

Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement
Brussels Instituut voor Milieubeheer



15 septembre 2006 – 31 décembre 2006

Etude en support au « Plan Pluies » pour la
Région de Bruxelles-Capitale

Annexe au rapport de synthèse :

Contribution à l'analyse des composantes climatologiques et
météorologiques

François Brouyaux
Christian Tricot
Institut royal météorologique de
Belgique (IRM)
Département Services opérationnels et
aux Usagers



Table des matières

Introduction.....	3
1. Approche climatologique.....	4
1.1. Le climat des villes retenues dans l'Étude.....	4
1.1.1. Généralités sur le climat belge.....	4
1.1.2. Le climat à Uccle.....	8
A) Les mesures climatologiques.....	8
B) Les normales climatologiques usuelles.....	10
C) Courbes IDF.....	11
1.1.3. Comparaison climatiques des villes retenues pour l'Étude.....	13
A) Le climat moyen.....	13
B) Comparaison de courbes IDF.....	14
1.2. Changements climatiques à Bruxelles.....	24
1.2.1. Le contexte du réchauffement planétaire.....	24
1.2.2. Evolution récente du climat à Bruxelles.....	26
A) Le climat moyen.....	27
B) Paramètres particuliers.....	32
1.2.3. Quel climat futur ?.....	39
1.3. Conclusions.....	40

2. Approche météorologique.....	41
2.1. Les outils de suivi et de prévisions des précipitations...41	
2.2. Analyse de deux cas concrets de pluies intenses sur la RBC.....43	
1 ^{er} cas : orages du 28 juillet 2006.....43	
2 ^e cas : orages du 10 septembre 2005.....48	
2.3. Nouvelles approches en cours.....52	
A) Le modèle Aladin.....52	
B) Les prévisions d'ensemble.....54	
3. Conclusions et recommandations.....56	
 Annexes techniques	
Annexe 1. Quelques autres exemples de bulletins de prévisions relatifs aux orages.....58	
Annexe 2. Le radar météorologique.....60	
Annexe 3. Le système Safir d'observation de l'activité électrique dans l'atmosphère.....65	
Annexe 4. Le modèle de prévisions régionales Aladin.....67	
Annexe 5. Avertissements pour les orages (au niveau des provinces).....68	

Introduction

Dans le cadre de l'Étude en support au « Plan Pluies pour la région de Bruxelles-Capitale », la contribution de l'Institut royal météorologique de Belgique (IRM) consiste à fournir un certain nombre d'informations de type météorologique et climatique sur les points suivants :

- (a) La caractérisation et la comparaison des climats (en particulier, du point de vue pluviométrique) des villes retenues dans l'Étude.
- (b) Les tendances climatiques (en particulier, pour la pluviométrie) observées à Bruxelles.
- (c) Les outils dont dispose l'IRM pour le suivi et les prévisions des pluies intenses sur la RBC.
- (d) L'examen de situations concrètes ayant conduit à des précipitations intenses et abondantes sur la RBC.

Les points (a) et (b) seront abordés dans le premier point du rapport consacré à l'approche climatologique des questions traitées. Les points (c) et (d) feront l'objet du deuxième point du rapport. Finalement, en guise de conclusions et de recommandations, nous présenterons dans le troisième point le type de contribution opérationnelle que l'IRM pourrait apporter dans le cadre du futur « Plan Pluies pour la Région de Bruxelles-Capitale ».

1. Approche climatologique

1.1. Le climat des villes retenues dans l'Étude

1.1.1. Généralités sur le climat belge

Le climat belge, et donc celui de Bruxelles, est typique du climat tempéré de la façade océanique de l'Europe de l'Ouest, tel que défini par Köppen (la température du mois le plus froid est supérieure à -3°C , celle du mois le plus chaud est comprise entre 10° et 22°C et il n'y a pas de période déficitaire en précipitations).

C'est aux latitudes moyennes de l'hémisphère Nord que les masses d'air froid d'origine polaire rencontrent les masses d'air chaud d'origine subtropicale ; la surface de séparation de ces deux masses d'air est appelée le « front polaire ». La variation de la position du front polaire va moduler notre temps : sa remontée vers le nord va permettre au « beau temps » de s'installer sur notre pays grâce à l'arrivée des masses d'air chaud du sud, tandis que, lorsque le front descendra au sud de nos régions, il fera plus « froid ».

Les dépressions qui sont associées au front polaire vont placer nos régions le plus fréquemment dans des courants d'ouest, c'est-à-dire que les masses d'air arrivent directement - ou presque - de l'océan, où elles se chargent d'humidité et rendent ainsi notre climat pluvieux (c'est le contraire pour la côte est des États-Unis, pour laquelle les courants d'ouest sont continentaux).

Un climat « tempéré » se caractérise normalement par des étés relativement frais et humides et des hivers relativement doux et pluvieux. On peut toutefois connaître des extrêmes: un été particulièrement chaud comme celui de 1947 avec une température qui est montée jusqu'à 38°C dans l'abri ouvert à Uccle, ou celui de 1976, au cours duquel les maxima ont été supérieurs à 30°C pendant quinze jours consécutifs et qui ressemble plus à un été de région tropicale. Des hivers rigoureux, comme celui de 1963 au cours duquel la mer a gelé, feraient penser que la Belgique appartient aux régions polaires. Depuis le début des relevés, les températures extrêmes ont pu atteindre jusqu'à environ $+40^{\circ}\text{C}$ en Campine ou descendre jusqu'à -30°C dans la vallée de la Lesse.

Le régime des précipitations peut également connaître des excès remarquables. C'est ainsi que 1921, et plus près de nous 1976, ont été des années où la sécheresse fut sévère.

D'autre part, les zones de pluies associées aux courants d'ouest peuvent être plus actives que la normale. C'est ainsi que les fortes pluies de juin-juillet 1980 ont donné à Bruxelles un total de précipitations de 242 mm en 30 jours, alors que la normale est de 74 mm, et ont provoqué d'importantes inondations dans les vallées ardennaises.

Comme cela a déjà été mentionné, le temps de la Belgique est déterminé par la position du front polaire. Celui-ci est situé au sud de nos régions en hiver et au nord en été. Ces situations sont théoriques et très fréquemment d'autres situations peuvent se présenter. Ainsi le front polaire peut presque disparaître pour faire place à une zone de haute pression persistante (1976) ; il peut se trouver au sud en été (1980) ou au nord en hiver (1989), amenant ainsi des types de temps qui ne sont pas « normaux » pour la saison. Ce ne sont toutefois pas ces situations en elles-mêmes, mais plutôt leur durée anormalement longue, qui est à l'origine de temps exceptionnels.

Pour résumer cet aperçu général, le climat de nos régions est la résultante de la succession et de l'alternance, mais aussi de la plus ou moins longue persistance, des différentes conditions atmosphériques (données par les configurations de la pression atmosphérique et les types de masses d'air) qui déterminent notre temps au jour le jour.

Terminons ce tour d'horizon en donnant quelques caractéristiques générales du climat belge, notamment en ce qui concerne les précipitations.

Le vent

En Belgique, les vents dominants viennent du SO. La vitesse moyenne du vent de 6 à 7 m/s au littoral se réduit à 2 à 4 m/s dans les vallées de haute Belgique et en Gaume. Tous les deux ans en moyenne, la pointe maximale de vent atteint ou dépasse 35 m/s au littoral et 23 à 30 m/s à l'intérieur du pays. La réduction de la vitesse du vent à l'intérieur du pays est due au frottement avec le sol, ce qui entraîne un accroissement de la turbulence.

Le vent est l'élément de base des climats tempérés. En fonction de sa direction, il nous amène soit des masses d'air doux et humide s'il souffle de direction S à O, soit des masses instables et fraîches s'il souffle des directions O à N. Les courants de N à E, et ceux plus rares d'E à S, sont plus ou moins secs et froids en hiver et plus ou moins secs et chauds en été.

La température de l'air

La répartition de la température moyenne de l'air est déterminée en Belgique principalement par deux facteurs : la distance par rapport à la mer et l'altitude.

Outre ces facteurs déterminants, il y a aussi des facteurs strictement météorologiques et d'autres facteurs géographiques (origine et fréquence locale

des différentes masses d'air, la subsidence, le rayonnement IR émis par la surface en fonction du substrat et de la composition du sol, l'influence du relief local) qui influencent également la répartition spatiale de la température.

La mer a une inertie thermique qui atténue et retarde la variation saisonnière de la température le long de la côte : l'hiver y est un peu plus doux et l'été un peu plus frais qu'à l'intérieur du pays. Dans l'intérieur du pays, la température diminue en moyenne de 0,6°C par 100 m d'altitude. La différence moyenne entre les plaines et les hauts plateaux de l'Ardenne s'élève donc à 3°C.

Les températures extrêmes absolues observées en Belgique, se situent entre +40°C et -30°C. Les maxima absolus annuels atteignent, en moyenne, 30°C à 32°C en basse et moyenne Belgique et dans les vallées de la haute Belgique. Sur la crête de l'Ardenne, ces maxima n'atteignent que 28°C. Les minima absolus annuels s'échelonnent, en moyenne, entre -10°C à la côte, -11°C à -14°C en basse et moyenne Belgique, -15°C sur les plateaux de la haute Belgique et -19°C dans les vallées ardennaises. Par an, on compte en moyenne 2 à 3 jours à la côte et jusqu'à 12 jours dans les vallées ardennaises avec des minima en-dessous de -10°C. On compte aussi en moyenne jusqu'à 4 jours avec des températures au-dessus de 30°C en basse et moyenne Belgique, ainsi que dans les vallées de haute Belgique (mais aucun sur la crête de l'Ardenne). Toutes ces données (relativement à celles d'autres régions de la Terre) justifient l'appellation « climat tempéré » pour nos régions.

Les précipitations

On mesure en moyenne environ 800 mm d'eau en basse et moyenne Belgique (plus précisément, entre 700 et 850 mm).

En haute Belgique, les quantités augmentent sensiblement en fonction de l'altitude. Mais l'orientation des pentes par rapport aux directions des vents amenant la pluie (SO) joue également un rôle. Au sud du Sillon Sambre-et-Meuse, les précipitations annuelles moyennes s'échelonnent entre 750 et plus de 1400 mm. On note trois régions à maxima :

- région de Carlsbourg-Libramont, avec 1200 mm,
- région de la Baraque Fraiture, avec 1200 mm,
- région des Hautes-Fagnes (Baraque Michel), avec plus de 1400 mm.

La variabilité de la quantité de précipitations mensuelles atteint environ de 40 à 50 % selon les mois, ce qui signifie que l'on doit s'attendre 2 fois sur 3 à des quantités de précipitations mensuelles comprises environ entre 50 et 150 % des valeurs normales. La variabilité de la valeur annuelle moyenne n'est que d'environ 15 % à cause de la compensation de la succession des différents types de temps.

Il y a en moyenne environ 200 jours de pluie dans la majeure partie du pays ; le nombre de jours augmente légèrement en haute Belgique (216 et jusqu'à 230 environ dans les Hautes Fagnes) et diminue à la côte (182). La variabilité de ces nombres s'élève à environ 25 jours.

En décembre et janvier, les nombres moyens de jours de précipitations sont les plus importants sur tout le pays (15 à 20 jours) et de mai à août les valeurs moyennes sont les plus basses (de 13 à 17 jours). Au niveau mensuel, la variabilité du nombre de jours de précipitations est de 5 jours, ce qui entraîne qu'en général on ne doit pas s'attendre à moins de 8 jours de précipitations, ni à plus de 25 jours. Il peut aussi arriver, rarement il est vrai, qu'un mois ne compte que 2 à 3 jours de pluie ou, à l'inverse, 26 à 30 jours pluvieux.

L'intensité des précipitations

Nous mentionnons d'abord le cas d'une faible pluie continue qui donne typiquement 1 à 2 mm d'eau par heure (précipitations frontales). Une journée de faible bruine, quant à elle, donne 2 à 4 mm en 24 heures, sauf en Ardenne où l'intensité peut être deux fois plus importante. Une forte averse de pluie donne 1 à 2 mm par minute et une averse violente de pluie, 3 à 4 mm par minute. L'intensité maximale ne s'élève jamais à plus de 5 mm par minute pendant quelques minutes.

De forts orages peuvent donner 30 à 80 mm de précipitations, mais la quantité d'eau tombée peut s'élever à plus de 100 mm en 2 ou 3 heures en cas d'orage particulièrement violent.

La neige

La neige est un phénomène météorologique relativement peu important en basse et moyenne Belgique. Une année sur deux, en moyenne, l'épaisseur maximale de la couche n'y dépasse pas 6 à 13 cm. Sur la crête de l'Ardenne, ce maximum dépasse 30 cm avec des valeurs pouvant atteindre 70 à 80 cm. L'enneigement croît généralement avec l'altitude, même si d'autres facteurs peuvent jouer un rôle secondaire (par ex., l'exposition aux précipitations neigeuses).

La première neige apparaît en moyenne fin novembre, mais tombe 15 jours plus tôt en Ardenne. Les dernières neiges sont observées en moyenne début avril, mais fin avril en Ardenne.

La variabilité de la première chute de neige approche 15 jours, celle des dernières neiges 20 jours. On peut en déduire que la neige tombe rarement avant le 1^{er} novembre ou après le 10 mai. En basse et moyenne Belgique, on compte en moyenne 15 jours de chutes de neige (10 à la côte), en haute Belgique 30 jours et presque 40 jours sur le haut plateau de la Braque Michel.

1.1.2. Le climat à Uccle

A) Les mesures climatologiques

Les plus longues séries de relevés climatologiques en Belgique sont les séries d'observations effectuées de manière régulière dans la Région bruxelloise, tout d'abord à Saint-Josse (Observatoire de Belgique) à partir de 1833, puis ensuite à Uccle à partir de 1880 lorsque l'Observatoire fut déplacé en périphérie sud de la ville pour garantir un meilleur environnement pour les observations astronomiques. Au cours des dernières décennies, R. Sneyers a examiné dans le détail les valeurs mensuelles de plusieurs paramètres météorologiques (dont les températures et les quantités de précipitations) et a établi, après corrections nécessaires, les séries les plus homogénéisées possible à cette échelle de temps.

Les observations pluviométriques à Uccle sont réalisées depuis 1880 à l'aide d'un pluviomètre manuel qu'un observateur relève chaque jour vers 8h du matin. L'appareil lui-même est entouré d'un cône de Nipher, du nom de son inventeur, pour atténuer l'effet du champ de vent sur la mesure (cf. figure 1.1.2.1).



Figure 1.1.2.1. Le pluviomètre manuel P50 relevé chaque matin à Uccle pour connaître le cumul journalier des précipitations. La mesure de la quantité d'eau tombée est effectuée en vidant la bouteille dans une éprouvette finement graduée (mesure au dixième de mm ou l/m^2). Par temps de neige, la bouteille et l'entonnoir sont remplacés par un nivomètre d'ouverture identique qui permet une meilleure récolte des flocons de neige.

À partir de 1898, un pluviographe est installé dans le parc climatologique à Uccle, près du pluviomètre manuel (cf. figure 1.1.2.2). Cet appareil à siphon a donné un enregistrement en continu des précipitations sur papier depuis cette époque et le dépouillement quotidien du papier permet à l'IRM de disposer aujourd'hui d'une série unique, plus que centenaire, des quantités de précipitations à haute fréquence (de 10 en 10 minutes) depuis la fin du 19^e siècle. L'analyse de ces données permet notamment de calculer les courbes IDF (Intensité-Durée-Fréquence) pour la station de Uccle, mais également d'étudier les variations éventuelles des précipitations sur des durées variables.

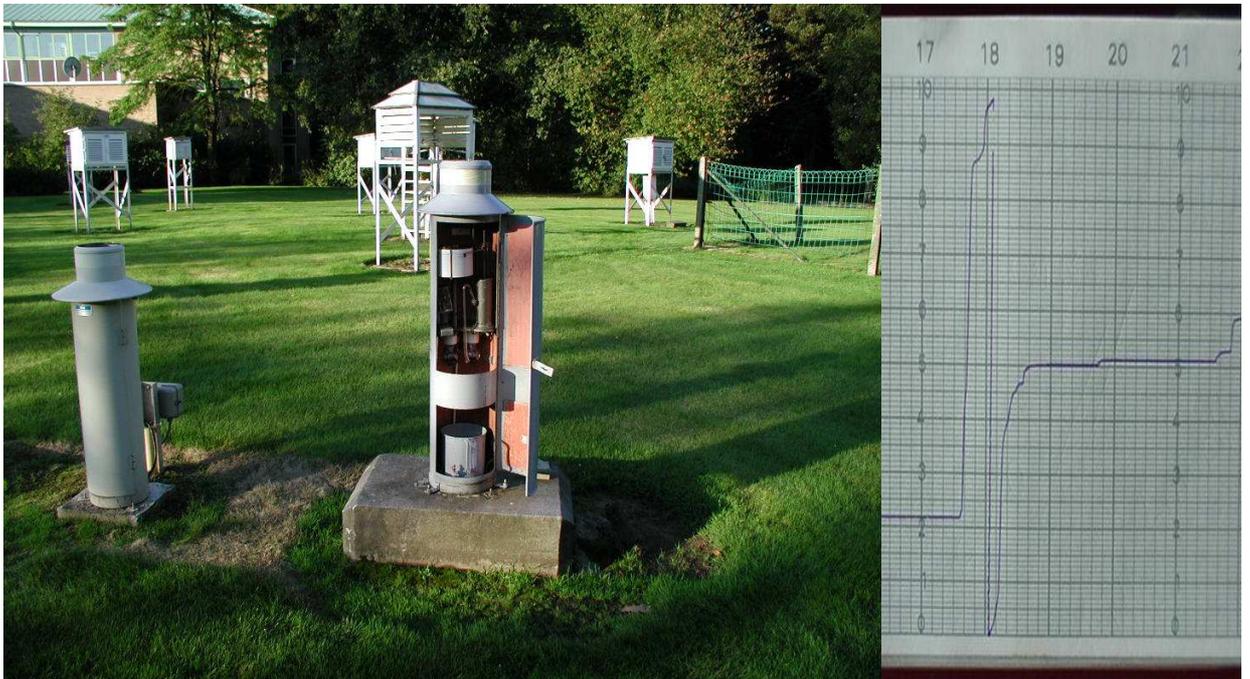


Figure 1.1.2.2. Au centre, le pluviographe à siphon de type Hellmann-Fuess. Les précipitations sont enregistrées en continu sur un papier installé sur un tambour tournant au cours de la journée (on donne un exemple d'enregistrement à droite de la photo). Le papier doit ensuite être dépouillé pour permettre l'archivage des données sur un pas de temps de 10 minutes. A gauche, un pluviographe de réserve et dans le fond, une série d'abris thermométriques dans lesquels on effectue quotidiennement les relevés de température.

B) Les normales climatologiques usuelles

Pour caractériser le climat d'une station à une époque donnée, il est de coutume de calculer des statistiques sur 30 années de mesures (c'est ce qu'on appelle le calcul des « normales » climatologiques). L'accès à une telle série de données est nécessaire pour pouvoir tenir compte de la variabilité interannuelle du climat et, en même temps, est supposée ne pas être trop longue pour pouvoir faire l'hypothèse d'un climat relativement stationnaire.

Actuellement, la période de référence la plus souvent utilisée pour le calcul des normales est la période 1971-2000. C'est notamment la période qui a été retenue pour la réalisation de l'Atlas climatologique européen, à l'initiative des services météorologiques européens. Le tableau 1.1.2.1 reprend une sélection des normales disponibles pour Uccle dans l'Atlas.

Tableau 1.1.2.1. Normales climatologiques calculées pour la station de Uccle sur la période 1971-2000 (extrait de l'Atlas climatologique européen). NJ est indiqué pour le nombre de jours par an où une valeur est observée.

STATION DE UCCLE (lat : 50 48 ; long : 4 21 ; altitude : 100 m)													
Statistiques sur la période 1971-2000													
	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUI	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
T moyenne (°C)	3.2	3.6	6.4	8.9	13.1	16.6	17.8	17.8	14.6	10.8	6.4	4.2	10.2
NJ Tmax ≥ 26°C	0.0	0.0	0.0	0.1	2.3	4.7	8.2	7.9	1.4	0.1	0.0	0.0	24.6
NJ avec orage	0.1	0.3	0.5	0.6	2.4	2.3	2.5	1.9	1.1	0.5	0.2	0.2	12.5
Cumul précipitations (mm)	71.2	63.0	72.9	63.8	69.6	77.6	69.1	63.7	63.0	68.1	79.4	79.0	820.4
Précipitations max sur 24h (mm)	33.6	23.3	26.7	26.2	47.3	63.0	39.1	66.7	41.6	61.0	28.0	31.6	66.7
NJ avec précipitations (≥ 0.1 mm)	19.8	16.7	18.9	16.9	17.0	16.9	14.8	14.7	16.6	16.9	19.3	19.9	207.3

A l'examen du tableau, on relève les caractéristiques suivantes, en particulier pour les précipitations :

- L'amplitude thermique annuelle est proche de 15 °C .
- La fréquence des orages est très similaire de mai à juillet et légèrement moindre en août. La corrélation de cette fréquence avec le nombre de jours où la température maximale atteint 25 °C n'est pas très élevée. Cela s'explique par les différents types d'orages qui peuvent se produire (c'est en été qu'on observe généralement les orages de chaleur, alors qu'au printemps, les orages sont plus souvent des orages de type frontaux).
- Les précipitations ne montrent pas un cycle saisonnier bien défini. Globalement, la période froide de l'année (novembre à mars) est à peine plus arrosée que la période chaude (mai à septembre).
- Globalement, la période froide de l'année a une fréquence de jours de précipitations supérieure à la période chaude de l'année.
- Les précipitations maximales observées sur 24 h sont les plus importantes entre mai et octobre. Elles sont généralement le fait d'averses orageuses intenses et abondantes.

C) Courbes IDF

La longue série de mesures effectuées avec le pluviographe permet de calculer pour la région bruxelloise les courbes « Intensité-Durée-Fréquence » utilisées par exemple en hydrologie et en gestion des réseaux d'égouttage. Ces courbes résument les relations statistiques liant les très fortes intensités annuelles des précipitations aux durées de ces précipitations et à leurs fréquences d'occurrence.

