

IMPRESSUM

COPYRIGHT

© 2010 by MNHNL, CRP Gabriel–Lippmann, ASTA & SNL.

Les données du volume 2 (partie annexe) de la présente monographie sont mises à disposition de la communauté scientifique sur Internet à l'adresse <http://www.climatology.lu/>. Toute demande d'utilisation se fait via ce site Internet.

CITATIONS

Freyermuth, A. & L. Pfister, 2010. Monographie hydro-climatologique du Luxembourg. Volume 1 : Partie texte. 66p. Musée national d'histoire naturelle, Centre de recherche public Gabriel–Lippmann, Administration des services techniques de l'agriculture, Société des naturalistes luxembourgeois. Luxembourg. [Avec la collaboration de Christian Ries, Núria Martínez-Carreras, Cyrille Tailliez, Lucien Hoffmann, Denise Buchel, Paul Lepesant, Romain Schoder et Léon Wietor.]

Freyermuth, A. & L. Pfister, 2010. Monographie hydro-climatologique du Luxembourg. Volume 2 : partie annexe. 9.352 p. Musée national d'histoire naturelle, Centre de recherche public Gabriel–Lippmann, Administration des services techniques de l'agriculture, Société des naturalistes luxembourgeois. Luxembourg. [Avec la collaboration de Christian Ries, Núria Martínez–Carreras, Cyrille Tailliez, Lucien Hoffmann, Denise Buchel, Paul Lepesant, Romain Schoder et Léon Wietor.]

ORGANISMES ÉDITEURS

Musée national d'histoire naturelle de Luxembourg [www.mnhn.lu]

Centre de recherche public Gabriel–Lippmann, Luxembourg [www.lippmann.lu]

Administration des services techniques de l'agriculture, Luxembourg [www.asta.etat.lu]

Société des naturalistes luxembourgeois [www.sn.l.lu]

RESPONSABLE DE L'ÉDITION

Christian Ries, Musée national d'histoire naturelle & Société des naturalistes luxembourgeois

SUBVENTIONS

La publication de la monographie a bénéficié du soutien du Fonds national de la recherche Luxembourg [www.fnr.lu].



DATE DE PARUTION : 14 décembre 2010

LIEU DE PARUTION : Luxembourg.

TIRAGE : Volume 1 : partie texte : 750 exemplaires. Volume 2 : partie annexe : 20 exemplaires.

MISE EN PAGE : Couverture et photos: Karin Scholtes, Service muséologique et technique, MnhnL. Parties texte et annexe : Aline Freyermuth, Laurent Pfister & Núria Martínez–Carreras, CRP Gabriel–Lippmann.

IMPRESSION: Imprimerie Fr. Faber, Mersch [www.faber.lu].



I.S.B.N. : 978-2-919877-96-6

INTRODUCTION GENERALE

Facteur déterminant pour les productions agricoles et l'approvisionnement en eau potable, les conditions climatiques sont étudiées depuis des siècles à travers le monde. Les premières mesures quantitatives de pluie apparaissent en Inde au 4^{ème} siècle avant J.C dans le but de planifier les cultures. En Europe, c'est au 17^{ème} siècle que des savants prirent l'initiative de réaliser les premières mesures de pluie, phénomène qui ne cessa de prendre de l'ampleur au cours du 18^{ème} siècle avec l'observation de plusieurs variables météorologiques (température, pression atmosphérique, degré d'hygrométrie, nuages et vents) (L'Hote, 1991). Dès lors, l'étude du climat a largement dépassé les frontières agricoles et sert également à anticiper les catastrophes météorologiques et hydrologiques survenant à la suite d'une combinaison de situations météorologiques extrêmes. La connaissance des événements météorologiques passés est d'un intérêt primordial pour la compréhension et la prévision des conditions climatiques présentes et futures. Malheureusement, les séries hydro-climatologiques historiques sont rares, discontinues et entachées d'erreurs accumulées au fil du temps. Les changements d'emplacement des stations de mesure en fonction de la disponibilité des observateurs, la modification des heures d'observation (mais en respectant le plan général de matin, midi, soir) et l'évolution des instruments de mesure, sont tout autant d'éléments qui conduisent à des séries d'observation disparates et peu homogènes. L'Histoire a également joué un rôle important quant à l'organisation de la climatologie, notamment au Grand-Duché de Luxembourg, où durant la seconde guerre mondiale l'occupant a fait mainmise sur le matériel de mesure pendant plusieurs années. De nombreuses données ont ainsi été égarées, voire définitivement perdues, provoquant de nombreuses périodes lacunaires dans les chroniques. La chaîne d'acquisition des données induit également des erreurs (erreurs de retranscription, de calculs etc.), aussi bien dans les séries historiques que dans les séries récentes.

