



Marché de services

Institut bruxellois pour la Gestion de l'Environnement

Cahier spécial des charges 2007-01-AL

« Réseau de pluviomètres : validation des données et étude de répartition des précipitations en Région bruxelloise »

Rapport final

Décembre 2008

Didier Dehem, Bernard Mohymont et Christian Tricot

**Institut royal météorologique de Belgique
3 avenue Circulaire
B – 1180 Bruxelles**

Tables des matières

1	INTRODUCTION	3
2	LA BASE DE DONNEES DE L'IBGE	5
3	CORRECTIONS SE RAPPORTANT A L'ETALONNAGE	10
3.1	INTRODUCTION	10
3.2	DESCRIPTION DE LA PROCEDURE UTILISEE	10
3.3	IMPACT SUR LES DONNEES	12
4	VALIDATION ET COMPLEMENT DES DONNEES MANQUANTES	14
4.1	INTRODUCTION	14
4.2	ADAPTATION DU LOGICIEL	14
4.3	DESCRIPTION THEORIQUE DE LA VALIDATION.....	14
4.3.1	Les appareils en panne.....	14
4.3.2	L'estimation.....	15
4.3.3	Tests de cohérence.....	19
4.4	DESCRIPTION PRATIQUE DE LA VALIDATION.....	19
4.4.1	Après 2004.....	20
4.4.2	Avant 2004.....	21
4.5	CONCLUSIONS	22
5	REPARTITION SPATIALE DES PRECIPITATIONS.....	24
5.1	COMPARAISON DES CUMULS AUX STATIONS.....	24
5.1.1	Etude incluant l'ensemble des stations de l'IBGE	24
	(période : 01/01/2004-30/09/2007).....	24
5.1.2	Etude sans la station de Senne-Viangros	28
	(période : 01/01/2004-30/09/2007).....	28
5.1.3	Etude sur une période plus longue.....	31
	(période: 01/01/1999-30/09/2007).....	31
5.1.4	Conclusions.....	35
5.2	INFLUENCE DE L'OROGRAPHIE.....	35
5.3	CARTOGRAPHIE DES PRECIPITATIONS.....	43
6	COMPARAISON RADAR ET MESURES EN SURFACE.....	48
6.1	INTRODUCTION : FONCTIONNEMENT DU RADAR.....	48
6.2	EXAMEN DE QUELQUES SITUATIONS PLUVIOMETRIQUES TYPES	51
7	REMARQUES GENERALES SUR LES MESURES PLUVIOMETRIQUES....	60
7.1.	LES MESURES PLUVIOMETRIQUES ET LEURS PRINCIPALES ERREURS.....	60
7.2.	QUELQUES RESULTATS DE MESURES PLUVIOMETRIQUES COMPARATIVES.....	62

8	CONCLUSIONS.....	69
9	BIBLIOGRAPHIE	73
10	ANNEXES	75
10.1	ANNEXE 1 : INVENTAIRE DES DONNEES PRESENTES	75
10.2	ANNEXE 2 : ETALONNAGE.....	80
10.3	ANNEXE 3 : CLIMATOLOGIE DES PRECIPITATIONS (1999-2006).....	85
10.4	ANNEXE 4 : CARTES DES PRECIPITATIONS EN REGION BRUXELLOISE.	89

1 Introduction

L'objet du Marché de Services 2007-01-AL intitulé « Réseau de pluviomètres : validation des données et étude de répartition des précipitations en Région bruxelloise » aborde deux thèmes principaux. Le premier concerne la validation et l'amélioration de la base de données pluviométriques issues du réseau de mesures des précipitations géré par l'Institut bruxellois pour la Gestion de l'Environnement (noté IBGE par la suite). Le second thème consiste dans l'analyse des séries de données validées pour étudier la répartition spatiale des précipitations sur le territoire de la Région bruxelloise. La question de la représentativité du réseau de l'IBGE est également brièvement illustrée dans le cas de quelques situations pluviométriques types.

Le réseau de pluviomètres géré par l'IBGE a fourni ses premières données en juin 1992 et est toujours opérationnel aujourd'hui. Les données proviennent de 14 stations de mesures dont la moitié environ a fonctionné dès l'origine du réseau. Un entretien régulier et une calibration in situ des appareils ont été assurés sur toute la période, mais le contrôle de qualité des données archivées n'a pu être réalisé de manière relativement régulière que jusqu'en décembre 2003.

La première étape du Marché de Services consiste dans une analyse de qualité des données disponibles dans la base de données de l'IBGE. **Le chapitre 2** décrit brièvement les types de données reçues de l'IBGE au début de l'étude et l'incorporation de celles-ci dans la base de données de l'IRM. On trouve également dans ce chapitre une synthèse des données disponibles par station depuis juin 1992. **Le chapitre 3** aborde la correction des données à partir de janvier 2004 pour tenir compte des rapports d'étalonnage fournis par l'IBGE. Par souci d'homogénéité, la technique retenue pour effectuer ces corrections est similaire à celle qui avait été utilisée jusqu'en décembre 2003 par le Service en charge de la gestion du réseau. Après cette étape préliminaire, la phase de validation et de comblement des données manquantes sur la période janvier 2004-septembre 2007 est abordée dans **le chapitre 4**. Le logiciel PLUVIOVALID, développé à l'IRM il y a quelques années pour le contrôle de qualité de précipitations horaires, est adapté et utilisé pour effectuer ce travail de manière détaillée.

Pour la période 1992-2003, une étude de contrôle de qualité aussi pointue n'avait pas été envisagée dans le cadre du présent Marché. Sur cette période, les séries de données sont examinées de deux points de vue. D'une part, les données manquantes sont estimées par la technique d'interpolation utilisée dans PLUVIOCQ. D'autre part, une comparaison sommaire des cumuls relevés aux différentes stations permet de détecter les intervalles de plusieurs jours où le comportement d'un appareil est très suspect ou manifestement aberrant. Pour ces intervalles de temps et pour la station concernée, les données initiales sont éliminées et remplacées par des valeurs estimées, suivant la même méthode que précédemment.

À la fin de la première étape du travail, résumée ci-dessus, les données corrigées au mieux sont disponibles pour l'étude de la répartition spatiale des précipitations dans la

Région bruxelloise. **Le chapitre 5** présente les principaux résultats obtenus dans ce domaine. La comparaison des cumuls aux stations sur différentes périodes donnent des résultats globalement similaires, mettant en évidence un gradient pluviométrique nord-ouest/sud-est sur le territoire bruxellois. La corrélation des cumuls pluviométriques avec l'altitude est abordée dans le cadre de la question de l'influence de la forêt de Soignes sur les précipitations à Bruxelles. Enfin, des premières cartes de cumuls pluviométriques « normaux » sont présentées. Elles illustrent la variation spatiale des précipitations à grande échelle sur le territoire de la Région bruxelloise, obtenue par interpolation des cumuls observés par le réseau pluviométrique de l'IBGE.

Le chapitre 6 illustre la représentativité d'un réseau pluviométrique comme celui de l'IBGE en fonction des situations météorologiques à l'origine des précipitations. Cette question est abordée en comparant, pour quelques situations pluviométriques des années récentes, les mesures aux stations avec les estimations radar sur l'ensemble du territoire bruxellois. Si les mesures ponctuelles aux stations fournissent en principe les meilleures valeurs de précipitations locales, les données radar présentent l'avantage de permettre une analyse spatiale plus détaillée du champ de précipitations. La comparaison des estimations des radars de Wideumont et de Zaventem est également discutée brièvement.

Dans **les conclusions**, on résume les principaux résultats obtenus dans le cadre du présent Marché de Services. On propose également quelques pistes pour approfondir les questions traitées à cette occasion ou pour aborder des sujets connexes dans les domaines plus généraux de la climatologie et de l'hydrologie urbaines.

2 La base de données de l'IBGE

Le réseau des pluviomètres géré actuellement par Bruxelles-Environnement a été mis en place dans les années 1990 par le Ministère de la Région bruxelloise au sein du service de l'Hydrogéologie afin de répondre à des besoins en matière d'hydrologie.

Suite au transfert des compétences de ce service vers Bruxelles-Environnement d'une part et vers la Société Bruxelloise de Gestion de l'Eau d'autre part, ce réseau a été maintenu jusqu'à présent par Bruxelles-Environnement notamment afin de permettre la finalisation de l'installation du réseau pluviométrique de la SBGE et d'éviter en certains sites toute interruption dans l'historique de mesures.

Le réseau des pluviomètres de Bruxelles-Environnement comporte actuellement 13 stations de mesures réparties sur le territoire de la Région bruxelloise. Les données sont stockées dans des unités d'enregistrement local et sont collectées sur site par un opérateur. Après traitement informatique, elles sont transférées dans une base de données et mises à disposition sous forme facilement exploitable.

Compte tenu des historiques importants de données pluviométriques mesurés et afin de pouvoir exploiter au mieux cet historique des mesures, une mission de validation et de comblement des données manquantes a été confiée à l'IRM.

L'incorporation des données horaires s'est déroulée relativement facilement. Citons quelques difficultés et les solutions que nous avons apportées.

Certaines données se trouvaient en double avec une minute de décalage. Exemple pour la station d'Anderlecht (code 097) :

```
"1998-08-03 11:00:00",0.000
```

```
"1998-08-03 11:01:00",0.000
```

Nous avons vérifié que les données étaient identiques dans tous les cas, nous avons alors supprimé la seconde ligne.

La station Senne Viangros (code 103) contenait des données toutes les 15 minutes. Nous les avons sommées pour obtenir des données horaires. Pour cette station, nous n'avons pas incorporé les données inférieures à l'année 1999 car le format était extrêmement variable : un mélange de données horaires, en 15 minutes et en une minute. Les données à partir de 1999 ont été fournies sous forme de précipitations toutes les quinze minutes, nous les avons sommées pour obtenir des données horaires. Par la suite, l'IBGE a envoyé à nouveau les données avant 1999, par manque de temps, elles n'ont toutefois pas été incorporées dans la base de l'IRM.

La Figure 1 représente le réseau de l'IBGE sur base des données incorporées dans notre gestionnaire de base de données. L'emplacement des stations est similaire à celui indiqué sur les cartes reçues par ailleurs de l'IBGE. Notons que les stations de Viangros et de Senne Viangros se trouvent au même endroit. La Table 1 fournit la liste des stations reprises dans notre gestionnaire de base de données.

▪
▪ Juin 1992 - septembre 2007 ▪



Figure 1 : Réseau de l'IGBE

Table 1. Liste des quatorze stations du marché de services avec la mention du début et de la fin de la période sur laquelle les données sont disponibles. PM est mis pour Précis Mécanique, Geru pour Génie Rural.

Code	Type d'appareil	Nom	Début	Fin
97	PM	Anderlecht	20/03/1998:15	28/11/2007:22
103	Geru	Senne Viangros	29/12/1998:22	28/11/2007:23
201	Geru	Paelinckx	31/05/1992:23	28/11/2007:22
203	Geru	Nord	31/05/1992:23	28/11/2007:22
285	PM	Avant-Port	29/01/2001:10	28/11/2007:22
286	Geru	Roodebeek	30/10/1998:10	28/11/2007:22
287	Geru	Semence	03/11/1997:12	28/11/2007:22
288	Geru	Viangros	20/01/1995:11	26/11/2007:19
291	PM	Dépôt Communal Boitsfort	31/05/1992:23	28/11/2007:22
292	PM	Dépôt de Tram	12/02/1993:12	28/11/2007:22
293	PM	Shopping Center	31/12/1991:23	28/11/2007:22
296	Geru	Kinsendael	31/05/1992:23	10/10/2007:03
298	Geru	Voets	19/06/1992:12	25/10/2005:11
299	PM	Ganshoren	03/06/1992:08	28/11/2007:22

Inspection sommaire des données.

La Table 19 reprise à l'annexe 1 reprend l'inventaire des données présentes. Ce tableau ne donne aucune indication sur la vraisemblance des données, il mentionne juste le nombre de données horaires présentes chaque mois, sur une période variable selon la station. Il permet d'avoir une vue d'ensemble sur la complétude des données. Certaines stations, comme Roodebeek, sont relativement complètes, d'autres sont relativement complètes mais présentent des mois entiers sans données (Nord, Semence). Les stations d'Anderlecht et de Paelinckx présentent régulièrement des données manquantes.

Les sommes cumulées permettent d'avoir une vue spatiotemporelle du réseau. La Figure 2 montre les sommes mensuelles cumulées des stations sur la période de janvier 2004 à octobre 2007. Cette figure permet de détecter des valeurs mensuelles anormalement élevées à la station d'Anderlecht de février à avril 2005 (par rapport aux autres stations). Dans la Figure 2, nous avons exclu la station Voets qui est fermée depuis novembre 2005.

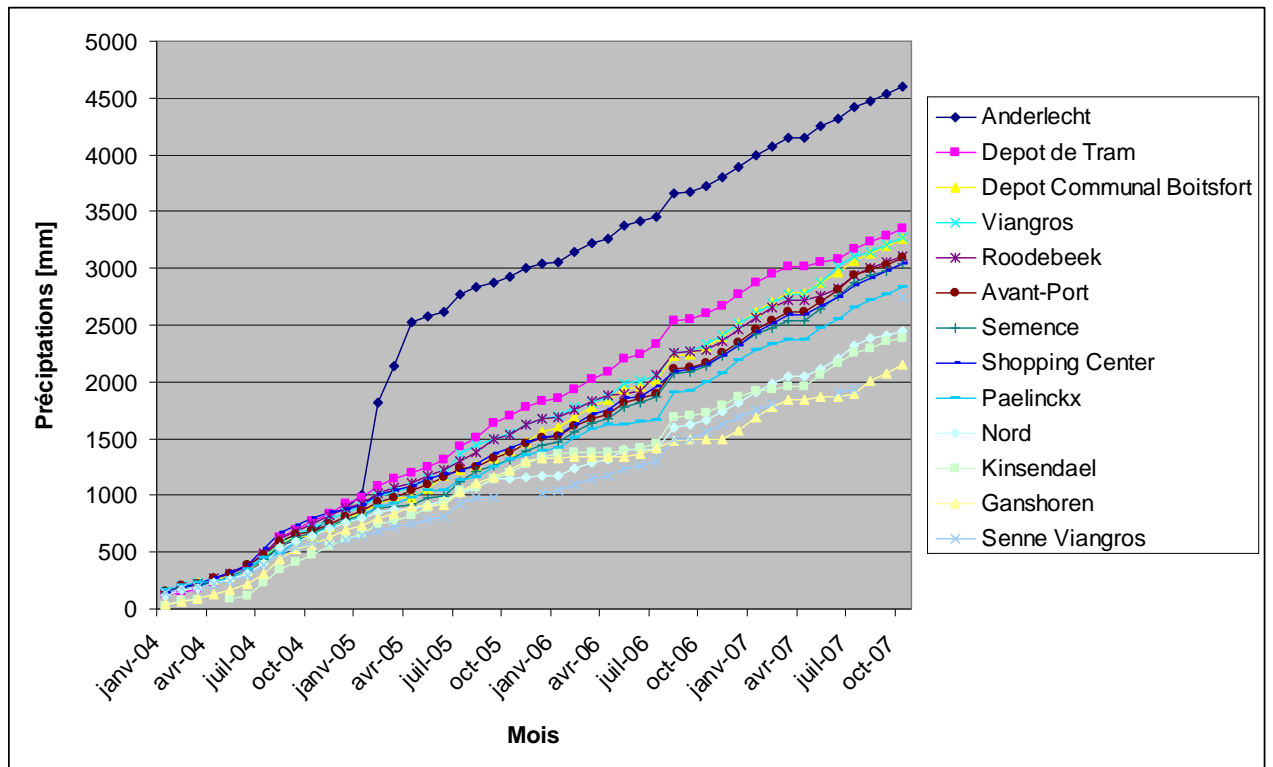


Figure 2 : Sommes mensuelles cumulées sur la période janvier 2004 à octobre 2007.

Pour pouvoir mieux comparer les courbes de sommes cumulées, il est pertinent de soustraire aux courbes la moyenne de toutes les courbes (cf. Figure 3). Ainsi nous pouvons facilement détecter les écarts par rapport à la tendance moyenne du réseau. Dans la Figure 3, nous avons retiré la station d'Anderlecht ainsi que la station Senne Viangros qui présentent de fortes irrégularités. La courbe de Ganshoren est nettement plus basse que les autres (cette station a donc mesurée moins). Cela pourrait s'expliquer par un réglage trop « lent » de l'appareil. Lors de la visite du 16 août 2007 par exemple, le nombre de basculements a été mesuré à 82, il a été ramené à 100 après calibrage. D'où une sous-estimation durant cette visite et la précédente (15 mars 2007).

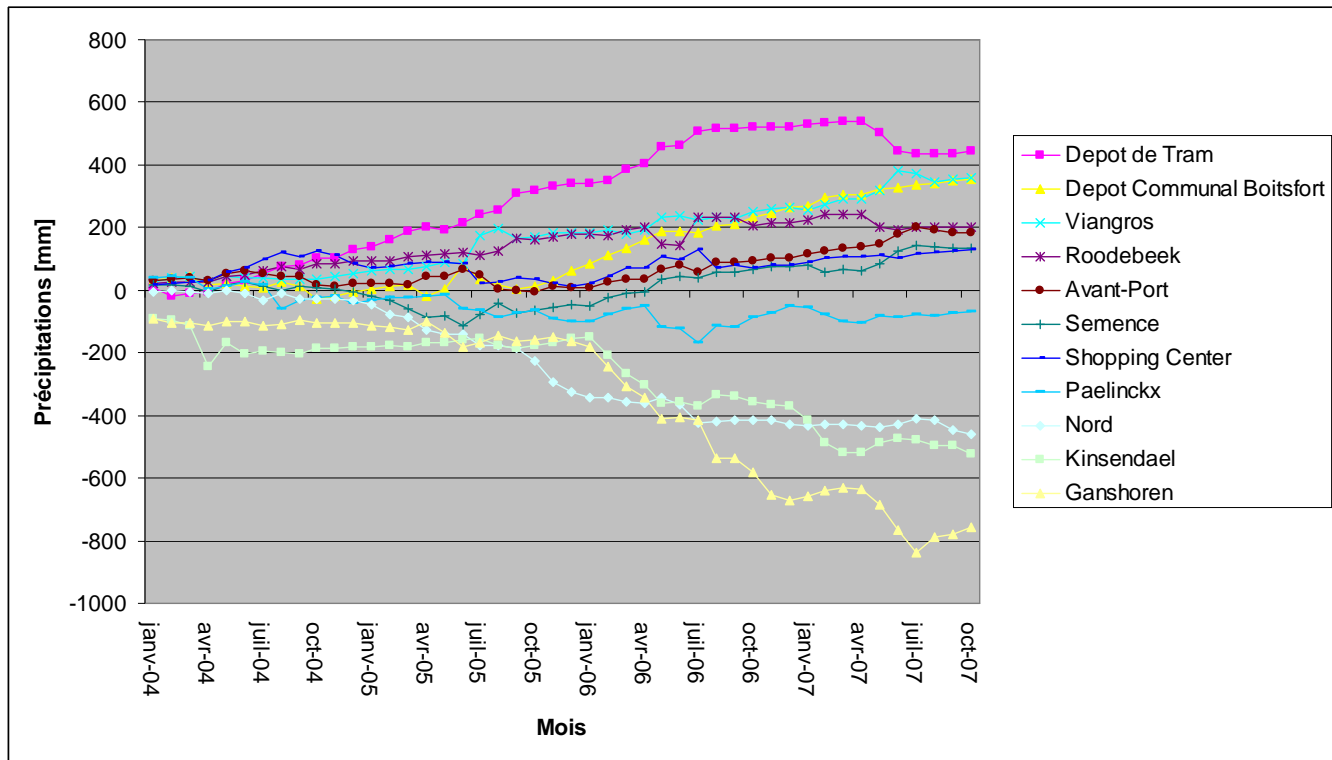


Figure 3: Sommes mensuelles cumulées des écarts par rapport à la moyenne de l'ensemble des stations, pour la période janvier 2004 à octobre 2007.

3 Corrections se rapportant à l'étalonnage

3.1 Introduction

Cette partie du rapport traite de la correction des données se rapportant à l'étalonnage des appareils et ce pour la période allant de janvier 2004 à septembre 2007. L'étalonnage déborde sur 2003 car les premières périodes d'étalonnage se terminant en 2004 débutent en 2003. L'annexe 2 reprend les dates d'étalonnage concernées par les corrections ainsi que les données y afférant. Chaque entrée dans la table concerne un nombre plus ou moins important de corrections de valeurs individuelles de précipitations suivant la longueur de l'intervalle. Une erreur sur la date de calibrage ou sur les valeurs utilisées pour calculer le facteur de correction a donc de grandes conséquences. Aussi, il est important que ces données soient vérifiées scrupuleusement. Un travail important y a été consacré. Les valeurs modifiées ont été reprise en bleu dans l'annexe 2.

3.2 Description de la procédure utilisée

À intervalles réguliers, les pluviomètres se voient étalonnés pour compenser le phénomène de dérive. Lors de ces étalonnages, une quantité connue d'eau est versée dans le collecteur. Si l'appareil est calibré correctement, le nombre de basculements mesuré est égal au nombre de basculements escompté qui est égal à cinquante ou cent basculements suivant les pluviomètres.

La base de données relative à l'étalonnage est orientée « date d'étalonnage ». Pour chaque date ayant fait l'objet d'un étalonnage, la base mentionne trois valeurs de nombre de basculements :

- *N avant réglage* (N_{avant}) correspond au nombre de basculements mesuré avant calibrage ;
- *N après nettoyage* correspond au nombre de basculements mesuré avant calibrage et après nettoyage des augets ;
- *N après réglage* ($N_{\text{après}}$) correspond au nombre de basculements mesuré après calibrage.

Pour une station donnée, la succession des dates d'étalonnage (t) détermine des périodes d'étalonnage. L'algorithme de correction des valeurs pluviométriques est le suivant :

1. pas de correction pour la première moitié de chaque période d'étalonnage ;
2. pour la deuxième moitié de chaque période d'étalonnage, calculer le facteur de correction sur base de l'étalonnage de la date courante (t) et de l'étalonnage de la date précédente ($t-1$) : $\frac{N_{\text{après}}(t-1)}{N_{\text{avant}}(t)}$. Ne pas tenir compte de la valeur $N_{\text{après}}$ après nettoyage.

Avant d'appliquer l'algorithme pour le calcul du facteur de correction, il ne faut plus de valeurs manquantes pour N_{avant} et $N_{\text{après}}$. Le comblement des valeurs manquantes a été réalisé de manière suivante :

- si N_{avant} est manquant, prendre la valeur $N_{\text{après}}$ nettoyage ;
- si $N_{\text{après}}$ est manquant, prendre la valeur de 100 ou 50 suivant les pluviomètres ;

- si Navant est manquant et que Naprès nettoyage est manquant aussi, prendre Naprès au temps t-1. Ce choix est cohérent avec la méthode de correction. Ceci revient à faire l'hypothèse que l'appareil n'a pas dérivé depuis le dernier étalonnage. Le facteur de correction est alors égal à un.

Les données se rapportant à l'étalonnage ont été vérifiées scrupuleusement vu qu'une erreur d'encodage peut avoir des conséquences sur plusieurs mois de données pluviométriques. Aussi, en plus d'une inspection visuelle, nous avons vérifié que les deux invariants suivants étaient toujours valables. Invariant 1 : le facteur de correction est compris entre 0.5 et 2. Invariant 2 : la longueur de la période d'étalonnage est supérieure à 3 jours ; une valeur négative signifiant une erreur au niveau du caractère croissant des dates d'encodages. Nous avons ainsi détecté des erreurs de dates d'étalonnage : répétition de dates (11/05/2004 pour le pluviomètre 203 Pluviomètre Nord) ou erreur dans l'année de la date (26/06/2003 au lieu de 26/06/2004 pour le pluviomètre 97 Pluviomètre Anderlecht).

Il a été convenu de réserver le code '8' comme indice de qualité pour désigner les valeurs ayant subi une correction d'étalonnage. L'indice '0' désigne les valeurs brutes. Les autres valeurs de l'indice de qualité sont reprises à la Table 7.

Exemple de correction pour la station Ganshoren (code 299) pour la période entre les deux dates d'étalonnage : 03/06/2003 et 10/02/2004. Le facteur de correction se calcule à partir des données relatives aux étalonnages (cf. la Table 20), il s'élève à 1.282 et s'applique sur la seconde moitié de la période (à partir du 07/10/2003). La Table 2 détaille le résultat des calculs. On vérifie bien qu'après correction, chaque valeur horaire ainsi que le cumul pluviométrique sur la seconde partie de la période d'échantillonnage est multiplié par le facteur de correction.

Table 2: Extrait de la base de données relative aux étalonnages

Code	Date_Etalonnage	Date_Etalonnage_next	N_Avant	N_Apres	Nbr_Jours	Mid_Interval	Fact
299	03/06/2003	10/02/2004	96.5	100	252	07/10/2003	1.282
299	10/02/2004	17/06/2004	78	101	128	14/04/2004	0.962
299	17/06/2004	07/12/2004	105	100.5	173	11/09/2004	0.995

Table 3: Extraits des données pluviométriques avant et après correction pour le pluviomètre Ganshoren (code 299). L'extrait commence au début de la seconde moitié de la période d'échantillonnage concernée (cf. texte). Un cumul horaire est identifié par le moment de fin de l'intervalle horaire. Le cumul pluviométrique sur les 3024 valeurs horaires de cette seconde moitié est égal à 174.1 mm pour les données brutes et 223.2 mm pour les données corrigées.

Code	Timestamp	AVANT		APRÈS	
		Cumul pluviométrique	Code de qualité	Cumul pluviométrique	Code se qualité
299	07/10/2003:01	0	0	0	8
299	07/10/2003:02	0	0	0	8
299	07/10/2003:03	0	0	0	8
299	07/10/2003:04	0	0	0	8
299	07/10/2003:05	0	0	0	8
299	07/10/2003:06	0.1	0	0.1282	8
299	07/10/2003:07	2	0	2.564	8
299	07/10/2003:08	1.8	0	2.3076	8
299	07/10/2003:09	2	0	2.564	8
299	07/10/2003:10	0.1	0	0.1282	8
299	07/10/2003:11	0	0	0	8
299	07/10/2003:12	0.6	0	0.7692	8
299	07/10/2003:13	0	0	0	8
299	07/10/2003:14	0	0	0	8
299	07/10/2003:15	0.1	0	0.1282	8
299	07/10/2003:16	0	0	0	8
299	07/10/2003:17	0	0	0	8
299	07/10/2003:18	0.4	0	0.5128	8
299	07/10/2003:19	0	0	0	8
299	07/10/2003:20	0.1	0	0.1282	8
299	07/10/2003:21	0	0	0	8
299	07/10/2003:22	0	0	0	8
299	07/10/2003:23	0.1	0	0.1282	8
299	08/10/2003:00	0	0	0	8
...					
299	09/02/2004:21	0	0	0	8
299	09/02/2004:22	0	0	0	8
299	09/02/2004:23	0	0	0	8
299	10/02/2004:00	0	0	0	8

3.3 Impact sur les données

La Table 4 représente la somme cumulée des écarts par rapport à la moyenne de l'ensemble des stations après les corrections relative à l'étalonnage. En la comparant à la situation avant les corrections (Figure 3), on constate des différences après et avant corrections, notamment pour le pluviomètre Dépôt Communal Boitsfort. Pour certaines stations comme Ganshoren, les différences sont minimales. La Table 4 reprend les écarts globaux par station avant et après correction. On constate que les écarts varient entre +2% et -2%.

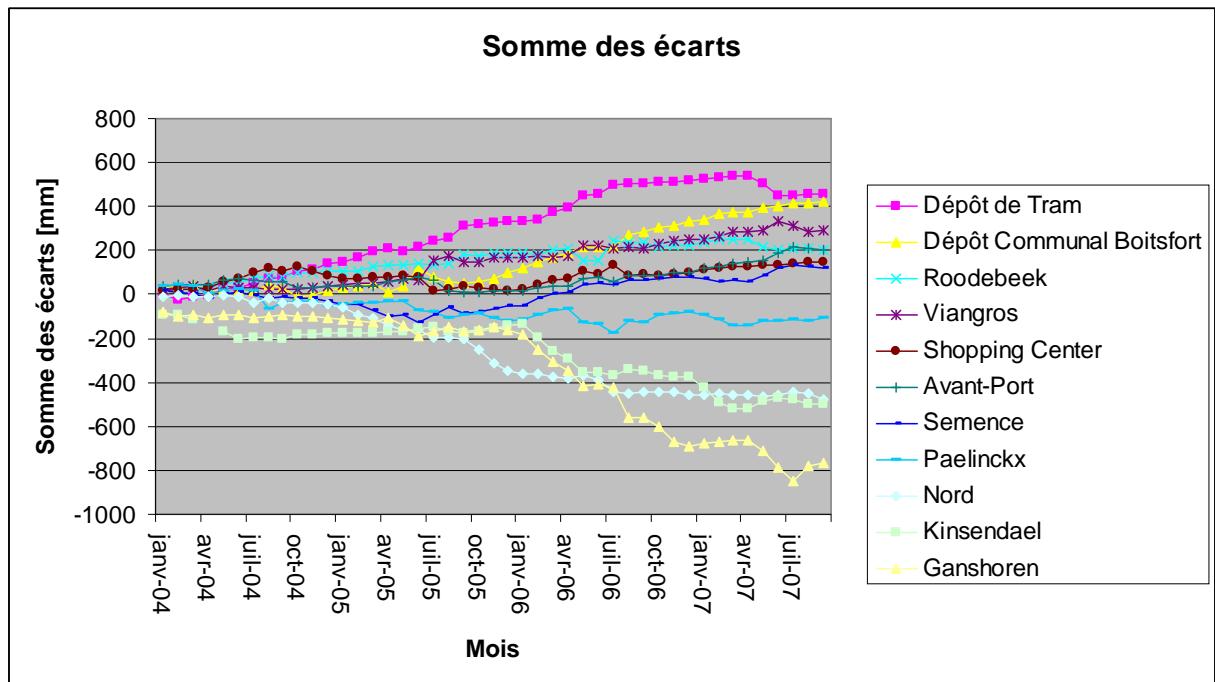


Figure 4 : Sommes mensuelles cumulées des écarts par rapport à la moyenne de l'ensemble des stations, pour la période janvier 2004 à septembre 2007 après les corrections relatives à l'étalonnage.

Table 4: Cumul et écart relatif par station sur la période janvier 2004 à septembre 2007 inclus. L'écart relatif est calculé par la formule suivante : $(DATA_f - DATA_i)/DATA_i$

CODE	NAME	Avant correction étalonnage DATA _i	Après correction étalonnage DATA _f	Écart (%)
97	Anderlecht	4535.2	4566	+0.7
292	Dépôt de Tram	3285.7	3302.2	+0.5
291	Dépôt Communal Boitsfort	3204.6	3267.1	+2.0
288	Viangros	3197.8	3135.3	-2.0
286	Roodebeek	3050.7	3047.7	-0.1
285	Avant-Port	3032.7	3043.2	+0.3
293	Shopping Center	2982.7	2992.9	+0.3
287	Semence	2971	2964.3	-0.2
201	Paelinckx	2775.9	2732.9	-1.5
203	Nord	2403.8	2361.7	-1.8
296	Kinsendael	2354.3	2345.8	-0.4
299	Ganshoren	2070	2075	+0.2
103	Senne Viangros	1929.1	1887.3	-2.2
298	Voets	1362.4	1389.1	+2.0

4 Validation et comblement des données manquantes

4.1 Introduction

La validation, encore appelée le contrôle de qualité, comprend le comblement des données manquantes ou la correction de données aberrantes par estimation. La validation a été réalisée en utilisant un logiciel créé à l'IRM pour la validation des données de précipitations horaires du Ministère wallon de l'Équipement et des Transports (MET). Le logiciel a été adapté au réseau de l'IBGE. Il se présente sous forme d'interfaces graphiques dirigées par un utilisateur (Dehem et Tricot, 2004). Le présent point décrit le travail d'adaptation du logiciel ainsi que la méthode d'estimation de manières théorique et pratique sur base d'exemples concrets.

4.2 Adaptation du logiciel

L'adaptation du logiciel PLUVIOVALID comprend deux phases, la première phase vise à passer du réseau du MET à celui de l'IBGE, la seconde à automatiser entièrement le processus de validation dès le moment où l'ensemble des stations en panne ont été déterminée.

Phase après le 01 janvier 2004. Ce travail d'adaptation est plus important qu'il n'y paraît au premier abord. Il consiste d'abord à spécifier au logiciel qu'il doit accéder aux données de l'IBGE et non plus aux données du MET. Il faut ensuite déterminer quel est le réseau de mesure de contrôle. Il a été pris égal au réseau de l'IBGE augmenté de la station automatique chauffée de l'IRM.

Phase avant 2004. En vue d'automatiser le processus de validation, il a fallu transformer les actions réalisées manuellement par l'utilisateur dans l'interface du logiciel par des appels de procédures. Il a fallu aussi modifier le logiciel pour qu'il puisse prendre en compte la spécification journalière des appareils en panne. En vue de détecter de spécifier les appareils en panne (données manquantes ou données aberrantes) une interface supplémentaire a été réalisée permettant de générer, à la demande, des graphes horaires, journaliers ou mensuels. Le réseau de mesure de contrôle a été pris égal au réseau de l'IBGE.

4.3 Description théorique de la validation

Le logiciel contribue au contrôle de qualité des données horaires de l'IBGE. Le mode de fonctionnement consiste à réaliser jour par jour le contrôle de qualité.

4.3.1 Les appareils en panne

La première étape consiste à déterminer, parmi le réseau de contrôle, les appareils dits en pannes. Ces appareils sont des appareils qui sont effectivement en panne et ne délivrent pas de données ou des appareils délivrant des données aberrantes (bouchés, semi-bouchés, enneigés). La détection de ces appareils est réalisée sur base d'inspections de graphes ou d'indices journaliers de cohérence spatiale associés à chaque station (cf. 4.3.3). Les valeurs de ces appareils n'interviennent pas, pour le jour traité, dans le calcul des valeurs estimées.

4.3.2 L'estimation

Pour estimer une valeur horaire en une station, on détermine le voisinage de la station. Le voisinage d'une station appartient au réseau de contrôle (cf. 4.2), c'est l'ensemble des neuf stations les plus proches qui ne sont pas en panne.

Nous décrirons d'abord une **formule simplifiée** qui donne des estimations horaires légèrement différentes de ce que donne le logiciel. Les estimations journalières sont quant à elles identiques suivant les deux méthodes. L'estimation à l'appareil A et pour l'heure h se calcule par une moyenne pondérée par l'inverse du carré de la distance (cf. la Table 5 pour un exemple numérique) :

$$precip(A, h) = \frac{precip(A_1, h) \cdot \frac{1}{d_1^2} + \dots + precip(A_n, h) \cdot \frac{1}{d_n^2}}{\frac{1}{d_1^2} + \dots + \frac{1}{d_n^2}}$$

où A_i ($1 \leq i \leq n$) constitue les stations appartenant au voisinage V de A et d_i ($1 \leq i \leq n$) est la distance entre A et A_i .

La **formule complète**, utilisée dans le logiciel, pour l'estimation d'une valeur horaire s'inspire d'un article anglais déjà assez ancien mais dont les principes nous ont semblé toujours d'actualité (Kelway and Herbert, 1969). Il se place dans un cadre où l'on dispose à la fois de données automatiques horaires et de données manuelles journalières. L'idée consiste à tirer le meilleur profit des données disponibles (journalières et horaires) en estimant séparément les cumuls journaliers et les répartitions horaires des pluies. L'estimation des valeurs horaires s'effectue en trois phases :

1. Estimation des cumuls quotidiens par une moyenne pondérée par l'inverse de la distance au carré. Les données journalières utilisées dans l'estimation sont les données manuelles, par essence journalières, et les données journalières calculées à partir des données horaires.

2. Estimation des répartitions horaires (en %/100) par une moyenne pondérée en $1/d^2$; cette estimation se base uniquement sur les stations délivrant des données horaires ;

3. L'estimation horaire est le produit des estimations réalisées en 1 et 2 .

L'expression du cumul de précipitation P(A,h) associé à la station A et à l'heure h s'écrit donc (cf. la Table 6 pour un exemple numérique) :

$$P(A, h) = \frac{\frac{P(A_1, h)}{P(A_1, j)} \cdot \frac{1}{d_1^2} + \dots + \frac{P(A_n, h)}{P(A_n, j)} \cdot \frac{1}{d_n^2}}{\frac{1}{d_1^2} + \dots + \frac{1}{d_n^2}} * \frac{P(A_1, j) \cdot \frac{1}{d_1^2} + \dots + P(A_n, j) \cdot \frac{1}{d_n^2}}{\frac{1}{d_1^2} + \dots + \frac{1}{d_n^2}}$$

où A_i ($1 \leq i \leq n$) constituent les stations appartenant au voisinage V de A

d_i ($1 \leq i \leq n$) est la distance entre A et A_i

j est le jour comprenant l'heure h

P(A,h) est le cumul de précipitations associé à l'heure h et à la station A

P(A,j) est le cumul de précipitations associé au jour j et à la station A

Différence entre les deux formules. Par construction, la formule simplifiée et complètes donnent les même résultats au niveau journalier. Pour des considérations climatologiques, les deux formules sont donc équivalentes. Par contre, au niveau horaire, il y a de légères différences, ceci est illustré dans la Figure 5 elle reprend les exemples numériques des Table 5 et Table 6.

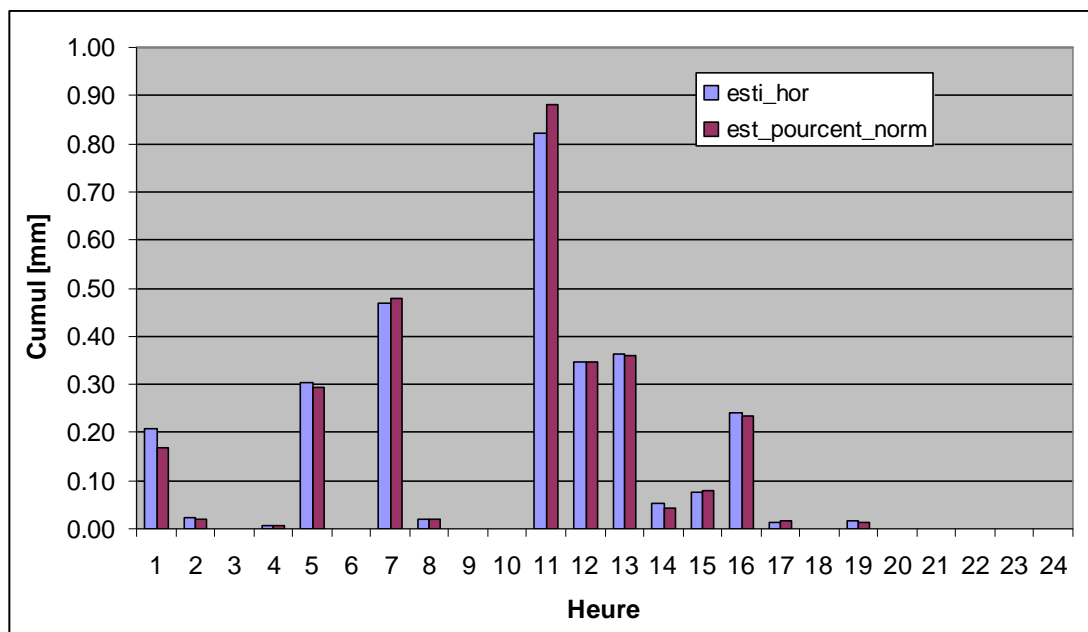


Figure 5 : Différences entre les estimations horaires issues de la méthode simplifiée (esti_hor) et complète (est_pourcent_norm) dans le cas de Paelinckx, le 23 janvier 2003.

Commentaires sur l'exemple numérique de la Table 5. Les valeurs du tableau sont des cumuls horaires exprimés en millimètre. Le champ « Paelinckx – les valeurs » reprend les valeurs mesurées à la station. Le détail du calcul pour l'estimation du cumul horaire de l'heure 13 est : $(0.3\text{mm} \cdot 0.042 + 0.4\text{mm} \cdot 0.026 + \dots + 0.2\text{mm} \cdot 0.005) / 0.1539 = 0.078 \text{ mm}$. Le détail pour le cumul de l'estimation du cumul journalier est : $(0.2\text{mm} \cdot 0.042 + 3.4\text{mm} \cdot 0.026 + \dots + 2.9\text{mm} \cdot 0.005) / 0.1539 = 2.965 \text{ mm}$.

Commentaires sur l'exemple numérique de la Table 6. Les valeurs du tableau, sauf la dernière colonne, sont sans dimension. Ces valeurs sont des répartitions horaires comprises entre 0 et 1. La dernière colonne reprend des valeurs de cumuls de précipitations exprimées en millimètre. Le détail du calcul pour l'estimation du cumul horaire de l'heure 13 est : $\{(0.136 \cdot 0.042 + 0.118 \cdot 0.026 + \dots + 0.069 \cdot 0.005) / 0.1539\} \cdot 2.965 \text{ mm} = 0.36 \text{ mm}$.

Table 5: Estimation des valeurs à Paelinckx le 23 janvier 2003 via une somme pondérée par l'inverse du carré de la distance des valeurs. La somme des estimations horaires redonne l'estimation journalière : 2.965 mm.