Récemment, un travail pour le MET/DGVH a permis une amélioration des techniques statistiques utilisées pour déterminer les courbes IDF, ainsi qu'une actualisation des données pour déterminer ces courbes pour les stations pluviographiques installées en Région wallonne. Habituellement, on exploite la série des maxima annuels pour chaque durée considérée. Dans ce travail, on a retenu chaque année toutes les valeurs dépassant un seuil fixé (en moyenne, deux valeurs sont retenues par an) ; c'est la méthode POT (Peaks-of-Threshold). Cela permet d'exploiter davantage de données et de réduire de ce fait les incertitudes sur les résultats moyens illustrés par les courbes IDF.

La figure 1.1.2.3 donne les courbes IDF calculées pour Uccle avec la méthode POT sur la plus longue période possible de données (1898-2003). Le tableau 1.1.2.2 reprend une sélection de valeurs ponctuelles des courbes IDF (les intensités (en mm/h) sont traduites ici en quantités, c'est-à-dire en mm).

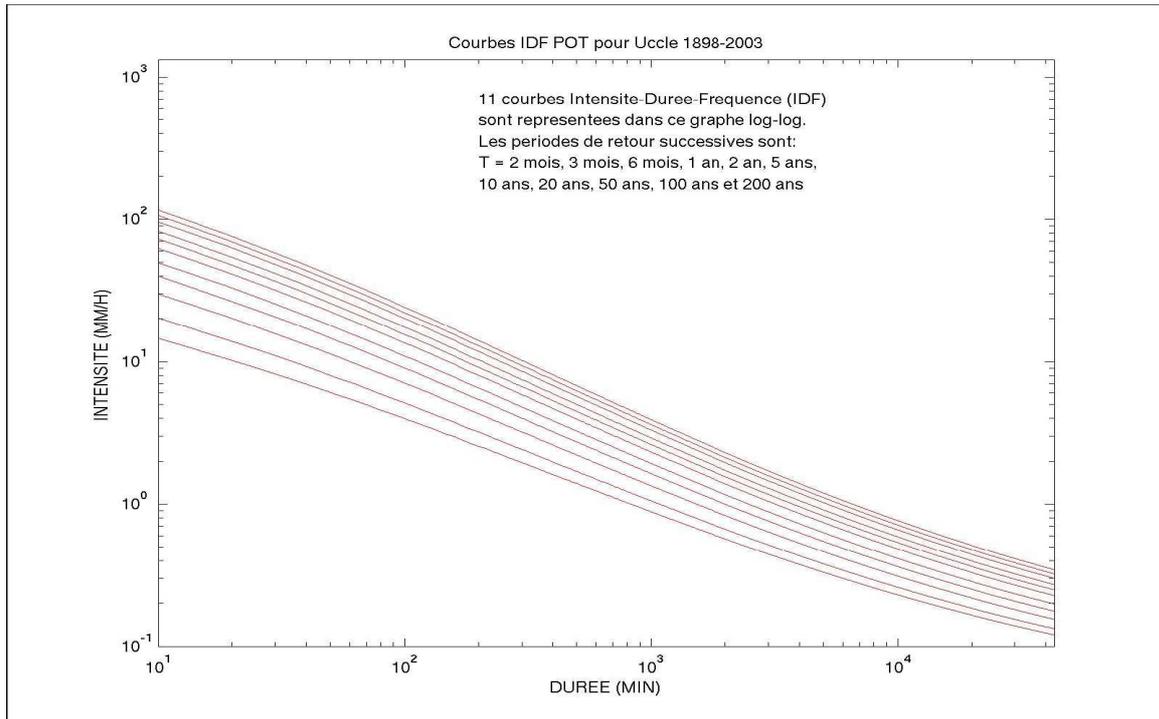


Figure 1.1.2.3. Courbes IDF pour la station de Uccle, obtenues par l'analyse des données pluviographiques disponibles sur la période 1898-2003. En choisissant une durée sur l'axe des abscisses (exprimée en minutes), on obtient l'intensité maximale (en mm/h, axe des ordonnées) qui sera dépassée en moyenne une fois pour une période de retour choisie (on utilise la courbe correspondant à la période de retour retenue ; la courbe inférieure est pour une période de retour de 2 mois et la courbe supérieure pour une période de retour de 200 ans).

Tableau IDF 1898-2003 pour Uccle

T/D(min)	10	20	30	60	120	360	720	1440	2880	4320	7200	14400	21600	28800	36000	43200
2 mois	2.43	3.41	4.09	5.46	7.1	10.39	13.14	16.79	21.92	25.96	32.68	46.15	57.54	67.86	77.5	86.66
3 mois	3.38	4.63	5.49	7.14	9.05	12.76	15.8	19.82	25.43	29.86	37.19	51.86	64.23	75.42	85.85	95.75
6 mois	5.01	6.74	7.88	10.03	12.4	16.83	20.37	25.01	31.47	36.54	44.93	61.67	75.72	88.39	100.17	111.33
1 an	6.64	8.86	10.29	12.92	15.77	20.92	24.96	30.22	37.52	43.25	52.71	71.51	87.25	101.41	114.56	126.99
2 ans	8.28	10.99	12.71	15.83	19.15	25.02	29.58	35.46	43.61	49.99	60.52	81.4	98.83	114.49	129.01	142.71
5 ans	10.46	13.81	15.92	19.7	23.64	30.48	35.7	42.42	51.69	58.95	70.9	94.54	114.22	131.87	148.2	163.6
10 ans	12.12	15.96	18.37	22.64	27.05	34.62	40.36	47.71	57.84	65.76	78.79	104.53	125.93	145.08	162.8	179.49
20 ans	13.78	18.12	20.82	25.59	30.48	38.79	45.04	53.02	64.01	72.6	86.72	114.57	137.68	158.35	177.46	195.44
50 ans	16	20.99	24.08	29.52	35.04	44.33	51.26	60.08	72.22	81.69	97.25	127.9	153.3	175.99	196.94	216.64
100 ans	17.68	23.17	26.56	32.5	38.51	48.54	55.99	65.45	78.46	88.6	105.26	138.04	165.18	189.4	211.75	232.76
200 ans	19.37	25.36	29.05	35.5	41.99	52.76	60.73	70.84	84.72	95.54	113.3	148.22	177.1	202.87	226.63	248.96

Tableau 1.1.2.2. Une sélection des quantités maximales de précipitations (en mm) qui, pour la durée indiquée sur la ligne supérieure, seront dépassées en moyenne une fois pour la période de retour choisie dans la première colonne. Les valeurs sont déduites des courbes IDF de la figure 1.1.2.3.

1.1.3. Comparaison climatique des villes retenues pour l'Étude

A) Le climat moyen

L'analyse des données de l'Atlas climatologique européen montre que le climat des villes européennes étudiées est relativement similaire (climat tempéré de la façade océanique de l'Europe de l'Ouest), surtout entre les deux villes les plus proches (Bruxelles et Lille) (cf. tableau 1.1.3.1).

On observe un petit effet de continentalité pour Fribourg, situé plus à l'intérieur des terres (amplitude saisonnière des températures plus importante qu'ailleurs et maximum des précipitations marqué en été).

Les précipitations à Londres sont les plus faibles (effet topographique des montagnes de la partie ouest de l'Angleterre).

Bordeaux est située plus au sud et son climat pluviométrique montre déjà une tendance au régime des régions méditerranéennes (précipitations hivernales plus importantes). C'est aussi la ville qui connaît annuellement les précipitations les plus abondantes, devant Fribourg.

En été, les valeurs de précipitations à Bruxelles sont en moyenne intermédiaires entre les valeurs de Fribourg (les plus élevées) et Londres (les plus faibles).

Tableau 1.1.3.1. Normales climatologiques calculées sur la période 1971-2000 pour les stations représentatives des villes européennes concernées (extrait de l'Atlas climatologique européen).

NOM	PAYS	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUI	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
TEMPERATURE MOYENNE (°C)														
BORDEAUX	FR	6.4	7.5	9.6	11.6	15.4	18.3	20.8	20.9	18.1	14.1	9.4	7.2	13.3
FREIBURG	DL	2.4	3.6	7.3	10.3	15.0	17.9	20.3	20.0	16.1	11.2	6.0	3.6	11.1
UCCLE	BX	3.2	3.6	6.4	8.9	13.1	15.6	17.8	17.8	14.6	10.8	6.4	4.2	10.2
LILLE	FR	3.4	3.8	6.6	8.9	12.9	15.5	17.9	18.0	15.0	11.1	6.6	4.4	10.4
LONDON	UK	5.9	6	8	9.9	13.3	16.2	18.6	18.6	15.9	12.4	8.7	6.9	11.7
NOMBRE DE JOURS AVEC UNE TEMPERATURE MAXIMALE >= 25 °C														
BORDEAUX	FR	0.0	0.0	0.2	1.1	6.3	10.1	18.9	19.2	11.5	2.2	0.0	0.0	69.5
FREIBURG	DL	0.0	0.0	0.1	0.6	5.0	9.6	16.5	16.3	5.5	0.5	0.0	0.0	54.2
UCCLE	BX	0.0	0.0	0.0	0.1	2.3	4.7	8.2	7.9	1.4	0.1	0.0	0.0	24.6
LILLE	FR	0.0	0.0	0.0	0.1	2.2	4.4	8.4	8.9	2.0	0.1	0.0	0.0	26.2
LONDON	UK	0	0	0	0	1.1	3.6	7.7	6.8	1.2	0.1	0	0	20.6

CUMULS DE PRECIPITATIONS (mm)														
BORDEAUX	FR	92.0	82.6	70.0	80.0	83.8	63.8	54.5	59.5	90.3	94.0	106.8	106.7	984.2
FREIBURG	DL	53.1	54.0	58.3	73.7	102.8	109.0	99.2	84.0	75.9	75.3	70.8	73.6	929.5
UCCLE	BX	71.2	53.0	72.9	53.8	69.5	77.6	69.1	63.7	63.0	68.1	79.4	79.0	820.4
LILLE	FR	57.0	43.6	57.5	50.4	62.5	68.1	61.2	52.8	63.6	66.8	71.5	68.1	723.1
LONDON	UK	47.1	32.7	38.2	41.9	51.9	51.3	36.6	41.8	50.6	59.1	49.5	50	550.5
CUMUL DE PRECIPITATIONS MAXIMUM EN 24H (mm)														
BORDEAUX	FR	52.2	81.7	39.5	42.5	52.0	56.8	50.0	87.6	79.0	62.0	49.2	59.6	87.6
FREIBURG	DL	34.9	30.4	38.9	35.3	80.3	75.8	58.2	64.8	42.1	40.2	44.7	39.4	80.3
UCCLE	BX	33.5	23.3	26.7	25.2	47.3	53.0	39.1	56.7	41.6	51.0	28.0	31.6	56.7
LILLE	FR	24.6	21.8	26.3	22.2	29.4	40.1	37.8	49.0	38.2	30.1	26.6	34.8	49.0
LONDON	UK													
NOMBRE DE JOURS AVEC ORAGES														
BORDEAUX	FR	0.8	0.7	0.9	2.3	4.5	3.8	4.6	5.3	3.6	1.5	1.0	0.7	30.0
FREIBURG	DL	0.2	0.3	0.6	1.8	5.5	6.7	7.7	6.3	2.1	0.8	0.2	0.2	32.4
UCCLE	BX	0.1	0.3	0.5	0.6	2.4	2.3	2.5	1.9	1.1	0.5	0.2	0.2	12.5
LILLE	FR	0.2	0.2	0.5	1.4	3.3	3.4	3.5	3.0	1.7	0.6	0.5	0.3	18.4
LONDON	UK	0.4	0.5	1	1.7	2.1	2.5	1.9	2.2	1.4	0.7	0.4	0.5	15.4

B) Comparaison de courbes IDF

Pour les villes belges

Sur la période commune 1967-2003, nous avons comparé les courbes IDF de Uccle, Gand (station de Melle) et Tournai (cf. respectivement tableaux 1.1.3.2, tableau 1.1.3.3 et tableau 1.1.3.4) . Dans le cas de Tournai, les valeurs ont été obtenues à l'aide du logiciel développé récemment par l'IRM pour le MET/DGVH et qui permet, par interpolation, de calculer les IDF en un point quelconque de la Région wallonne. Pour Uccle et Gand, nous avons effectué les calculs à partir des séries de relevés pluviographiques disponibles en ces stations.

On remarque que les différences entre les trois villes sont relativement faibles et que Gand a toujours les valeurs les plus faibles. Tournai présente toujours les valeurs les plus élevées pour les durées les plus faibles (jusqu'à une heure). Pour les durées plus longues, Uccle donne progressivement les valeurs les plus élevées, d'abord pour les périodes de retour importantes, puis, à partir d'un jour, pour toutes les périodes de retour.

Tableau 1.1.3.2. Une sélection des quantités maximales de précipitations (en mm) qui, pour la durée indiquée sur la ligne supérieure, seront dépassées à Uccle en moyenne une fois pour la période de retour choisie dans la première colonne. Les valeurs sont déduites des courbes IDF calculées par la méthode POT sur la période 1967-2003.

T/D(min)	10	20	30	60	120	360	720	1440	2880	4320	7200	14400	21600	28800	36000	43200
2 mois	3.56	4.83	5.67	7.26	9.02	12.32	14.99	18.53	23.55	27.56	34.3	48.01	59.74	70.45	80.51	90.1
3 mois	4.38	5.95	6.97	8.88	10.97	14.79	17.84	21.83	27.48	31.98	39.52	54.81	67.84	79.72	90.84	101.44
6 mois	5.81	7.88	9.22	11.69	14.35	19.08	22.77	27.57	34.31	39.65	48.58	66.61	81.9	95.79	108.78	121.12
1 an	7.27	9.85	11.52	14.56	17.79	23.45	27.8	33.41	41.26	47.47	57.82	78.63	96.24	112.18	127.06	141.18
2 ans	8.75	11.86	13.86	17.48	21.3	27.91	32.93	39.37	48.35	55.44	67.23	90.89	110.85	128.89	145.7	161.63
5 ans	10.76	14.57	17.02	21.44	26.05	33.94	39.86	47.43	57.94	66.22	79.96	107.46	130.6	151.47	170.9	189.28
10 ans	12.32	16.67	19.46	24.49	29.72	38.6	45.22	53.66	65.35	74.55	89.81	120.28	145.88	168.94	190.39	210.67
20 ans	13.9	18.81	21.96	27.61	33.47	43.35	50.68	60.01	72.91	83.05	99.84	133.35	161.45	186.75	210.25	232.47
50 ans	16.04	21.7	25.33	31.82	38.53	49.77	58.07	68.6	83.12	94.53	113.41	151.01	182.5	210.82	237.11	261.94
100 ans	17.69	23.94	27.93	35.08	42.44	54.73	63.79	75.24	91.03	103.41	123.91	164.68	198.79	229.45	257.88	284.73
200 ans	19.38	26.22	30.59	38.41	46.43	59.8	69.61	82.01	99.08	112.47	134.6	178.6	215.39	248.43	279.06	307.97

Tableau 1.1.3.3. Une sélection des quantités maximales de précipitations (en mm) qui, pour la durée indiquée sur la ligne supérieure, seront dépassées à Gand (station de Melle) en moyenne une fois pour la période de retour choisie dans la première colonne. Les valeurs sont déduites des courbes IDF calculées par la méthode POT sur la période 1967-2003.

T/D(min)	10	20	30	60	120	360	720	1440	2880	4320	7200	14400	21600	28800	36000	43200
2 mois	2.33	3.1	3.61	4.56	5.7	8.2	10.46	13.59	18.06	21.61	27.52	39.42	49.5	58.64	67.19	75.31
3 mois	3.18	4.26	4.95	6.26	7.75	10.79	13.41	16.93	21.91	25.85	32.38	45.46	56.49	66.46	75.77	84.59
6 mois	4.64	6.23	7.25	9.16	11.26	15.22	18.43	22.64	28.5	33.09	40.68	55.78	68.43	79.83	90.42	100.45
1 an	6.11	8.2	9.55	12.06	14.77	19.65	23.45	28.34	35.07	40.33	48.97	66.08	80.36	93.18	105.06	116.29
2 ans	7.56	10.16	11.85	14.95	18.27	24.08	28.47	34.04	41.64	47.55	57.25	76.37	92.27	106.51	119.69	132.12
5 ans	9.49	12.76	14.88	18.78	22.89	29.92	35.09	41.56	50.32	57.1	68.19	89.97	108	124.12	139	153.01
10 ans	10.95	14.72	17.17	21.66	26.39	34.33	40.1	47.24	56.87	64.31	76.45	100.24	119.89	137.42	153.6	168.8
20 ans	12.4	16.68	19.46	24.55	29.88	38.74	45.1	52.92	63.42	71.51	84.7	110.5	131.77	150.72	168.18	184.57
50 ans	14.32	19.27	22.48	28.36	34.49	44.56	51.7	60.41	72.07	81.02	95.6	124.04	147.45	168.27	187.42	205.4
100 ans	15.78	21.23	24.77	31.24	37.97	48.96	56.69	66.08	78.6	88.21	103.84	134.28	159.3	181.53	201.97	221.14
200 ans	17.23	23.18	27.05	34.12	41.45	53.36	61.67	71.74	85.13	95.39	112.06	144.51	171.14	194.77	216.5	236.86

Tableau 1.1.3.4. Une sélection des quantités maximales de précipitations (en mm) qui, pour la durée indiquée dans la première colonne, seront dépassées à Tournai en moyenne une fois pour la période de retour choisie dans la première ligne. Le tableau est produit par le logiciel de calcul des courbes IDF en Région wallonne développé par l'IRM pour le MET/DGVH. Les valeurs sont déduites par interpolation des courbes IDF calculées par la méthode POT sur la période 1967-2003.

Tableau QDF POT pour Tournai 1967-2003 (mm) (Logiciel Idefix)												
D/T	2 mois	3 mois	6 mois	1 an	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans	100 ans	200 ans
10 min	3.6	4.6	6.3	8	9.8	12.3	14.2	16.3	17.5	19.1	21.3	23.6
20 min	4.9	6.2	8.4	10.7	13.1	16.4	19	21.7	23.4	25.5	28.4	31.5
30 min	5.8	7.2	9.7	12.4	15.1	18.9	21.9	25	26.9	29.3	32.7	36.2
1 heure	7.3	9	12.1	15.2	18.5	23.1	26.7	30.4	32.6	35.5	39.6	43.8
2 heures	9	11	14.4	18	21.8	26.9	31	35.2	37.8	41.1	45.7	50.5
6 heures	12	14.3	18.3	22.4	26.7	32.6	37.3	42.2	45.2	49	54.3	59.8
12 heures	14.4	16.9	21.2	25.7	30.4	36.8	41.9	47.2	50.3	54.4	60.2	66.2
1 jour	17.8	20.5	25.2	30.1	35.3	42.4	48	53.8	57.3	61.8	68.2	74.8
2 jours	22.6	25.7	31.1	36.8	42.6	50.7	57.1	63.7	67.7	72.9	80.1	87.6
3 jours	26.6	30	36	42.2	48.7	57.6	64.6	71.9	76.3	82	90	98.3
4 jours	30.2	33.9	40.4	47.1	54.1	63.7	71.4	79.3	84.1	90.2	98.9	107.9
5 jours	33.5	37.5	44.4	51.6	59.1	69.4	77.6	86.1	91.2	97.8	107.1	116.7
7 jours	39.6	44.1	51.8	59.9	68.3	79.9	89.1	98.6	104.3	111.7	122.1	132.9
10 jours	48	53.1	62	71.2	80.8	94.1	104.6	115.5	122.1	130.6	142.4	154.8
15 jours	60.8	66.8	77.3	88.3	99.7	115.5	128	140.9	148.7	158.8	172.9	187.6
20 jours	72.6	79.4	91.5	104.1	117.1	135.1	149.3	164.1	173	184.5	200.7	217.4
25 jours	83.8	91.5	104.9	118.9	133.5	153.6	169.5	186	195.9	208.7	226.8	245.5
30 jours	94.6	103	117.8	133.2	149.2	171.2	188.7	206.8	217.7	231.8	251.6	272.1

Pour Uccle, Lille et Bordeaux

Il a été possible de se procurer auprès de Météo-France des tableaux de valeurs issues de courbes IDF pour Lille et Bordeaux (cf. les pages 18 à 23). La méthode utilisée par Météo-France pour le calcul des IDF est la méthode des maxima annuels (loi GEV). Pour la comparaison, nous avons donc recalculé les courbes IDF pour Uccle avec cette méthode (au lieu de la méthode POT) (cf. tableau 1.1.3.5). Les périodes de données ne sont pas strictement similaires pour les trois villes, mais elles couvrent chaque fois au moins 45 ans.

On remarque, comme on pouvait s'y attendre, que les valeurs de Uccle et de Lille sont semblables, avec des différences similaires à celles déjà observées entre les villes belges. Pour toutes les périodes de retour que l'on peut comparer (5 ans à 100 ans), Bordeaux présente des valeurs beaucoup plus élevées que Uccle et Lille à partir d'une durée de quelques heures (ce qui est a priori cohérent avec des précipitations hivernales beaucoup plus importantes en moyenne à Bordeaux).

Tableau 1.1.3.5. Une sélection des quantités maximales de précipitations (en mm) qui, pour la durée indiquée sur la ligne supérieure, seront dépassées à Uccle en moyenne une fois pour la période de retour choisie dans la première colonne. Les valeurs sont déduites à partir des quantités annuelles maximales (méthode GEV pour le calcul des IDF) sur la période 1951-2003.