La création d'une base de données hydro-climatologiques à moyen et long-terme implique la prise en compte des différentes sources d'erreurs et nécessite la mise en place d'une procédure de critique et d'homogénéisation des données afin de les rendre exploitables sur les plus longues périodes d'observation connues. De nombreux travaux ont déjà été réalisés dans ce sens en Europe, tel que « The European Climate Assessment and Dataset Program » (Tank et al., 2002) qui regroupe les séries européennes de précipitations et de températures quotidiennes disponibles au 20^{ème} siècle, ou encore les travaux menés par Météo-France dans le cadre du programme de recherche de données anciennes entamé en 1994 dans le but de réaliser une base de données climatologiques homogènes (Moisselin et Mestre, http://vds.cnes.fr/manifestations/PV2002/DATA/1-9_moisselin.pdf). A l'échelle du Luxembourg, les travaux d'homogénéisation ne concernaient jusqu'à présent que la station climatologique de Luxembourg-Ville qui dispose de séries depuis le milieu du 19^{ème} siècle (Drogue, 2003 ; Drogue et al., 2005). Il a été tout naturel de poursuivre ces travaux et de les transposer à l'échelle du pays dans le but de constituer une monographie hydro-climatologique du Luxembourg. C'est dans ce contexte que fut lancé en 2006, sous l'impulsion de C. Ries (conservateur au Musée national d'histoire naturelle ; président de la Société des naturalistes luxembourgeois), le projet MONEAU – Monographie hydro-climatologique du Luxembourg. L'objectif de ce projet était de répertorier, dans la mesure du possible, toutes les données hydro-climatologiques disponibles au Luxembourg et de créer une base de données homogènes exploitables sur plusieurs décennies, voire sur plus d'un siècle. Au-delà d'être un patrimoine national, cette base de données permettra la réalisation de futurs travaux au niveau de l'aménagement du territoire (protection contre les risques climatologiques et hydrologiques), et constitue également une aide précieuse quant à l'évaluation de l'impact socio-économique d'un éventuel changement climatique sur nos hydrosystèmes.

La mise en place de cette base de données hydro-climatologiques nationale a été ventilée en plusieurs étapes complémentaires, faisant chacune l'objet d'un chapitre (Fig.1) :

Le Chapitre 1, intitulé « Organisation des données », traite de la manière dont les données ont été acquises ainsi que les différentes sources de données utilisées lors de l'inventaire. Il relate également l'histoire de la climatologie au Luxembourg, des premiers relevés recensés au milieu du 19^{ème} siècle, au réseau de mesure actuel. Le traitement primaire des données climatologiques d'après-guerre y est également abordé. Il vise à apurer les chroniques quotidiennes des erreurs ponctuelles ou systématiques liées à la chaîne d'acquisition des données. Ce chapitre a pour but d'attester de la cohérence des données. Une base de données englobant l'intégralité des relevés historiques, ainsi que les relevés d'après-guerre 1949-2008 en résulte. Il est important de souligner que les données mensuelles apparaissent en annexe de ce rapport jusqu'en 2008. Les données journalières et tri-journalières n'apparaissent quant à elles que jusqu'en 1999, les observations

postérieures (2000 à 2008) étant déjà publiées par ailleurs (Annuaire hydro-climatologiques 2000 à 2008 publiés par l'Administration des services techniques de l'agriculture). Les chronogrammes font cependant état de la disponibilité des données jusqu'en 2008.

