



Rapport Annuel IRM 2011

Institut Royal Météorologique de Belgique

Imprimé sur du papier 100% recyclé, en utilisant de l'énergie verte et des encres végétales.





IRM
Institut Royal Météorologique
Avenue Circulaire 3
B - 1180 Bruxelles
Tél. +32 2 373 06 11
Fax +32 2 375 12 59
www.meteo.be
Editeur responsable : Dr. D. Gellens ISSN / 1377 - 2406
Coordinateurs : Heidi Langenus et Alex Dewalque
Conception et réalisation graphique : TISTE.be

sommaire

- 1 avant-propos  page 6
- 2 faits marquants  page 10
- 3 l'IRM au service des défis  page 18
- 4 la météo en 2011  page 24
- 5 les nouveaux produits de l'IRM  page 30
- 6 la recherche à l'IRM  page 42
- 7 IRM et international  page 70
- 8 la vie de l'institut  page 76
- 9 la structure de l'IRM  page 82
- 10 les publications et conférences
de nos scientifiques  page 84
- 11 liste des acronymes et abbréviations  page 102



avant-propos

Chers lecteurs,

C'est avec plaisir que je rédige l'introduction de ce document qui est destiné à vous faire découvrir les événements et les nombreuses réalisations qui ont marqué nos activités en 2011, une année de transition et de questionnement.

Transition car nous avons dit au revoir au Dr Henri Malcorps qui est parti à la retraite après avoir été directeur, puis directeur général de l'IRM pendant près de 25 ans. Sous sa gouverne, l'IRM a évolué et traversé de nombreuses réformes tout en maintenant un cap bien déterminé, celui de répondre à sa mission de service météorologique national, avec ses obligations de qualité et d'innovation vis-à-vis du public et des autorités.

Transition plus personnelle également vu que le mandat de directeur ad interim, qui m'a été confié par la Ministre Madame Laruelle, est essentiellement un mandat destiné à assurer la continuité et le bon fonctionnement de l'IRM en attente d'une désignation en bonne et due forme d'un nouveau directeur général, sélectionné sur la base de son projet et de sa vision pour l'institution. Néanmoins, l'attente de la formation d'un nouveau gouvernement a transformé cette gestion des affaires courantes en une situation destinée à durer et qui nécessitait que tout le personnel dirigeant de l'IRM collabore pour entretenir la vision commune du service délivré au public. Il fallait aussi impérativement que nous continuions à développer des projets d'avenir pour améliorer nos services et notre fonctionnement.

Questionnement ensuite sur notre structure de fonctionnement. L'année 2011 a été en effet une année où l'administration de tutelle de l'IRM et des autres Etablissements Scientifiques Fédéraux, à savoir Belspo, a étudié comment optimiser les ressources humaines disponibles en rassemblant les institutions en pôles. Pôles dont les premières bases concrètes étaient déjà en place mais qui étaient restées en gestation. La réflexion sur la construction du pôle Espace en tant que nouvelle entité englobant les trois institutions du plateau d'Uccle (l'Observatoire Royal de Belgique, l'IRM et l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique) nous a été imposée et a fait son cheminement durant toute l'année 2011. A ce jour, elle a abouti à un concept défendable vis-à-vis du personnel et du public, qui est porteur d'une vision pour le futur.

Ce rapport annuel est donc une opportunité pour vous présenter les faits saillants de nos activités de 2011. En adoptant de ne présenter qu'un nombre restreint de réalisations ou d'événements, nous poursuivons la démarche entamée lors de la rédaction du rapport 2010 et qui, comme l'a montré le sondage auquel vous avez bien voulu répondre, a retenu votre approbation.

Vous trouverez donc successivement les différents événements qui ont émaillé l'année 2011. D'abord, les moments météorologiques forts qu'ont été l'orage qui s'est abattu sur le site du festival Pukkelpop et l'accident nucléaire de Fukushima. Ensuite, le couronnement de la carrière scientifique du Prof. C. Rouvas-Nicolis par l'obtention de la médaille Richardson.

L'IRM contribue à l'amélioration des prévisions à court terme en participant au développement d'INCA, un logiciel partagé par différentes institutions météorologiques nationales et développé initialement par le ZAMG, notre pendant autrichien. En validation depuis l'été 2011, ce logiciel est utilisé par les prévisionnistes et apporte un pont essentiel entre les observations et les prévisions fournies par les modèles numériques du temps. Ce projet montre combien la coopération internationale joue un rôle essentiel dans la recherche et le développement de tout nouvel outil en météorologie.

Les nombreux événements orageux de l'année ont en particulier démontré l'importance des prévisions

avant-propos

météorologiques et des avertissements en matière de sécurité mais aussi le rôle essentiel de la communication de ces informations pour parvenir à toucher le public là où il est, et au moment où il peut être en danger.

La campagne de vérification des mesures de détection des éclairs vous sera présentée ainsi que le premier voyage international entre la Suisse et Bruxelles de l'avion solaire 'Solar Impulse', auquel l'IRM apporte son expertise en matière de guidance météo.

Comme chaque année, vous pourrez prendre connaissance de la synthèse du climat de l'année et des nouveaux produits que nous mettons à votre disposition. Produits et services dans le domaine de la prévision mais aussi des observations. A ce niveau, je tiens à attirer votre attention sur l'installation d'un premier LIDAR à Uccle, appareil destiné à mesurer la hauteur des nuages, et qui peut fournir des informations sur la structure de la basse atmosphère et des indications sur les particules de poussières. Cet instrument pourra nous être utile si une éruption similaire à celle de l'Eyjafjallajökull de 2010 venait à se reproduire. Moins connu du grand public dans la palette de nos activités, le Centre de Physique du Globe de l'IRM situé à Dourbes, continue de développer des instruments d'observation du champ magnétique et équipe des observatoires géomagnétiques dans le monde entier.

La recherche est une des activités de base des Etablissements Scientifiques Fédéraux. Ce rapport nous permet de vous présenter, pour chaque département, une synthèse des activités pour lesquelles la recherche a particulièrement progressé au cours de l'année, et montre l'engagement de tous nos collaborateurs. A la fin du rapport, vous trouverez la structure de notre institution et de ses organes de contrôle ainsi que la liste des publications réalisées au cours de l'année 2011. Cette dernière atteste de notre engagement continu dans la recherche scientifique au service de la population, aussi bien dans le domaine de la météorologie que du magnétisme.

Bonne lecture à tous !



Dr. Daniel Gellens, Directeur Général a.i. de l'IRM



faits marquants

Violents orages sur le Pukkelpop

Le 18 août 2011, notre pays a connu une chaude journée d'été, au cours de laquelle tous les ingrédients pour la formation potentielle d'un orage de convection et explosif étaient présents. Ces ingrédients sont : l'humidité de l'air, une forte diminution de la température en altitude et une modification du vent en altitude. L'IRM avait identifié le danger, et avertissait déjà le 17 août de la formation potentielle de dangereux orages le 18 août dans les provinces du Limbourg et de Liège.

Il n'est pratiquement pas possible de prévoir l'heure et l'emplacement du début proprement dit des orages. Pour ce faire, les prévisionnistes doivent attendre les premières observations de ces orages. Aux alentours de 15 heures, les premières cellules orageuses sont arrivées dans notre pays depuis la France. Elles étaient visibles sur les images satellite et radar de l'IRM. La croissance explosive de ces averses orageuses était étonnante. En très peu de temps, les nuages orageux ont atteint des hauteurs de 14 à 15 km. Ces nuages ont produit de nombreux éclairs et les précipitations ont également été très intenses avec une très grande quantité d'eau dans et autour de Bruxelles aux alentours de 17 heures. Ensuite, ces averses se sont dirigées vers les provinces orientales avec des vents en altitude du Sud Ouest.

L'IRM avait très bien vu arriver cet épisode dangereux. La zone orageuse avait en effet très bien été prévue et avait fait l'objet d'un avertissement de niveau « jaune » envoyé le jour précédent aux alentours de 16 heures (plus de 24 heures avant les faits). Voici cet avertissement : « Principalement demain après-midi, des averses orageuses très violentes avec un risque de grêle et de rafales ». Le 18 août à 14 heures 25 (quelques heures avant les faits), le niveau d'alarme a été élevé à orange sur toutes les provinces, à l'exception de la Flandre occidentale.

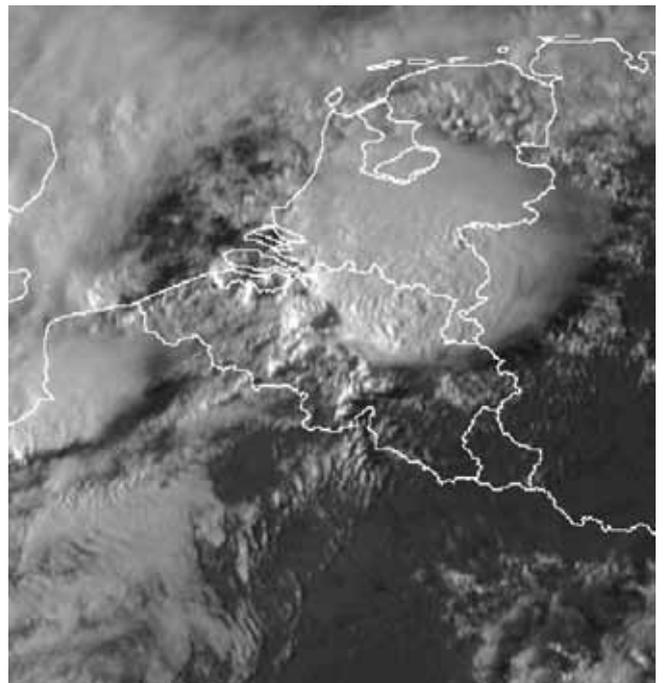


Figure 1 : L'image satellite ci-dessus de 17 heures 45 (heure locale) indique clairement le complexe avec une activité de convection sur l'est du pays et qui est clairement visible sur le Limbourg.

Le communiqué insistait sur le caractère violent des orages, principalement dans l'est du pays : « Au cours des prochaines heures, ce soir et cette nuit, il y aura encore des averses violentes et des averses orageuses dans le pays, qui pourront donner lieu à des inondations et pourront être associées à de la grêle et également à de violentes rafales, principalement dans l'est du pays. »

La meilleure méthode pour suivre les orages dangereux consiste à analyser les images radar. L'illustration ci-dessous présente une image radar traitée de l'une des averses orageuses les plus actives de cet après-midi. Nous y voyons un groupe d'orages aux alentours de 18 heures 20, comprenant plusieurs cellules de précipitations. Un groupe d'orages est organisé de telle manière que nous pouvons clairement reconnaître une structure en arc (bow-echo) avec une

forme de crochet dans le coin supérieur gauche. La ligne rouge indique le trajet de ce crochet. Nous voyons qu'il se dirigeait tout près de la plaine du festival de Kiewit ("K"), où avait lieu ce jour là le festival Pukkelpop. Plus tôt au cours de cette journée, l'orage avait frappé Binkom, à quelques kilomètres à l'est de Louvain, et le vent y causa également des dommages considérables. Les rafales les plus violentes dans ce type d'orage se produisent à l'avant de « l'arc » et tout près du crochet. À proximité de ce crochet, nous avons enregistré des bourrasques allant jusqu'à 83 km/h, mais il ne fait aucun doute que des rafales beaucoup plus violentes ont été observées localement.

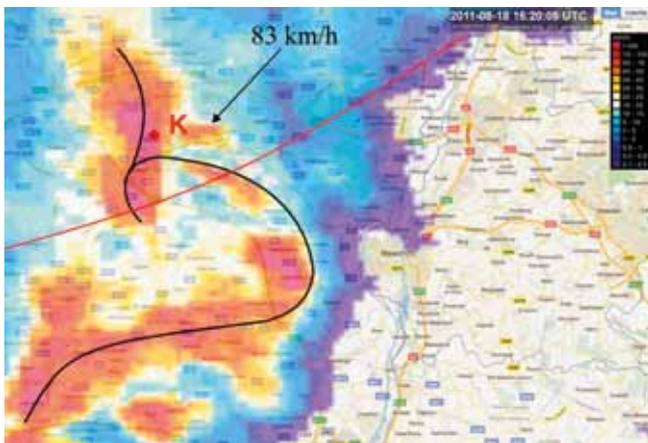


Figure 2 : Image radar travaillée de 18:20, heure locale, juste avant que la violente tempête n'éclate sur le Pukkelpop. Plus la couleur est rouge, plus les précipitations sont violentes. Cette image radar montre que les orages étaient organisés en forme d'arc.

Le suivi en « temps réel » des orages est un grand défi et requiert des moyens techniques adaptés. L'impact important de la tempête du Pukkelpop est une motivation pour l'IRM de poursuivre ses efforts dans ce domaine.