Tableau QDF GEV pour Uccle 1951-2003																
T/D(min)	10	20	30	60	120	360	720	1440	2880	4320	7200	14400	21600	28800	36000	43200
2 ans	7.42	10.39	12.35	15.98	19.83	26.39	31.2	37.22	45.52	52.05	62.92	84.83	103.4	120.24	135.98	150.92
5 ans	10.2	14.23	16.87	21.66	26.62	34.77	40.57	47.77	57.62	65.37	78.25	104.12	125.98	145.74	164.17	181.64
10 ans	12.05	16.79	19.87	25.44	31.15	40.35	46.82	54.79	65.68	74.24	88.46	116.98	141.01	162.73	182.95	202.09
20 ans	13.83	19.26	22.77	29.09	35.5	45.73	52.84	61.56	73.45	82.79	98.3	129.36	155.51	179.1	201.04	221.81
50 ans	16.15	22.47	26.54	33.83	41.17	52.73	60.67	70.36	83.56	93.92	111.1	145.47	174.36	200.4	224.59	247.47
100 ans	17.9	24.89	29.38	37.4	45.44	58.01	66.57	77	91.18	102.3	120.74	157.61	188.57	216.44	242.33	266.79
200 ans	19.65	27.3	32.23	40.98	49.72	63.28	72.48	83.64	98.8	110.68	130.39	169.76	202.79	232.5	260.08	286.13



DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 1 heure – Loi GEV

Statistiques sur la période 1955–2005

LILLE-LESQUIN (59)

Indicatif : 59343001, alt : 47 m., lat : 50°34'30"N, lon : 03°05'30"E

L'échantillon contient 49 valeurs.

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	20.0 mm	18.6 mm	21.3 mm
10 ans	24.2 mm	22.0 mm	26.3 mm
20 ans	28.7 mm	25.2 mm	32.1 mm
30 ans	31.5 mm	27.1 mm	35.9 mm
50 ans	35.3 mm	29.3 mm	41.3 mm
100 ans	40.9 mm	32.1 mm	49.8 mm

Paramètre de forme $k = -0.1548$

Paramètre d'échelle = 4.18 Paramètre de localisation = 12.9035

VALEURS MAXIMALES DE L'ECHANTILLON TRAITE

Hauteur observée	Date
37.8 mm	07/07/1991
30.2 mm	18/07/1964
29.5 mm	13/06/1977
27.3 mm	10/08/1978
25.2 mm	09/07/1981

* Les précipitations en 1 heure sont issues de mesures de l'intensité des précipitations par pas de 6 minutes et sont décomptées sur 24 heures glissantes.

DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 1 heure – Loi GEV

Statistiques sur la période 1960–2005

BORDEAUX–MERIGNAC (33)

Indicatif : 33281001, alt : 47 m., lat : 44°49'54"N, lon : 00°41'30"W

L'échantillon contient 44 valeurs.

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	24.3 mm	22.9 mm	25.8 mm
10 ans	28.2 mm	26.3 mm	30.1 mm
20 ans	31.7 mm	29.1 mm	34.3 mm
30 ans	33.7 mm	30.6 mm	36.9 mm
50 ans	36.2 mm	32.2 mm	40.1 mm
100 ans	39.4 mm	34.2 mm	44.6 mm

Paramètre de forme $k = 0.046$

Paramètre d'échelle = 5.5699 Paramètre de localisation = 16.2692

VALEURS MAXIMALES DE L'ECHANTILLON TRAITE

Hauteur observée	Date
38.4 mm	14/09/1986
36.6 mm	04/07/1976
33.5 mm	01/09/1987
27.6 mm	02/10/1962
27.4 mm	02/06/1963

* Les précipitations en 1 heure sont issues de mesures de l'intensité des précipitations par pas de 6 minutes et sont décomptées sur 24 heures glissantes.



DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS Episode : 6 heures – Loi GEV

Statistiques sur la période 1956–2005

LILLE-LESQUIN (59)

Indicatif : 59343001, alt : 47 m., lat : 50°34'30"N, lon : 03°05'30"E

L'échantillon contient 47 valeurs.

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	31.1 mm	29.2 mm	33.1 mm
10 ans	37.0 mm	33.9 mm	40.2 mm
20 ans	43.4 mm	38.5 mm	48.4 mm
30 ans	47.5 mm	41.0 mm	54.0 mm
50 ans	52.9 mm	44.0 mm	61.8 mm
100 ans	61.0 mm	47.9 mm	74.2 mm

Paramètre de forme $k = -0.1645$

Paramètre d'échelle = 5.7778 Paramètre de localisation = 21.3078

VALEURS MAXIMALES DE L'ECHANTILLON TRAITE

Hauteur observée	Date
72.4 mm	04/07/2005
41.4 mm	18/07/1964
38.0 mm	19/08/2000
38.0 mm	07/07/1991
36.1 mm	01/07/1958

* Les précipitations en 6 heures sont issues de mesures de l'intensité des précipitations par pas de 6 minutes et sont décomptées sur 24 heures glissantes.

DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 6 heures – Loi GEV

Statistiques sur la période 1960–2005

BORDEAUX–MERIGNAC (33)

Indicatif : 33281001, alt : 47 m., lat : 44°49'54"N, lon : 00°41'30"W

L'échantillon contient 43 valeurs.

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	44.4 mm	41.6 mm	47.3 mm
10 ans	52.1 mm	48.2 mm	56.0 mm
20 ans	59.4 mm	54.0 mm	64.9 mm
30 ans	63.7 mm	57.0 mm	70.4 mm
50 ans	68.9 mm	60.4 mm	77.4 mm
100 ans	76.0 mm	64.5 mm	87.5 mm

Paramètre de forme $k = 0.0026$

Paramètre d'échelle = 10.2721 Paramètre de localisation = 29.0436

VALEURS MAXIMALES DE L'ECHANTILLON TRAITE

Hauteur observée	Date
65.4 mm	20/09/1999
61.7 mm	12/02/1990
58.9 mm	31/05/1982
58.0 mm	25/09/1996
50.3 mm	02/06/1994

* Les précipitations en 6 heures sont issues de mesures de l'intensité des précipitations par pas de 6 minutes et sont décomptées sur 24 heures glissantes.



DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 24 heures – Loi GEV

Statistiques sur la période 1957–2005

LILLE–LESQUIN (59)

Indicatif : 59343001, alt : 47 m., lat : 50°34'30"N, lon : 03°05'30"E

L'échantillon contient 42 valeurs.

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	44.7 mm	42.2 mm	47.1 mm
10 ans	51.3 mm	47.8 mm	54.8 mm
20 ans	57.9 mm	52.8 mm	63.0 mm
30 ans	61.8 mm	55.5 mm	68.1 mm
50 ans	66.7 mm	58.5 mm	74.9 mm
100 ans	73.6 mm	62.2 mm	84.9 mm

Paramètre de forme $k = -0.0451$

Paramètre d'échelle = 8.1159 Paramètre de localisation = 32.1021

VALEURS MAXIMALES DE L'ECHANTILLON TRAITE

Hauteur observée	Date
81.2 mm	04/07/2005
60.0 mm	29/08/1996
51.0 mm	06/07/1968
50.0 mm	19/08/2002
49.5 mm	10/08/1975

* Les précipitations en 24 heures sont issues de mesures de l'intensité des précipitations par pas de 6 minutes et sont décomptées sur 24 heures glissantes.



DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 24 heures – Loi GEV

Statistiques sur la période 1960–2005

BORDEAUX–MERIGNAC (33)

Indicatif : 33281001, alt : 47 m., lat : 44°49'54"N, lon : 00°41'30"W

L'échantillon contient 44 valeurs.

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	61.9 mm	57.6 mm	66.3 mm
10 ans	74.4 mm	67.7 mm	81.2 mm
20 ans	87.8 mm	77.1 mm	98.5 mm
30 ans	96.2 mm	82.3 mm	110.0 mm
50 ans	107.4 mm	88.6 mm	126.3 mm
100 ans	124.1 mm	96.4 mm	151.7 mm

Paramètre de forme $k = -0.1515$

Paramètre d'échelle = 12.5102 Paramètre de localisation = 40.8658

VALEURS MAXIMALES DE L'ECHANTILLON TRAITE

Hauteur observée	Date
134.8 mm	08/08/1992
92.4 mm	19/09/1999
84.1 mm	13/09/1969
82.0 mm	12/02/1990
73.8 mm	20/09/1993

* Les précipitations en 24 heures sont issues de mesures de l'intensité des précipitations par pas de 6 minutes et sont décomptées sur 24 heures glissantes.

1.2 Changements climatiques à Bruxelles

1.2.1. Le contexte du réchauffement planétaire (IPCC,2001)

Dans les années 1950-1960, en analysant les séries d'observations thermométriques entre la fin du 19^e siècle et les années 1940, les climatologues avaient mis en évidence un réchauffement annuel dans l'Hémisphère Nord de l'ordre de 1°C entre 1910 et 1940, principalement dans le nord de l'Europe. Ce réchauffement est également présent dans les données de température à la station de Uccle. La cause de ce réchauffement était inconnue à l'époque.

Ensuite, dans les années 1970, l'analyse des données des années 1950-1960 montra au contraire un léger refroidissement en moyenne dans l'Hémisphère Nord et certains n'hésitèrent pas à prédire le retour à un nouvel Age Glaciaire. À nouveau, la cause de cette évolution était inconnue.

Depuis 1975 environ, un nouveau réchauffement est nettement visible dans les données de température des Hémisphères Nord et Sud. Le réchauffement à nos latitudes se marque principalement depuis 1987/1988 et est d'une amplitude similaire au réchauffement observé au début du siècle (de l'ordre d'1°C).

Dès le milieu des années 1960, mais surtout depuis les années 80, les climatologues ont mis au point des modèles climatiques de plus en plus sophistiqués avec lesquels ils essaient de comprendre le comportement du système climatique (atmosphère – océans – cryosphère [neige, glace] – biosphère [végétation terrestre et océanique]). La médiatisation des changements de climat date de la fin des années 80 (surtout suite à une période de sécheresse exceptionnelle en 1988 aux USA).

Tous ces éléments ont conduit à la mise sur pied de programmes de recherche internationaux sur les changements de climat, sous les auspices de l'OMM (Organisation météorologique mondiale, organisme des Nations-Unies, dont le siège est situé à Genève).

Quelle peut être la cause principale de ce réchauffement ?

Le climat d'une région du globe est fonction des conditions climatiques générales de la Terre et de particularités plus régionales.

Le climat à l'échelle planétaire est fonction de la distance entre la Terre et le Soleil (source d'énergie permanente pour la Terre) et de l'effet de serre naturel causé par les nuages et les principaux gaz à effet de serre présents à l'état naturel dans l'atmosphère (par ordre décroissant d'importance : vapeur d'eau

[H₂O], dioxyde de carbone [CO₂], méthane [CH₄] et peroxyde d'azote [N₂O]). Ces deux facteurs conduisent à une température moyenne annuelle planétaire de 15 °C environ.

Plus localement, le climat d'une région est fonction de la quantité et de la répartition saisonnière du rayonnement solaire (fonction de la latitude), mais également éventuellement d'autres éléments : proximité de l'océan (exemple de l'influence du Gulf-Stream pour l'Europe de l'Ouest) ou au contraire localisation au centre d'un continent (différences saisonnières plus marquées), effet d'altitude, topographie locale, effet urbain...

La majorité des climatologues pensent que les modifications climatiques récentes à l'échelle planétaire sont causées par la variation d'éléments extérieurs au système climatique lui-même. Les principaux « forçages » extérieurs qui peuvent varier dans le temps et qui ont été considérés jusqu'ici par les modélisateurs du climat sont :

- l'énergie de rayonnement émise par le Soleil (la source permanente d'énergie pour la Terre). Si la quantité augmente, le climat se réchauffe ; si la quantité diminue, le climat se refroidit.
- les éruptions volcaniques, qui projettent des particules jusque vers 20 km dans la stratosphère. Ces particules (appelées aérosols, principalement de type soufrés) empêchent une partie du rayonnement solaire d'atteindre le sol, conduisant à un refroidissement climatique pendant quelques années, avant que les aérosols ne retombent en surface.
- les quantités de particules solides (appelés aérosols, principalement de type soufrés) envoyées dans la basse couche atmosphérique à la suite de feux de forêts ou de brousse, mais surtout suite à l'utilisation des combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz) pour les besoins énergétiques.
- Les émissions de gaz à effet de serre (CO₂, CH₄ et N₂O) suite aux activités humaines : feu de forêt, agriculture, mais surtout utilisation des combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz) pour satisfaire les besoins énergétiques (pour chauffage, industrie, automobiles...).

A partir de la connaissance approximative de la variation de ces forçages, les modélisateurs du climat ont essayé de reconstruire le climat de la Terre des 150 dernières années, afin de pouvoir expliquer les variations climatiques observées au cours de cette période.

Les principaux résultats sont les suivants :

- 1) le réchauffement du début du siècle semble pouvoir être expliqué par une tendance entre le 19^e siècle et le milieu du 20^e à une augmentation de l'énergie émise par le Soleil (luminosité solaire) et par une activité volcanique relativement faible durant cette période.

- 2) le léger refroidissement entre 1950 et 1975 pourrait être dû à une activité volcanique plus importante et une luminosité solaire qui stagne ou diminue légèrement durant cette période.
- 3) Le réchauffement depuis le milieu des années 1970 pourrait être causé principalement par un renforcement de plus en plus marqué de l'effet de serre, lié aux émissions de gaz à effet de serre (surtout CO₂, CH₄ et N₂O) de plus en plus importantes à la suite des activités humaines. Depuis cette époque, les autres forçages auraient un effet secondaire sur l'évolution du climat (à l'échelle de la décennie au moins).

Il est par contre très difficile de se prononcer sur une éventuelle évolution au cours des dernières décennies du nombre et de l'intensité des tempêtes, des tornades et des cyclones tropicaux, vu la difficulté de « mesurer » ces éléments climatiques objectivement et d'une manière homogène au fil des ans (par exemple, se baser sur des observations visuelles ou des données de satellite pour déterminer le nombre et l'intensité des cyclones ne donnera pas le même résultat). Dans ces conditions, une tendance apparaissant dans les données de ce type de paramètre ne traduit pas nécessairement une réelle modification climatique.

Ce qui est certain, par contre, c'est qu'il est impossible d'attribuer de manière définitive un événement particulier (par exemple, pour notre pays, les violentes tempêtes en 1990, les inondations spectaculaires de 1993 et 1995 ou la vague de chaleur de l'été 2003) au réchauffement planétaire (et plus encore à l'augmentation de l'effet de serre ou des émissions de gaz à effet de serre).

1.2.2. Evolution récente du climat à Bruxelles

A partir de l'analyse statistique des longues séries climatologiques de Uccle, nous allons essayer de répondre, ou d'apporter un premier élément de réponse, à une série de questions que l'on se pose couramment :

- 1) Observe-t-on un réchauffement ?
- 2) Pleut-il plus que par le passé ?
- 3) Les pluies intenses et abondantes (orageuses) sont-elles plus fréquentes ?
- 4) Les valeurs extrêmes des pluies ont-elles augmenté ?

Il faut tout d'abord signaler que dans notre pays, l'étude des séries d'observations à l'échelle du siècle n'a pas encore été menée de manière systématique. Pour les cent dernières années, les premiers résultats obtenus jusqu'ici (notamment pour la station de Uccle) sont principalement les suivants :

A) Le climat moyen

- La température a augmenté une première fois de manière relativement abrupte vers 1910 en hiver, au printemps et sur l'ensemble de l'année et vers 1925-1930 en été et en automne. Un second réchauffement abrupt s'est produit au début des années 1980 en été et à la fin de la décennie en hiver, au printemps et sur l'année [figure 1.2.2.1]. Dans les deux cas, l'augmentation de température annuelle fut de l'ordre du degré. Le premier réchauffement fut principalement lié à une élévation des températures maximales, alors que le second est lié surtout à une élévation des températures minimales.
- Les précipitations ne montrent qu'une légère augmentation relativement abrupte à l'échelle annuelle en 1909 [figure 1.2.2.2]. Les précipitations hivernales et printanières montrent également une augmentation abrupte respectivement en 1910 et en 1965.
- Depuis le réchauffement de la fin des années 1980, le nombre de jours de précipitations (au moins 0,5 mm) est généralement faible [figure 1.2.2.3]. Ce genre de situation avait déjà été observé au début du siècle, mais avant le réchauffement vers 1910.
- L'intensité moyenne des précipitations (quantité par jour de précipitations) a augmenté de manière relativement abrupte en 1978 en hiver et en 1985 sur l'ensemble de l'année.
- Le nombre de jours avec précipitations neigeuses à Uccle est très variable d'une année à l'autre. Depuis le réchauffement de la fin des années 1980, il neige généralement moins à Uccle que par le passé [figure 1.2.2.4]. Depuis la même période, le nombre annuel de jours avec enneigement au sol à Uccle est en général très faible [figure 1.2.2.5].

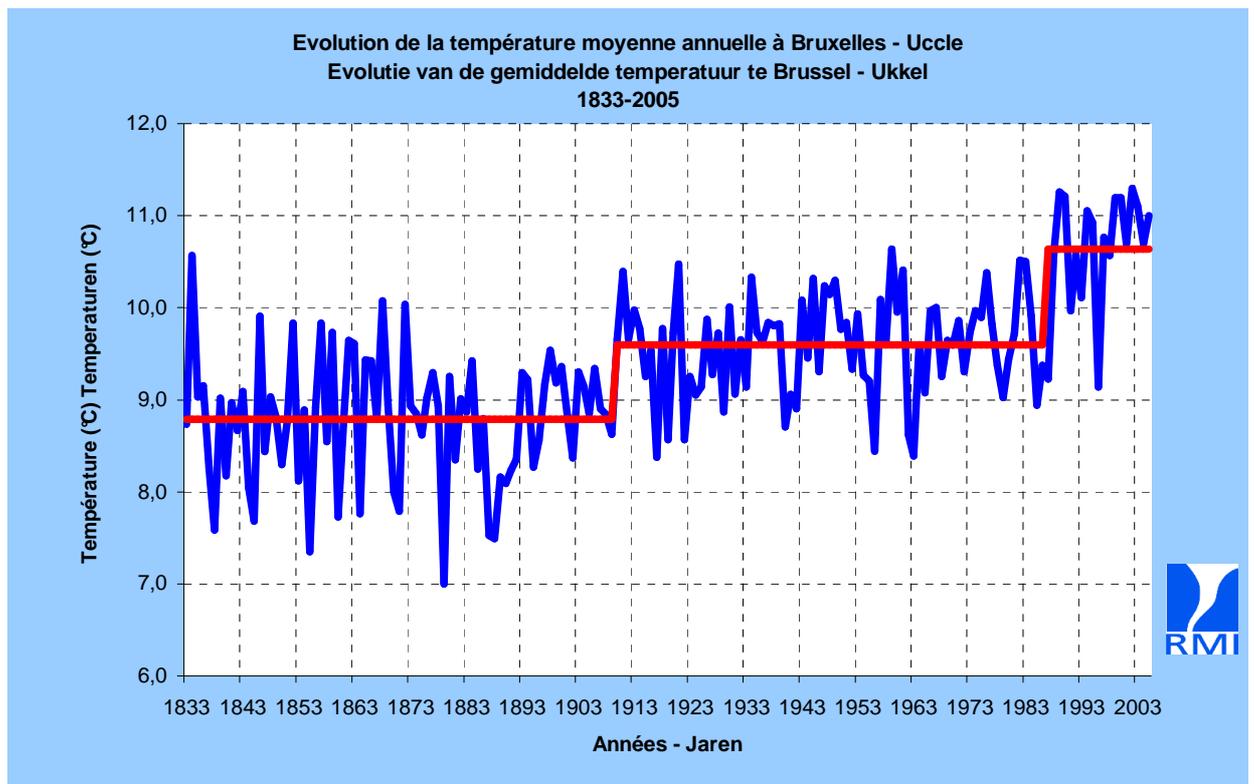


Figure 1.2.2.1. Evolution de la température moyenne annuelle à Bruxelles-Uccle entre 1833 et 2005.

Les mesures météorologiques à Uccle ont commencé vers 1880 (elles avaient débuté de manière régulière à Bruxelles en 1833). Les différentes séries de mesure (température, précipitations, vent...) ont été homogénéisées au mieux, à la différence des autres séries, plus courtes, disponibles ailleurs dans le pays.

On observe un réchauffement de près de 2 °C entre le 19^e siècle et le début du 21^e siècle. Ce réchauffement ne s'est pas produit de manière régulière, mais en deux étapes : un premier réchauffement marqué vers 1910 (de l'ordre d'un degré en moyenne) et un second dans le courant des années 1980 (également de l'ordre d'un degré).

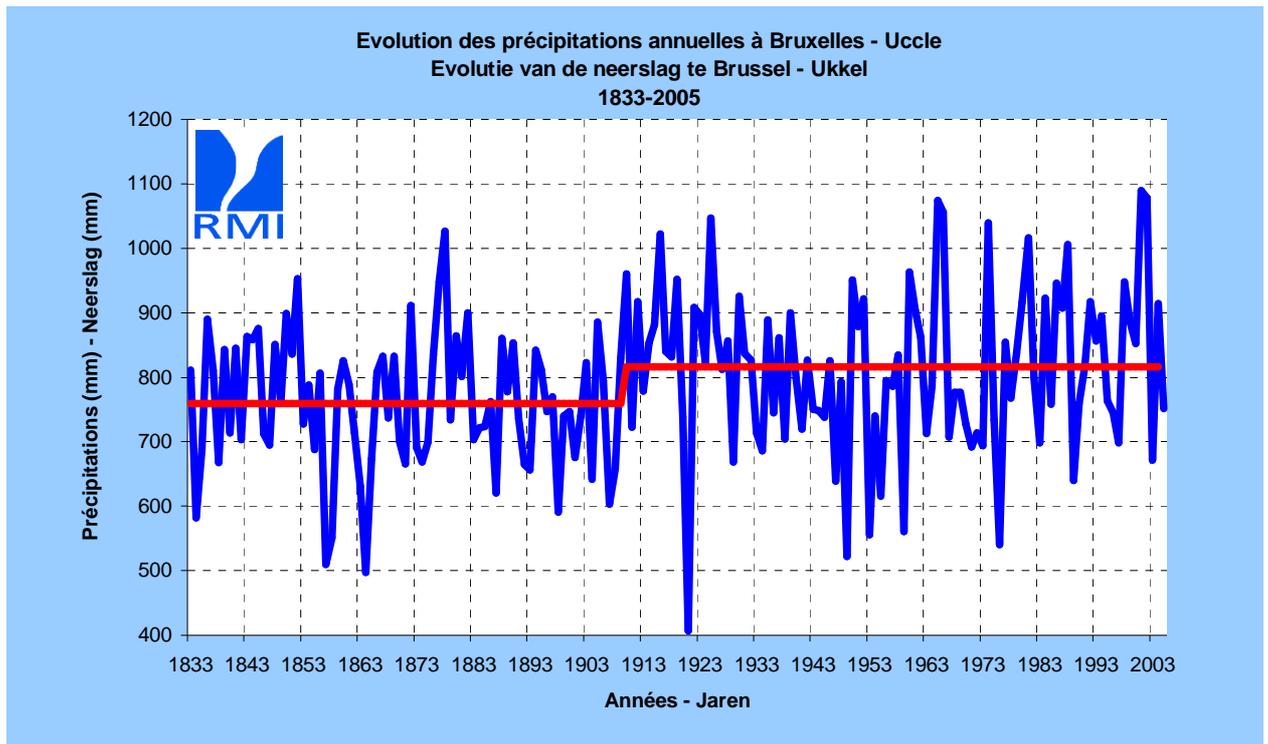


Figure 1.2.2.2. Quantité annuelle de précipitations à Bruxelles-Uccle entre 1833 et 2005.