Timestamp	Paelinckx – les valeurs	Dépôt Communal Boitsfort	Voets	Senne Viangros	Viangros	Dépôt de Tram	Roodebeek	Shopping Center	Avant-Port	Ganshoren	Paelinckx - estimé
23/01/2003:01	0	0	0	0	0	0,6	0,8	0,9	0,1	0,3	0,208
23/01/2003:02	0	0	0,1	0	0	0	0	0,1	0	0	0,024
23/01/2003:03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
23/01/2003:04	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,008
23/01/2003:05	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,6	0,6	0,3	0,2	0,303
23/01/2003:06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
23/01/2003:07	0,2	0,2	0,3	0,9	0,9	0,5	0,4	0,4	0,7	0,5	0,468
23/01/2003:08	0	0	0	0,1	0	0	0,1	0	0	0	0,019
23/01/2003:09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
23/01/2003:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
23/01/2003:11	0,1	1,1	0,6	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	1,5	1,2	0,823
23/01/2003:12	1	0,1	0,7	0,6	0,6	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,347
23/01/2003:13	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,4	0,7	0,5	0,4	0,2	0,363
23/01/2003:14	0	0	0,2	0	0	0,1	0	0,1	0	0	0,052
23/01/2003:15	0,2	0,1	0,1	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,078
23/01/2003:16	0,2	0,2	0,6	0	0,1	0,2	0,2	0,4	0,1	0,1	0,241
23/01/2003:17	0,1	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0,1	0,015
23/01/2003:18	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
23/01/2003:19	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0,017
23/01/2003:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
23/01/2003:21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
23/01/2003:22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
23/01/2003:23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
24/01/2003:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
Σ	2,5	2,2	3,4	2,6	2,7	3,3	3,9	4	3,5	2,9	2,965
Un sur d2		0,042	0,026	0,017	0,017	0,016	0,012	0,011	0,006	0,005	0,1539
d		4,9	6,2	7,6	7,6	7,8	9,1	9,4	12,6	13,5	

Table 6 : Estimation des valeurs à Paelinckx le 23 janvier 2003 via une somme pondérée par l'inverse du carré de la distance des répartitions horaires multipliée par l'estimation journalière 2.965 mm

Timestamp	Répartition Paelinckx Les valeurs	Dépôt Communal Boitsfort	Voets	Senne Viangros	Viangros	Dépôt de Tram	Roodebeek	Shopping Center	Avant-Port	Ganshoren	Repartition Paelinckx estimée	Paelinckx estimé
23/01/2003:01	0.	0.	0.	0.	0.	0.182	0.205	0.225	0.029	0.103	0.057	0.169
23/01/2003:02	0.	0.	0.029	0.	0.	0.	0.	0.025	0.	0.	0.007	0.020
23/01/2003:03	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.000	0.000
23/01/2003:04	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.057	0.	0.002	0.007
23/01/2003:05	0.12	0.091	0.088	0.077	0.074	0.121	0.154	0.15	0.086	0.069	0.099	0.292
23/01/2003:06	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.000	0.000
23/01/2003:07	0.08	0.091	0.088	0.346	0.333	0.152	0.103	0.1	0.2	0.172	0.162	0.480
23/01/2003:08	0.	0.	0.	0.038	0.	0.	0.026	0.	0.	0.	0.006	0.019
23/01/2003:09	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.000	0.000
23/01/2003:10	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.000	0.000
23/01/2003:11	0.04	0.5	0.176	0.192	0.222	0.212	0.205	0.2	0.429	0.414	0.298	0.882
23/01/2003:12	0.4	0.045	0.206	0.231	0.222	0.091	0.051	0.025	0.029	0.069	0.117	0.348
23/01/2003:13	0.12	0.136	0.118	0.115	0.074	0.121	0.179	0.125	0.114	0.069	0.121	0.360
23/01/2003:14	0.	0.	0.059	0.	0.	0.03	0.	0.025	0.	0.	0.015	0.045
23/01/2003:15	0.08	0.045	0.029	0.	0.	0.03	0.026	0.025	0.029	0.034	0.027	0.079
23/01/2003:16	0.08	0.091	0.176	0.	0.037	0.061	0.051	0.1	0.029	0.034	0.079	0.234
23/01/2003:17	0.04	0.	0.	0.	0.037	0.	0.	0.	0.	0.034	0.005	0.016
23/01/2003:18	0.04	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.000	0.000
23/01/2003:19	0.	0.	0.029	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.005	0.015
23/01/2003:20	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.000	0.000
23/01/2003:21	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.000	0.000
23/01/2003:22	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.000	0.000
23/01/2003:23	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.000	0.000
24/01/2003:00	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.000	0.000
Σ Un sur d2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.000	2.965
		0,042	0,026	0,017	0,017	0,016	0,012	0,011	0,006	0,005		

4.3.3 Tests de cohérence

Les tests de cohérences sont effectués de manière globale au niveau journalier. Ils permettent de repérer les stations pour lesquelles le cumul journalier est suspect. Le test de cohérence est un test spatial, il consiste à déterminer, pour chaque mesure, un intervalle de validité et une estimation. Une mesure tombant en dehors de son intervalle sera déclarée suspecte.

Le problème à résoudre est donc le suivant : connaissant les cumuls quotidiens P dans un voisinage V donné d'un appareil A, quelle est la plage des cumuls acceptable pour l'appareil. De nombreuses possibilités peuvent être envisagées pour déterminer cet intervalle I. Nous avons considéré les possibilités suivantes :

1. $I = [\text{Min}(P), \text{Max}(P)]$;
2. $I = [\mu(P) - 3\sigma(P), \mu(P) + 3\sigma(P)]$ avec $\mu(P)$ = moyenne sur P et $\sigma(P)$ = écart type de P ;
3. utiliser la méthode n° 2 avec $P^* = P$ sans les deux valeurs extrêmes ;
4. utiliser la méthode n°3 avec un changement de variable $f(\text{RR})$ qui aurait pour effet de rendre la distribution de P plus normale. $I = f^{-1}[\mu(f(P^*)) - 3\sigma(f(P^*)), \mu(f(P^*)) + 3\sigma(f(P^*))]$ où $f(\text{RR}) = 100 \cdot \ln(1 + 10 \cdot \text{RR})$ avec RR exprimé en mm par jour. C'est la méthode utilisée à Météo-France (Givone, 1997) ;
5. utiliser la méthode n°2 avec le changement de variable du point 4.

On appelle « indice de variation spatiale » la somme des indicateurs correspondant aux cinq calculs de l'intervalle de validité exposés plus haut. Pour un calcul donné, l'indicateur prend la valeur 0 si la mesure tombe dans l'intervalle d'acceptation et la valeur 1 dans le cas contraire. Ainsi, l'indice de variation spatiale peut prendre une valeur de 0 à 5, suivant le résultat de chaque calcul d'intervalle.

4.4 Description pratique de la validation

De manière pratique la validation a été réalisée suivant deux modes opératoires différents. Mais en utilisant la même méthode d'interpolation. Chaque cumul horaire est estampillé d'un indice de qualité décrivant le traitement réalisé sur les données brutes (cf. Table 7). Le code 0 de l'indice de qualité désigne les données pluviométriques brutes, une autre valeur de l'indice de qualité signifie que le cumul a fait l'objet d'un processus de validation. La valeur 1 signifie que le cumul a été validé bon, une autre valeur de l'indice de qualité signifie que le cumul a été modifié.

Le mode opératoire après le 01 janvier 2004 Les données ont été regardées en détail jour par jour. Pour cette période, les données radar étaient disponibles et ont été utilisées de manière qualitative. Les données radar constituent un outil très précieux pour cerner la répartition spatiale des précipitations, il est de plus une source alternative pour juger de la pertinence des valeurs des pluviomètres. Le réseau de contrôle (cf. 4.2) a été pris égal au réseau de l'IBGE augmenté de la station automatique chauffée de l'IRM. Dans le cas d'épisodes neigeux, l'utilisateur « a fait fondre la neige » : il a utilisé les valeurs de l'appareil chauffé de l'IRM ou des appareils non enneigés pour estimer des valeurs horaires pour les pluviomètres enneigés. Le contrôle a été réalisé à l'aide d'une interface graphique dirigée par un utilisateur.

Le mode opératoire avant 2004. Les données ont été regardées de manière plus sommaire, les données radar n'ont pas été utilisées. Le réseau de contrôle (cf. 4.2) a été pris égal au réseau de l'IBGE uniquement. Les épisodes neigeux n'ont pas été traités : si tous les appareils sont bouchés lors d'un épisode neigeux, ils le resteront après validation. Les jours pour lesquels les appareils étaient en panne ont été déterminés de manière manuelle. Le reste de la validation a été ensuite réalisée de manière entièrement automatique.

Table 7 : Indices de qualité associés aux données de précipitations.

Code	Signification
0	Donnée brute.
1	La donnée brute a été validée bonne.
2	La donnée brute a été corrigée suite à la connaissance d'une information extérieure : temps sec, entretien de l'appareil...
3	La donnée brute a été estimée.
8	Donnée ayant subi une correction d'étalonnage.
9	Modification de la donnée brute (correction ou estimation) suite à la « fonte » de la neige dans le cas d'un appareil non chauffé.

4.4.1 Après 2004

Après 2004, le processus de validation est réalisé par un utilisateur dirigeant une interface. La première phase de la validation consiste à repérer les appareils ayant des valeurs suspectes. Ces appareils sont alors mis en panne, ces valeurs ne participeront pas dans le calcul des estimations et seront remplacées par des estimations. Le repérage des valeurs suspectes est réalisé de manière manuelle ou par inspection d'outputs du logiciel qui repère ces valeurs à l'aide de tests de cohérence (cf.4.3.3). La détection manuelle se base sur l'inspection visuelle de graphes (cf. Figure 6) donnant pour chaque station le profil horaire temporel de trois valeurs : la valeur du pluviomètre (rouge), l'estimation à partir des autres pluviomètres (vert) et l'estimation radar aussi appelée prg¹ (bleu). Le logiciel propose des estimations mais c'est l'utilisateur qui dispose en acceptant les estimations proposées ou en en proposant d'autres suivant sa connaissance de la situation acquise par l'inspection de produits annexes :

cumul radar. C'est une image représentant le cumul des images radar instantanées sur le jour étudié. Cette image permet de se faire une idée sur la répartition spatiale du cumul ; elle doit être toutefois correctement interprétée vu que les images de cumuls amplifient les défauts habituels des images radar instantanées.

carte. C'est une carte représentant sous forme de labels les cumuls quotidiens des appareils de mesure au sol. Elle permet de repérer facilement des appareils à cumul suspect.

¹ Pseudo rain gauge

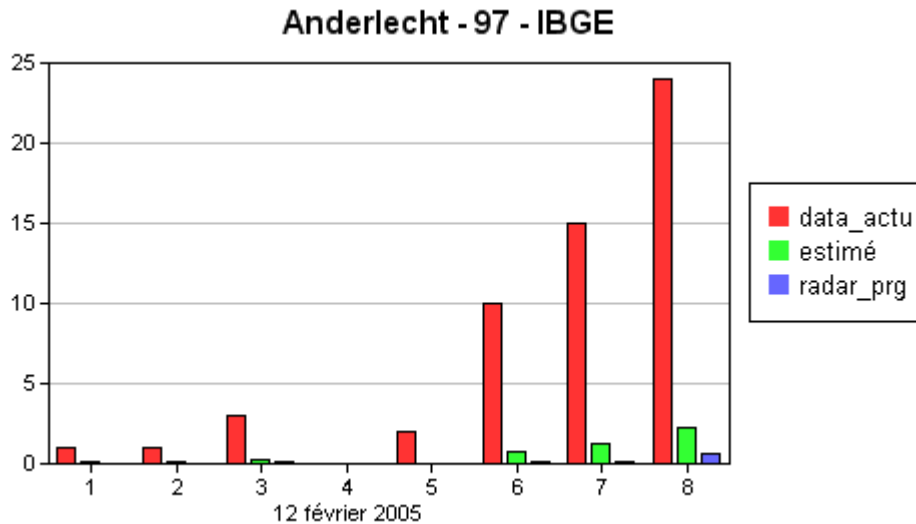


Figure 6 : Exemple de graphe pour le pluviomètre Anderlecht. L'inspection de graphe permet facilement de détecter les valeurs aberrantes, ici trop élevées, de l'appareil.

4.4.2 Avant 2004

Avant 2004, le processus de validation est réalisé différemment mais la méthode d'interpolation (moyenne pondéré par l'inverse du carré de la distance) reste la même. La validation s'opère en deux étapes.

Première étape À l'aide d'inspection visuelle de graphe, l'utilisateur repère les jours et les stations pour lesquels les données sont manquantes ou aberrantes. Pour ces jours les stations (encore appelées appareils) sont dites « en panne ». L'inventaire des données reçues de l'IBGE (cf. la Table 19 en annexe 1) permet de déterminer les données aberrantes, mais nous avons repéré de nombreux cas où les données étaient présentes mais aberrantes (cf. Figure 7). Les causes principales de données manquantes sont les appareils bouchés ou semi-bouchés. Un décalage temporel a été détecté pour la station de Voets : les données sont correctes mais sont décalées de vingt-quatre heures. La période concernée est l'intervalle temporel entre le 01 décembre 1996 et le 12 février 1997.

Seconde étape La validation est réalisée ensuite de manière entièrement automatique, le logiciel utilisant les renseignements sur les appareils en pannes comme guide de ce qu'il y a à faire : pour chaque jour, le logiciel effectue les opérations suivantes :

- En utilisant les renseignements de l'étape précédente, il détermine quels sont les appareils en panne pour le jour concerné. Les valeurs de ces appareils ne seront pas utilisées dans le calcul des estimations.
- Il estime ensuite les vingt-quatre valeurs horaires des stations en panne.

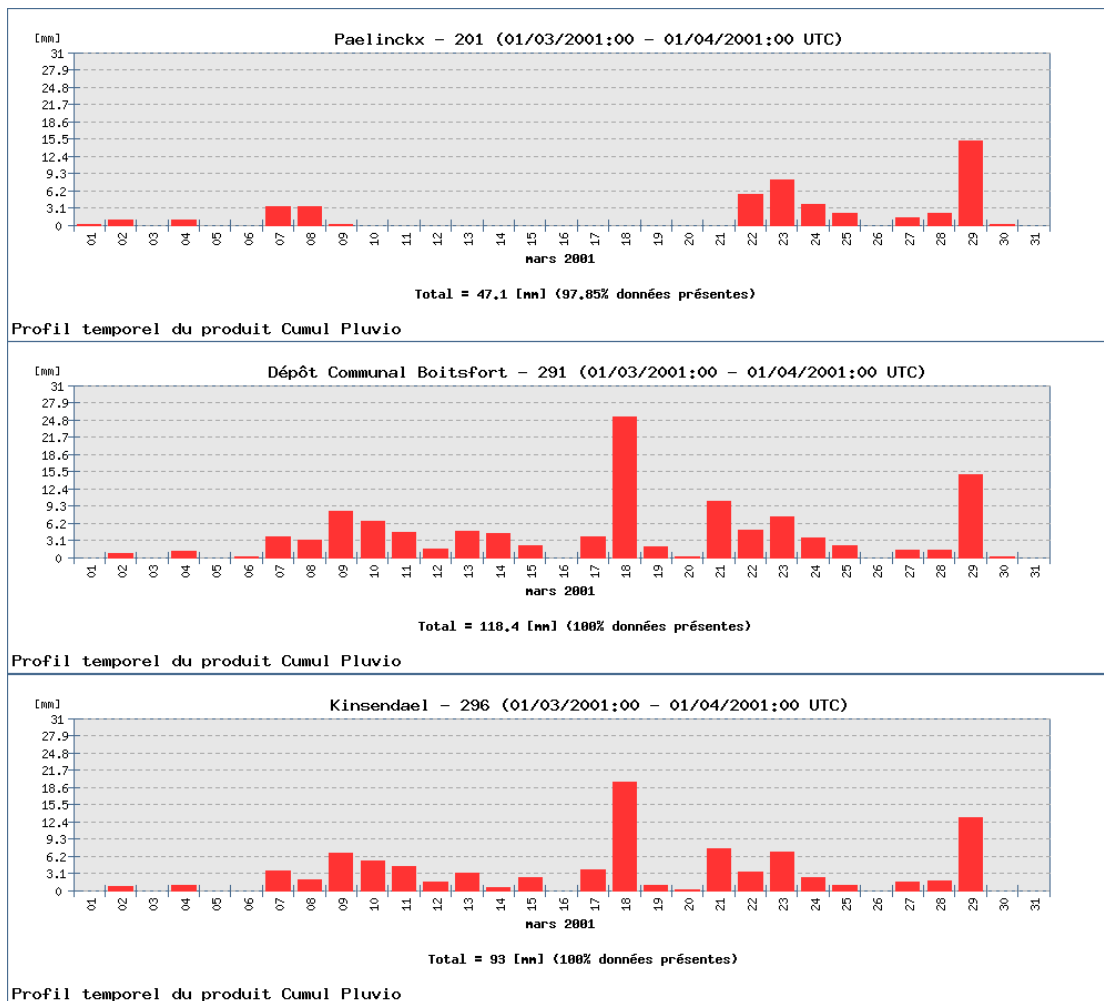


Figure 7 : Profil temporel journalier mettant en évidence des données aberrantes à Paelinckx en mars 2001. L'appareil était probablement bouché.

4.5 Conclusions

Au terme de cette validation, l'IRM pourra fournir en retour une base de données de précipitations validées sous la forme d'un fichier texte, une ligne par valeur. Les champs sont séparés par des points-virgules et sont les suivants : code, timestamp, precip_quantity, qc_flags. Le champ *qc_flags* reprend le code de qualité associé à la quantité de précipitation. Le champ *timestamp* identifie un cumul horaire se terminant à l'heure indiquée, il est exprimé dans le format dd/mm/yyyy:hh. Le champ *precip_quantity* est exprimé en millimètre. Un extrait de la base est repris dans la Table 8.

Table 8: Extrait de la base de données validées.

```
CODE;TIMESTAMP;PRECIP_QUANTITY;QC_FLAGS;
97;28/11/2006:14;0;1;
97;28/11/2006:15;0;1;
97;28/11/2006:16;.1;1;
97;28/11/2006:17;1.4;1;
```

97;28/11/2006:18;.3;1;
 97;28/11/2006:19;0;1;
 97;28/11/2006:20;0;1;
 97;28/11/2006:21;0;1;
 97;28/11/2006:22;0;1;
 97;28/11/2006:23;0;1;
 97;29/11/2006:00;0;1;

La Table 9 reprend l'inventaire des stations qui ont été validées. Pour chaque station, le début coïncide avec le début d'un mois. Si les données reçues de l'IBGE commençaient quelques jours avant, elles n'ont pas été reprises, si par contre elles commençaient quelques jours après le début du mois, les premiers jours ont été estimés. Lorsque les premiers mois d'une station comportaient trop de données estimées, ils n'ont pas été repris dans les données validées.

Table 9: Liste des quatorze stations du marché de services avec la mention du début et de la fin de la période sur laquelle les données sont validées. Le champ début réel est repris de la Table 1.

Code	Nom	Début réel	Début	Fin
97	Anderlecht	20/03/1998:1 5	01/06/1998:0 0	30/09/2007:24
103	Senne Viangros	29/12/1998:2 2	01/01/1999:0 0	30/09/2007:24
201	Paelinckx	31/05/1992:2 3	01/07/1992:0 0	30/09/2007:24
203	Nord	31/05/1992:2 3	01/08/1992:0 0	30/09/2007:24
285	Avant-Port	29/01/2001:1 0	01/02/2001:0 0	30/09/2007:24
286	Roodebeek	30/10/1998:1 0	01/11/1998:0 0	30/09/2007:24
287	Semence	03/11/1997:1 2	01/11/1997:0 0	30/09/2007:24
288	Viangros	20/01/1995:1 1	01/02/1995:0 0	30/09/2007:24
291	Dépôt Communal Boitsfort	31/05/1992:2 3	01/06/1992:0 0	30/09/2007:24
292	Dépôt de Tram	12/02/1993:1 2	01/03/1993:0 0	30/09/2007:24
293	Shopping Center	31/12/1991:2 3	01/06/1992:0 0	30/09/2007:24
296	Kinsendael	31/05/1992:2 3	01/06/1992:0 0	30/09/2007:24
298	Voets	19/06/1992:1 2	01/07/1992:0 0	25/10/2005:11
299	Ganshoren	03/06/1992:0 8	01/06/1992:0 8	30/09/2007:24

5 Répartition spatiale des précipitations

5.1 Comparaison des cumuls aux stations

5.1.1 Etude incluant l'ensemble des stations de l'IBGE

(période : 01/01/2004-30/09/2007)

La période allant du 01/01/2004 au 30/09/2007 a subi un contrôle de qualité complet. En particulier, les valeurs manquantes ont été traitées. Ce contrôle de qualité a été effectué par un opérateur avec l'aide d'un logiciel (voir point 4.4.2). Nous allons nous intéresser en premier lieu à cette période pour effectuer l'analyse comparative des stations. L'IBGE dispose de 14 stations au total. L'une d'entre elles, la station de Voets a cessé de fonctionner le 27/10/2005. Les 13 autres stations ont fonctionné durant toute la période d'intérêt. Ces 13 stations ont été numérotées suivant leur localisation géographique: nous les avons ordonnées suivant la direction sud-nord comme l'indique la Table 10 ci-dessous et la Figure 1 reprise en page 6.

<i>Numero attribué</i>	<i>Nom de la station</i>
1	Paelinckx
2	Kinsendael
3	Dépôt Communal Boitsfort
4	Senne Viangros
5	Viangros
6	Anderlecht
7	Dépôt de Tram
8	Shopping Center
9	Roodebeek
10	Semence
11	Ganshoren
12	Avant-Port
13	Nord

Table 10. Liste des stations utilisées. Période : 01/01/2004-30/09/2007, toutes les stations complètes sur la période.

Nous avons comparé en premier lieu les cumuls totaux des 13 stations sur la période 01/01/2004-30/09/2007 (voir Figure 8). La ligne rouge continue indique la moyenne des cumuls tandis que les deux lignes rouges en pointillé donnent un intervalle de confiance (à 95 %) pour cette moyenne, en faisant l'hypothèse que la répartition des pluies est homogène sur la région de Bruxelles. On observe que les cumuls de 12 parmi 13 stations sont statistiquement semblables. Seule la station n°4 (Senne Viangros) présente un cumul significativement inférieur aux autres stations.

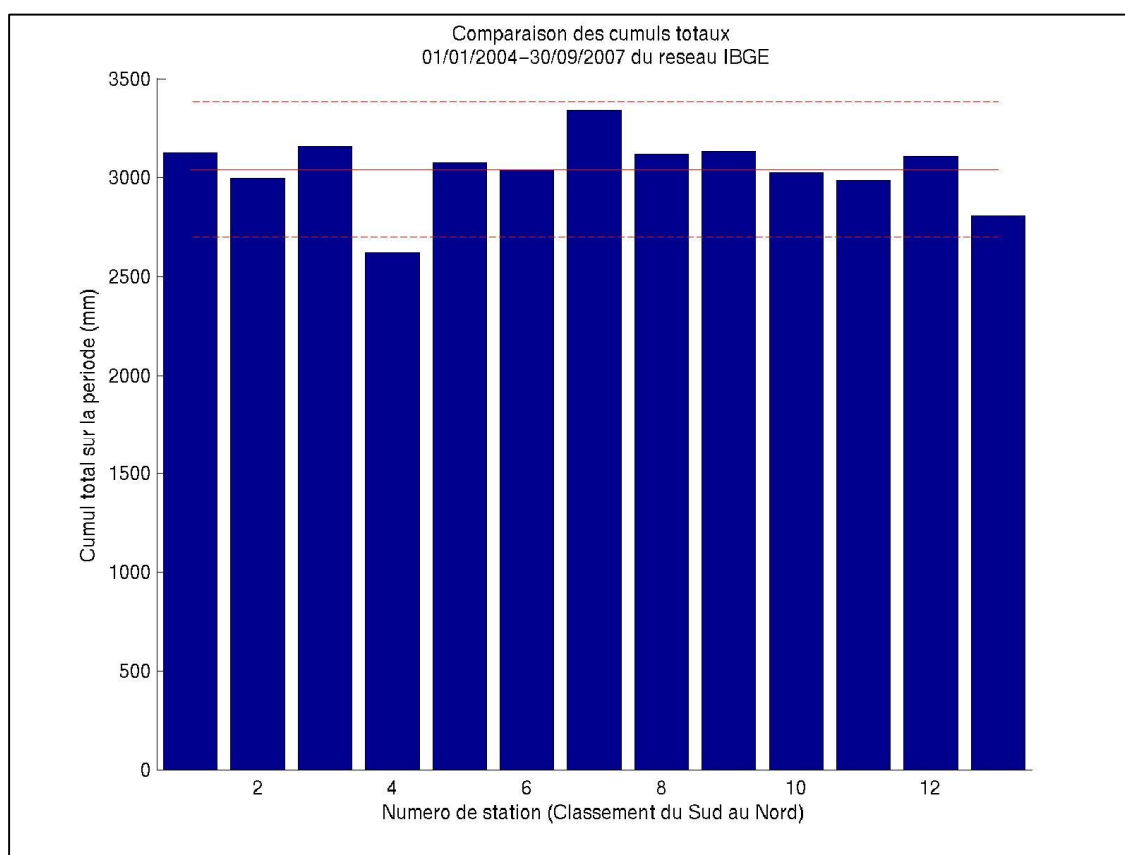


Figure 8. Comparaison des cumuls totaux sur la période 01/01/2004 au 30/09/2007 des stations de l'IBGE reprises à la Table 10.

Nous avons ensuite comparé les cumuls saisonniers disponibles sur la période considérée. Les saisons sont définies comme suit:

- printemps: agrégation des mois de mars, avril et mai
- été: agrégation des mois de juin, juillet et août
- automne: agrégation des mois de septembre, octobre et novembre
- hiver: agrégation des mois de décembre, janvier et février

Ainsi, sur la période 01/01/2004-30/09/2007, 4 printemps, 4 étés, 3 automnes et 3 hivers sont disponibles. Les cumuls saisonniers ont été calculés sur 3 ou 4 saisons suivant les cas.

La Figure 9 présente la comparaison des cumuls saisonniers. Il apparaît que la station de Senne Viangros se démarque statistiquement des autres uniquement au printemps et en automne. Pour les deux autres saisons, les 13 cumuls sont statistiquement semblables. La Table 11 donne une climatologie chiffrée (en mm) pour les quatre saisons et pour l'année complète, basée sur la période étudiée. Les résultats sont repris station par station (une station par colonne) et les cumuls ont été normalisés pour chaque période.

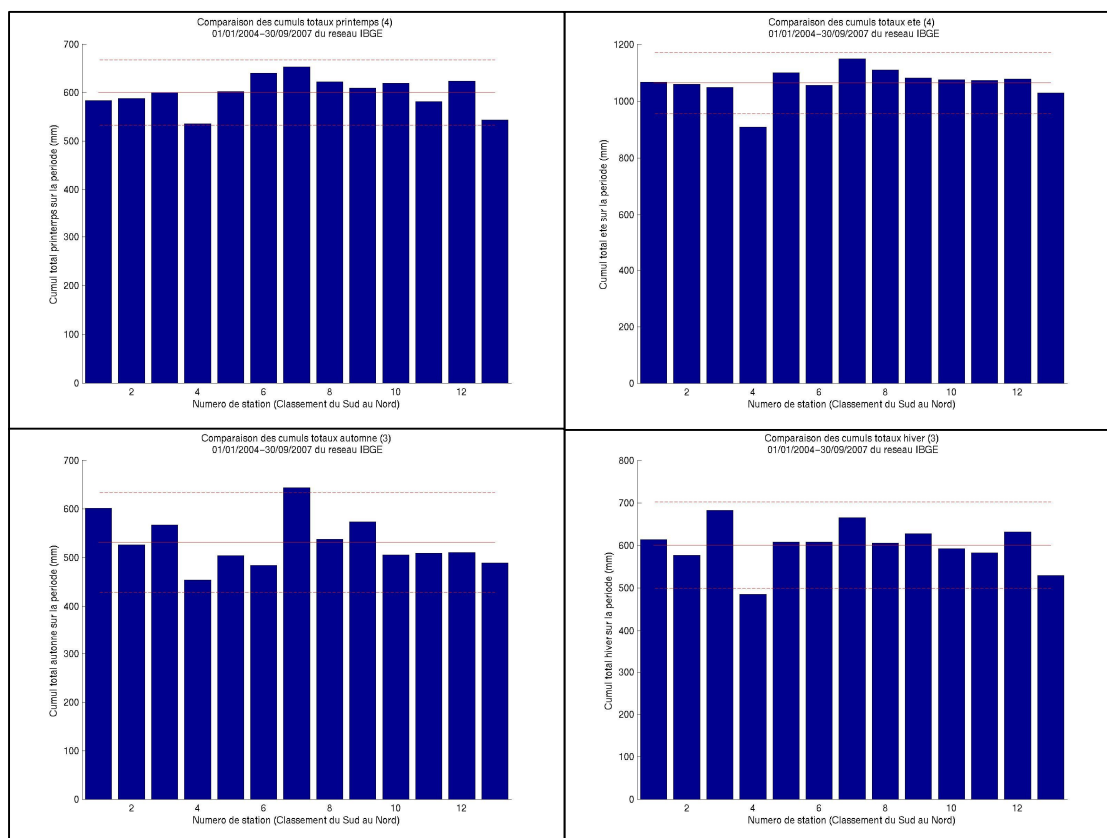


Figure 9. Comparaison des cumuls saisonniers sur la période 01/01/2004 au 30/09/2007 des stations de l'IBGE reprises à la Table 10.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
printemps	156.6	142.6	168.4	123.6	154.4	155.8	175.6	165.8	165.8	157.7	151.9	161.0	141.5
ete	203.8	223.0	209.9	203.0	237.1	230.6	235.6	227.9	218.1	228.7	214.5	221.4	199.1
automne	280.8	245.8	249.1	193.2	229.3	220.8	276.4	244.8	253.5	232.7	239.9	237.4	233.3
hiver	191.3	183.6	209.6	167.9	191.6	192.6	206.2	182.6	195.5	178.8	185.0	198.2	174.5
annee	833.5	799.9	835.6	667.3	805.5	786.1	910.2	833.3	849.9	788.5	788.3	806.0	731.9

Table 11. Climatologie des précipitations (en mm) basée sur la période 01/01/2004-30/09/2007. Chaque colonne reprend les résultats pour une station.

Nous avons également effectué une analyse au niveau mensuel. La période considérée comprend 45 mois et donc 45 graphes ont pu être générés et analysés. Nous reprenons ici quelques statistiques d'intérêt résumant l'information contenue dans ces graphiques. Pour chaque station, nous avons calculé :

- le nombre de fois que le cumul mensuel de la station est au dessus de la borne supérieure de l'intervalle de confiance sur la moyenne des cumuls (statistique S1).
- le nombre de fois que le cumul mensuel de la station est en dessous de la borne inférieure de l'intervalle de confiance sur la moyenne des cumuls (statistique S2).
- Le nombre de fois le cumul mensuel de la station est égal au maximum de tous les cumuls (statistique S3).

- Le nombre de fois le cumul mensuel de la station est égal au minimum de tous les cumuls (statistique S4).

Ces statistiques sont reprises à la Table 12.

Statistique\N°Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
S1	3	0	1	0	2	0	3	0	1	0	0	0	0
S2	1	0	0	9	0	0	0	2	0	0	1	0	1
S3	5	1	6	0	5	3	12	3	1	2	0	7	0
S4	2	2	1	18	3	1	0	5	4	4	4	4	8

Table 12. Statistiques S1 à S4 résumant l'analyse mensuelle pour l'ensemble des 13 stations de l'IBGE étudiées sur la période 01/01/2004-30/09/2007.

L'examen de la Table 12 révèle que la station n°4 (Senne Viangros) présente 9 fois un déficit (au niveau statistique) et présente une valeur minimale à 18 reprises (sur un total de 45). Senne Viangros se comporte donc différemment des autres stations et le déficit observé est vraisemblablement lié à l'instrument (la station de Viangros, située sur le même site ne présente pas ce déficit). Les Figure 10 et Figure 11 illustrent le déficit quasi systématique de la station de Senne Viangros. Il s'agit des données des deux stations Viangros et Senne Viangros (situées sur le même site) pour le mois de février 2004, ainsi que le détail des données horaires pour le 08/02/2004.

La Table 12 révèle également que les statistiques S1 et S3 sont le plus élevées pour respectivement les stations n° 1 (Paelinckx) et n° 7 (Dépôt de Tram). Ces stations présentent des cumuls totaux et mensuels parmi les plus élevés. Mais seuls 3 mois sur 45 sont significatifs.

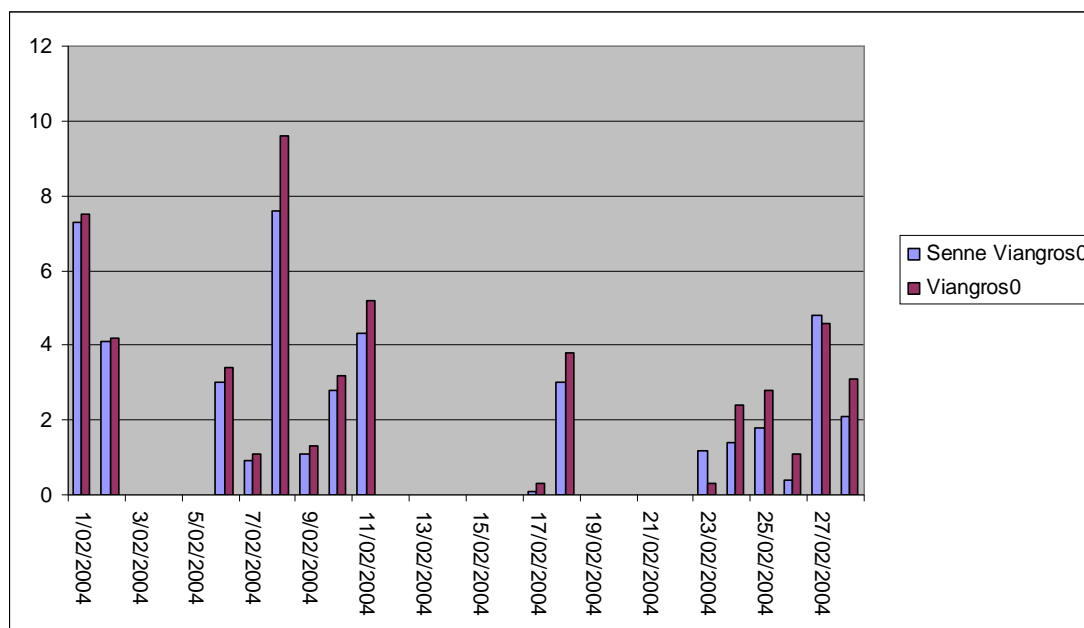


Figure 10: Comparaison des stations Viangros et Senne Viangros pour le mois de février 2004.

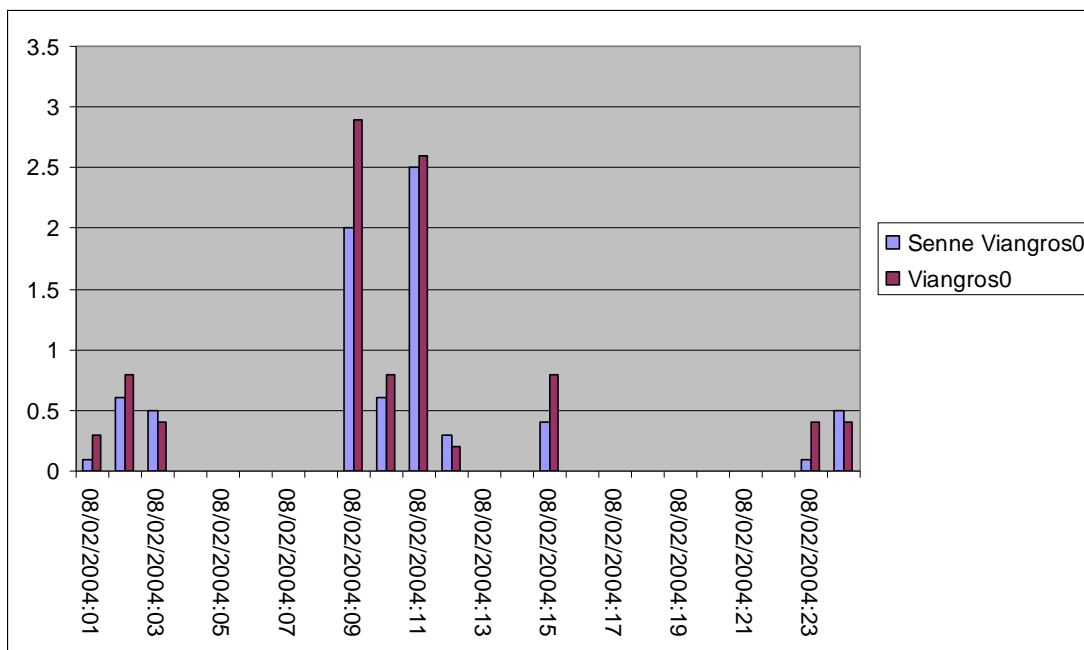


Figure 11: Comparaison des stations de Viangros et Senne Viangros le 8 février 2004.

5.1.2 Etude sans la station de Senne-Viangros

(période : 01/01/2004-30/09/2007)

Etant donné que Senne Viangros présente un déficit anormalement élevé, nous avons effectué les analyses de comparaison de cumul en excluant cette station. Les stations restantes ont été numérotées comme indiqué à la Table 13.

La Figure 12 et la Figure 13 reprennent les comparaisons des cumuls totaux et saisonniers de ces 12 stations.

<i>Numero attribué</i>	<i>Nom de la station</i>
1	Paelinckx
2	Kinsendael
3	Dépot Communal Boitsfort
4	Viangros
5	Anderlecht
6	Dépôt de Tram
7	Shopping Center
8	Roodebeek
9	Semence
10	Ganshoren
11	Avant-Port
12	Nord

Table 13. Liste des stations utilisées. Période : 01/01/2004-30/09/2007, toutes les stations complètes sur la période, en excluant Senne-Viangros.

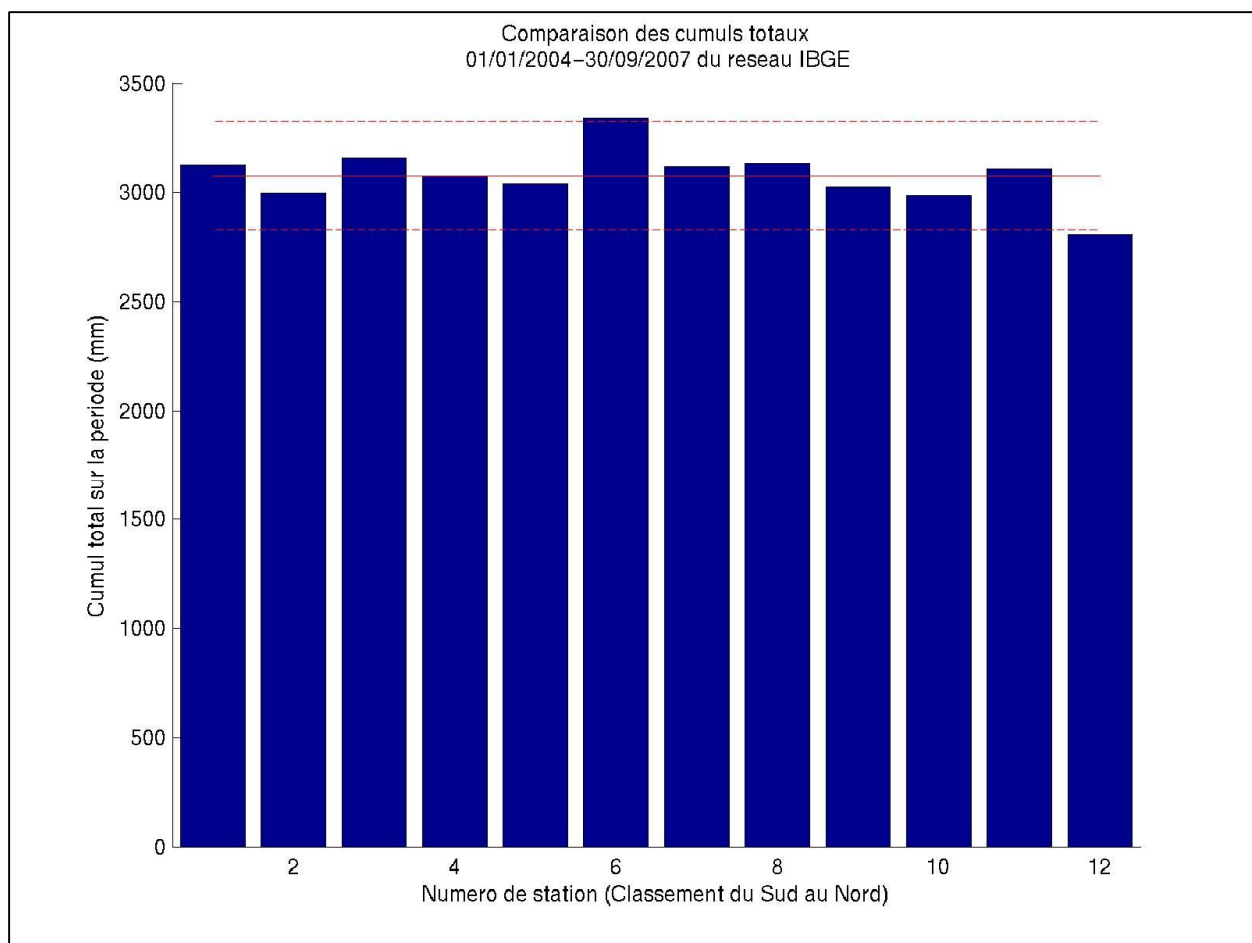


Figure 12. Comparaison des cumuls totaux sur la période 01/01/2004 au 30/09/2007 des stations de l'IBGE reprises à la Table 13.

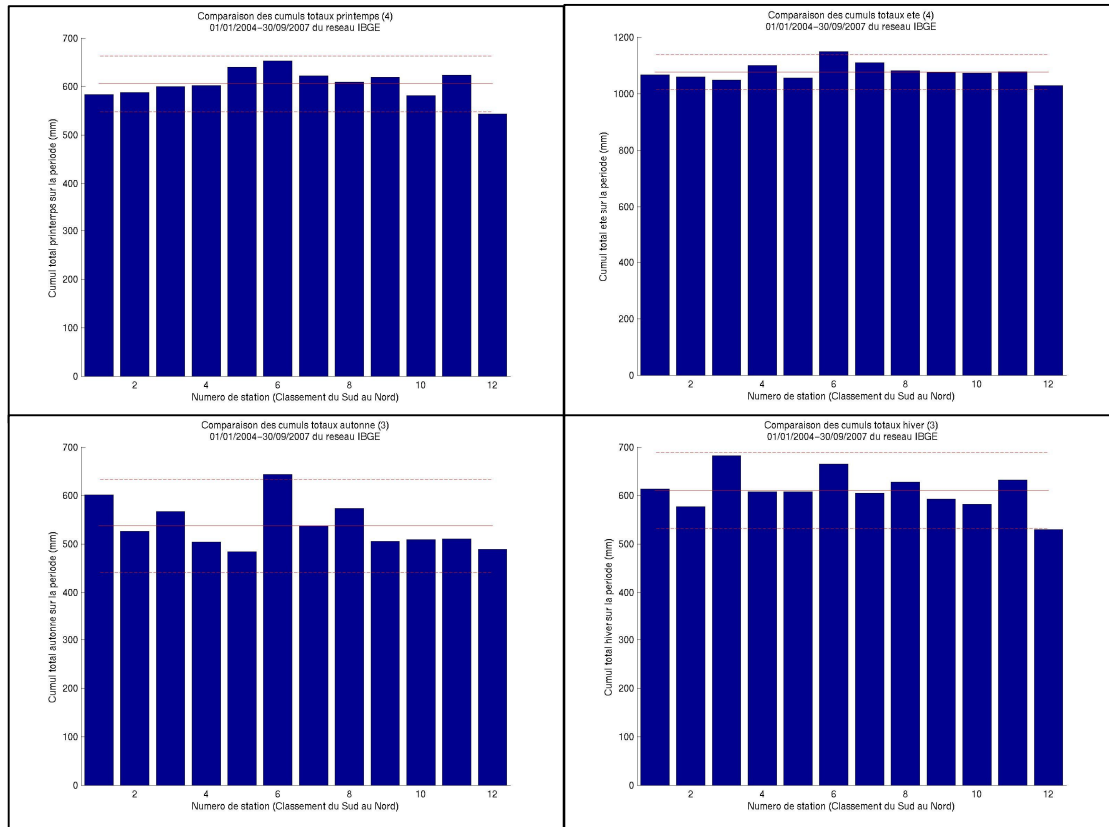


Figure 13. Comparaison des cumuls saisonniers sur la période 01/01/2004 au 30/09/2007 des stations de l'IBGE reprises à la Table 13.

