quatre vues générales du site donnant la perspective globale la plus instructive. Deux des photos doivent être prises avec l'appareil perpendiculaire à une ligne reliant l'écran DFIR et la tour, le ciel représentant au maximum un tiers de la hauteur des photos et la station occupant 75% de l'image. **Photos à refaire à chaque visite annuelle du site et à classer dans les archives.**
- 3) L'appareil se trouvant à 4 mètres à l'ouest de la tour, depuis le plein sud, neuf images fixes prises tous les 22,5 degrés dans le sens des aiguilles d'une montre en direction du plein nord représentant des objets situés à 100 mètres au maximum et indiquant leur hauteur. Photos Stitch donnant une seule image panoramique de 180 degrés. **Photos à refaire à chaque visite annuelle du site et à classer dans les archives.**

Commencer par S, continuer par SSO, SO, OSO, O, ONO, NO, NNO et finir par N

Objet:	Distance:
Objet:	Distance:
Objet:	Distance:
Objet:	Distance:

- 4) L'appareil se trouvant à 4 mètres à l'est de la tour, depuis le plein nord, neuf images fixes prises tous les 22,5 degrés dans le sens des aiguilles d'une montre en direction du plein sud représentant des objets situés à 100 mètres au maximum et indiquant leur hauteur. Photos Stitch donnant une seule image panoramique de 180 degrés. **Photos à refaire à chaque visite annuelle du site et à classer dans les archives.**

Commencer par N, continuer par NNE, NE, ENE, E, ESE, SE, SSE et finir par S

Objet:	Distance:
Objet:	Distance:
Objet:	Distance:
Objet:	Distance:

Emplacement des photos d'origine:

Une fois que les photos ont été mises en forme, sauvegardées et transmises au NCDC, elles sont conservées dans le classeur du bureau de Gabrielle. Le NCDC et le photographe reçoivent le CD comprenant toutes les photos.

Liste des autres objets et indication de leur distance:

Objet:	Distance:
Objet:	Distance:
Objet:	Distance:
Objet:	Distance:

**REPORTS PUBLISHED IN THE
WORLD CLIMATE DATA PROGRAMME (WCDP)/
WORLD CLIMATE DATA AND MONITORING PROGRAMME (WCDMP) SERIES**

- WCDP-1 WMO REGION III/IV TRAINING SEMINAR ON CLIMATE DATA MANAGEMENT AND USER SERVICES, Barbados, 22-26 September 1986 and Panama, 29 September 3 October 1986 (available in English and Spanish) - (WMO-TD No. 227)
- WCDP-2 REPORT OF THE INTERNATIONAL PLANNING MEETING ON CLIMATE SYSTEM MONITORING, Washington DC, USA, 14-18 December 1987 - (WMO-TD No. 246)
- WCDP-3 GUIDELINES ON THE QUALITY CONTROL OF DATA FROM THE WORLD RADIOMETRIC NETWORK, Leningrad 1987 (prepared by the World Radiation Data Centre, Voeikov Main Geophysical Observatory) - (WMO-TD No. 258)
- WCDP-4 INPUT FORMAT GUIDELINES FOR WORLD RADIOMETRIC NETWORK DATA, Leningrad 1987 (prepared by the World Radiation Data Centre, Voeikov Main Geophysical Observatory) - (WMO-TD No. 253. p. 35)
- WCDP-5 INFOCLIMA CATALOGUE OF CLIMATE SYSTEM DATA SETS, 1989 edition (WMO-TD No. 293)
- WCDP-6 CLICOM PROJECT (Climate Data Management System), April 1989 (updated issue of WCP-I 1 9) - (WMO-TD No. 299)
- WCDP-7 STATISTICS ON REGIONAL NETWORKS OF CLIMATOLOGICAL STATIONS (based on the INFOCLIMA World Inventory). VOLUME II: WMO REGION I - AFRICA (WMO-TD No. 305)
- WCDP-8 INFOCLIMA CATALOGUE OF CLIMATE SYSTEM DATA SETS - HYDROLOGICAL DATA EXTRACT, April 1989 - (WMO-TD No. 343)
- WCDP-9 REPORT OF MEETING OF CLICOM EXPERTS, Paris, 11-15 September 1989 (available in English and French) - (WMO-TD No. 342)
- WCDP-10 CALCULATION OF MONTHLY AND ANNUAL 30-YEAR STANDARD NORMALS, March 1989 (prepared by a meeting of experts, Washington DC, USA) - (WMO-TD No. 341)
- WCDP-11 REPORT OF THE EXPERT GROUP ON GLOBAL BASELINE DATASETS, Asheville, USA, 22-26 January 1990 - (WMO-TD No. 359)
- WCDP-12 REPORT OF THE MEETING ON HISTORICAL ARCHIVAL SURVEY FOR CLIMATE HISTORY, Paris, 21-22 February 1990 - (WMO-TD No. 372)
- WCDP-13 REPORT OF THE MEETING OF EXPERTS ON CLIMATE CHANGE DETECTION PROJECT, Niagara-on-the-Lake, Canada, 26-30 November 1990 - (WMO-TD No. 418)