Pour les quantités de précipitations, l'examen des données conduit à des résultats moins significatifs (ce qui s'explique en partie par la grande variabilité des précipitations dans nos régions). Depuis le 19^e siècle, le total annuel a augmenté de quelques pourcents. Cette augmentation est liée dans ce cas aussi à un « saut » détecté statistiquement (de justesse) vers 1910.

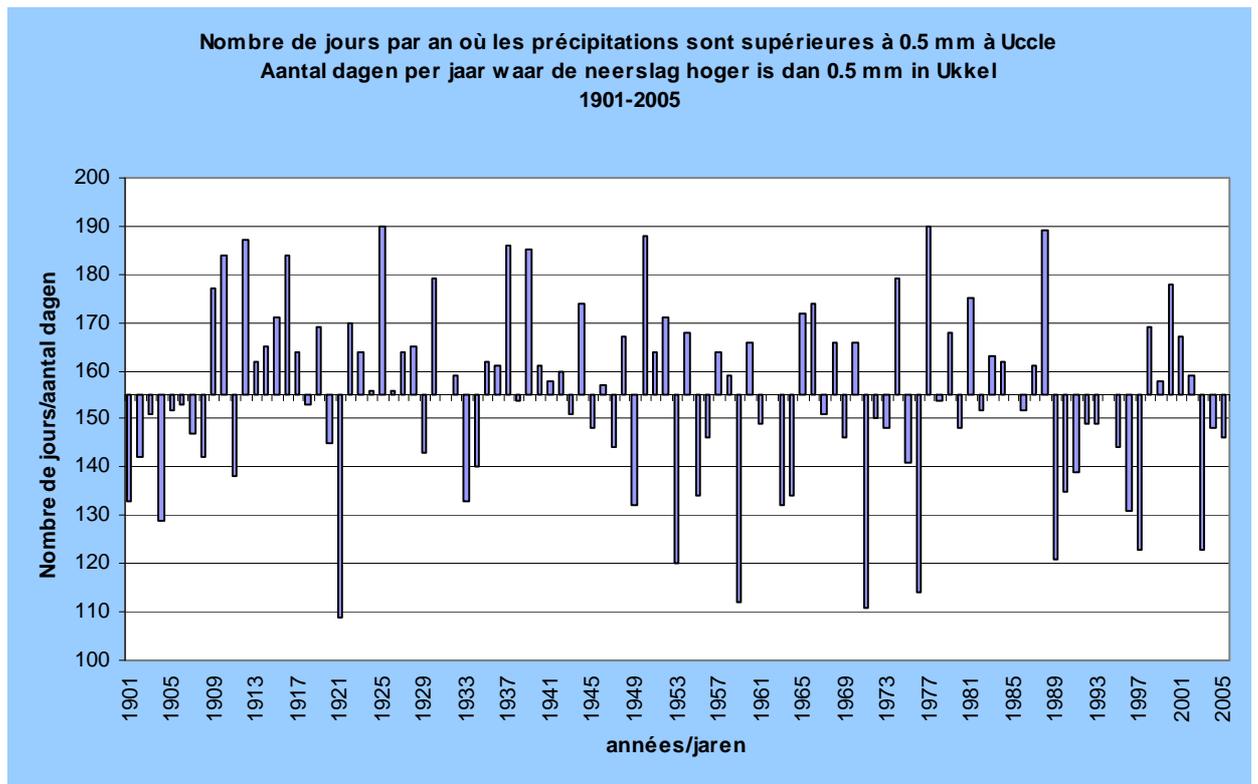


Figure 1.2.2.3. Nombre annuel de jours avec précipitations à Uccle entre 1901 et 2005 (on ne considère que les quantités journalières de précipitations au moins égales à 0,5 mm).

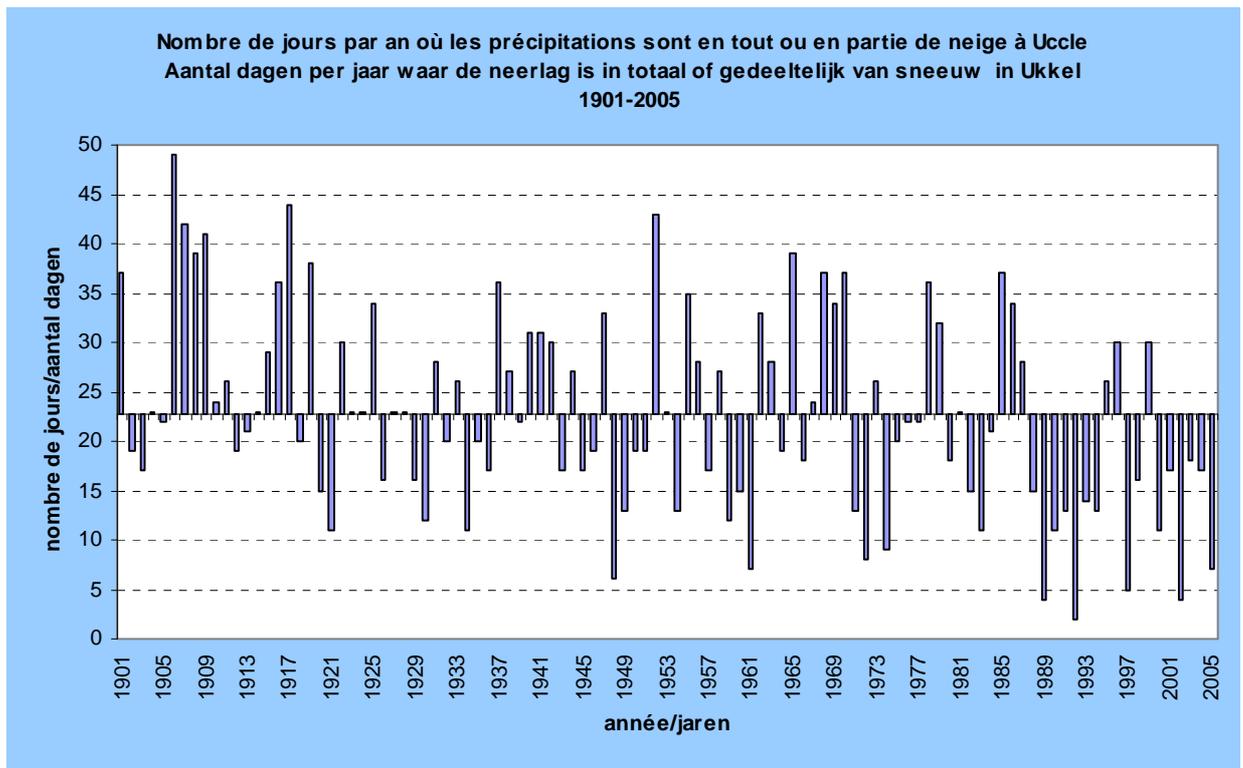


Figure 1.2.2.4. Nombre annuel de jours avec précipitations neigeuses à Uccle entre 1901 et 2005.

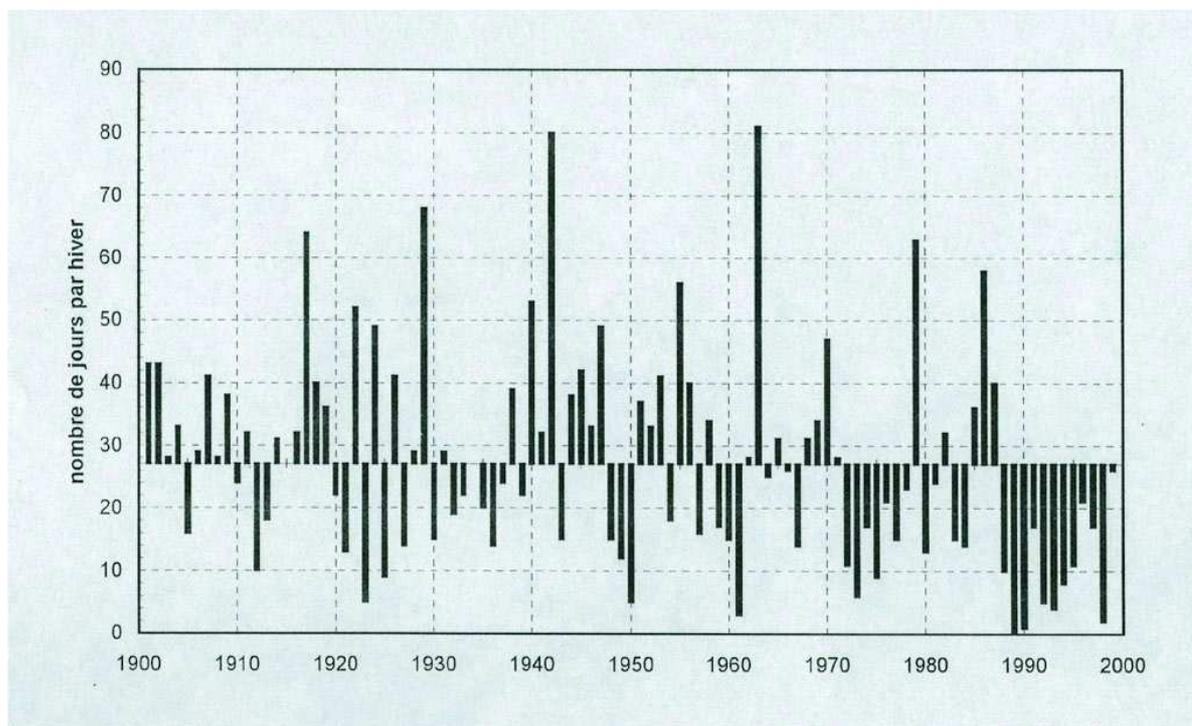


Figure 1.2.2.5. Nombre annuel de jours d'enneigement à Uccle entre 1901 et 1999 (les jours avec seulement des traces de neige sont également comptabilisés).

B) Paramètres particuliers

- L'évolution des températures sur les cent dernières années montre également une baisse sensible du nombre annuel de jours de gel (jours où la température minimale est inférieure à 0 °C) [figure 1.2.2.6].
- Après le réchauffement des années 1980, le nombre annuel de jours d'été (jours où la température maximale est supérieure ou égale à 25 °C) a augmenté, tout comme le nombre annuel de jours de canicule (jours où la température maximale est supérieure ou égale à 30 °C). Cependant, des valeurs similaires avaient déjà été observées dans les années 1940 [figure 1.2.2.7].
- Les pluies hivernales les plus abondantes sur quelques jours ont eu tendance quelque peu à augmenter au cours des 50 dernières années (il n'y a par contre pas d'évolution détectable des pluies les plus intenses en été).

- Une analyse du nombre de jours en été (période juin-juillet-août) où la quantité journalière de précipitations atteint au moins 20 mm a été faite pour les données de Uccle entre 1880 et 2006 [figure 1.2.2.8]. Aucune tendance significative (à la hausse ou à la baisse) ne ressort actuellement des données. On a observé ces dernières années trois des quatre valeurs les plus élevées de la série, mais il est encore trop tôt pour pouvoir conclure de manière statistiquement fiable que le paramètre étudié a commencé à augmenter.
- L'examen des données du pluviographe centenaire de Uccle montre que les précipitations extrêmes annuelles ont augmenté lorsqu'on analyse les cumuls au moins sur quelques jours [figure 1.2.2.9]. Par contre, pour les durées plus courtes (entre 1 heure et 2-3 jours), on n'observe pas de tendance significative dans les extrêmes annuels [figure 1.2.2.10]. Ce genre de résultat va à l'encontre du sentiment parfois exprimé selon lequel les pluies orageuses seraient plus abondantes que dans le passé. Le tableau 1.2.2.1 résume les résultats de l'ensemble des tests statistiques.
- On a étudié les variations des courbes IDF à Uccle en calculant ces courbes sur deux sous-périodes : 1898-1950 et 1951-2003. Pour les faibles durées, il y a plutôt une tendance à la diminution des valeurs extrêmes entre le début et la fin du 20^e siècle pour une période de retour donnée. Par contre, pour les longues durées (à partir de plusieurs jours), on observe plutôt une augmentation des valeurs extrêmes qui est particulièrement significative pour les périodes de retour au-delà de 10 ans. Le tableau 1.2.2.2 donnent les valeurs pour les différentes périodes considérées.

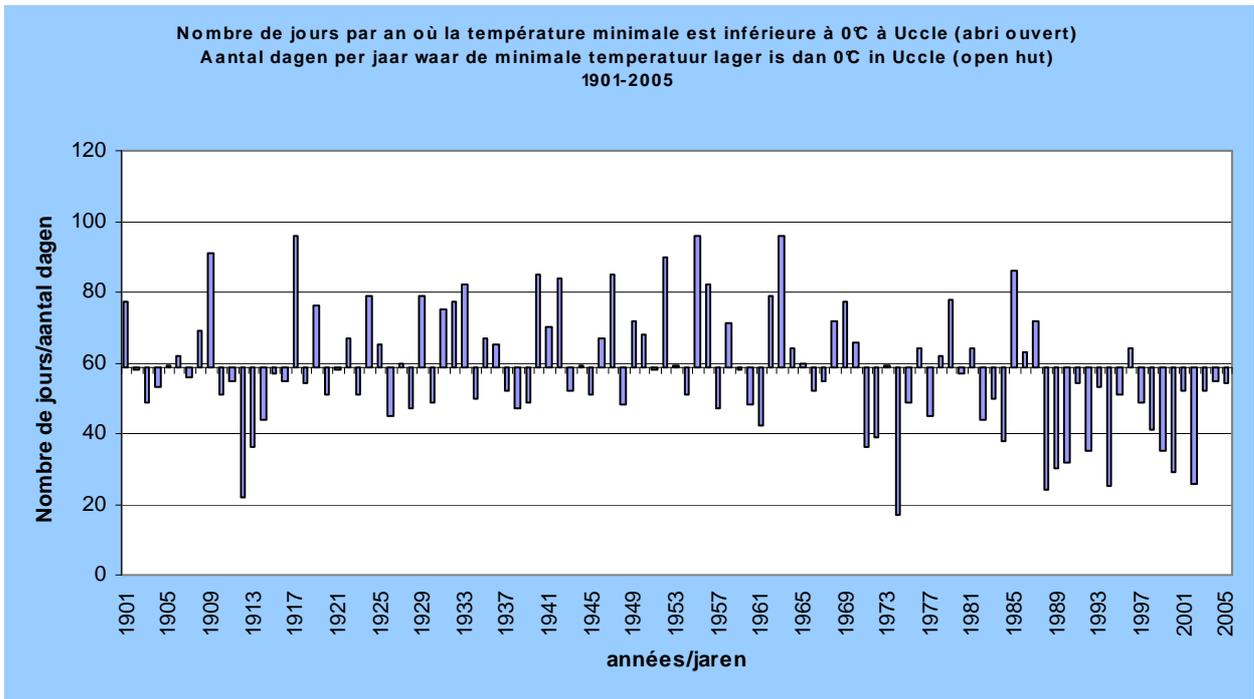


Figure 1.2.2.6. Nombre annuel de jours de gel à Uccle entre 1901 et 2005 (TN < 0 °C).

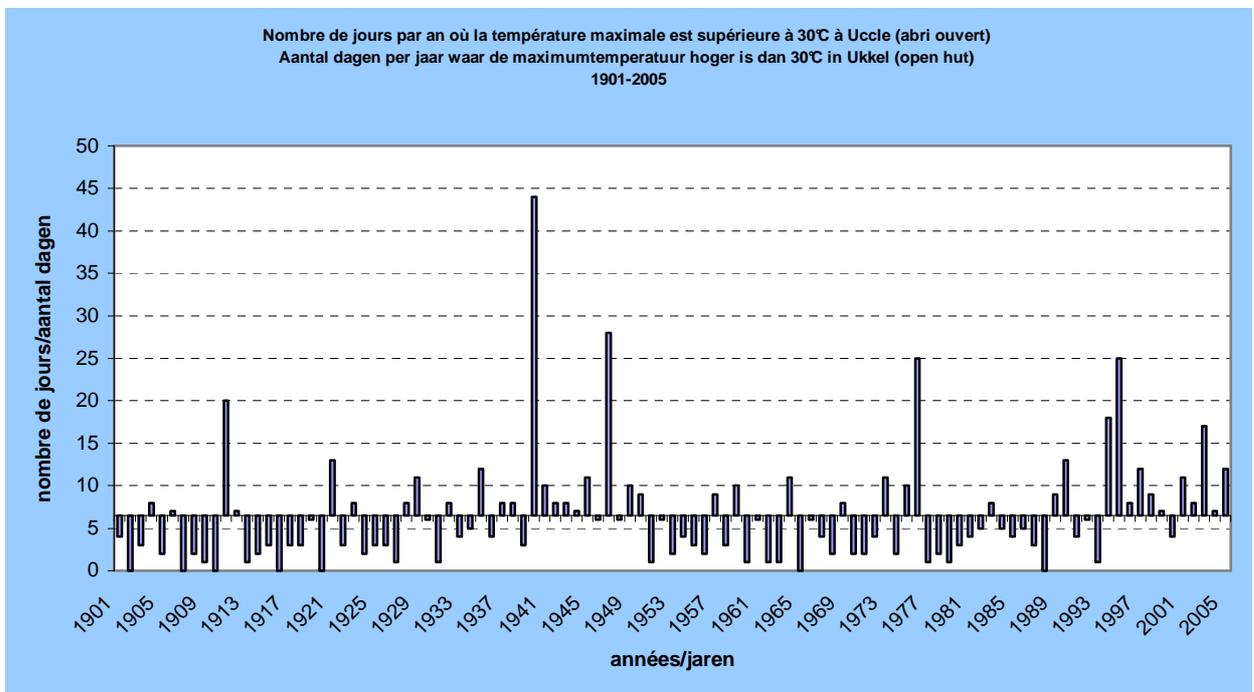


Figure 1.2.2.7. Nombre annuel de jours de canicule à Uccle entre 1901 et 2005 (TX ≥ 30 °C).

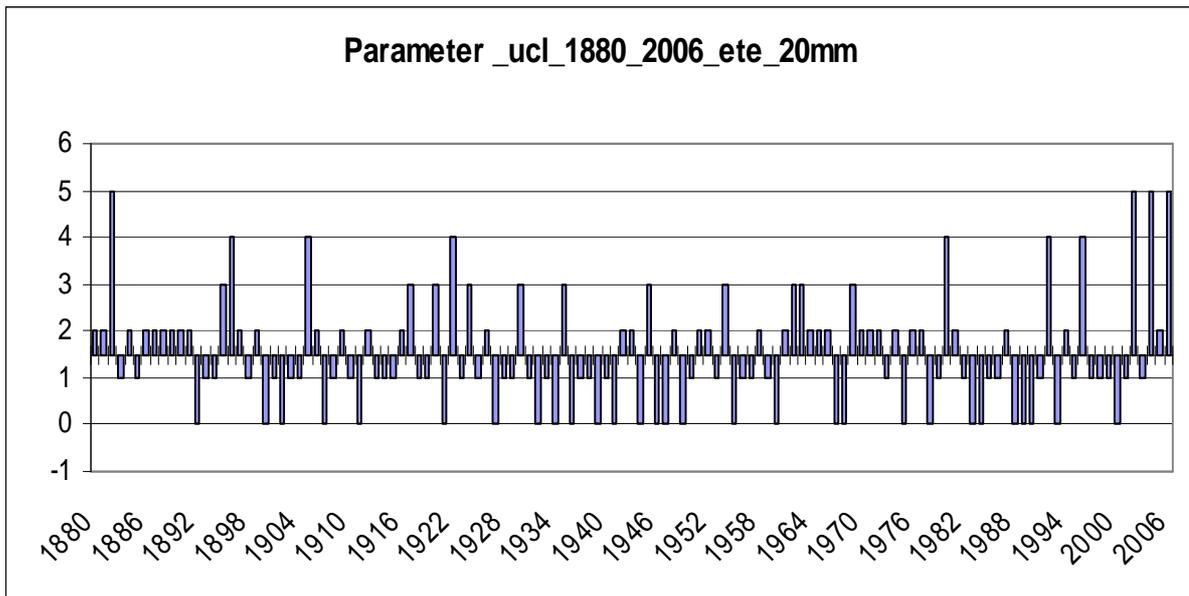


Figure 1.2.2.8. Nombre de jours en été (juin à août) où la quantité de précipitations a dépassé 20 mm à Uccle entre 1880 et 2006.