On observe qu'au niveau saisonnier, les cumuls sont statistiquement semblables, au sens où ils restent confinés dans l'intervalle de confiance à 95 % de la moyenne. Etant donné que la station de Senne-Viangros a été retirée de l'analyse cet intervalle de confiance est réduit par rapport à l'intervalle obtenu pour les 13 stations. Cette remarque vaut également pour les cumuls totaux. L'analyse de ces derniers (Figure 12) montre que la station n°12 (Nord) présente un cumul total qui statistiquement peut être considéré comme plus faible que les autres cumuls. Cependant, on peut calculer que ce cumul est compris dans l'intervalle à 99 % de confiance. Le cumul total est donc un peu moins élevé pour la station Nord, ce résultat est significatif au niveau 95 % mais pas au niveau 99 %. Une analyse mensuelle a également été réalisée et une table similaire à la Table 12 a été calculé (Table 14). On observe que la station Nord est celle qui présente les statistiques S2 et S4 les plus élevées. Pour 3 mois particuliers, la station 12 présente un cumul mensuel statistiquement mois élevé que l'ensemble des autres stations. En outre cette station présente un cumul égal à la valeur minimale 14 fois sur 45.

Statistique\N°Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
S1	3	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0
S2	1	2	0	1	0	0	2	0	0	1	0	3
S3	5	1	6	5	3	12	3	1	2	0	7	0
S4	2	7	2	4	3	0	5	4	6	4	4	14

Table 14. Statistiques S1 à S4 résumant l'analyse mensuelle pour l'ensemble des 12 stations de l'IBGE étudiées sur la période 01/01/2004-30/09/2007 et reprises à la Table 13.

5.1.3 Etude sur une période plus longue

(période: 01/01/1999-30/09/2007)

Nous avons également comparé les cumuls sur la période 01/01/1999-30/09/2007. Cette période est celle qui a été choisie pour effectuer les cartes montrant la variation spatiale des normales pluviométriques sur Bruxelles.

Cette période de 8 ans et 9 mois a été obtenue comme compromis entre la durée la plus longue possible à prendre en considération (nécessaire d'un point de vue climatologique) et le nombre de stations ouvertes le plus élevé possible pour mettre en évidence d'éventuelles variations spatiales. Pour cette période, 12 stations ont été en activité du début à la fin. Ces stations sont reprises à la Table 15. Si nous avons choisi une période plus longue, débutant au 01/01/1993, l'ensemble des stations disponibles aurait été réduit à 7 (voir Table 9), ce qui ne nous a pas semblé suffisant pour caractériser spatialement les précipitations sur Bruxelles.

Nous avons travaillé à partir des séries complètes, obtenues après l'étape de contrôle de qualité. Ce contrôle de qualité a été effectué de manière automatique, sans l'aide d'un opérateur, sur la période 1992-2003.

<i>Numero attribué</i>	<i>Nom de la station</i>
1	Paelinckx
2	Kinsendael
3	Dépot Communal Boitsfort
4	Senne Viangros
5	Viangros
6	Anderlecht
7	Dépôt de Tram
8	Shopping Center
9	Roodebeek
10	Semence
11	Ganshoren
12	Nord

Table 15. Liste des stations utilisées. Période : 01/01/1999-30/09/2007.

La Figure 14 reprend les résultats obtenus pour les cumuls totaux sur la période 01/01/1999-30/09/2007. La Figure 15 reprend les résultats obtenus pour les cumuls annuels normalisés (somme des cumuls annuels des années complètes divisé par le nombre d'années) tandis que la Figure 16 donne les résultats pour les cumuls saisonniers normalisés. La Table 16 résume l'analyse mensuelle effectuée pour la période considérée. Cette analyse est similaire à celles précédemment effectuées. On observe que les cumuls totaux, annuels normalisés et saisonniers normalisés sont statistiquement semblables au seuil de confiance 95 %. La station de Senne Viangros présente un cumul faible mais l'écart par rapport à la moyenne n'est pas aussi marqué que celui obtenu pour la période 2004-2007. Nous proposons cependant de ne pas inclure cette station pour le calcul des cartes des normales pluviométriques car ce cumul est anormalement faible en comparaison des valeurs obtenues pour les stations proches (Viangros et Anderlecht). L'examen des statistiques mensuelles (Table 16) révèle que la station Nord présente les statistiques S2 et S4 les plus élevées. De plus cette station présente le cumul total le plus faible. Le déficit de la station Nord peut être expliqué par la relation entre cumul et altitude. Ce point sera développé au paragraphe suivant. On remarque également à la Table 16 que la station n°1 (Paelinckx) présente les statistiques S1 et S3 les plus élevées. Cette station présente de plus le cumul total le plus élevé sur toute la période. Ce fait peut également être expliqué par la relation entre cumul et altitude.

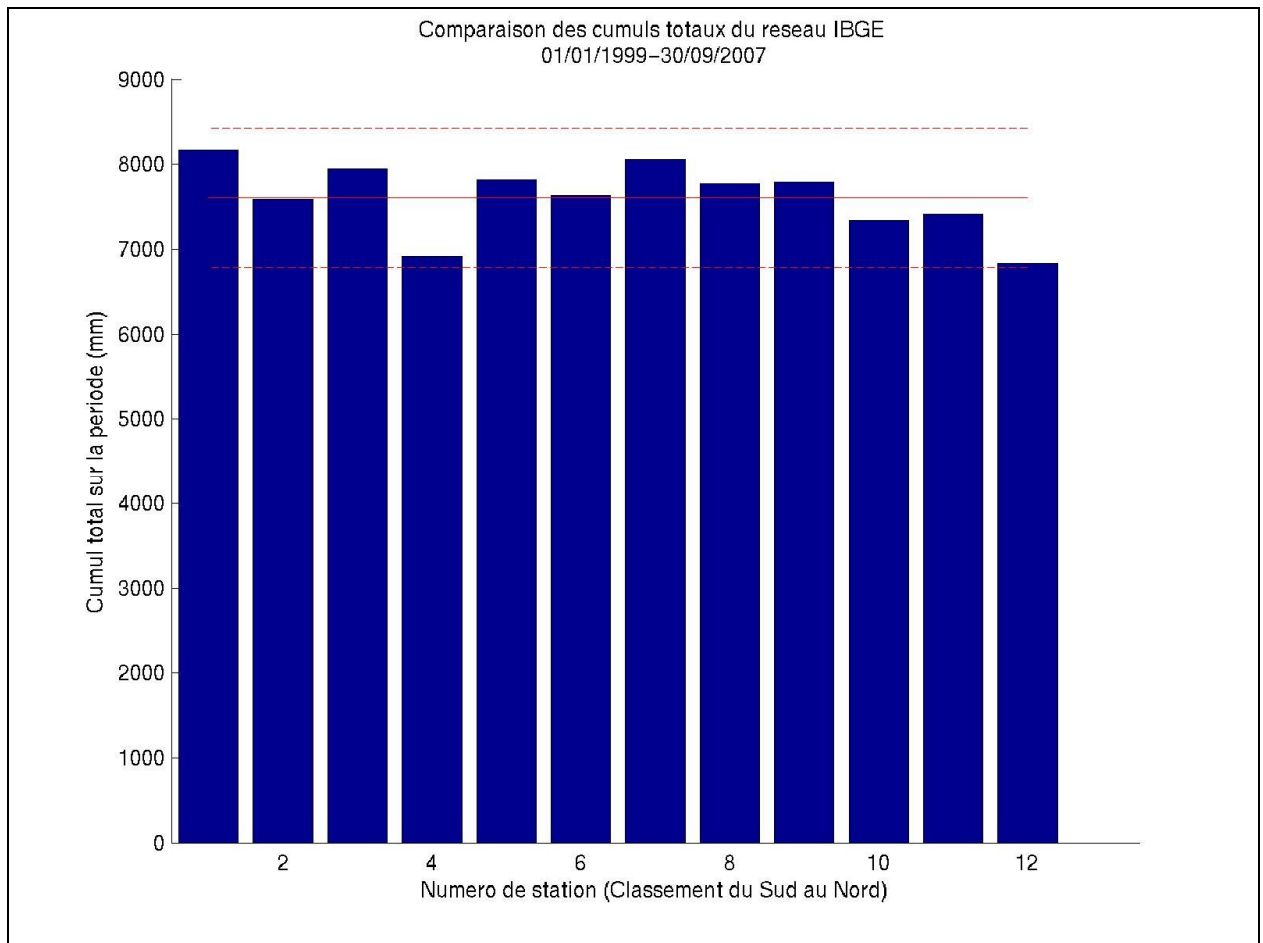


Figure 14. Comparaison des cumuls totaux sur la période 01/01/1999 au 30/09/2007 des stations de l'IBGE reprises à la Table 15.

Statistique\N°Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
S1	8	2	4	0	3	0	3	0	1	0	0	1
S2	1	1	1	8	0	1	1	2	0	0	1	8
S3	21	10	17	1	11	4	18	9	5	2	5	2
S4	4	4	6	32	3	2	1	6	10	5	9	33

Table 16. Statistiques S1 à S4 résumant l'analyse mensuelle pour l'ensemble des 12 stations de l'IBGE étudiées sur la période 01/01/1999-30/09/2007 et reprises à la Table 15.

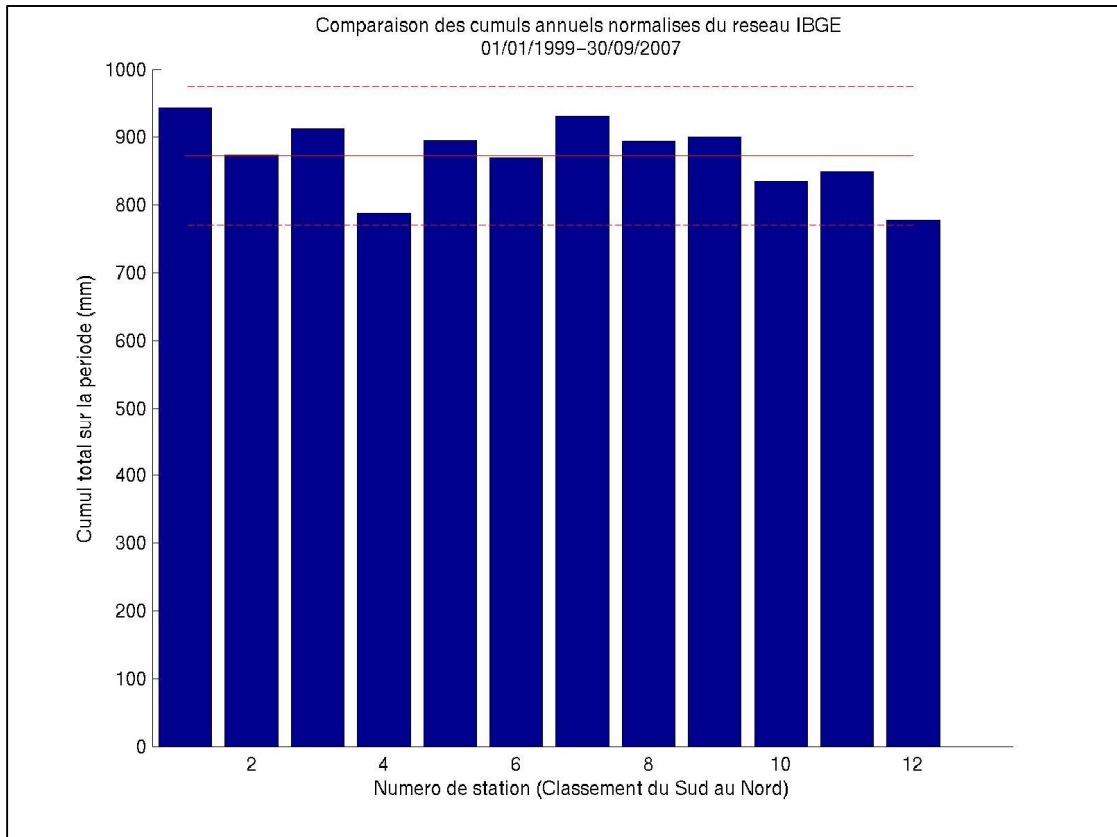


Figure 15. Comparaison des cumuls annuels normalisés sur la période 01/01/1999 au 30/09/2007 des stations de l'IBGE reprises à la Table 15.

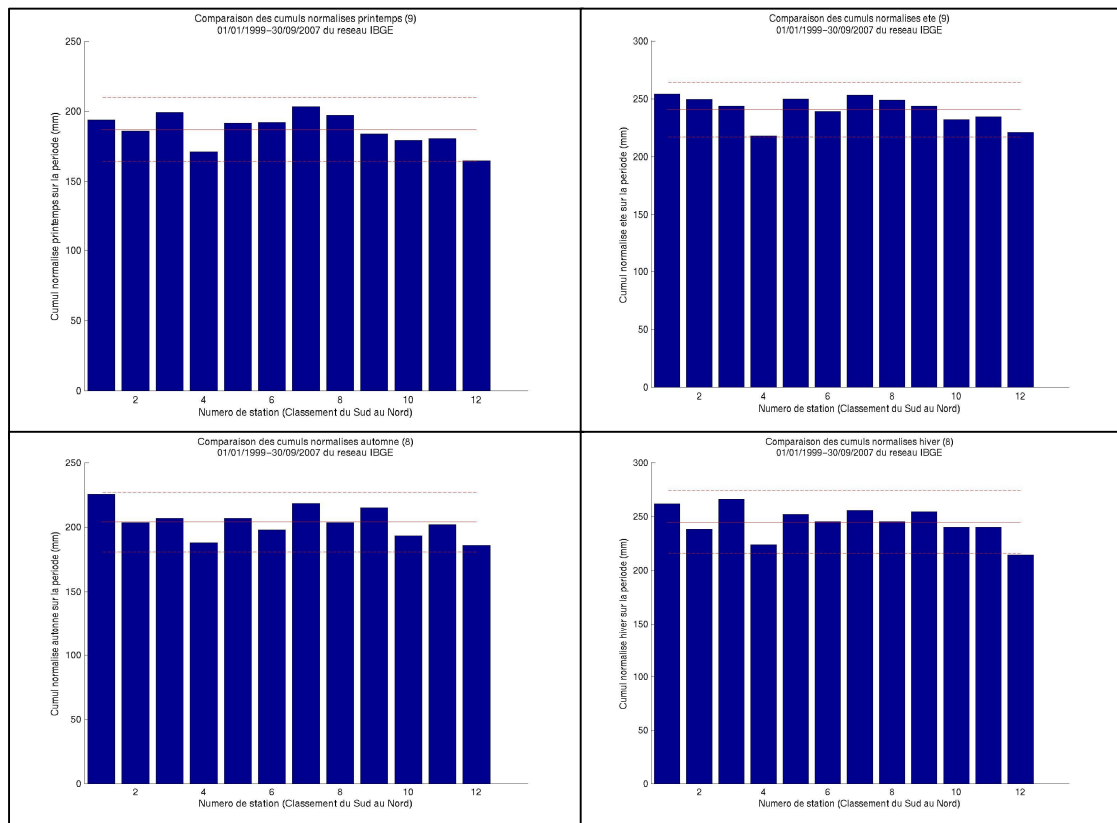


Figure 16. Comparaison des cumuls saisonniers normalisés sur la période 01/01/1999 au 30/09/2007 des stations de l'IBGE reprises à la Table 15.

5.1.4 Conclusions

La station de Senne Viangros présente un déficit par rapport aux autres stations. Ce déficit est sans doute lié à l'instrument. La station la plus au nord (Nord) est celle qui présente le plus faible cumul sur la période 01/01/1999-30/09/2007. C'est aussi la station la moins élevée. La station la plus au sud (Paelinckx), qui est aussi la station la plus haute présente le cumul le plus élevé sur la même période.

Un test statistique spécifique (égalité des moyennes) a été utilisé sur deux périodes différentes et sur plusieurs ensembles de stations. Ce test indique que l'ensemble des stations à l'exclusion de Senne Viangros présentent des cumuls qui peuvent être considérés comme identiques. Notons que la méthodologie est conservatrice : on rejette l'hypothèse d'homogénéité uniquement lorsqu'on a peu de chance de se tromper. Pour cette étude, un seuil de 5 % (ou 95 % de confiance) a été choisi.

Le paragraphe suivant montre qu'il existe un lien entre l'altitude et le cumul, expliquant les variations observées dans ce chapitre.

5.2 Influence de l'orographie

Afin d'étudier l'influence de la forêt de Soignes sur les précipitations, nous avons sélectionné un ensemble de stations situées dans un rayon de 30 km autour de Bruxelles. La Figure 12 reprend l'ensemble des stations disponibles, tous réseaux confondus. Un sous-ensemble de ces stations a été sélectionné pour l'étude (voir Tableau 6). Seules les stations ayant fonctionné durant la période de référence 01/01/2004-30/09/2007 ont été retenues. Cette période est celle sur laquelle le contrôle de qualité du réseau de l'IBGE a été effectué avec l'aide d'un opérateur.

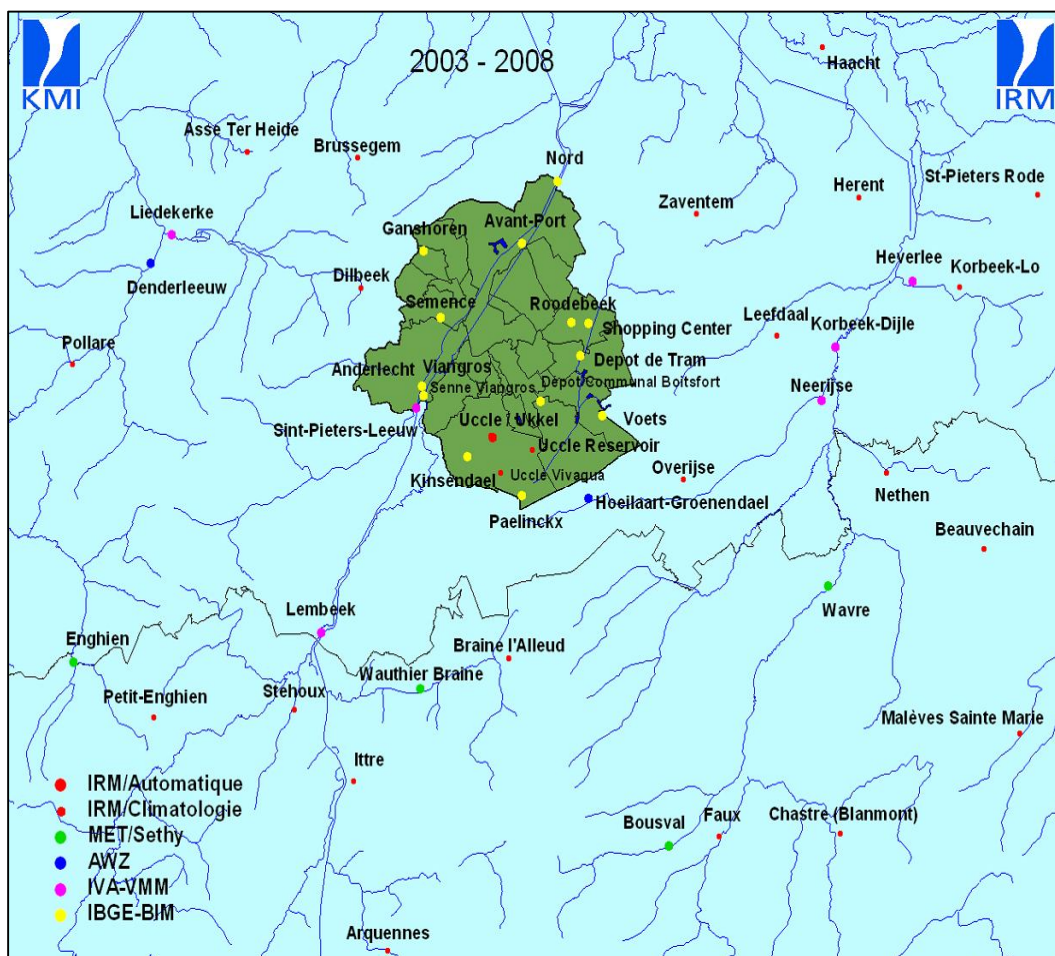


Figure 17: Stations disponibles aux alentours de Bruxelles.

Code	Altitude (m)	Nom	Cumul (mm)
2109	10	Haacht	3049,2
203	16	Nord	2808,6
285	16	Avant-Port	3108,7
103	21	Senne Viangros	2622,2
288	21	Viangros	3075,4
97	22	Anderlecht	3040,8
299	29	Ganshoren	2985,3
3309	32	Herent	2981,8
293	42	Shopping Center	3119,6
1205	42	Brussegem	3378,5
3005	43	Korbeek-Lo	2860,0
287	43	Semence	3024,4
3317	47	Nethen	2857,4
292	48	Depôt de Tram	3342,5
296	48	Kinsendael	2996,8
2708	48	Stehoux	2952,8
286	50	Roodebeek	3133,8
1210	50	Asse Ter Heide	3390,8
2905	58	Zaventem	2818,6

3313	60	St-Pieters Rode	3009,5
2710	75	Dilbeek	3022,6
2804	75	Petit-Enghien	2993,9
291	76	Dépot Communal Boitsfort	3157,5
3310	80	Faux	3421,2
3315	80	Leefdaal	3052,2
2907	92	Braine l'Alleud	3369,1
4003	95	Arquennes	3131,3
2900	100	UCCle IRM P50	3165,4
3311	100	Uccle Vivaqua	3601,7
3007	119	Uccle Reservoir	3313,0
3401	120	Beauvechain	2421,8
201	122	Paelinckx	3127,5
3303	125	Chastre (Blanmont)	3335,2
2903	128	Malèves Sainte Marie	3141,3

Table 17: Stations sélectionnées pour l'étude de l'influence de l'altitude sur le cumul de précipitations. (Bruxelles et alentours)

En premier lieu, nous avons comparé les différents cumuls totaux sur la période pour détecter la présence de stations dont le cumul s'éloigne significativement de l'ensemble des cumuls (Figure 18).

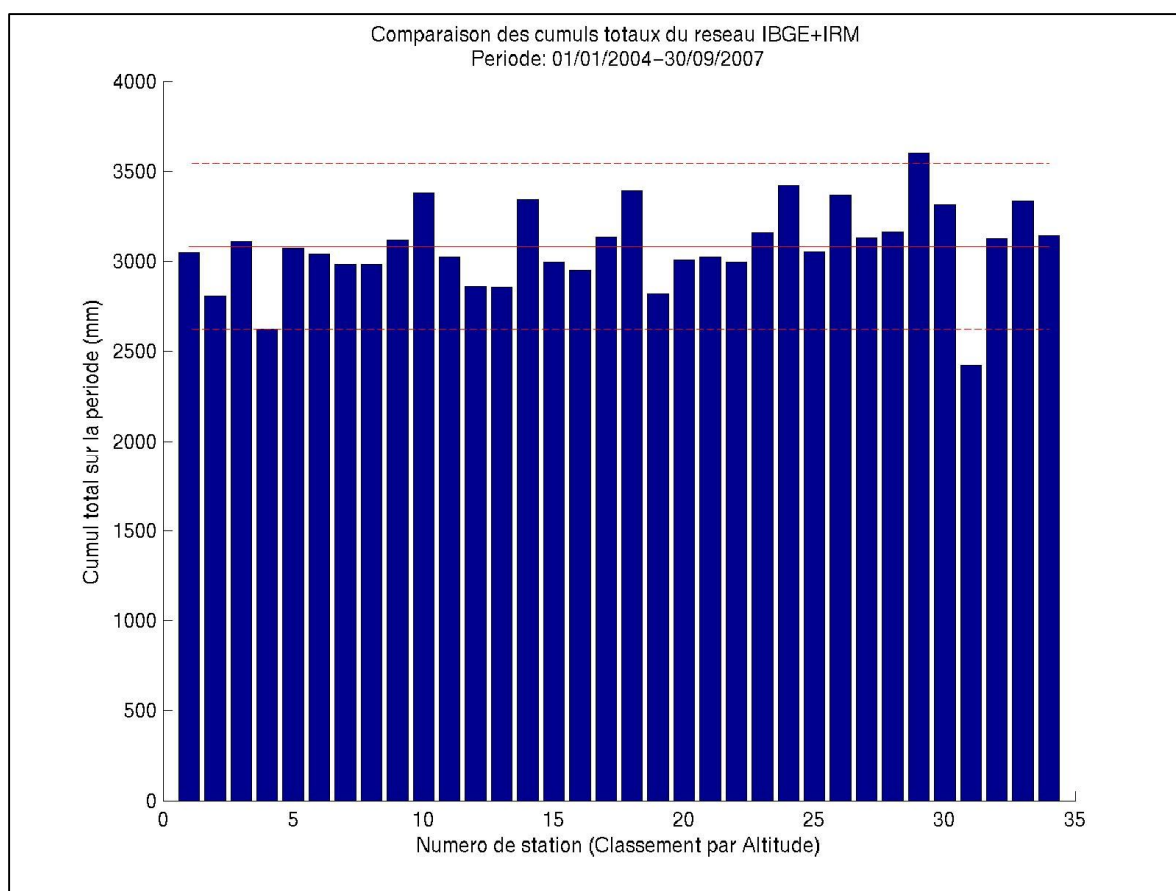


Figure 18: Comparaison des cumuls totaux sur la période 01/01/2004-30/09/2007, des stations reprises au tableau 6. Le nombre de stations est égal à 34. Ces stations sont classées par ordre croissant d'altitude.

On observe que deux stations ont des cumuls significativement inférieurs à l'ensemble des autres cumuls. Il s'agit des stations de Senne Viangros (IBGE) et de Beauvechain (IRM). Le déficit de la station de Senne Viangros a déjà été mentionné. Le déficit de Beauvechain est un problème lié à l'instrument. Remarquons que cette station est devenue une station automatique. Les cumuls de ces deux stations ne seront pas pris en compte pour l'étude de l'influence de l'altitude sur le cumul pluvieux.

Il est apparu que l'altitude est le facteur principal permettant d'expliquer la variabilité des cumuls. L'effet de la forêt de Soignes, est un facteur secondaire, masqué par ce facteur principal. Nous avons décidé pour cette étude de nous concentrer sur l'effet d'altitude. Nous ne sommes pas parvenu à isoler l'effet de la forêt de Soignes proprement dit.

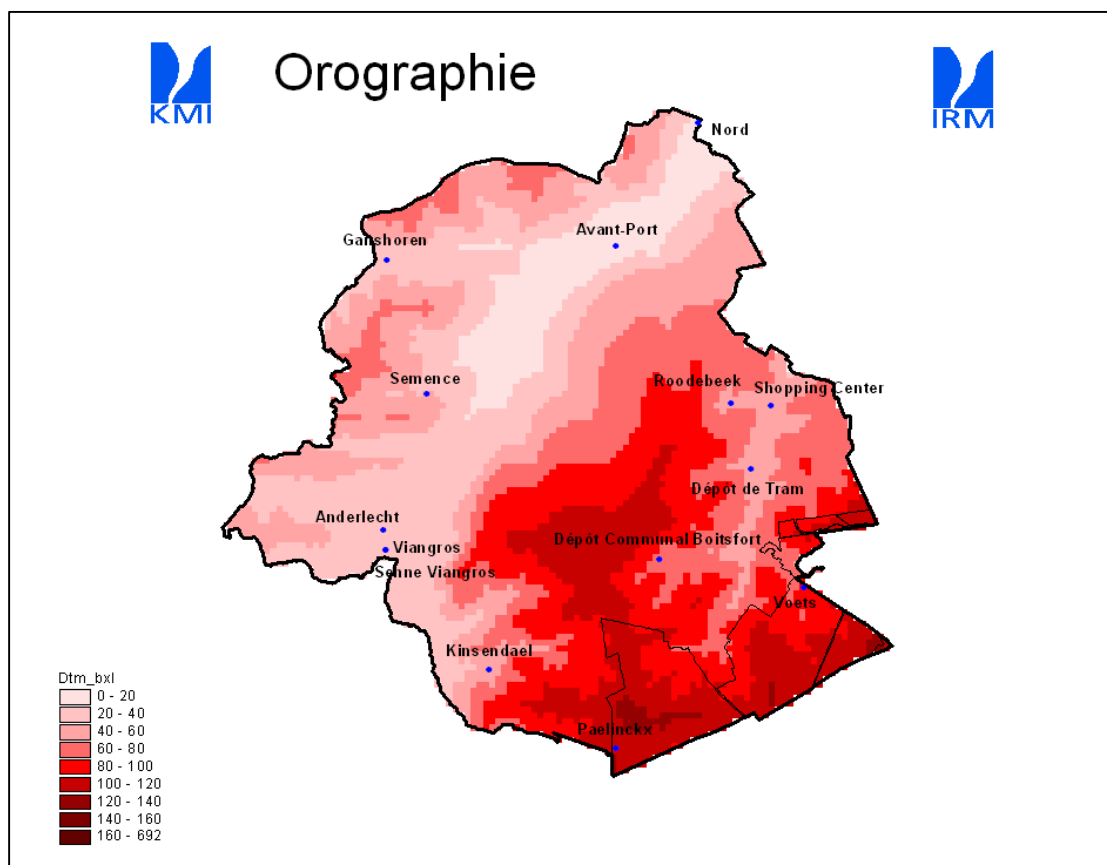


Figure 19. Orographie de la Région de Bruxelles-Capitale.

La Figure 19 présente l'orographie de la Région de Bruxelles-Capitale. On observe un gradient d'altitude allant globalement du Nord-Ouest (faibles altitudes) au sud-est (altitudes élevées).

Nous avons étudié la relation entre les cumuls totaux et l'altitude (Figure 20) pour l'ensemble des stations reprises à la Table 17. Une corrélation positive et égale à 0.46 est obtenue. Ce chiffre est significativement supérieur à zéro, au niveau de confiance 95 %. Une analyse par saison a également été effectuée (Figure 21). Pour chaque saison, des corrélations positives entre l'altitude et le cumul sont obtenues. Les tests statistiques montrent que les corrélations obtenues pour le printemps, l'été et l'hiver sont significatives (la corrélation pour l'automne n'est pas significative) et ce au niveau de confiance 95 %.

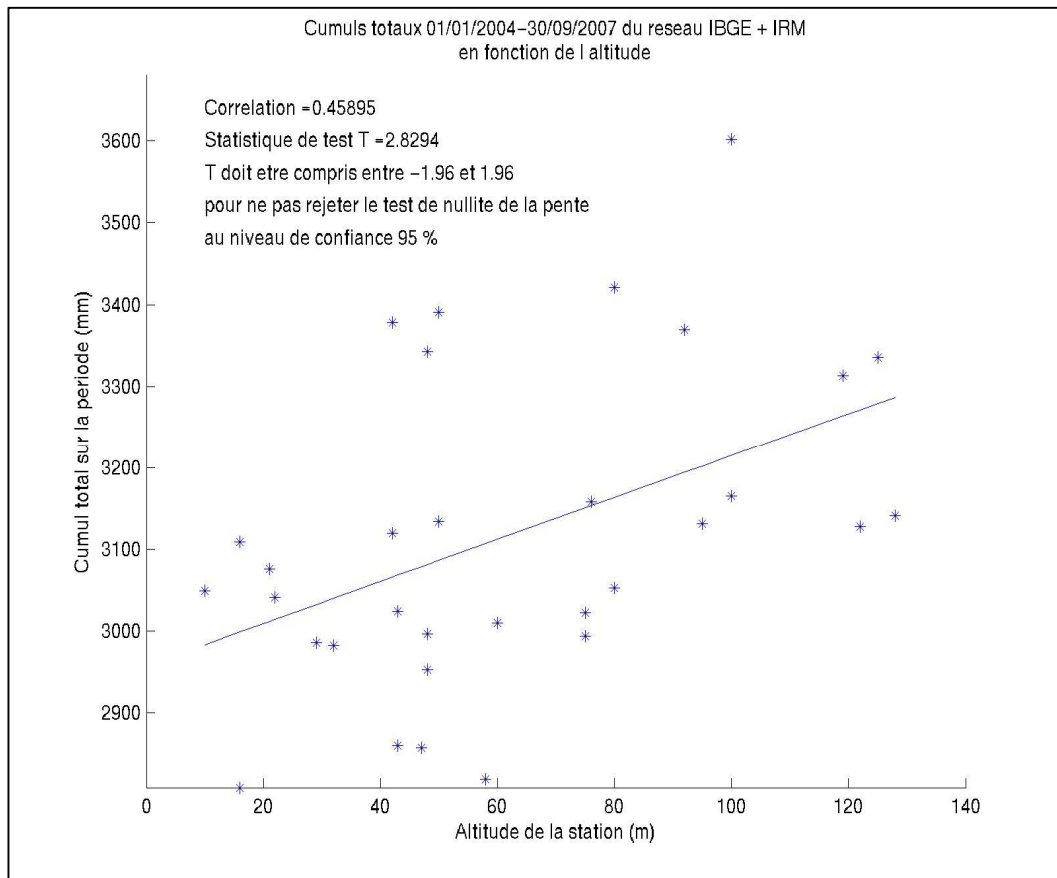


Figure 20: Corrélation entre altitude et cumul total pour l'ensemble des stations reprises à la Table 17.

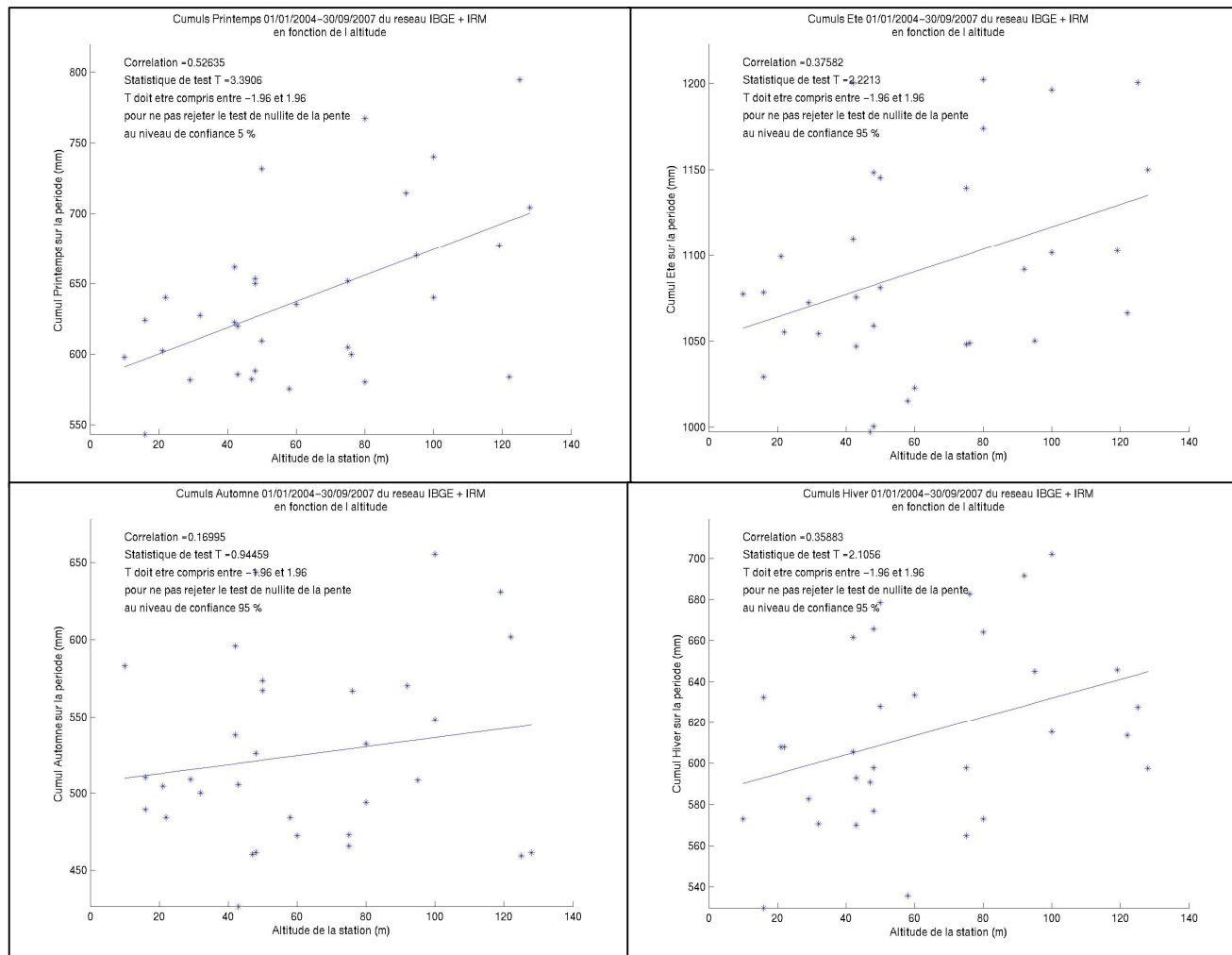


Figure 21. Corrélation entre altitude et cumul saisonnier pour l'ensemble des stations reprises à la Table 17.

Nous avons ensuite refait la même analyse, mais centrée sur Bruxelles. Les stations utilisées sont reprises à la Table 18. La Figure 22 illustre la corrélation trouvée entre le cumul total et l'altitude. Cette corrélation (0.57) est positive et significativement supérieure à zéro au niveau de confiance 95 %. Les corrélations saisonnières obtenues sont toutes positives, mais seul l'automne présente une corrélation significativement supérieure à zéro au seuil 95 %.

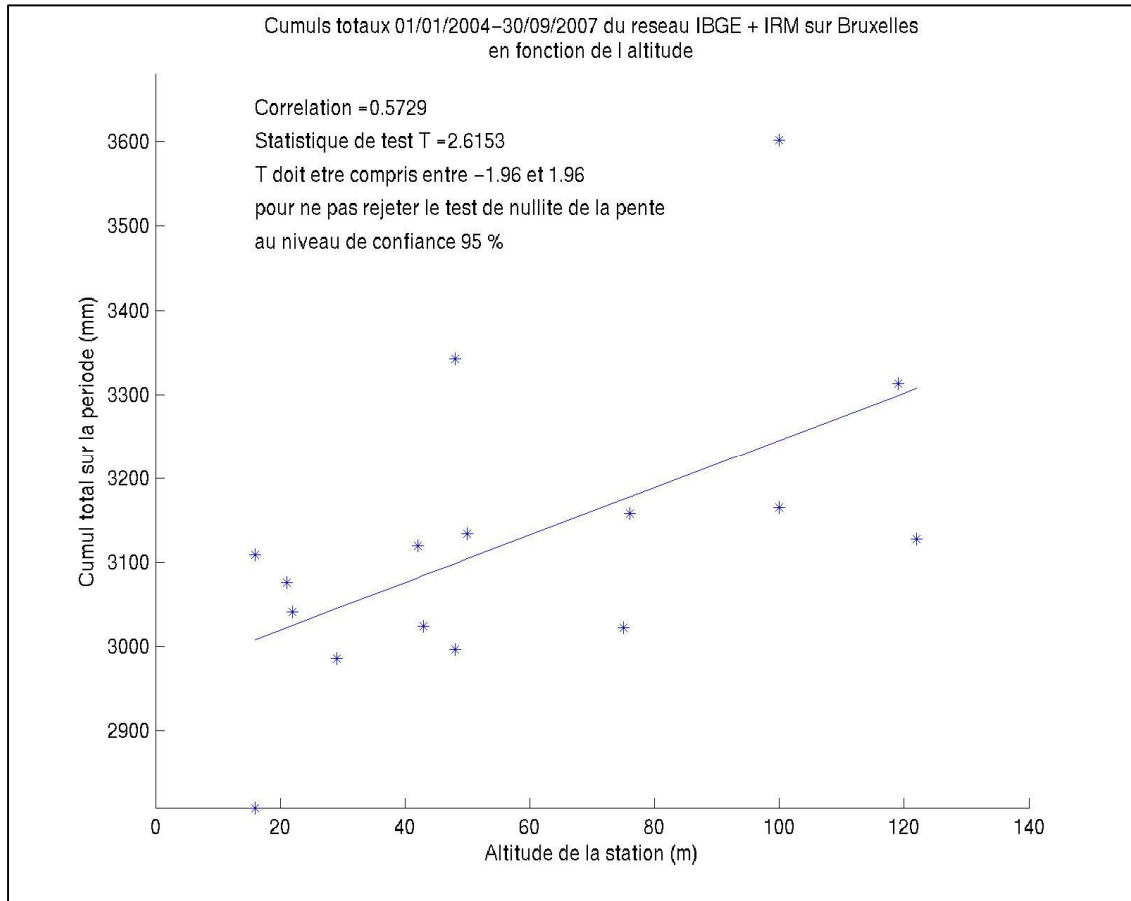


Figure 22: Corrélation entre altitude et cumul total pour l'ensemble des stations reprises à la Table 18.

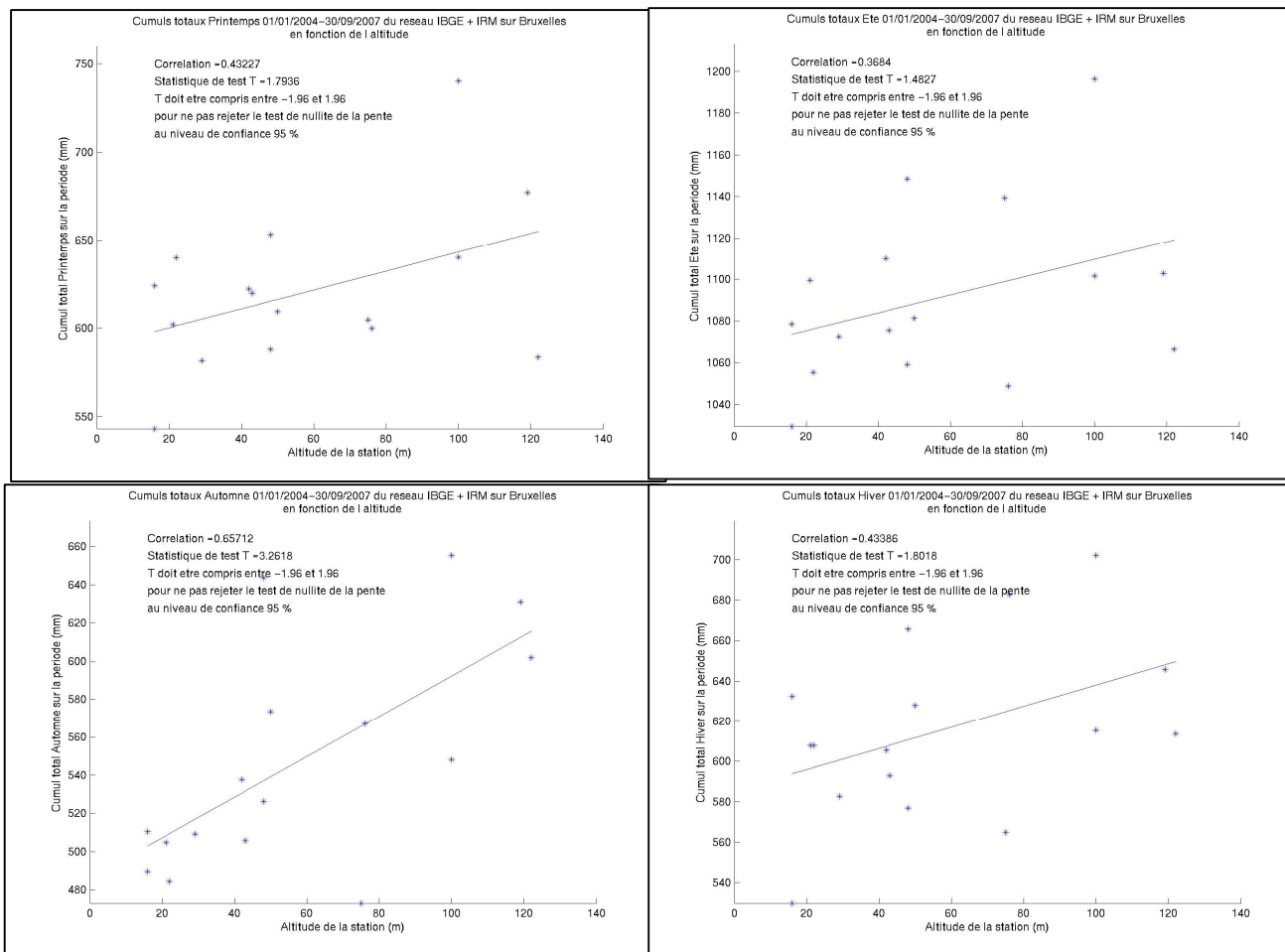


Figure 23: Corrélation entre altitude et cumul saisonnier pour l'ensemble des stations reprises à la Table 18.

