

Directives de l'OMM pour le calcul des normales climatiques

Édition 2017

TEMPS CLIMAT EAU



ORGANISATION
MÉTÉOROLOGIQUE
MONDIALE

OMM-N° 1203

Directives de l'OMM pour le calcul des normales climatiques

Édition 2017



ORGANISATION
MÉTÉOROLOGIQUE
MONDIALE

OMM-N° 1203

NOTE DE L'ÉDITEUR

La base de données terminologique de l'OMM, METEOTERM, peut être consultée à l'adresse <http://public.wmo.int/fr/ressources/meteoterm>.

Il convient d'informer le lecteur que lorsqu'il copie un hyperlien en le sélectionnant dans le texte, des espaces peuvent apparaître après <http://>, <https://>, <ftp://>, <mailto:>, et après les barres obliques (/), les tirets (-), les points (.) et les séquences de caractères (lettres et chiffres). Il faut supprimer ces espaces de l'URL ainsi recopiée. L'URL correcte apparaît lorsque l'on place le curseur sur le lien. On peut aussi cliquer sur le lien et copier l'adresse qui s'affiche dans le ruban du navigateur.

OMM-N° 1203

© **Organisation météorologique mondiale, 2017**

L'OMM se réserve le droit de publication en version imprimée ou électronique ou sous toute autre forme et dans n'importe quelle langue. De courts extraits des publications de l'OMM peuvent être reproduits sans autorisation, pour autant que la source complète soit clairement indiquée. La correspondance relative au contenu rédactionnel et les demandes de publication, reproduction ou traduction partielle ou totale de la présente publication doivent être adressées au:

Président du Comité des publications
Organisation météorologique mondiale (OMM)
7 bis, avenue de la Paix
Case postale 2300
CH-1211 Genève 2, Suisse

Tél.: +41 (0) 22 730 84 03
Fax: +41 (0) 22 730 81 17
Courriel: publications@wmo.int

ISBN 978-92-63-21203-0

NOTE

Les appellations employées dans les publications de l'OMM et la présentation des données qui y figurent n'impliquent, de la part de l'Organisation météorologique mondiale, 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.

La mention de certaines sociétés ou de certains produits ne signifie pas que l'OMM les cautionne ou les recommande de préférence à d'autres sociétés ou produits de nature similaire dont il n'est pas fait mention ou qui ne font l'objet d'aucune publicité.

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
REMERCIEMENTS	vii
1. OBJET	1
2. CONTEXTE.....	1
3. DÉFINITIONS.....	2
4. CALCUL DES NORMALES CLIMATIQUES	2
4.1 Introduction	2
4.2 Paramètres et éléments.....	3
4.3 Calcul des valeurs normales	6
4.3.1 Calcul des valeurs mensuelles individuelles.....	6
4.3.2 Calcul d'une normale mensuelle à partir de valeurs mensuelles individuelles.....	6
4.3.3 Calcul de normales annuelles et saisonnières et autres normales plurimensuelles	7
4.4 Exhaustivité des données	7
4.4.1 Calcul d'une valeur mensuelle unique	7
4.4.2 Nombre d'années requis pour le calcul d'une normale	9
4.5 Calcul des limites des quintiles.....	10
4.6 Estimation des données pour le calcul des normales	11
4.7 Précision et arrondissement des données.....	12
4.8 Homogénéité, utilisation de stations composites et introduction de stations météorologiques automatiques	13
4.8.1 Homogénéité.....	13
4.8.2 Utilisation de stations composites	14
4.8.3 Introduction de stations météorologiques automatiques	15
4.9 Métadonnées devant accompagner les normales climatiques	16
5. APPLICATIONS	16
5.1 Pourquoi calculer à la fois les normales climatologiques standard et les normales de référence ?	16
5.2 Utilisation de moyennes se rapportant à des périodes non normalisées	17
5.2.1 Utilisation de périodes de 30 ans non normalisées pour des produits historiques	17
5.2.2 Utilisation d'une période de plus de 30 ans pour le calcul de statistiques d'ordre supérieur	18
5.2.3 Utilisation de périodes plus courtes pour le calcul des moyennes	18
6. COMMUNICATION	19
7. MODALITÉS DE PUBLICATION DES NORMALES CLIMATOLOGIQUES STANDARD ET DES NORMALES DE RÉFÉRENCE.....	19
8. BIBLIOGRAPHIE	20

REMERCIEMENTS

L'OMM remercie Blair Trewin, du Bureau météorologique australien, pour sa contribution exceptionnelle à la présente publication.

Le présent document remplace le document technique de l'OMM WMO/TD-N° 341 (WCDP-10), *Calculation of Monthly and Annual 30-year Standard Normals* (OMM, 1989) et traite des modes de calcul des normales climatiques en vigueur en 2017.

N.B.: On préférera parler ici de «normales climatiques» plutôt que de «normales climatologiques», tout en continuant à utiliser cette dernière notion dans l'expression «normales climatologiques standard» (conformément à la définition du *Vocabulaire météorologique international* (OMM, 1992)) ainsi que dans certaines références historiques (publications, par exemple).

1. **OBJET**

Le présent document traite avant tout des observations réalisées dans les stations météorologiques en surface. Toutefois, bon nombre des principes exposés ici s'appliquent également à d'autres formes de relevés, comme les observations aérologiques et les jeux de données obtenus à partir de plateformes mobiles ou de télédétection (satellites, radars ou bouées dérivantes par exemple). Comme les jeux de données obtenus par télédétection remontent le plus souvent jusqu'aux années 70, il est recommandé de leur appliquer, dans la mesure du possible, la période climatologique standard actuelle (1981-2010 à la date de la rédaction du présent document), afin de permettre une comparaison cohérente entre différents types de données. Nombre des principes présentés ici s'appliqueront aussi aux jeux de données qui concernent des sites ou des secteurs autres que ceux couverts par les stations météorologiques d'observation en surface, comme les moyennes zonales ou les données aux points de grille.

Il est recommandé d'appliquer les procédures exposées ci-dessous à tous les calculs de normales climatiques, notamment les normales climatologiques standard échangées par les Membres. Il est entendu cependant que dans certains cas, les systèmes déjà en place utilisent des méthodes et des définitions différentes de celles qui sont présentées ici (définitions plus strictes des données manquantes par exemple) et qu'il peut s'avérer difficile et coûteux de modifier les systèmes en question. Dans ces cas de figure, il convient de rendre compte dans le détail de toute dérogation aux recommandations formulées ici.

2. **CONTEXTE**

Les normales climatiques ont deux vocations principales. Elles constituent un point de comparaison avec des observations récentes ou actuelles, tout en servant de base à de nombreux jeux de données illustrant les anomalies climatiques (moyennes mondiales de la température par exemple). Enfin, on s'y réfère largement, implicitement ou explicitement, pour déterminer les conditions auxquelles on peut le plus vraisemblablement s'attendre en un lieu donné.

La pratique consistant à établir des normales climatiques remonte à la première moitié du XX^e siècle (voir le *Guide des pratiques climatologiques* (OMM, 2011), le *Règlement technique* (OMM, 2016b) et le *Manuel sur le chiffrage des messages CLIMAT et CLIMAT TEMP* (OMM, 2009). Il est recommandé de faire porter la période de référence sur 30 ans, cette durée ayant été prise pour norme essentiellement parce qu'on ne disposait que de 30 années d'observations quand cette recommandation générale a été formulée. À l'origine, les normales devaient permettre de comparer des observations en provenance du monde entier. Ce n'est que progressivement, au cours du XX^e siècle, qu'elles furent utilisées comme prédicteurs (OMM, 2011, section 4.8).

À la lumière des questions mises en évidence dans la publication intitulée *The Role of Climatological Normals in a Changing Climate* (OMM, 2007), notamment, le *Dix-septième Congrès météorologique mondial* (OMM, 2015) a entériné un certain nombre de modifications apportées aux définitions relatives aux normales climatiques, et ces changements ont été répercutés dans le *Règlement technique*. Le plus important a trait à la définition de la normale climatologique standard, qui renvoie désormais à la période de 30 ans la plus récente dont la dernière année se termine par le chiffre 0 (1981-2010 à la date de la rédaction du présent document), et non plus à

des périodes de 30 ans qui ne se recoupent pas (1901–1930, 1931–1960, 1961–1990, et à l'avenir 1991–2020) comme c'était le cas précédemment. On a toutefois conservé la période 1961-1990 comme référence standard pour évaluer le changement climatique sur le long terme.

Nombre des recommandations formulées ici s'inspirent d'études relatives à divers aspects des normales climatiques, notamment la mesure dans laquelle ces dernières sont conditionnées par la durée et la situation chronologique de la période à laquelle se rapporte la moyenne, et le caractère incomplet des données (que les points de données soient consécutifs ou non). Pour des informations plus détaillées sur ces questions, le lecteur pourra consulter la publication intitulée *The Role of Climatological Normals in a Changing Climate* (OMM, 2007).