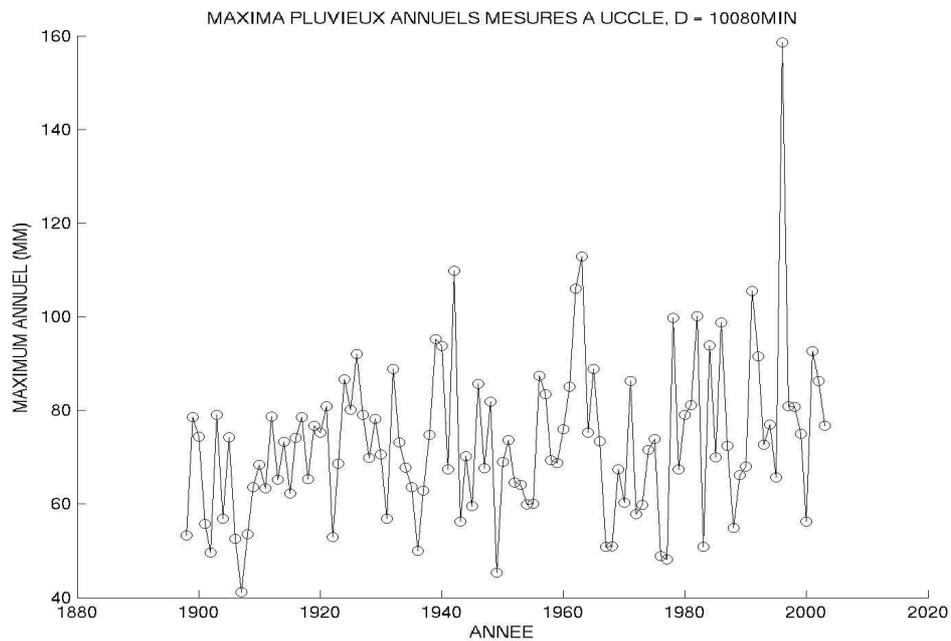


Figure 1.2.2.9. Valeur annuelle la plus élevée de la quantité de précipitations cumulée sur 7 jours observée à Uccle entre 1880 et 2003.

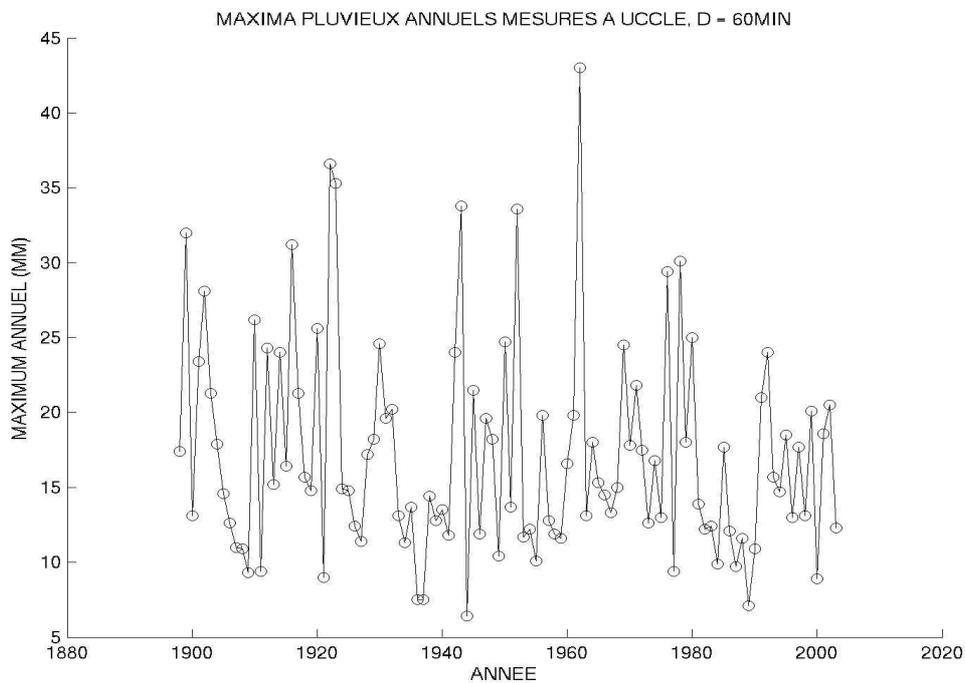


Figure 1.2.2.10. Valeur annuelle la plus élevée de la quantité horaire de précipitations observée à Uccle entre 1880 et 2003.

Tableau 1.2.2.1. Niveau de signification de la pente des droites de régression pour les séries des précipitations annuelles maximales sur une durée donnée (30 minutes à 30 jours).

durée	rapport mu/sigma	proba que pente>0	significativité du test
30 minutes	-1,6801	4,647	pas significatif
1 heure	-1,3606	8,6827	pas significatif
6 heures	-0,3512	36,2703	pas significatif
1 jour	1,0542	85,4095	pas significatif
3 Jours	1,4814	93,0746	significatif
4 jours	1,6073	94,6004	significatif
5 Jours	1,8321	96,6534	significatif
7 Jours	2,6737	99,6249	très significatif
10 jours	2,7314	99,6846	très significatif
20 Jours	2,9493	99,8408	très significatif
30 Jours	3,21	99,8336	très significatif

Tableau 1.2.2.2. Analyse des courbes IDF sur trois périodes : 1898-1950, 1951-2003 et 1898-2003. Une sélection des quantités maximales de précipitations (en mm) qui, pour la durée indiquée dans la colonne de gauche, sont dépassées à Uccle en moyenne une fois pour la période de retour indiquée dans la ligne supérieure. Les valeurs sont déduites des courbes IDF calculées par la méthode POT sur les trois périodes considérées.

<i>Période de retour (ans)</i> →		2	5	10	20	50	100	200
<i>Durée</i> ↓								
60 min (1 h)	1898-1950	16,6	20,8	24,1	27,3	31,6	34,9	38,2
	1951-2003	15,8	19,3	22,0	24,7	28,3	31,1	33,8
	1898-2003	15,8	19,7	22,6	25,6	29,5	32,5	35,5
6 h	1898-1950	25,6	31,4	35,7	40,1	45,9	50,4	54,8
	1951-2003	25,3	30,6	34,6	38,6	44,0	48,1	52,2
	1898-2003	25,0	30,5	34,6	38,8	44,3	48,5	52,8
24 h (1 j)	1898-1950	35,7	42,8	48,1	53,6	60,7	66,2	71,7
	1951-2003	36,2	43,2	48,5	53,9	61,0	66,4	71,8
	1898-2003	35,5	42,4	47,7	53,0	60,1	65,5	70,8
2 j	1898-1950	43,6	51,7	57,8	64,0	72,2	78,5	84,7
	1951-2003	44,7	53,0	59,3	65,7	74,1	80,5	86,9
	1898-2003	43,6	51,7	57,8	64,0	72,2	78,5	84,7
10 j	1898-1950	80,3	93,1	102,8	112,6	125,6	135,4	145,4
	1951-2003	84,1	98,3	109,1	119,9	134,2	145,2	156,1
	1898-2003	81,4	94,5	104,5	114,6	127,9	138,0	148,2

1.2.3. Quel climat futur ?

Sources : Scénarios du KNMI hollandais + IPCC (2001)

Les résultats sont basés sur des scénarios socio-économiques et une modélisation climatique. Il y a donc des incertitudes sur les résultats, inhérentes à cette approche double approche.

En 2050 (par rapport au climat présent, soit 1976-2005) :

- Un réchauffement tout au long de l'année (en moyenne)
(hiver : +1 à +2 °C ; été : +1 à +3 °C)
- Augmentation des précipitations hivernales (+5 à +15 %)
- Plus difficile de se prononcer pour les précipitations estivales (-20 à +5 %).
- Encore plus difficile de se prononcer sur l'évolution de la variabilité du climat et en particulier sur l'évolution de la fréquence et de l'intensité des phénomènes extrêmes (comme les pluies intenses et abondantes liées à des périodes orageuses).

Il semble raisonnable de penser que, sauf surprise, l'évolution climatique dans les prochaines décennies suivra, en l'amplifiant éventuellement, l'évolution observée dans les séries de mesures. Il est donc essentiel de continuer l'analyse de tendance des séries dont on dispose et de garantir la poursuite d'observations de qualité en évitant le plus possible toute cause d'hétérogénéité dans les mesures.

1.3. Conclusions

(1) Bruxelles est situé aux latitudes moyennes de l'hémisphère Nord, près de la façade océanique de l'Europe de l'Ouest. De ce fait, son climat est tempéré, de type océanique, et caractérisé par une variabilité interannuelle importante.

(2) Le climat de Bruxelles ressemble beaucoup à celui de Lille et présente des caractéristiques climatiques similaires à celles des autres villes européennes considérées dans l'Etude (Londres, Freiburg et Bordeaux). Bordeaux et Fribourg sont les villes les plus arrosées, principalement en hiver pour Bordeaux (de par sa position plus méridionale) et en été pour Fribourg (effet de continentalité).

(3) L'analyse des courbes IDF entre les villes belges (Uccle, Tournai et Gand) et entre celles-ci et les deux villes françaises (Lille et Bordeaux) montre également des similitudes importantes entre les villes en ce qui concerne les précipitations extrêmes. Seul Bordeaux, par sa position plus méridionale, présente des valeurs extrêmes systématiquement beaucoup plus élevées dès que l'on considère des durées d'au moins quelques heures.

(4) Les longues séries d'observations de Bruxelles-Uccle permettent de mettre en évidence des changements climatiques à l'échelle séculaire, et en particulier un réchauffement en deux étapes (début et fin du 20^e siècle).

(5) Pour les précipitations, les modifications sont moins significatives. En moyenne, la quantité et l'intensité des précipitations sur des durées d'au moins quelques jours ont augmenté entre le début et la fin du 20^e siècle (pluies hivernales). Par contre, jusqu'ici, on n'observe pas de manière significative une augmentation de la fréquence et/ou de l'intensité des pluies abondantes de courtes durées (pluies orageuses en été).

(6) Les scénarios climatiques pour le 21^e siècle prévoient à nos latitudes une augmentation des pluies hivernales (autour de 10 % en 2050). Pour l'été, les résultats sont moins cohérents. Il est encore plus difficile de se prononcer actuellement sur une éventuelle augmentation de la fréquence et/ou de l'intensité des pluies orageuses en été.

2. Approche météorologique

2.1. Les outils de suivi et de prévisions des précipitations

L'IRM peut offrir différents services et par différents canaux.

Il y a toutefois lieu de distinguer :

- d'une part, parmi les services déjà opérationnels ceux qui sont destinés à « tout le monde » et ceux qui ne sont destinés qu'à certains partenaires spécifiques.

- d'autre part, parmi les nouveaux services pré-opérationnels, ceux qui sont en phase de développement et ceux qui sont déjà en période de validation.

Parmi tous ces services, certains conviendraient à la RBC tels qu'ils existent ; d'autres devraient sans doute progressivement être développés plus spécifiquement pour la RBC :

L'IRM (comme c'est le cas de la plupart des Services Météorologiques membres de l'Organisation Météorologique Mondiale) se positionne comme un fournisseur de services d'aide à la décision en les destinant principalement (mais pas exclusivement) aux pouvoirs publics.

Relevant les défis qui se posent à la société confrontée à l'évolution et à la variabilité du climat, nos services de prévisions météorologiques entre autres ont intégré les plus récentes avancées dans les domaines spécifiques de l'alerte au temps dangereux et de la prévention des risques.

Certains départements de l'Etat Fédéral, de la Région Wallonne, de la Région Bruxelloise et de la Région Flamande y ont recours pour des besoins spécifiques qui ont été bien identifiés de commun accord et qui parfois ont nécessité des études de faisabilité innovantes ainsi que des périodes de validation.

Citons notamment les *alertes canicules* développées dès 2003 avec le service du ministère fédéral de la Santé, les *échanges de services* et le *contrôle de qualité* des mesures des précipitations avec les services des voies hydrauliques de la Région Wallonne, les *alertes grands vents*, celles liées aux conditions mauvaises de *dispersion de la pollution* développées d'abord avec la région Bruxelloise, appliquées après validation aux 3 régions ensuite, les *alertes précoces de crues* (en phase de validation en 2006)...

Les bulletins généraux de prévisions accessibles à tous sur le site internet de l'IRM ne manquent aucune occasion d'attirer l'attention sur les risques liés entre autres aux « pluies intenses » et aux orages. Ces bulletins généraux sont réactualisés 5 fois par jour et annoncent le temps jusqu'à 5 jours d'échéance. (Voir exemples en annexe 1)

S'ajoutent à ces bulletins généraux grâce à une surveillance continue 24 h sur 24 h du temps réel, la possibilité pour l'équipe de permanence de lancer des alertes dont le degré de gravité est échelonné selon l'événement.

Pour ce qui concerne les **avertissements orage**, ils peuvent être accessibles à tous, depuis quelques années déjà, présentés sur notre site, répertoriés selon les provinces menacées et déclinés dans une échelle de couleur selon le degré de dangerosité prévisible (voir annexe 5). A titre d'exemple, des avertissements de ce genre concernant entre autres la province de Brabant (englobant donc géographiquement la RBC) ont été lancés à raison d'une quinzaine de fois par an entre l'été 2004 et la fin de l'année 2006 et en général quelques heures à l'avance.

Dans le moins bon cas, le délai avant la survenance de l'événement orageux sur le territoire belge était de 3 heures mais le plus souvent l'avertissement précédait l'événement de 6 heures au moins. (Souvent nettement plus comme dans les exemples du 28/07/06 et du 11/09/05)

Enfin, les **alertes sms-safir** mises en service de manière opérationnelle en 2004 ont rencontré un succès relatif. Il est vrai que dans ce dernier cas, le délai entre l'alerte qui concerne une zone précise (quelques km²) identifiée par l'utilisateur au moment de la souscription à un abonnement, et l'événement lui-même peut ne pas excéder le quart d'heure. Il s'agit donc d'un service « dernière minute » dont l'utilité n'a jusqu'ici convaincu que ceux qui le combinent avec d'autres plus précoces, comme par exemple un **accès privilégié aux données radar en ligne ou aux données safir en ligne**.

On trouvera des informations complémentaires sur les mesures radar en annexe 2 et sur le système safir en annexe 3.

2.2. Analyse de deux cas concrets de pluies intenses sur la RBC

1^{er} cas : orages du 28 juillet 2006

Le 28 juillet des précipitations localement abondantes sont tombées sur Bruxelles suite à des orages. Certains de ces orages ont particulièrement affecté la Région bruxelloise.

Dans ses bulletins de **prévisions générales**, l'IRM les annonçait de la manière suivante dès le 27/07/06 :

Prévisions IRM jeudi 27/07/2006 à 16.30h

Le temps pour aujourd'hui en bref.

Ce soir, la nuit et demain, un temps instable avec localement de **fortes averses orageuses**.

Situation atmosphérique générale.

Des courants très chauds stagnent encore sur nos régions.

Localement **d'importants noyaux orangeux** vont se développer dans ces courants.

Prévisions pour ce soir, la nuit prochaine et demain vendredi.

Ce soir et la nuit prochaine, un ciel généralement nuageux à très nuageux. Le temps restera variable avec **localement d'intenses averses orageuses**. Minima de 15° à 20°. Le vent sera faible variable mais avec risque de fortes rafales sous les orages.

Vendredi, ce sera une journée très variable avec des périodes sèches mais aussi de **fortes averses orageuses** ou des périodes de pluie. Localement beaucoup de précipitations. Des maxima compris entre 23 et 28°. Un vent faible variable qui plus tard tournera vers l'ouest. De **fortes rafales de vent** sont possibles durant les **orages**.

Durant la nuit de vendredi à samedi, localement encore risque de pluie ou d'orages. Il fera progressivement plus sec avec davantage d'éclaircies à partir de l'ouest avec ensuite risque de brume ou brouillard. Minima se situant entre 13 et 17°. Un vent faible à modéré de sud-ouest à ouest.

Analyse des conditions météorologiques du 28 juillet 2006.

En altitude une crête anticyclonique se déplaçait vers l'est alors qu'un creux d'altitude atteignait l'ouest du pays. Ce creux a atteint notre pays en fin d'après-midi et le soir ; il était alors associé à un front froid peu actif. Ce système a développé des masses d'air instable. De plus, des lignes de convergence ont

atteint notre pays en journée. Dès lors, s'est organisée une ligne d'averses très active de la France aux Pays-Bas comme le montre l'imagerie Radar (cf. figure 2.2.1.1.). Sur l'est du pays, on remarque une seconde ligne d'orages. Le courant d'altitude étant faible, les lignes de convergence se maintenaient sur place ou presque. En conséquence, **des averses quasi stationnaires** provoquaient par endroit des précipitations très intenses. Qui plus est, la masse d'air était très humide, ce qui n'a fait qu'accentuer les quantités de précipitations.

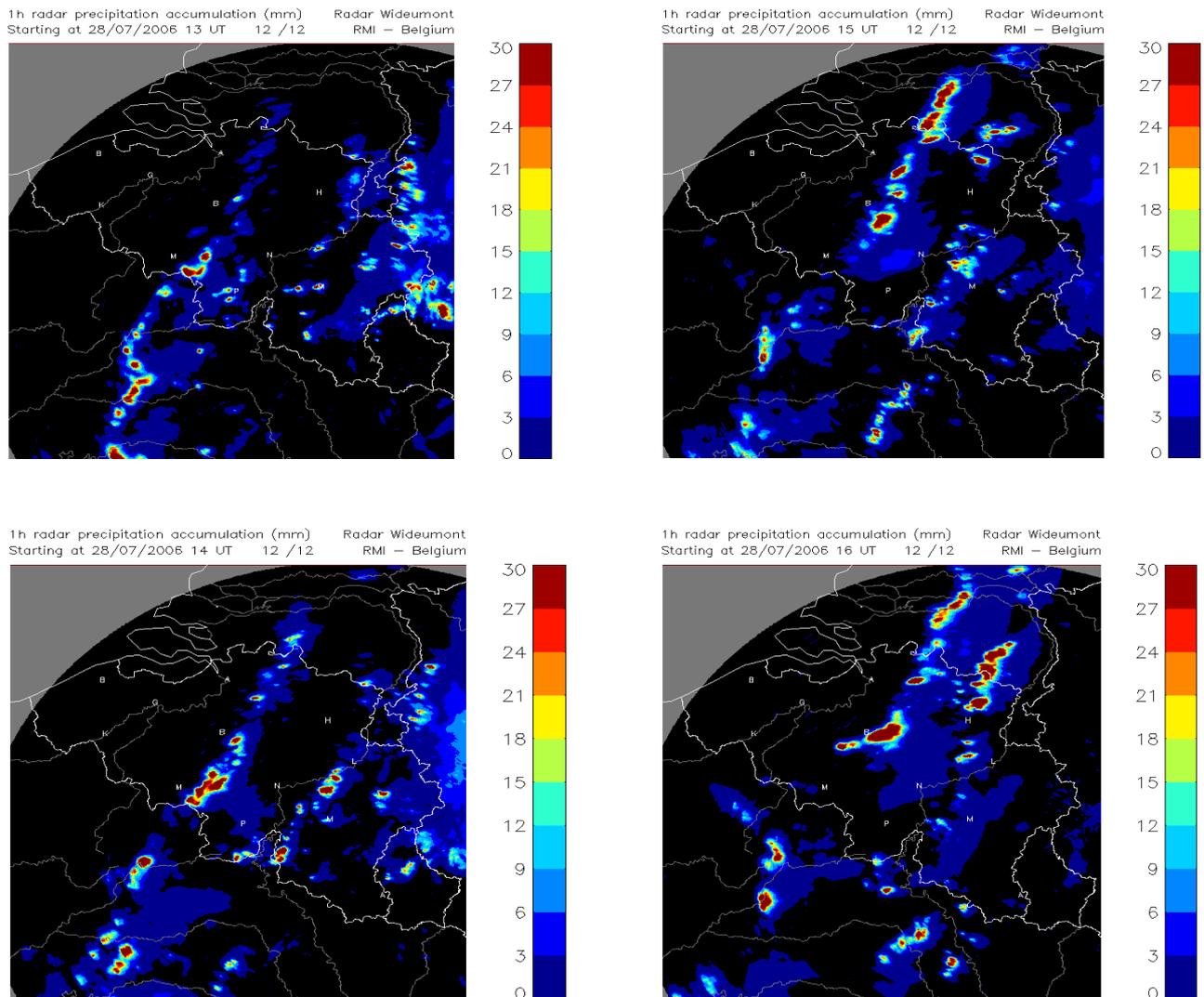


Figure 2.2.1.1. De haut en bas et de gauche à droite, images successives des cumuls horaires estimés par le radar débutant à 13 UT (15h–16h), 14 UT (16h–17h), 15 UT (17h–18h) et 16 UT (18h–19h). Le dernier graphique montre de fortes précipitations sur l'est de la RBC entre 18h et 19h (l'échelle de couleur donne les estimations de précipitations en mm). Les zones en rouge foncé ont des estimations égales ou supérieures à 30 mm).

A l'arrière de cette zone orageuse qui se déplaçait très peu se trouvaient d'autres orages qui ont localement augmenté les précipitations alors qu'ailleurs, il pleuvait peu. C'est ainsi que sur l'est de la Région bruxelloise, il a plu énormément alors que sur l'ouest, localement, il faisait généralement sec. A l'est, en une heure de temps, il est tombé 60 mm. Les images radar sont enregistrées toutes les 5 minutes, ce qui donne aux prévisionnistes la possibilité dans une certaine mesure d'anticiper le déplacement des zones de précipitations.