En conclusion, on observe un lien positif entre l'altitude des stations et le cumul mesuré à cette station. Ce lien est significatif au sens statistique lorsque l'on considère le cumul total. Au niveau saisonnier, nous devons rester prudents au niveau des conclusions car même si les corrélations obtenues sont positives, elles ne sont pas significatives pour toutes les saisons. Au niveau quantitatif, le gradient de cumul en fonction de l'altitude est de l'ordre de 300 mm par 100 mètres pour 45 mois de données. Ce qui fait environ, 80 mm par 100 mètres pour un cumul annuel. Notons que dans cette étude la connaissance précise de l'altitude est importante car l'écart entre la station la plus basse et la plus élevée n'est que d'environ cent mètres. Nous avons donc contrôlé et parfois corrigé l'altitude de ces stations. La Forêt de Soignes étant située à une altitude relativement élevée (100 m), il est normal de constater des cumuls plus élevés pour les stations situées aux alentours.

Code	Altitude (m)	Nom	Cumul (mm)
203	16	Nord	2808,6
285	16	Avant-Port	3108,7
288	21	Viangros	3075,4
97	22	Anderlecht	3040,8
299	29	Ganshoren	2985,3
293	42	Shopping Center	3119,6
287	43	Semence	3024,4
292	48	Depot de Tram	3342,5
296	48	Kinsendael	2996,8
286	50	Roodebeek	3133,8
2710	75	Dilbeek	3022,6
291	76	Dépot Communal Boitsfort	3157,5
2900	100	UCCLe IRM P50	3165,4
3311	100	Uccle Vivaqua	3601,7
3007	119	Uccle Reservoir	3313,0
201	122	Paelinckx	3127,5

Table 18: Stations sélectionnées pour l'étude de l'influence de l'altitude sur le cumul de précipitations (sur le territoire de Bruxelles).

5.3 Cartographie des précipitations

La période 01/01/1999-30/09/2007 a été sélectionnée pour l'obtention des cartes des précipitations sur le territoire de la Région bruxelloise aux échelles saisonnière et mensuelle. Pour l'échelle annuelle, cette période se réduit à la période 1999-2006. Pour les autres périodes (saisonnières ou mensuelles), la période est en fait variable : par exemple, pour le printemps (mars à mai), il s'agit de 1999-2007 et pour le mois de décembre, 1999-2006. Par abus de langage, et pour simplifier la présentation, nous parlerons toujours de la période 1999-2006.

La période a été choisie comme compromis entre la période la plus longue possible (pour avoir des moyennes les plus représentatives du point de vue climatique) et le nombre de stations en fonctionnement le plus important possible (pour permettre l'étude spatiale la plus pertinente). Douze stations du réseau de l'IBGE ont fonctionné du début à la fin de la période 1999-2006. Ces douze stations sont reprises en annexe 3 à la Table 21. De ces douze stations, nous avons exclu la station de Senne Viangros en raison du déficit anormalement élevé qu'elle présente (voir point 5.1.3).

Pour l'obtention des cartes de précipitations, les valeurs moyennes aux stations (mensuelles, saisonnières et annuelles) ont d'abord été calculées sur la période retenue. La moyenne consiste à diviser le cumul total par le nombre d'éléments ayant servi à calculer ce cumul. Par exemple, le cumul estival moyen s'obtient en divisant le cumul total estival par le nombre d'étés disponibles sur la période. Les valeurs moyennes aux différentes stations sont données à la Table 22 de l'annexe 3.

Il faut signaler que la période retenue pour le calcul des moyennes inclut les deux années les plus pluvieuses depuis le début des relevés réguliers à Bruxelles en 1833 : en 2001, il est tombé 1088,5 mm sur l'année à Uccle (station IRM) et en 2002, 1077,8 mm. À Uccle, la moyenne annuelle sur la période 1999-2006 est de 884,4 mm, soit près de 8% de plus que sur la période standard de 30 ans retenue actuellement pour définir les normales climatologiques : sur la période 1971-2000, la moyenne des précipitations annuelle à Uccle n'a atteint que 820,3 mm. Après 2002, à Uccle, les précipitations annuelles sont redevenues plus « normales » : en moyenne, sur la période 2003-2007, il est tombé 810 mm.

En conséquence, pour que la cartographie présentée donne non seulement la variation spatiale du champ de précipitations, mais également des valeurs quantitatives représentatives du climat pluviométrique de Bruxelles, les cumuls relevés aux stations IBGE sur la période 1999-2006 ont été modifiés par le rapport des précipitations totales mesurées à Uccle sur la période 1971-2000 et celles mesurées sur la période 1999-2006 (soit un facteur $0,9275 = 820,3/884,4$). Cette calibration a été appliquée aux cumuls mensuels, saisonniers et annuels. Les valeurs moyennes calibrées aux différentes stations sont données à la Table 23 de l'annexe 3.

Enfin, les valeurs aux stations ont aussi été lissées : chaque valeur a été remplacée par une somme pondérée par l'inverse du carré de la distance des valeurs aux autres stations ; la valeur de la station elle-même a compté également dans cette somme pondérée, avec un poids égal à 50 %. Les valeurs calibrées et lissées pour les différentes stations sont données à la Table 24 de l'annexe 3. Le lissage est rendu nécessaire pour éviter sur les cartes les artefacts dus aux effets locaux des stations. A titre d'exemple, ces effets sont clairement visibles à la Figure 24 pour trois stations particulières (Kinsendael, Semence et Dépôt de Tram). Cette figure représente la carte des précipitations annuelles obtenue en utilisant les valeurs aux stations non lissées et non calibrées.

Finalement, les cartes elles-mêmes sont obtenues en interpolant spatialement les valeurs lissées aux stations. L'interpolation a été calculée à l'aide du logiciel Arcview. Nous avons opté pour une interpolation de type spline. Celle-ci nous semblait plus adaptée que l'autre type d'interpolation proposé par le logiciel (consistant à calculer, pour chaque point d'une grille régulière, une moyenne pondérée par l'inverse du carré

de la distance des valeurs ponctuelles aux stations) et ce, pour deux raisons. D'une part, une comparaison entre les deux types de méthodes a révélé que le gradient de précipitation apparaissait plus clairement avec la méthode spline, et d'autre part, d'un point de vue théorique, cette méthode est particulièrement adaptée pour estimer des fonctions qui varient spatialement de manière continue et progressive, ce qui est le cas pour les cumuls mensuels, saisonniers ou annuels de précipitation.

La méthode d'interpolation de type spline consiste à estimer une surface lisse qui passe exactement par les points de mesure et dont la courbure est minimale. Le lecteur intéressé trouvera plus d'informations par exemple dans les références suivantes : David et al.(1999), Kincaid and Cheney (2002) et Shatzman (2002).

La Figure 25 présente la carte annuelle des précipitations obtenue par l'interpolation de type spline en utilisant les valeurs lissées aux stations et calibrées sur la période 1971-2000.

L'ensemble des cartes obtenues aux échelles mensuelles, saisonnières et annuelle est repris à l'annexe 4. Elles sont données dans la projection Lambert 72 (Grid Lambert 72) avec le datum correspondant (Belgian Datum 1972).

L'examen des cartes conduit à une série de constatations. On observe tout d'abord que l'été et l'hiver présentent les cumuls saisonniers les plus élevés (208 à 242 mm/saison), le printemps étant la saison où il pleut le moins (160 à 192 mm/saison). Au niveau mensuel, les cumuls les plus importants sont observés durant les mois de juillet et août (80 à 95 mm/mois) alors que le mois le plus sec est le mois d'avril (45 à 55 mm/mois). Il est intéressant de noter que tous ces résultats sont similaires à ceux observés à la station centrale de l'IRM à Uccle.

Mais le résultat principal qui ressort de l'examen des cartes est le gradient de précipitations dirigé du nord-ouest au sud-est sur le territoire de la Région bruxelloise. On le retrouve sur la plupart des cartes. La Figure 25 illustre ce résultat à l'échelle annuelle et il est également bien visible pour les quatre saisons. Nous avons vu au point précédent que ce gradient est relié à l'orographie de la Région bruxelloise.

Ce gradient est également visible pour la plupart des mois. Ce n'est cependant pas le cas pour les mois de juillet et août. Au mois de juillet, on observe les valeurs de cumul les plus basses au sud et au nord et les valeurs les plus élevées à l'est et à l'ouest. Pour le mois d'août, une valeur de cumul intermédiaire est observée au nord, alors que pour les autres mois, cette région présente systématiquement les valeurs les plus basses. Ceci doit s'expliquer par le fait qu'en été, une partie importante du cumul de précipitations provient de pluies sous forme d'averses orageuses qui présentent une grande hétérogénéité spatiale.

A ce sujet, une étude détaillée des pluies par temps d'orage dans la Région bruxelloise pourrait apporter des indications utiles sur le type de répartition de ces pluies. En particulier, il semble que le bassin de la Woluwe subisse des précipitations de ce type relativement plus importantes que la plupart des autres régions.

Il faut noter que l'analyse effectuée ici ne concerne que les cumuls de précipitations, indépendamment de la fréquence de celles-ci et de leur intensité. A partir du nombre

de jours de précipitations, on peut par exemple calculer les intensités journalières moyennes. Cela montrait, notamment, que si les cumuls hivernaux et estivaux sont en moyenne relativement similaires, il n'en est pas de même des intensités journalières moyennes durant ces saisons. Ainsi à la station de l'IRM à Uccle, sur la période 1999-2006, les intensités journalières estivales sont en moyenne plus importantes de 30% par rapport aux intensités journalières hivernales.

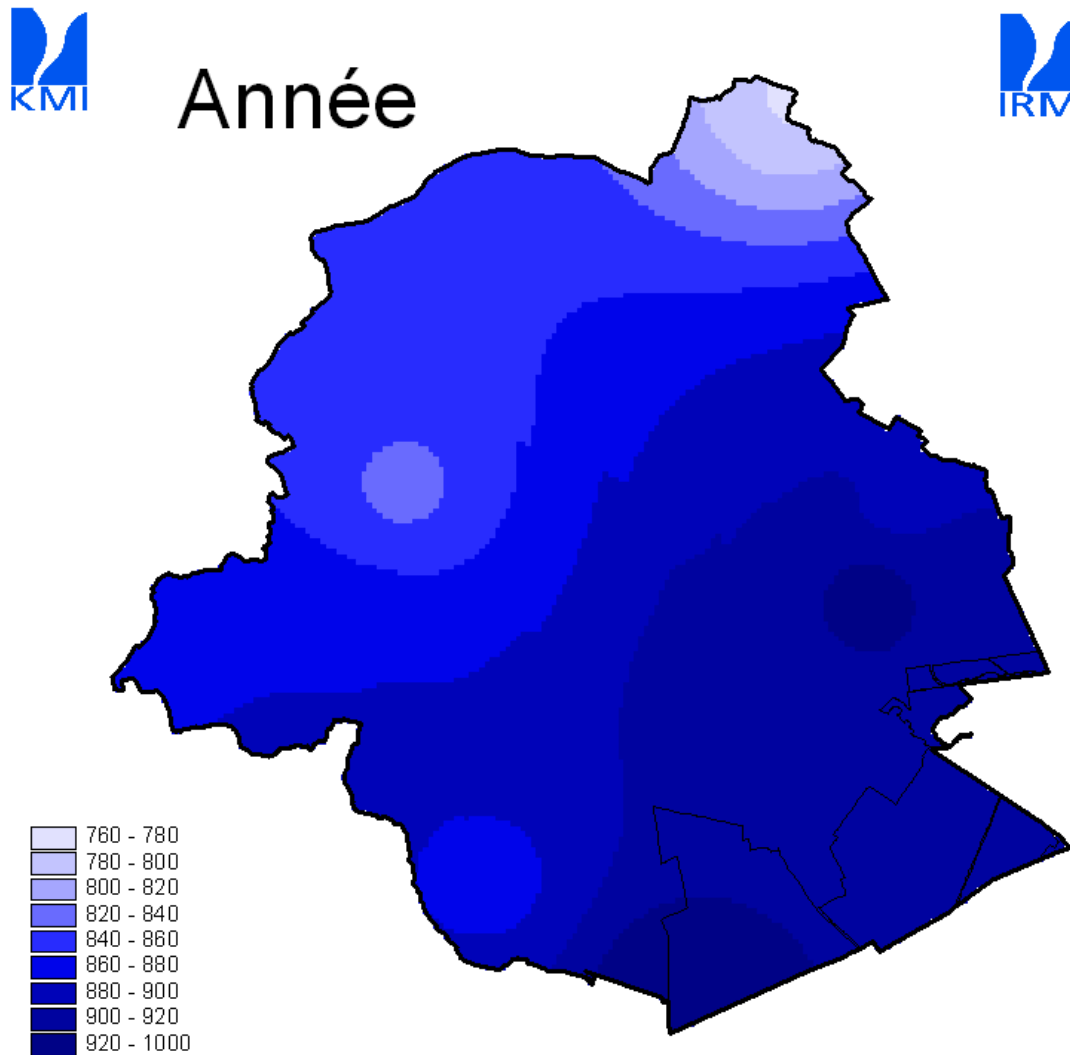
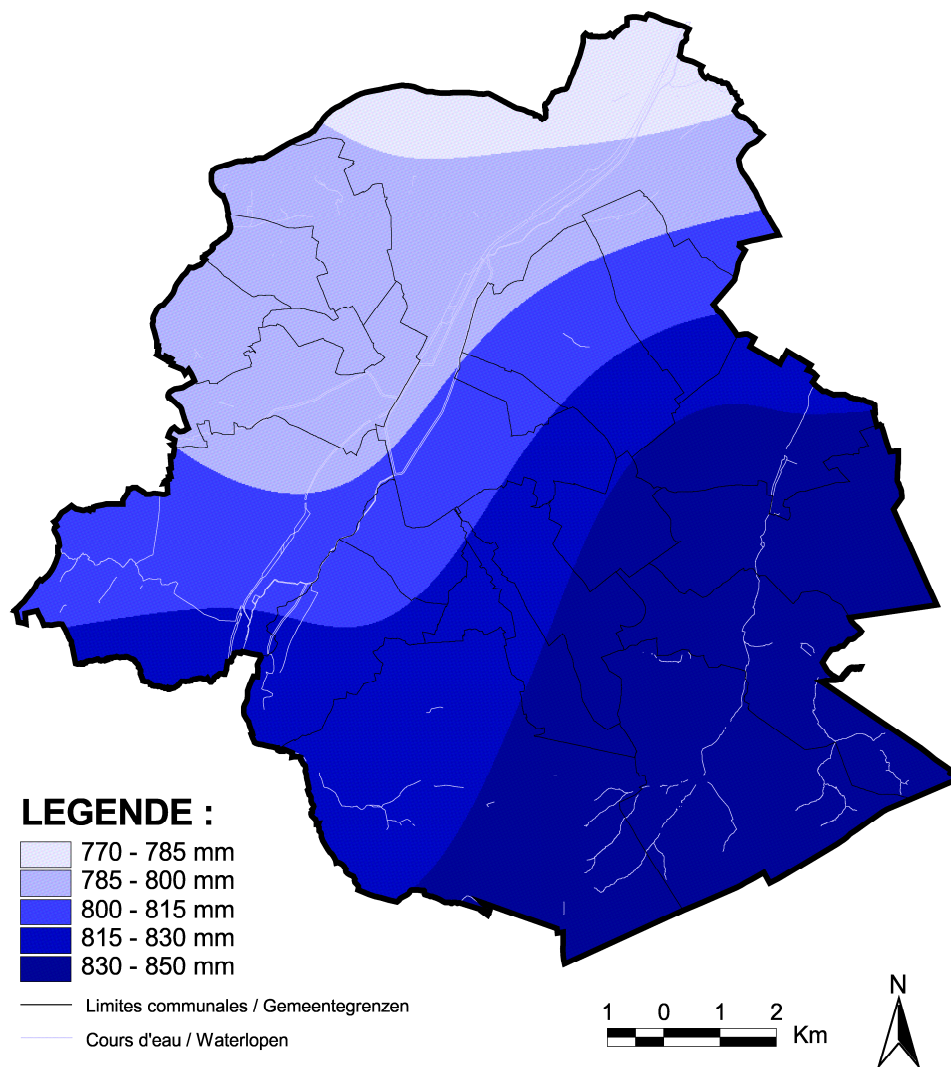


Figure 24. Carte des précipitations annuelles obtenue en utilisant les valeurs aux stations non lissées. Les valeurs aux stations sont les moyennes relevées sur la période 1999-2006. L'échelle donne les fourchettes de précipitations en mm.

Région de Bruxelles-Capitale
Précipitations annuelles

Brussels Hoofdstedelijk Gewest
Jaarlijkse Neerslag



Source : données pluviométriques issues du réseau de mesures de Bruxelles Environnement IBGE de 1999 à 2006

Bron : neerslaggegevens van het meetnet van Leefmilieu Brussel BIM van 1999 tot 2006

Bruxelles Environnement IBGE - Division Nature, Eau et Forêt
Cartographie : IRM - décembre 2008
Réalisé avec Brussels URbIS ©© - Distribution & Copyright CIRB

Leefmilieu Brussel BIM - Afdeling Natuur, Water en Bos
Cartografie : KMI - december 2008
Verwezenlijkt door middel van Brussels URbIS ©© - Verdeling & Copyright CIBG



Figure 25. Carte finale des précipitations annuelles obtenue en utilisant les valeurs aux stations lissées et calibrées sur la période 1971-2000. Les données initiales du réseau de l'IBGE, utilisées pour calculer la répartition spatiale, couvrent la période 1999-2006.

6 Comparaison radar et mesures en surface

6.1 Introduction : fonctionnement du radar

Le radar¹ météorologique de l'IRM situé à Wideumont (cf. Figure 26) permet de localiser et de suivre les précipitations dans un rayon de deux cent quarante kilomètres.

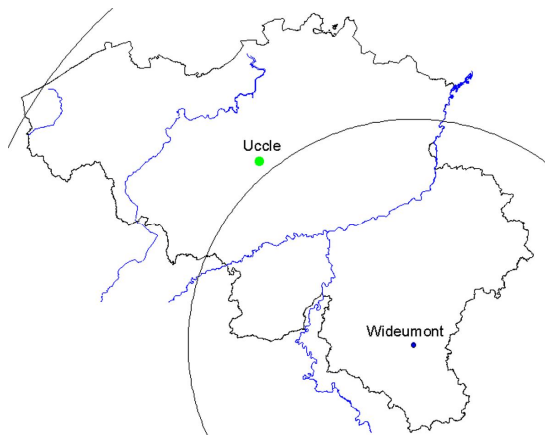


Figure 26 : Position du radar de Wideumont ($49^{\circ} 54' 51''$ de latitude, $5^{\circ} 30' 20''$ de longitude et 510 m d'altitude) près de Libramont. Le premier cercle concentrique, situé à 120 km, correspond à la portée hydrologique (à partir de ce seuil environ, les estimations radar sont généralement considérées de qualité insuffisante). Le second cercle, à 240 km, est la portée maximum du radar. L'appareil PM de Uccle est situé à 128 km du radar.

Le radar fonctionne en émettant un signal électromagnétique² et en analysant le signal retour. Le cœur du radar est constitué par son antenne balayant l'horizon à différents azimuts et élévations³ permettant ainsi d'obtenir une vue tridimensionnelle de l'atmosphère. L'antenne envoie une impulsion (signal ou faisceau) très courte (cf. Figure 28) et attend ensuite pendant un temps beaucoup plus long (mode réception) le signal retour.

¹ Radar est l'acronyme de l'expression anglaise *Radio Detection and Ranging*, ce qui signifie : détection par les ondes de type radio (au sens large) et mesure de la distance.

² La fréquence des ondes émises par le radar est de 5,6 GHz (longueur d'onde de 5,4 cm).

³ Les élévations du produit Pseudo CAPPI sont : 0.3° , 0.9° , 1.8° , 3.3° et 6.0° .

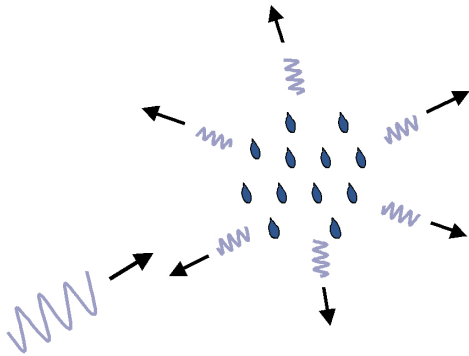


Figure 27 : Diffusion du signal¹ par la pluie.

Si le signal envoyé atteint de la pluie, il est alors diffusé dans toutes les directions et une faible partie (signal retour) est retournée vers l'antenne (cf. Figure 27). Au plus les gouttes sont nombreuses ou grosses, au plus le signal retour est important. L'analyse du signal retour permet la création d'images radar. Tous les objets (cibles) suffisamment importants diffusent également et donnent ce qu'on appelle des échos parasites, par exemple les échos du sol.

Dans les conditions normales de propagation de l'atmosphère, l'onde radar est légèrement incurvée² vers le bas. En cas de propagation anormale (par exemple inversion de température), l'onde peut être suffisamment incurvée pour toucher le sol en donnant alors un écho parasite.

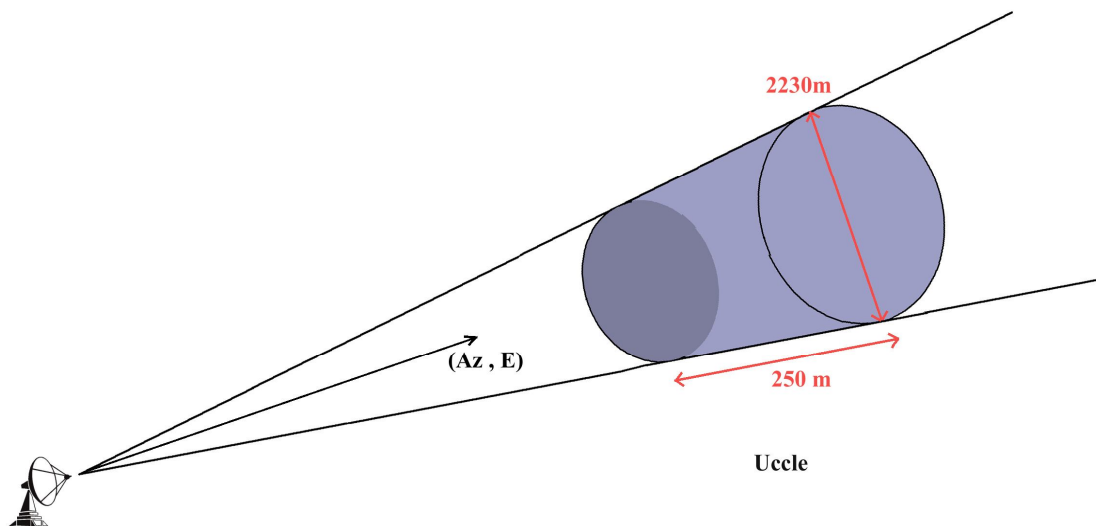


Figure 28 : Impulsion³ radar envoyée pour un azimuth (Az) et une élévation (E) donnés. La dimension radiale de l'impulsion est de 250 m et son diamètre croît avec la distance au radar (il est de 2234 m à la verticale d'Uccle).

Après avoir émis une impulsion, le radar se met en mode réception et analyse la puissance du signal retour P_r sur base de l'équation radar, qui dans le cas de cibles

¹ Le signal est symbolisé ici par une onde incidente.

² Au niveau d'Uccle, le centre du faisceau relatif à l'élévation la plus basse ($0,3^\circ$) est d'environ 1500 m.

³ Une telle impulsion est envoyée à une fréquence de 600 Hz (Pulse Repetition Frequency). L'écart entre les impulsions est suffisant pour effectuer un trajet de 240 km (portée du radar) et pour que la partie diffusée revienne avant l'émission de l'impulsion suivante. La valeur associée à un azimuth donné est le résultat d'une moyenne de 33 impulsions (paramètre Time Sampling du radar). Le radar explore donc 360° en 20 sec ($360 \cdot 33 / 600$) et il lui faut 1min 40 (plus le temps mis par l'antenne pour passer d'une élévation à l'autre) pour réaliser un scan complet comprenant les cinq élévations. La forme de l'impulsion est idéalisée à une section de cône mais présente dans les faits un lobe principal entouré de lobes secondaires ; ceci provient du caractère ondulatoire des ondes radar et de la taille limitée de l'antenne.

sphériques et de taille fortement inférieure à la longueur d'onde du radar prend la forme¹ :

$$P_r = \left(\frac{P_t}{r^2} * C_{radar} \right) * |K|^2 * Z \text{ [Watt]}$$

Avec P_t la puissance transmise [Watt], r la distance [m] entre le radar et la cible. Les autres paramètres intervenant dans l'équation sont :

- C_{radar} , une constante calculée à partir des caractéristiques du radar ;
- K , le facteur diélectrique (K est un nombre complexe) ; il prend en compte la nature de la cible, $|K|^2 = 0,93$ pour l'eau (valeur utilisée par le radar) et $|K|^2 = 0,197$ pour la glace. Utiliser la valeur pour l'eau dans le cas de précipitations solides mène donc à une sous-estimation de Z (et donc des précipitations, cf. plus loin la relation Z-R) ;
- Z , la réflectivité radar. Z est donné en $[mm^6/m^3]$ et peut être interprété comme une densité de réactivité « géométrique » du milieu à l'onde radar incidente ; Z est déterminé par le nombre et la taille des cibles dans un volume unitaire. Au plus les gouttes sont nombreuses ou grosses, au plus Z est élevé.

La relation utilisée classiquement² entre Z et R , la quantité de précipitations horaire [mm/h], est de la forme :

$$Z = aR^b \text{ avec } a = 200 \text{ et } b = 1,6.$$

Cette relation est utilisée pour le radar de Wideumont. Les valeurs des paramètres a et b correspondent à des conditions « moyennes » de précipitations. Si on s'écarte de ces conditions, il faudrait idéalement (ce n'est pas réalisé) adapter les valeurs de a et b .

Les causes possibles de mauvaise estimation des précipitations sont :

- La relation Z-R, correspondant à une situation moyenne, n'est pas adaptée au type de précipitations mesurées par le radar,
- Les échos du sol permanents perturbent la mesure. Il y en a quelques-uns bien localisés dans le cas du radar de Wideumont. À partir de début 2003, un masque a été défini pour éliminer ces échos. Ce masque peut cependant dans certains cas éliminer également des échos de précipitations.
- Les précipitations générées trop près du sol ne sont pas détectées ou ne sont détectées que partiellement par le radar. Cet effet se marque d'autant plus que les précipitations sont éloignées du radar du fait que la hauteur du faisceau augmente avec la distance au radar (ceci explique principalement que l'on limite généralement entre 80 et 120 km la portée du radar dans les applications hydrologiques).

¹ Ces conditions de formes et de taille sont considérées comme valables pour les gouttes de pluie. Elles ont une forme proche de la sphère et ont un diamètre (D) très inférieur à 5,4 cm (λ), la longueur d'onde du radar. La modélisation de la diffusion de Rayleigh est utilisée vu que $D \ll \lambda$. Dans l'équation radar, les diffusions multiples ont été ignorées, on suppose aussi que la puissance totale reçue est la somme des puissances diffusées par chaque particule.

² En supposant que la distribution de Marshall-Palmer est d'application. Cette dernière décrit la distribution de la taille des gouttes de pluie en fonction de l'intensité des précipitations.

- Des échos de propagations anormales viennent perturber la mesure. Ces échos sont généralement présents par temps sec. Depuis septembre 2003, un filtre Doppler a été mis en route qui élimine une partie de ces échos (ainsi que tous les autres types d'écho fixe). La situation devient complexe quand des orages se « mélangent » aux phénomènes de propagations anormales (citons le cas du 30 juillet 2002).
- Le fait que le radar mesure les précipitations en altitude engendre des erreurs de positionnement au sol du fait que la pluie ne tombe pas nécessairement verticalement. Le faisceau le plus bas du radar de Wideumont est situé à environ 2300 m d'altitude pour la région de Bruxelles. La moyenne sur neuf pixels a pour but de prendre en compte partiellement cet effet. Même avec cette moyenne, des écarts de positionnement au sol peuvent être observés.
- Le profil vertical de réflectivité n'est pas constant avec l'altitude. Il dépend de la phase des hydrométéores. Le paramètre d'intérêt est le taux de précipitation au sol alors que le radar mesure la réflectivité en altitude.

De manière générale, le radar ne peut pas rivaliser avec les stations au sol pour l'estimation locale (ou même souvent spatiale) d'un cumul de précipitations (horaire ou journalier). Pour un cumul quotidien, l'adéquation peut aller typiquement d'une sous-estimation ou d'une surestimation jusqu'à un facteur deux localement.

6.2 Examen de quelques situations pluviométriques types

Le logiciel PARAPLUIES (Precipitation Analysis using RADar and PLUviolet meters In case of Extreme weather Situations) a été utilisé pour effectuer la comparaison. Ce logiciel permet à l'IRM de mieux répondre et de manière plus rapide aux demandes d'avis du Ministère de l'Intérieur (Fonds des Calamités) dans le cas de fortes précipitations. Le logiciel PARAPLUIES a été conçu à l'IRM dans le cadre d'un projet interne de même nom. Il permet de visualiser au niveau communal, de manière intégrée et dans une même interface, les données ponctuelles issues des pluviomètres au sol ainsi que des données spatialisées issues de radars météorologiques. Il aide non seulement à la rédaction des avis pour le Ministère de l'Intérieur, mais il peut aussi être utilisé pour analyser une situation dans un cadre scientifique.

Les cumuls journaliers mesurés par les radars de Wideumont et de Zaventem ont été comparés aux valeurs du réseau de l'IBGE. Les comparaisons ont été faites au niveau journalier. Différents cas ont été sélectionnés sur la période 2005-2007. Les Figure 29 et

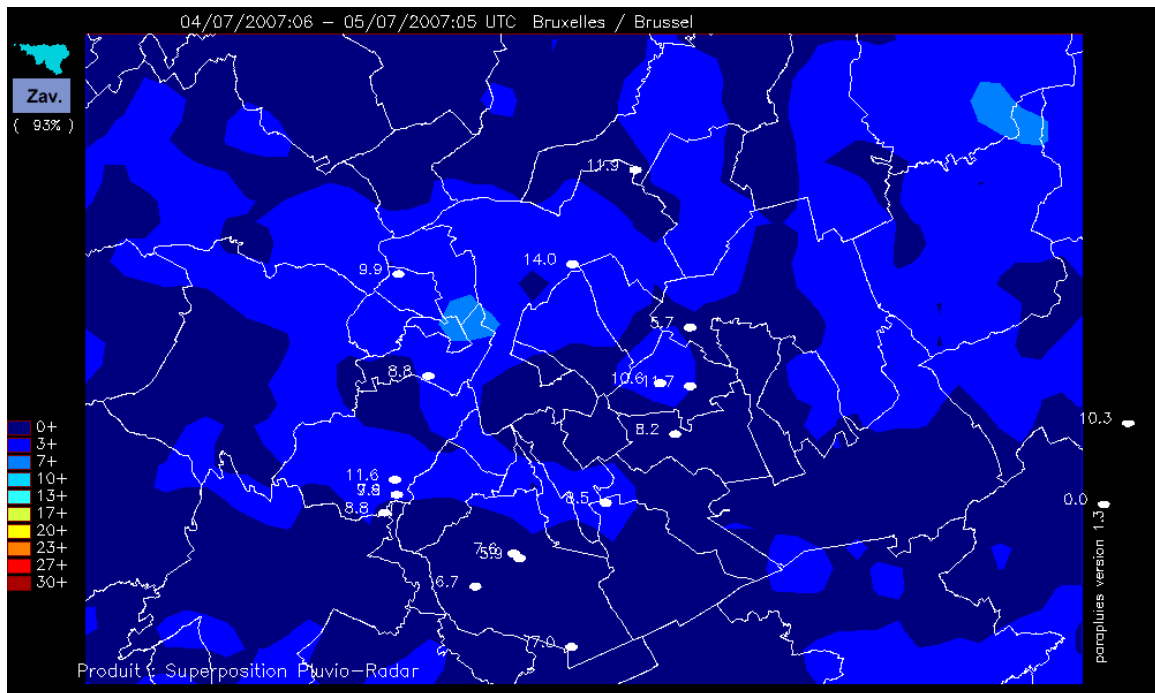


Figure 30 illustrent pour le cas du 4 juillet 2007 que le radar de Zaventem sous-estime nettement les quantités de précipitations mesurées par les instruments de l'IBGE. En outre, le radar de Wideumont détecte certaines zones avec des cumuls plus élevés. Ces zones ne sont pas capturées par le réseau de l'IBGE.

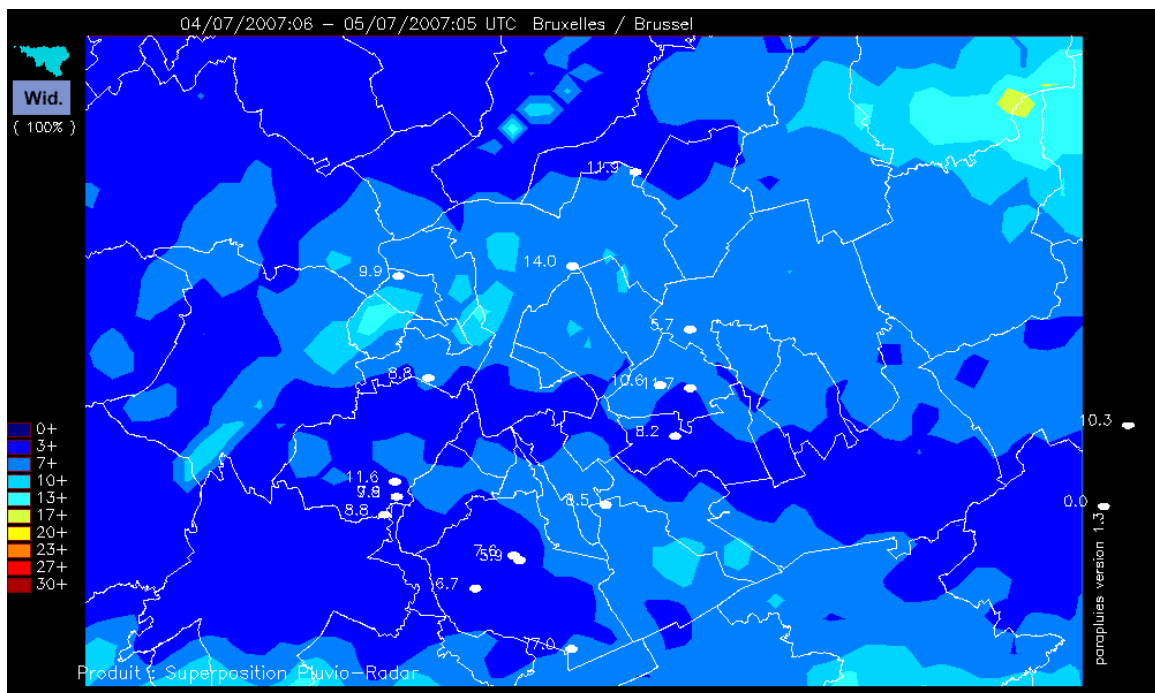


Figure 29: Comparaison du cumul journalier du radar de Wideumont avec les valeurs mesurées par le réseau de l'IBGE, pour le 04/07/2007.

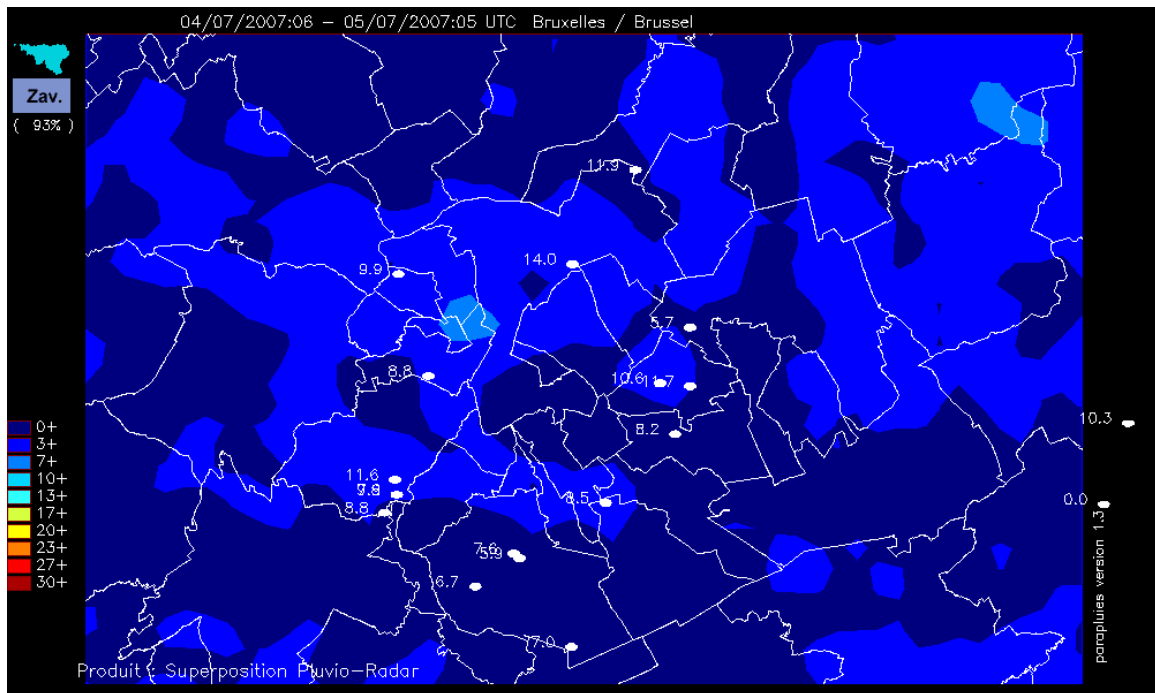


Figure 30: Comparaison du cumul journalier du radar de Zaventem avec les valeurs mesurées par le réseau de l'IBGE, pour le 04/07/2007.

Les Figure 31 à Figure 34 illustrent deux autres cas. On observe que globalement le radar de Zaventem sous-estime fortement les précipitations et que la correspondance avec les cumuls des stations de l'IBGE est bien meilleure pour le radar de Wideumont. On observe également que certains détails vus par le radar de Wideumont ne sont pas capturés par le réseau de pluviomètres. Pour les exemples analysés, il y a une forte corrélation entre la détection de précipitations par le radar et la détection de précipitations par les pluviomètres. Au niveau quantitatif, le radar de Wideumont est supérieur au radar de Zaventem. La sous-estimation du radar de Zaventem s'explique par le fait que celui-ci n'est pas calibré pour détecter les précipitations mais plutôt pour la sécurité de l'aéroport (les profils de vents générés par la fonction Doppler est le produit d'intérêt pour les contrôleurs aériens). De plus, lorsqu'il pleut en région bruxelloise, le radôme du radar de Zaventem est la plupart du temps mouillé, ce qui a pour effet d'atténuer le signal radar. Enfin, les données observées à proximité d'un radar météorologique sont souvent de moins bonne qualité en raison du « cône de silence ». Cet effet vient du fait qu'à proximité du radar, les faisceaux balayés suivant les différents angles d'élévation sont tous à faible altitude et peuvent être contaminés par les échos du sol.

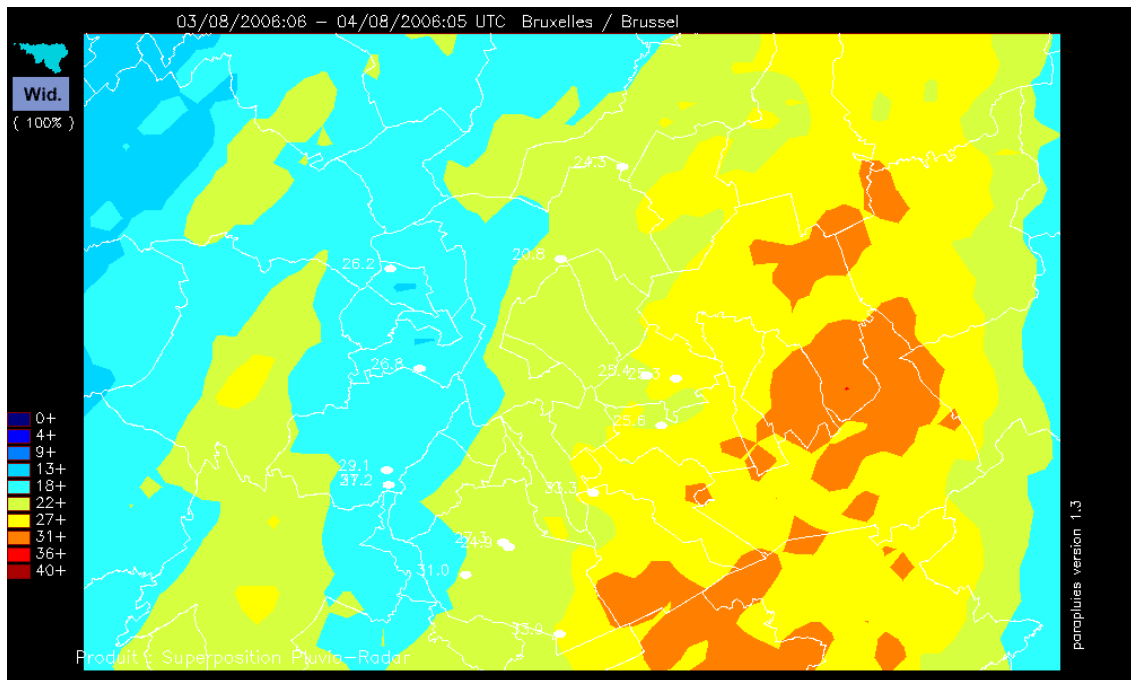


Figure 31. Comparaison du cumul journalier du radar de Wideumont avec les valeurs mesurées par le réseau de l'IBGE, pour le 03/08/2006.