3. DÉFINITIONS

Le *Règlement technique* (OMM, 2016b) contient les définitions suivantes:

- **Moyennes d'une période.** Moyennes des données climatologiques calculées pour toute période d'au moins dix ans commençant le 1^{er} janvier d'une année se terminant par le chiffre 1.
- **Normales.** Moyennes calculées pour une période uniforme et relativement longue comprenant au moins trois périodes consécutives de dix ans.
- **Normales climatologiques standard.** Moyennes des données climatologiques calculées pour les périodes consécutives de 30 ans ci-après: 1^{er} janvier 1981–décembre 2010, 1^{er} janvier 1991–31 décembre 2020, etc.

On adoptera en outre dans le reste du présent document les définitions suivantes, issues de la publication intitulée *The Role of Climatological Normals in a Changing Climate* (OMM, 2007):

- **Moyenne.** Moyenne des valeurs mensuelles de données climatologiques sur une période donnée (ne commençant pas forcément par une année se terminant par le chiffre 1). Selon certaines sources, on peut également parler de «normale provisoire».
- **Élément.** Aspect du climat pouvant faire l'objet d'une description statistique, comme la température, les précipitations ou la tension de vapeur.
- **Paramètre.** Descripteur statistique d'un élément climatique qui correspond généralement à la moyenne arithmétique, mais peut également recouvrir des valeurs telles que l'écart type, les percentiles, le nombre de dépassements d'un seuil ou des valeurs extrêmes.

Alors que les définitions du *Règlement technique* renvoient aux moyennes, le présent document fait aussi référence à d'autres descripteurs statistiques.

Enfin, bien qu'aucune dénomination officielle n'ait été donnée dans la résolution 16 du Dix-septième Congrès météorologique mondial (OMM, 2015) aux moyennes de la période 1961-1990 utilisées comme références pour l'évaluation du changement climatique, on les désignera ici sous le terme de « normales de référence ».

4. CALCUL DES NORMALES CLIMATIQUES

4.1 Introduction

Si les conseils donnés dans le présent document portent essentiellement sur le calcul de normales (notamment les normales climatologiques standard et les normales de référence définies au Chapitre 3 ci-dessus), ils peuvent s'appliquer aussi dans bien des cas au calcul des moyennes et des moyennes d'une période.

On part du principe que les données utilisées dans le calcul des normales ont fait l'objet d'un contrôle de qualité préalable.

Quand les données sont complètes et de bonne qualité, la plupart des décisions relatives au calcul des normales sont relativement simples. Les complications rencontrées résultent très souvent de l'utilisation de données qui ne sont pas complètes à 100 %. Une méthode envisageable consiste à ne prendre en compte, pour le calcul des normales, que des stations disposant de données quotidiennes complètes à 100 % tout au long de la période considérée pour le calcul de la moyenne. Toutefois, dans la plupart des pays on ne trouve que peu, voire aucune, station remplissant ces conditions. Il est donc nécessaire de rechercher un compromis en essayant d'une part de maximiser le degré d'exhaustivité des données utilisées pour le calcul des normales et, d'autre part, de disposer d'un nombre conséquent de stations à partir desquelles on va calculer des normales dont la valeur «véritable» (à savoir la normale que l'on calculerait si l'on disposait de 100 % des données) pourra être estimée avec un degré d'incertitude acceptable.

On examinera rapidement dans le présent chapitre les questions du contrôle de la qualité et de l'homogénéisation des données climatiques car une analyse détaillée de ces thématiques sort du cadre des présentes directives. Au moment de la rédaction du présent document, l'OMM travaillait à l'élaboration de directives sur ces deux questions, auxquelles on se reportera pour de plus amples informations.

4.2 Paramètres et éléments

Les normales climatiques peuvent être calculées pour de très nombreux éléments. Si certains d'entre eux, comme la température et les précipitations, sont pertinents dans le monde entier, d'autres, tels que les chutes de neige ou le dépassement de certains seuils (températures maximales inférieures à 0 °C sous les tropiques par exemple), ne présentent que peu, voire aucun intérêt pour d'autres régions du monde. Il se peut aussi que certains pays souhaitent procéder au calcul de normales pour des éléments présentant un intérêt particulier pour eux.

On adoptera ici les catégories suivantes:

- **Principaux paramètres climatologiques de surface.** Ces paramètres sont définis dans la publication intitulée *Calculation of Monthly and Annual 30-year Standard Normals* (OMM, 1989) (même si c'est le terme «éléments» qui y est employé). Les normales pour ces paramètres doivent être publiées pour toutes les stations disposant de suffisamment de données pour ce faire (voir les directives relatives à l'exhaustivité des données dans la section 4.4 ci-dessous).
- Paramètres climatologiques de surface secondaires. Il s'agit de paramètres qui ne font pas partie de ceux définis à l'alinéa précédent mais qui sont transmis, ou présentent un intérêt pour un paramètre transmis, dans les messages CLIMAT standard (qui constituent le principal mode d'échange des données climatologiques mensuelles). Les Membres sont invités à calculer et à publier les normales pour ces paramètres si les données nécessaires sont disponibles.
- **Autres paramètres climatologiques de surface.** Il s'agit de paramètres qui ne sont pas habituellement échangés par le biais de messages CLIMAT standard, mais qui peuvent présenter un intérêt pour un pays ou une région spécifique.

Les paramètres relevant de ces catégories sont recensés dans le Tableau 1, assortis le cas échéant de considérations spécifiques.

Tableau 1. Paramètres climatologiques de surface

Principaux paramètres climatologiques de surface.		
<i>Paramètre</i>	<i>Unité</i>	<i>Remarques</i>
Précipitations totales	mm	La définition de la journée d'observation doit être conforme aux normes nationales et être spécifiée dans les métadonnées (voir aussi la section 4.9)
Nombre de jours de précipitations ≥ 1 mm	dénombrement	
Moyennes mensuelles des températures maximales, minimales et moyennes quotidiennes	°C	La définition de la journée d'observation et le mode de calcul de la température moyenne quotidienne doivent être conformes aux normes nationales et spécifiés dans les métadonnées (voir aussi la section 4.9). Différentes méthodes sont utilisées pour le calcul de la température moyenne quotidienne.
Valeur moyenne de la pression au niveau de la mer	hPa	Dans la mesure du possible, il convient de calculer les valeurs quotidiennes en faisant la moyenne de huit observations réalisées toutes les trois heures à intervalles réguliers ou de quatre observations réalisées toutes les six heures à intervalles réguliers. Dans les stations où ce n'est pas possible, il faut utiliser des heures d'observation qui soient stables sur la durée et les spécifier dans les métadonnées. Dans les stations d'altitude, on peut utiliser la hauteur géopotentielle moyenne à un niveau de pression donné (850 ou 700 hPa par exemple) au lieu de la pression moyenne au niveau de la mer.
Tension de vapeur moyenne	hPa	Doit être calculée comme étant la moyenne des valeurs quotidiennes. Dans la mesure du possible, il convient de calculer les valeurs quotidiennes en faisant la moyenne de huit observations réalisées toutes les trois heures à intervalles réguliers ou de quatre observations réalisées toutes les six heures à intervalles réguliers. Dans les stations où ce n'est pas possible, il faut utiliser des heures d'observation qui soient stables sur la durée et les spécifier dans les métadonnées. Il est important de calculer les moyennes mensuelles de la tension de vapeur à partir des valeurs quotidiennes de ce paramètre et non pas à partir des valeurs mensuelles de l'humidité relative ou de la température de rosée, car ces méthodes ne donnent pas les mêmes résultats.
Durée d'insolation	heures	
Paramètres climatologiques de surface secondaires		
<i>Paramètre</i>	<i>Unité</i>	<i>Remarques</i>
Valeur moyenne de la pression au niveau de la station	hPa	Même mode de calcul que pour la valeur moyenne de la pression au niveau de la mer (voir ci-dessus).
Limites des quintiles de précipitations*	mm	Voir section 4.5
Nombre moyen de jours affichant une température maximale $\geq 25, 30, 35, 40$ °C	dénombrement	
Nombre moyen de jours affichant une température maximale < 0 °C	dénombrement	
Nombre moyen de jours affichant une température minimale < 0 °C	dénombrement	