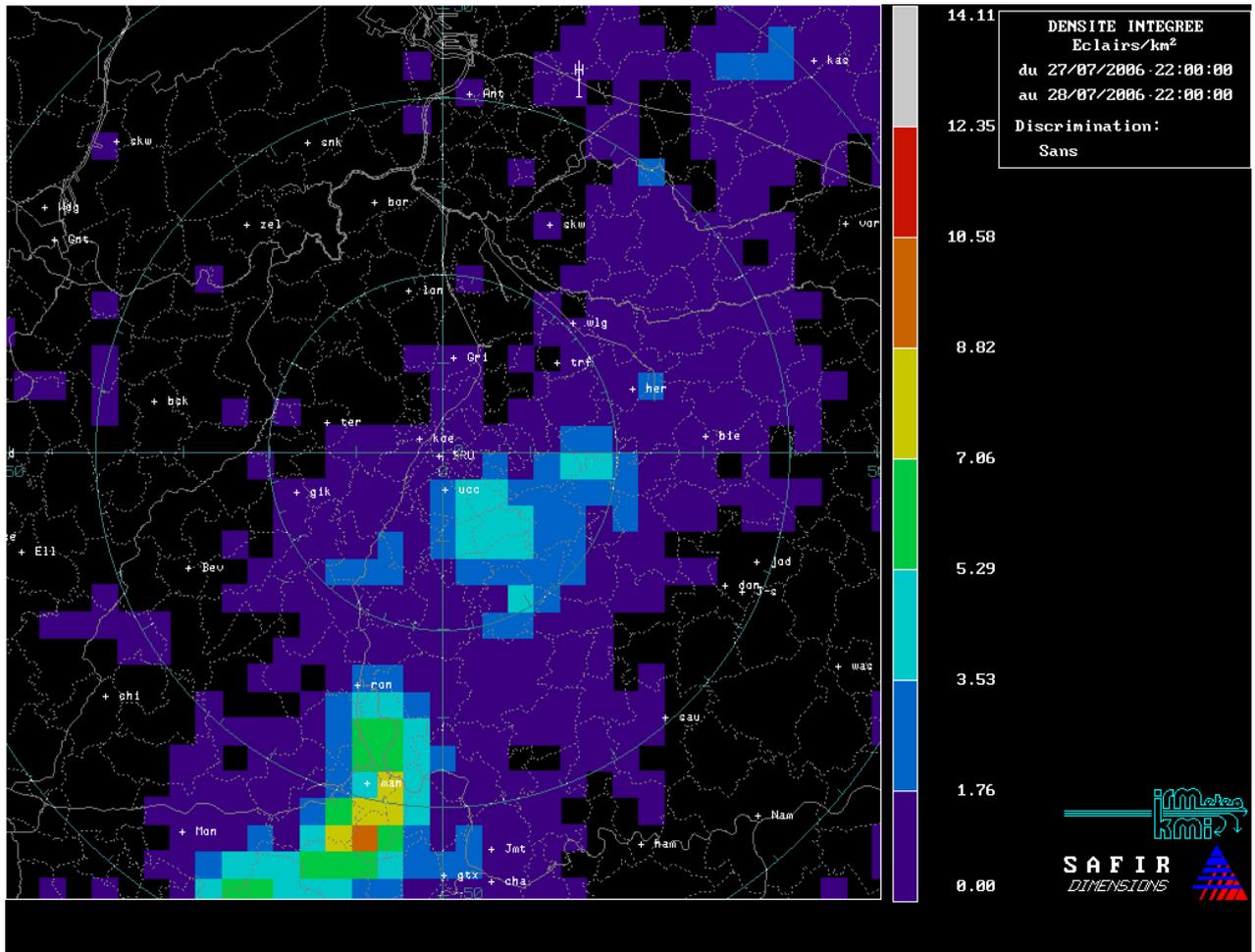


Figure 2.2.1.2. L'image de l'activité électrique totale enregistrée par SAFIR le 28 juillet 2006 montre, parmi les zones les plus touchées par les orages, la partie sud-est de la RBC (l'image est centrée sur la grand-place de Bruxelles).

La figure 2.2.1.2 montre l'épisode du point de vue électrique. L'échelle des couleurs indique la densité totale journalière des décharges électriques par km². La relation entre la densité des décharges et l'intensité des précipitations est loin d'être simple à interpréter. Installé depuis une petite quinzaine d'années sur le territoire belge, le système Safir permet toutefois une approche plus systématique et plus cohérente que par le passé des problèmes liés aux orages.

Une équipe de recherche est à l'œuvre actuellement à l'IRM pour tenter d'établir, sur base de l'expérience acquise depuis l'installation de ces équipements nouveaux, des liens pertinents entre les données radar, safir et les données plus classiques

La collaboration entre l'IRM et l'AED a conduit à un début de collaboration d'échanges de données, permettant des analyses plus précises des événements extrêmes de types orageux et une meilleure estimation de la résolution spatiale dans la description des zones dévastées. La combinaison de ces informations récoltées par des pluviomètres d'une part et des radars d'autre part contribue largement à une meilleure approche des phénomènes et à la constitution de dossiers destinés au Fonds des calamités.

Données transmises à l'IRM par l'AED (figure 2.2.1.3 et tableau 2.2.1.1) au lendemain de l'épisode du 28 juillet 2006.

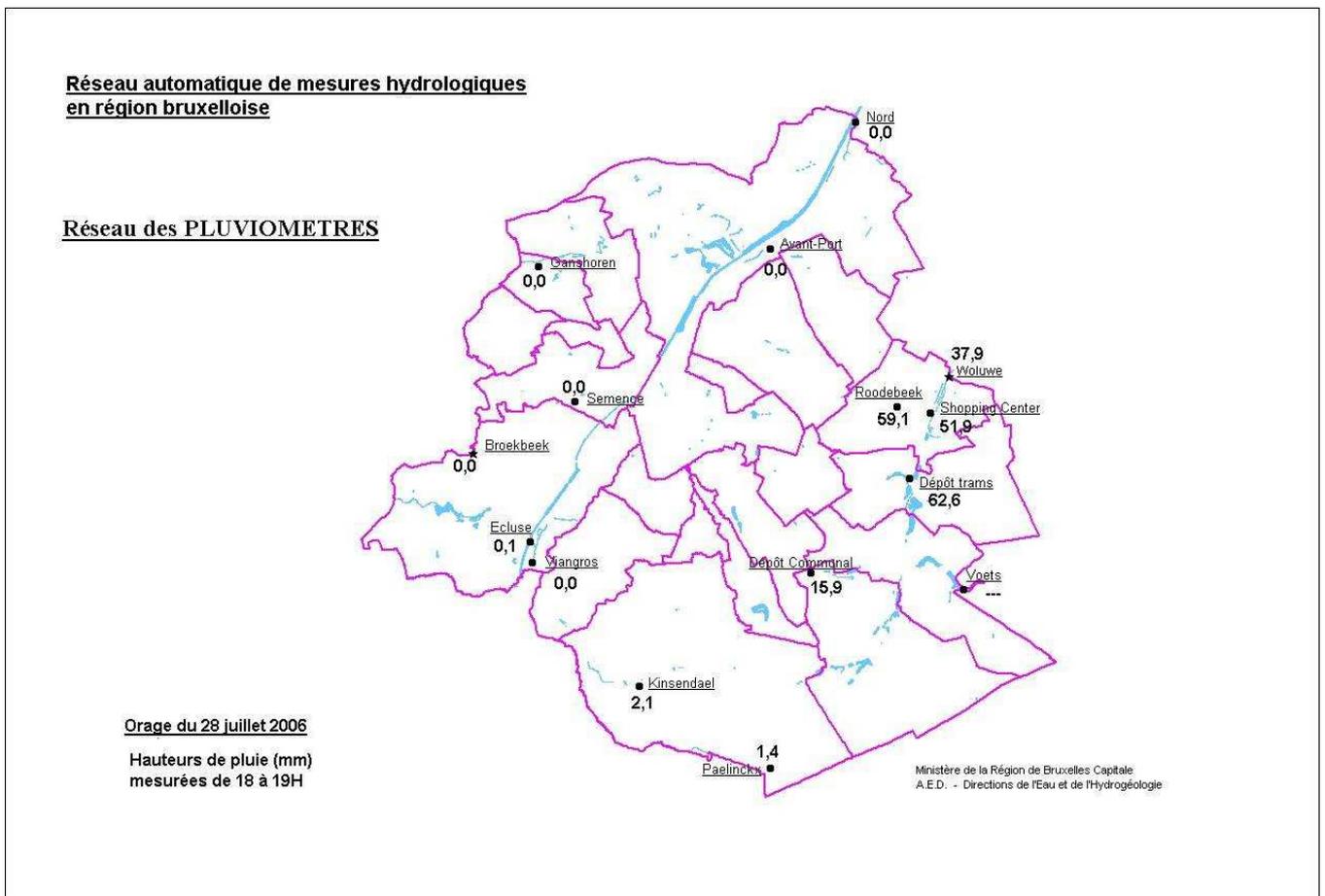


Figure 2.2.1.3. Quantités de précipitations relevées le 28 juillet 2006 entre 18h et 19h (temps civil) par le réseau pluviométrique de l'AED.

Mesures des précipitations à Bruxelles durant les orages du 28 juillet 2006

Le tableau 2.2.1.1 donne les quantités horaires de précipitations sur l'intervalle horaire se terminant à l'heure indiquée (temps civil). Les pluviomètres de l'AED sont localisés sur la carte précédente.

Tableau 2.2.1.1. Hauteurs de pluie mesurées par pas de temps horaire entre 17h et 21h (en mm).

Date	<i>Ganshor.</i>	Semence	Broekb.	Ecluse	Viangros	Kinsend.	Paelinckx
28/07/2006-18:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
28/07/2006-19:00	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	2,1	1,4
28/07/2006-20:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,3
28/07/2006-21:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total (mm)	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	2,6	1,7

Date	<i>Dépt trams</i>	Woluwe	Roodeb.	Avant Port	Nord	DéptCom.	Shopping
28/07/2006-18:00	4,2	0,0	1,3	0,0	0,0	2,5	0,3
28/07/2006-19:00	62,6	37,9	59,1	0,0	0,0	15,9	51,9
28/07/2006-20:00	0,3	4,7	0,4	0,0	0,0	0,0	1,2
28/07/2006-21:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total (mm)	67,1	42,6	60,8	0,0	0,0	18,4	53,4

Source AED

2^e cas : orages du 10 septembre 2005

Le 10 septembre 2005, des orages violents ont affecté en particulier la Région bruxelloise.

Les bulletins de prévisions météorologiques générales de l'IRM les annonçaient comme suit :

Prévisions IRM vendredi 09/09/2005 à 16.30h

Le temps pour aujourd'hui en bref.

Cette nuit, temps nuageux avec de la pluie, des **averses et des orages**. En Campine et en Ardenne, quelques averses intenses pourront se produire. Demain, temporairement sec mais ensuite à nouveau le développement d'averses pouvant devenir assez intenses, surtout l'après-midi et en soirée.

Situation atmosphérique générale.

Nous nous trouvons en ce moment dans un marais barométrique. De l'air chaud, humide et instable se déplace lentement sur la France en direction de notre pays. Des **averses orageuses** pourront se développer ce soir.

Prévisions pour ce soir, la nuit prochaine et demain samedi.

Ce soir et cette nuit, le temps restera généralement très nuageux avec parfois des pluies, **des averses ou des orages**. En Ardenne et en Campine principalement, ces averses pourront être **localement intenses**. Minima de 12 à 16°. Le vent restera faible et variable ou de secteur sud.

Demain, le ciel restera nuageux à très nuageux; en matinée, il fera généralement sec mais graduellement le temps deviendra variable avec à nouveau le risque de pluie ou d'averses. En fin d'après-midi surtout, ces averses pourront devenir intenses et accompagnées **d'orages et de grêle**. Il fera encore assez chaud avec des maxima de 21° en Hautes Fagnes, 24° à la mer et entre 25 et 26° sur les autres régions. Le vent sera faible, variable ou de sud à sud-ouest.

Evolution probable du dimanche au mercredi.

Dimanche et partiellement lundi, nébulosité abondante avec des averses et, surtout dans le sud du pays, le **risque d'orages**.

Prévisions IRM samedi 10/09/2005 à 16.30h

Le temps pour aujourd'hui en bref.

Un temps doux mais instable avec des **averses orageuses localement intenses**.

Situation atmosphérique générale.

Entre deux noyaux de basse pression centrées respectivement au sud-ouest de la Bretagne et sur le sud-est de l'Allemagne, des courants doux, humides et instables circulent sur nos régions.

Prévisions pour ce soir, la nuit prochaine et demain dimanche.

Ce soir et cette nuit, ciel variable ou très nuageux avec encore quelques **averses orageuses, localement intenses**. Dans le courant de la nuit, des brumes, brouillards ou nuages bas pourront se former par endroits. Une nuit douce avec des maxima de 12 à 14 degrés en Haute Belgique et de 15 à 17 degrés dans les autres régions.

Un vent faible, à la côte plus tard parfois modéré, de directions variables ou de secteur ouest.

Demain, le temps sera déjà un peu plus frais mais restera instable. Le matin, assez gris avec de la brume, du brouillard ou des nuages bas. Pendant la journée, un ciel variable et parfois très nuageux avec **quelques averses orageuses localement intenses**. En fin de journée, graduellement plus sec sur le nord-ouest du pays.

Maxima de 20 ou 21 degrés en Haute Belgique et à la côte, de 22 à 24 degrés dans les autres régions.

Un vent faible ou modéré et variable ou d'ouest à nord-ouest.

Analyse des conditions météorologiques du 10 septembre 2005.

L'analyse de la situation météorologique montre une dépression au sud de l'Irlande avec une extension vers nos régions. Via le flanc est de cette dépression, de l'air très humide et instable s'est déplacé vers nos régions. Le front froid associé à cette dépression atteint notre pays en cours de journée à partir de l'Ouest. A l'avant de ce front froid, on observe quelques lignes de convergence qui vont renforcer les averses orageuses en cours de journée.

En altitude et en particulier à 500 hPa (hecto-pascal), il faut mentionner la présence d'un creux sur le Golfe de Gascogne. Les profils verticaux du vent indiquent un faible courant dans l'atmosphère.

L'imagerie Radar est particulièrement « éloquente » (cf. figure 2.2.2.1) La RBC reçoit plusieurs « salves » dont la première à partir de 16 UT (18 h -19 h).

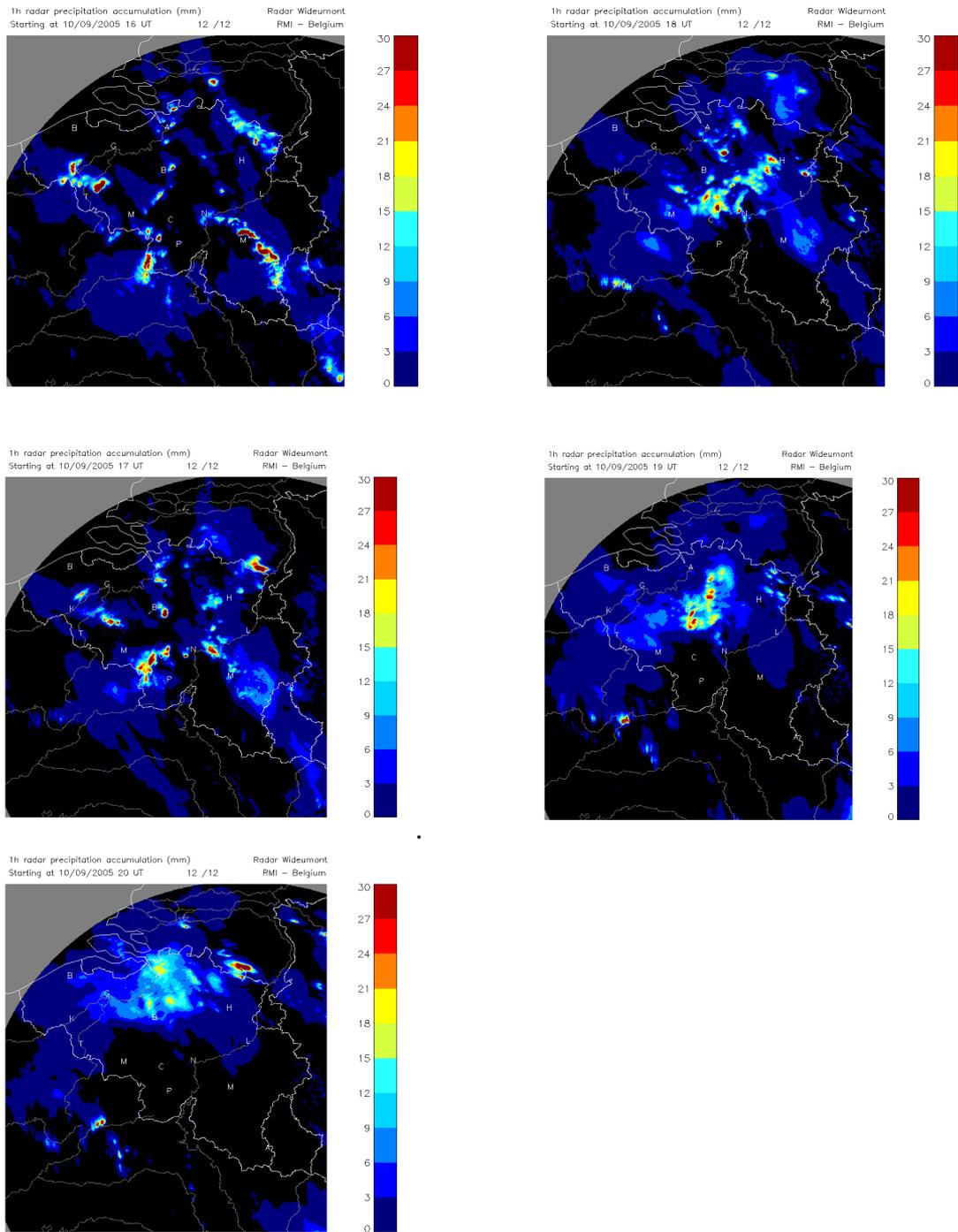


Figure 2.2.2.1. Images successives des cumuls horaires estimés par le radar et débutant à 16 UT (18h–19h, en haut à gauche), 17 UT (19h–20h, 2^e à gauche), 18 UT (20h–21h, en haut à droite), 19 UT (21h–22h, 2^e à droite) et 20 UT (22h–23h, en bas à gauche). Il y eut plusieurs épisodes orageux dans la Région bruxelloise en fin d'après-midi et en soirée (l'échelle de couleur donne les estimations horaires de précipitations en mm).

Dans cette masse d'air instable et qui se déstabilise davantage encore en journée, des orages se répandent sur tout le pays. Il s'agissait de complexes orageux ou de cellules plus isolées. Vu l'absence de courant significatif dans l'atmosphère, **les orages pouvaient rester parfois longtemps au même endroit**, ce qui a provoqué localement d'abondantes précipitations. De plus, l'air très humide a renforcé l'intensité des précipitations.

En de nombreux endroits, il y eut de ce fait des inondations, des dégâts dus au vent ou à la foudre. Sur la carte SAFIR (fig 2.2.2.2) on observe localement (dont à proximité de la RBC) plus de 20 impacts de foudre par km². Toutefois, dans la plupart des endroits, ce ne furent que 5 impacts par km², voire moins.

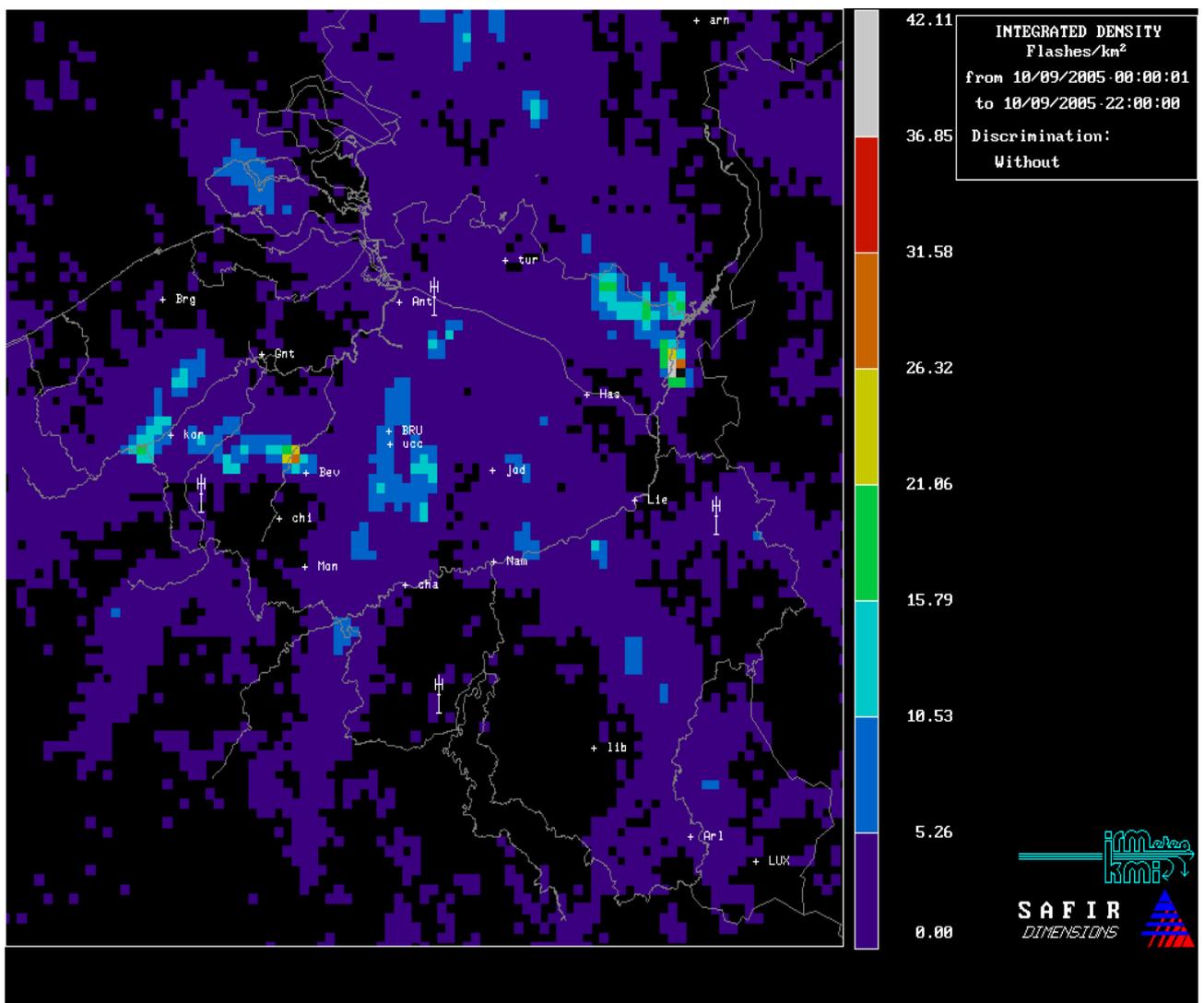


Figure 2.2.2.2. Densité électrique totale enregistrée le 10 septembre 2005 (nombre de décharges par km² au cours de la journée).

2.3 Nouvelles approches en cours

A. Le modèle Aladin

La présence à l'IRM d'une équipe de chercheurs versés dans le domaine de la prévision météorologique numérique et coordonnant leurs activités de recherche avec le consortium international « Aladin » (dans lequel se retrouvent plus de 15 pays et produisant entre autres la version Aladin Belgium, spécifique à une aire englobant le territoire belge) permet d'espérer dans un avenir proche la poursuite des progrès réels dans la modélisation des phénomènes à résolution spatiale de plus en plus fine. A titre d'illustration, l'annexe 4 donne un exemple de prévisions sous forme d'une carte.