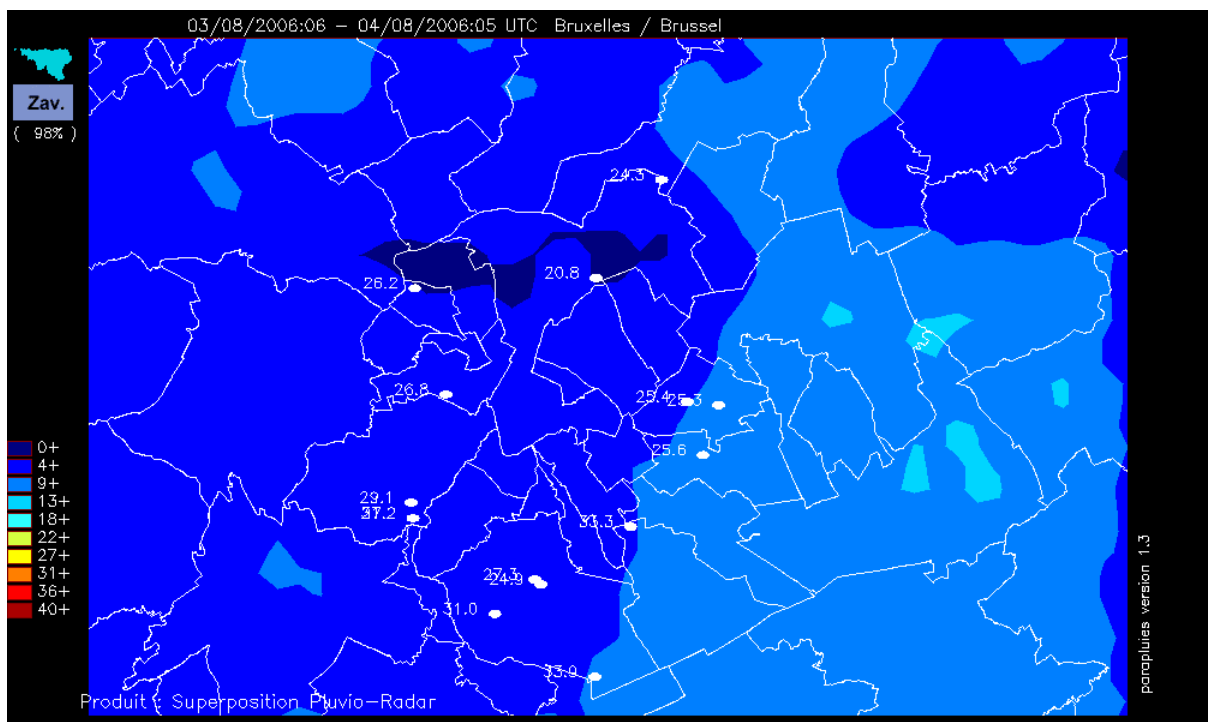


Figure 32. Comparaison du cumul journalier du radar de Zaventem avec les valeurs mesurées par le réseau de l'IBGE, pour le 03/08/2006.

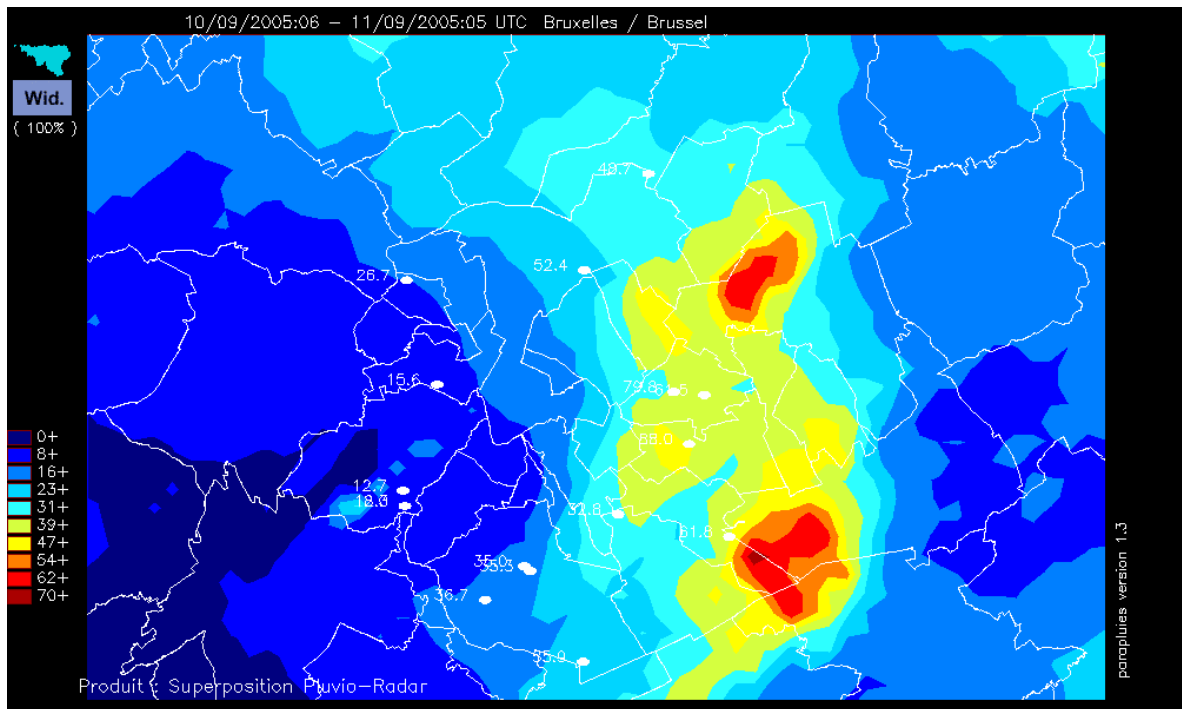


Figure 33. Comparaison du cumul journalier du radar de Wideumont avec les valeurs mesurées par le réseau de l'IBGE, pour le 10/09/2005.

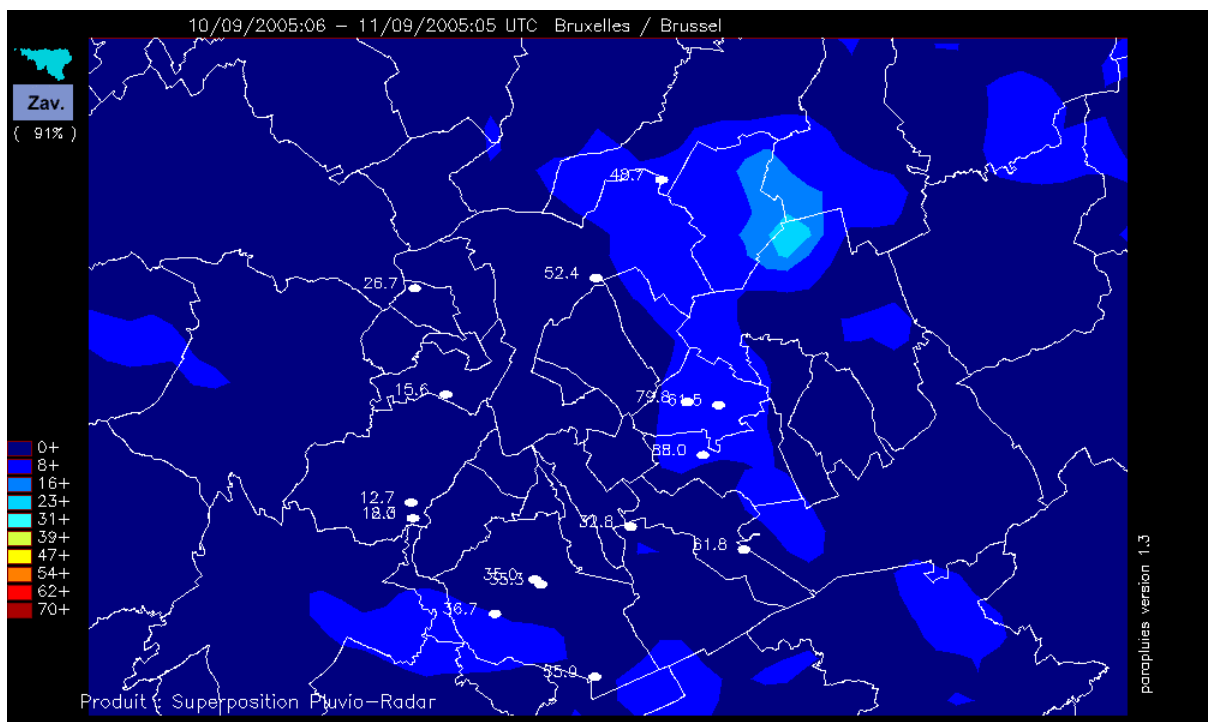


Figure 34. Comparaison du cumul journalier du radar de Zaventem avec les valeurs mesurées par le réseau de l'IBGE, pour le 10/09/2005.

Etant donné les mauvaises performances du radar de Zaventem pour la Région Bruxelloise, nous nous concentrons par la suite sur la comparaison entre les cumuls du radar de Wideumont uniquement et les cumuls mesurés aux stations de l'IBGE. Nous avons sélectionné trois situations hivernales et trois situations estivales.

Les cartes comparant les cumuls journaliers pour ces six situations sont reprises en pages 57 à 590. On observe que les précipitations hivernales sont plus uniformes que pour les situations estivales. Les cumuls journaliers observés pour les trois situations hivernales sont plus faibles: l'échelle varie de 0 à 10 mm/jour alors que pour l'été, on peut observer localement des cumuls supérieurs à 70 mm/ jour (voir la Figure 40). Globalement, pour ces six situations, on observe une assez bonne concordance entre les mesures du réseau de pluviomètres et le radar de Wideumont, avec toutefois des exceptions. Par exemple pour le cas du 29/07/2005, la station de Ganshoren a mesuré 64.9 mm en 1 jour alors que le radar donne cumul journalier à cette station compris entre 7 et 10 mm. Ce type d'erreur est vraisemblablement dû à l'atténuation du faisceau radar, par une zone orageuse située plus au sud. Pour le cas de la Figure 36, le radar de Wideumont sous-estime les précipitations d'environ 50%. Ce type d'erreur peut être corrigé en utilisant des techniques de « merging », consistant à utiliser l'information issue des pluviomètres pour améliorer les estimations radar.

Comme déjà mentionné au paragraphe précédent, certaines structures plus fines sont vues par le radar et ne sont pas détectées par les pluviomètres et ce, pour les deux types de saison (voir par exemple la Figure 36 et la Figure 39, respectivement pour l'hiver et l'été).

En résumé, nous avons illustré la mauvaise performance du radar de Zaventem par rapport au radar de Wideumont. Nous avons également illustré le caractère plus uniforme des précipitations hivernales. Nous avons vu que la plus grande résolution du radar permet de détecter des structures non perçues par le réseau de pluviomètres. Enfin, les estimations radar étant moins précises au niveau quantitatif que les valeurs mesurées au sol, le réseau de pluviomètres se révèle nécessaire pour calibrer les données radar et fournir un produit combiné, issu de méthodes de « merging ».

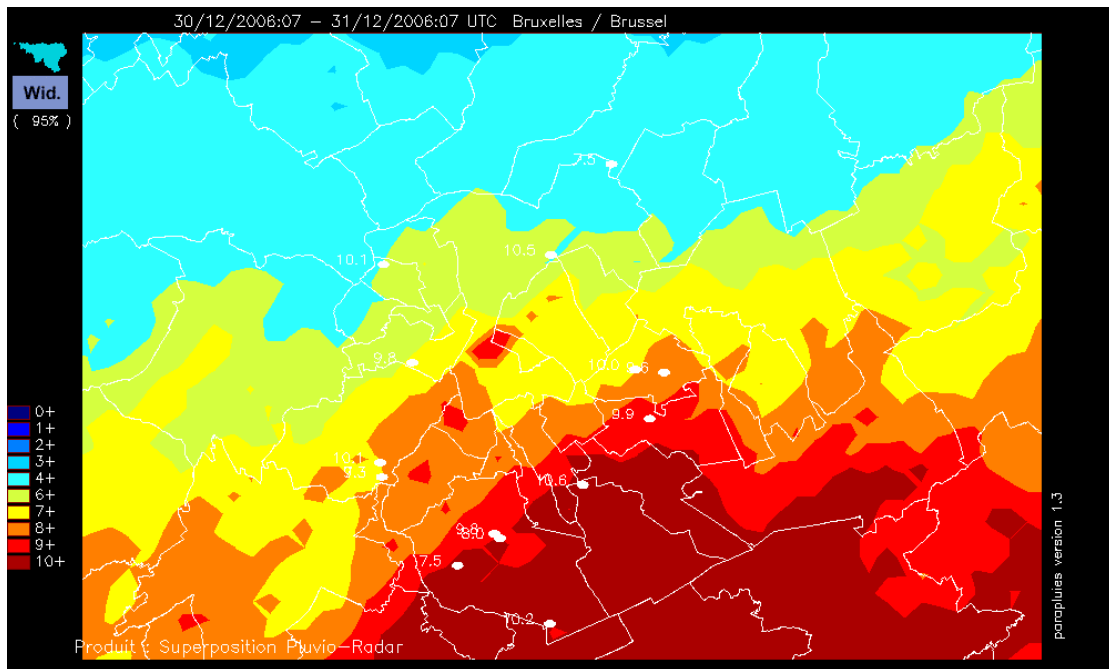


Figure 35. Comparaison du cumul journalier du radar de Wideumont avec les valeurs mesurées par le réseau de l'IBGE, pour le 30/12/2006.

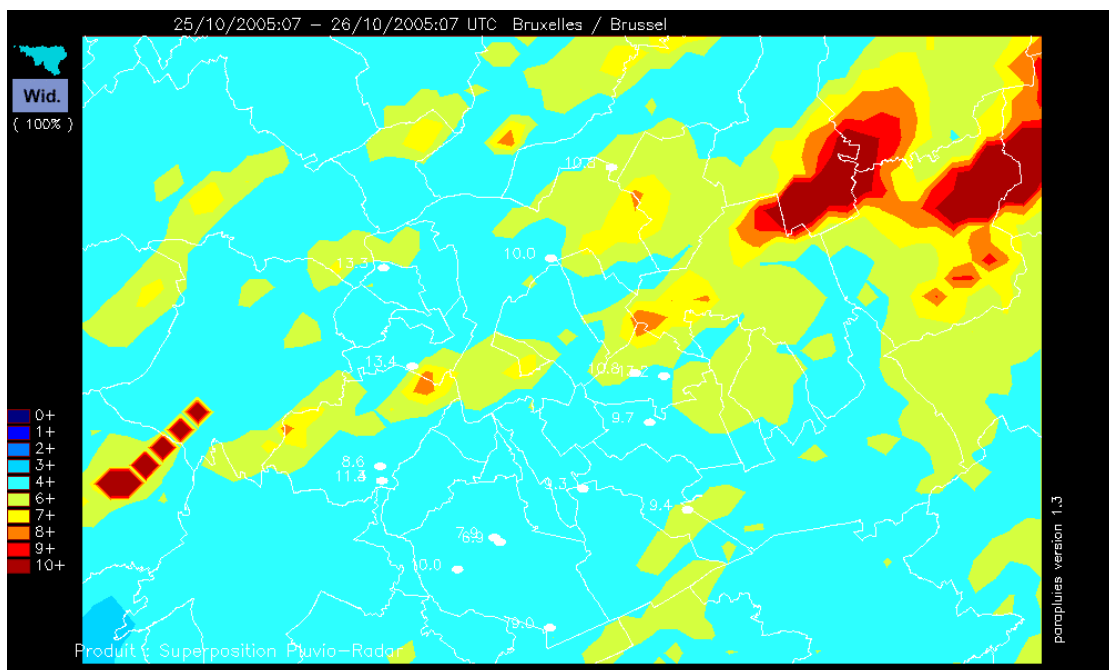


Figure 36. Comparaison du cumul journalier du radar de Wideumont avec les valeurs mesurées par le réseau de l'IBGE, pour le 25/10/2005.

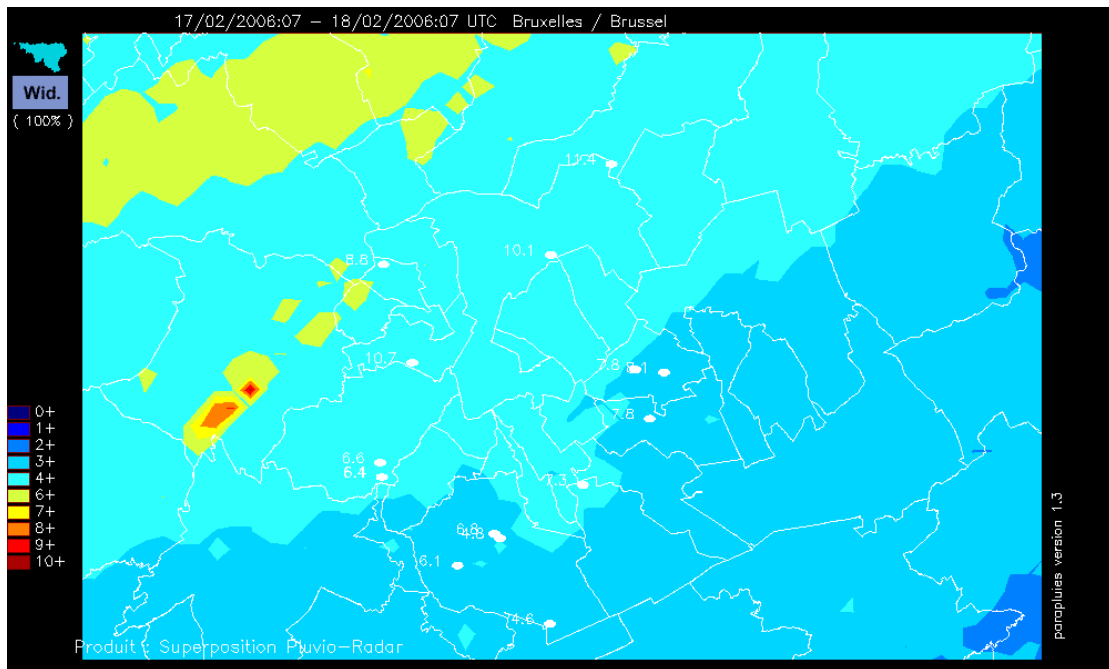


Figure 37. Comparaison du cumul journalier du radar de Wideumont avec les valeurs mesurées par le réseau de l'IBGE, pour le 17/02/2006.

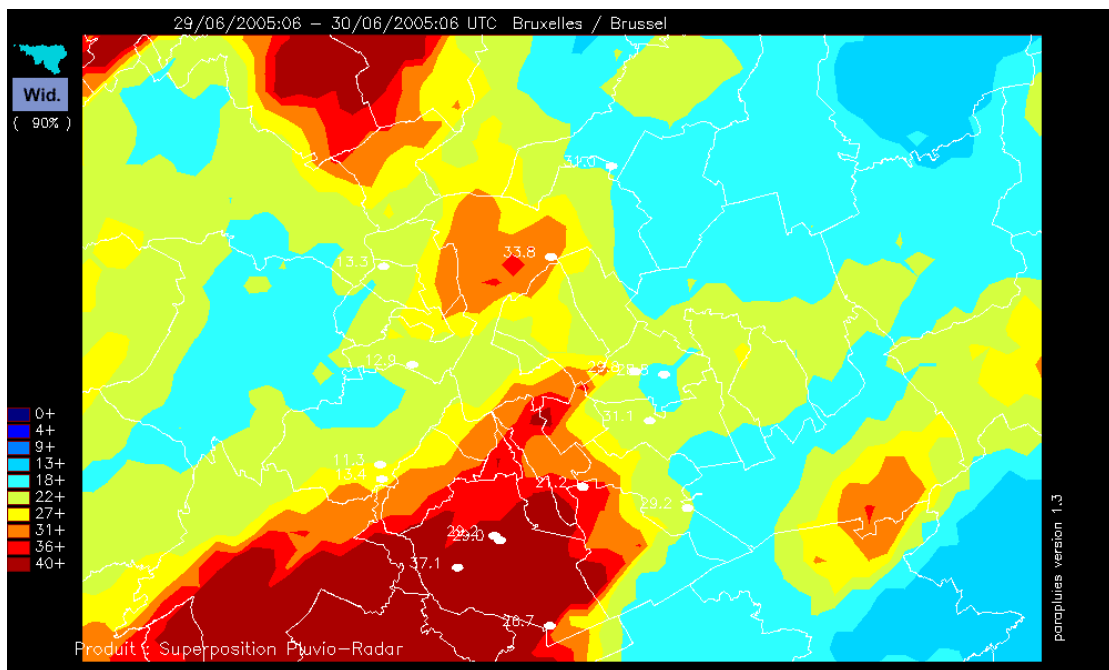


Figure 38. Comparaison du cumul journalier du radar de Wideumont avec les valeurs mesurées par le réseau de l'IBGE, pour le 29/06/2005.

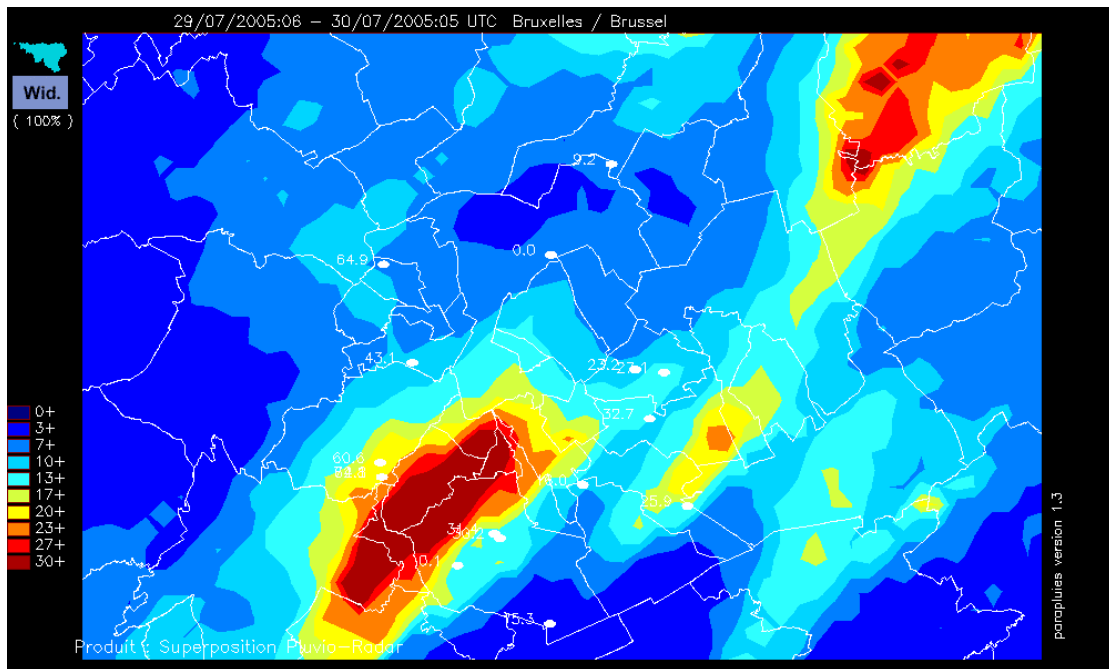


Figure 39. Comparaison du cumul journalier du radar de Wideumont avec les valeurs mesurées par le réseau de l'IBGE, pour le 29/07/2005.

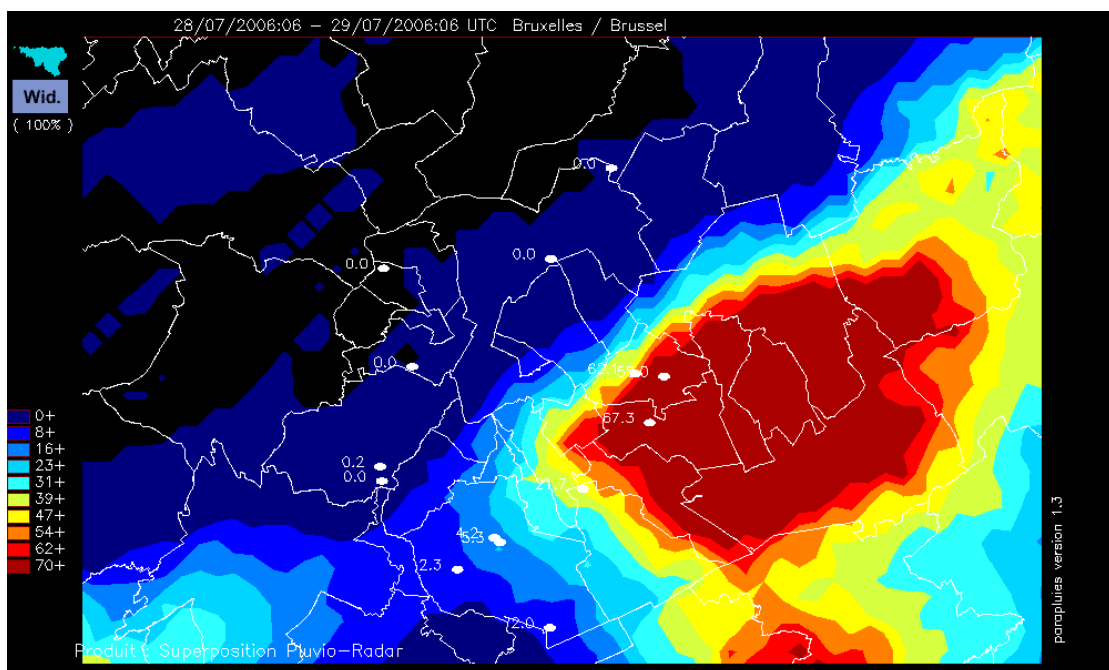


Figure 40. Comparaison du cumul journalier du radar de Wideumont avec les valeurs mesurées par le réseau de l'IBGE, pour le 28/07/2006.

7 Remarques générales sur les mesures pluviométriques

7.1. Les mesures pluviométriques et leurs principales erreurs

Nous donnons ici quelques considérations générales à propos des mesures pluviométriques et des erreurs qui peuvent y être associées. Les informations reprises ci-dessous sont principalement tirées de documents de l'Organisation météorologique Mondiale (OMM, 1994, 2008).

La quantité totale de précipitations atteignant le sol est généralement donnée en terme de profondeur verticale d'eau (ou d'équivalent en eau dans le cas des formes solides) qu'elle aurait si elle couvrait une projection horizontale de la surface du sol. L'OMM (1994) préconise une résolution de 0,1 mm pour les mesures pluviométriques et une exactitude instrumentale requise de $\pm 0,1$ mm pour les quantités jusqu'à 5 mm et de ± 2 % pour les quantités supérieures à 5 mm. Sur le terrain, en mode d'exploitation opérationnelle, l'OMM donne comme ordre de grandeur de précision possible une valeur de ± 5 % pour les relevés pluviométriques.

En pratique, plusieurs problèmes empêchent des mesures pluviométriques idéales. On va examiner brièvement les principaux et indiquer les recommandations de l'OMM (2008) à leurs sujets.

- **Choix de l'emplacement des pluviomètres**

Un pluviomètre doit être installé au-dessus d'un sol plat, avec sa surface réceptrice parfaitement horizontale. Cette horizontalité doit être vérifiée soigneusement au départ et ensuite régulièrement lors des entretiens de routine, de même que la surface réelle de réception du collecteur. Le sol autour du pluviomètre peut être recouvert de gazon, de gravier ou de galets, mais les surfaces plates et dures comme celles constituées par le béton devraient être éliminées pour éviter les entrées d'eau par rejaillissement. L'ouverture du pluviomètre devrait être à une hauteur aussi peu élevée que possible (la vitesse du vent augmentant avec la hauteur), mais suffisante pour éviter que l'eau ne rejaillisse du sol dans l'appareil. Dans les régions où il y a peu de neige, et lorsque les environs immédiats ne risquent pas — même par forte pluie — d'être recouverts en partie par des flaques d'eau, on recommande une hauteur standard de 30 cm. Là où ces conditions ne sont pas remplies, la hauteur standard préconisée est de 1 m.

Une source d'erreur habituelle — souvent la plus importante — pour les pluviomètres utilisés opérationnellement est le vent. Son effet est particulièrement important pour les précipitations neigeuses. Il faut prioritairement en tenir compte lors du choix de l'emplacement du pluviomètre. Les effets du vent peuvent être considérés sous deux aspects : effets sur l'efficacité de captation du pluviomètre du seul fait de sa présence et effet du site environnant sur les trajectoires du vent sur l'aire de mesure. Les premiers ont pour résultat de réduire la quantité d'eau recueillie. Quant aux effets du site, ils peuvent induire en surface, selon les cas, des surplus ou des déficits par rapport aux précipitations moyennes tombant dans la région environnante. Les perturbations engendrées par un obstacle varient directement selon le rapport entre les dimensions linéaires de l'obstacle et la vitesse de chute des précipitations.

Dans la pratique, pour pallier partiellement sinon complètement à ces inconvénients, deux solutions extrêmes sont possibles :

Protection naturelle du pluviomètre au vent

Lorsque l'emplacement le permet, la surface réceptrice du pluviomètre devrait être protégée du vent dans toutes les directions par des obstacles (arbres, buissons, etc.) **ayant une hauteur aussi uniforme que possible**. La hauteur de ces obstacles au-dessus du pluviomètre doit être égale au moins à la moitié de la distance qui les sépare de l'appareil (pour assurer une protection efficace contre le vent), mais ne doit pas être supérieure à cette distance (pour éviter l'interception d'une partie des précipitations qui doivent atteindre le pluviomètre). L'idéal est que l'angle formé avec l'horizontale par une ligne joignant la surface réceptrice du pluviomètre au sommet des obstacles qui entourent l'appareil soit compris entre 30° et 45°. Les meilleurs sites se situent souvent dans des clairières à l'intérieur de forêts ou de vergers, au milieu d'arbres ou d'arbustes ou dans des endroits où des objets d'une autre nature jouent un rôle de brise-vent équivalent pour toutes les directions.

Dans la pratique, la condition d'uniformité de la hauteur des obstacles autour du pluviomètre est difficilement remplie. Si les obstacles proches ne sont pas uniformément répartis autour de l'appareil, ils génèrent une turbulence de l'air qui perturbe de manière variable et imprévisible les mesures. Des obstacles tels que des brise-vent constitués par une simple rangée d'arbres devraient donc, par exemple, être évités. Pour que le site soit représentatif de la région environnante, on devrait aussi éliminer les emplacements pouvant connaître des perturbations plus systématiques des trajectoires du vent (notamment, sommet de colline, dépression, sol fortement incliné dans une direction).

Protection artificielle du pluviomètre au vent

Lorsqu'il n'est pas possible d'assurer naturellement une protection adéquate contre les effets du vent, il est préférable de supprimer tout obstacle situé à une distance de l'appareil inférieure à deux fois ou — mieux — quatre fois sa hauteur au-dessus de l'ouverture de celui-ci. Par obstacle, on entend normalement un objet vu du pluviomètre avec une largeur angulaire de 10° ou davantage. De cette façon, on se met à l'abri des principales perturbations du vent liées à la présence trop proche d'obstacles.

On réduit ensuite artificiellement les effets directs du vent sur l'appareil, soit en utilisant un pluviomètre enterré, soit en assurant l'horizontalité de l'écoulement de l'air au-dessus de l'orifice du capteur. L'influence du vent étant la plus faible au niveau du sol, le pluviomètre étalon de référence retenu par l'OMM pour les précipitations liquides est un pluviomètre placé dans une fosse, dont la surface réceptrice affleure au niveau du sol. Un dispositif spécial doit aussi être installé autour de l'instrument pour éviter les rejaillissements.

Dans un réseau d'observations opérationnel, l'utilisation d'un pluviomètre enterré n'est pas pratique. On essaye alors de diminuer artificiellement la perturbation que l'appareil cause à l'écoulement du vent au-dessus de l'orifice de réception. On place l'ouverture du pluviomètre à une certaine hauteur et on dispose autour de lui un écran

de forme appropriée. Il a été démontré à de nombreuses reprises que, lorsque leur forme est bien conçue, ces écrans permettent d'obtenir des résultats plus représentatifs qu'avec des pluviomètres non protégés exposés au vent. Comme les précipitations sous forme de neige sont beaucoup plus sensibles au vent que la pluie, les écrans de protection se révèlent particulièrement utiles dans ces conditions, même s'ils ne peuvent éliminer entièrement les déficits de capture d'eau.

- **Causes principales d'erreur des mesures pluviométriques**

Les erreurs peuvent être aléatoires ou systématiques. La liste suivante est généralement établie pour les principales erreurs :

- 1) Erreur due à la déformation du champ de vent au-dessus de la surface réceptrice du pluviomètre (déjà discuté plus haut).
- 2) Erreur due aux pertes par mouillage (suivi d'évaporation) des parois internes du collecteur.
- 3) Erreur due à l'évaporation dans le récipient accumulant l'eau.
- 4) Erreur due à l'eau qui entre ou sort du pluviomètre par rejaillissement.
- 5) Erreur instrumentale (par exemple, biais).

Dans les études climatologiques et hydrologiques, il peut être souhaitable de procéder avant toute utilisation des données à un ajustement de celles-ci pour réduire les erreurs systématiques. Il va sans dire que ces ajustements ne sont pas exacts (dans certains cas, ils peuvent même aggraver l'erreur initiale). On devrait donc toujours conserver les données originales comme archives de base, d'abord en vue de garantir la continuité des relevés, ensuite parce qu'elles constitueront le meilleur jeu de référence exploitable pour parfaire les ajustements le jour où cela apparaîtra possible.

L'OMM a publié (Sevruk, 1982) une analyse détaillée des modèles couramment utilisés dans quelques pays pour ajuster les données brutes de précipitations. En général, les données supplémentaires nécessaires pour effectuer ce type d'ajustement comprennent la vitesse du vent (pendant les précipitations) au niveau de la surface de réception du collecteur, la dimension des gouttes (!), l'intensité des précipitations, la température et l'humidité de l'air ainsi que les caractéristiques du lieu d'implantation du pluviomètre. Pour obtenir des ajustements quotidiens, on déduit généralement ces données à partir d'observations météorologiques classiques effectuées sur le même site. Aux endroits où ces observations ne sont pas faites, on peut se servir de données interpolées à partir des mesures exécutées sur des sites voisins, mais ceci avec prudence et seulement pour des ajustements portant sur des totaux de précipitations intégrés dans le temps (mensuellement, par exemple).

7.2. Quelques résultats de mesures pluviométriques comparatives

Depuis quelques années, l'IRM a entrepris une série de mesures pluviométriques dans le parc climatologiques à Uccle en vue de déterminer la qualité de différents types d'instruments (projet interne IRM COMPAC). Les mesures sont poursuivies encore aujourd'hui, mais il n'y a pas eu d'analyse approfondie jusqu'ici des résultats. Nous

présentons dans le présent rapport une première analyse rapide des mesures effectuées sur la période 21/12/2003–31/01/2005 (soit plus d'un an), sauf pour un appareil qui ne fut installé dans le parc climatologique qu'à partir de mai 2004. Un examen plus approfondi serait cependant nécessaire pour affiner l'analyse.

Les instruments utilisés

Les relevés de cinq pluviomètres installés dans le parc climatologique de l'IRM seront considérés. On a également pris en compte les mesures journalières d'un sixième pluviomètre (automatique) installé dans le parc synoptique et situé à 200 m environ du centre du parc climatologique. Les instruments sont les suivants :

Dans le parc climatologique :

- 1) Le **pluviomètre manuel standard** utilisé dans le réseau climatologique, noté **P50 (pluviomètre de référence)** :

Collecteur de type sphérique, en acier inoxydable.

Surface de réception du collecteur : 100 cm².

Hauteur de la surface de réception : 0,6 m.

Relevé manuel, lecture volumétrique du contenu de la bouteille réceptrice dans une éprouvette.

Un cône de Nipher en aluminium est placé autour du pluviomètre pour le protéger de l'effet du vent.

- 2) Un **pluviomètre manuel enterré**, noté **37C** :

Même type que le P50, mais déposé au centre d'une fosse de 72 cm de diamètre, avec la surface de réception du collecteur au niveau du sol.

- 3) Le **pluviomètre automatique** « Précis Mécanique » du MET/Sethy, noté **PM** :

Pluviomètre cylindrique.

Collecteur de type conique, en zinc.

Surface de réception du collecteur : 2000 cm².

Hauteur de la surface de réception : 1,1 m.

Système à augets basculeurs (résolution : 0,1 mm).

Pas de protection au vent.

Pas de chauffage.

- 4) Un **pluviomètre automatique SIGGELKOW** (du nom du fabricant), noté **AWS clm** :

Collecteur de type cylindro-conique, en aluminium peint en blanc.

Surface de réception du collecteur : 200 cm².

Hauteur de la surface de réception : 0,5 m.

Système à **augets basculeurs** (résolution : 0,1 mm).

Chauffage de la partie inférieure du collecteur (mise en route vers 4°C).

Un cône de Nipher en aluminium est placé autour du pluviomètre pour le protéger de l'effet du vent

5) Un **pluviomètre automatique**, noté **OTT** (du nom du fabricant) :

Collecteur de type cylindrique.

Surface de réception du collecteur : 200 cm².

Hauteur de la surface de réception : 0,7 m.

Système à pesée (résolution : 0,01 mm).

Pas de chauffage.

Un cône de Nipher en aluminium a été placé autour du pluviomètre pour le protéger de l'effet du vent

Dans le parc synoptique :

6) Un second **pluviomètre automatique SIGGELKOW** (du nom du fabricant), noté **AWS syn** :

Collecteur de type cylindro-conique, en aluminium peint en blanc.

Surface de réception du collecteur : 200 cm².

Hauteur de la surface de réception : 0,5 m.

Système à **augets basculeurs** (résolution : 0,1 mm).

Chauffage de la partie inférieure du collecteur (mise en route vers 4°C).

Un cône de Nipher en aluminium est placé autour du pluviomètre pour le protéger de l'effet du vent

Les principaux résultats

La Figure 41 donne les cumuls mensuels relevés au pluviomètre manuel de référence (le P50) sur la période considérée. Quelques journées sur cette période ont été éliminées lorsque les mesures d'un des appareils étaient manifestement trop différentes de celles des autres instruments (en cas de neige, notamment, puisque seuls certains appareils sont chauffés).

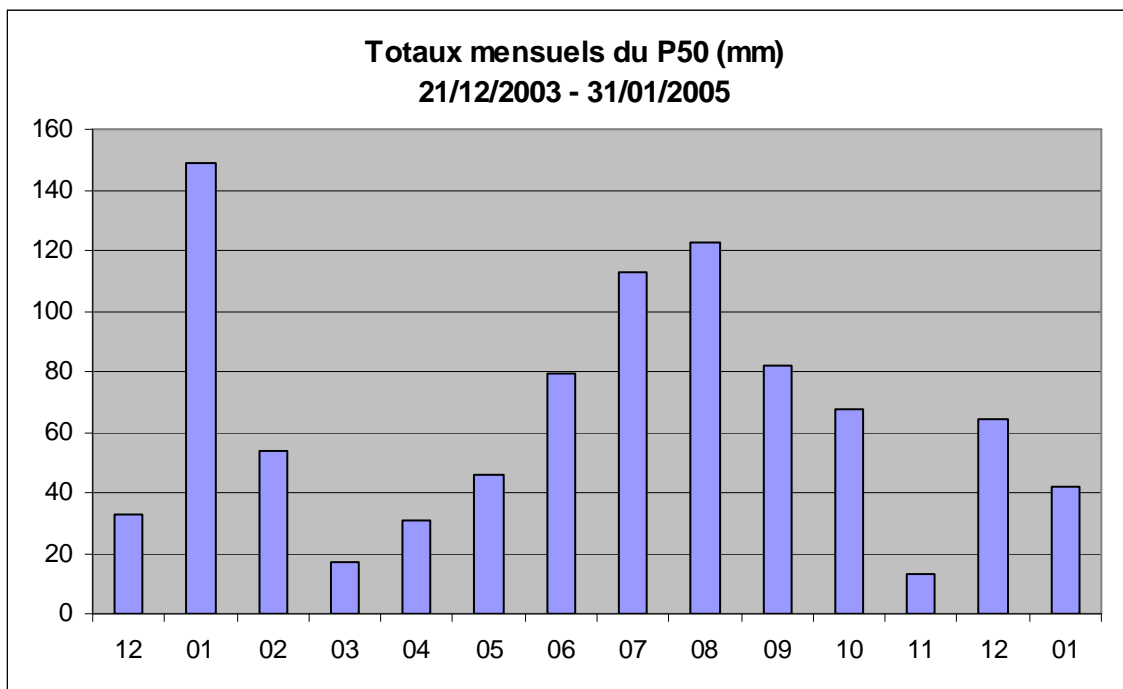


Figure 41 : Cumuls mensuels relevés au pluviomètre manuel de référence (P50) sur la période 21/12/2003–31/01/2005 (en mm). Les chiffres sur l’axe des abscisses donnent les mois.

Les Figures 42 et 43 donnent les écarts entre les cumuls mensuels relevés au P50 et ceux mesurés à l’aide des autres pluviomètres, exprimés respectivement en mm et en %. Un écart positif signifie que le P50 a mesuré un cumul plus important.

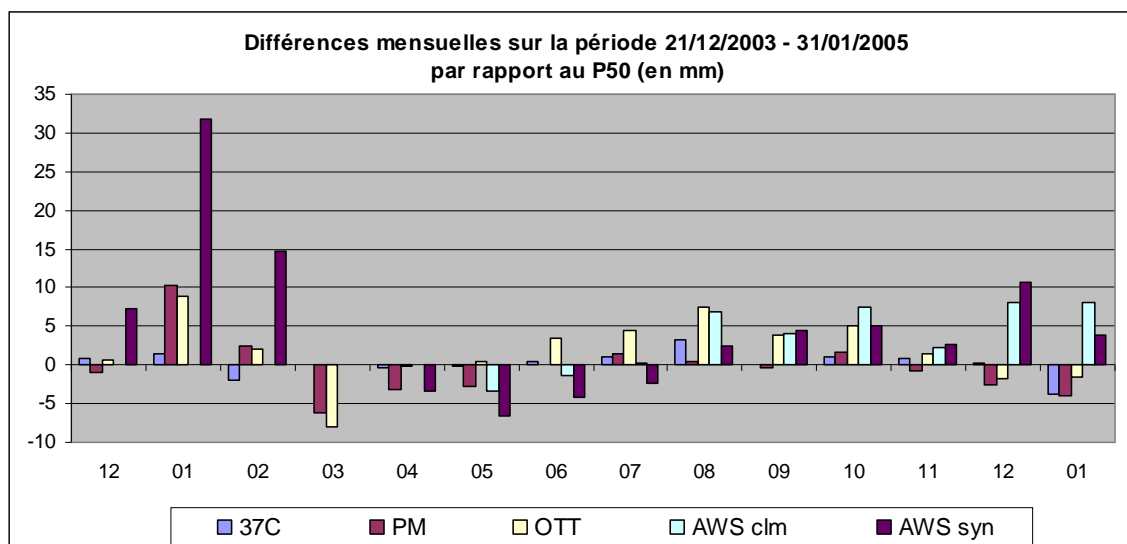


Figure 42. Ecart mensuels entre le P50 et les cinq autres pluviomètres sur la période 21/12/2003–31/01/2005 (en mm). Les chiffres sur l’axe des abscisses donnent les mois.

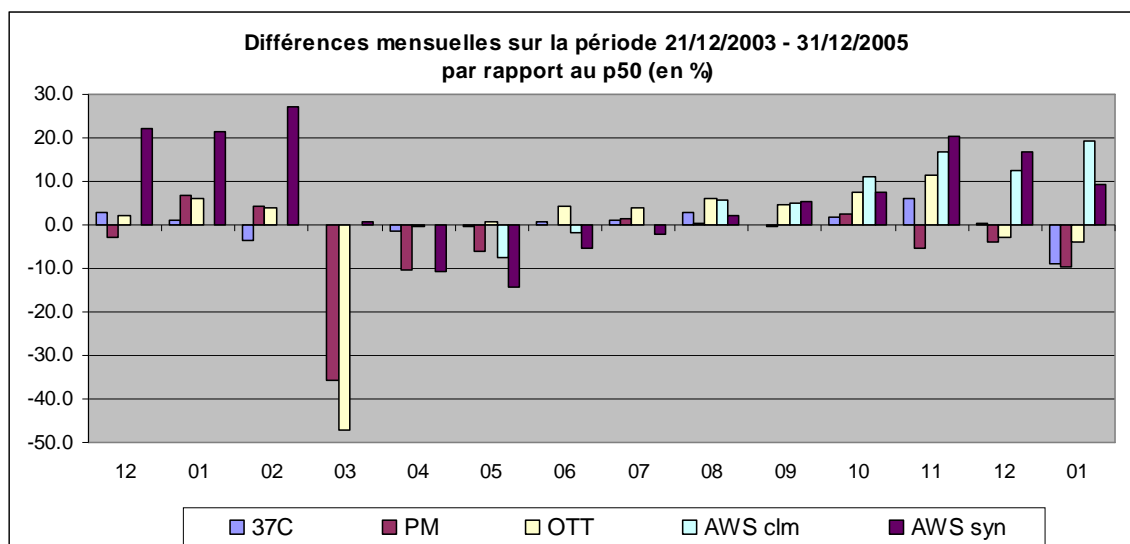


Figure 43. Ecarts mensuels entre le P50 et les cinq autres pluviomètres sur la période 21/12/2003–31/01/2005 (en %). Les chiffres sur l’axe des abscisses donnent les mois.