Note: *Following the change of the name of the World Climate Data Programme (WCDP) to World Climate Data and Monitoring Programme (WCDMP) by the Eleventh WMO Congress (May 1991), the subsequent reports in this series will be published as WCDMP reports, the numbering being continued from No. 13 (the last 'WCDP' report).*

- WCDMP-14 REPORT OF THE CCI WORKING GROUP ON CLIMATE CHANGE DETECTION, Geneva, 21-25 October 1991

- WCDMP-15 REPORT OF THE CCI EXPERTS MEETING ON CLIMATE CODE ADAPTATION, Geneva, 5-6 November 1991 - (WMO-TD No. 468)
- WCDMP-16 REPORT OF THE CCI EXPERTS MEETING ON TRACKING AND TRANSMISSION OF CLIMATE SYSTEM MONITORING INFORMATION, Geneva, 7-8 November 1991 - (WMO-TD No. 465)
- WCDMP-17 REPORT OF THE FIRST SESSION OF THE ADVISORY COMMITTEE ON CLIMATE APPLICATIONS AND DATA (ACCAD), Geneva, 19-20 November 1991 (also appears as WCASP-18) - (WMO-TD No. 475)
- WCDMP-18 CCI WORKING GROUP ON CLIMATE DATA, Geneva, 11-15 November 1991 (WMO-TD No. 488)
- WCDMP-19 REPORT OF THE SECOND CLICOM EXPERTS MEETING, Washington DC, 18-22 May 1992 - (WMO-TD No. 511)
- WCDMP-20 REPORT ON THE INFORMAL PLANNING MEETING ON STATISTICAL PROCEDURES FOR CLIMATE CHANGE DETECTION, Toronto, 25 June, 1992 (WMO-TD No. 498)
- WCDMP-21 FINAL REPORT OF THE CCI WORKING GROUP ON CLIMATE DATA AND ITS RAPORTEURS, November 1992 - (WMO-TD No. 523)
- WCDMP-22 REPORT OF THE SECOND SESSION OF THE ADVISORY COMMITTEE ON CLIMATE APPLICATIONS AND DATA (ACCAD), Geneva, 16-17 November 1992 (also appears as WCASP-22) - (WMO-TD No. 529)
- WCDMP-23 REPORT OF THE EXPERTS MEETING ON REFERENCE CLIMATOLOGICAL STATIONS (RCS) AND NATIONAL CLIMATE DATA CATALOGUES (NCC), Offenbach am Main, Germany, 25-27 August 1992 - (WMO-TD No. 535)
- WCDMP-24 REPORT OF THE TENTH SESSION OF THE ADVISORY WORKING GROUP OF THE COMMISSION FOR CLIMATOLOGY, Geneva, 20-22 September 1995 (also appears as WCASP-34) - (WMO-TD No. 711)
- WCDMP-25 REPORT OF THE FIFTH SESSION OF THE ADVISORY COMMITTEE ON CLIMATE APPLICATIONS AND DATA (ACCAD), Geneva, 26 September 1995 (also appears as WCASP-35) - (WMO-TD No. 712)
- WCDMP-26 REPORT ON THE STATUS OF THE ARCHIVAL CLIMATE HISTORY SURVEY (ARCHISS) PROJECT, October 1996 (prepared by Mr M. Baker) - (WMO-TD No. 776)
- WCDMP-27 SUMMARY REPORT OF THE MEETING OF THE THIRD SESSION OF THE CCI WORKING GROUP ON CLIMATE CHANGE DETECTION, Geneva, 26 February - 1 March 1996 - (WMO-TD No. 818)
- WCDMP-28 SUMMARY NOTES AND RECOMMENDATIONS FOR CCI-XII FROM MEETINGS CONVENED TO PREPARE FOR PUBLISHING THE FIFTH AND SIXTH GLOBAL CLIMATE SYSTEM REVIEWS AND FOR A PUBLICATION ON THE CLIMATE OF THE 20TH CENTURY, July 1997 - (WMO-TD No. 830)
- WCDMP-29 CLIMATE CHANGE DETECTION REPORT - REPORTS FOR CCI-XII FROM RAPORTEURS THAT RELATE TO CLIMATE CHANGE DETECTION, July 1997 (WMO-TD No. 831)
- WCDMP-30 SUMMARY NOTES AND RECOMMENDATIONS ASSEMBLED FOR CCI-XII FROM RECENT ACTIVITIES CONCERNING CLIMATE DATA MANAGEMENT, July 1997 (WMO-TD No. 832)
- WCDMP-31 REPORTS FOR CCI-XII FROM RAPORTEURS THAT RELATE TO CLIMATE DATA MANAGEMENT, July 1997 - (WMO-TD No. 833)