En conséquence de ce type de recherche, et ce malgré les difficultés que cela implique tant sur le plan instrumental que sur le plan de la physique fondamentale des phénomènes, une plus grande précision dans la définition des zones menacées par des cellules orageuses 24 heures à l'avance devrait voir le jour.

Pour preuve, ci-dessous, l'image (figure 2.3.1) de 4 sorties de modèles « Aladin » différentes sur lesquels travaillent certains chercheurs de l'IRM. Les figures donnent les quantités de précipitations horaires entre 19h et 20h calculées le 10 septembre 2005 à 12h par les différentes versions du modèle de prévision.

La comparaison entre les prévisions du modèle **Aladin opérationnel (déjà depuis plusieurs années) de 7 km** de résolution et les **3 sorties expérimentales intégrant une physique plus avancée des simulations d'orages à la même résolution et à une meilleure résolution (4 km et 2 km)** montre que les cellules orageuses sont mieux représentées par les versions expérimentales, puisque les quantités de précipitation prévues sont plus réalistes.

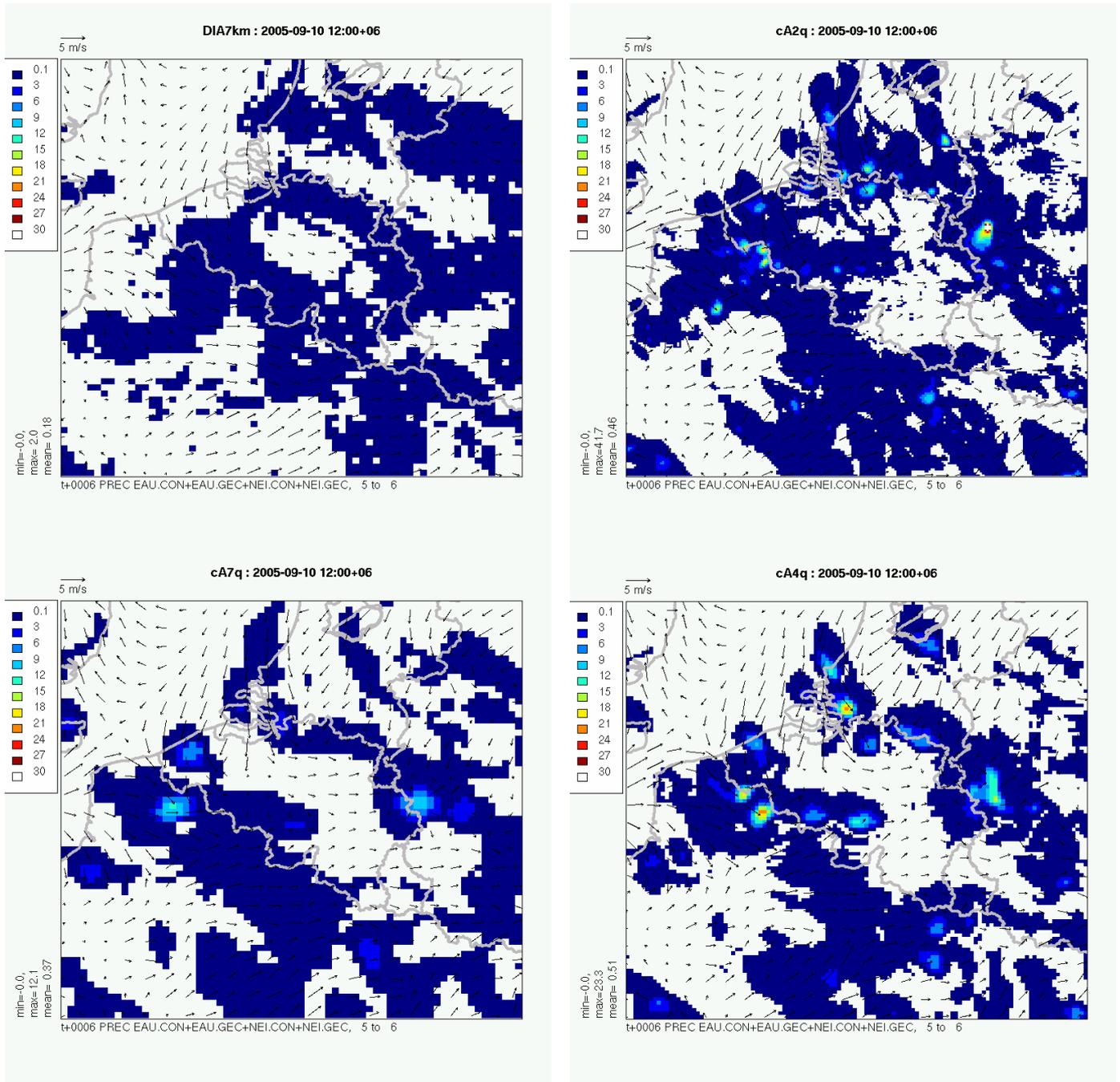


Figure 2.3.1. Les prévisions de quantités de précipitations (en mm, cf. échelle de couleur) entre 19h et 20h le 10 septembre 2005 issues de différentes versions du modèle de prévision Aladin : (a) en haut à gauche, le modèle opérationnel actuel (de type diagnostic) à 7 km de résolution horizontale ; (b) en bas à gauche, un modèle avec une meilleure représentation physique des orages, avec la même résolution ; (c) en bas à droite, idem avec une résolution de 4 km ; (d) en haut à droite, idem avec une résolution de 2 km.

B. Les prévisions d'ensemble

D'autres techniques de prévisions que les prévisions dites déterministes (illustrées ci-dessus dans le cas du modèle Aladin et utilisées selon les mêmes principes déterministes dans tous les modèles météorologiques utilisés quelles que soient les échelles de résolution) sont à l'étude et déjà mises en œuvre à l'IRM pour certaines applications.

Plus spécialement conçues à l'origine en vue d'applications à moyennes échéances (10 jours), leur développement pourrait cependant intéresser la RBC pour des échéances correspondantes aux phénomènes orageux (typiquement, 24 h à 30 h). Il s'agit des prévisions dites d'ensemble à l'échelle régionale.

Leur principe repose sur la combinaison des résultats de plusieurs modèles de prévisions régionales (du même type que le modèle ALADIN) alimentés au départ par des « conditions initiales » similaires. A l'issue des calculs, on peut attribuer une **probabilité correspondante au risque** dont on souhaite anticiper l'ampleur. En conséquence, l'alerte « risque d'orage » serait sans doute plus précise et plus susceptible de mobiliser à bon escient des services de prévention.

Le tableau ci-dessous donne les paramètres dont la probabilité est estimée par cette méthode, en fonction de l'heure de début des prévisions (0, 6, 12 ou 18 UT, temps universel). La première colonne indique les paramètres pour lesquels on donne les probabilités. Les deux autres colonnes indiquent les heures de début des prévisions et les intervalles de temps pour lesquels les probabilités sont données. Pour les paramètres indiqués par une croix dans la colonne centrale, les prévisions débutant à t=0h et t=12h UT donnent des probabilités qui correspondent à un intervalle de 24 heures six heures après le début des simulations (t+6 à t+30). Pour les paramètres indiqués par une croix dans la colonne de droite, les prévisions débutant à t=0h, t=6h, t=12h et t=18h UT donnent des probabilités qui correspondent à un intervalle de 12 heures six heures après le début des simulations (t+6 à t+18) et à un intervalle de 12 heures 18 heures après le début des simulations (t+18 à t+30).

Champs	t=0,12 UTC [t+6,t+30]	t=0,6,12,18 UTC [t+6,t+18], [t+18,t+30]
<i>RR = Précipitation (pluie)</i>		
Prob. RR > 20mm	X	
Prob. RR > 25mm		X
Prob. RR > 30mm	X	
Prob. RR > 40mm		X
Prob. RR > 50mm	X	
Prob. RR > 60mm	X	

Prob. RR > 70mm		X
Prob. RR > 80mm	X	
Prob. RR > 90mm	X	
Prob. RR > 100mm	X	
Moyenne d'ensemble RR	X	X
<i>FF = Vent moyen à 10 m</i>		
Prob FF > 10m/s	X	X
Prob FF > 15m/s	X	X
Prob FF > 20m/s	X	X
Prob FF > 25m/s	X	X
Moyenne d'ensemble FF	X	X
<i>Gust = rafales à 10 m</i>		
Prob GUST > 10 m/s	X	X
Prob GUST > 14 m/s	X	X
Prob GUST > 15 m/s	X	X
Prob GUST > 18 m/s	X	X
Prob GUST > 20 m/s	X	X
Prob GUST > 25 m/s	X	X
Prob GUST > 29 m/s	X	X
Prob GUST > 33 m/s	X	X

Signalons que pour les prévisions de 0h et 12h UT les probabilités sont calculées à partir d'une vingtaine de simulations différentes couvrant le territoire belge, alors que pour les prévisions de 6h et 18h UT les probabilités sont calculées à partir d'une dizaine de simulations différentes.

3. Conclusions et recommandations

Contribution possible de l'IRM au « Plan Pluies de la RBC »

Un service météorologique intégré spécifique destiné à la RBC nous semblerait une utile contribution pour tenter de répondre à la volonté exprimée des autorités de la Région de prendre des mesures significatives dans un plan pluies véritablement opérationnel. On pourrait envisager sa mise en œuvre de manière progressive rapidement sans trop de difficultés puisque certains éléments que nous décrivons ci-dessous existent déjà. En mettant sur pied un partenariat entre les différents services utilisateurs de la Région et les services opérationnels de l'IRM, le suivi de ce dossier permettrait sans aucun doute de réaliser des progrès dont la collectivité pourrait bénéficier et en mesurer les résultats.

A. Prévention

A court terme :

L'abonnement au bulletin météorologique général existant.

L'abonnement au bulletin d'avertissement spécifique à la zone RBC (cfr *alertes grands vents* déjà existantes vers l'IBGE).

(Si le bois de la Cambre est fermé à la circulation de temps en temps, c'est parfois en appliquant très judicieusement le principe de précaution !).

A moyen terme et selon les budgets disponibles :

a) L'accès privilégié à des images radar ou images radar + sms-safir pour la zone périphérique de RBC, images à définir plus précisément de commun accord.

Une formation sommaire mais très ciblée sur les besoins du personnel de la Région chargé de l'interprétation et de l'utilisation de ces produits et services.

b) Le développement d'un site intranet pour les services opérationnels existants de la RBC.

c) Intégration de tous les services RBC (ou d'une partie seulement) reliés à la météorologie fédérale.

(alertes vents, orages, dispersion de la pollution, routes ...)

d) Un contrôle de qualité des données issues des différents réseaux pluviométriques.

(Comparaison instrumentale, croisement avec les données radar ...)

B. Études scientifiques

Actuellement, les situations conduisant à des événements extrêmes tels que les orages sont fort heureusement relativement bien prévues par la météorologie à court terme, entre autres grâce au modèle Aladin, au système safir, aux radars...

Ces situations ne sont évidemment pas neuves. Notre histoire météorologique regorge de phénomènes orageux plus ou moins dommageables aux personnes et aux biens.

Bien qu'il ne soit pas possible d'affirmer aujourd'hui, qu'en moyenne, ils soient plus fréquents ou plus violents sur le territoire belge, ils sont en tout cas de mieux en mieux étudiés. Quoi qu'il en soit, leur étude météorologique et climatologique devrait être approfondie.

Sur le plan préventif, des progrès opérationnels viendront sans doute de l'étude plus approfondie des cas les plus récents dans lesquels la récolte des données d'observations a bénéficié des toutes dernières avancées technologiques. (Une thèse de doctorat d'un collaborateur de l'IRM vient d'ailleurs d'être défendue tout récemment à la VUB dans la faculté de polytechnique où des pistes très concrètes sont présentées pour améliorer la prévision des conditions favorables à la formation de tornades par temps orageux. Ce n'est pas sans raison que le logo de l'IRM est une évocation stylisée d'une tornade).

Le financement d'une étude sur la météorologie urbaine spécifique à la Région bruxelloise et à sa périphérie mériterait également d'être envisagé. L'étude des phénomènes à échelle microclimatique urbaine reste à faire ; elle pourrait révéler des surprises et amener, elle aussi, certains enseignements opérationnels. L'intuition souvent ressentie comme une évidence que les phénomènes orageux auraient augmenté, soit en intensité, soit en fréquence, ne résiste pas pour le moment à l'analyse des données historiques disponibles jusqu'en 2006, que ce soit en Région bruxelloise ou vraisemblablement sur l'ensemble du territoire national. La distinction entre le phénomène orageux lui-même et ses impacts dans un environnement qui a évolué est souvent oubliée.

Annexes techniques

Annexe 1. Quelques autres exemples de bulletins de prévisions relatifs aux orages

Prévisions IRM mardi 28/06/2005 à 16.30h

Le temps pour aujourd'hui en bref.

Ce soir et la nuit prochaine, temps très nuageux et de forts orages.

Situation atmosphérique générale.

La **dépression orageuse** située sur le Golfe de Gascogne et l'ouest de la France se rapprochera de notre pays. Elle est précédée de courants chauds et très instables.

Prévisions pour ce soir, la nuit prochaine et demain mercredi.

Ce soir et cette nuit, augmentation de la nébulosité avec ensuite par endroits de fortes **averses orageuses, parfois avec beaucoup de pluie, de la grêle et de forts coups de vent**. Minima de 14° à 19°. Vent modéré d'est à nord-est, ensuite vent faible de direction variable ou du sud.

Demain, nébulosité variable avec par endroits de fortes **averses orageuses** parfois accompagnées de grandes quantités de précipitations, de grêle et de fortes rafales de vent. Maxima autour de 20° à la côte et sur les hauteurs de l'Ardenne, et, de 23 à 25° ailleurs. Vent faible et variable puis modéré d'ouest plus tard dans la journée.

Prévisions IRM jeudi 28/07/2005 à 16.30h

Le temps pour aujourd'hui en bref.

Pendant la nuit, temps lourd avec **des averses et des orages**. Demain, persistance d'un temps variable et un peu moins chaud.

Situation atmosphérique générale.

Des courants très chauds, humides et très instables, circulant autour d'une dépression centrée sur le sud-ouest de l'Angleterre et sur le Pays de Galles, nous seront envoyés via la France.

Prévisions pour ce soir, la nuit prochaine et demain vendredi.

Ce soir et la première partie de nuit, des passages nuageux accompagnés d'averses et par endroits **des orages** qui traverseront le pays du sud au nord. Plus tard dans la nuit, une **autre zone orageuse** influencera surtout l'est du pays. Minima doux, compris entre 16 et 19°. Vent faible variable. Après une averse ou un orage, de la brume ou du brouillard pourront se former localement.

Demain, des passages nuageux et graduellement des éclaircies mais toujours quelques averses. Persistance **du risque d'orage**. A la mer, les éclaircies seront plus larges. Le temps deviendra plus sec dans le courant de la journée à partir de l'ouest. Maxima entre 20 et 22° à la mer et dans les Ardennes et entre 23 et 25° ailleurs. Vent faible à modéré dans l'intérieur, modéré à la mer, d'ouest-sud-ouest.

Evolution probable du samedi au mardi.

Samedi, le temps restera très variable avec une alternance d'éclaircies et de passages nuageux parfois accompagnés **d'averses éventuellement orageuses**.

Annexe 2. Le radar météorologique (extrait d'une publication technique de l'IRM)

La collaboration entre l'IRM et le MET/DGVH s'est largement développée depuis 2001 suite à l'installation par l'IRM d'un radar météorologique à Wideumont dans la province du Luxembourg. Le but de cette collaboration est d'améliorer la prévision des crues et des inondations grâce aux données radar de précipitations.

Le terme « radar » est l'acronyme de l'expression anglaise « Radio detection and ranging » (détection par ondes radio et mesure de distance). Le radar émet des ondes électromagnétiques qui se propagent dans l'atmosphère à la vitesse de la lumière. Lorsque celles-ci rencontrent un obstacle, elles sont en partie réfléchies et l'antenne radar capte un écho en retour.

Le radar a fait son apparition en aéronautique durant la seconde guerre mondiale. Sur les images radar apparaissaient des échos en provenance des particules de précipitations (pluie, neige ou grêle). En aéronautique, ces échos étaient considérés comme des parasites. Les météorologistes y virent au contraire une source précieuse d'information. C'est ainsi que le radar fit son apparition dans le monde de la météorologie. Depuis la seconde guerre mondiale, les systèmes radar se sont sophistiqués et les radars météorologiques occupent désormais une place essentielle dans le dispositif d'observation de l'atmosphère.

L'Institut royal météorologique de Belgique (IRM) dispose d'un radar météorologique installé à Wideumont (Libramont) dans la province du Luxembourg. Un second radar météorologique est installé à Zaventem et est exploité par le service météorologique de Belgocontrol qui transmet en temps réel les données de ce radar à l'IRM. Le radar de l'Avesnois, récemment installé par Météo-France près de Maubeuge en collaboration avec le MET/DGVH et l'IRM, couvre également une partie du territoire belge (cf. figure A.2.1). Au niveau Européen, un réseau d'environ 120 radars permet de couvrir la majeure partie du continent (cf. figure A.2.2).

Le radar permet de détecter les précipitations jusqu'à une distance maximale de l'ordre 240 km. Néanmoins, comme nous le verrons par la suite, la portée utile pour une estimation quantitative des précipitations est généralement beaucoup plus faible. Le produit de base fourni par le radar météorologique est une image des précipitations générée en temps réel toutes les 5 minutes. Ces images sont utilisées par l'IRM pour les prévisions météorologiques à très court terme. L'hydrologie constitue également un volet d'applications de plus en plus important. L'imagerie radar joue désormais un rôle clé dans le dispositif de prévision des crues et des inondations mis en place par le MET/DGVH. L'utilisation quantitative des données radar comme donnée d'entrée des modèles

de prévision hydrologique n'est toutefois pas encore largement répandu. Cette utilisation exige une bonne connaissance de la qualité des estimations de précipitations fournies par le radar. Ce rapport a précisément pour but de décrire la précision que l'on peut attendre des données radar de précipitations.

Nous commencerons par décrire le fonctionnement général du radar et le principe de mesure. Le radar permet de bien observer la distribution spatiale des précipitations sur un large domaine mais l'estimation du taux de précipitations n'est pas aussi précise que celle des mesures ponctuelles des stations pluviométriques au sol. Les différentes sources d'erreur qui affectent les données radar seront brièvement décrites et illustrées par de nombreux exemples observés par le radar de Wideumont. Les résultats de validation des données radar par comparaison avec les données sol seront ensuite présentés. Ces résultats concernent des comparaisons portant sur les cumuls de précipitations mensuels ainsi que sur les cumuls journaliers. Les enseignements que l'on peut tirer de ces résultats sont rassemblés dans les conclusions de ce rapport.

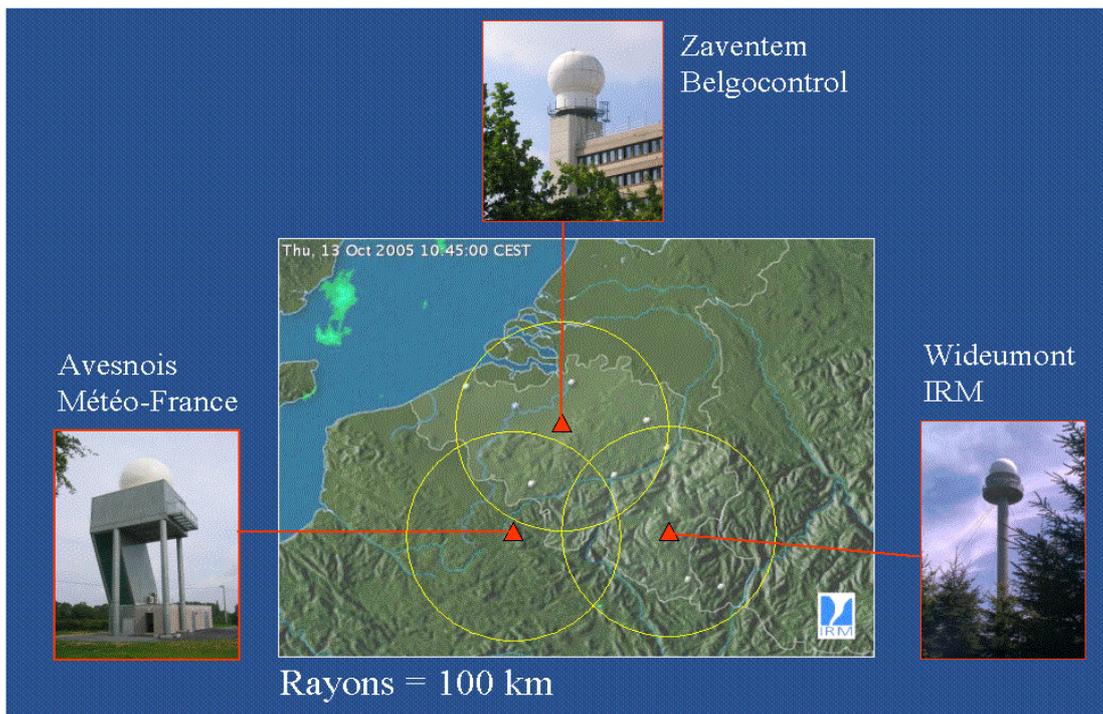


Figure A.2.1. Radars météorologiques de Wideumont, Zaventem et l'Avesnois. Les cercles indiquent les rayons à 100 km.