Il ressort de ces figures que les écarts sont variables d’un mois à l’autre et d’un appareil à l’autre. Le plus souvent, le cumul relevé au P50 est supérieur à ceux mesurés aux autres instruments. On remarque également que les appareils à augets basculeurs présentent souvent les écarts les plus importants par rapport au P50 (l’exception la plus frappante concerne le mois de mars 2005, qui mériterait un examen des relevés quotidiens pour en comprendre la singularité).

La comparaison des différences entre les cumuls sur la période entière de 17 mois (cf. les Figures 44 et 45) donne les biais entre les appareils sur l’ensemble de la période. Le 37C, autre appareil manuel, donne un cumul très similaire au P50 de référence. La figure 45 indique une différence de moins de 1% entre les deux pluviomètres manuels, ce qui était attendu. Le cumul global du pluviomètre automatique PM du MET (à augets basculeurs) donne également un résultat très similaire au P50 (sous-estimation inférieure à 1%). Il faut signaler que cet appareil fonctionne à l’IRM depuis la fin 1999 et que ses mesures au début des années 2000 étaient fortement surestimées (d’environ 10 à 15 %) par rapport aux mesures du P50. L’origine de cette différence a pu être expliquée par un étalonnage inadéquat. La correction de ce facteur a permis d’améliorer fortement les résultats (par rapport au P50), comme cela ressort de la présente étude comparative.

L’appareil à pesée OTT présente un résultat honorable, puisque le déficit cumulé sur la période entière n’est que de 3%, ce qui est une précision acceptable dans un réseau à finalité opérationnelle (cf. normes OMM). Le grand avantage de cet instrument est sa facilité d’entretien (seule une vidange tous les 6 mois environ est nécessaire), en comparaison des appareils à augets basculeurs, dont la précision ne peut être maintenue à des valeurs acceptables que si leur étalonnage est régulièrement effectué. Le déficit de plus de 7% sur la période affichée par l’appareil à augets basculeurs de l’IRM (AWS syn) s’explique essentiellement de cette façon, puisque cet instrument n’a pas été réétalonné après son placement sur le site.

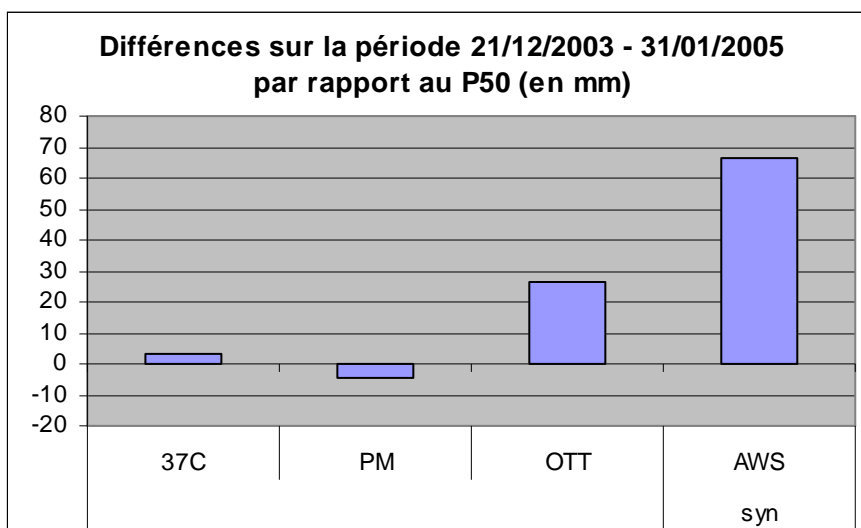


Figure 44. Ecart global des cumuls sur la période 21/12/2003–31/01/2005 entre le P50 (appareil de référence) et les quatre autres pluviomètres en fonction sur la période (en mm).

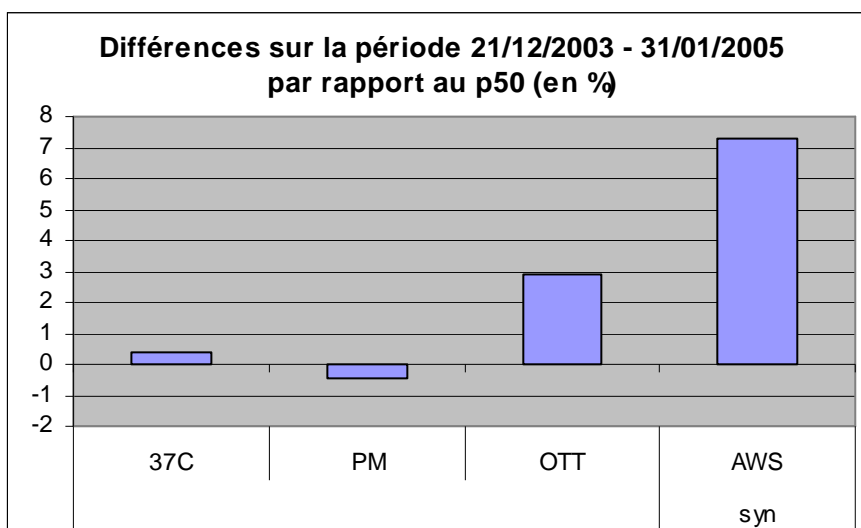


Figure 45. Ecart global des cumuls sur la période 21/12/2003–31/01/2005 entre le P50 (appareil de référence) et les quatre autres pluviomètres en fonction sur la période (en %).

Les Figures 46 et 47 montrent les mêmes genres de résultats que les Figures 44 et 45, mais pour une période plus courte (mai 2004 à janvier 2005), sur laquelle les mesures d'un sixième appareil sont disponibles (AWS clm, appareil similaire à AWS syn). Les mêmes conclusions générales peuvent être tirées sur cette période plus courte, à savoir le bon comportement du PM (régulièrement étalonné) par rapport au P50 et le déficit trop important affiché par l'appareil automatique de l'IRM à augets basculeurs (AWS syn) non étalonné après sa mise en site.

Il est cependant intéressant de remarquer que le second appareil à augets basculeurs de l'IRM (AWS clm) donne des résultats globaux légèrement meilleurs que ceux

affichés par le PM. Le comportement différent des deux appareils de l'IRM illustre la sensibilité de cet type d'appareil à la calibration effective du basculement des augets.

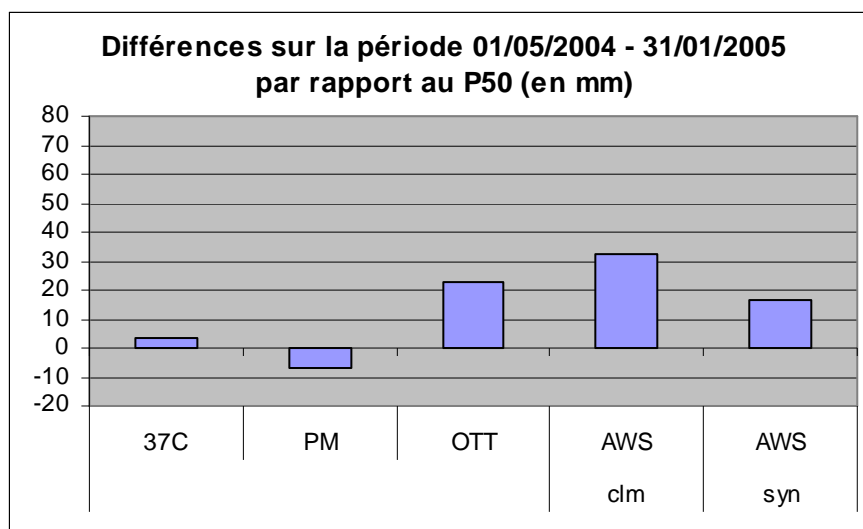


Figure 46. Ecart global des cumuls sur la période 01/05/2004–31/01/2005 entre le P50 (appareil de référence) et les cinq autres pluviomètres en fonction sur la période (en mm).

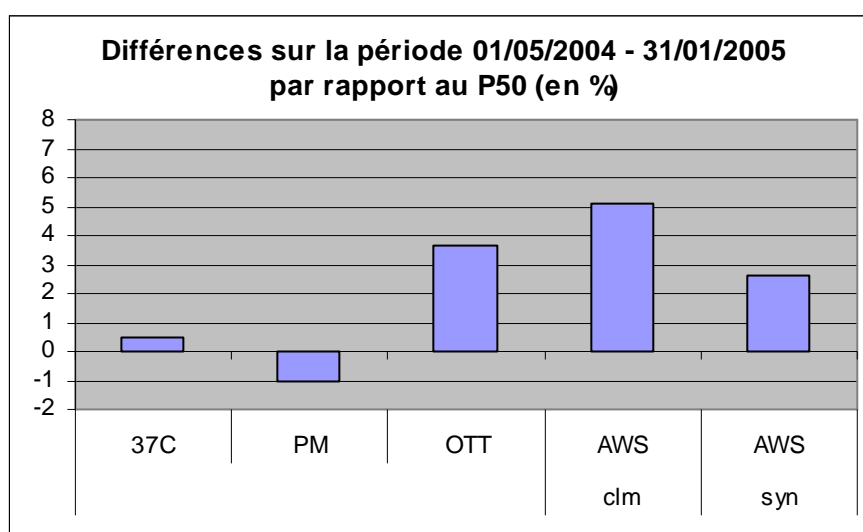


Figure 47. Ecart global des cumuls sur la période 01/05/2004–31/01/2005 entre le P50 (appareil de référence) et les cinq autres pluviomètres en fonction sur la période (en %).

En conclusion, on retiendra que la précision des mesures pluviométriques dépend tout autant de la qualité du site d'observation (respect des règles de l'OMM) que de la qualité des instruments de mesures. A ce sujet, il sera intéressant de connaître les résultats d'une étude comparative de mesures pluviométriques qui s'est déroulée en 2008 en Italie sous l'égide de l'OMM. Plusieurs appareils automatiques à augets basculeurs et à pesée, disponibles sur le marché, ont été testés in situ et les résultats devraient être publiés dans les prochains mois.

8 Conclusions

Au terme de ce Marché de Services, et dans les limites de celui-ci, on peut conclure que les deux objectifs principaux définis au départ ont été atteints, à savoir (i) l'amélioration de la base de données pluviométriques horaires de l'IBGE par un contrôle de qualité des données, et (ii) une première caractérisation de la répartition spatiale des précipitations à Bruxelles à partir de l'étude des séries de mesures validées.

En premier lieu, le contrôle de qualité des données pluviométriques de l'IBGE a permis de fournir in fine une base de données de précipitations horaires complétée, corrigée au mieux et exempte de valeurs aberrantes. Les corrections liées aux résultats des étalonnages in situ ont tout d'abord été introduites sur la période janvier 2004 – septembre 2007. Par souci d'homogénéité, la technique retenue pour effectuer ces corrections est similaire à celle qui avait été utilisée jusqu'en décembre 2003 par le Service en charge de la gestion du réseau. Sur cette même période récente, le logiciel PLUVIOCQ, développé à l'IRM pour le contrôle de qualité de précipitations horaires, a ensuite été adapté pour effectuer un contrôle de qualité détaillé à l'échelle journalière et, si nécessaire, horaire. Dans ce logiciel, les données manquantes sont estimées à l'aide d'une méthode d'interpolation standard (estimation par pondération des mesures aux stations environnantes en fonction inverse du carré de la distance).

Sur la période plus ancienne (juin 1992 à décembre 2003), le présent Marché de Services n'envisageait pas un contrôle de qualité détaillé comme celui mené sur la période plus récente. Comme prévu, les données manquantes avant 2004 ont été estimées par la méthode d'interpolation utilisée dans PLUVIOVALID. Un contrôle de qualité « global » supplémentaire a cependant aussi été effectué sur les données avant 2004. Une comparaison sommaire des cumuls relevés aux différentes stations a permis de détecter les intervalles de temps (souvent, plusieurs jours) où le comportement d'un appareil était très suspect ou manifestement aberrant. Pour ces intervalles de temps et pour les stations concernées, les données initiales ont été remplacées par des valeurs estimées, suivant toujours la même méthode d'interpolation.

Pour les périodes avant et après 2004, les types de modifications apportées aux données initiales ont été systématiquement inventoriés par l'entremise d'un indice de qualité associé à chaque valeur horaire dans la base de données finale.

Après cette première étape indispensable, les séries finales de données corrigées ont été utilisées pour aborder l'étude de la répartition spatiale des précipitations dans la Région bruxelloise. Le principal résultat qui ressort de l'analyse des données est la mise en évidence d'un gradient nord-ouest/sud-est pour les précipitations moyennes – ou « normales » – sur les différentes échelles étudiées (année, saisons, mois).

Ce gradient a pu être corrélé de manière significative avec l'altitude des points de mesures. Cette relation entre les cumuls de précipitations et l'altitude illustre, à plus petite échelle, un fait déjà bien connu sur le territoire belge à plus grande échelle. Dans la présente étude, cette corrélation a d'ailleurs encore été illustrée à une échelle

intermédiaire, en considérant également les mesures en d'autres stations de la région autour de Bruxelles.

La question de l'influence de la forêt de Soignes, située au sud-est de Bruxelles, sur la répartition des précipitations à Bruxelles n'a pas pu être résolue du fait de l'existence de ce gradient dans les cumuls de précipitations. En effet, avec les analyses effectuées ici, il n'a pas été possible d'isoler un effet éventuel de la forêt qui s'ajouterait à l'effet plus général de l'altitude.

Ensuite, la période janvier 1999–septembre 2007 a été retenue pour établir la cartographie des précipitations sur le territoire de la Région bruxelloise aux échelles annuelle, saisonnière et mensuelle. Cette période de 8 ans a été choisie comme compromis entre la durée la plus longue possible à prendre en considération (nécessaire d'un point de vue climatologique) et le nombre de stations ouvertes le plus élevé possible (nécessaire pour mettre en évidence d'éventuelles variations spatiales).

La cartographie proposée ici donne la répartition des précipitations à grande échelle sur le territoire de la Région bruxelloise obtenue par interpolation des cumuls pluviométriques mesurés dans 13 stations de mesures. Comme cela a été indiqué précédemment, cette cartographie met avant tout en lumière l'effet d'altitude sur les cumuls pluviométriques aux échelles temporelles considérées. Des effets plus locaux, comme ceux éventuellement liés à des « effets de vallée » (vallées de la Woluwe ou de la Senne, par exemple), ne sont pas mis en évidence par le type d'analyse climatologique menée dans la présente étude.

Le Marché de Services a également été l'occasion d'aborder brièvement la question de la densité du réseau pluviométrique de l'IBGE. Celle-ci dépend évidemment des objectifs précis qui sont assignés à ce réseau. Nous n'avons pas tenu compte de ces objectifs ici et nous avons seulement illustré la représentativité générale du réseau à l'échelle de Bruxelles en examinant quelques événements pluviométriques relativement récents.

Concrètement, pour discuter la représentativité du réseau, on a comparé les cumuls journaliers aux stations avec les estimations des cumuls donnés par les radars de Zaventem et de Wideumont (Libramont-Chevigny) sur l'ensemble du territoire bruxellois. Il est intéressant de constater que le radar de Zaventem, situé à une distance proche de Bruxelles, sous-estime presque systématiquement les précipitations sur la ville, alors que le radar de Wideumont donne parfois des estimations excellentes.

De manière schématique, on peut affirmer que le réseau actuel de l'IBGE fournit une image relativement représentative du champ de précipitations sur l'ensemble du territoire bruxellois dans le cas de pluies frontales. Ces pluies, typiques en saison hivernale, sont généralement assez homogènes spatialement. Par contre, durant la période chaude de l'année, le réseau peut « rater » des précipitations très intenses et abondantes tombant très localement lors d'averses orageuses. C'est surtout dans ces conditions que la combinaison entre les mesures locales au sol et les estimations radar peut fournir un champ de précipitations beaucoup plus correct pour l'ensemble du territoire régional. De ce point de vue, une meilleure connaissance de la climatologie des trajectoires orageuses sur la ville de Bruxelles pourrait peut-être fournir des

indications utiles pour le renforcement ou le redéploiement du réseau de mesures en l'un ou l'autre endroit de la ville.

Pour terminer, nous proposons quelques pistes qui nous semblent intéressantes pour poursuivre les études entamées ici ou en développer de nouvelles :

- Pour garantir l'homogénéité du traitement dans le contrôle de qualité de la base de données pluviométriques de l'IBGE, l'analyse détaillée des données effectuée sur la période 2004-2007 pourrait être étendue à la période précédente (1992-2003).
- Dans le futur, la mise en place d'une procédure de contrôle de qualité opérationnelle permettrait de garantir la pérennité de la validation et de la correction des données, ainsi que de l'estimation des données manquantes.
- Il serait intéressant de comparer les données du réseau de l'IBGE avec les mesures d'autres réseaux pluviométriques dans la région bruxelloise (IRM [3 stations dans le sud de Bruxelles] et SBGE). En effet, à terme, la combinaison des informations de ces différents réseaux devrait améliorer la connaissance de la variation spatiale des précipitations à Bruxelles. Une première étape pourrait consister en la comparaison sur le site de l'IRM à Uccle des différents types de pluviomètres utilisés dans ces réseaux. D'autre part, cette étude comparative pourrait aussi fournir des indications précieuses sur le type de pluviomètres à préconiser lors du renouvellement des réseaux.
- La cartographie des normales pluviométriques obtenue à l'occasion du présent Marché pourrait sans doute être améliorée dans un premier temps en combinant les mesures aux stations avec le forçage externe donné par l'altitude en utilisant une méthode géostatistique appropriée (de type krigeage). Il serait intéressant de tester l'apport de cette combinaison en utilisant aussi les données des stations de l'IRM et de la SBGE comme données indépendantes.
- La comparaison plus fine des séries pluviométriques aux différentes stations permettrait peut-être de détecter des effets secondaires (après l'altitude) sur le champ spatial des précipitations dans la Région bruxelloise. On pense ici en particulier aux stations dans les vallées de la Woluwe et de la Senne, dont les mesures pourraient peut-être être influencées par un « effet de vallée » dans certaines conditions météorologiques particulières.
- On pourrait mettre au point des procédures opérationnelles pour assurer une combinaison optimale des mesures pluviométriques en surface avec les estimations radar, chaque fois que cela est pertinent. De cette façon, la connaissance du champ pluviométrique sur le territoire bruxellois, à l'échelle horaire et journalière, serait améliorée par rapport aux seules mesures en surface. Une collaboration entre l'IRM et la SBGE est en cours dans ce domaine pour mettre au point une telle procédure en utilisant les données du radar de Wideumont et celles du réseau de pluviomètres de la SBGE. Ce serait intéressant de pouvoir valider (a posteriori dans ce cas) les estimations radar horaires « calibrées » à l'aide des données d'un réseau indépendant, comme celui de l'IBGE.
- À propos de la climatologie des orages à Bruxelles, on pourrait envisager une analyse d'une dizaine d'années de mesures de l'activité électrique au-dessus de la

ville grâce aux données du système SAFIR de détection des décharges électriques disponibles à l'IRM. Les mesures sont précises spatialement à 1 km environ. Dès lors, des différences spatiales dans le domaine de l'activité électrique pourraient être mises en évidence (si elles existent) sur le territoire régional. Des analyses de fréquence des orages en fonction du moment de l'année et du moment de la journée pourraient être effectuées. On pourrait envisager le même type d'étude à partir des données radar sur quelques années (en considérant les précipitations orageuses). Par comparaison des données SAFIR et radar, on pourrait aussi examiner les corrélations entre l'activité électrique et l'intensité des précipitations.

- Concernant les précipitations orageuses intenses et abondantes, une analyse approfondie de la longue série de précipitations à Uccle (données avec un pas de temps de 10 min depuis 1898) pourrait être réalisée. En fonction de besoins hydrologiques urbains précis (à définir avec les hydrologues/gestionnaires), de nouvelles analyses statistiques (par exemple, courbes IDF locales ou spatialisées), ainsi qu'une étude de l'évolution temporelle de ces statistiques (dans le cadre de la problématique des changements climatiques), pourraient être envisagées.
- Enfin, des études de modélisation pourraient être entamées dans le domaine de la climatologie urbaine. En particulier, dans le cadre d'une collaboration scientifique au niveau européen, l'IRM exploite le modèle de surface SURFEX dont la composante TEB permet de modéliser l'effet de différentes caractéristiques des surfaces urbaines sur les bilans thermique et hydrique. Des études de sensibilité pourraient par exemple être effectuées pour mettre en évidence l'influence de l'aménagement du territoire en zone urbaine sur les composantes du cycle hydrologique, par comparaison avec les résultats obtenus dans le cas d'une surface caractéristique d'une zone plus naturelle (campagne).

9 Bibliographie

David K., Dorey M. and Smith D., 1999. What's the point? Interpolation and extrapolation with a regular grid DEM. IV International Conference on GeoComputation, Fredericksburg, VA, USA.

Dehem D. et Tricot C, 2004. Étude d'une méthodologie de contrôle de qualité de données pluviométriques (MS/212/2001/04). Rapport final. Institut royal météorologique de Belgique, 46 p.

Givone C., 1997. Circulation et contrôle des données climatologiques à Météo-France. La Météorologie 8° série - n°20 - décembre 1997. 10 p.

Kelway P. S. and Herbert S. I., 1969. Short-term rainfall analysis. *Weather*, 24(9), 342-354.

Kincaid, D. and Cheney W., 2002. *Numerical Analysis* (3rd edition), Brooks/Cole. ISBN 0-534-38905-8, Chapter 6.

OMM, 1994. Guide des pratiques hydrologiques. OMM-N° 168 (5^e édition), Genève, 793 pp.

OMM, 2008. Guide des instruments et des méthodes d'observation météorologiques. OMM-N° 8 (7^e édition), Genève.

Schatzman M., 2002. *Numerical Analysis : A Mathematical Introduction*, Clarendon Press, Oxford. ISBN 0-19-850279-6. Chapters 4 and 6.

Sevruk B., 1982. *Methods of Correction for Systematic Errors in Point Precipitation Measurements for Operational Use*. WMO-N° 589, Genève, 91 pp.

10 Annexes

10.1 Annexe 1 : Inventaire des données présentes

Table 19: Inventaire mensuel des données de l'IBGE avant traitement par l'IRM avant la 01 janvier 2004. Les valeurs reprises dans le tableau donnent le nombre de données horaires sur le mois. Une valeur sur fond vert signifie que le mois est complet, une valeur sur fond orange signifie que plus de 80 % des données sont présentes sur le mois et une valeur sur fond rouge signifie que moins de 80 % des données sont présentes sur le mois.

CODE	NAME	YEAR	NDATA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
93	Shopping Center	1991	1												1
201	Paelinckx	1992	4987					1	622	744	744	720	726	703	727
203	Nord	1992	3940					1	60	207	744	720	744	720	744
291	Dépôt Communal Boitsfort	1992	4513					1	719	368	497	720	744	720	744
293	Shopping Center	1992	7466	744	696	744	181		685	744	744	720	744	720	744
296	Kinsendael	1992	5137					1	720	744	744	720	744	720	744
298	Voets	1992	2961						276	744	247		230	720	744
299	Ganshoren	1992	4053						664	349	112	720	744	720	744
201	Paelinckx	1993	8567	715	672	744	708	744	703	686	732	720	692	708	743
203	Nord	1993	7473	348	440	744	695	110	720	744	744	720	744	720	744
291	Dépôt Communal Boitsfort	1993	8686	744	672	670	720	744	720	744	744	720	744	720	744
292	Dépôt de Tram	1993	7666		396	670	720	744	720	744	744	720	744	720	744
293	Shopping Center	1993	8682	744	672	667	720	744	720	744	744	720	744	720	743
296	Kinsendael	1993	2037	300		310	85	744	395						203
298	Voets	1993	6578	384	672	744	536		232	338	744	720	744	720	744
299	Ganshoren	1993	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
201	Paelinckx	1994	7593	676	655	730	720	715	602	744	630	251	464	691	715
203	Nord	1994	8012	744	672	721	720	744	720	238	663	674	698	697	721
291	Dépôt Communal Boitsfort	1994	8759	744	672	744	720	743	720	744	744	720	744	720	744
292	Dépôt de Tram	1994	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
293	Shopping Center	1994	7274	744	672	683		39	720	744	744	720	744	720	744

CODE	NAME	YEAR	NDA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
296	Kinsendael	1994	4844	744	672	656						564	744	720	744
298	Voets	1994	8619	744	672	744	720	744	649	744	744	720	744	720	674
299	Ganshoren	1994	8659	744	572	744	720	743	720	744	744	720	744	720	744
201	Paelinckx	1995	7903	744	648	727	720	740	678	727	744	720	727	645	83
203	Nord	1995	8579	744	672	563	720	744	720	744	744	720	744	720	744
288	Viangros	1995	7532	277	560	96	720	744	720	744	744	720	744	720	743
291	Dépôt Communal Boitsfort	1995	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
292	Dépôt de Tram	1995	8759	744	672	743	720	744	720	744	744	720	744	720	744
293	Shopping Center	1995	8759	744	672	744	720	744	720	743	744	720	744	720	744
296	Kinsendael	1995	6267	744	672	557	496	704	720	744	491			395	744
298	Voets	1995	7218	744	672	743	52	709	720	84	566	720	744	720	744
299	Ganshoren	1995	8735	744	672	720	719	744	720	744	744	720	744	720	744
201	Paelinckx	1996	4987					44	687	744	687	709	703	720	693
203	Nord	1996	8784	744	696	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
288	Viangros	1996	8784	744	696	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
291	Dépôt Communal Boitsfort	1996	8638	743	696	742	720	602	720	744	743	720	744	720	744
292	Dépôt de Tram	1996	8784	744	696	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
293	Shopping Center	1996	6677	518		273	720	744	720	566	208	720	744	720	744
296	Kinsendael	1996	7199	744	696	444	132	744	720	372	419	720	744	720	744
298	Voets	1996	8346	744	696	719	720	744	720	744	744	720	744	307	744
299	Ganshoren	1996	8763	723	696	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
201	Paelinckx	1997	8645	712	656	744	720	744	720	744	744	704	727	703	727
203	Nord	1997	8675	744	672	744	720	744	720	744	744	635	744	720	744
287	Semence	1997	891											660	231
288	Viangros	1997	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
291	Dépôt Communal Boitsfort	1997	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
292	Dépôt de Tram	1997	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
293	Shopping Center	1997	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744

CODE	NAME	YEAR	NDA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
296	Kinsendaël	1997	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
298	Voets	1997	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
299	Ganshoren	1997	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
97	Anderlecht	1998	6869			273	719	744	720	744	743	720	743	719	744
103	Senne Viangros	1998	50												50
201	Paelinckx	1998	8499	727	672	744	642	721	679	727	727	703	710	720	727
203	Nord	1998	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
286	Roodebeek	1998	1502										38	720	744
287	Semence	1998	7381		37	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
288	Viangros	1998	6912	744	672	744	720	744	181		179	720	744	720	744
291	Dépôt Communal Boitsfort	1998	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
292	Dépôt de Tram	1998	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
293	Shopping Center	1998	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
296	Kinsendaël	1998	7113	744	672	744	720	744	720	744	744	720	34	516	11
298	Voets	1998	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
299	Ganshoren	1998	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
97	Anderlecht	1999	8753	744	671	744	718	744	720	743	744	719	744	719	743
103	Senne Viangros	1999	8710	744	648	718	720	744	720	744	744	720	744	720	744
201	Paelinckx	1999	8544	744	672	744	703	744	720	731	744	720	598	680	744
203	Nord	1999	8234	744	672	744	719	744	720	744	219	720	744	720	744
286	Roodebeek	1999	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
287	Semence	1999	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
288	Viangros	1999	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
291	Dépôt Communal Boitsfort	1999	6770	744	202			688	720	744	744	720	744	720	744
292	Dépôt de Tram	1999	7750	744	672	744	720	744	720	34	446	718	744	720	744
293	Shopping Center	1999	5567	744	672	744	609		134	744	297		230	649	744
296	Kinsendaël	1999	6392		394	743	720	744	720	300		563	744	720	744
298	Voets	1999	8759	744	672	743	720	744	720	744	744	720	744	720	744
299	Ganshoren	1999	7753	744	672	744	720	744	720	744	744	322	135	720	744

CODE	NAME	YEAR	NDA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
97	Anderlecht	2000	8775	742	696	743	719	743	720	742	744	719	744	720	743
103	Senne Viangros	2000	8784	744	696	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
201	Paelinckx	2000	8365	744	696	744	720	710	707	654	744	650	573	720	703
203	Nord	2000	8148	744	682	744	686	744	132	744	744	720	744	720	744
286	Roodebeek	2000	8784	744	696	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
287	Semence	2000	7483	744	696	341		566	720	744	744	720	744	720	744
288	Viangros	2000	8784	744	696	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
291	Dépôt Communal Boitsfort	2000	8322	744	234	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
292	Dépôt de Tram	2000	8784	744	696	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
293	Shopping Center	2000	8784	744	696	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
296	Kinsendaël	2000	8784	744	696	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
298	Voets	2000	8781	744	696	744	720	743	719	744	744	720	744	719	744
299	Ganshoren	2000	8784	744	696	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
97	Anderlecht	2001	8750	744	671	743	720	743	719	744	742	720	743	717	744
103	Senne Viangros	2001	8638	744	672	744	720	744	673	744	744	720	669	720	744
201	Paelinckx	2001	7965	727	651	727	635	692	720	679	662	654	522	552	744
203	Nord	2001	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
285	Avant-Port	2001	8078	62	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
286	Roodebeek	2001	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
287	Semence	2001	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
288	Viangros	2001	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
291	Dépôt Communal Boitsfort	2001	4860	371	326	744	720	178				639	744	720	418
292	Dépôt de Tram	2001	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
293	Shopping Center	2001	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
296	Kinsendaël	2001	8759	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	743
298	Voets	2001	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
299	Ganshoren	2001	7704	744	672	154	279	720	720	744	743	720	744	720	744
97	Anderlecht	2002	8746	741	671	742	720	743	718	742	743	720	743	719	744

CODE	NAME	YEAR	NDA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
103	Senne Viangros	2002	8758	742	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
201	Paelinckx	2002	8650	744	672	744	720	727	720	744	726	720	686	720	727
203	Nord	2002	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
285	Avant-Port	2002	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
286	Roodebeek	2002	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
287	Semence	2002	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
288	Viangros	2002	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
291	Dépôt Communal Boitsfort	2002	5309	335	62	744	719	744	720	346			181	714	744
292	Dépôt de Tram	2002	7368	744	672	106		710	720	744	744	720	744	720	744
293	Shopping Center	2002	8469	744	672	744	720	454	720	744	744	719	744	720	744
296	Kinsendael	2002	8134	744	672	744	720	744	130	709	744	719	744	720	744
298	Voets	2002	7110	744	672	744	719	742	720	744	744	720	561		
299	Ganshoren	2002	8314	744	672	624	720	744	720	744	744	720	526	612	744
97	Anderlecht	2003	8729	743	668	728	720	743	720	742	742	718	742	720	743
103	Senne Viangros	2003	8568	744	672	744	528	744	720	744	744	720	744	720	744
201	Paelinckx	2003	8605	744	672	744	720	744	720	744	727	678	710	658	744
203	Nord	2003	8759	744	672	744	720	744	720	744	744	720	743	720	744
285	Avant-Port	2003	8759	744	672	744	720	744	720	744	744	720	743	720	744
286	Roodebeek	2003	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
287	Semence	2003	8753	738	672	744	720	744	720	744	744	720	743	720	744
288	Viangros	2003	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
291	Dépôt Communal Boitsfort	2003	8759	744	672	744	720	744	720	744	744	720	743	720	744
292	Dépôt de Tram	2003	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
293	Shopping Center	2003	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
296	Kinsendael	2003	8751	736	672	744	720	743	720	744	744	720	744	720	744
298	Voets	2003	6887	253	672	744	720	743	720	744	744	720	744	83	
299	Ganshoren	2003	8759	744	672	744	720	744	720	744	744	720	743	720	744

10.2 Annexe 2 : Etalonnage

Le tableau suivant reprend les dates d'étalonnage, et les données y afférent, reprises dans la base de données de l'IRM. Les colonnes relatives au nombre de basculements sont décrites dans le texte au point 3. La colonne 'Fact' désigne le facteur de correction relatif à la période considérée. L'intensité de calibrage (mm/heure) est donnée à titre indicatif, elle n'intervient pas dans le calcul du facteur de correction. La couleur bleu désigne les différences par rapport aux données fournies par l'IBGE. Les stations 97, 285, 294, 292, 293 ont connu une transition de 100 à 50 du nombre de basculements escompté. Les valeurs relatives au nombre de basculements ont été ramenées à une valeur commune de 50 par une division par 2 des valeurs se rapportant initialement à 100 basculements.

Table 20. Dates d'étalonnage, et les données y afférent, reprises dans la base de données de l'IRM.

Code	Date_Etalonnage	Date_Etalonnage_next	N_Avant	N_Après_Nettoyage	N_Après	Intensité_Calibrage	Fact
97	07/12/2003	13/01/2004	49		50	24	1.016
97	13/01/2004	28/06/2004	49.2	49.1	50.6	24	1.041
97	28/06/2004	07/12/2004	48.6	48	50.75	24	1.036
97	07/12/2004	26/04/2005	49	49	50	24	1
97	26/04/2005	29/07/2005	50	49	50	24	1
97	29/07/2005	05/12/2005	50		49	24	1.021
97	05/12/2005	11/05/2006	48	48	50	24	1
97	11/05/2006	15/09/2006	50		50.1	60	1.022
97	15/09/2006	23/11/2006	49	47	50	60	1
97	23/11/2006	11/10/2007	50		50	60	1.02
97	11/10/2007		49	49	49	60	
103	10/06/2003	23/02/2004	97		101	75	0.971
103	23/02/2004	28/07/2004	104	98	99	75	1
103	28/07/2004	03/08/2004	99		98	75	1
103	03/08/2004	22/10/2004	98		99.5	75	1.026
103	22/10/2004	24/03/2005	97	99	99	75	0.971
103	24/03/2005	26/04/2005	102	98	101	75	1.02
103	26/04/2005	27/07/2005	99	100	100	75	1
103	27/07/2005	04/08/2006	100		99	75	0.925
103	04/08/2006	30/01/2007	107	102	100	60	0.98
103	30/01/2007	22/02/2007	102	95	100	60	0.763
103	22/02/2007	29/11/2007	131	144	99	60	0.952
103	29/11/2007		104	100	100	60	

Code	Date_Etalon nage	Date_Etalon nage_next	N_Avant	N_Après_ Nettoyage	N_Après	Intensité_ Calibrage	Fact
201	30/10/2003	20/04/2004	102.5		99.5	75	1.015
201	20/04/2004	16/09/2004	98	99	99	75	0.971
201	16/09/2004	18/03/2005	102	96	101	75	0.981
201	18/03/2005	29/07/2005	103	98	100	75	1
201	29/07/2005	21/09/2005	100		102	75	1
201	21/09/2005	21/03/2006	102	99	100	75	1.053
201	21/03/2006	04/08/2006	95	90	99	60	1.1
201	04/08/2006	16/01/2007	90	87	99	60	0.846
201	16/01/2007	21/08/2007	117	109	99	60	0.952
201	21/08/2007	12/10/2007	104	101	101	60	1.02
201	12/10/2007		99	97	100	60	
203	23/10/2003	11/05/2004	110		99	75	0.98
203	11/05/2004	07/12/2004	101	100	100	75	0.971
203	07/12/2004	26/04/2005	103	101	100	75	1
203	26/04/2005	28/07/2005	100	99	100	75	1
203	28/07/2005	14/02/2006	100		100	75	1
203	14/02/2006	16/03/2006	100		100.5	60	1.142
203	16/03/2006	04/08/2006	88	94	101	60	0.935
203	04/08/2006	08/01/2007	108	103	99	60	0.98
203	08/01/2007	06/09/2007	101	99	99	60	0.925
203	06/09/2007	17/09/2007	107	107	107	60	1
203	17/09/2007	29/11/2007	107		99	60	0.971
203	29/11/2007		102	97	100	60	
285	29/07/2003	16/03/2004	50.5		50.5	24	1.052
285	16/03/2004	28/09/2004	48	48.5	50.5	24	1.031
285	28/09/2004	09/03/2005	49	47.4	50.5	24	1.031
285	09/03/2005	28/07/2005	49	50	50	24	1
285	28/07/2005	09/09/2005	50		49	24	1
285	09/09/2005	05/12/2005	49	48	50	24	0.943
285	05/12/2005	27/04/2006	53	52	50	60	0.98
285	27/04/2006	15/09/2006	51	50.1	50.1	60	0.982
285	15/09/2006	14/11/2006	51	49	50	60	1
285	14/11/2006	11/10/2007	50	49	49	60	1
285	11/10/2007		49	46	50	60	
286	21/10/2003	27/04/2004	87		99	75	1.076
286	27/04/2004	02/11/2004	92	94	101	75	1.031
286	02/11/2004	02/05/2005	98	99	100	75	1.064
286	02/05/2005	16/03/2006	94	94	100	75	0.971

Code	Date_Etalon nage	Date_Etalon nage_next	N_Avant	N_Après_ Nettoyage	N_Après	Intensité_ Calibrage	Fact
286	16/03/2006	04/08/2006	103	95	100	60	1.02
286	04/08/2006	23/01/2007	98	96	100	60	0.971
286	23/01/2007	11/10/2007	103	99	99	60	0.934
286	11/10/2007		106	98	100	60	
287	16/10/2003	13/05/2004	93		99	75	0.892
287	13/05/2004	02/11/2004	111	103	100	75	0.98
287	02/11/2004	26/04/2005	102	99	101	75	1.174
287	26/04/2005	29/07/2005	86	80	100	75	1
287	29/07/2005	21/03/2006	100		101	75	1.122
287	21/03/2006	04/08/2006	90	87	100	60	0.98
287	04/08/2006	01/02/2007	102	99	99	60	0.934
287	01/02/2007	11/10/2007	106	99	99	60	0.934
287	11/10/2007		106	100	100	60	
288	30/09/2003	25/05/2004	95		101	75	0.962
288	25/05/2004	22/10/2004	105	99	99	75	0.98
288	22/10/2004	26/04/2005	101	104	101	75	1.01
288	26/04/2005	29/07/2005	100	100	100	75	1
288	29/07/2005	21/03/2006	100	96	100	75	1.031
288	21/03/2006	04/08/2006	97	93	100	60	1
288	04/08/2006	22/01/2007	100	96	100	60	1
288	22/01/2007	23/08/2007	100	95.5	101	60	0.815
288	23/08/2007	29/11/2007	124	112	101	60	0.918
288	29/11/2007		110			60	
291	07/10/2003	05/02/2004	48		50	24	1
291	05/02/2004	08/03/2004	50		50.6	24	1.002
291	08/03/2004	09/09/2004	50.5	50.5	49.8	24	1.073
291	09/09/2004	18/03/2005	46.4	46	50.6	24	1.077
291	18/03/2005	11/07/2005	47	47	50	24	1.07
291	11/07/2005	28/07/2005	46.75	46.75	50	24	1.22
291	28/07/2005	18/08/2005	41	38	50	24	1
291	18/08/2005	21/09/2005	50		50.2	24	1.091
291	21/09/2005	07/12/2005	46	46	50	24	0.909
291	07/12/2005	02/05/2006	55	56	50	60	0.962
291	02/05/2006	15/09/2006	52	52	50	60	1.163
291	15/09/2006	08/01/2007	43	48	50	60	0.96
291	08/01/2007	02/04/2007	52.1	52.25	49	60	1
291	02/04/2007	12/10/2007	49		50	60	0.962
291	12/10/2007		52	49	50	60	

Code	Date_Etalonnage	Date_Etalonnage_next	N_Avant	N_Après_Nettoyage	N_Après	Intensité_Calibrage	Fact
292	21/10/2003	12/02/2004	57		50.5	24	1
292	12/02/2004	10/06/2004	50.5		50.6	24	1.01
292	10/06/2004	13/12/2004	50.1	50.75	50.3	24	1.07
292	13/12/2004	02/05/2005	47	47	50	24	0.98
292	02/05/2005	28/07/2005	51	49	50	24	1
292	28/07/2005	05/12/2005	50		50	24	0.943
292	05/12/2005	15/09/2006	53	54	50	60	1
292	15/09/2006	11/10/2007	50	52	50	60	1.042
292	11/10/2007		48	46	50	60	
293	07/10/2003	18/03/2004	48		50	24	1.01
293	18/03/2004	20/09/2004	49.5	48.9	49.2	24	1
293	20/09/2004	27/01/2005	49.2		49.5	24	1
293	27/01/2005	28/07/2005	49.5		50	24	1.02
293	28/07/2005	21/09/2005	49	50	50	24	1.087
293	21/09/2005	11/10/2005	46	46	50	24	1
293	11/10/2005	05/12/2005	50		49.5	24	1.01
293	05/12/2005	09/05/2006	49	50	50	60	0.985
293	09/05/2006	28/08/2006	50.75	50.1	49	60	1.089
293	28/08/2006	30/11/2006	45	45	50.1	60	1
293	30/11/2006	11/10/2007	50.1		51.1	60	0.983
293	11/10/2007		52	49	50	60	
296	05/05/2003	20/01/2004	99		100	75	1.064
296	20/01/2004	24/02/2004	94	98	98	75	1
296	24/02/2004	21/09/2004	98		99.5	75	1.026
296	21/09/2004	18/03/2005	97	100	100	75	1.01
296	18/03/2005	21/09/2005	99	98	100	75	1.053
296	21/09/2005	21/03/2006	95	97	100	75	1.01
296	21/03/2006	04/08/2006	99	97	100	60	0.893
296	04/08/2006	01/02/2007	112	106	100	60	0.98
296	01/02/2007	12/10/2007	102	97	99	60	0.952
296	12/10/2007		104	100	100	60	
298	27/05/2003	05/02/2004	105		100	75	0.952
298	05/02/2004	13/07/2004	105	101	101	75	0.971
298	13/07/2004	13/12/2004	104	101	101	75	1.074
298	13/12/2004	27/01/2005	94	94	101	75	1
298	27/01/2005	28/07/2005	101		100	75	1.136
298	28/07/2005	27/10/2005	88	85	99	75	1
298	27/10/2005		99			75	

Code	Date_Etalonnage	Date_Etalonnage_next	N_Avant	N_Après_Nettoyage	N_Après	Intensité_Calibrage	Fact
299	03/06/2003	10/02/2004	96.5		100	75	1.282
299	10/02/2004	17/06/2004	78		101	75	0.962
299	17/06/2004	07/12/2004	105	103	100.5	75	0.995
299	07/12/2004	26/04/2005	101	102	99	75	0.934
299	26/04/2005	28/07/2005	106	104	100	75	1.316
299	28/07/2005	21/03/2006	76	78	100	75	1.01
299	21/03/2006	04/08/2006	99	96	100	60	0.909
299	04/08/2006	12/03/2007	110	104	100	60	0.943
299	12/03/2007	15/03/2007	106	104	100	60	0.943
299	15/03/2007	16/08/2007	106	104	99	60	1.207
299	16/08/2007	29/11/2007	82	82	101	60	0.962
299	29/11/2007		105	98	100	60	

Pluvio 203 (Pluvio Nord) : Suppression des dates d'étalonnage en double pour le 11/05/2004 et le 07/12/2004.