- WCDMP-32 PROGRESS REPORTS TO CCI ON STATISTICAL METHODS, July 1997 (prepared by Mr Christian-Dietrich Schönwiese) (WMO-TD No 834)
- WCDMP-33 MEETING OF THE CCI WORKING GROUP ON CLIMATE DATA, Geneva, 30 January - 3 February 1995 - (WMO-TD No. 841)
- WCDMP-34 EXPERT MEETING TO REVIEW AND ASSESS THE ORACLE-BASED PROTOTYPE FOR FUTURE CLIMATE DATABASE MANAGEMENT SYSTEM (CDBMS), Toulouse, France, 12-16 May 1997 - (WMO-TD No. 902)
- WCDMP-35 REPORT OF THE ELEVENTH SESSION OF THE ADVISORY WORKING GROUP OF THE COMMISSION FOR CLIMATOLOGY, Mauritius, 9-14 February 1998 (also appears as WCASP-47) - (WMO-TD No. 895)
- WCDMP-36 REPORT OF THE MEETING OF THE CCI TASK TEAM ON CLIMATE ASPECTS OF RESOLUTION 40, Geneva, Switzerland, 10-11 June 1998 - (WMO-TD No. 925)
- WCDMP-37 REPORT OF THE MEETING OF THE JOINT CCI/CLIVAR TASK GROUP ON CLIMATE INDICES, Bracknell, UK, 2-4 September 1998 - (WMO-TD No. 930)
- WCDMP-38 REPORT OF THE MEETING OF THE WMO COMMISSION FOR CLIMATOLOGY (CCI) TASK GROUP ON A FUTURE WMO CLIMATE DATABASE MANAGEMENT SYSTEM (CDMS), Ostrava, Czech Republic, 10-13 November 1998 and FOLLOW-UP WORKSHOP TO THE WMO CCI TASK GROUP MEETING ON A FUTURE WMO CDMS, Toulouse, France, 30 March-1 April 1999 - (WMO-TD No. 932)
- WCDMP-39 REPORT OF THE MEETING OF THE CCI WORKING GROUP ON CLIMATE DATA, Geneva, Switzerland, 30 November-4 December 1998 - (WMO-TD No. 970)
- WCDMP-40 REPORT OF THE MEETING ON CLIMATE STATISTICS, PRODUCT DEVELOPMENT AND DATA EXCHANGE FOCUSING ON CLICOM 3.1, Geneva, 25-29 January 1999 - (WMO-TD No. 971)
- WCDMP-41 PROCEEDINGS OF THE SECOND SEMINAR FOR HOMOGENIZATION OF SURFACE CLIMATOLOGICAL DATA, Budapest, Hungary, 9-13 November 1998 (WMO-TD No. 962)
- WCDMP-42 REPORT OF THE MEETING OF EXPERTS ON THE CLIMATE OF THE 20TH CENTURY, Geneva, 26-30 April 1999 - (WMO-TD No. 972)
- WCDMP-43 REPORT OF THE TRAINING SEMINAR ON CLIMATE DATA MANAGEMENT FOCUSING ON CLICOM/CLIPS DEVELOPMENT AND EVALUATION, Niamey, Niger, 03 May-10 July 1999, (WMO-TD No. 973)
- WCDMP-44 REPRESENTATIVENESS, DATA GAPS AND UNCERTAINTIES IN CLIMATE OBSERVATIONS, Invited Scientific Lecture given by Chris Folland to the WMO Thirteenth Congress, Geneva, 21 May 1999 - (WMO-TD No. 977)
- WCDMP-45 WORLD CLIMATE PROGRAMME - WATER, DETECTING TREND AND OTHER CHANGES IN HYDROLOGICAL DATA, Zbigniew W. Kundzewicz and Alice Robson (Editors) - (WMO-TD No. 1013)
- WCDMP-46 MEETING OF THE WMO CCI TASK GROUP ON FUTURE WMO CLIMATE DATABASE MANAGEMENT SYSTEMS (CDMSs), Geneva, 3-5 May 2000 (WMO-TD No. 1025)
- WCDMP-47 REPORT ON THE ACTIVITIES OF THE WORKING GROUP ON CLIMATE CHANGE DETECTION AND RELATED RAPPORTEURS, 1998-2001 (May 2001, updated from March 2001) (WMO-TD No. 1071)
- WCDMP-48 REPORT OF THE FIRST SESSION OF THE MANAGEMENT GROUP OF THE COMMISSION FOR CLIMATOLOGY (Berlin, Germany, 5-8 March 2002) (also appears as WCASP-55) (WMO-TD No. 1110)