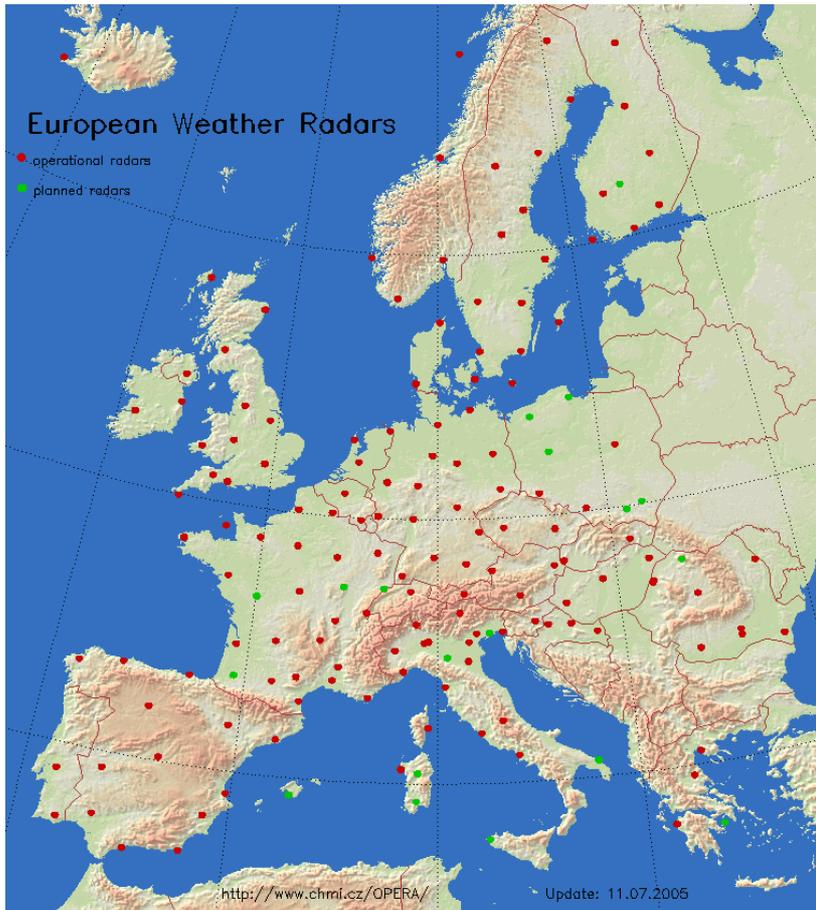


Figure A.2.2. Radars météorologiques en Europe.

Fonctionnement général du radar

Le système radar est constitué du système d'émission, de l'antenne et du système de réception. L'antenne balaye constamment l'horizon avec une vitesse de rotation de l'ordre de 3 tours par minute. Pendant sa rotation l'antenne émet des impulsions électromagnétiques qui se propagent dans l'atmosphère à la vitesse de la lumière. Lorsqu'une impulsion rencontre des précipitations, elle est diffusée dans toutes les directions et une partie du signal est rétrodiffusée vers l'antenne qui capte un écho en retour. Le temps qui s'écoule entre l'émission et la réception du signal est une mesure de la distance des précipitations. L'intensité du signal reçu donne une estimation de l'intensité des précipitations. Le radar permet de balayer l'atmosphère à différents angles d'élévation, ce qui permet de récolter des données à 3 dimensions.

La plupart des radars en Europe émettent à une fréquence dans la bande C, c'est-à-dire proche de 5 GHz. La fréquence du radar de Wideumont est de 5.640 GHz, ce qui correspond à une longueur d'onde de 5.3 cm. L'antenne de ce radar est une parabole de 4.2 m de diamètre qui est utilisée à la fois pour l'émission et la réception du signal. Le radar de Wideumont réalise toutes les 5 minutes un balayage standard comprenant 5 angles d'élévation compris entre 0.3 et 6 degrés. Lors de ce balayage, le radar émet 600 impulsions par seconde. Chaque impulsion dure 0.836 μ s, ce qui correspond à une longueur dans l'espace de 250 m.

L'angle d'ouverture de l'antenne est de 1 degré, ce qui signifie que la majeure partie de l'énergie émise est concentrée dans un faisceau conique très étroit de 1 degré de largeur. Ce faisceau appelé lobe principal est entouré de lobes secondaires dans lesquels une faible quantité d'énergie est également émise. La présence de lobes secondaires est à l'origine de la contamination des données radar par certains échos renvoyés par le sol. L'angle d'ouverture détermine la résolution verticale ainsi que la résolution en azimut des mesures radar. Ces résolutions dépendent de la distance au radar (cf. figure A.2.3). A une distance de 50 km, la largeur du lobe principal est de 0.9 km. A 200 km, cette largeur atteint 3.5 km. La largeur L du faisceau est reliée à la distance d exprimée en km par l'expression suivante: $L = d \operatorname{tg}(1^\circ) = 0.017 d$. La résolution en distance est déterminée par la vitesse d'échantillonnage au niveau du système de réception. Elle ne dépend pas de la distance. Pour le balayage standard du radar de Wideumont, la résolution en distance est de 250 m. Les résolutions spatiales verticale, en azimut et en distance déterminent le volume d'échantillonnage du radar. Ce volume s'accroît avec la distance au radar. A une distance de 100 km, ce volume est approximativement un cylindre de 1.8 km de diamètre et de 250 m de hauteur.

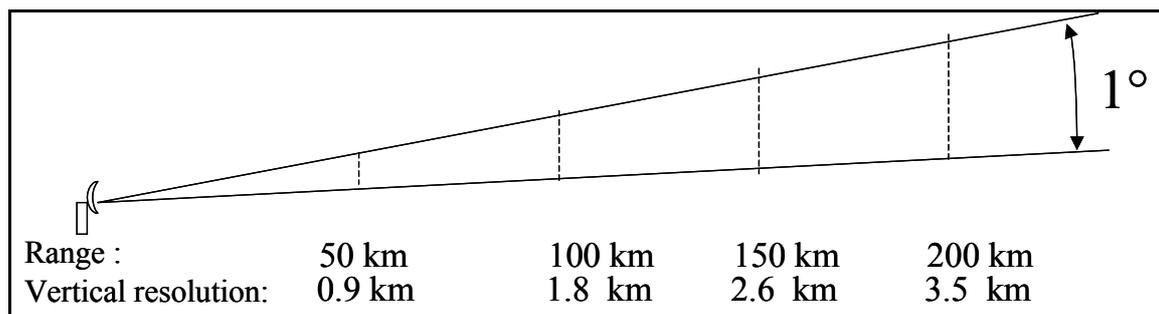


Figure A.2.3. Résolution verticale en fonction de la distance.

Le radar est le seul système d'observation météorologique permettant d'observer en temps réel la structure spatiale du champ de précipitations. L'estimation quantitative du taux de précipitations est cependant affectée par différentes sources d'erreur. Certaines erreurs affectent les mesures de réflectivité et d'autres, les estimations de précipitations dérivées de ces mesures de réflectivité. Enfin, lorsque les données radar sont utilisées pour calculer le cumul

de précipitations sur une certaine durée, certaines erreurs peuvent apparaître en raison de l'échantillonnage temporel limité du radar.

Altitude des mesures

En raison de la courbure de la Terre, l'altitude des mesures augmente avec la distance. Il en résulte que plus la distance est grande, moins les mesures de réflectivité sont représentatives des conditions en surface. Or, c'est le taux de précipitations en surface qui importe pour la plupart des applications. La figure 8 montre la trajectoire du faisceau le plus bas du radar de Wideumont en tenant compte de l'angle d'ouverture de 1 degré.

A une distance de 200 km, la base du faisceau est à une altitude de 2.25 km. Par conséquent, les précipitations générées en-dessous de cette altitude ne pourront pas être détectées par le radar. Cet effet, dit d'overshooting, limite considérablement la portée du radar lorsqu'on est en présence de précipitations stratiformes peu intenses qui sont générées à basse altitude. En revanche, des orages de forte extension verticale pourront être détectés sans peine jusqu'à la portée maximale de 240 km.

Le radar permet d'observer en temps réel les précipitations sur un large domaine avec une très bonne résolution spatiale et temporelle. Les mesures radar sont cependant moins précises que les mesures de précipitations des pluviomètres.

Annexe 3. Le système Safir d'observation de l'activité électrique dans l'atmosphère

Safir est l'acronyme de « Station d'Alerte Foudre par Interférométrie Radioélectrique ». Quatre antennes de détection sont installées dans le pays et la détection des décharges électriques dans l'atmosphère s'effectue par mesures interférométriques entre les antennes. Les données des antennes sont collectées et traitées à l'IRM. L'activité électrique détectée concerne les décharges entre nuages, les décharges intra-nuages et les coups de foudre.

Le système a été installé au cours de l'hiver 1993 en Belgique ; il a subi quelques modifications depuis lors et permet de suivre en temps réel le développement des cellules d'orage.

Alerte orage - Safir

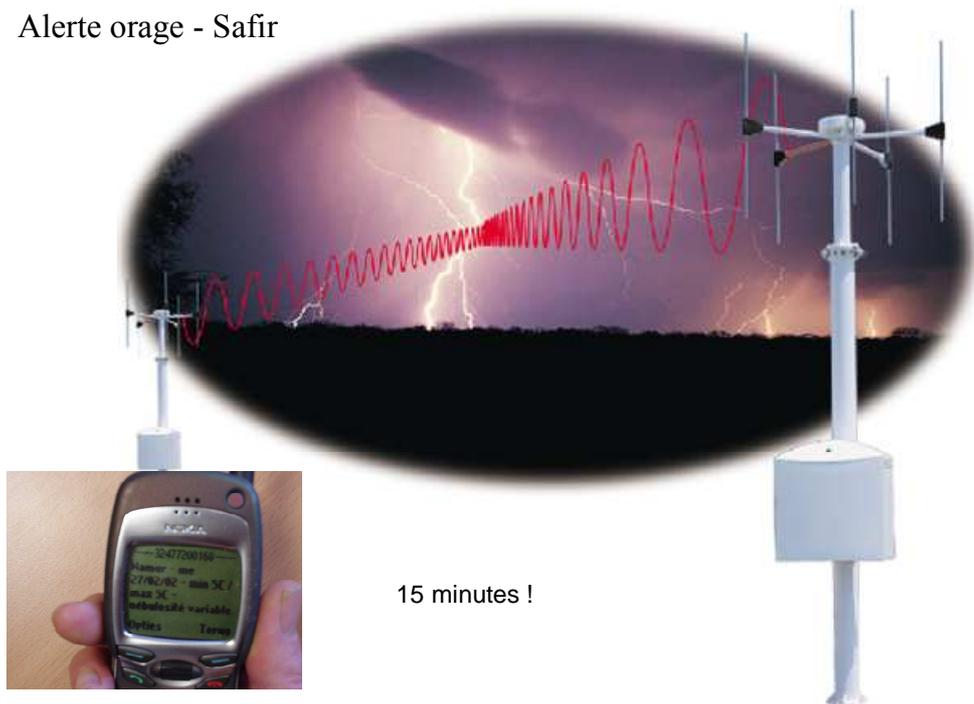


Figure A.3.1. Le système Safir permet une alerte à court terme, complémentaire des avertissements et du suivi des précipitations sur écran radar.

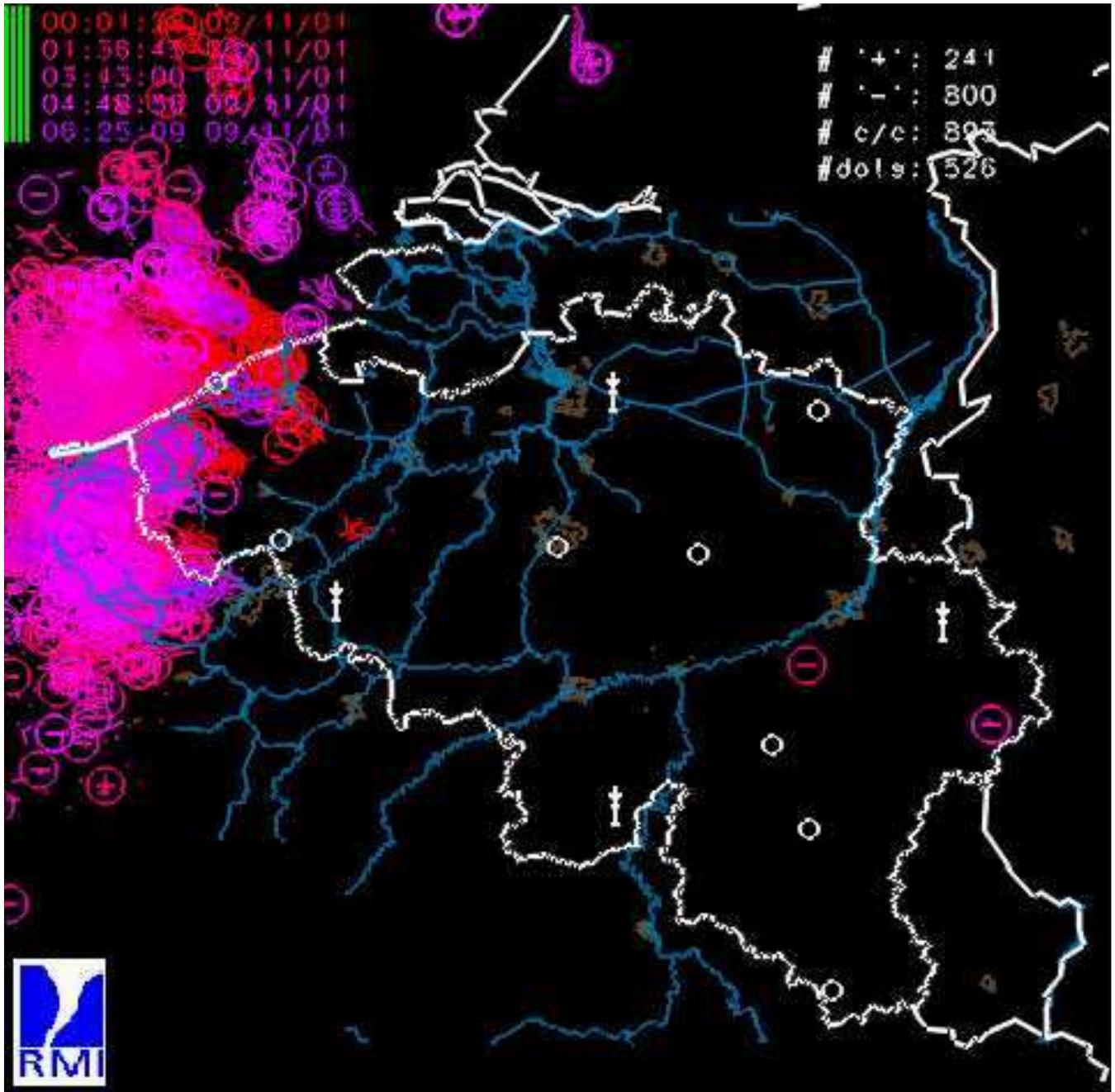


Figure A.3.2. Visualisation des cellules orageuses le 09 novembre 2001 entre 0h et 6h30 UT sur l'ouest du pays grâce au système Safir. Une graduation de couleurs permet de connaître l'évolution des cellules orageuses dans l'intervalle temporel concerné.

Annexe 4. Le modèle de prévisions régionales Aladin

Aladin est l'acronyme de « Aire Limitée, Adaptation dynamique, Développement InterNational ». C'est à la fois un projet de recherche regroupant plusieurs centres météorologiques nationaux européens et un modèle dont certaines versions sont utilisées opérationnellement par les centres météorologiques pour effectuer des prévisions à l'échelle régionale. En Belgique, certaines applications dérivées ont par exemple conduit à la mise au point d'une procédure d'alerte aux conditions défavorables à la dispersion des polluants en hiver.

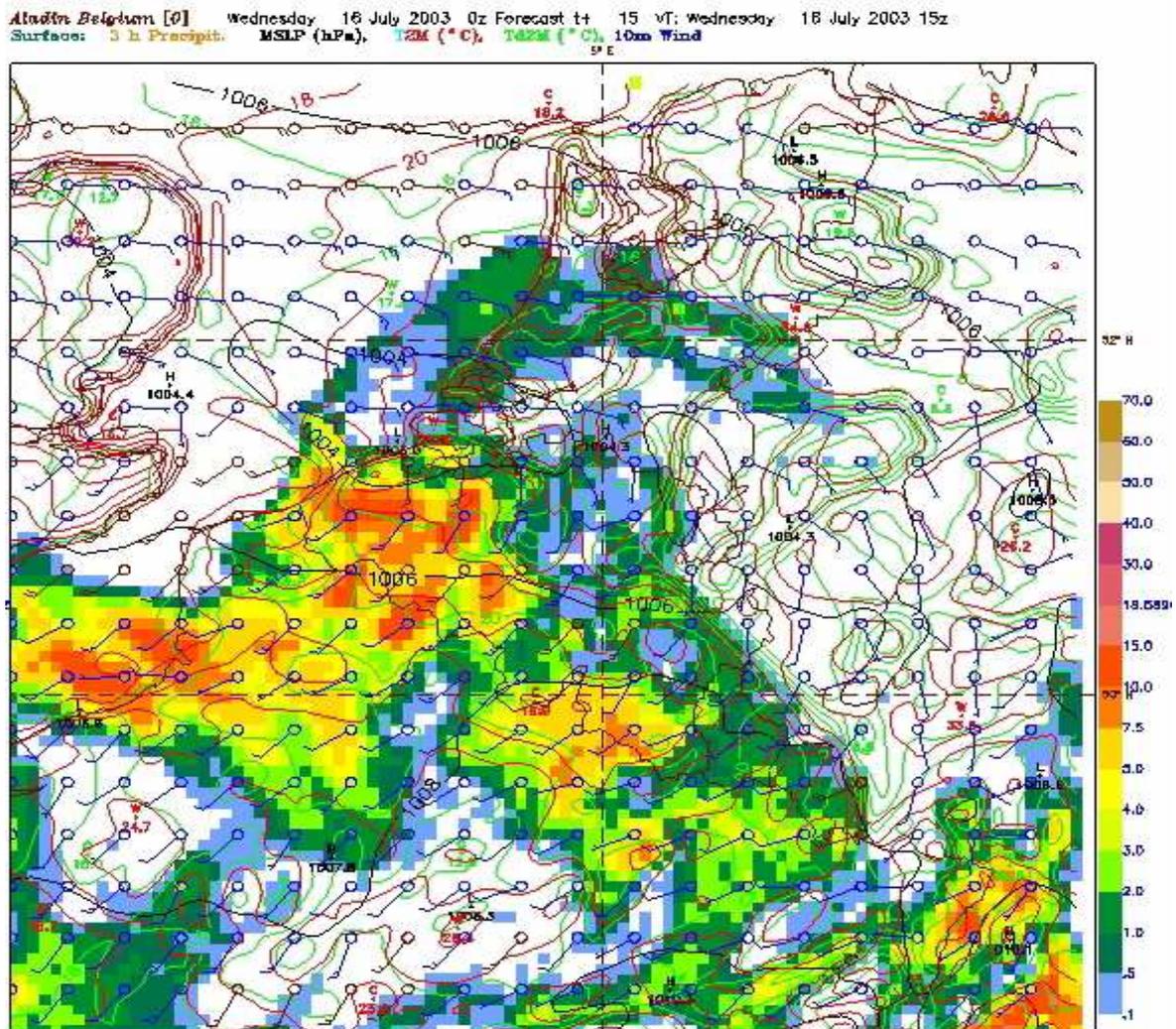
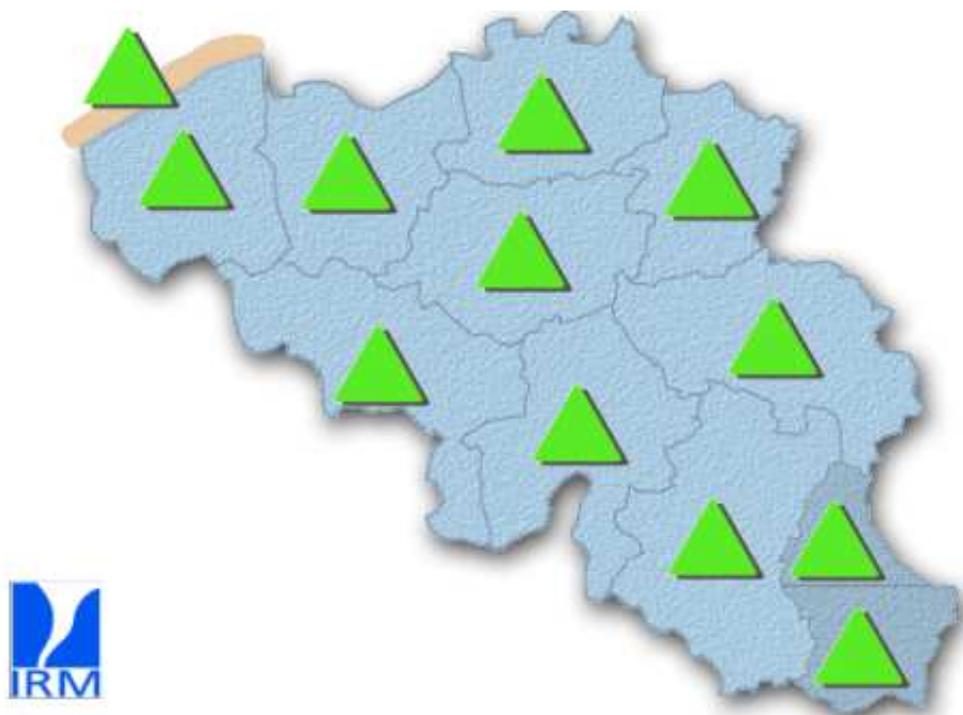


Figure A.4.1. Exemple d'une sortie de modèle Aladin à échéance de 15h pour le 16 juillet 2003. Le domaine représenté comprend la Belgique (au centre), le Grand-Duché de Luxembourg, le sud-est de l'Angleterre et des parties du Nord de la France, du sud des Pays-Bas et de l'ouest de l'Allemagne. La carte présente les prévisions au niveau de la surface de la pression, de la température, de l'humidité, des précipitations (cumulées sur 3 heures) et de la vitesse du vent.

Annexe 5. Avertissements pour les orages (au niveau des provinces)

Avertissements Orages



Légende de la carte pour les orages	
	= On ne prévoit pas d'orage.
	= Risque d'orage localement.
	= Des orages violents et bien structurés, de fortes averses, des averses de grêle et/ou des violentes rafales de vent.
	= L'atmosphère est très instable, des phénomènes orageux intenses peuvent se manifester.

Figure A.5.1. Page Web du site de l'IRM : avertissements pour les orages.