10.3 Annexe 3 : Climatologie des précipitations (1999-2006)

Cette annexe reprend dans l'ordre, la liste des stations disponibles sur la période 01/01/1999-30/09/2007, ainsi que trois climatologies pour ces stations. Dans cette annexe, nous reprenons à titre indicatif les valeurs obtenues pour la station de Senne Viangros ; au vu de ses valeurs, cette station n'a pas été utilisée pour l'obtention des cartes reprises en annexe 4. La première climatologie est obtenue en moyennant les données aux stations sur la période retenue. La seconde est obtenue à partir de la première par calibration des valeurs en utilisant la normale pluviométrique annuelle à Uccle sur la période 1971-2000. La troisième est obtenue en lissant spatialement les données de la seconde climatologie. On se reportera au point 5.3 dans le texte pour les détails de ces opérations. Les cartes obtenues à l'annexe 4 sont basées sur la troisième climatologie.

Code	Type d'appareil	Nom	Début	Fin
97	PM	Anderlecht	20/03/1998:15	28/11/2007:22
103	Geru	Senne Viangros	29/12/1998:22	28/11/2007:23
201	Geru	Paelinckx	31/05/1992:23	28/11/2007:22
203	Geru	Nord	31/05/1992:23	28/11/2007:22
286	Geru	Roodebeek	30/10/1998:10	28/11/2007:22
287	Geru	Semence	03/11/1997:12	28/11/2007:22
288	Geru	Viangros	20/01/1995:11	26/11/2007:19
291	PM	Dépôt Communal Boitsfort	31/05/1992:23	28/11/2007:22
292	PM	Dépôt de Tram	12/02/1993:12	28/11/2007:22
293	PM	Shopping Center	31/12/1991:23	28/11/2007:22
296	Geru	Kinsendael	31/05/1992:23	10/10/2007:03
299	PM	Ganshoren	03/06/1992:08	28/11/2007:22

Table 21: Liste des stations de l'IBGE dont les données sont complètes sur la période 01/01/1999-30/09/2007.

01/01/1999-30/09/2007	Cumuls mensuels, saisonniers et annuels moyens											
12 stations complètes												
Mois\code station	201	296	291	103	288	97	292	293	286	287	299	203
1	94.9	81.1	87.9	73.0	84.4	86.7	83.5	79.8	84.6	78.2	79.9	71.5
2	90.2	78.5	88.9	71.8	83.3	82.1	87.1	82.6	85.1	79.4	76.6	69.6
3	67.7	55.7	67.8	57.1	63.8	66.0	67.2	64.0	60.1	61.9	58.2	53.7
4	52.5	50.9	54.4	44.7	53.7	52.9	60.6	58.0	54.3	46.3	50.1	45.6
5	62.8	67.0	68.4	60.3	63.9	62.9	65.1	64.9	60.3	64.1	63.4	55.0
6	59.8	58.7	58.5	48.0	54.4	51.3	59.3	58.5	54.2	51.5	53.2	49.9
7	87.8	90.0	93.4	86.1	102.4	97.0	99.8	99.7	97.2	92.9	94.8	79.4
8	102.5	98.2	89.4	82.5	93.0	91.0	91.2	91.0	90.5	87.0	86.4	94.5
9	73.0	62.1	61.5	57.2	63.1	58.7	71.2	63.4	67.1	59.1	62.6	58.0
10	74.0	69.8	68.3	63.3	71.0	66.8	69.6	66.4	67.8	61.8	63.4	59.2
11	77.3	70.8	77.0	68.3	72.9	72.7	75.8	72.9	78.1	71.1	74.5	67.2
12	92.6	85.4	94.4	79.8	88.8	85.2	90.9	87.5	92.7	85.9	85.3	78.9
printemps	193.9	185.9	199.3	171.1	191.6	192.0	203.4	197.3	183.8	179.3	180.6	164.6
été	254.3	249.6	243.8	218.1	249.9	239.2	253.1	248.8	243.7	232.2	234.6	221.0
automne	225.6	203.7	207.0	188.1	207.0	198.1	218.3	203.7	215.1	193.5	202.1	186.0
hiver	261.7	238.0	266.0	223.9	252.0	245.3	255.8	245.3	254.3	240.0	240.0	214.3
année	943.1	873.9	912.3	787.3	895.0	869.2	930.6	894.0	900.8	834.5	849.0	778.0
	(Classement des stations du sud au nord)											

Table 22. Première climatologie des précipitations : données moyennes aux stations sur la période 1999-2006.

01/01/1999-30/09/2007	Cumuls mensuels, saisonniers et annuels moyens											
12 stations complètes												
Mois\N station	201	296	291	103	288	97	292	293	286	287	299	203
1	88.0	75.2	81.5	67.7	78.3	80.4	77.5	74.0	78.4	72.5	74.1	66.3
2	83.7	72.8	82.4	66.6	77.3	76.2	80.8	76.6	79.0	73.7	71.1	64.6
3	62.8	51.6	62.9	53.0	59.2	61.2	62.4	59.4	55.7	57.4	54.0	49.8
4	48.7	47.3	50.5	41.4	49.8	49.1	56.2	53.8	50.4	42.9	46.5	42.3
5	58.3	62.2	63.4	56.0	59.3	58.3	60.4	60.2	55.9	59.5	58.8	51.0
6	55.5	54.5	54.3	44.6	50.4	47.6	55.0	54.2	50.3	47.8	49.4	46.3
7	81.4	83.4	86.6	79.9	95.0	90.0	92.6	92.5	90.2	86.1	87.9	73.6
8	95.1	91.1	83.0	76.5	86.3	84.4	84.6	84.4	84.0	80.7	80.1	87.7
9	67.7	57.6	57.1	53.1	58.5	54.5	66.0	58.8	62.2	54.9	58.0	53.8
10	68.6	64.7	63.3	58.7	65.9	62.0	64.5	61.6	62.9	57.3	58.8	54.9
11	71.7	65.6	71.5	63.4	67.7	67.5	70.3	67.6	72.4	65.9	69.1	62.3
12	85.9	79.3	87.5	74.0	82.4	79.0	84.3	81.2	86.0	79.7	79.1	73.2
printemps	179.8	172.4	184.9	158.7	177.7	178.1	188.7	183.0	170.5	166.4	167.5	152.7
été	235.9	231.6	226.2	202.3	231.8	221.9	234.8	230.8	226.1	215.4	217.7	205.0
automne	209.3	189.0	192.0	174.5	192.0	183.8	202.5	189.0	199.6	179.5	187.5	172.5
hiver	242.8	220.8	246.8	207.7	233.7	227.5	237.3	227.5	235.9	222.6	222.6	198.8
année	874.8	810.7	846.3	730.4	830.2	806.3	863.2	829.3	835.6	774.1	787.6	721.7
	(Classement des stations du sud au nord)											

Table 23. Deuxième climatologie des précipitations : données moyennes aux stations, calibrées en fonction du rapport des moyennes annuelles relevées à la station de l'IRM à Uccle sur les périodes 1971-2000 et 1999-2006.

01/01/1999-30/09/2007	Cumuls mensuels, saisonniers et annuels moyens										
12 stations completes											
Mois\N station	201	296	291	288	97	292	293	286	287	299	203
1	82.5	78.0	79.6	79.0	79.1	77.5	76.1	76.7	75.0	74.7	71.6
2	80.0	76.0	80.3	76.6	76.5	79.6	77.8	78.2	74.5	73.1	70.9
3	59.8	56.1	61.0	59.8	60.0	60.3	58.2	57.8	57.7	56.0	54.1
4	48.9	48.3	50.9	49.3	49.1	53.6	52.4	52.0	45.8	46.5	46.2
5	59.6	60.7	61.3	59.0	58.9	59.7	58.6	58.1	59.2	58.9	55.1
6	54.2	53.3	53.6	49.4	49.1	53.7	52.7	52.2	49.0	49.4	49.0
7	84.3	85.6	87.9	92.1	91.6	91.0	91.3	91.0	87.7	87.6	81.6
8	90.8	89.1	84.5	85.4	85.1	84.5	84.3	84.2	82.5	81.8	85.9
9	62.9	59.0	59.5	56.8	56.4	62.8	60.6	61.1	56.3	57.4	56.8
10	66.0	64.6	63.5	63.9	63.4	63.5	62.3	62.5	59.7	59.6	58.6
11	69.8	67.6	70.3	67.6	67.6	70.2	69.7	70.3	67.2	68.1	65.8
12	83.9	81.3	85.2	80.9	80.6	84.2	83.3	83.9	80.2	79.9	77.9
printemps	178.2	175.4	182.1	177.4	177.3	182.8	178.3	176.8	170.6	169.5	164.7
ete	232.0	230.1	228.1	227.1	225.9	231.0	228.9	228.4	219.7	219.3	215.8
automne	199.8	192.0	194.0	188.3	187.4	198.0	194.0	195.4	184.2	186.3	182.5
hiver	236.1	228.2	239.4	230.6	229.9	235.6	231.5	232.7	225.4	224.3	215.1
annee	848.1	823.6	841.5	818.5	815.5	847.3	833.4	834.6	792.6	792.5	773.3
(Classement des stations du sud au nord)											

Table 24. Troisième climatologie des précipitations : données moyennes aux stations, calibrées et lissées spatialement.

10.4 Annexe 4 : Cartes des précipitations en Région bruxelloise.

Cette annexe reprend les cartes de précipitations pour la Région bruxelloise obtenues à partir des données du réseau de l'IBGE sur la période 01/01/1999-30/09/2007. Dix-sept cartes sont présentées, dans l'ordre suivant :

- 1) Carte annuelle des précipitations.
- 2) Cartes saisonnières des précipitations : printemps, été, automne et hiver.
- 3) Cartes mensuelles des précipitations : de janvier à décembre.

Les saisons sont définies comme suit:

- printemps: agrégation des mois de mars, avril et mai
- été: agrégation des mois de juin, juillet et août
- automne: agrégation des mois de septembre, octobre et novembre
- hiver: agrégation des mois de décembre, janvier et février

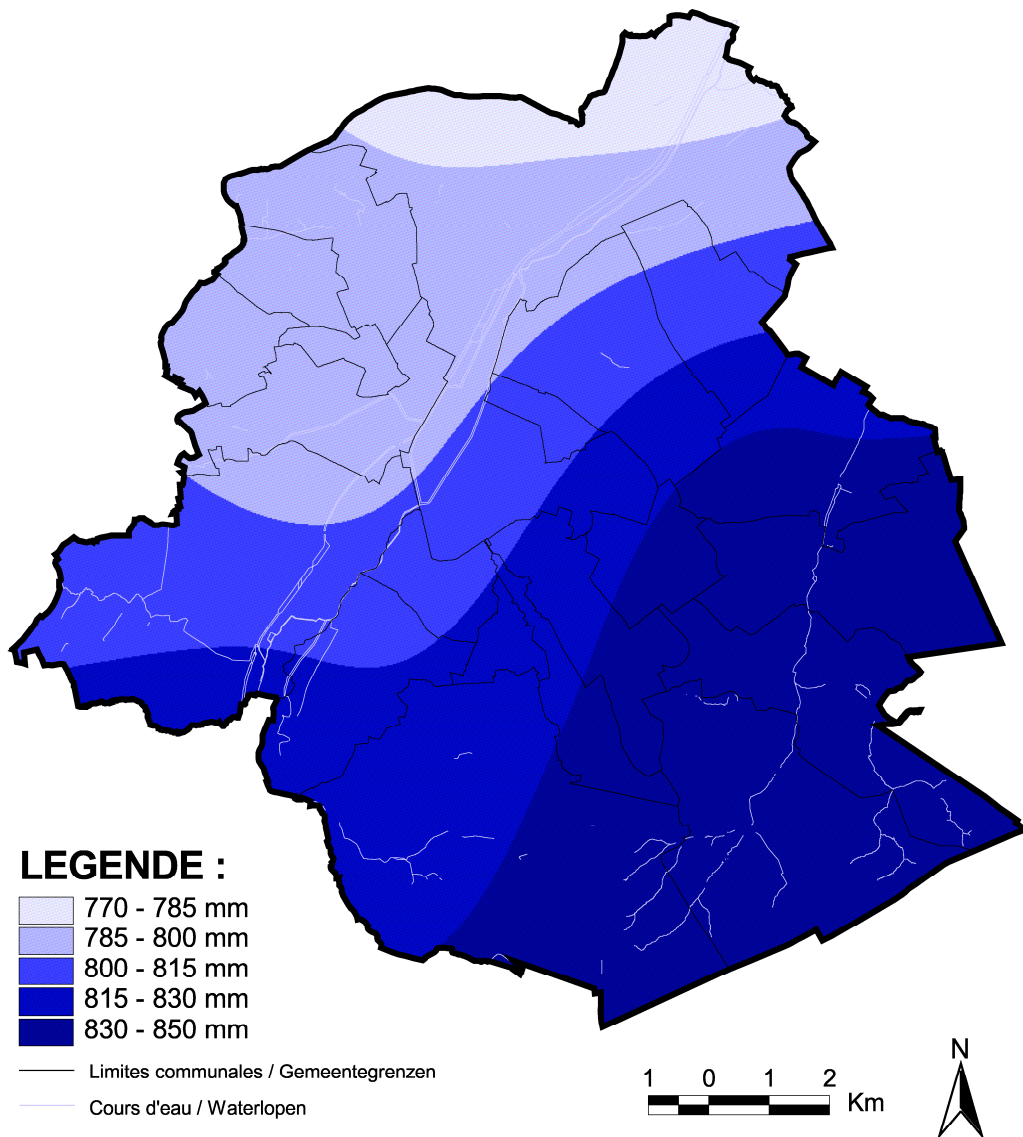
Onze stations ont été utilisées pour l'obtention des cartes. Ces stations sont reprises à la Table 21 de l'annexe 3 (cette table contient également la station de Senne Viangros qui a été exclue de l'étude).

Une échelle de couleurs uniforme a été utilisée pour les saisons d'une part et pour les mois d'autre part. Cela permet une comparaison visuelle simple des cartes entre elles.

Les cartes sont dans la projection Lambert 72 (Grid Lambert 72) avec le datum correspondant (Belgian Datum 1972).

Région de Bruxelles-Capitale
Précipitations annuelles

Brussels Hoofdstedelijk Gewest
Jaarlijkse Neerslag



Source : données pluviométriques issues du réseau de mesures de Bruxelles Environnement IBGE de 1999 à 2006

Bron : neerslaggegevens van het meetnet van Leefmilieu Brussel BIM van 1999 tot 2006

Bruxelles Environnement IBGE - Division Nature, Eau et Forêt
Cartographie : IRM - décembre 2008
Réalisé avec Brussels URbIS ©© - Distribution & Copyright CIRB

Leefmilieu Brussel BIM - Afdeling Natuur, Water en Bos
Cartografie : KMI - december 2008
Verwezenlijkt door middel van Brussels URbIS ©© - Verdeling & Copyright CIBG



BRUXELLES ENVIRONNEMENT
IBGE - INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT

LEEFMILIEU BRUSSEL
BIM - BRUSSELS INSTITUUT VOOR MILIEUBEHEER

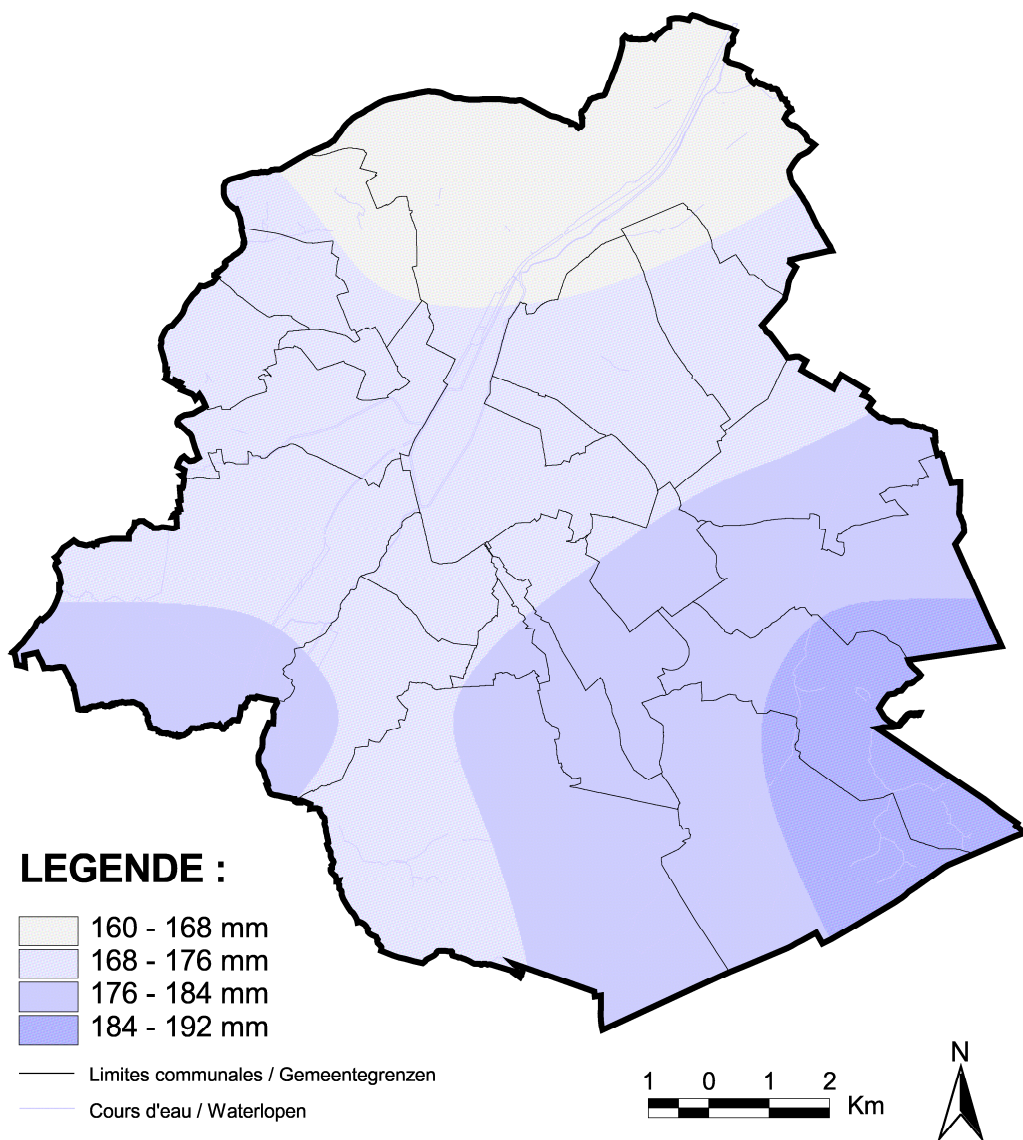


Région de Bruxelles-Capitale

Brussels Hoofdstedelijk Gewest

Précipitations printanières

Lenteneerslag



Source : données pluviométriques issues du réseau de mesures de Bruxelles Environnement IBGE de 1999 à 2006

Bron : neerslaggegevens van het meetnet van Leefmilieu Brussel BIM van 1999 tot 2006

Bruxelles Environnement IBGE - Division Nature, Eau et Forêt
Cartographie : IRM - décembre 2008
Réalisé avec Brussels URbIS ©© - Distribution & Copyright CIRB

Leefmilieu Brussel BIM - Afdeling Natuur, Water en Bos
Cartografie : KMI - december 2008
Verwezenlijkt door middel van Brussels URbIS ©© - Verdeling & Copyright CIBG



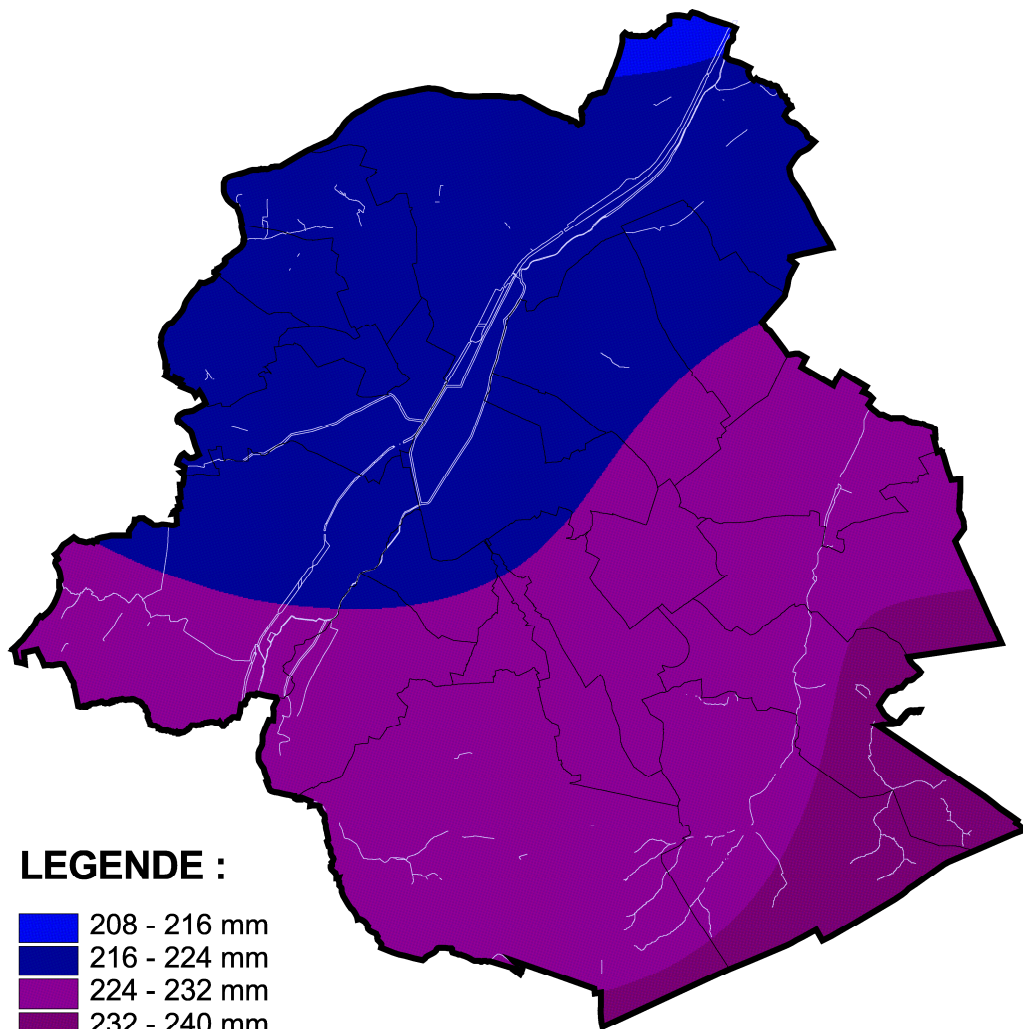
BRUXELLES ENVIRONNEMENT LEEFMILIEU BRUSSEL

IBGE - INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT BIM - BRUSSELS INSTITUUT VOOR MILIEUBEHEER





Région de Bruxelles-Capitale
Précipitations estivales

Brussels Hoofdstedelijk Gewest
Zomerneerslag



LEGENDE :

-  208 - 216 mm
-  216 - 224 mm
-  224 - 232 mm
-  232 - 240 mm

— Limites communales / Gemeentegrenzen

— Cours d'eau / Waterlopen



Source : données pluviométriques issues du réseau de mesures de Bruxelles Environnement IBGE de 1999 à 2006

Bron : neerslaggegevens van het meetnet van Leefmilieu Brussel BIM van 1999 tot 2006

Bruxelles Environnement IBGE - Division Nature, Eau et Forêt
Cartographie : IRM - décembre 2008
Réalisé avec Brussels URbIS ©© - Distribution & Copyright CIRB

Leefmilieu Brussel BIM - Afdeling Natuur, Water en Bos
Cartografie : KMI - december 2008
Verwezenlijkt door middel van Brussels URbIS ©© - Verdeling & Copyright CIBG



BRUXELLES ENVIRONNEMENT **LEEFMILIEU BRUSSEL**

IBGE - INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT BIM - BRUSSELS INSTITUUT VOOR MILIEUBEHEER

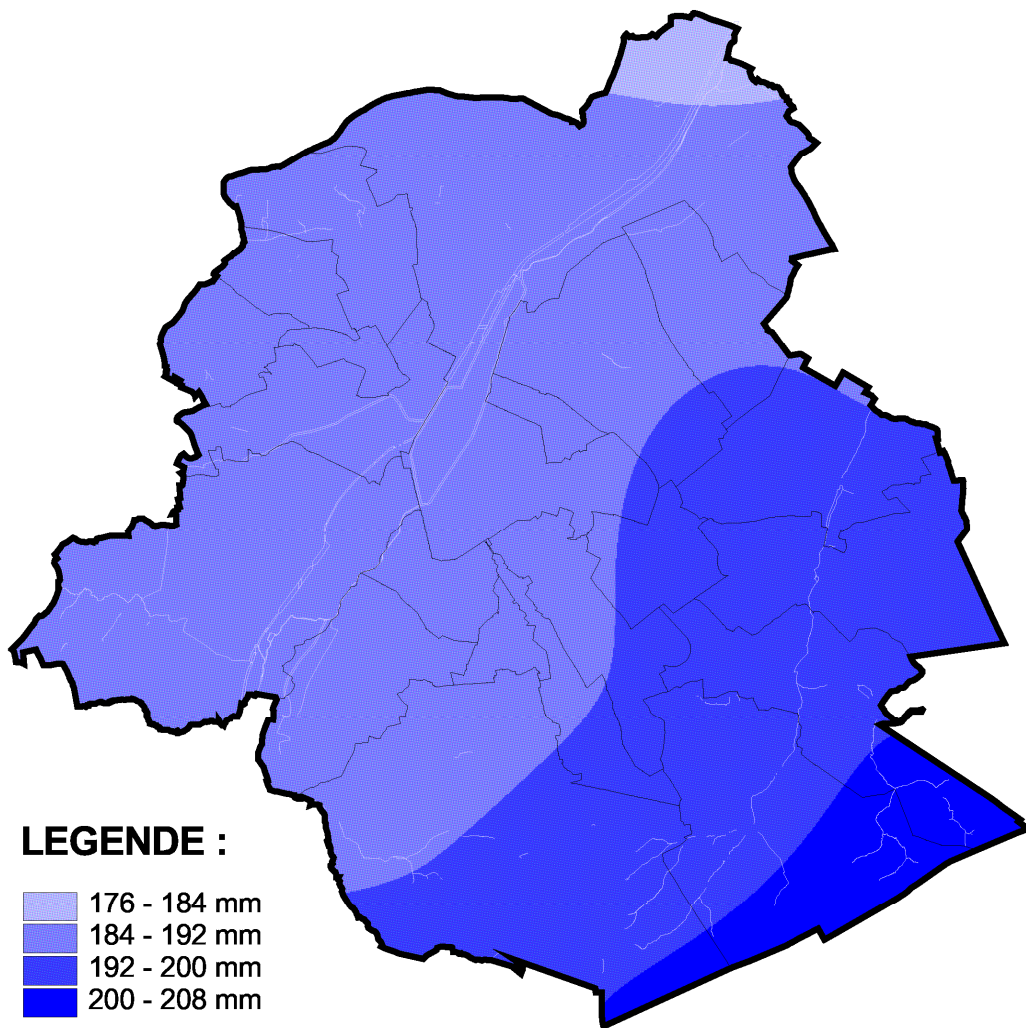


Région de Bruxelles-Capitale





Brussels Hoofdstedelijk Gewest



Précipitations automnales

Herfstneerslag



LEGENDE :

-  176 - 184 mm
-  184 - 192 mm
-  192 - 200 mm
-  200 - 208 mm

-  Limites communales / Gemeentegrenzen
-  Cours d'eau / Waterlopen



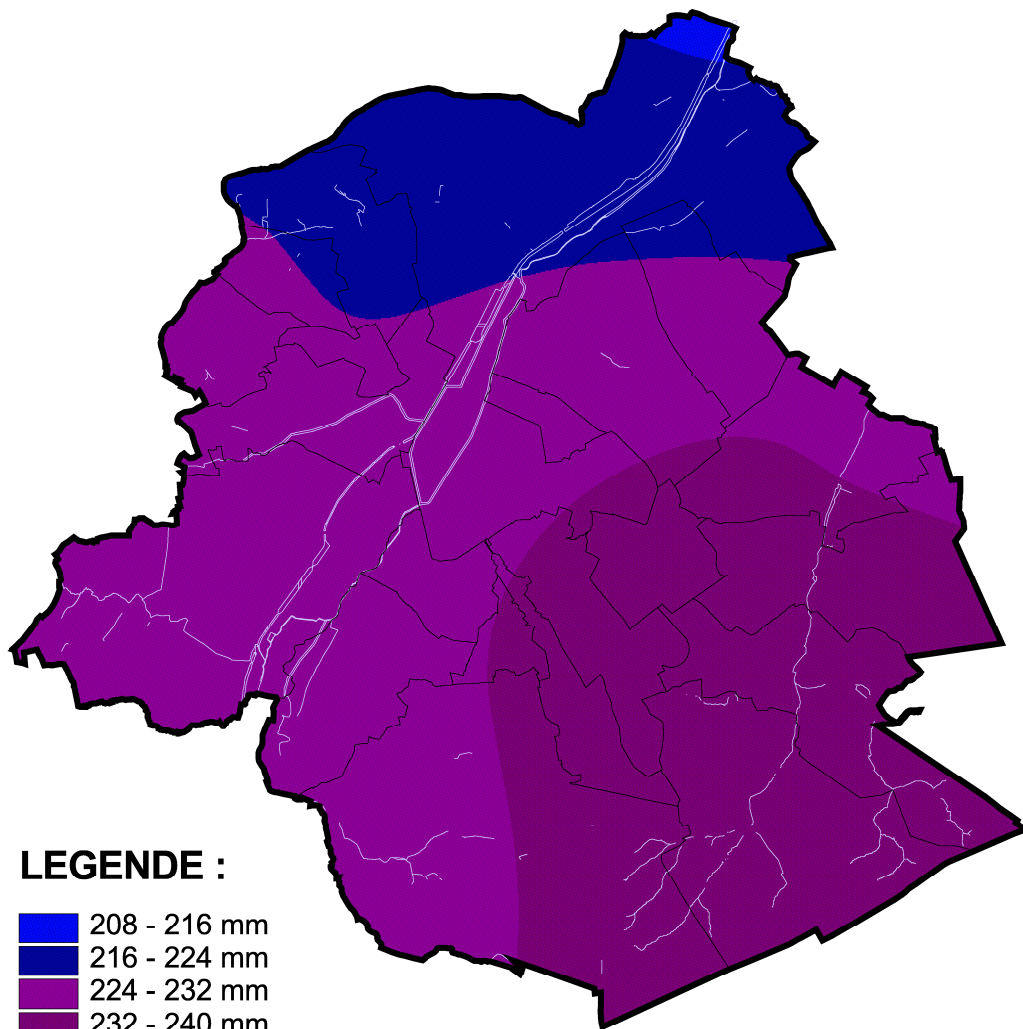
Bruxelles Environnement (BE) - Division Nature, Eau et Forêt
Cartographie : IRM - décembre 2008
Réalisé avec Brussels URbIS © - Distribution & Copyright CIRB
Source : données pluviométriques issues du réseau de mesures de BE de 1999 à 2006

Leefmilieu Brussels (LB) - Afdeling Natuur, Water en Bos
Cartografie : KMI - december 2008
Verwezenlijkt door middel van Brussels URbIS © - Verdeling & Copyright CIBG
Bron : regengegevens van het meetnet van LB van 1999 tot 2006



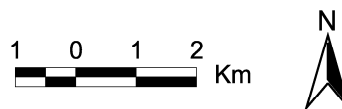
Région de Bruxelles-Capitale
Précipitations hivernales

Brussels Hoofdstedelijk Gewest
Winterneerslag



LEGENDE :

-  208 - 216 mm
-  216 - 224 mm
-  224 - 232 mm
-  232 - 240 mm
-  Limites communales / Gemeentegrenzen
-  Cours d'eau / Waterlopen



Source : données pluviométriques issues du réseau de mesures de Bruxelles Environnement IBGE de 1999 à 2006

Bron : neerslaggegevens van het meetnet van Leefmilieu Brussel BIM van 1999 tot 2006

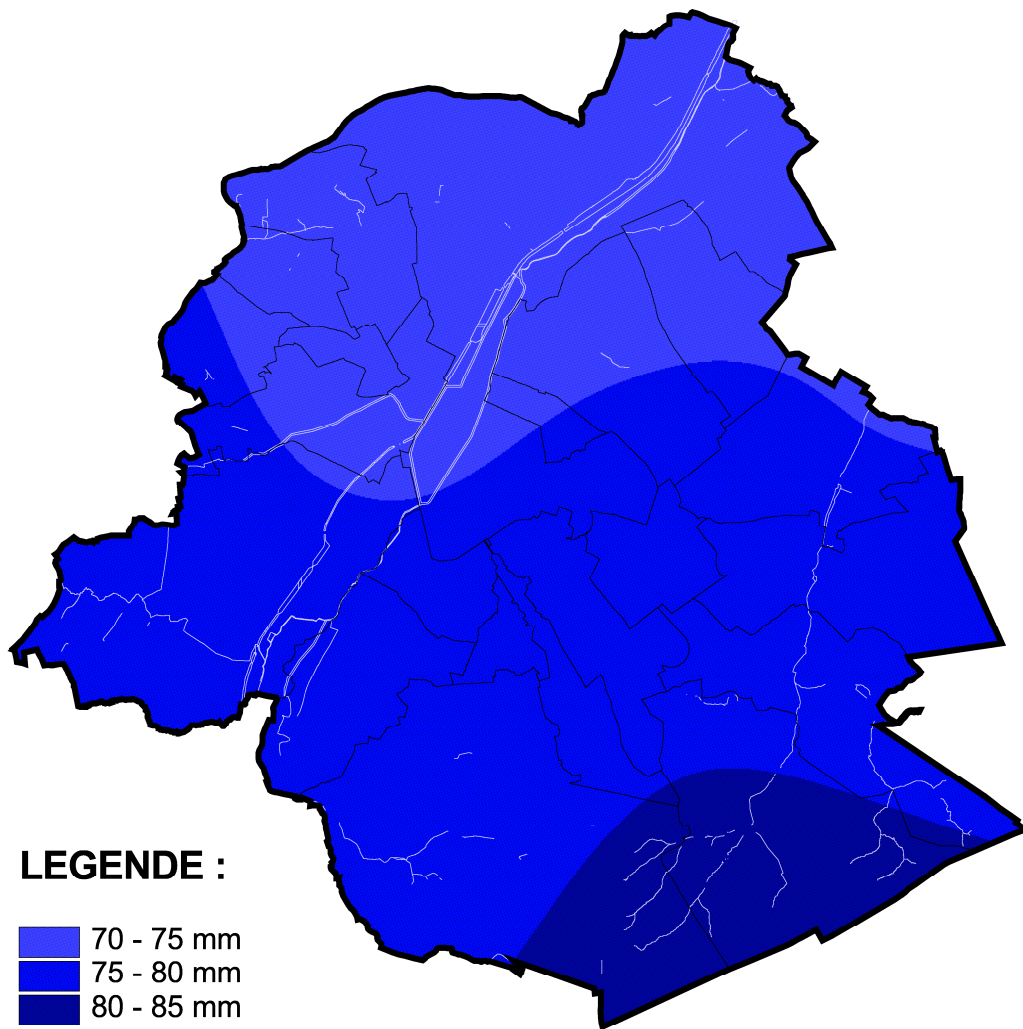
Bruxelles Environnement IBGE - Division Nature, Eau et Forêt
Cartographie : IRM - décembre 2008
Réalisé avec Brussels URbIS ©© - Distribution & Copyright CIRB

Leefmilieu Brussel BIM - Afdeling Natuur, Water en Bos
Cartografie : KMI - december 2008
Verwezenlijkt door middel van Brussels URbIS ©© - Verdeling & Copyright CIBG

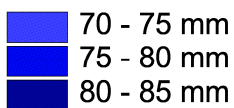


Région de Bruxelles-Capitale
Précipitations de janvier

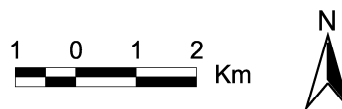
Brussels Hoofdstedelijk Gewest
Neerslag van januari



LEGENDE :



— Limites communales / Gemeentegrenzen
— Cours d'eau / Waterlopen



Source : données pluviométriques issues du réseau de mesures de Bruxelles Environnement IBGE de 1999 à 2006

Bron : neerslaggegevens van het meetnet van Leefmilieu Brussel BIM van 1999 tot 2006

Bruxelles Environnement IBGE - Division Nature, Eau et Forêt
Cartographie : IRM - décembre 2008
Réalisé avec Brussels URbIS ©© - Distribution & Copyright CIRB

Leefmilieu Brussel BIM - Afdeling Natuur, Water en Bos
Cartografie : KMI - december 2008
Verwezenlijkt door middel van Brussels URbIS ©© - Verdeling & Copyright CIBG

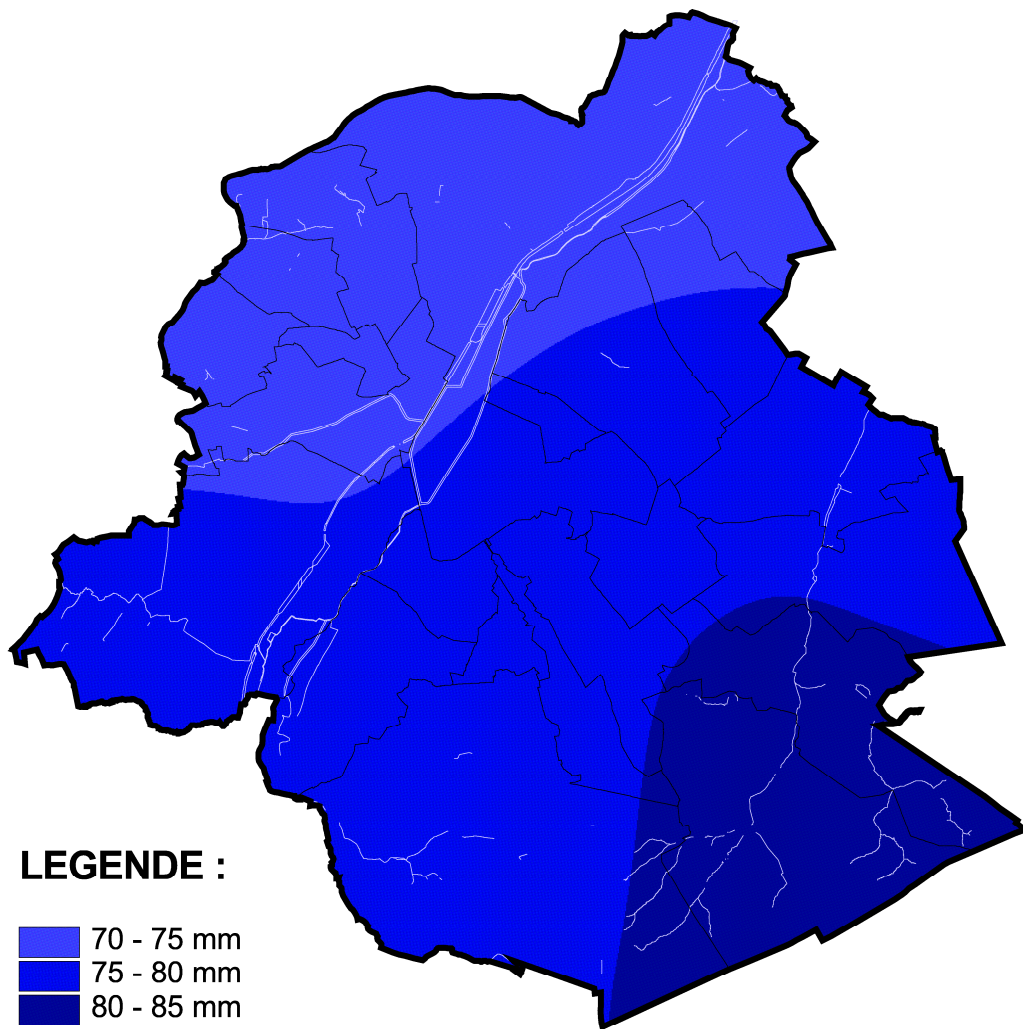


BRUXELLES ENVIRONNEMENT **LEEFMILIEU BRUSSEL**
IBGE - INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT BIM - BRUSSELS INSTITUUT VOOR MILIEUBEHEER

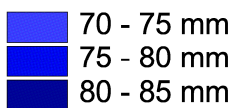


Région de Bruxelles-Capitale
Précipitations de février

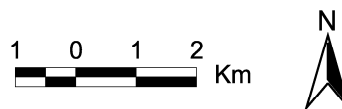
Brussels Hoofdstedelijk Gewest
Neerslag van februari



LEGENDE :



— Limites communales / Gemeentegrenzen
— Cours d'eau / Waterlopen



Source : données pluviométriques issues du réseau de mesures de Bruxelles Environnement IBGE de 1999 à 2006

Bron : neerslaggegevens van het meetnet van Leefmilieu Brussel BIM van 1999 tot 2006

Bruxelles Environnement IBGE - Division Nature, Eau et Forêt
Cartographie : IRM - décembre 2008
Réalisé avec Brussels URbIS ©© - Distribution & Copyright CIRB

Leefmilieu Brussel BIM - Afdeling Natuur, Water en Bos
Cartografie : KMI - december 2008
Verwezenlijkt door middel van Brussels URbIS ©© - Verdeling & Copyright CIBG