Principaux paramètres climatologiques de surface.		
Nombre moyen de jours avec des précipitations quotidiennes $\geq 5, 10, 50, 100, 150$ mm	dénombrement	
Nombre moyen de jours où l'épaisseur de neige est $> 0, 1, 10, 50$ cm	dénombrement	
Nombre moyen de jours où la vitesse du vent est $\geq 10, 20, 30$ m/s	dénombrement	Pour cet élément, la vitesse du vent correspond à la valeur la plus élevée du vent moyen sur 10 minutes qui ait été enregistrée au cours de la journée. Il s'agit d'une définition différente de celle de la plus forte rafale de vent.
Nombre moyen de jours avec une visibilité $< 50, 100, 1\ 000$ m	dénombrement	Renvoie aux jours où une visibilité inférieure au seuil donné est signalée lors d'une des observations réalisées au cours de la journée
Valeur la plus élevée et valeur la plus basse de la température quotidienne moyenne enregistrée	°C	
Valeur la plus élevée de la température maximale quotidienne jamais relevée*	°C	
Valeur la plus basse de la température minimale quotidienne jamais relevée*	°C	
Valeur la plus élevée des précipitations journalières jamais relevée	mm	
Rafale la plus forte jamais observée	m/s	
Principaux paramètres climatologiques de surface.		
<i>Paramètre</i>	<i>Unité</i>	<i>Remarques</i>
Nombre moyen de jours d'orage	dénombrement	
Nombre moyen de jours de grêle	dénombrement	
Autres paramètres climatologiques de surface		
<p>Aucune recommandation particulière n'est formulée au sujet de ces paramètres qui peuvent présenter un intérêt à l'échelon national ou régional et dont voici quelques exemples: Valeurs moyennes ou totales de paramètres relatifs à des éléments non énumérés ci-dessus (nébulosité, évaporation dans les bacs, rayonnement solaire, vitesse du vent, température du sol ou chutes de neige par exemple) et expressions d'un élément sous une autre forme (humidité relative ou point de rosée par exemple); Nombre de jours où les valeurs se situent au-dessus ou en dessous de seuils autres que ceux qui sont recensés plus haut; Valeurs moyennes de paramètres relatifs à des observations réalisées à un moment précis de la journée (température moyenne à 9 h par exemple); Nombre de jours où se manifestent certains phénomènes (autres que le tonnerre et la grêle); Descripteurs statistiques autres que ceux qui sont répertoriés (valeur la plus basse de la température maximale quotidienne par exemple).</p> <p>Il est à noter que les valeurs de l'humidité relative moyenne et du vent moyen sont indiquées pour certaines stations dans la publication intitulée <i>1961-1990 Global Climate Normals (CLINO)</i> (OMM, 1998), mais que rien n'est prévu actuellement pour faire figurer ces paramètres dans les messages CLIMAT.</p>		

* Les valeurs de ces paramètres sont indiquées pour certaines stations dans les normales climatiques mondiales publiées par l'OMM pour la période 1961-1990 (OMM, 1998).

4.3 **Calcul des valeurs normales**

Les normales climatiques sont calculées à partir des valeurs mensuelles obtenues pendant les périodes de référence. En fonction du paramètre, ces valeurs mensuelles peuvent correspondre à:

- La moyenne des valeurs quotidiennes enregistrées au cours du mois (on parlera ici de valeurs moyennes);
- La valeur la plus élevée ou la plus basse enregistrée pendant le mois (on parlera ici de valeurs extrêmes);
- La somme des valeurs quotidiennes enregistrées pendant le mois (on parlera ici de valeurs cumulées);
- Le nombre de jours se situant au-dessus ou en dessous d'un seuil donné, ou au cours desquels se produit un phénomène (on parlera ici de valeurs de dénombrement).

4.3.1 **Calcul des valeurs mensuelles individuelles**

Les valeurs mensuelles individuelles sont calculées comme suit.

a) Valeur moyenne

La moyenne des valeurs quotidiennes enregistrées pendant le mois.

b) Valeur extrême

La valeur la plus élevée ou la plus basse (suivant les cas) enregistrée au cours du mois.

c) Valeur cumulée

La somme des valeurs quotidiennes enregistrées pendant le mois.

d) Valeur de dénombrement

Pour le calcul de ce type de valeur, le nombre de jours au cours desquels se produit un phénomène (ou au cours desquels un seuil est dépassé) doit être converti en ratio ou en pourcentage du nombre de jours d'observation. Ainsi, si le phénomène s'est produit au cours de 22 jours d'un mois comptant 25 jours d'observations, on obtiendra un ratio de 0,88 ou un pourcentage de 88 %.

N.B.: L'objectif de cette procédure est de permettre la prise en compte de mois affichant un nombre limité de données manquantes dans le calcul des valeurs de dénombrement.

Dans tous les cas, on ne procédera au calcul d'une valeur mensuelle que si les critères d'exhaustivité des données exposés dans la section 4.4.1 sont remplis pour la variable concernée.

4.3.2 **Calcul d'une normale mensuelle à partir de valeurs mensuelles individuelles**

La normale mensuelle pour un mois donné doit être calculée de la manière suivante.

a) Valeur moyenne et valeur cumulée

La moyenne de toutes les valeurs non manquantes pendant la période de référence pour le mois en question.

b) Valeur extrême

La valeur la plus élevée (ou la plus basse) pendant la période de référence pour le mois en question.

c) Valeur de dénombrement

On procède d'abord au calcul d'un ratio/pourcentage moyen pour le mois à partir des ratios/pourcentages de chaque mois pendant la période de référence (voir ci-dessus). Il convient alors de reconvertir les ratios/pourcentages moyens obtenus en nombre moyen de jours du mois en les multipliant par le nombre de jours que compte le mois. Ainsi, un ratio moyen de 0,88 pour janvier correspond à $(0,88 \times 31) = 27,28$ jours, ou une valeur arrondie de 27,3 jours (on multipliera les valeurs obtenues pour le mois de février par 28,25 jours).

Dans tous les cas, on ne procédera au calcul de la normale que si les critères d'exhaustivité des données exposés dans la section 4.4.2 sont remplis.

4.3.3 **Calcul de normales annuelles et saisonnières et autres normales plurimensuelles**

On calculera de la manière suivante les normales correspondant aux périodes d'une durée supérieure à un mois (normales annuelles ou saisonnières par exemple).

a) Valeur moyenne

La moyenne des normales mensuelles des mois considérés¹.

b) Valeur cumulée et valeur de dénombrement

La somme des normales mensuelles des mois considérés.

c) Valeur extrême

Les valeurs mensuelles les plus élevées/basses des mois considérés.

On notera en particulier que les normales annuelles doivent être calculées à partir des normales mensuelles et non à partir des valeurs annuelles individuelles. Les résultats obtenus avec ces deux méthodes sont identiques (à l'exception de petites différences éventuelles dues aux arrondis) si l'on dispose de toutes les valeurs mensuelles, mais peuvent diverger dans le cas contraire.

Si la normale mensuelle de l'un des mois de la période de référence est manquante, la normale plurimensuelle sera considérée comme manquante également.

4.4 **Exhaustivité des données**

4.4.1 **Calcul d'une valeur mensuelle unique**

a) Valeur moyenne

La publication intitulée *The Role of Climatological Normals in a Changing Climate* (OMM, 2007) comporte une évaluation détaillée de l'incertitude supplémentaire introduite dans l'estimation d'une valeur mensuelle moyenne par l'absence de certaines données². Les auteurs concluent que si les jours manquants sont répartis de manière aléatoire tout au long du mois, la largeur de l'intervalle de confiance de 95 % est équivalente, en moyenne, à 11 % de l'écart type des valeurs quotidiennes correspondantes pour cinq jours manquants, et à 17 % de l'écart type pour 10 jours manquants. Ceci correspond par exemple, pour des valeurs courantes de l'écart type des

¹ Dans certains services météorologiques et hydrologiques nationaux, on procède à la pondération des normales mensuelles en fonction du nombre de jours du mois lors du calcul de la normale plurimensuelle, mais cette méthode n'est pas recommandée pour les produits échangés au niveau international.

² Dans la présente section, toute valeur jugée douteuse ou erronée à l'issue du contrôle de qualité est considérée comme manquante.

températures quotidiennes maximales et minimales, à quelques dixièmes de degré Celsius (un peu plus en altitude à l'intérieur des terres en hiver, et un peu moins dans les zones tropicales et sur de nombreux sites insulaires).

Le degré d'incertitude est supérieur si un nombre conséquent de jours manquants sont des jours consécutifs. En effet, la plupart des valeurs météorologiques journalières présentent un certain niveau d'autocorrélation (ce qui signifie que si la valeur d'un jour donné est supérieure (inférieure) à la normale, il existe une probabilité supérieure à la «climatologie» que la valeur des quelques jours suivants soit également supérieure (inférieure) à la normale.

Conformément au *Guide des pratiques climatologiques* (OMM, 2011)³, il est donc recommandé de s'abstenir de procéder au calcul d'une valeur mensuelle correspondant à la moyenne des valeurs quotidiennes du mois en question dans les cas de figure suivants:

- Les données d'observation sont manquantes pour au moins 11 jours⁴ du mois en question;
- On ne dispose d'aucune donnée d'observation pour une période de cinq jours consécutifs au moins au cours du mois en question.