Afin d'évaluer et éventuellement d'améliorer son estimation des orages dangereux, l'IRM estime qu'il est important de découvrir, dans le cas de dommages causés par des orages, quel type d'orage a causé ces dommages. C'est principalement dans le cas de dommages causés par le vent que plusieurs types de vents peuvent être en cause. Les sources de dégâts peuvent être des rafales classiques d'une averse orageuse ordinaire, mais également des types spéciaux d'orages et même des tornades. C'est ainsi qu'une enquête sur les dégâts a été réalisée sur place après la catastrophe du Pukkelpop, aussi bien sur le terrain de camping et les prairies du festival que dans le voisinage immédiat de Kiewit. Plusieurs arbres et mâts à proximité

et sur le terrain du festival ont été déracinés ou cassés, mais cela s'est avéré dans moins de 1 % du nombre total d'arbres. Cela démontre déjà qu'il s'agissait d'un violent orage, mais pas très extrême d'un point de vue météorologique. Par exemple, dans le cas de l'orage survenu un an plus tôt, le 14 juillet 2010 à Ciney, les dégâts matériels étaient beaucoup plus importants. En ce qui concerne le Pukkelpop, le prix humain était toutefois très lourd, attribué au fait que cet orage a sévi dans le pire endroit possible et au plus mauvais moment. Principalement la plaine du Pukkelpop où les festivaliers étaient entièrement remis aux éléments naturels. « L'impact » était donc très lourd ici et pratiquement inconnu, même si l'orage n'a pas été exceptionnellement violent, d'un point de vue météorologique.



Figure 3 : Photo prise le 20 août après la traversée de la violente tempête sur l'un des campings du Pukkelpop. Les ravages sont énormes (photo : Karim Hamid).

Accident à la centrale nucléaire de Fukushima au Japon

Un très violent tremblement de terre de magnitude 8.9 s'est produit au large des côtes nord-est du Japon le vendredi 11 mars 2011, vers 15 heures locales. C'est le plus important séisme jamais enregistré au Japon. Le séisme a provoqué un tsunami qui a déferlé sur la côte de Sendai. La vague a atteint une hauteur estimée à plus de 30 m par endroits et a parcouru jusqu'à 10 km à l'intérieur des terres. De nombreuses villes portuaires furent détruites et la centrale nucléaire de Fukushima fortement touchée : l'accident a impliqué tous les réacteurs de la centrale.

Dès l'annonce de cet accident exceptionnel, l'IRM a collaboré avec le Ministère des Affaires intérieures et son Centre de crise, composé de représentants du Ministère des Affaires intérieures, du Ministère des affaires étrangères, de l'Agence fédérale de contrôle nucléaire et de l'Agence fédérale pour la chaîne alimentaire. Le briefing quotidien avec le Centre de crise consistait en une description de la situation atmosphérique et des conditions météorologiques prévues pour les prochains jours au Japon, avec l'impact sur la direction du vent et les précipitations, ainsi que les risques de dispersion des émissions radioactives. Ceci sur base de cartes et de diagrammes.

Au niveau international, l'IRM a été en contact permanent avec les services de "l'Environmental Emergency Response" d'Exeter en Grande-Bretagne et de Toulouse en France.

D'un point de vue global, des masses d'air contaminées par les rejets des centrales nucléaires endommagées suite au tremblement de terre et au tsunami, pouvaient atteindre l'Europe et la Belgique dans les jours suivant l'accident. Toutefois, le mélange des masses d'air durant leur trajet depuis le Japon a conduit à la dilution de la radioactivité qu'elles transportaient. La radioactivité en Europe est restée très faible, et mesurable uniquement après son extraction à partir de grands volumes d'air. Les résidus de radioactivité n'ont pas eu d'effets significatifs sur la contamination des sols et des denrées alimentaires, ni sur la santé des belges. Est-ce bien à nous d'affirmer ça??

Parallèlement et depuis l'accident, nos prévisionnistes ont suivi en permanence les modèles de dispersion des masses d'air et ont rédigé quotidiennement un texte relatif à la situation météorologique au Japon, diffusé sur le site web de l'IRM.

Pour toute information sur la situation au Japon autre que météorologique, il y avait lieu de consulter les instances responsables émettant des avis sur base de toutes les informations

disponibles (l'Agence fédérale du Contrôle Nucléaire, le Ministère des Affaires étrangères).

A partir du 2 mai, vu l'évolution positive de la situation à Fukushima (même si la maîtrise de la centrale restait encore insuffisante) et la réduction importante des rejets radioactifs, l'IRM a suspendu la diffusion des bulletins météorologiques journaliers pour la région.

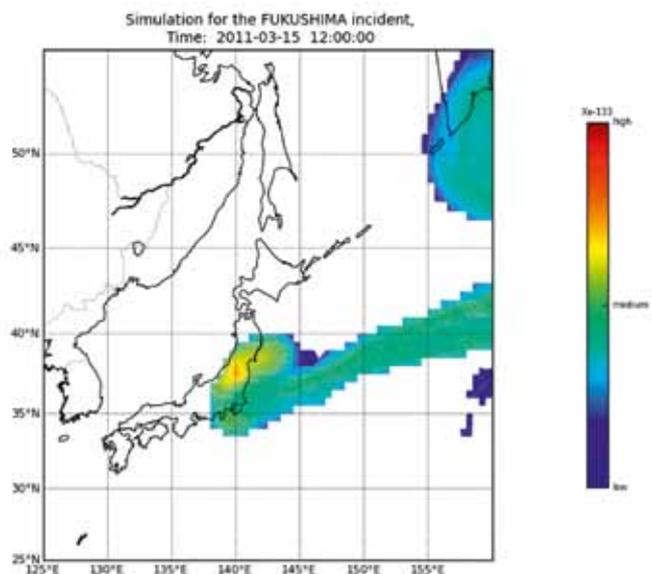


Figure 4 : Modélisation de la plume de dispersion de l'air contenant, dans cette simulation de dispersion, du Xénon 133, un isotope radioactif. Ces données sont calculées à partir des analyses du centre européen ECMWF. La plume s'étend principalement vers le Nord-est sur l'Océan Pacifique, mais elle s'est aussi répandue sur la partie centrale du Japon.

Lien vers les universités et une version du modèle pour les universités

Concernant nos liens avec les universités, nous avons consolidé la formation universitaire de troisième cycle sur la modélisation du temps et du climat au sein de l'université de Gand. Ce programme a été créé en 2007. La plupart des enseignants sont des experts de l'IRM ainsi que deux experts internationaux d'ALADIN et du consortium HIRLAM : J.-F. Geleyn et N. Gustafsson. À l'heure actuelle, un nombre important d'experts au sein de l'IRM ont été formés dans le cadre de ce programme [D. Degrauwe, R. de Troch, A. Duerinckx, J. Van den Bergh, H. Van de Vijver, R. Van Malderen, V. De Bock, I. De Coster, S. Nevens, E. Baudrez, A. Delcloo]. Une version académique du modèle ALADIN NWP, que l'on appelle le paquet CHAPEAU développé par l'IRM en collaboration avec le KNMI, est maintenant appliquée dans le contexte de ce cours. Ce paquet est basé sur le code de modèle du modèle ALADIN et peut être utilisé dans une configuration de version plus légère avec certains cas spécifiques fournis au préalable, et peut être utilisé sur un ordinateur portable à des fins d'enseignement. Il a d'abord été utilisé au sein de l'université par les étudiants du cours Techniques numériques afin de tester la théorie à propos de la stabilité numérique dans un modèle opérationnel de pointe utilisé par l'IRM pour ses prévisions opérationnelles.

Vous pourrez trouver de plus amples informations à propos de ce programme à l'adresse : <http://www.wcm.ugent.be/nl/>



Le professeur Cathérine Nicolis reçoit la prestigieuse médaille Richardson

Le professeur Catherine Nicolis a reçu, le 5 avril 2011, à l'occasion de l'assemblée générale de l'Union Géophysique Européenne qui s'est tenue à Vienne (Autriche), la médaille Richardson, une reconnaissance prestigieuse de la communauté des géophysiciens pour l'ensemble de ses travaux, accomplis notamment au sein de notre Institut, <http://www.egu.eu/awards-medals/award/lewis-fry-richardson.html>. A cette occasion, elle a exposé brièvement un certain nombre de ses travaux dont le thème central est la compréhension de la variabilité et de la prévisibilité de l'atmosphère et du climat, au travers de l'utilisation et du développement d'outils issus des théories récentes de la physique non-linéaire, de la théorie des processus stochastiques et de la théorie du chaos. Elle a, en particulier, présenté les théories récentes qu'elle a développées sur l'évolution des erreurs de prévisions ainsi que d'autres propriétés relatives aux distributions et récurrences des événements extrêmes, thèmes centraux dans la compréhension de l'évolution du climat et des risques qu'encourent notre société.

Professeur Nicolis a débuté sa carrière à l'Institut d'aéronomie spatiale où elle s'intéresse au bilan énergétique de la terre et découvre au début des années 80 une propriété fondamentale de la réponse des systèmes non-linéaires aux forçages de faibles amplitudes, à savoir la résonance stochastique. Cette propriété permet de fournir une explication de la succession des périodes glaciaires et inter-glaciaires qu'a connue notre planète. Ce travail pionnier sera une source d'inspiration pour l'explication de comportements similaires dans des domaines très variés de la physique à la biologie. En 1984, elle publie avec son mari un article dans la prestigieuse revue 'Nature' intitulé 'Is there a climatic attractor ?' qui fera couler beaucoup d'encre en suscitant de nombreuses discussions sur la signification d'un attracteur climatique de basse dimension. Ce travail séminale a le mérite d'ouvrir une nouvelle perspective sur la dynamique du climat, bien au-delà de la vision purement statique (et linéaire) qui a prévalu et qui prévaut encore souvent de nos jours.

En 1990, Professeur Nicolis rejoint l'Institut Royal Météorologique de Belgique et, en 1996, devient chef d'une unité nouvellement créée, la section de 'Météorologie et Climatologie Dynamiques'. Elle y promeut une approche intégrant des concepts issus de la physique non-linéaire et des systèmes complexes en météorologie et climatologie, et forme les chercheurs de cette section dans ce domaine novateur. Elle y déve-

loppe notamment des théories sur la dynamique de l'erreur de prévision, sur les propriétés des événements extrêmes pour les systèmes déterministes, sur la cinétique et la thermodynamique des transitions entre états, sur la production d'entropie dans les modèles atmosphériques et climatiques, sur le développement systématique d'une théorie du climat au travers de la moyennisation des équations de bilan des champs atmosphériques, ou bien encore sur les effets transitoires de forçages dépendants du temps tels que ceux pouvant être induits par l'activité humaine.

Outre la satisfaction d'apporter une réponse à de nombreuses questions fondamentales liées à la dynamique de l'atmosphère et du climat, ces études conduisent à des applications très pratiques telles que la prévision d'ensemble – ou prévision probabiliste – permettant d'évaluer en temps réel l'incertitude commise sur la prévision. Ces études jouent donc un rôle essentiel dans le cadre des missions centrales d'information et d'amélioration de la sécurité de notre Institution.

Nous nous joignons donc à l'ensemble de la communauté géophysique pour remercier et féliciter notre collègue, Professeur Rouvas-Nicolis, pour l'ensemble de ses travaux dans ce contexte et sa contribution essentielle à la recherche et à la formation au sein de notre Institution.