Le Chapitre 2, intitulé « Contrôle et validation des données », a pour objectif d'homogénéiser les séries de précipitations et de températures sur la plus longue période d'observation connue. Le principe de l'homogénéisation est d'obtenir des séries exemptes de variations artificielles (changement des conditions de mesure) tout en préservant leur variabilité climatique. Le processus d'homogénéisation ne pouvant être réalisé que sur des séries longues et relativement continues, le choix de la période a été fait en fonction de la disponibilité des données, soit 1949-2006. Les données postérieures à 2006 peuvent néanmoins être ajoutées aux séries homogènes sans pour autant provoquer un changement significatif dans l'homogénéité des séries, une période de 10 ans minimum étant considérée comme représentative sur le plan climatique. Ce travail a abouti à une base de données mensuelles pluviométriques et thermométriques homogènes sur la période 1949-2006. Une base de données secondaire a été réalisée, répertoriant les séries homogènes sur une période d'observation plus courte : 1980-2006. Deux séries à long-terme (Luxembourg-Ville et Clémency) ont également été homogénéisées sur plus d'un siècle et répertoriées en annexe.

Le Chapitre 3, intitulé « Variations séculaires des longues chroniques de précipitations et de températures », est dédié à l'analyse des tendances des séries pluviométriques et thermométriques homogènes à long-terme (Luxembourg-Ville 1854-2006 (précipitations) – 1838-2006 (températures) et Clémency 1907-2006 (précipitations) – 1900-2006 (températures)). L'étude des variations naturelles des séries chronologiques a permis d'appréhender l'évolution des paramètres climatologiques au cours du siècle dernier, et de déterminer la significativité des tendances détectées.