On remarquera toutefois que les pays ayant décidé par le passé de suivre la règle des 5/3 pour les données manquantes (pas plus de cinq valeurs quotidiennes manquantes et de trois jours successifs manquants par mois conformément aux recommandations de la publication intitulée *Calculation of Monthly and Annual 30-year Standard Normals*, OMM 1989)), ou d'autres critères plus stricts que ceux qui sont énoncés plus haut, pourront décider de continuer à les appliquer afin de garantir la cohérence de leurs relevés climatiques nationaux. (Sur le principe, cette remarque vaut également pour la section 4.4.1 ci-dessous.)

b) Valeur extrême

Dans le cadre du calcul des normales, le calcul d'une valeur extrême au cours d'un mois donné constitue une étape intermédiaire du calcul des valeurs extrêmes pour la totalité de la période prise en compte. À ce stade du processus, les valeurs extrêmes doivent être calculées pour un mois, indépendamment du volume de données disponibles se rapportant au mois en question. (On examinera dans la section 4.4.2 les critères permettant de déterminer s'il existe suffisamment de données pour établir de manière fiable une valeur extrême pour l'ensemble de la période.)

c) Valeur cumulée

Une valeur cumulée (précipitations totales par exemple) ne peut être calculée que si l'on dispose de données complètes pour le mois. Cela signifie, de manière générale, que l'on ne peut pas calculer la valeur d'un tel paramètre s'il manque des observations.

Il y a deux exceptions à cette règle:

- On peut envisager d'utiliser des données estimatives pour combler les lacunes des relevés pour un mois donné. La question de l'estimation des données dans ce contexte est présentée en détail dans la section 4.6 ci-dessous.
- Pour certains éléments, une période pendant laquelle on ne dispose d'aucune donnée peut être suivie d'une observation correspondant à la valeur cumulée pour ladite période (par exemple un pluviomètre qui n'est pas relevé pendant le weekend donne le lundi le total des précipitations pour les trois jours précédents). Si l'on sait que cette valeur correspond à la totalité de la période sans observations, il est alors possible de calculer un cumul mensuel.

³ On notera que la publication intitulée *Calculation of Monthly and Annual 30-year Standard Normals* (OMM, 1989) propose des critères plus stricts (plus de 5 jours au total ou plus de 3 jours consécutifs de données manquantes) qui sont appliqués dans certains pays.

⁴ Dans la définition du *Guide des pratiques climatologiques* (OMM, 2011) il est question de «plus de dix valeurs» manquantes, ce qui revient au même.

Dans chaque cas, le total mensuel ne doit être calculé que si le nombre de jours du mois pour lesquels on dispose de données estimatives ou cumulées satisfait aux mêmes critères que les données manquantes pour le calcul d'une valeur moyenne (à savoir que le nombre total de jours du mois pour lesquels on ne dispose que de données estimatives ou cumulées doit être inférieur à 11, ou à cinq s'il s'agit de jours consécutifs).

d) Valeur de dénombrement

Dans le cadre du calcul des normales, une valeur de dénombrement est une indication de la probabilité qu'un phénomène se produise un jour donné au cours du mois en question. Elle s'exprime par un nombre de jours escompté et non par un pourcentage ou un ratio. Le calcul d'une normale pour une valeur de dénombrement consiste à convertir en ratio ou en pourcentage le nombre de jours où le phénomène considéré a été observé au cours d'un mois donné (voir la section 4.3 pour plus de détails). La prudence est de mise dans ce contexte étant donné que, pour certains éléments/paramètres, les données manquantes ont parfois tendance à correspondre à des conditions particulières (par exemple il est peut-être plus probable que les relevés manquants censés indiquer par oui/non l'occurrence de chutes de neige correspondent à des jours sans neige).

Un ratio ou un pourcentage ne doit pas être calculé pour les mois où l'on manque de données d'observation pour 11 jours ou plus, ou pour au moins 5 jours consécutifs. Dans ces cas de figure, il faut considérer la valeur mensuelle comme manquante.

Dans certaines circonstances, il se peut que l'on connaisse le nombre de jours au cours desquels s'est produit un phénomène donné, bien que les données quotidiennes correspondantes soient manquantes (par exemple, il se peut que 10 mm de pluie soient signalés sur une période de trois jours, dont un jour sans pluie), mais il convient d'utiliser ce type d'information avec la plus grande prudence.

4.4.2 **Nombre d'années requis pour le calcul d'une normale**

Pour le calcul d'une normale ou d'une moyenne pour un mois donné il faudrait disposer, d'après le *Guide des pratiques climatologiques* (OMM, 2011), des valeurs d'au moins 80 % des années de la période considérée, c'est-à-dire, pour le mois en question, de données portant sur au moins 24 des 30 années à prendre en compte pour une normale climatologique standard ou une normale de référence. Le même ouvrage déconseille en outre le calcul d'une normale quand manquent les valeurs de plus de trois années consécutives. Toutefois, les auteurs de la publication intitulée *The Role of Climatological Normals in a Changing Climate* (OMM, 2007) ont conclu que l'application du critère relatif aux années consécutives ne présentait pas d'avantage significatif (au regard de l'incertitude afférente à la normale calculée en tant qu'estimation de la valeur réelle). En effet, l'autocorrélation des valeurs mensuelles à un an d'écart est généralement faible, et le fait de devoir disposer de données pour au moins 80 % des années limite l'influence des données manquantes au début ou à la fin d'une période de référence pour des éléments affichant une tendance marquée.

Il est donc conseillé de procéder au calcul des normales ou des moyennes quand les conditions suivantes sont réunies:

- Pour des valeurs autres que les valeurs extrêmes: quand on dispose de valeurs mensuelles valables (selon les indications fournies à la section 4.4.1 ci-dessus) pour au moins 80 % des années de la période de référence (sans appliquer le critère des années consécutives);
- Pour les valeurs extrêmes: quand on dispose de valeurs mensuelles valables pour la moyenne de l'élément correspondant (par exemple, si le paramètre étudié est la température maximale la plus élevée, il faut disposer d'une moyenne mensuelle valable de la température maximale pour le mois en question) sur 80 % au moins des années de la période de référence.

4.5 Calcul des limites des quintiles

Le calcul des normales passe notamment par la définition des limites des quintiles des précipitations mensuelles. On ne trouve pas dans la littérature spécialisée de méthode universellement reconnue pour le calcul des limites des quintiles dans un jeu fini de données. Les deux méthodes principales consistent à définir la valeur relevée la plus basse soit comme percentile zéro, soit comme $(1 / (n + 1) \times 100)^{\text{e}}$ percentile, n correspondant au nombre d'observations dans le jeu de données. Dans le contexte des normales climatiques, on utilise la première méthode, puisque l'on estime qu'il est utile d'intégrer dans les limites des quintiles des informations sur les valeurs les plus élevées et les plus basses enregistrées au cours de la période de référence. Il sera ainsi plus facile de signaler à l'avenir les hauteurs mensuelles de précipitations supérieures ou inférieures à toute valeur enregistrée pendant la période de référence.

Le *Guide des pratiques climatologiques* (OMM, 2011) définit un mode de calcul des limites des quintiles qui n'est valable que si l'on dispose de 30 valeurs exactement et qui s'applique donc aux normales climatologiques standard et aux normales de référence quand on dispose de toutes les valeurs mensuelles; ce n'est pas le cas en revanche s'il manque des valeurs mensuelles ou si l'on ne travaille pas sur une période de 30 ans. Ainsi qu'il est démontré dans la publication intitulée *The Role of Climatological Normals in a Changing Climate* (OMM, 2007), cette méthode débouche en outre sur une légère sous-représentation du nombre d'années dans le premier et le cinquième quintile.

Il est recommandé d'appliquer la procédure générale exposée dans *The Role of Climatological Normals in a Changing Climate* (OMM, 2007). Dans le cas précis d'un jeu complet de données sur une période de 30 ans, les résultats seront légèrement différents de ceux obtenus avec la méthode décrite dans le *Guide des pratiques climatologiques* (OMM, 2011), mais de manière générale les différences restent mineures.

Les limites des quintiles recommandées sont reproduites au Tableau 2.