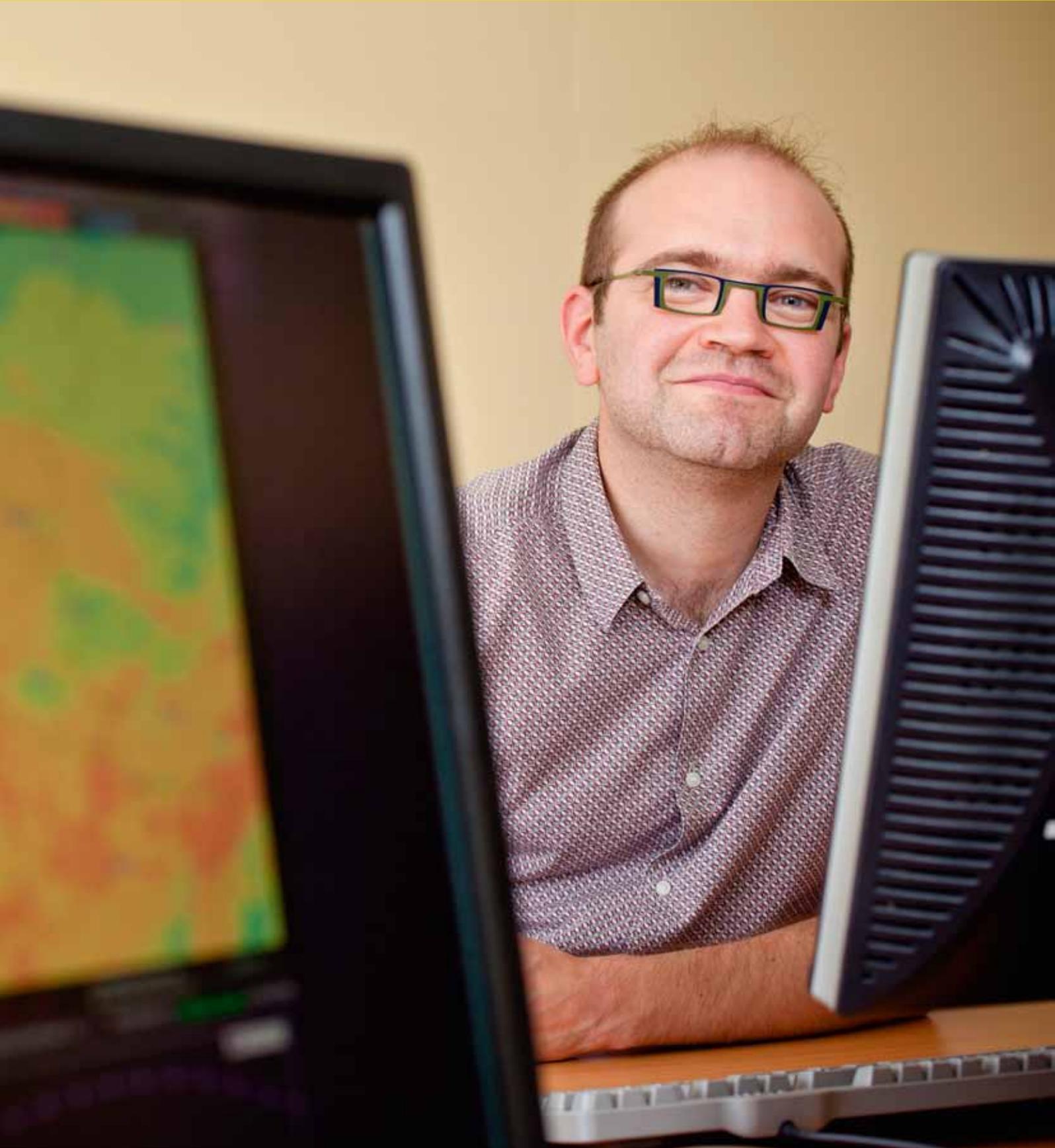
Figure 5 : De gauche à droite : Dr Piet Termonia, Chef du département Recherche, Professeur C Rouvas-Nicolis, et Dr Daniel Gellens, Directeur général a.i. de l'IRM.

Les étudiants de l'Université de Gand apprennent à faire des prévisions météorologiques au bureau du temps de l'IRM

Cinq étudiants ont suivi en 2011 la formation de troisième cycle « Weather and Climate Modeling » auprès de l'Université de Gand. Cette formation est organisée par des professeurs de l'IRM et quelques scientifiques internationaux. Il s'agit d'une formation complète concernant les modèles atmosphériques, qui comprend 10 sections. Vous trouverez de plus amples informations à propos de la formation « Weather and Climate Modeling » à l'Université de Gand à l'adresse <http://www.wcm.ugent.be/>

La matière « Météorologie générale » a été dispensée par Dr. ir. David Dehenauw. Dans le cadre de cette matière, les étudiants apprennent à interpréter des cartes météorologiques. Et existe-t-il un meilleur endroit pour ce faire que le bureau du temps de l'IRM ? C'est la raison pour laquelle les étudiants ont eu l'opportunité de participer à une série de sessions d'exercices à l'IRM. Le 21 novembre, ils se sont risqués pour la première fois à faire leurs premières prévisions météorologiques.





L'IRM au service des défis

Meilleures prévisions à court terme grâce à INCA-BE

Au cours de 2011, l'IRM a mis en place et testé un nouveau système de prévisions à court terme (nowcasting) : INCA-BE. Ce système consiste à établir des prévisions pour un futur très proche liées à des alertes de temps dangereux (orage, dégâts des eaux, verglas, neige...). Les modèles de prévisions numériques manquent souvent de précision pour ce laps de temps et requièrent donc une stratégie adaptée. INCA-BE désigne la mise en place à l'IRM du système de nowcasting INCA (Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis), développé par le service météorologique autrichien (ZAMG). Pour ce projet, l'IRM collabore étroitement avec ZAMG, mais également avec les services météorologiques de la Pologne, de la Slovaquie, de la Slovénie, de la Tchéquie, de la Hongrie et de Friuli-Venezia Giulia (Italie) qui ont déjà mis en place ce système et qui continuent à le développer.

INCA-BE réalise d'abord une analyse détaillée de l'état actuel de l'atmosphère. Celle-ci est fondée sur les données observables les plus récentes provenant du radar, des stations météo, des sondages, des satellites... Ensuite, l'analyse est reliée astucieusement aux prévisions de notre modèle numérique ALARO afin d'obtenir les prévisions les plus exactes pour les heures à venir.

Chaque heure, INCA-BE procède à une nouvelle analyse et prévision de variables telles que la température, le point de rosée, le vent, l'humidité de l'air, la température du sol et la température apparente pour les 12 prochaines heures. En outre, toutes les dix minutes une analyse et une prévision de la quantité et du type de précipitations pour les quatre prochaines heures sont effectuées. Un module de diagnostic convectif fonctionne également chaque heure. La figure 6 montre l'exemple d'une prévision de température (deux heures à l'avance) un jour choisi au hasard en décembre 2011. Elle donne une idée de la haute résolution à laquelle INCA-BE fonctionne (1 km) et montre aussi clairement la précision de la topographie. La figure 7 montre

une prévision (deux heures à l'avance) de la quantité (au-dessus) et du type de précipitations (en dessous) pour la même situation. Dans ce cas précis, les prévisions de légères chutes de neige pour la Haute-Belgique (et la pluie ailleurs) annoncées par le système de nowcasting étaient correctes.

INCA-BE a été créé étape par étape en 2011 et a été évalué par nos prévisionnistes. Ce système produit de nombreuses informations consultables de façon interactive sur un site web développé à cet effet. En plus des présentations sous forme de carte, il est possible de générer des météogrammes pour des endroits bien précis. La Figure 8 montre l'exemple d'un météogramme pour la station Mont-Rigi (Hautes Fagnes) pour le même épisode que celui ci-dessus.

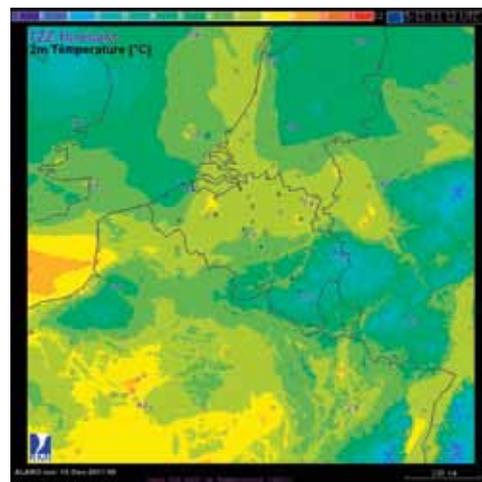


Figure 6 : Prévisions de température réalisées par INCA-BE le 15 décembre 2011 10 UTC et valable pour le 15 décembre 2011 12 UTC (deux heures à l'avance). L'influence de la topographie à haute résolution intégrée à INCA-BE est clairement visible.

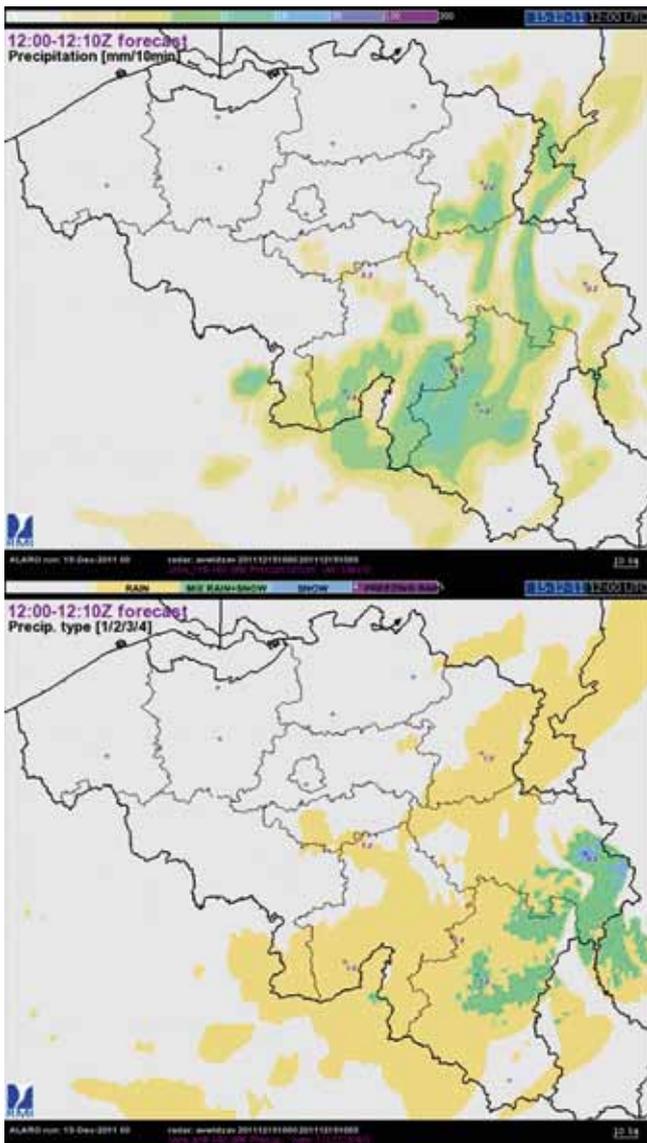


Figure 7 : Prévisions (deux heures à l'avance) de la quantité (au-dessus) et du type de précipitations (en dessous) pour la même situation que dans l'image 1, agrandie sur la Belgique. La neige est indiquée en bleu clair. INCA-BE a pu prévoir correctement les légères chutes de neige produites uniquement en Haute-Belgique. Notez que la neige peut tomber à des températures légèrement positives.

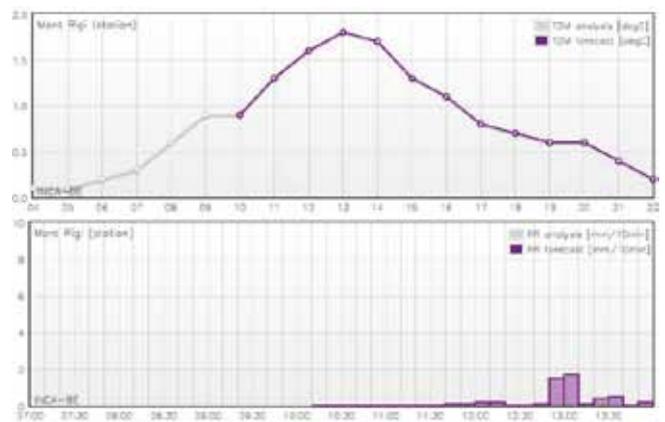


Figure 8 : Météogramme pour la station Mont-Rigi dans les Hautes Fagnes pour mesurer la température (au-dessus) et les précipitations (en dessous) pour le même épisode que dans les images 1 et 2. Les valeurs mesurées sont indiquées en gris clair et les valeurs prévues sont dessinées en violet.

Campagne de validation de la détection de la foudre

En août 2011, l'IRM a mené une série d'observations de l'activité électrique présente dans les averses orageuses en Belgique. Une caméra à haute vitesse liée à un appareil mesurant les changements dans le champ électrique a permis de filmer les décharges électriques. Une étroite collaboration avec les prévisionnistes de l'IRM a été indispensable pour mener à bien cette campagne d'observations. Grâce à leur savoir-faire, nous avons pu installer le matériel nécessaire à temps et au bon endroit pour observer l'arrivée des orages. La photo ci-dessous montre ce dispositif. Après analyse, les observations nous apportent des informations importantes sur le fonctionnement et la précision du réseau de détection de la foudre de l'IRM.



Figure 9 : dispositif avec (1) une caméra à haute vitesse (2) un instrument pour mesurer le champ électrique (3) un générateur d'électricité et (4) un GPS.

De videocamera maakt 200 beelden per seconde ce qui correspond à une exposition de 5 millisecondes par enregistrement. Ainsi, nous pouvons identifier les différentes décharges, aussi appelées strokes, que comprend un coup de foudre. Un stroke est un courant de particules chargées se déplaçant à grande vitesse par un canal vers le sol. Pendant trois jours d'orage (les 22, 23 et 26 août 2011), nous avons enregistré 57 coups de foudre d'une qualité satisfaisante avec 210 décharges au total.