WCDMP-49	1. REPORT ON THE CLICOM-DARE WORKSHOP (San José, Costa Rica, 17-28 July 2000); 2. REPORT OF THE INTERNATIONAL DATA RESCUE MEETING (Geneva, 11-13 September 2001) (WMO-TD No. 1128)
WCDMP-50	REPORT OF THE CLIMATE DATABASE MANAGEMENT SYSTEMS EVALUATION WORKSHOP (Geneva, 11-13 September 2001) (WMO-TD No. 1130)
WCDMP-51	SUMMARY REPORT OF THE EXPERT MEETING FOR THE PREPARATION OF THE SEVENTH GLOBAL CLIMATE SYSTEM REVIEW (7GCSR) (Geneva, 16-19 September 2002) (WMO-TD No. 1131)
WCDMP-52	GUIDELINES ON CLIMATE OBSERVATION NETWORKS AND SYSTEMS (WMO-TD No. 1185)
WCDMP-53	GUIDELINES ON CLIMATE METADATA AND HOMOGENIZATION (WMO-TD No. 1186)
WCDMP-54	REPORT OF THE CCI/CLIVAR EXPERT TEAM ON CLIMATE CHANGE DETECTION, MONITORING AND INDICES (ETCCDMI) (Norwich, UK, 24-26 November 2003) (WMO-TD No. 1205)
WCDMP-55	GUIDELINES ON CLIMATE DATA RESCUE (WMO-TD No. 1210)
WCDMP-56	FOURTH SEMINAR FOR HOMOGENIZATION AND QUALITY CONTROL IN CLIMATOLOGICAL DATABASES (Budapest, Hungary, 6-10 October 2003) (WMO-TD No. 1236)
WCDMP-57	REPORT OF THE RA V DATA MANAGEMENT WORKSHOP (Melbourne, Australia, 28 November-3 December 2004) (WMO-TD No. 1263)
WCDMP-58	GUIDELINES ON CLIMATE WATCHES (WMO-TD No. 1269)
WCDMP-59	REPORT OF THE MEETING OF THE RA I WORKING GROUP ON CLIMATE MATTERS (Dakar, Senegal, 22 – 24 February 2006) (WMO-TD No. 1351)
WCDMP-60	GUIDELINES ON CLIMATE DATA MANAGEMENT (WMO-TD No. 1376)
WCDMP-61	THE ROLE OF CLIMATOLOGICAL NORMALS IN A CHANGING CLIMATE (WMO-TD No. 1377)
WCDMP-62	GUIDELINES FOR MANAGING CHANGES IN CLIMATE OBSERVATION PROGRAMMES (WMO-TD No. 1378)