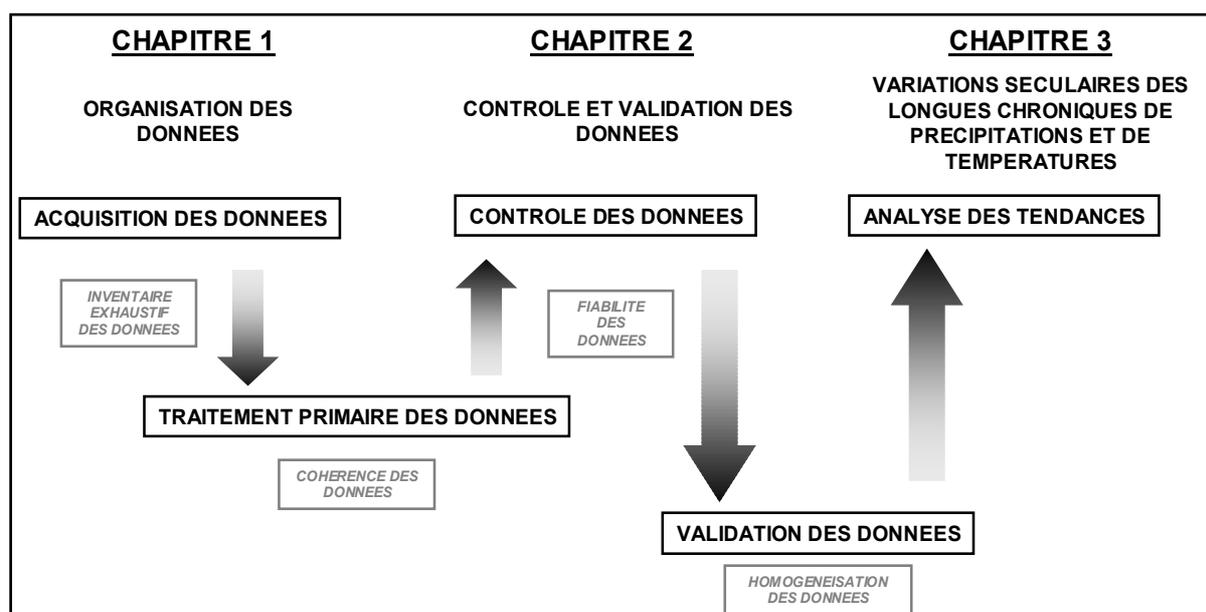


Figure 1 : Procédure mise en place pour l'élaboration de la base de données hydro-climatologiques du Luxembourg

La base de données hydro-climatologiques obtenue est une archive vivante, qui évolue au fil du temps (ajout des données récentes) et au rythme de la découverte de nouvelles données historiques, et de l'amélioration des techniques d'homogénéisation. Cette base de données servira d'appui pour la réalisation de futurs travaux de caractérisation et d'évaluation des situations hydro-climatologiques. Toute personne intéressée pourra également se procurer les données par simple demande via l'adresse internet www.climatology.lu.

De nombreux acteurs ont pris part à ce projet de grande ampleur. Des remerciements particuliers sont adressés à l'Administration des services techniques de l'agriculture et au Service météorologique de l'aéroport de Findel pour la mise à disposition des données-papiers et numériques relatives au

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES	V
LISTE DES TABLEAUX	VII
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 1: ORGANISATION DES DONNEES	5
1.1. ACQUISITION DES DONNEES : INVENTAIRE DES RELEVÉS HYDRO-CLIMATOLOGIQUES	6
1.1.1. Les relevés hydro-climatologiques historiques.....	6
1.1.1.1. Les précipitations	7
1.1.1.2. Les températures	7
1.1.1.3. Les pressions atmosphériques.....	8
1.1.1.4. Les mesures d'humidité relative	8
1.1.1.5. Les mesures d'insolation.....	8
1.1.1.6. Les données hydrologiques.....	9
1.1.2. Les données hydro-climatologiques d'après-guerre	9
1.1.2.1. Les relevés climatologiques	9
1.1.2.2. Les relevés hydrométriques	9
1.2. TRAITEMENT PRIMAIRE DES DONNEES : COHÉRENCE DES DONNÉES CLIMATOLOGIQUES D'APRÈS-GUERRE	11
1.2.1. Les précipitations quotidiennes	11
1.2.1.1. Confrontation des différentes sources de données	11
1.2.1.2. Uniformisation du calcul des précipitations journalières récentes	12
1.2.1.3. Occurrence des précipitations journalières	13
1.2.2. Les températures journalières	14
1.2.2.1. Les températures journalières récentes	14
1.2.2.2. Les températures extrêmes journalières	14
1.2.3. Les pressions atmosphériques tri-journalières.....	17
CHAPITRE 2: CONTROLE ET VALIDATION DES DONNEES	19
2.1. LES DONNEES CLIMATOLOGIQUES D'APRES-GUERRE	20
2.1.1. Les précipitations mensuelles	20
2.1.1.1. La Méthode du Vecteur Régional (MVR).....	20
2.1.1.2. Application de la MVR aux précipitations mensuelles du Luxembourg	21
2.1.1.3. Détection des ruptures d'homogénéité.....	22
2.1.1.4. Identification des ruptures d'homogénéité.....	26
2.1.2. Les températures extrêmes mensuelles.....	29
2.1.2.1. Détection des erreurs ponctuelles.....	29
2.1.2.2. Complements et corrections des températures extrêmes mensuelles	31
2.1.2.3. Détection et identification des ruptures d'homogénéité.....	31
2.1.2.4. Homogénéisation des températures extrêmes mensuelles.....	32