Au cours de cette campagne d'observation, le réseau de détection de la foudre de l'IRM a observé 90 % des 57 foudres et 65 % des 210 décharges. La localisation précise est déterminée au moyen de coups de foudre dont les décharges successives réutilisent le même canal. Actuellement, la précision du réseau se situe autour de 1 km. Durant les mois et années à venir, nous serons en mesure d'améliorer la

précision du système par un meilleur réglage de nos capteurs et de poursuivre nos recherches. Ce travail a pu se réaliser grâce à la collaboration étroite avec ALDIS (Austrian Lightning Detection and Information System) et au soutien de STCE (Solar-Terrestrial Centre of Excellence-Belspo).



Figure 10 : 2 Vidéo enregistrées à Denderleeuw le 23.08.2011

Carte en haute résolution de la déclinaison magnétique en Belgique

Le levé aéromagnétique de la Belgique et du Luxembourg réalisé en 1994 fournit, sur la quasi-totalité du territoire belge et luxembourgeois, la mesure de l'intensité du champ magnétique avec une résolution spatiale très grande (~100m). Cependant, il ne fournit pas les différentes composantes du champ. En utilisant des techniques spectrales et matricielles, basées sur un travail de Jean-Louis Le Mouél (géophysicien français, physicien émérite à l'Institut de Physique du Globe de Paris), ainsi que sur des mesures ponctuelles de terrain, nous avons pu dériver, par calcul, une carte de la déclinaison magnétique en Belgique en 1994 avec la même haute résolution (Figure 11). Bien que ce premier calcul soit préliminaire, nous comptons bientôt fournir des données actuelles avec la même définition.

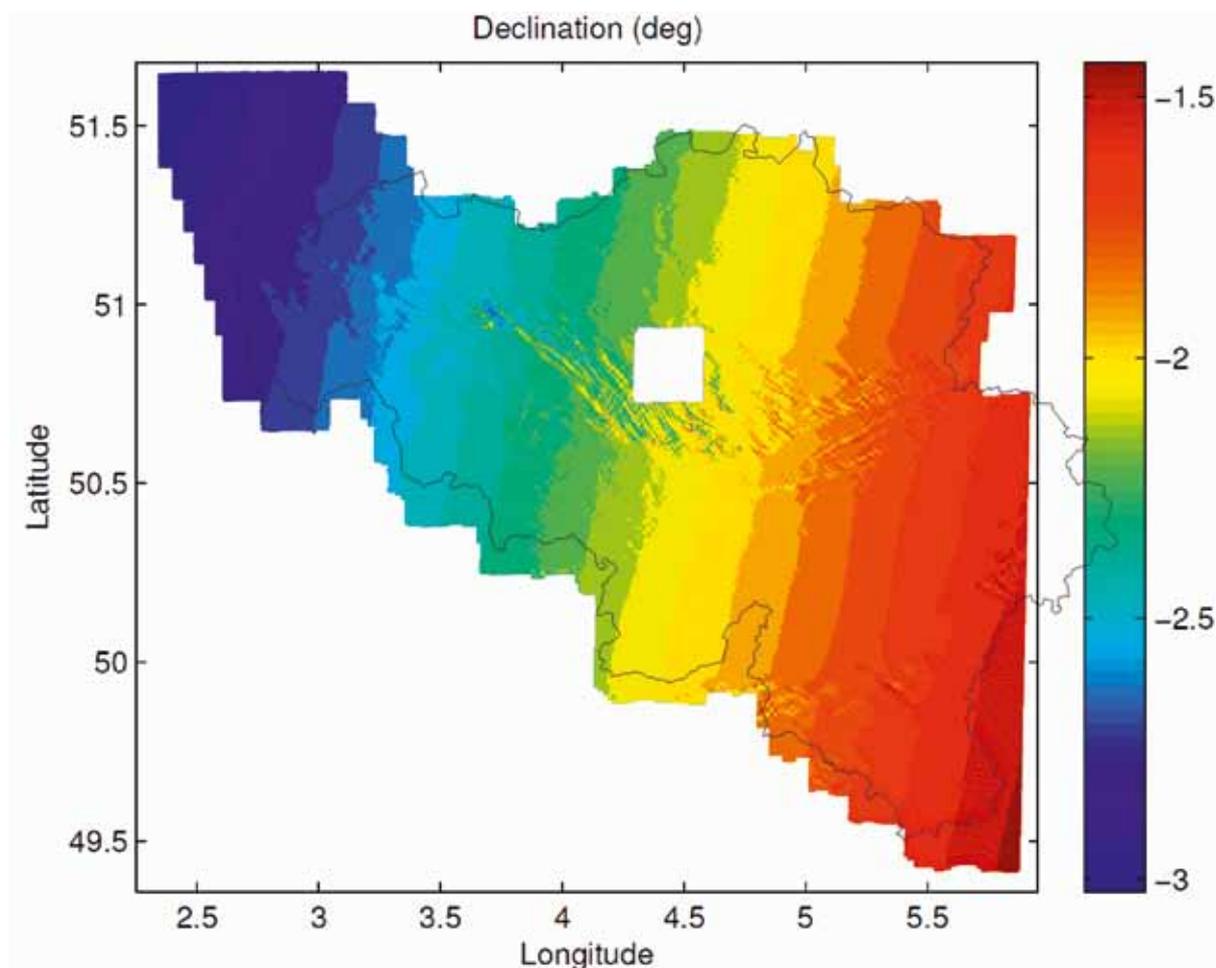


Figure 11 : carte isogonale en HD de la déclinaison magnétique en Belgique pour l'année 1994.

Bruxelles, première destination internationale pour l'avion solaire "solar impulse"

L'équipe de Solar Impulse a choisi Bruxelles comme première destination internationale de l'avion solaire expérimental. Le 13 mai 2011, une équipe de prévisionnistes de l'IRM, a eu la responsabilité du guidage météorologique de l'avion solaire, piloté par André Borschberg. Le Solar Impulse s'est posé à Bruxelles vers 21h40, après un vol sans encombre de 13 heures en provenance de Payerne en Suisse.

Durant les semaines qui ont précédé le vol, toute l'équipe de Solar Impulse a été impliquée dans des « vols tests » dans la région de Payerne, afin de tester les systèmes de communication par satellite, ainsi que les procédures d'intégration dans le trafic aérien.

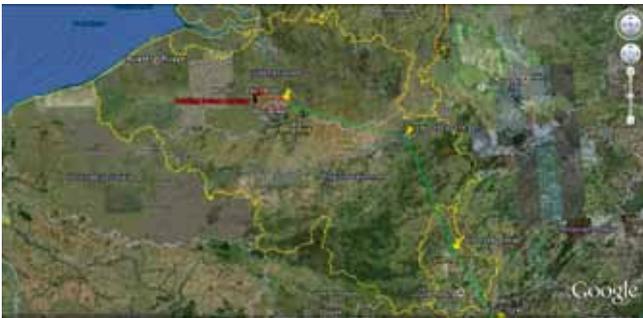


Figure 12 : parcours du premier vol international Solar Impulse

Les prévisions météorologiques sont primordiales pour assurer la sécurité et le bon déroulement des vols expérimentaux du Solar Impulse. Après plusieurs jours de conditions météorologiques défavorables, l'équipe de prévisionnistes de l'IRM a tiré profit de la première opportunité, qui s'est présentée le vendredi 13 mai, pour donner le feu vert pour le départ. Les conditions de vol exigées par le Solar Impulse ne permettent pas d'effectuer un vol à la carte à une date précise, la sécurité étant la priorité numéro un. Les paramètres les plus importants à prendre en compte sont le vent, la turbulence, la visibilité et la nébulosité.

- La vitesse moyenne du vent au sol (à 10 mètres maximum) ne peut pas atteindre 6 nœuds (10 km/h) au décollage tout comme à l'atterrissage de l'avion. Le vent latéral doit être inférieur à 4 nœuds. Le vent en altitude ne doit pas atteindre 25 nœuds.
- Il ne faut pas que des précipitations surviennent tout le long du trajet.
- La visibilité doit rester excellente pendant tout le vol et également à l'atterrissage.
- Le soleil étant son unique source d'approvisionnement en énergie, l'avion doit en permanence en capter les rayons: la cou-

verture nuageuse au-dessus de l'avion doit être inférieure à 4/8èmes, 8/8èmes représentant un ciel complètement couvert.

- Le niveau de turbulence, quant à lui, doit rester faible ou nul.

L'avion a décollé de l'aérodrome de Payerne pour atteindre une altitude de 3.600 mètres. Le support reçu par les autorités aéronautiques des pays survolés et de destination s'est révélé être extrêmement positif et constructif.



Figure 13 : L'avion solaire survolant l'atomium à Bruxelles



la météo en 2011

Un nouveau record de température annuelle à Uccle

Après une année 2010 relativement « froide », 2011 restera dans les annales comme l'année la plus chaude à Bruxelles-Uccle depuis que l'on a commencé des observations météorologiques régulières en 1833. La température moyenne annuelle a atteint 11,6°C, soit 1,1°C au-dessus de la moyenne de la période de référence 1981-2010 (10,5°C) et 0,1°C au-dessus du précédent record qui datait de 2007.

Si l'on examine l'évolution séculaire de la température à Bruxelles-Uccle (cf. Figure 14), on distingue clairement que les dix années les plus chaudes depuis 1833 se sont produites après 1988. La moyenne des températures annuelles depuis 1988 est de 10,8°C, soit 2,0°C au-dessus de la moyenne sur la période 1833-1910, c'est-à-dire avant le premier réchauffement significatif observé à Bruxelles-Uccle.

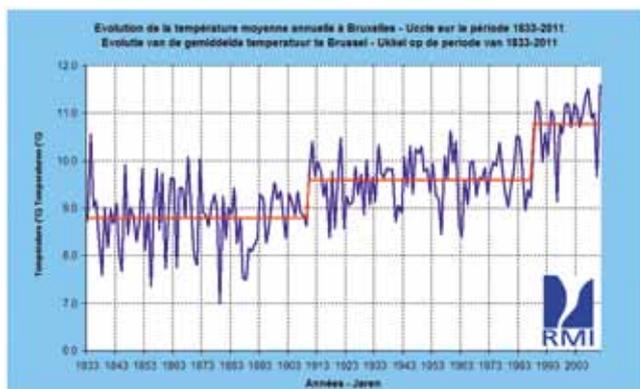


Figure 14 : Les températures moyennes annuelles à Bruxelles-Uccle, entre 1833 et 2011 (en °C). Les droites horizontales rouges donnent les valeurs moyennes sur trois périodes considérées comme relativement « stables » au niveau des températures (au cours de chaque période, les températures fluctuent autour de la ligne rouge).

Comme le montre la Figure 15, les températures moyennes mensuelles en 2011 furent toutes supérieures aux valeurs moyennes mensuelles sur la période de référence 1981-2010, à l'exception des mois de juillet et d'août. Il est intéressant de remarquer que le record annuel a été établi alors que la température moyenne de l'été est

restée inférieure à la normale estivale. Les températures moyennes de l'hiver, du printemps et de l'automne furent respectivement supérieures de 1,5°C, 2,1°C et 1,5°C aux valeurs moyennes saisonnières, alors que la température estivale fut inférieure de 0,8°C à la valeur moyenne.

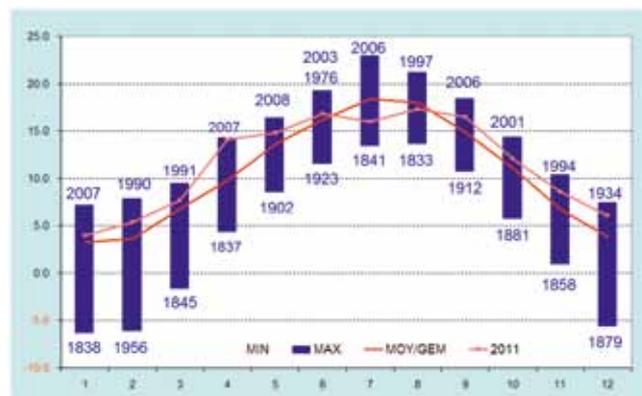


Figure 15 : La courbe en rose donne les températures moyennes mensuelles observées en 2011 à Uccle (en °C). La courbe en rouge donne les moyennes mensuelles sur la période de référence 1981-2010. Les valeurs mensuelles les plus élevées et les plus basses observées à Bruxelles-Uccle depuis 1833 sont données par les extrémités des rectangles bleus verticaux (les années record sont indiquées).