Tableau 2. Limites des quintiles recommandées

<i>Limites des quintiles</i>	<i>Teneur des données</i>
Limite inférieure du 1 ^{er} quintile	Valeur la plus basse observée au cours de la période de référence
Limite supérieure du 1 ^{er} quintile	Valeur observée occupant le $(1 + (n - 1) / 5)^{\text{e}}$ rang au cours de la période de référence (6,8 ^e rang pour un jeu de données recueillies sur 30 ans)
Limite supérieure du 2 ^e quintile	Valeur observée occupant le $(1 + 2(n - 1) / 5)^{\text{e}}$ rang au cours de la période de référence (12,6 ^e rang pour un jeu de données recueillies sur 30 ans)
Limite supérieure du 3 ^e quintile	Valeur observée occupant le $(1 + 3(n - 1) / 5)^{\text{e}}$ rang au cours de la période de référence (18,4 ^e rang pour un jeu de données recueillies sur 30 ans)
Limite supérieure du 4 ^e quintile	Valeur observée occupant le $(1 + 4(n - 1) / 5)^{\text{e}}$ rang au cours de la période de référence (24,2 ^e rang pour un jeu de données recueillies sur 30 ans)
Limite supérieure du 5 ^e quintile	Valeur la plus élevée observée au cours de la période de référence

Dans tous les cas, on calcule une valeur associée à un rang fractionnaire par interpolation linéaire entre les valeurs entières qui l'entourent de chaque côté (par exemple la valeur classée au 6,8^e rang est calculée comme suit: $(0,2 \times \text{valeur occupant le sixième rang} + 0,8 \times \text{valeur occupant le septième rang})$).

Les limites des quintiles d'un mois ne doivent être calculés que si les données mensuelles remplissent les critères d'exhaustivité exposés dans la section 4.4.2.

4.6 Estimation des données pour le calcul des normales

Il est possible d'intégrer des données estimatives dans le calcul des normales climatiques, et d'accroître ainsi le volume des données exploitables dans le cas des valeurs cumulées, pour lesquelles une valeur quotidienne manquante empêche le calcul de la valeur mensuelle.

Aux fins du calcul des normales climatiques, on peut avoir recours aux méthodes d'estimation suivantes (séparément ou en association):

- Interpolation spatiale: utilisation de données obtenues par interpolation pour des sites voisins.
- Interpolation temporelle: utilisation de valeurs relevées avant ou après une période pour laquelle les données sont manquantes. S'agissant des éléments visés par les présentes directives, les valeurs relevées au cours d'autres journées permettent rarement de déduire une valeur quotidienne manquante. Toutefois, l'interpolation temporelle de données infraquotidiennes peut permettre de récupérer une valeur quotidienne manquante (dans le cas par exemple où la température maximale quotidienne n'est pas relevée par une station météorologique automatique en raison d'une panne de 30 minutes éloignée de l'heure à laquelle la température maximale est escomptée).
- Utilisation d'éléments de substitution: on peut par exemple procéder à l'estimation d'une valeur quotidienne d'insolation manquante à partir de la couverture nuageuse.
- Recours à des méthodes d'observation de substitution: on peut par exemple estimer les valeurs des précipitations à partir d'observations radar ou satellitaires lorsque les données d'origine sont manquantes.

Parfois, on peut aussi utiliser les méthodes d'estimation en combinaison avec des données d'observation; ainsi l'interpolation spatiale peut servir, pour chaque journée, à subdiviser un cumul de précipitations sur plusieurs jours en totaux quotidiens.

Les questions liées à l'estimation des données climatologiques sont présentées en détail dans la section 5.9 du *Guide des pratiques climatologiques* (OMM, 2011), et les utilisateurs sont invités à se reporter à cette publication ainsi qu'à sa bibliographie pour un examen exhaustif de cette thématique. Les présentes directives n'ont pas pour vocation de fournir des recommandations détaillées sur les méthodes d'estimation et il appartient aux utilisateurs qui envisagent d'avoir recours à des données estimatives d'effectuer eux-mêmes les recherches leur permettant de trouver la méthode adaptée aux sources de données, aux caractéristiques climatiques et à la géographie de leur région.

Toute estimation entrant dans le calcul de normales climatiques doit être réalisée de manière objective. Par exemple, il ne serait pas judicieux d'utiliser des données radar pour déterminer les jours sans pluie d'une période pour laquelle on ne dispose pas d'observations, sans produire, pour la même période, des valeurs estimatives se rapportant aux jours où il a plu. Il en résulterait en effet, pour l'ensemble des données, une sous-estimation systématique.

Lors du calcul des normales pour une station, les valeurs estimatives ne devraient servir qu'à combler des lacunes relativement mineures dans les jeux de données (au maximum 10 jours sur un mois). Elles ne devraient pas être utilisées pour calculer la normale d'un élément qui n'a jamais été observé dans la station. (Ceci n'a rien à voir avec la pratique tout à fait acceptable consistant à utiliser les normales calculées pour des stations pour estimer les conditions escomptées pour la même période sur d'autres sites.)

4.7 Précision et arrondissement des données

Les normales de la plupart des paramètres sont généralement exprimées au dixième près. Il n'est généralement pas utile de publier les normales des stations avec plus de précision, même si cela peut s'avérer pertinent pour des moyennes zonales intégrant un grand nombre de stations.

Il convient de se demander à quel(s) stade(s) du calcul des normales on doit procéder à l'arrondissement des données. Le calcul d'une normale climatique comporte généralement trois étapes:

- Calcul d'une valeur mensuelle individuelle à partir des données quotidiennes correspondantes (qui, pour certaines variables, devront être calculées à partir de données infraquotidiennes) ;
- Calcul d'une normale pour un mois à partir de chacune des valeurs mensuelles correspondantes de la période de référence;
- Calcul des normales de périodes plurimensuelles (annuelles par exemple) à partir des valeurs mensuelles.

En principe, on devrait obtenir un niveau d'exactitude optimal en conservant le maximum de précision tout au long des calculs et en n'arrondissant le résultat qu'à la toute dernière étape (lors de la transmission de la normale mensuelle ou plurimensuelle). Or, il est très difficile de procéder systématiquement de la sorte car les valeurs mensuelles individuelles ne comportent habituellement qu'une seule décimale, les bases de données nationales et le code CLIMAT pour la transmission internationale des données climatiques mensuelles n'autorisant généralement la saisie que d'un seul chiffre après la virgule tout au plus. Dans bien des cas (notamment celui des jeux de données internationaux reposant principalement sur des messages CLIMAT) il se peut que les données quotidiennes correspondantes ne soient pas disponibles, de sorte qu'il est impossible de procéder à des calculs d'une précision absolue.

Dans un souci de cohérence, il est donc recommandé d'arrondir les valeurs mensuelles individuelles au dixième près, avant de les utiliser pour le calcul de la normale du mois en question, et de calculer les normales sur des périodes de plusieurs mois à partir des normales mensuelles arrondies de la même façon. Si cette méthode semble devoir déboucher sur une perte de précision, les différences sont en réalité minimales. Ainsi, l'écart type de la différence entre une normale sur 30 ans calculée à partir de données mensuelles arrondies au dixième près et une normale sur 30 ans calculée à partir de données d'une précision absolue est de 0,005, ce qui correspond à une probabilité d'environ 5 % que les deux valeurs diffèrent de 0,1 après avoir été arrondies. Pour la plupart des applications, une telle différence est négligeable.

Pour terminer l'examen de la thématique des arrondis, il importe de décider comment arrondir les valeurs qui se situent à égale distance de deux points de données (doit-on arrondir 0,15 à 0,1 ou à 0,2 par exemple?). Il est important ici de ne pas créer de biais systématique, en arrondissant systématiquement toutes les valeurs de ce type au dixième supérieur (ou inférieur). Deux méthodes courantes pour éviter cet écueil consistent à arrondir «à l'impair» (une valeur se terminant par .5 est arrondie au chiffre impair le plus proche) ou «au pair» (une valeur se terminant par .5 est arrondie au chiffre pair le plus proche). La première méthode est largement utilisée dans les messages d'observation synoptiques par un certain nombre de pays, alors que la deuxième est la méthode d'arrondissement par défaut de la norme de l'arithmétique en virgule flottante établie par l'*Institute of Electrical and Electronics Engineers* et est donc incluse dans de nombreux logiciels standard. Pour cette raison, on donnera la préférence à la méthode de l'arrondissement «au pair» lors de la mise au point d'un nouveau système; toutefois si la méthode de l'arrondissement «à l'impair» constitue déjà la pratique nationale établie, on pourra la conserver à condition de la mettre en œuvre de manière systématique. Les méthodes introduisant un biais systématique dans les arrondis, tels que l'arrondissement en s'éloignant de 0 (réglage par défaut dans Microsoft Excel) ou à la valeur supérieure la plus proche ne sont pas adaptées.

4.8 **Homogénéité, utilisation de stations composites et introduction de stations météorologiques automatiques**

4.8.1 **Homogénéité**

N.B.: On se limitera ici à une brève présentation de l'homogénéité des données climatiques. Pour plus de détails, le lecteur se reportera à la publication intitulée *Guidelines on Climate Metadata and Homogenization* (OMM, 2003) ou à la version actualisée desdites directives, en cours d'élaboration au moment de la publication du présent document.

Comme il a été dit précédemment, la raison d'être des normales climatiques est double: elles indiquent les conditions auxquelles on peut le plus vraisemblablement s'attendre sur un lieu donné dans le contexte climatique actuel, tout en servant de point de comparaison pour les conditions climatiques observées dans une période et sur un lieu (ou une région) donnés.