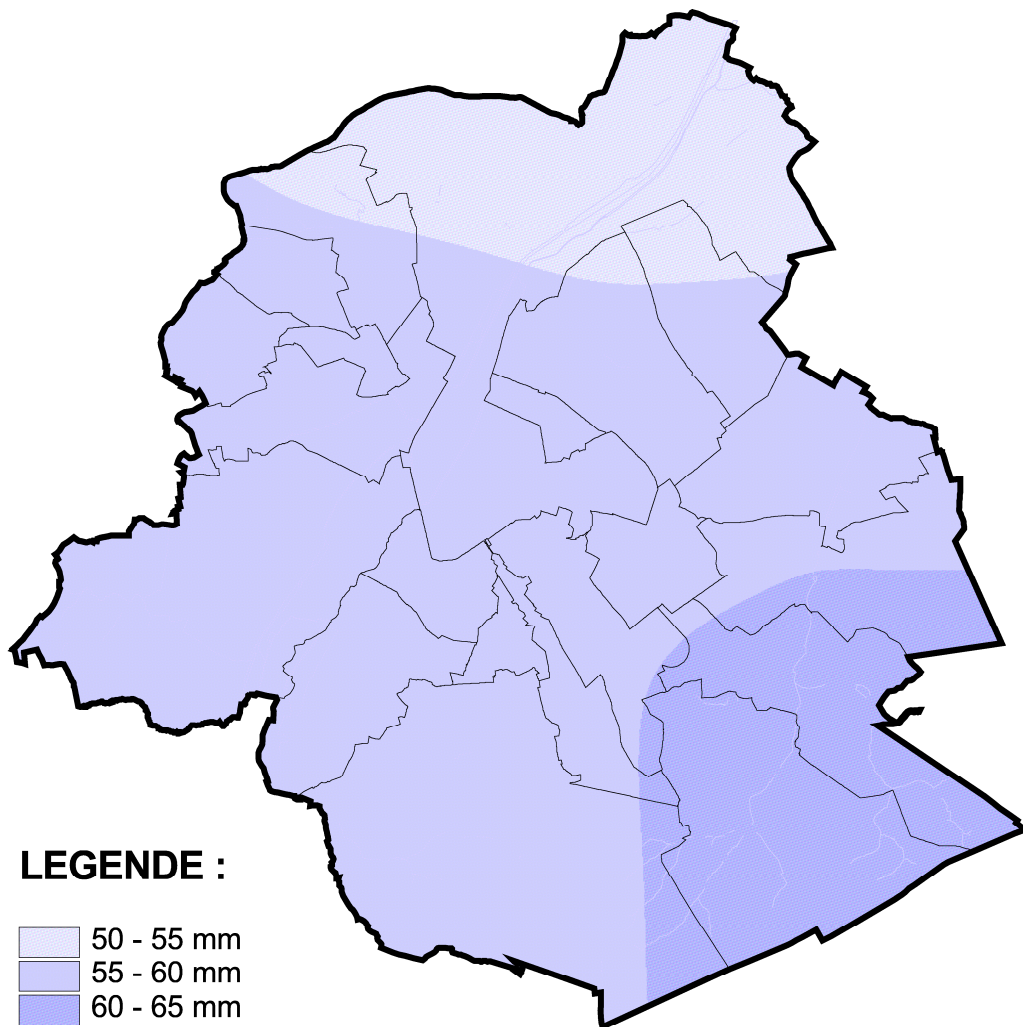


Région de Bruxelles-Capitale

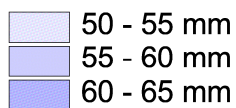
Brussels Hoofdstedelijk Gewest

Précipitations de mars

Neerslag van maart

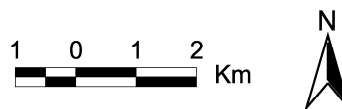


LEGENDE :



— Limites communales / Gemeentegrenzen

— Cours d'eau / Waterlopen



Source : données pluviométriques issues du réseau de mesures de Bruxelles Environnement IBGE de 1999 à 2006

Bron : neerslaggegevens van het meetnet van Leefmilieu Brussel BIM van 1999 tot 2006

Bruxelles Environnement IBGE - Division Nature, Eau et Forêt
Cartographie : IRM - décembre 2008
Réalisé avec Brussels URbIS ©© - Distribution & Copyright CIRB

Leefmilieu Brussel BIM - Afdeling Natuur, Water en Bos
Cartografie : KMI - december 2008
Verwezenlijkt door middel van Brussels URbIS ©© - Verdeling & Copyright CIBG

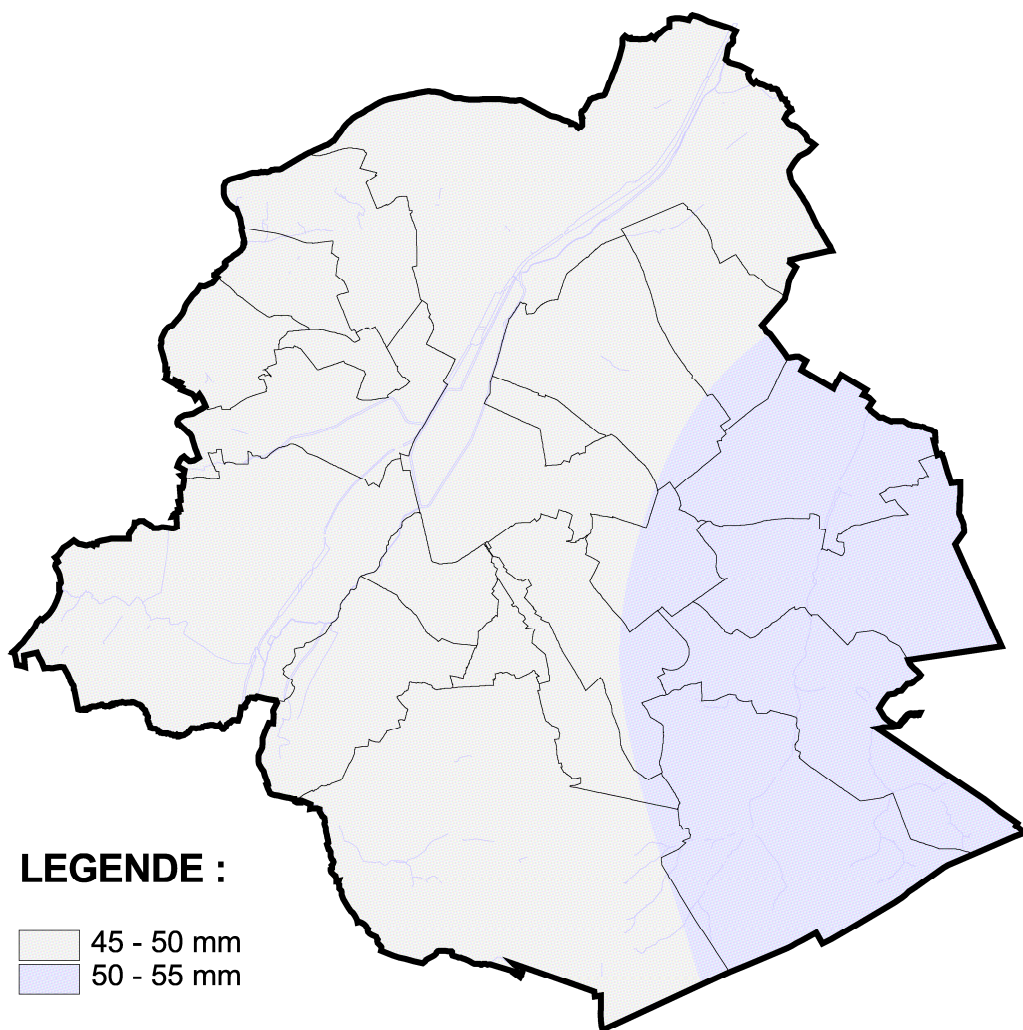


Région de Bruxelles-Capitale

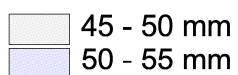
Brussels Hoofdstedelijk Gewest

Précipitations d'avril

Neerslag van april

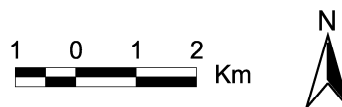


LEGENDE :



— Limites communales / Gemeentegrenzen

— Cours d'eau / Waterlopen



Source : données pluviométriques issues du réseau de mesures de Bruxelles Environnement IBGE de 1999 à 2006

Bron : neerslaggegevens van het meetnet van Leefmilieu Brussel BIM van 1999 tot 2006

Bruxelles Environnement IBGE - Division Nature, Eau et Forêt
Cartographie : IRM - décembre 2008
Réalisé avec Brussels URbIS ©© - Distribution & Copyright CIRB

Leefmilieu Brussel BIM - Afdeling Natuur, Water en Bos
Cartografie : KMI - december 2008
Verwezenlijkt door middel van Brussels URbIS ©© - Verdeling & Copyright CIBG



BRUXELLES ENVIRONNEMENT

IBGE - INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT

LEEFMILIEU BRUSSEL

BIM - BRUSSELS INSTITUUT VOOR MILIEUBEHEER

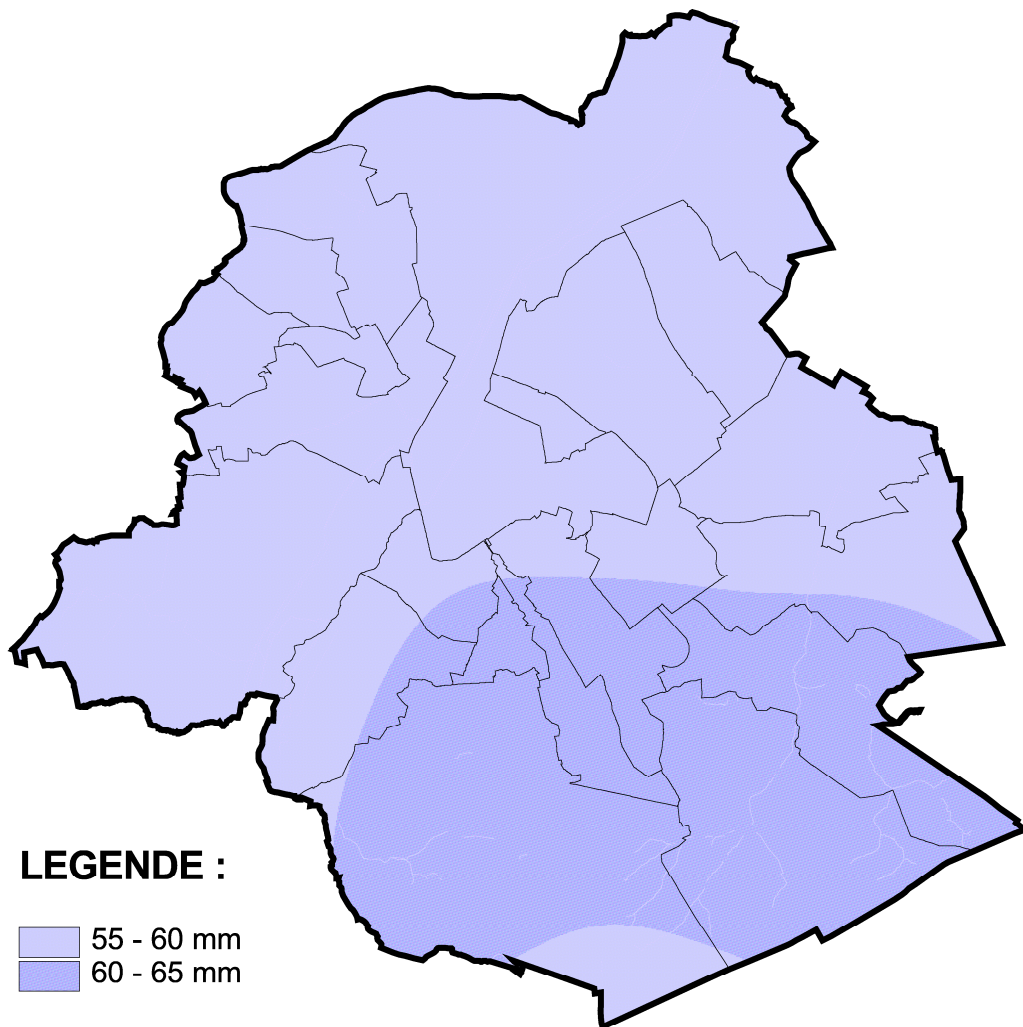


Région de Bruxelles-Capitale

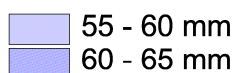
Brussels Hoofdstedelijk Gewest

Précipitations de mai

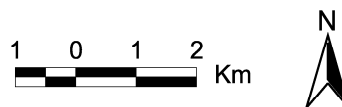
Neerslag van mei



LEGENDE :



— Limites communales / Gemeentegrenzen
— Cours d'eau / Waterlopen



Source : données pluviométriques issues du réseau de mesures de Bruxelles Environnement IBGE de 1999 à 2006

Bron : neerslaggegevens van het meetnet van Leefmilieu Brussel BIM van 1999 tot 2006

Bruxelles Environnement IBGE - Division Nature, Eau et Forêt
Cartographie : IRM - décembre 2008
Réalisé avec Brussels URbIS ©© - Distribution & Copyright CIRB

Leefmilieu Brussel BIM - Afdeling Natuur, Water en Bos
Cartografie : KMI - december 2008
Verwezenlijkt door middel van Brussels URbIS ©© - Verdeling & Copyright CIBG



BRUXELLES ENVIRONNEMENT LEEFMILIEU BRUSSEL
IBGE - INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT BIM - BRUSSELS INSTITUUT VOOR MILIEUBEHEER

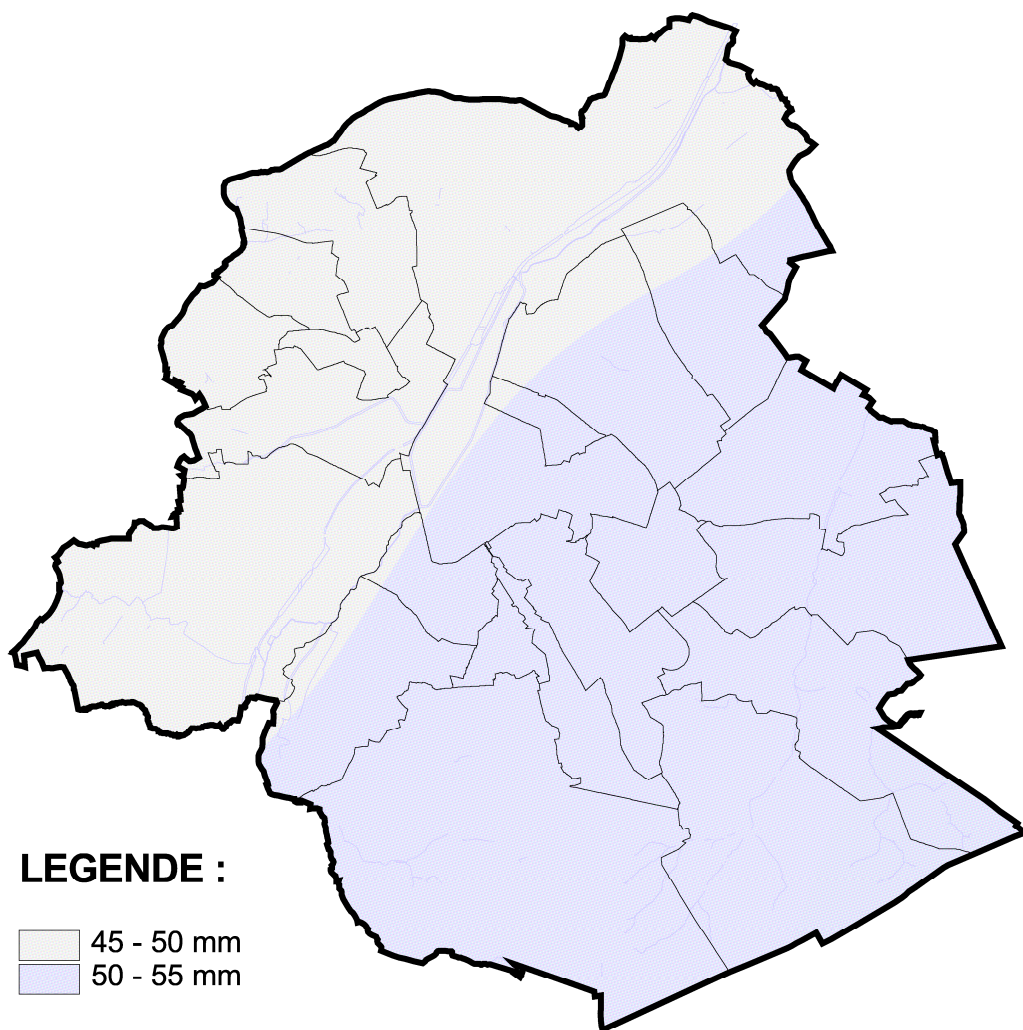


Région de Bruxelles-Capitale

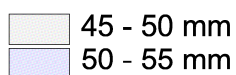
Brussels Hoofdstedelijk Gewest

Précipitations de juin

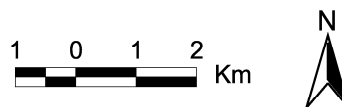
Neerslag van juni



LEGENDE :



— Limites communales / Gemeentegrenzen
— Cours d'eau / Waterlopen



Source : données pluviométriques issues du réseau de mesures de Bruxelles Environnement IBGE de 1999 à 2006

Bron : neerslaggegevens van het meetnet van Leefmilieu Brussel BIM van 1999 tot 2006

Bruxelles Environnement IBGE - Division Nature, Eau et Forêt
Cartographie : IRM - décembre 2008
Réalisé avec Brussels URbIS ©© - Distribution & Copyright CIRB

Leefmilieu Brussel BIM - Afdeling Natuur, Water en Bos
Cartografie : KMI - december 2008
Verwezenlijkt door middel van Brussels URbIS ©© - Verdeling & Copyright CIBG



BRUXELLES ENVIRONNEMENT LEEFMILIEU BRUSSEL
IBGE - INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT BIM - BRUSSELS INSTITUUT VOOR MILIEUBEHEER

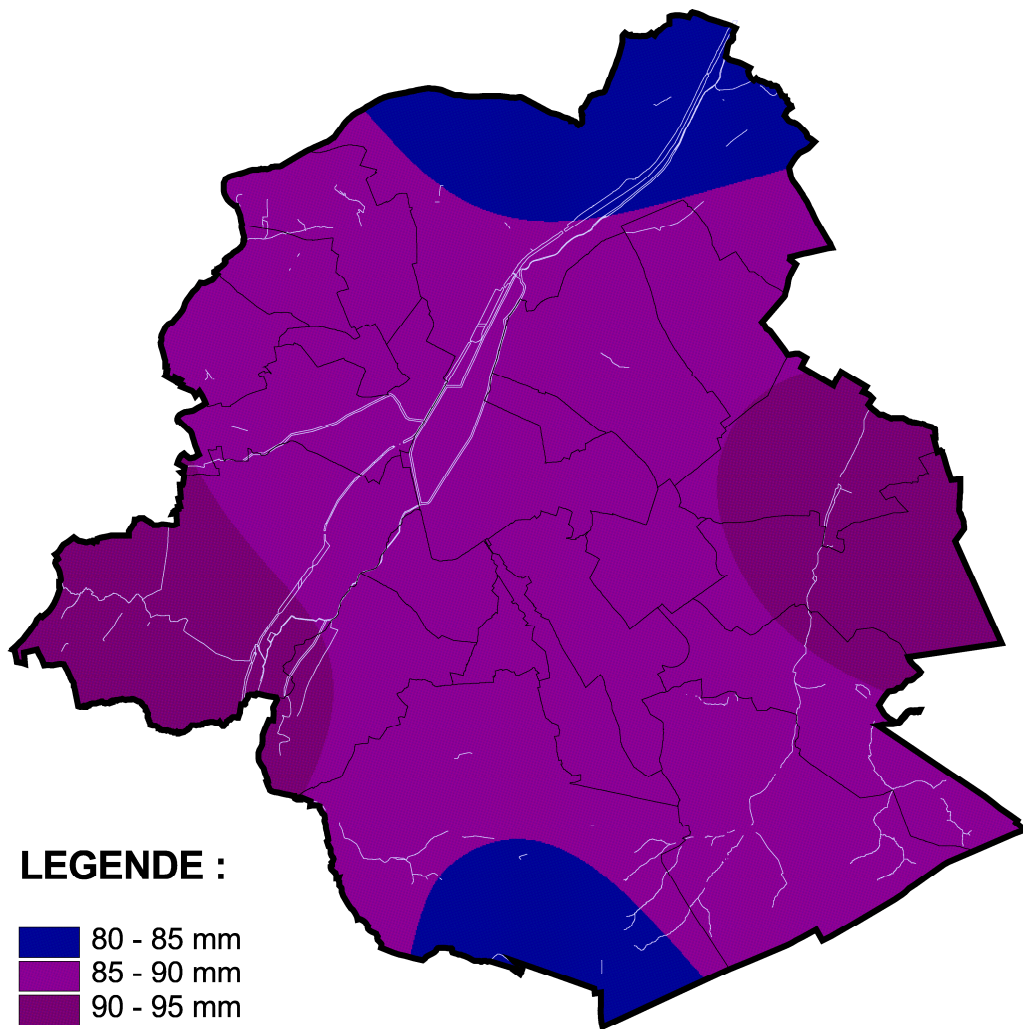


Région de Bruxelles-Capitale




Brussels Hoofdstedelijk Gewest

Précipitations de juillet

Neerslag van juli



LEGENDE :

-  80 - 85 mm
-  85 - 90 mm
-  90 - 95 mm

— Limites communales / Gemeentegrenzen

— Cours d'eau / Waterlopen



Source : données pluviométriques issues du réseau de mesures de Bruxelles Environnement IBGE de 1999 à 2006

Bron : neerslaggegevens van het meetnet van Leefmilieu Brussel BIM van 1999 tot 2006

Bruxelles Environnement IBGE - Division Nature, Eau et Forêt
Cartographie : IRM - décembre 2008
Réalisé avec Brussels URbIS ©© - Distribution & Copyright CIRB

Leefmilieu Brussel BIM - Afdeling Natuur, Water en Bos
Cartografie : KMI - december 2008
Verwezenlijkt door middel van Brussels URbIS ©© - Verdeling & Copyright CIBG



BRUXELLES ENVIRONNEMENT **LEEFMILIEU BRUSSEL**
IBGE - INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT BIM - BRUSSELS INSTITUUT VOOR MILIEUBEHEER

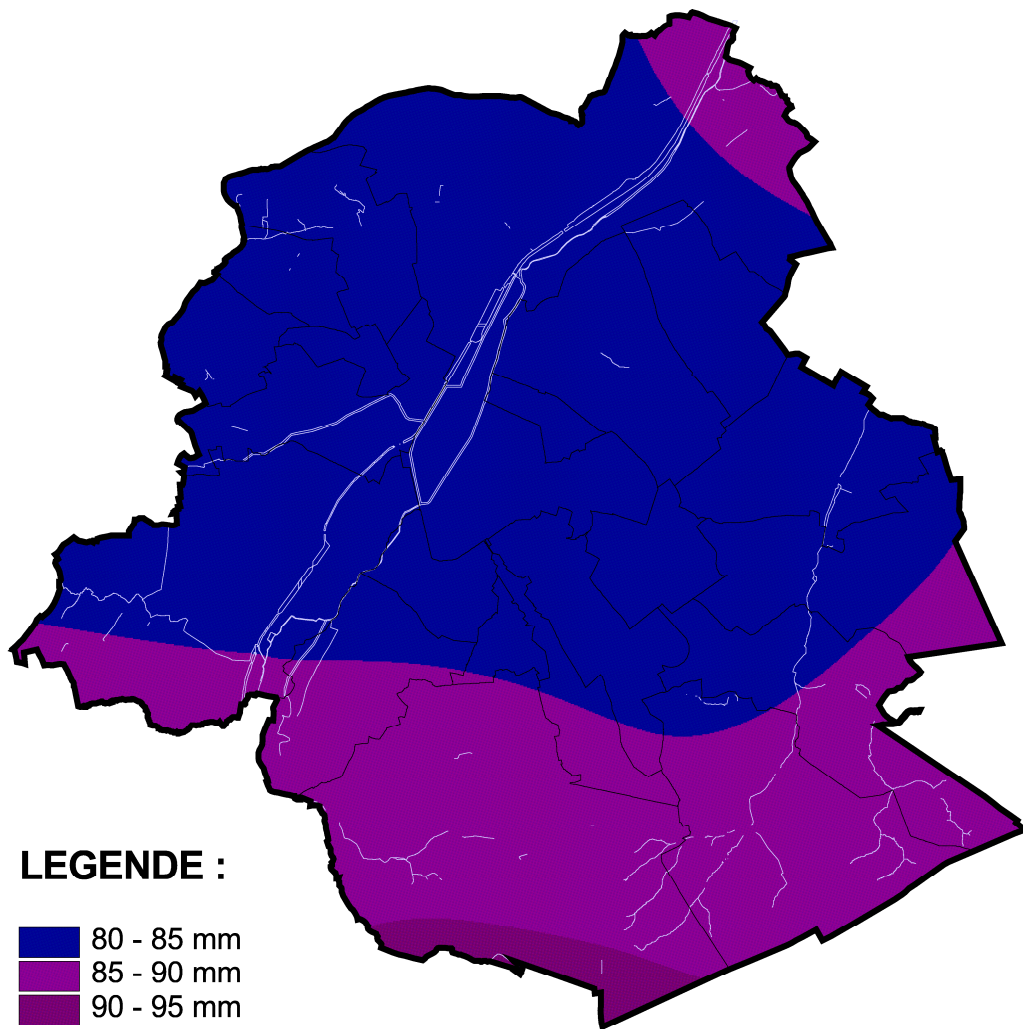


Région de Bruxelles-Capitale

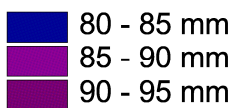
Brussels Hoofdstedelijk Gewest

Précipitations d'août

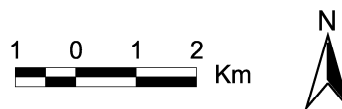
Neerslag van augustus



LEGENDE :



— Limites communales / Gemeentegrenzen
— Cours d'eau / Waterlopen



Source : données pluviométriques issues du réseau de mesures de Bruxelles Environnement IBGE de 1999 à 2006

Bron : neerslaggegevens van het meetnet van Leefmilieu Brussel BIM van 1999 tot 2006

Bruxelles Environnement IBGE - Division Nature, Eau et Forêt
Cartographie : IRM - décembre 2008
Réalisé avec Brussels URbIS ©© - Distribution & Copyright CIRB

Leefmilieu Brussel BIM - Afdeling Natuur, Water en Bos
Cartografie : KMI - december 2008
Verwezenlijkt door middel van Brussels URbIS ©© - Verdeling & Copyright CIBG

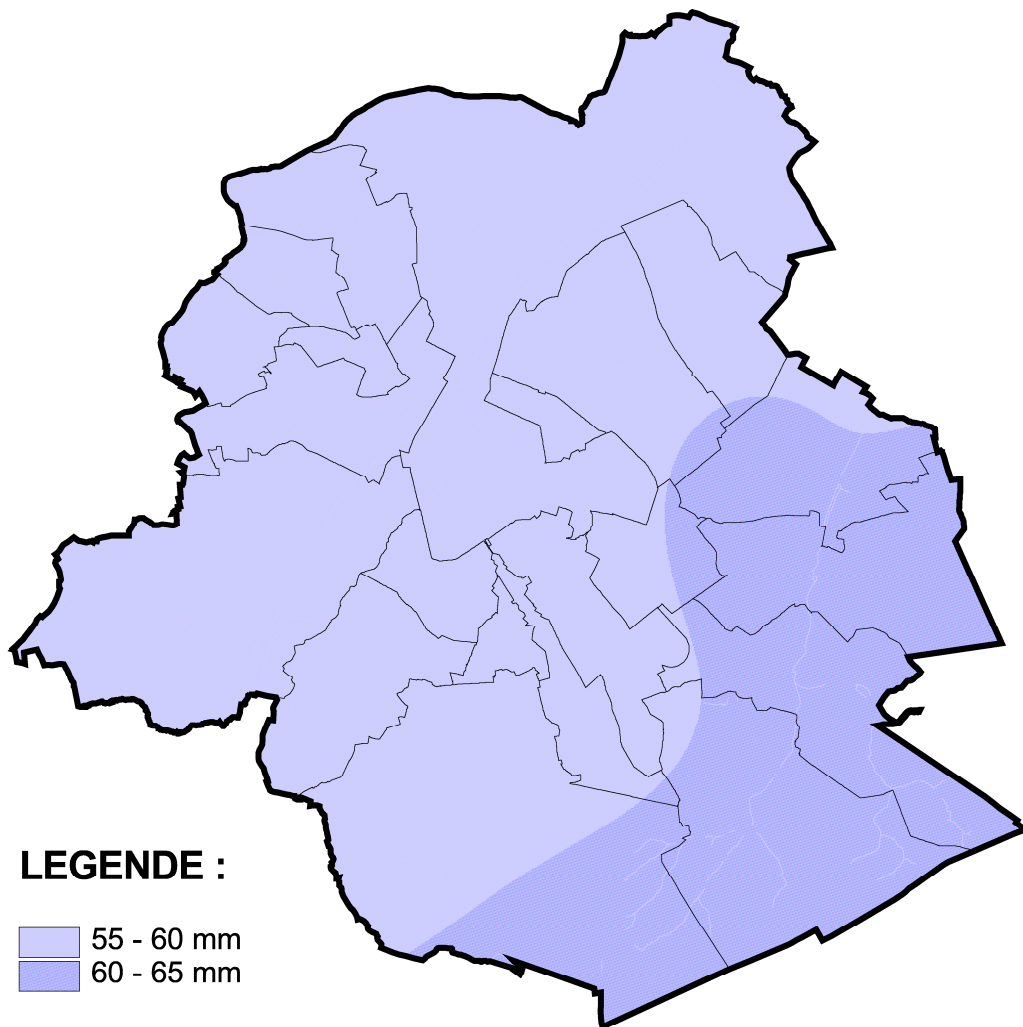


Région de Bruxelles-Capitale

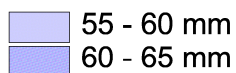
Brussels Hoofdstedelijk Gewest

Précipitations de septembre

Neerslag van september



LEGENDE :



— Limites communales / Gemeentegrenzen

— Cours d'eau / Waterlopen

1 0 1 2 Km



Source : données pluviométriques issues du réseau de mesures de Bruxelles Environnement IBGE de 1999 à 2006

Bron : neerslaggegevens van het meetnet van Leefmilieu Brussel BIM van 1999 tot 2006

Bruxelles Environnement IBGE - Division Nature, Eau et Forêt
Cartographie : IRM - décembre 2008
Réalisé avec Brussels URbIS ©© - Distribution & Copyright CIRB

Leefmilieu Brussel BIM - Afdeling Natuur, Water en Bos
Cartografie : KMI - december 2008
Verwezenlijkt door middel van Brussels URbIS ©© - Verdeling & Copyright CIBG

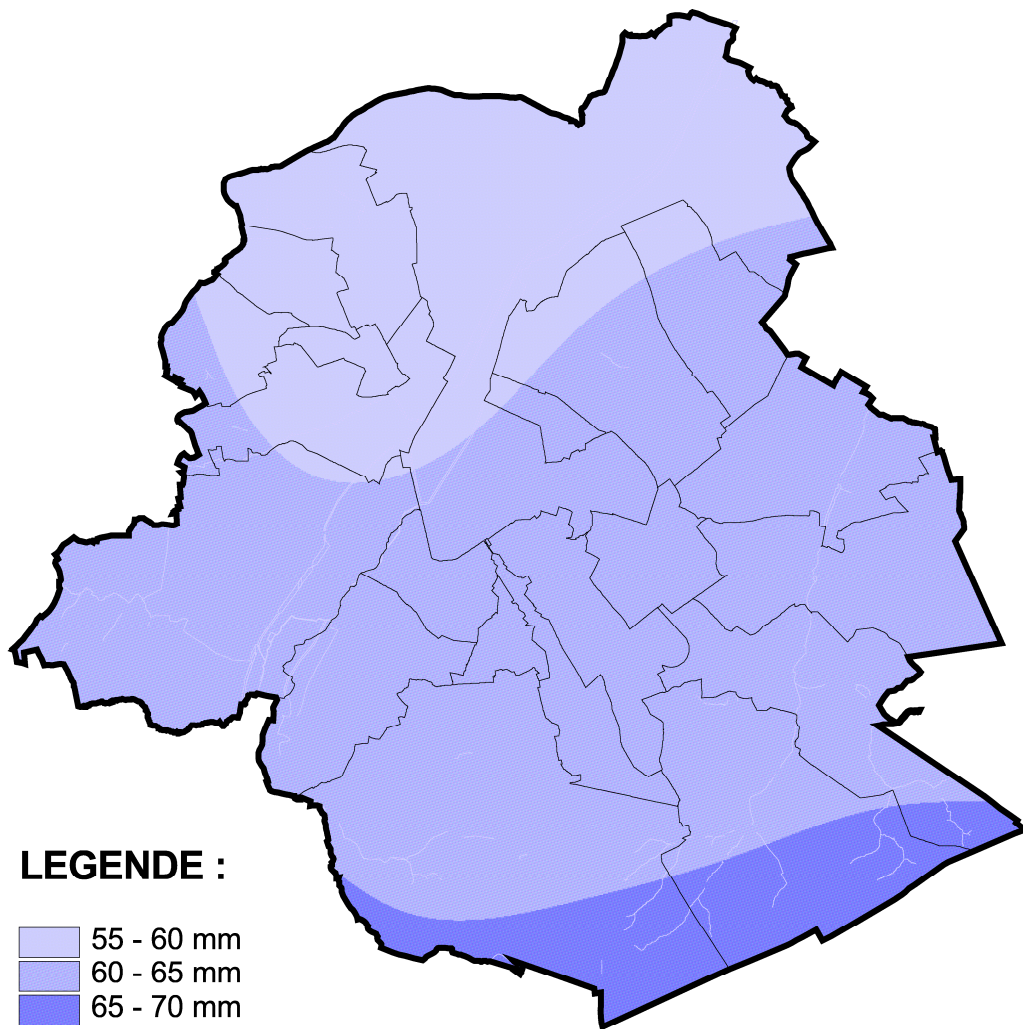


BRUXELLES ENVIRONNEMENT LEEFMILIEU BRUSSEL
IBGE - INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT BIM - BRUSSELS INSTITUUT VOOR MILIEUBEHEER

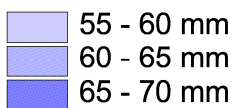


Région de Bruxelles-Capitale
Précipitations d'octobre

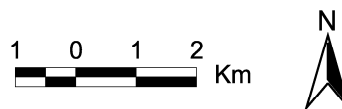
Brussels Hoofdstedelijk Gewest
Neerslag van oktober



LEGENDE :



— Limites communales / Gemeentegrenzen
— Cours d'eau / Waterlopen



Source : données pluviométriques issues du réseau de mesures de Bruxelles Environnement IBGE de 1999 à 2006

Bron : neerslaggegevens van het meetnet van Leefmilieu Brussel BIM van 1999 tot 2006

Bruxelles Environnement IBGE - Division Nature, Eau et Forêt
Cartographie : IRM - décembre 2008
Réalisé avec Brussels URbIS ©© - Distribution & Copyright CIRB

Leefmilieu Brussel BIM - Afdeling Natuur, Water en Bos
Cartografie : KMI - december 2008
Verwezenlijkt door middel van Brussels URbIS ©© - Verdeling & Copyright CIBG

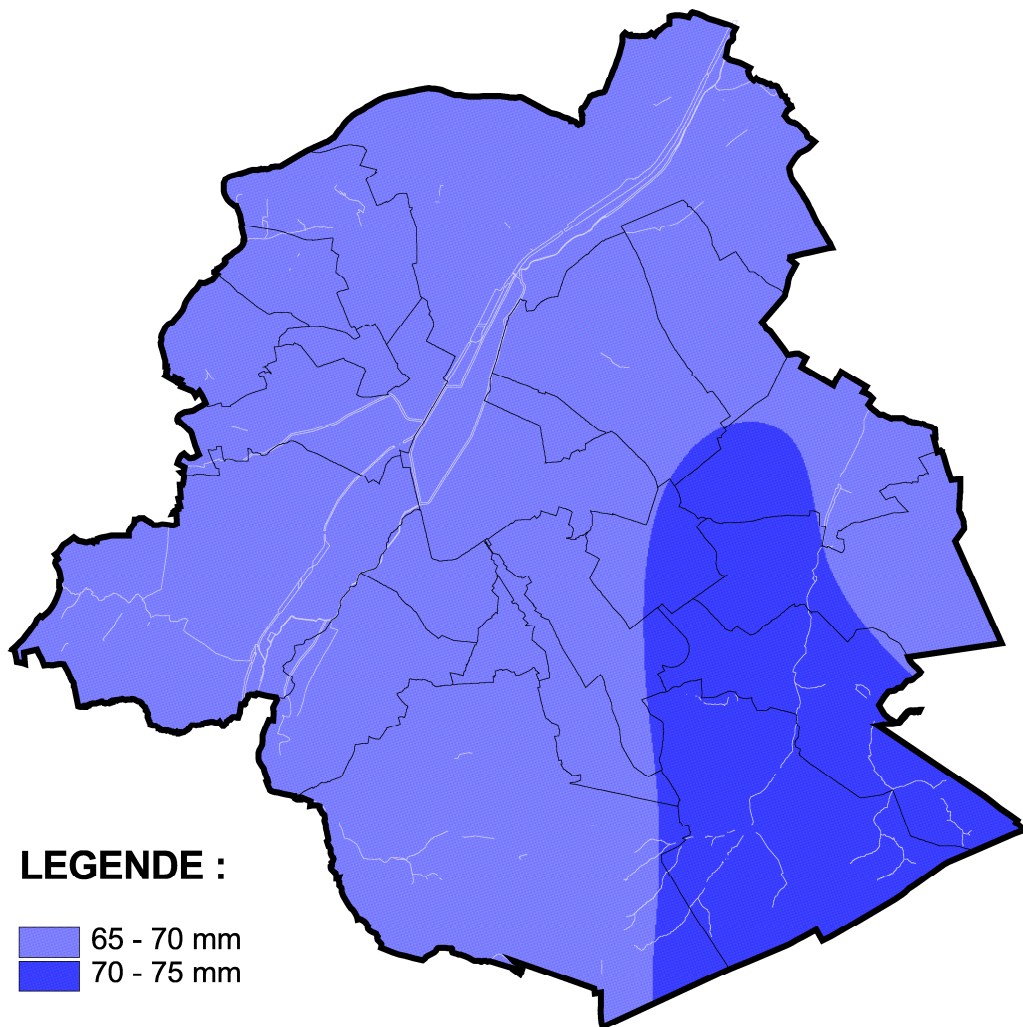


Région de Bruxelles-Capitale

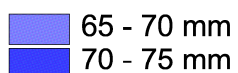
Brussels Hoofdstedelijk Gewest

Précipitations de novembre

Neerslag van november



LEGENDE :



— Limites communales / Gemeentegrenzen

— Cours d'eau / Waterlopen

1 0 1 2 Km



Source : données pluviométriques issues du réseau de mesures de Bruxelles Environnement IBGE de 1999 à 2006

Bron : neerslaggegevens van het meetnet van Leefmilieu Brussel BIM van 1999 tot 2006

Bruxelles Environnement IBGE - Division Nature, Eau et Forêt
Cartographie : IRM - décembre 2008
Réalisé avec Brussels URbIS ©© - Distribution & Copyright CIRB

Leefmilieu Brussel BIM - Afdeling Natuur, Water en Bos
Cartografie : KMI - december 2008
Verwezenlijkt door middel van Brussels URbIS ©© - Verdeling & Copyright CIBG



BRUXELLES ENVIRONNEMENT LEEFMILIEU BRUSSEL

IBGE - INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT BIM - BRUSSELS INSTITUUT VOOR MILIEUBEHEER

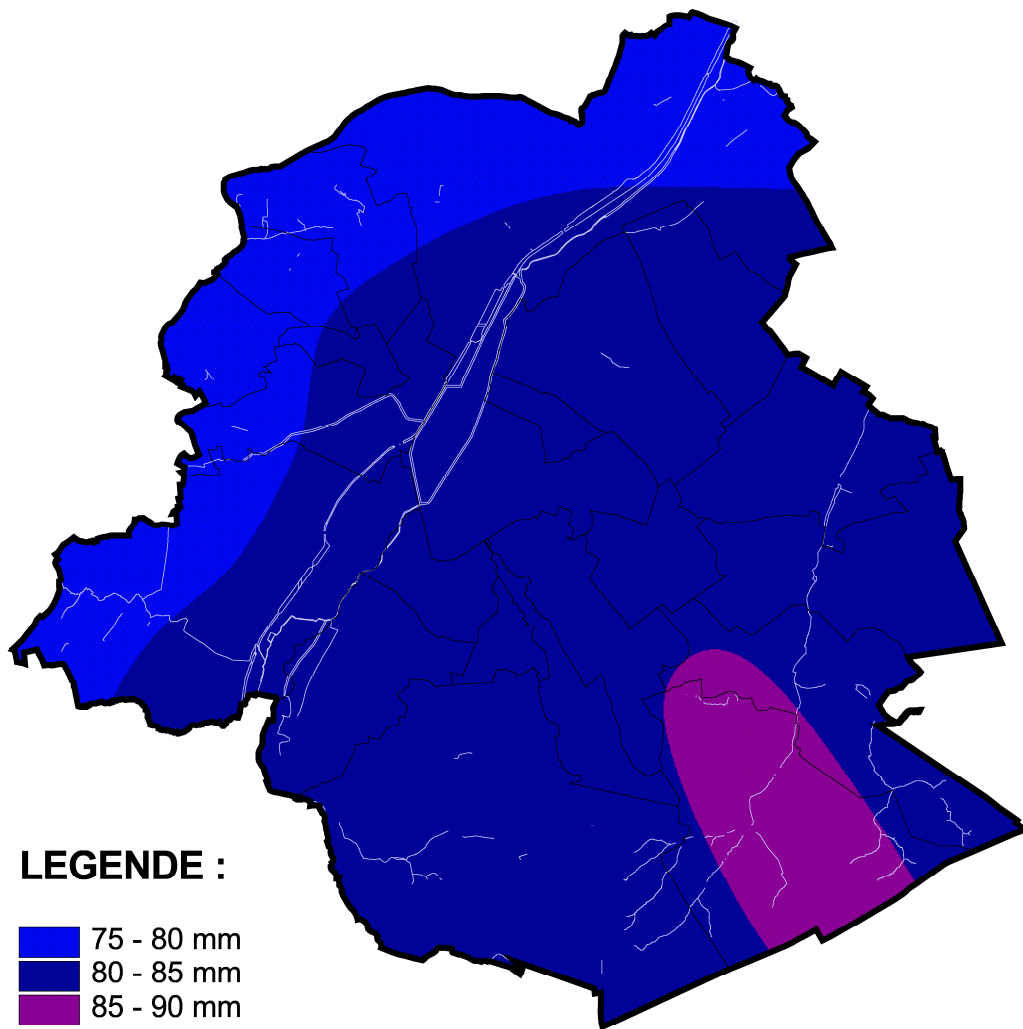


Région de Bruxelles-Capitale

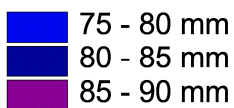
Brussels Hoofdstedelijk Gewest

Précipitations de décembre

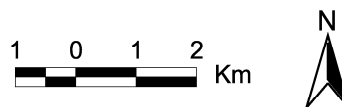
Neerslag van december



LEGENDE :



— Limites communales / Gemeentegrenzen
— Cours d'eau / Waterlopen



Source : données pluviométriques issues du réseau de mesures de Bruxelles Environnement IBGE de 1999 à 2006

Bron : neerslaggegevens van het meetnet van Leefmilieu Brussel BIM van 1999 tot 2006

Bruxelles Environnement IBGE - Division Nature, Eau et Forêt
Cartographie : IRM - décembre 2008
Réalisé avec Brussels URbIS ©© - Distribution & Copyright CIRB

Leefmilieu Brussel BIM - Afdeling Natuur, Water en Bos
Cartografie : KMI - december 2008
Verwezenlijkt door middel van Brussels URbIS ©© - Verdeling & Copyright CIBG



BRUXELLES ENVIRONNEMENT LEEFMILIEU BRUSSEL
IBGE - INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT BIM - BRUSSELS INSTITUUT VOOR MILIEUBEHEER