En plus de ce record de température, on se souviendra de l'année 2011 à cause d'un printemps très exceptionnel par sa durée d'insolation et l'ampleur de la sécheresse qui toucha le pays, des orages dévastateurs en été à l'origine de la catastrophe du festival Pukkelpop dans le Limbourg, d'une période particulièrement douce fin septembre-début octobre, d'un déficit record de précipitations en novembre et d'un nombre record d'orages dans le pays en décembre. Plus de détails sur le bilan climatique 2011 sont disponibles via le lien <http://www.meteo.be/meteo/view/fr/7609555-2011.html>

Une sécheresse printanière exceptionnelle

Un temps sec s'est installé en Europe occidentale en début d'année et le déficit pluviométrique s'est accentué tout au long du printemps (mars à mai), qui s'est avéré le plus sec et le plus chaud jamais observé dans de nombreuses régions d'Europe occidentale. En Belgique aussi, le printemps a été particulièrement remarquable. A Uccle, les températures ont été très exceptionnellement élevées ; la température moyenne a atteint 12,2°C (normale : 10,1°C), soit 0,1°C de moins que la température printanière record de 2007. Les températures journalières en 2011 ont été presque systématiquement supérieures aux valeurs moyennes, et parfois très largement (cf. Figure 16). La durée d'insolation printanière fut également très exceptionnellement élevée. Elle atteignit un cumul de 707 h 16 minutes d'ensoleillement, ce qui est un nouveau record depuis le début des relevés en 1887, largement au-dessus de la normale qui s'élève à 463 h 58 minutes. Le précédent record datait de 1893, avec une durée d'insolation de 651 h 46 min.

cipitations printanières avait atteint cette année-là 197,1 mm). Comme le montre la Figure 2.1, le nombre de jours où il a plu est très faible, avec des quantités rarement importantes. On n'a observé à Uccle que 5 jours sur tout le printemps où la quantité de précipitations journalière a dépassé 4 mm, avec un maximum de 10,6 mm le 30 mars.

Ces mêmes conditions exceptionnelles ont touché l'ensemble de la Belgique, avec certaines variations régionales pour les quantités de précipitations qui sont sensibles localement aux averses orageuses qui peuvent se produire à cette période de l'année. Malgré cela, le déficit pluviométrique saisonnier a été exceptionnel dans tout le pays (cf. Figure 17), de l'ordre de 30% à peine des totaux pluviométriques printaniers moyens. Dans le pays, les cumuls de précipitations ont varié de 35 mm à 110 mm et tous les déficits observés correspondent à des périodes de retour moyennes très largement supérieures à 20 ans.

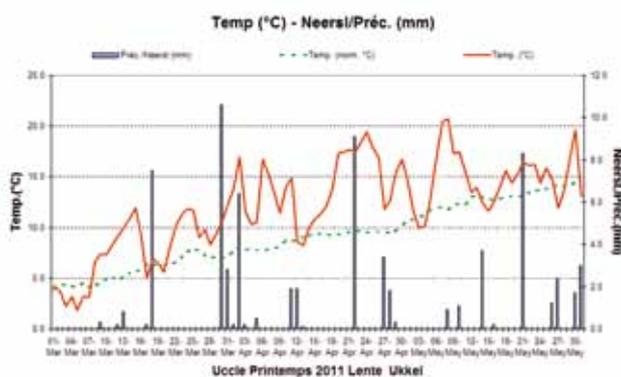


Figure 16 : Valeurs journalières à Uccle, durant le printemps 2011, de la température moyenne (courbe en rouge, échelle de gauche, en °C) et des quantités de précipitations (bâtonnets, échelle de droite, en mm). La courbe hachurée verte donne les valeurs moyennes sur la période 1981-2010 de la température moyenne journalière.

Les précipitations ont été particulièrement déficitaires, aussi bien pour la quantité que pour le nombre de jours avec précipitations. Pour le cumul des précipitations, ce fut le troisième printemps le plus sec à Bruxelles-Uccle depuis le début des relevés en 1833 ; il est tombé à peine 70,7 mm en 27 jours (normales : 187,8 mm en 49 j.). Seuls deux printemps dans le passé ont été plus secs : en 1893, lorsqu'on n'avait recueilli que 37,6 mm en 24 jours, et en 1976, quand le cumul des pluies avait atteint 69,0 mm en 35 jours. Notons encore que c'est le printemps 1890 qui a connu la fréquence de jours avec précipitations la plus basse, puisqu'il n'avait plu que 23 jours (mais le cumul des pré-

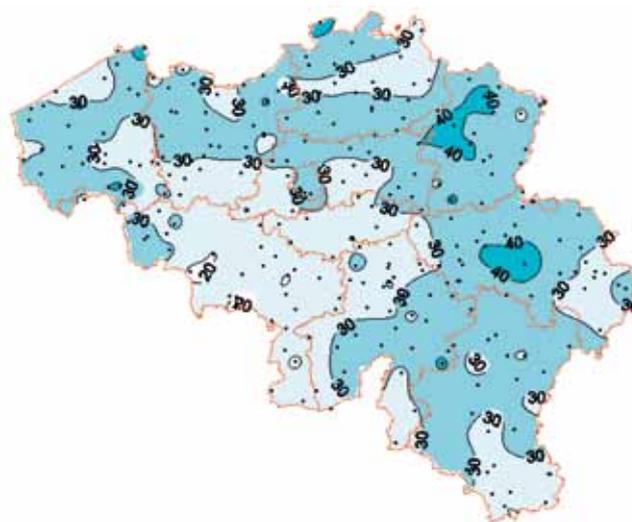


Figure 17 : Pourcentage du cumul des précipitations dans le pays durant le printemps 2011 par rapport aux valeurs normales sur la période 1981-2010.

Le développement normal des cultures agricoles a été rendu difficile par les conditions climatiques printanières exceptionnelles, mais heureusement, la pluviosité a retrouvé durant l'été des valeurs proches ou supérieures aux valeurs normales, ce qui a permis généralement d'atténuer les impacts négatifs sur le rendement des cultures.

Incendie dans les Hautes Fagnes

Le printemps très sec dans le pays eut encore d'autres conséquences. Le lundi 25 avril 2011, au coeur de la sécheresse printanière, un important incendie se déclare dans l'après-midi sur le plateau des Hautes-Fagnes. Les Fagnes sont notamment recouvertes par une végétation particulière, la molinie,

dont les têtes sont particulièrement vulnérables au printemps car sèches comme du foin à ce moment de l'année, ce qui est moins le cas en été lorsque la pousse de la végétation a repris. Un vent modéré a permis au foyer d'incendie de se propager rapidement et de réduire en cendres environ 1300 hectares. Les derniers foyers n'ont été éteints que le mardi 26 avril, en soirée.



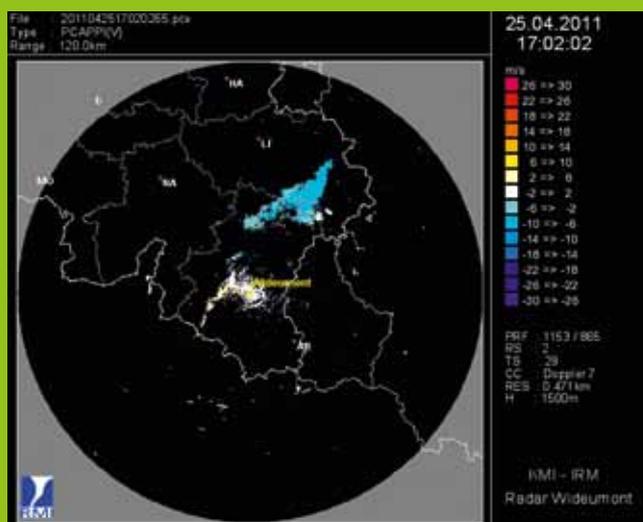
Figure 18 : A partir de 16h45 le 25 avril, la webcam de l'IRM, située dans le parc météorologique à Mont-Rigi, a observé une partie du panache de fumée lié à l'incendie dans les Hautes-Fagnes. L'image présentée ici a été prise à 19h05. A partir de 19h30, la station était recouverte par un épais nuage de fumée.

Le radar de l'IRM détecte l'incendie dans les Hautes-Fagnes

Le nuage de fumée qui s'est dégagé de l'incendie dans les Hautes-Fagnes le 25 avril était particulièrement visible sur les images du radar météorologique de l'IRM installé à Wideumont (commune de Libramont). Habituellement, le radar détecte les zones de précipitations, mais les quantités de cendres présentes dans le nuage de fumée furent suffisamment importantes ce jour-là pour être détectées par le radar. Le nuage de fumée commence à apparaître sur les images radar à 14h32 UT (16h32 heure locale), ce qui correspond au début présumé de l'incendie. L'emplacement de la source de l'incendie correspond également à l'endroit où le feu s'est déclaré (non loin de la Baraque Michel). Sur les images postérieures, le développement et la dispersion du nuage de fumée étaient clairement visibles. La figure ci-dessous montre l'image Doppler du radar à 17h02 UT (19h02 heure locale). On observe distinctement le nuage de fumée qui provient du plateau des Hautes-Fagnes et qui s'éloigne vers le sud-ouest, atteignant sur l'image le nord de la province de Luxembourg. Les échos parasites qui sont observés à proximité du radar proviennent de cibles non météorologiques (oiseaux, insectes, particules de poussière...).

L'observation du nuage de fumée à l'aide du radar permet de suivre son évolution en temps réel, ce qui est particulièrement utile durant la nuit lorsque les observations visuelles sont déficientes. Il est néanmoins difficile d'utiliser l'imagerie radar pour détecter un foyer d'incendie dès le stade de son apparition. Les échos renvoyés par le nuage de cendres sont, au départ, similaires à ceux renvoyés par des précipitations et il est par conséquent difficile de distinguer ce nuage d'une averse locale.

Figure 19 : L'image Doppler du radar de Wideumont le 25 avril à 19h02 (ou 17h02 UT, comme indiqué en haut à droite). En bleu clair, à cheval sur les provinces de Liège et de Luxembourg, on distingue le nuage de fumée provenant du plateau des Hautes-Fagnes à la suite de l'incendie. L'image radar couvre ici un disque de rayon de 120 km centré sur le radar.



Orages violents en 2011

28 juin 2011

Le mardi 28 juin, le territoire belge a été localement touché par de violents phénomènes orageux. Ces phénomènes ont été localement accompagnés de pluies intenses, de grêle et de rafales de vent. Dans l'avant-midi, c'est surtout l'ouest de notre pays qui fut touché. L'après-midi et le soir, les orages se sont déplacés vers le centre et une partie de l'est du pays. Les phénomènes orageux qui se sont produits en fin d'après-midi et dans la soirée furent significativement plus intenses que ceux qui se sont manifestés en matinée.

Les orages qui ont touché une grande partie du pays, avaient pour origine la confrontation entre de l'air tropical chaud et humide, et des courants océaniques nettement plus frais. A l'approche du front froid marquant la limite entre ces deux masses d'air, un creux thermique s'est formé dans l'air chaud.

Les ingrédients d'une forte activité orageuse étaient réunis:

- présence d'une « langue d'air très chaud » en surface ;
- augmentation de l'humidité et de l'instabilité dans les basses couches de l'atmosphère à l'approche du front froid ;
- formation de courants ascendants au niveau du creux thermique ;
- circulation cyclonique en altitude, qui est un phénomène provoquant une montée d'air.

à Gosselies et Zaventem.

Des chutes de grêle relativement importantes ont été observées dans les régions de Genk, Liège et Saint-Hubert.

Les quantités de précipitations relevées ont été très variables sur de courtes distances et les plus élevées relevées dans le réseau climatologique de l'IRM, en 24 heures, ont été mesurées aux stations de Thisnes (Hannut) avec 84,7 mm, Haacht avec 64,0 mm, Sivry avec 57,1 mm, Waarloos avec 54,3 mm et Solre-sur-Sambre avec 52,5 mm. A Boussu-en-Fagne, une des stations de mesure du réseau wallon des Voies hydrauliques, on a relevé 81,1 mm, avec une quantité horaire maximale de 49,3 mm.

En général, les quantités de précipitations relevées dans les parties ouest et sud-est ont été significativement moins importantes que dans le reste du pays.

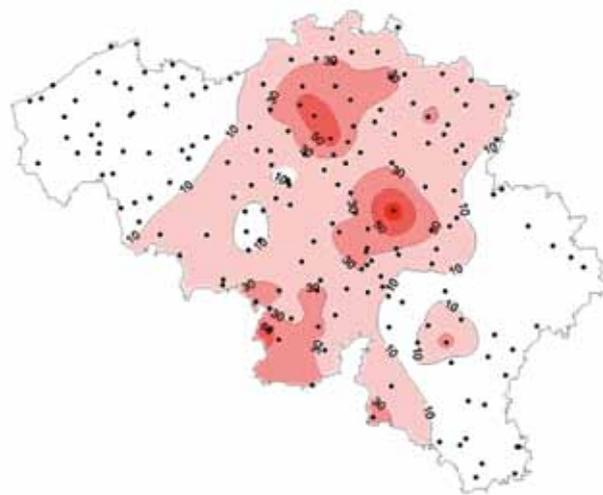


Figure 21 : Analyse des précipitations le 29 juin 2011 à 8 heures.