2.2. LES DONNEES CLIMATOLOGIQUES HISTORIQUES.....	38
2.2.1. Les précipitations.....	38
2.2.1.1. La station de Luxembourg-Ville.....	39
2.2.1.1.1. Période 1854-1889.....	39
2.2.1.1.2. Période 1890-1948.....	40
2.2.1.2. La station de Clémency.....	41
2.2.2. Les températures.....	43
2.2.2.1. La station de Luxembourg-Ville.....	43
2.2.2.1.1. Corrections des observateurs : 1838-1888.....	43
2.2.2.1.2. Corrections liées aux conditions de mesures non-normalisées : températures antérieures à 1907.....	43
2.2.2.1.3. Corrections liées aux modes de calculs des températures moyennes mensuelles : 1838-1948.....	43
2.2.2.1.4. Détection des valeurs aberrantes : 1838-1948.....	44
2.2.2.1.5. Détection et identification des ruptures d'homogénéité : 1838-1948.....	45
2.2.2.2. La station de Clémency.....	46
2.2.2.2.1. Calculs des moyennes tri-mensuelles historiques (1900-1942).....	46
2.2.2.2.2. Corrections liées aux conditions de mesures non-normalisées : températures antérieures à 1907.....	46
2.2.2.2.3. Corrections liées aux modes de calculs des températures moyennes mensuelles : 1900-1942.....	46
2.2.2.2.4. Détection des valeurs aberrantes : 1900-1942.....	46
2.2.2.2.5. Détection et identification des ruptures d'homogénéité.....	47
CHAPITRE 3: VARIATIONS SECLAIRES DES LONGUES CHRONIQUES DE PRECIPITATIONS ET DE TEMPERATURES.....	49
3.1. VALIDATION DES SERIES CHRONOLOGIQUES A LONG-TERME.....	50
3.1.1. Les précipitations à long-terme.....	50
3.1.1.1. La station de Luxembourg-Ville : 1854-2006.....	50
3.1.1.2. La station de Clémency : 1907-2006.....	51
3.1.2. Les températures à long-terme.....	51
3.1.2.1. La station de Luxembourg-Ville : 1838-2006.....	51
3.1.2.2. La station de Clémency : 1900-2006.....	52
3.2. ANALYSE DES TENDANCES.....	54
3.2.1. Le test non-paramétrique de Mann-Kendall.....	54
3.2.2. Tendances des précipitations à long-terme.....	54
3.2.2.1. Les précipitations annuelles.....	55
3.2.2.2. Les précipitations saisonnières.....	56
3.2.3. Tendances des températures à long-terme.....	57
3.2.3.1. Les températures annuelles.....	57
3.2.3.2. Les températures saisonnières.....	58
CHAPITRE 4: LE RECUEIL DE DONNEES HYDRO-CLIMATOLOGIQUES HISTORIQUES.....	61
CONCLUSION GENERALE.....	63
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	65