Ces deux finalités supposent que les données recueillies tout au long de la période considérée soient cohérentes et qu'elles soient également représentatives de la période qui est comparée à la période de référence. Ainsi, si l'on compare des données de 2017 à celles qui se rapportent à la période de référence 1981-2010, il faut que le site et les instruments utilisés alors soient représentatifs de ceux qui sont utilisés en 2017.

Pour que ces conditions soient remplies, les données utilisées doivent être homogènes sur toute la période considérée pour le calcul de la moyenne, ainsi que jusqu'à l'époque actuelle si on veut les utiliser comme référence pour une comparaison avec la période présente. De cette façon, toute évolution des valeurs relevées peut être imputée uniquement aux changements climatiques et non pas à une modification des méthodes d'observation ou de l'environnement de mesure. Le manque d'homogénéité d'un jeu de données peut avoir les causes suivantes:

- Changement de sites de mesure;
- Changements touchant les instruments;
- Modifications apportées aux méthodes d'observation (à la définition de la journée climatologique par exemple);
- Évolution de l'environnement de mesure (modification de la végétation ou construction d'un bâtiment à proximité immédiate par exemple).

Les inhomogénéités potentielles n'ont pas toutes une incidence prononcée sur les données, ou alors sur certains éléments et pas sur d'autres. C'est ainsi que le remplacement d'une surface gazonnée par un revêtement en dur à proximité d'un site est susceptible d'influer sur la température, mais probablement pas sur les précipitations. Il convient toutefois d'évaluer ces éventuels impacts au cas par cas. S'agissant de l'homogénéité des données, s'il est souhaitable qu'un site d'observation soit conforme aux critères de la classe 1 de la classification des sites pour les stations terrestres d'observation en surface (OMM, 2014, Partie I, Annexe 1B), le strict respect des normes est moins essentiel que la cohérence sur la durée. Ainsi, un site d'observation de la température situé dans un phare au sommet d'une falaise ne satisfait certes pas aux critères du *Guide des instruments et des méthodes d'observation météorologiques* (OMM, 2014), mais s'il se trouve en haut de la même falaise depuis un siècle (sans qu'aucune modification majeure ne soit intervenue), il est malgré tout probable que les données obtenues soient homogènes.

Même un léger changement de site de mesure peut avoir une incidence marquée sur l'homogénéité des données, notamment dans les zones présentant une topographie complexe, et sur les variables qui, comme la vitesse du vent, sont fortement influencées par l'exposition du site.

L'existence d'un îlot de chaleur urbain ne constitue pas en soi une cause d'inhomogénéité. On a constaté que dans les zones urbaines bien établies, à condition que l'environnement immédiat du site d'observation soit relativement stable, les données peuvent être raisonnablement homogènes. C'est ainsi que les données recueillies entre 1981 et 2010 dans une zone urbaine existant de longue date, où tout phénomène d'îlot de chaleur urbain existant était déjà

constaté avant 1980, peuvent être représentatives de l'environnement actuel du site de mesure. Toutefois, compte tenu de la nature des zones urbaines, il est probable que, même dans une ville implantée de longue date, le paysage urbain situé au voisinage du site d'observation connaisse de profondes modifications au fil des décennies, à moins que le site ne se trouve dans une zone protégée (un parc par exemple).

Vu l'impact que peuvent avoir ces inhomogénéités, il est recommandé d'utiliser uniquement des données homogènes pour le calcul des normales climatiques. On notera en particulier que, dans le cas contraire, la période de référence pourrait ne pas être représentative de l'époque actuelle et que l'on risque donc de comparer les données actuelles à une normale qui n'est pas représentative. Il est entendu toutefois que tous les Membres ne disposent pas actuellement des moyens nécessaires pour procéder à l'homogénéisation de leurs jeux de données nationaux et que certains peuvent donc être contraints de calculer les normales climatiques sans avoir évalué l'homogénéité des données correspondantes.

La question de l'homogénéité des données servant au calcul des normales climatiques peut être abordée de deux façons:

- En utilisant uniquement les stations dont il est avéré qu'elles produisent des données homogènes;
- En ajustant les données anciennes pour supprimer les inhomogénéités.

Sur le principe, ces deux solutions se tiennent. Toutefois, dans bien des pays, seul un petit pourcentage de stations produit des données systématiquement homogènes. Après la période de calcul de la moyenne, notamment dans les pays qui ont connu des changements importants influant sur une bonne partie du réseau d'observation (modification par exemple de la définition de la température moyenne quotidienne ou passage généralisé des instruments classiques aux instruments automatiques), il peut donc s'avérer nécessaire d'ajuster certaines données pour parvenir à une densité de réseau acceptable, et/ou de disposer de normales pour des sites clés.

Il existe une abondante littérature scientifique traitant de l'homogénéité des données climatiques, notamment sur la température (et dans une moindre mesure d'autres éléments), aussi bien en ce qui concerne la détection des inhomogénéités que les méthodes d'ajustement. Ces dernières peuvent faire intervenir des métadonnées, des méthodes statistiques ou une combinaison des deux. De nombreux progiciels ont d'ailleurs été mis au point à cette fin. Pour de plus amples informations, le lecteur se reportera à la publication intitulée *Guidelines on Climate Metadata and Homogenization* (OMM, 2003).

4.8.2 **Utilisation de stations composites**

Il arrive fréquemment qu'aucune station ne dispose à elle seule de toutes les données requises pour le calcul d'une normale climatique sur une période donnée. Il se peut en revanche qu'il y ait dans la région un éventail de stations qui, prises ensemble, disposent de données complètes pour toute la période (par exemple, si une station dans une petite ville a été exploitée entre 1981 et 1995 avant d'être remplacée par une autre implantée dans un aéroport voisin et demeurée opérationnelle depuis lors, les deux stations ont produit la totalité des données requises pour la période 1981-2010).

Il est possible d'utiliser une série composite de données obtenues à partir d'un ensemble de stations de ce type pour le calcul de normales climatiques. La condition fondamentale à remplir ici est que le jeu de données fusionnées soit homogène, soit parce que les sites pris en compte sont suffisamment semblables, soit parce que l'on a procédé aux ajustements nécessaires. Il s'agit d'une démarche où la plus grande prudence est de mise et il importe de rendre compte dans les métadonnées des méthodes d'ajustement employées et des stations prises en compte dans les données composites. Il faut également que les stations soient suffisamment proches les unes des autres et qu'il y ait une corrélation suffisante entre elles pour que le processus d'ajustement puisse présenter un degré de fiabilité élevé. Dans ce contexte, il est souhaitable d'inclure dans la série composite une période de recoupement entre les données des stations.

Il convient de noter que la définition d'une station «composite» est quelque peu arbitraire. Dans certains pays, une station peut conserver son indicatif après un changement de site majeur alors qu'ailleurs il se peut que l'on traite les données comme provenant de deux stations distinctes même après un petit déménagement. (Il peut aussi arriver qu'une station change d'identifiant national, mais continue à porter le même indicatif OMM, ou inversement). Du point de vue de l'homogénéité des données, il n'y a pas de réelle différence entre l'homogénéisation d'un jeu de données fusionnées provenant de plusieurs stations et celle d'un jeu de données non homogènes provenant d'une même station (étant entendu que le changement d'indicatif d'une station est un élément qui doit absolument figurer dans les métadonnées).

4.8.3 **Introduction de stations météorologiques automatiques**

Au cours des 20 à 30 dernières années, les stations automatiques ont pris une place de plus en plus importante dans les réseaux d'observation météorologique. Dans certains pays, la plupart, voire la totalité des observations synoptiques sont désormais automatisées, et il est probable qu'au cours des années à venir un pourcentage de plus en plus important des observations sera réalisé automatiquement.

Rares sont les stations météorologiques automatiques en place depuis 1981 (et aucune ne remonte à 1961). Le recours à ce type de station, dont l'installation s'accompagnera dans la plupart des pays d'un changement d'indicatif, pour le calcul des normales climatologiques standard ou des normales de référence impose donc de les associer à une ou plusieurs autres stations selon les conditions énoncées dans la section 4.8.2 ci-dessus.

La station météorologique automatique est parfois installée au même endroit que la station classique qu'elle remplace. Dans ce cas, selon les instruments utilisés, il se peut qu'il n'y ait pas d'inhomogénéité majeure entre les deux stations pour certains éléments, même s'il convient de toujours procéder aux vérifications nécessaires. Il est fréquent toutefois que la station automatique soit installée à une certaine distance de la station classique, et qu'une station classique située en ville soit remplacée par une station automatique installée à l'extérieur de la ville (souvent sur un aéroport). Ce changement de site peut déboucher sur une inhomogénéité importante qu'il faudra prendre en compte avant de pouvoir utiliser les données des deux stations pour le calcul des normales climatologiques.