18 août 2011

Le jeudi 18 août, une partie du territoire belge a été touchée par des orages très violents. Ces orages étaient localement accompagnés de pluies intenses, de grêle et de rafales de vent. En début d'après-midi, c'est surtout l'ouest du pays qui a été touché alors qu'en fin d'après-midi et en début de soirée, les orages ont touché le centre et une partie de l'est du pays.

Les orages se sont rapidement déplacés du sud-ouest vers le nord-est. Ils ont traversé le Hainaut, le sud de la Flandre Orientale, Bruxelles et le Brabant, et ont atteint Anvers et le Limbourg. La région de Hasselt a particulièrement été touchée. Le tragique événement de Pukkel-

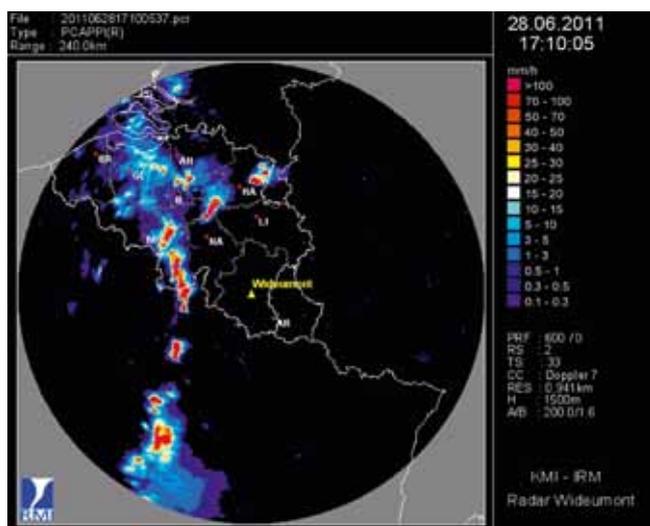


Figure 20 : Image radar du 28 juin 2011 à 17 heures.

Les plus fortes rafales de vent enregistrées dans le réseau anémométrique belge ont été de l'ordre de 119 km/h à Beauvechain et 101 km/h

pop a été causé par les fortes rafales de vent (downburst) consécutives aux orages, qui ont provoqué des dégâts comparables au passage d'une faible tornade.

L'image radar montre la zone de précipitations qui a touché la région de Hasselt le jeudi 18 août en début de soirée.

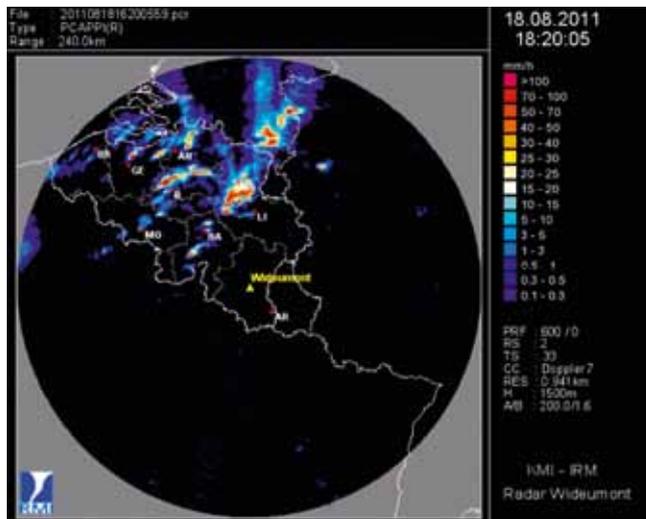


Figure 22 : Image radar du 18 août 2011 à 18h20.

22 et 23 août 2011

La situation orageuse qui a sévi sur la Belgique à partir du lundi 22 août est consécutive à l'association d'une masse d'air chaud et très instable venant de France et celle d'une dépression, liée à un creux d'altitude, remontant du Golfe de Gascogne.

En surface, les vents étaient orientés au secteur est à nord-est. Le passage du creux a conduit à des mouvements ascendants qui, au contact de la masse d'air instable en altitude, ont entraîné le développement de plusieurs cellules orageuses très actives.

Ces puissants systèmes convectifs (nuages de type cumulonimbus, de plus de 10 km d'épaisseur) ont affecté l'ouest et le nord-ouest de la France lundi en journée, avant de toucher plusieurs provinces de notre pays durant la nuit de lundi à mardi, ainsi que le mardi matin.

Ces violents orages avaient été correctement prévus par l'IRM. Une alerte de niveau jaune avait déjà été émise pour l'ensemble du pays dès le lundi matin, avant de passer au niveau orange sur l'ouest et le centre lundi après-midi, puis sur l'ensemble des régions en fin de journée.

Le nombre d'impacts de foudre vers le sol sur le territoire belge a été d'environ 12.000 entre le lundi 22 à 20h00 et le mardi à 12 h.

Quelques détails sur les précipitations relevées à Uccle pour le mardi 23 août :

En 24 heures, on a mesuré 44,3 mm (ou l/m²) de précipitations à Uccle.

L'intensité maximale des précipitations tombées sur une période de 60 minutes a été de 38 mm (ou l/m²). Et sur une période encore plus courte, en l'occurrence, 20 minutes, les quantités récoltées ont été de 32,4 mm (ou l/m²).

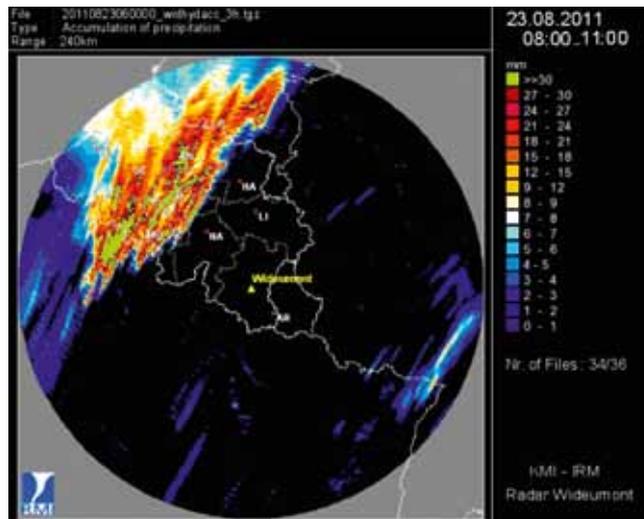
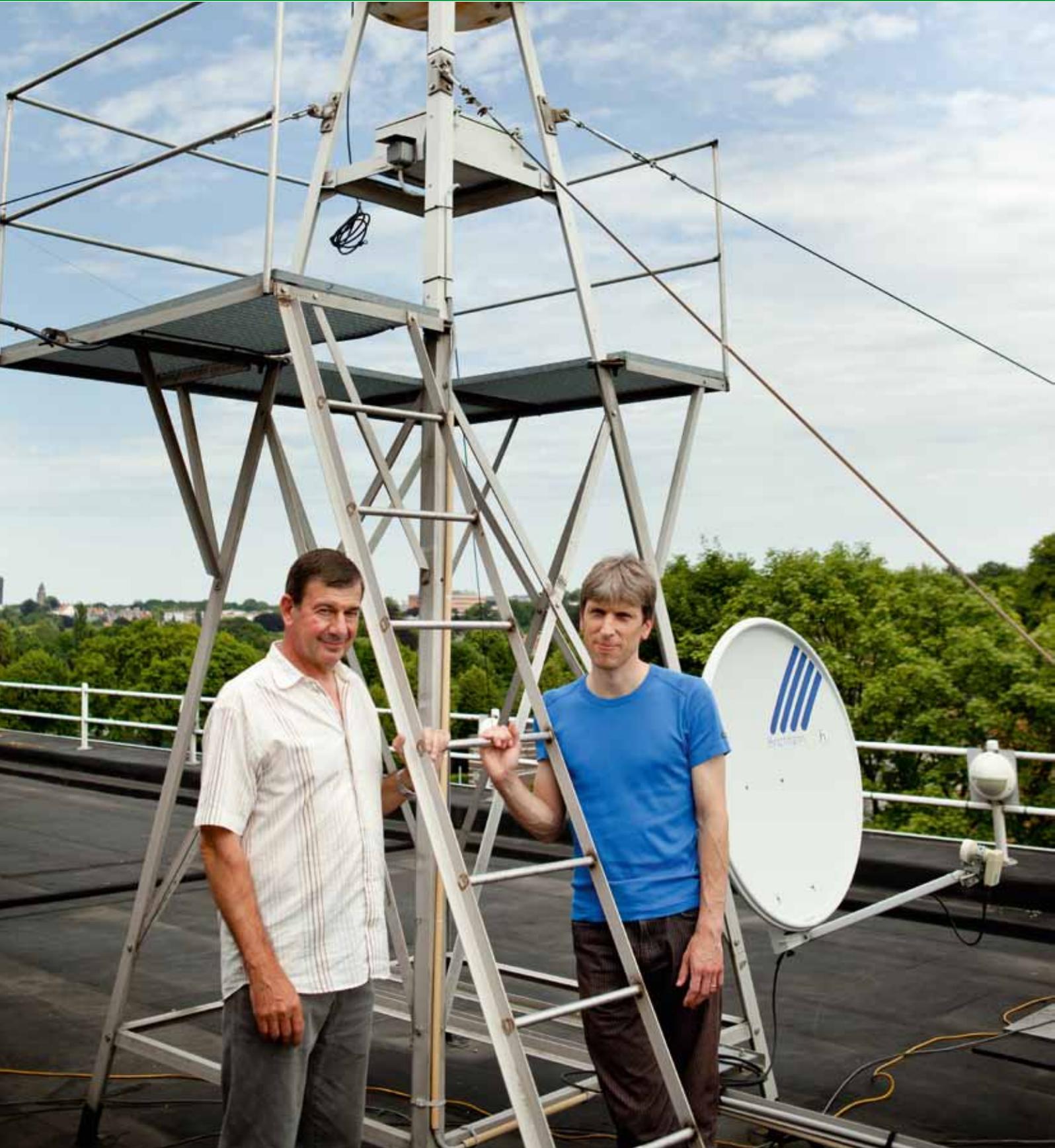


Figure 23 : image radar du 23 août 2011 à 08h00.



les nouveaux produits de l'IRM

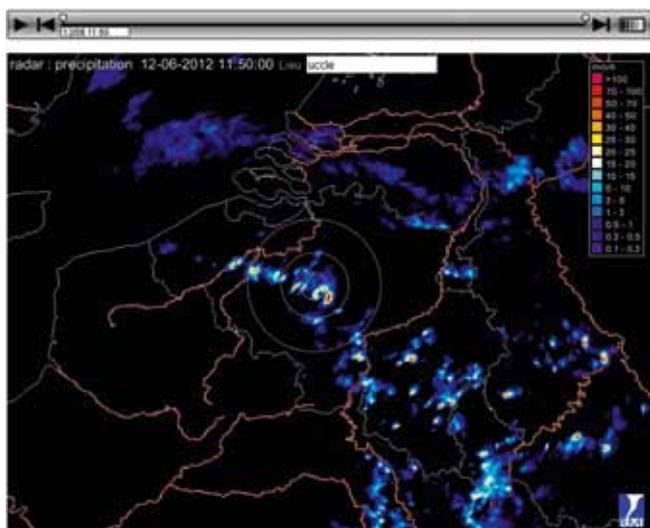
Outdoor Event Forecast

Suite aux faits tragiques survenus au festival Pukkelpop le 18 août 2011, de nombreux organisateurs d'événements se sont tournés vers l'IRM afin d'obtenir une assistance en cas de situation météorologique à risque.

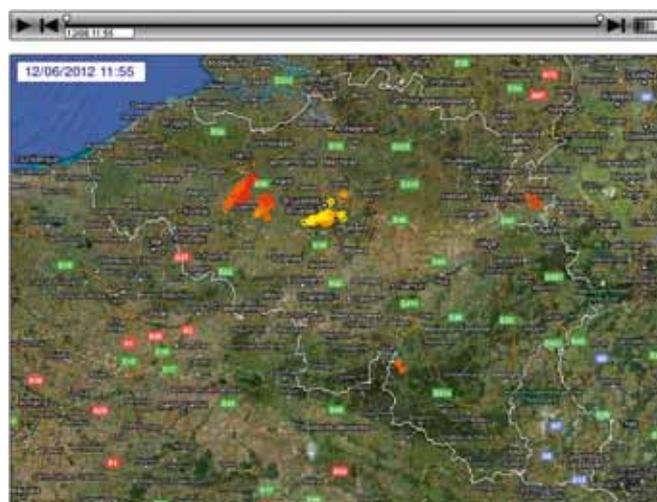
L'élément principal dans l'organisation de l'évacuation d'une foule de personnes, est le temps de réaction. Du temps et la personnalisation des prévisions météo fournies est justement ce que l'IRM a mis à disposition des organisateurs d'événements extérieurs, avec son produit d'assistance météorologique : Outdoor Event Forecast.