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Procédure mise en place pour l'élaboration de la base de données hydro-climatologiques du Luxembourg	2
Figure 2a-b : Comparaison des précipitations de la station d'Asselborn issues de la base de données des précipitations journalières ASTA (1954-2006) et celles issues du fichier tri-journalier ASTA : (a) précipitations mensuelles 1995-2006 (en rouge : précipitations mensuelles de mai 2003) – (b) précipitations journalières de mai 2003	12
Figure 3 : Séries de Fourier calculées sur les températures maximales (Tx) et minimales (Tn) de la station de CLEMENCY (1949-2006)	15
Figure 4 : Filtrage des températures journalières maximales (Tx) et minimales (Tn) par le seuil $\pm 3\sigma$ sur les résidus après désaisonnalisation : CLEMENCY 1949-2006	16
Figure 5 : Spatialisation des précipitations inter-annuelles sur la période 1949-2006 au Grand-Duché de Luxembourg (Méthode d'interpolation : IDW).....	21
Figure 6 : Variabilité pluviométrique ouest/est au Luxembourg sur la période 1949-2006.....	21
Figure 7a-b : Indices annuels des précipitations et Vecteurs Régionaux (VR) associés : VR Est (a) et VR Ouest (b).....	22
Figure 8a-b : Détection des ruptures d'homogénéité au sein des précipitations annuelles de la station de Berlé-Surré 1949-2006 : CUSUM (a) et sauts de moyennes (b).....	23
Figure 9 : CUSUM des précipitations annuelles avant (a) et après (b) homogénéisation (1949-2006) : 10 séries homogénéisées par VR Ouest et 14 séries par VR Est.....	24, 25
Figure 10a-b : Chroniques annuelles (a) et CUSUM (b) des précipitations de la station de Findel avant et après homogénéisation : 1949-2006	28
Figure 11 : Localisation des stations mesurant la température de l'air sur la période 1949-2006.....	29
Figure 12 : Exemples de régressions mensuelles entre les températures extrêmes des différentes stations et la station de Metz-Frescaty 1949-2006	30
Figure 13 : CUSUM des températures maximales (a) et minimales annuelles avant et après homogénéisation par la méthode SNHT (1949-2006).....	34, 35
Figure 14a-b : Chroniques (a) et CUSUM (b) des températures moyennes annuelles homogénéisées sur la période 1949-2006.....	36
Figure 15 : Localisation des principales stations de référence : Trier-Petrisberg (Allemagne) – Charleville-Mézières et Danne-et-quatre-vents (France)	38
Figure 16 : Saut de moyenne des précipitations annuelles de Luxembourg-Ville 1854-1889.....	39
Figure 17 : Régressions mensuelles (mars et décembre) entre les stations de Luxembourg-Ville (Lux-V), Charleville-Mézières (C-M) et Danne-et-quatre-vents (D4V) : période 1890-1948	40
Figure 18 : Saut de moyenne des précipitations annuelles de Luxembourg-Ville 1890-1948.....	41
Figure 19 : Régressions mensuelles (février et novembre) entre les stations Clémency, Charleville-Mézières (C-M) et Danne-et-quatre-vents (D4V) : période 1907-1948	42
Figure 20 : Saut de moyenne des précipitations annuelles Clémency 1907-1948.....	42
Figure 21 : Exemples de régressions mensuelles des températures moyennes historiques : 1838-1895 : Luxembourg-Ville vs Francfort et Strasbourg - 1907-1948 : Luxembourg-Ville vs Francfort et Metz	45
Figure 22 : Sauts de moyenne des températures moyennes annuelles (Tm) de Luxembourg-Ville : 1838-1948.....	45
Figure 23 : Régressions mensuelles des températures moyennes historiques Clémency vs Metz : 1900-1942.....	47
Figure 24 : Sauts de moyenne des températures moyennes annuelles historiques de la station de Clémency (1900-1948)	47

Figure 25 : Sauts de moyenne des précipitations annuelles homogénéisées de la station de Luxembourg-Ville : 1854-2006.....	50
Figure 26 : Sauts de moyenne des précipitations annuelles homogénéisées de la station de Clémency : 1907-2006.....	51
Figure 27 : Sauts de moyenne des températures annuelles homogénéisées de la station de Luxembourg-Ville : 1838-2006.....	52
Figure 28 : Sauts de moyennes des températures moyennes annuelles homogénéisées de la station de Clémency (1900-2006).....	53
Figure 29a-b : Tendances des précipitations annuelles de Luxembourg-Ville (1854-2006(a)) et Clémency (1907-2006 (b)).....	55
Figure 30 : Tendances affectant le nombre de jours avec des flux d'ouest (GWL2) sur la période 1881-2006	56
Figure 31a-b : Tendances des précipitations de Clémency (1907-2006 (a)) et du nombre de jours avec des flux d'ouest (1881-2006 (b)) durant la période hivernale.....	57
Figure 32a-b : Tendances des températures moyennes annuelles (Tm) de Luxembourg-Ville (1838-2006 (a)) et de Clémency (1900-2006 (b)).....	58
Figure 33a-b : Tendances des températures moyennes hivernales de Luxembourg-Ville (1838-2006 (a)) et de Clémency (1900-2006 (b))	59