Trois autres problèmes peuvent surgir lors de l'installation de stations météorologiques automatiques:

- Alors que les stations classiques n'effectuent qu'un nombre limité d'observations par jour, la plupart des stations météorologiques automatiques réalisent des relevés en continu, ce qui signifie que l'on dispose en théorie d'un nombre beaucoup plus élevé d'observations automatiques pour le calcul de paramètres tels que la moyenne quotidienne de la pression ou de la tension de vapeur. Il est préférable que les méthodes utilisées pour ces calculs restent stables sur la durée pour une station (ou une station composite) et si possible dans l'ensemble du réseau. Par exemple, si l'ancienne station classique ne procédait à des relevés qu'à 0900 et 1500, on continuera à calculer les moyennes sur la base des relevés effectués uniquement à ces heures, même si la station automatique en fournit beaucoup d'autres. L'introduction de stations automatiques peut également entraîner une modification de la définition de la journée climatologique, étant donné qu'il est beaucoup plus pratique d'effectuer des observations pour une journée climatologique se terminant à minuit à une station automatique, qu'à une station nécessitant l'intervention d'observateurs humains. Si de tels changements sont à déconseiller, le fait est qu'ils ont déjà eu lieu dans certains pays et qu'il n'est pas réaliste d'envisager de revenir en arrière. Dans ces cas de figure, on considérera la modification du nombre d'observations quotidiennes entrant dans le calcul des moyennes ou le changement de la définition de la journée climatologique comme des causes potentielles d'inhomogénéité des données (voir section 4.8.2).
- Tout comme pour les stations classiques, il peut y avoir des données manquantes dans les stations automatiques (dans ce dernier cas, c'est le plus souvent à cause d'une panne d'instrument ou de transmission). Les données manquantes provenant des deux types

de systèmes peuvent faire l'objet du même traitement pour bien des éléments. S'agissant des précipitations toutefois, si une période d'observations manquantes dans une station classique est souvent suivie par un relevé portant sur le cumul de pluie pour ladite période, quand une donnée est manquante à une station automatisée, elle est souvent perdue irrémédiablement, ce qui empêche le calcul d'un total mensuel. L'utilisation de données estimatives pour combler les lacunes n'en revêt que plus d'importance (voir la section 4.6).

- Pour certains éléments, la différence entre les systèmes d'observation classiques et automatiques est telle qu'il peut s'avérer difficile de comparer les données obtenues, même après ajustement. L'exemple le plus courant est celui de la vitesse du vent que les stations classiques évaluent sur la base de l'échelle de Beaufort (ou équivalent), ce qui produit un jeu de données très difficile à fusionner avec les jeux de données instrumentales des stations automatiques.

4.9 **Métadonnées devant accompagner les normales climatiques**

Il y a lieu de tenir à jour des métadonnées précises sur toutes les stations pour lesquelles on procède au calcul de normales climatiques. Pour plus d'informations sur les métadonnées requises, on se reportera à la publication intitulée *Guidelines on Climate Metadata and Homogenization* (OMM, 2003) et au *Manuel du Système mondial intégré des systèmes d'observation de l'OMM* (OMM, 2017, Appendice 2.4).

S'il n'est pas réaliste de joindre toutes les métadonnées disponibles pour les stations concernées lors de la publication de normales climatiques, il convient en revanche d'inclure les informations suivantes:

- Indicateurs actuels de chaque station (indicateur OMM, identifiant national et nom de la station);
- Latitude, longitude et altitude de chaque station à la fin de la période de référence;
- Informations sur tout changement notable s'étant produit dans les stations pendant ou après la période de référence et, s'il y a lieu, méthodes employées pour l'ajustement des données (voir la section 4.8);
- Définition de la journée climatologique;
- Méthode de calcul des moyennes quotidiennes de la température, de la pression et de la tension de vapeur.

Avec l'utilisation croissante de la plateforme de métadonnées du Système mondial intégré des systèmes d'observation de l'OMM, il sera moins nécessaire à l'avenir de fournir les métadonnées séparément lors de la communication des normales climatiques.

5. **APPLICATIONS**

5.1 **Pourquoi calculer à la fois les normales climatologiques standard et les normales de référence ?**

Comme il est dit plus haut, la finalité des normales climatiques est double: elles servent à déterminer implicitement les conditions auxquelles on peut le plus vraisemblablement s'attendre prochainement en un lieu donné, tout en servant de point de comparaison stable pour les changements climatiques observés sur le long terme.

Dans un climat stable, on peut servir ces deux finalités en utilisant une période de référence commune. Toutefois, comme l'indique la publication intitulée *The Role of Climatological Normals in a Changing Climate* (OMM, 2007), s'agissant des éléments pour lesquels on constate désormais

une tendance claire et systématique (la température notamment), la capacité prédictive des normales climatiques est optimale si on les actualise le plus fréquemment possible. Il est bien plus probable que ce soit la période de référence de 1981-2010, et non pas 1961-1990, qui soit représentative des conditions régnant en 2017. En revanche, l'utilisation d'une période de référence stable pour les jeux de données portant sur le long terme présente des avantages manifestes, tant du point de vue pratique (en évitant de devoir recalculer tous les dix ans des jeux de données faisant ressortir les anomalies) et en termes de communication: une valeur annuelle «supérieure à la moyenne» ne devient pas soudain «inférieure à la normale» à cause d'un changement de période de référence.

Comme les deux finalités des normales climatiques sont devenues incompatibles au regard des critères à respecter pour la période de calcul des moyennes, l'OMM a décidé qu'il convenait de calculer les deux types de normales (sous réserve de la disponibilité des données). S'il est vrai qu'une mise à jour annuelle des normales climatologiques standard permettrait d'atteindre une capacité de prévision optimale, il est entendu que cela serait irréalisable dans de nombreux pays, et il a donc été décidé d'actualiser ces normales tous les dix ans, la prochaine mise à jour étant prévue après la fin de l'année 2020.

En pratique, dans la plupart des pays, les jeux de données portant sur une longue période qui sont utilisés pour le suivi du changement climatique sont présentés sous forme d'agrégats spatiaux (jeu de données aux points de grille ou moyenne des anomalies calculées sur une zone à partir de données aux points de grille ou de la moyenne des stations, par exemple). Cela signifie que le calcul des normales de référence pour les différentes stations constitue le plus souvent une étape intermédiaire dans la production d'un jeu de données régional ou aux points de grille, plutôt qu'un produit utilisé couramment en tant que tel.

Il est à prévoir que, dans la plupart des contextes, les normales climatiques des stations reposeront sur les normales climatologiques standard (1981-2010 au moment de la rédaction des présentes directives). Certains pays sont en mesure de publier des normales pour des périodes multiples en fonction de la demande; lorsque cette capacité existe, il faut la conserver, tout en établissant comme période principale celle de la normale climatologique standard. On s'attend aussi à ce que cette même période soit utilisée pour les produits de surveillance, tels que les cartes d'anomalies mensuelles et saisonnières, qui ne sont pas directement associés à la surveillance du changement climatique, tout en servant de référence pour la prévision saisonnière du climat.

5.2 **Utilisation de moyennes se rapportant à des périodes non normalisées**

Dans certains contextes, il se peut que l'on souhaite se référer à des périodes autres que celles des normales climatologiques standard ou des normales de référence. On trouvera ci-dessous quelques exemples.

5.2.1 **Utilisation de périodes de 30 ans non normalisées pour des produits historiques**

Pour certains produits historiques, le recours à une période de 30 ans distincte des périodes types peut présenter des avantages. C'est le cas par exemple lorsque l'on constitue un jeu de données aux points de grille en amalgamant un champ d'anomalies, obtenu à partir des anomalies des stations, à une climatologie (Jones *et al.*, 2009). Avec un jeu de données de ce type, la priorité absolue est d'avoir un maximum de stations disposant de données sur la période pour laquelle une normale peut être calculée. À partir d'un jeu de données anciennes aux points de grille couvrant l'Australie, Jones *et al.* (2009) ont produit des grilles de données quotidiennes pour la période 1911-1940, qu'ils ont utilisée comme période de référence en matière de climatologie, avant d'y amalgamer les anomalies des stations pour produire le jeu de données final. En effet, beaucoup de stations disposant de données pour la période 1911-1940 n'avaient pas suffisamment de données plus récentes pour permettre le calcul d'une normale pour la période 1961-1990 ou 1981-2010. De plus, l'existence d'une normale pour une station étant une condition préalable au calcul d'une anomalie à des fins d'analyse, le choix de la période

1911-1940 pour le calcul de la moyenne a permis d'utiliser un bien plus grand nombre de stations que cela n'aurait été possible avec une période de référence plus récente. De même, les grilles relatives à la période 1941-1970 ont été établies sur la base de ladite période.