Via une page web sécurisée, l'IRM propose de consulter les informations suivantes :

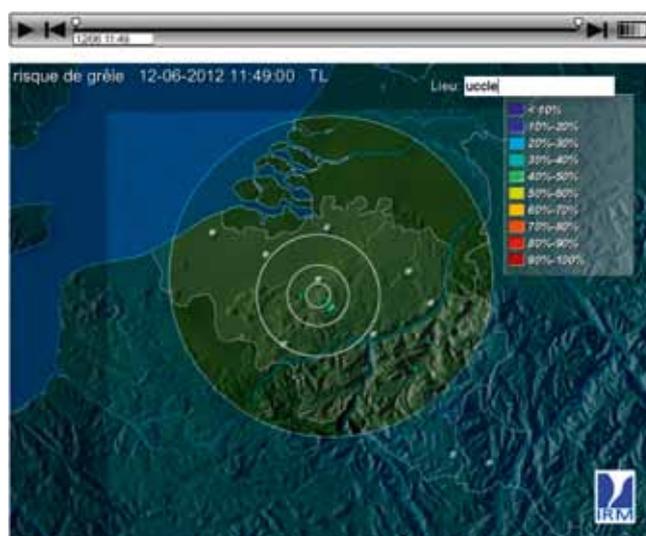
Les animations des radars de précipitations en temps réel



Les animations du système de détection des orages en temps réel



Les animations de la probabilité de chute de grêle en temps réel



Plusieurs jours avant l'événement, l'utilisateur peut consulter via cette interface, des prévisions détaillées où il se rend compte de la tendance pour les jours à venir. Ces prévisions s'affinent de jour en jour, au fur et à mesure que l'on se rapproche de la date de la manifestation.

...

L'organisateur est prévenu par SMS qu'au moins un avertissement a été émis par l'IRM pour des phénomènes qui peuvent sévir sous la forme d'orage, de vent, de pluie, ou de neige et verglas. Ces avertissements sont mis gratuitement par l'IRM à disposition du public sur la page principale de son site web. Le système d'alerte par SMS offre l'avantage d'être au courant d'un éventuel risque, même lorsque l'on n'a pas d'ordinateur à sa disposition et ce, dès que le risque est connu des prévisionnistes.

Le jour de l'évènement, l'utilisateur peut contacter le bureau du temps de l'IRM en service 24h/24, via une ligne téléphonique sécurisée, afin d'avoir des informations en direct et précises sur l'état du temps.

Ce produit est le résultat de la réactivité et de la flexibilité de l'IRM à répondre à une demande urgente et subite de la part d'un secteur d'activité pour lequel assurer la sécurité des personnes est une réalité. C'est pourquoi Outdoor Event Forecast est en parfait accord avec la fonction la plus importante de l'IRM : assurer la sécurité et l'information de la population sur le plan météorologique.



Développement et applications de prévisions probabilistes (GLAMEPS et ECMWF)

Un développement scientifique plus long d'un système de prévisions d'ensemble à méso-échelle commun a été lancé sur une base régulière en 2011. Il a été statistiquement prouvé par l'une des équipes de l'IRM que GLAMEPS a davantage de valeur économique que l'EPS de l'ECMWF (voir Figure 24) et cela peut donner lieu dans un avenir à plus long terme à un développement de produit davantage basé sur une décision, par exemple dans le domaine de l'énergie éolienne. En outre, les éléments obtenus à propos des propriétés dynamiques des erreurs de modèle ont été appliqués afin d'implémenter un traitement ultérieur amélioré du résultat de l'EPS de l'ECMWF. Une version bêta d'un système d'exploitation a été programmée et elle devrait devenir opérationnelle au cours de l'année 2012, afin d'améliorer de manière substantielle les prévisions météorologiques fournies aux utilisateurs finaux de l'IRM.

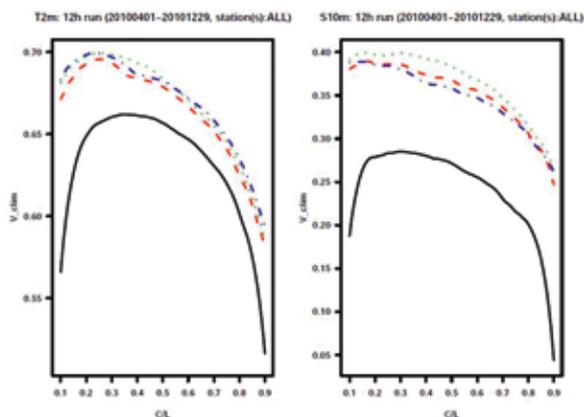


Figure 24 : Valeur économique estimée comme fonction du rapport entre les coûts (C) et les pertes (L) pour le système EPS de ECMWF (noir), GLAMEPS (rouge) et le système LAEF (bleu) et toutes les prédictions ensembles (vert). La valeur est entre 0 et 1. La valeur 1 étant la valeur économique d'une prédiction parfaite.

Tout comme une application de prévisions probabilistes, un système de prévision d'ensemble hydrologique (HEPS) basé sur des prévisions d'ensemble ECMWF à moyen terme (9 jours) et un modèle hydrologique sont réalisés chaque jour pour les bassins de l'Escaut et de la Meuse ainsi que pour leurs principaux bassins secondaires. Cela permet d'obtenir des probabilités à propos des fortes précipitations, sous forme de cartes et de graphiques, et cela donne des estimations au sujet des écoulements dans les principaux fleuves ainsi que les probabilités de dépasser les niveaux de pré-alerte (Figure 25). Des rapports sont envoyés quotidiennement au Service Public de Wallonie et une collaboration

avec le Waterbouwkundig Laboratorium en région flamande est mise sur pied. Dans le même contexte, une étude à propos du traitement ultérieur des prévisions d'ensemble pour les précipitations a tiré profit des informations fournies par l'ECMWF en réalisant des prévisions rétrospectives pour les 18 dernières années. Grâce à cela, les faiblesses du modèle peuvent être diminuées par des méthodes statistiques appropriées. Par exemple, la Figure 26 présente l'indice de vérification probabiliste des précipitations traitées ultérieurement sur le captage Gete-Gette pendant l'été hydrologique (d'avril à septembre) en ce qui concerne les ensembles bruts.

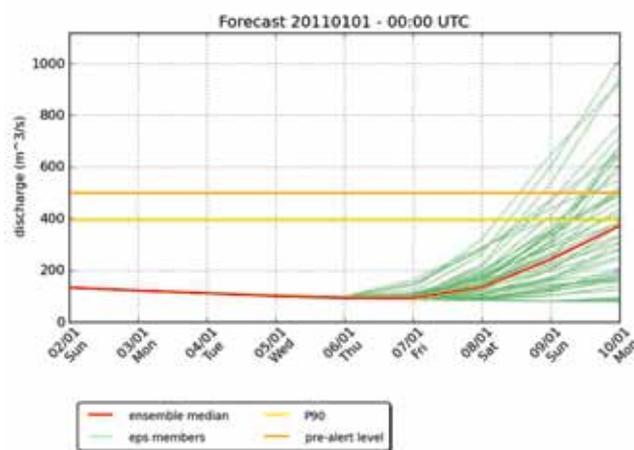


Figure 25 : Utilisation du système de prévision d'ensemble (EPS) pour prévoir le risque d'inondations et avertir les autorités régionales. Voici la Meuse à Chooz, janvier 2011.

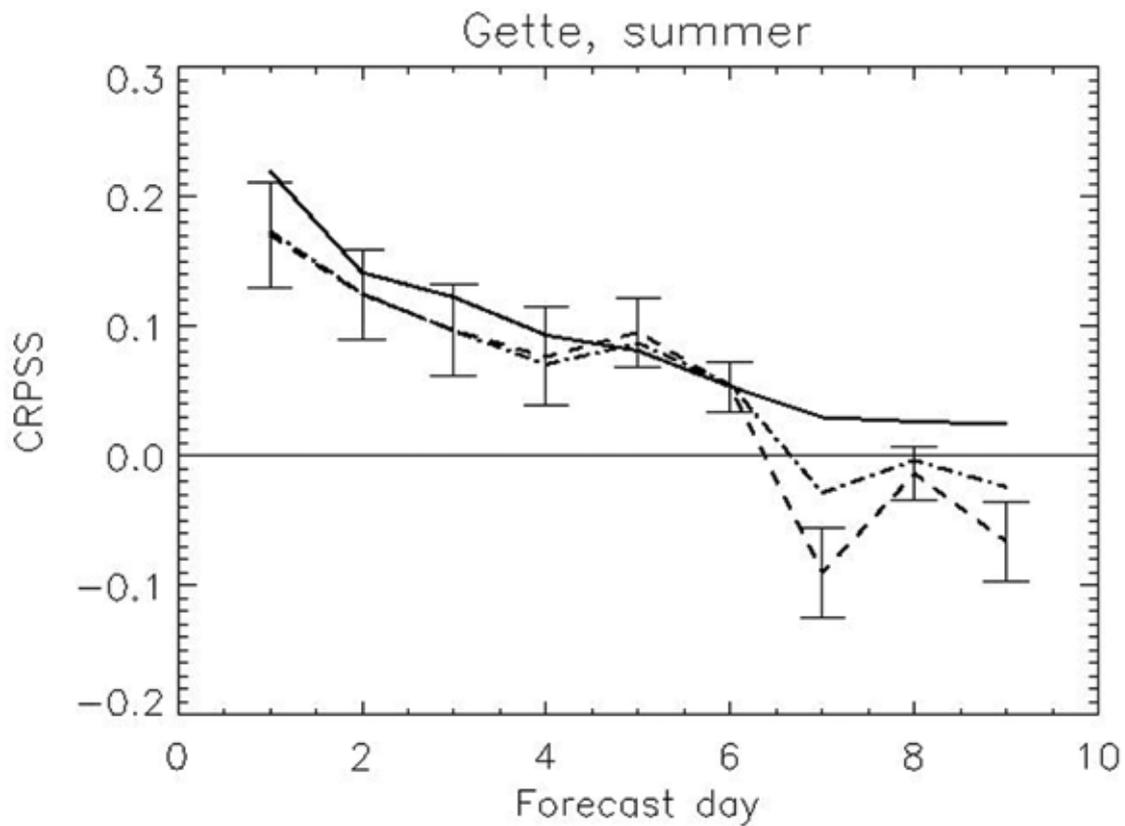


Figure 26 : Pour ce captage particulier et cette saison particulière, une amélioration significative se remarque jusqu'au sixième jour de prévision. Les trois derniers jours, le traitement ultérieur est moins bon que l'ensemble brut, étant donné que l'indice de vérification est inférieur à zéro. Pour la ligne solide, les informations obtenues à partir de toutes les simulations rétrospectives disponibles pendant la période de validation sont utilisées pour le traitement ultérieur. Pour la ligne en tirets, on teste un réglage compatible avec une application opérationnelle : les informations sont obtenues à partir des simulations rétrospectives des cinq semaines entourant la date ; la ligne mélangée correspond à une fenêtre allant jusqu'à sept semaines. Les valeurs supérieures à 0 correspondent à une amélioration (l'unité correspondrait à des prévisions parfaites).

Au mois de mai 2011, l'IRM s'est équipé d'un ceilomètre-LIDAR (voir figure 27) qui a été installé à proximité de la station météorologique automatique d'Uccle.

Le fonctionnement d'un ceilomètre-LIDAR est assez simple. Il envoie à la verticale un faisceau laser infrarouge vers le ciel. Une partie de ce faisceau va être diffusée dans toutes les directions suite à la présence de particules dans l'air. C'est exactement le même phénomène qui se passe lorsqu'on utilise un pointeur laser dans un local poussiéreux. Quel que soit l'endroit où vous êtes situé dans le local vous apercevez clairement le faisceau laser du pointeur perceptible à l'œil nu, grâce à la diffusion d'une partie de la lumière du faisceau par les particules de poussières. Dans le cas du ceilomètre-LIDAR, l'œil est remplacé par un détecteur au sol qui mesure dans une direction fixe, l'intensité de la lumière laser diffusée par les particules. Plus le nombre de particules dans l'air est important plus l'intensité de ce signal sera fort. De plus, la différence de temps entre l'envoi du faisceau laser et la capture par le détecteur au sol de la lumière diffusée indique à quelle hauteur la diffusion a eu lieu.