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Calcul des températures moyennes journalières	14
Tableau 2 : Coefficients des harmoniques de la série de Fourier ajustée aux températures minimales et maximales moyennes journalières (1949-2006)	15
Tableau 3 : Horsains répertoriés lors du filtrage des résidus des températures maximales (Tx) et minimales (Tn) sur la période 1949-2006	16
Tableau 4a-b : Synthèse des ruptures d'homogénéité détectées au sein des séries pluviométriques (1949-2006) avant (a) et après (b) homogénéisation par la Méthode du Vecteur Régional.....	26
Tableau 5 : Températures mensuelles maximales (Tx) et minimales (Tn) douteuses 1949-2006	30
Tableau 6a-b : Matrices de corrélations des températures minimales mensuelles (1949-2006) : Mois de janvier (a) et juillet (b)	31
Tableau 7 : Ruptures d'homogénéité décelées dans les séries de températures maximales (Tx) et minimales (Tn) sur la période 1949-2006	32
Tableau 8 : Ruptures décelées dans les séries de températures maximales (Tx) et minimales (Tn) sur la période 1949-2006 après homogénéisation	33
Tableau 9 : Ruptures d'homogénéité décelées dans les séries de températures moyennes annuelles homogénéisées sur la période 1949-2006	37
Tableau 10 : Disponibilité des séries de précipitations et de températures moyennes mensuelles sur le long-terme.....	38
Tableau 11 : Cumuls mensuels de précipitations de la station de Luxembourg-Ville : 1854-1889	39
Tableau 12 : Cumuls mensuels douteux de la station de Luxembourg-Ville sur la période 1890-1948.....	40
Tableau 13 : Identification des ruptures d'homogénéité : Précipitations annuelles de Luxembourg-Ville corrigées 1890-1948.....	41
Tableau 14 : Cumuls mensuels douteux de la station de Clémency et corrections apportées (1907-1948).....	42
Tableau 15 : Ecart de températures moyens mensuels entre une température établie à partir des données tri-journalières (T3) – de températures horaires (T24) – des demi-sommes des températures extrêmes quotidiennes (T2).....	44
Tableau 16 : Identification des ruptures d'homogénéité : Précipitations annuelles corrigées et homogénéisées de Luxembourg-Ville (1854-2006)	50
Tableau 17 : Identification des ruptures d'homogénéité : Températures moyennes annuelles corrigées et homogénéisées de Luxembourg-Ville 1838-2006.....	52
Tableau 18 : Tendances saisonnières des précipitations (mm/décennie) et du nombre de jours avec des flux d'ouest (GWL2 – jours/siècle)	56
Tableau 19 : Tendances saisonnières des températures (°C/siècle) de Luxembourg-Ville (1838-2006) et de Clémency (1900-2006)	59

Luxembourg, ainsi qu'à l'Institut Grand-Ducal des Sciences Naturelles pour l'obtention des données historiques. La collaboration avec des organismes externes a également été d'une aide précieuse, avec notamment la contribution de M. Jean-Marc Moisselin de la Direction de la Climatologie à Météo-France qui a aimablement fourni les longues séries météorologiques françaises homogènes lors de travaux antérieurs (Thèse de Doctorat Gilles Drogue, 2003) et les conseils avisés de Didier François, Ingénieur d'Etudes au Laboratoire de Géographie Physique de l'Université de Metz, sur le choix des méthodes d'analyses statistiques à mettre en œuvre.