5.2.2 **Utilisation d'une période de plus de 30 ans pour le calcul de statistiques d'ordre supérieur**

Il se peut qu'une période de 30 années soit insuffisante pour rendre compte de toute la gamme des variations potentielles d'un élément, notamment pour les précipitations, qui peuvent être très variables dans le temps et l'espace. Si la durée de 30 ans est toujours la norme recommandée pour le calcul des limites des quintiles dans les normales climatologiques standard (et donc la base des valeurs des quintiles transmis dans les messages CLIMAT), la pertinence des statistiques se rapportant aux valeurs les plus extrêmes pour une telle période risque d'être faible pour certains éléments.

Pour remédier à ce problème, deux solutions sont envisageables. On peut soit appliquer une distribution statistique, de type gamma par exemple, aux données d'observation relatives à une période standard de 30 ans (cette solution est exposée en détail dans la publication intitulée *The Role of Climatological Normals in a Changing Climate* (OMM, 2007)) soit utiliser une période d'observation nettement plus longue. C'est ainsi que les quantiles des précipitations pour les données pluviométriques australiennes, dont le cinquième et le dixième percentile qui font partie intégrante des définitions normalisées pour le suivi de la sécheresse, ont été obtenus à partir de la totalité des relevés effectués de 1900 jusqu'à l'époque actuelle. (Pour la plupart des climats, il serait difficile d'obtenir une valeur stable du cinquième percentile sur la base de 30 ans de données.)

Il existe une autre application pour laquelle il est intéressant de disposer de la période de relevés la plus longue possible: à savoir la publication de valeurs extrêmes. De nombreux utilisateurs souhaitent connaître les valeurs les plus élevées et les plus basses jamais enregistrées sur un site donné, qu'elles aient été relevées ou non au cours d'une période normalisée de calcul des moyennes (même si les valeurs extrêmes relevées au cours d'une période de 30 ans présentent toujours un intérêt pour certaines applications, comme les analyses normalisées des valeurs extrêmes). Dans la mesure du possible, les valeurs extrêmes devraient être consignées aussi bien pour la période de calcul des normales climatologiques standard que pour toutes les années où l'on dispose d'observations utiles⁵.

5.2.3 **Utilisation de périodes plus courtes pour le calcul des moyennes**

Nombre de stations ne disposent pas de suffisamment de données pour le calcul d'une normale climatologique standard ou d'une normale de référence.

Il est probable que les intéressés souhaitent malgré tout disposer d'indications sur les conditions climatiques les plus probables sur ces sites, ainsi que sur les anomalies des principaux éléments. Pour y parvenir, on peut choisir la solution des relevés composites décrite dans la section 4.8, ce qui nécessite de disposer des données d'une ou de plusieurs stations plus anciennes, dont les observations peuvent être fusionnées pour couvrir la totalité de la période de calcul standard. Or, ces stations n'existent pas toujours. La capacité de calculer des anomalies sur une station avec un certain degré de fiabilité est également importante pour que les données produites puissent être intégrées à de nombreux jeux de données aux points de grille.

Les auteurs de la publication intitulée *The Role of Climatological Normals in a Changing Climate* (OMM, 2007) concluent que pour la plupart des valeurs moyennes ou cumulées (mais pas pour les valeurs extrêmes ou les statistiques d'ordre supérieur comme les quantiles) une période de 10 à 12 ans de données permet une qualité de prévision proche de celle que permet la période

⁵ Ceci n'incluant pas les périodes pour lesquelles les données manquent clairement d'homogénéité par rapport à la période actuelle, comme par exemple les relevés de température du XIX^e et du début du XX^e effectués dans des abris météorologiques non normalisés.

standard de 30 ans et que même des périodes plus courtes encore peuvent s'avérer utiles pour autant que les données d'observation correspondantes soient combinées avec les anomalies déduites par interpolation spatiale des stations de la région disposant de données sur de plus longues périodes. Si les résultats obtenus pour des périodes aussi brèves ne peuvent être considérés comme des normales climatologiques standard ou des normales de référence, ils intéressent toutefois de nombreux utilisateurs et leur calcul s'accompagne dans bien des cas de retombées positives sur le plan opérationnel. Pour un complément d'information sur ce thème et un examen des méthodes envisageables, le lecteur est invité à se reporter à la section 7.2 de la publication intitulée *The Role of Climatological Normals in a Changing Climate* (OMM, 2007).

6. COMMUNICATION

La définition et l'utilisation des normales climatologiques doivent être documentées et présentées de façon claire et précise pour éviter toute interprétation erronée. Les normales climatologiques, et notamment les normales climatologiques standard et les normales de référence, sont couramment utilisées comme références pour l'évaluation des anomalies climatologiques, de la variabilité du climat et du changement climatique. Il est donc fortement recommandé de mentionner clairement la normale exacte utilisée comme référence pour tout produit ou service climatologique, s'il y a lieu.

En cas de mise à jour de la normale climatologique standard, il est recommandé de produire une note explicative à l'intention de tous les utilisateurs des produits et services pertinents. Certains Services météorologiques et hydrologiques nationaux adressent une note interne au personnel concerné et diffusent un communiqué de presse expliquant la nature des normales et leur domaine d'application, ainsi que les changements qu'entraîne, pour les produits et services pertinents, l'utilisation des normales actualisées.

7. MODALITÉS DE PUBLICATION DES NORMALES CLIMATOLOGIQUES STANDARD ET DES NORMALES DE RÉFÉRENCE

Il y a lieu de calculer des normales climatologiques pour un éventail de stations aussi large que possible, à condition que ces stations respectent les critères de quantité et d'exhaustivité des données requises. Dans la mesure du possible, il convient d'effectuer ce calcul pour toutes les stations qui diffusent leurs données par le biais du Système mondial de télécommunications (OMM, 2011, section 4.8.2).

Les normales climatologiques standard sont recueillies et diffusées par l'OMM dans le cadre d'accord techniques et cette pratique continuera à l'avenir. Des invitations à fournir des normales climatologiques standard pour les stations d'observation seront adressées aux Membres par le Secrétariat de l'OMM, assorties d'instructions détaillées sur le calcul et la transmission des normales en question. Lancés en principe tous les dix ans après le 1^{er} janvier d'une année se terminant par le chiffre 1, ces appels pourront porter aussi sur la mise à jour des normales de référence pour la période 1961-1990 au fur et à mesure que des données supplémentaires deviendront disponibles à l'échelle du globe grâce aux activités de sauvetage des données.

Les normales, de préférence les normales climatologiques standard, sont également utilisées comme référence pour l'échange de données via le code international FM 71 CLIMAT (message de valeurs mensuelles provenant d'une station terrestre). On trouvera le détail des réglementations pertinentes, notamment sur ce qui touche à la mise à jour des normales, dans le *Manuel des codes* (OMM, 2016a).

8. BIBLIOGRAPHIE

- Jones, D.A, W. Wang et R. Fawcett, 2009: «High-quality spatial climate data-sets for Australia». *Australian Meteorological and Oceanographic Journal*, 58:233–248.
- Organisation météorologique mondiale, 1989: *Calculation of Monthly and Annual 30-year Standard Normals* (WMO/TD-N° 341). Genève.
- , 1992: *Vocabulaire météorologique international* (OMM-N° 182). Deuxième édition. Genève.
- , 1998: 1961-1990 *Global Climate Normals (CLINO), Version 1.0* (OMM-N° 847). Genève.
- , 2003: *Guidelines on Climate Metadata and Homogenization* (WMO/TD-N° 1186). Genève.
- , 2007: *The Role of Climatological Normals in a Changing Climate* (WMO/TD-N° 1377). Genève.
- , 2009: *Manuel sur le chiffrement des messages CLIMAT et CLIMAT TEMP* (OMM/DT-N° 1188). Genève.
- , 2011: *Guide des pratiques climatologiques* (OMM-N° 100). Genève.
- , 2014: *Guide des instruments et des méthodes d'observation météorologiques* (OMM-N° 8). Genève.
- , 2015: *Dix-septième Congrès météorologique mondial* (OMM-N° 1157). Genève.
- , 2016a: *Manuel des codes - Codes internationaux, volume I.1, Annexe II du Règlement technique de l'OMM: Partie A – Codes alphanumériques* (OMM-N° 306). Genève.
- , 2016b: *Règlement technique, Documents de base N° 2, volume I – Pratiques météorologiques générales normalisées et recommandées* (OMM-N° 49). Édition 2015, mise à jour en 2016. Genève.
- , 2017: *Manuel du Système mondial intégré des systèmes d'observation de l'OMM* (OMM-N° 1160). Édition 2015, mise à jour en 2017. Genève.
-

Pour de plus amples informations, veuillez vous adresser à:

Organisation météorologique mondiale

7 bis, avenue de la Paix – Case postale 2300 – CH 1211 Genève 2 – Suisse

Bureau de la communication et des relations publiques

Tél.: +41 (0) 22 730 83 14/15 – Fax: +41 (0) 22 730 80 27

Courriel: cpa@wmo.int

public.wmo.int