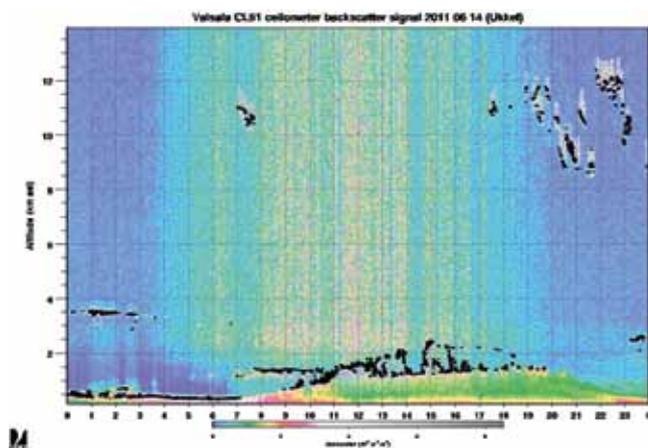


Figure 27 : Exemple de mesure effectuée par le ceilomètre/LIDAR en condition nuageuse à Uccle pour la journée du 14 juin 2011 avec l'évolution journalière de la hauteur de la base des nuages (points noirs) détectée par le ceilomètre/LIDAR. Le code de couleurs représente l'intensité du signal détecté par le ceilomètre/LIDAR en fonction du moment de la journée et de l'altitude indiquée en km au-dessus du niveau de la mer.

A la base, le ceilomètre-LIDAR est un appareil destiné à la mesure de la hauteur de base des nuages (voir figure 28). La connaissance de cette hauteur est indispensable à la navigation aérienne mais aussi à la prévision du temps. En plus de son usage normal, l'IRM a développé un algorithme mathématique permettant

d'analyser le signal du ceilomètre-LIDAR, afin de déterminer la hauteur de couche de mélange située à proximité de la surface du sol. C'est dans cette couche que l'on rencontre les concentrations de particules les plus fortes réparties de manière homogène. La mesure de cette hauteur est un paramètre clé dans le suivi de la pollution atmosphérique (voir figure 3). En effet, la connaissance de la hauteur de la couche de mélange est essentielle dans le suivi en continu et en temps réel de la dispersion des polluants atmosphériques localisés à la surface du sol. La mesure de cette hauteur est aussi un paramètre indispensable dans la vérification des simulations numériques de la pollution de l'air destinées à avertir la population rapidement de l'occurrence d'un pic de pollution. Enfin, la mesure de la hauteur de couche de mélange est essentielle dans le calcul de la concentration des polluants à la surface du sol obtenu à partir d'images satellites mesurant la transparence de l'atmosphère terrestre. Grâce à ce nouvel instrument, l'IRM sera capable prochainement de fournir de manière opérationnelle des hauteurs de couche de mélange aux principaux acteurs qui assurent un suivi quotidien de la pollution atmosphérique en Belgique.

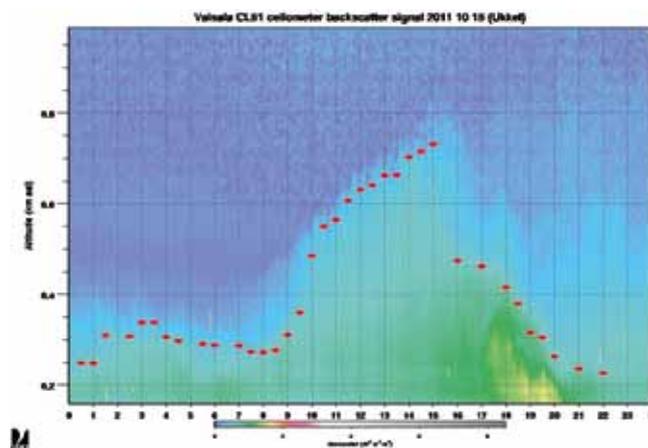


Figure 28 : Exemple typique de mesure effectuée par le ceilomètre/LIDAR à Uccle pour la journée du 15 octobre 2011 avec l'évolution journalière de la hauteur de la couche de mélange (points rouges) calculée à chaque demi-heure. Le code de couleurs représente l'intensité du signal détecté par le ceilomètre/LIDAR en fonction du moment de la journée et de l'altitude indiquée en km au-dessus du niveau de la mer.

Le ceilomètre-LIDAR est également un outil important pour le suivi de la formation/dissipation du brouillard et est indispensable pour le suivi et la localisation de nuages de particules de cendres provenant d'une éruption volcanique comme celle de l'Eyjafjallajökull que nous avons connu en 2010. Du 15 au 20 avril 2010, cette

...

éruption a exercé un impact considérable sur la navigation aérienne en Belgique mais aussi en Europe. A l'avenir, cet appareil va contribuer à améliorer la détermination des zones de danger pour le trafic aérien, en cas de nouvelle éruption volcanique.

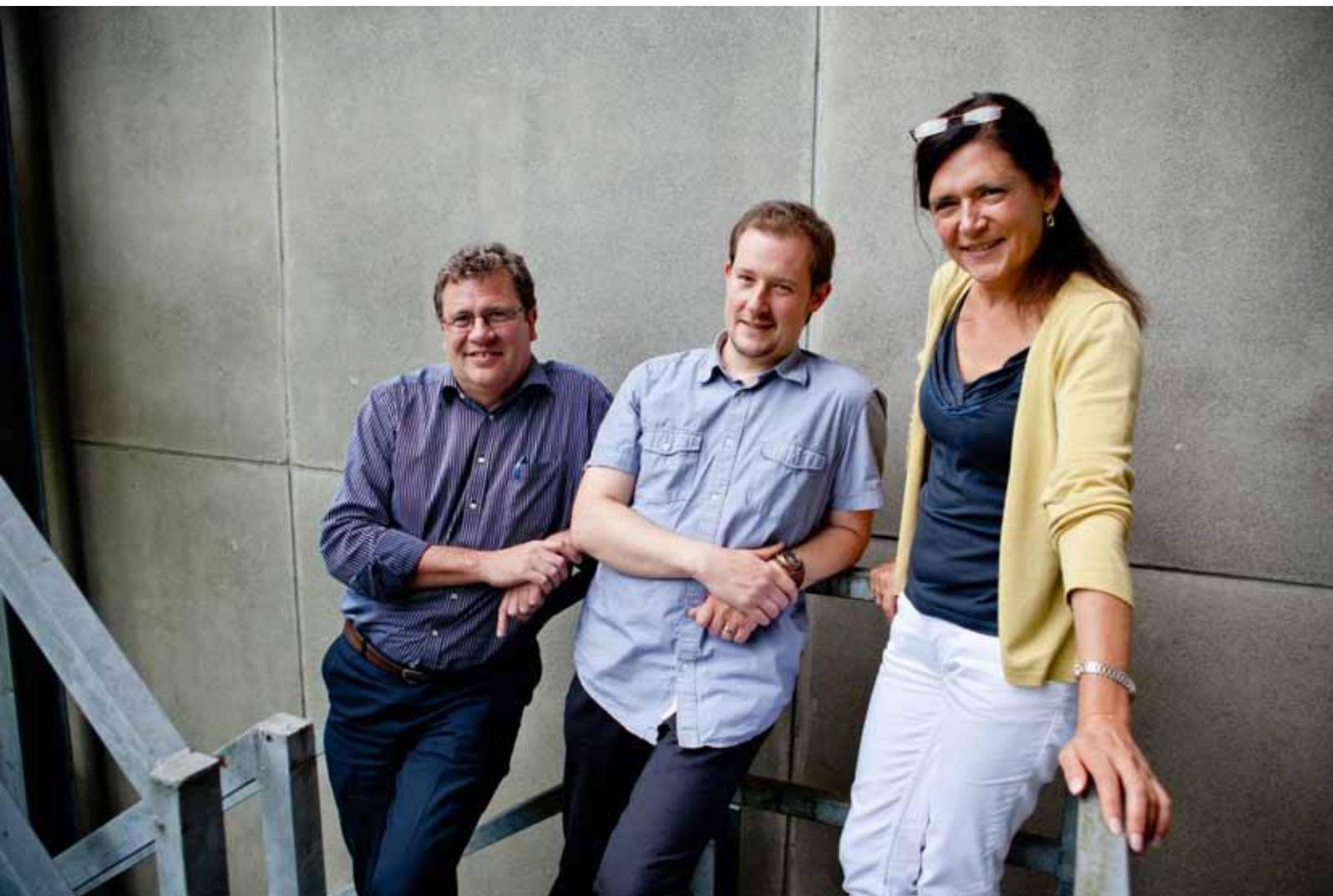


Figure 29 : Ceilomètre-LIDAR installé à Uccle au cours du printemps 2011.

SAF Land

L'équipe de l'IRM impliquée dans la Land Surface Analysis Satellite Application Facility -LSA-SAF- (<http://landsaf.meteo.pt/> ; Trigo et al., 2011) d'EUMETSAT continue les activités de recherche et de développement dans le but d'obtenir un modèle plus précis des interactions entre l'atmosphère et la surface du sol. Ce travail se concentre sur l'utilisation des données dérivées de SRS (provenant principalement des satellites géostationnaires MSG) dans un modèle SVAT modifié, afin de stimuler les échanges de flux de chaleur turbulents en temps quasi réel. L'équipe est responsable du produit d'évapotranspiration (ET) LSA-SAF maintenant opérationnel sur tout le disque MSG (Ghilain et al., 2011a).

En 2011, le modèle opérationnel a été amélioré en ajoutant davantage de données dérivées de SRS à propos du statut réel de la couverture de végétation (Ghilain et al., 2011b). Dans le cadre du programme préparatoire Proba-V (<http://eo.belspo.be/About/Programmes/ProbaV.aspx>; <http://probav-iuc.org>), la potentialité des données satellites de haute résolution spatiale pour la surface du sol et la modélisation et le contrôle étaient également examinés. Les résultats mettent en lumière l'intérêt de compléter SEVIRI avec des données de plus haute résolution, spécialement dans des zones caractérisées par une importante hétérogénéité spatiale.



Commandes d'AUTODIFs et fourniture d'un magnétomètre LAMA à la Slovénie



Figure 30 : Le magnétomètre LAMA.

L'IRM, à travers la structure "Vallée Magnétique", commercialise les instruments qui ont été développés dans ses laboratoires. Ainsi une première version d'AUTODIF a été vendue au service météorologique autrichien ZAMG pour être déployé dans son nouvel observatoire souterrain "CONRAD" en Basse-Autriche. D'autres commandes sont en cours avec le Japon (deux unités). Le magnétomètre LAMA rencontre aussi un succès certain auprès de nos collègues : en 2011 la Slovénie en a acquis un pour son nouvel observatoire magnétique de Sinji Vrh (photo). Il a été installé par le personnel de l'IRM qui a également dispensé une formation adéquate pour la production de données définitives du champ géomagnétique.



Figure 31 : L'observatoire magnétique de Sinji Vrh

Vous trouverez plus d'info sur AUTODIF et le magnétomètre LAMA sur <http://www.magneticvalley.be>.



Figure 32 : L'observatoire magnétique de Sinji Vrh

Banc pour mesurer la susceptibilité magnétique des carottes de forage

La susceptibilité magnétique est une propriété physique qui exprime la facilité d'un échantillon de s'aimanter dans un champ magnétique faible. L'étude de susceptibilité magnétique appliquée aux études des sols permet d'interpréter la concentration de particules magnétiques présentes. En effet, lors de la pédogenèse ou formation des sols, des réactions chimiques forment des minéraux magnétiques, se traduisant par des variations de la susceptibilité magnétique.



Figure 33 : Capteur annulaire au centre du support et la carotte de forage à mesurer

Dans les régions industrielles, un autre enrichissement magnétique des sols est causé par des retombées atmosphériques contenant des particules magnétiques accompagnées de polluants comme des métaux lourds ou des hydrocarbures aromatiques polycycliques (des résidus de combustions) y associés. En mesurant la susceptibilité magnétique des carottes de forage, on peut donc étudier le développement d'un sol ou analyser l'étendue de pollution du sol en profondeur.

Pour mesurer la susceptibilité magnétique des carottes de forage, une table de translation automatisée avec un porte échantillon adapté a été développée par l'équipe du laboratoire mécatronique du Centre de Physique du Globe de l'IRM. Le capteur annulaire pour mesurer la susceptibilité est monté au centre d'un support avec un rail de chaque côté. Sur le rail équipé d'un moteur pas à pas, est monté le support de la carotte à mesurer, qui peut se déplacer librement dans le capteur annulaire. L'électronique de commande du moteur pas à pas a été entièrement développée par nos mécatroniciens et les paramètres de déplacement (le pas variable et le sens) sont introduits par un écran tactile.



Figure 34 : Collaborateur du Centre de Physique du Globe de l'IRM faisant des mesures d'une carotte de forage

Le banc peut mesurer la susceptibilité magnétique d'une carotte de longueur variable (maximum 1 m) avec une résolution d'un millimètre.

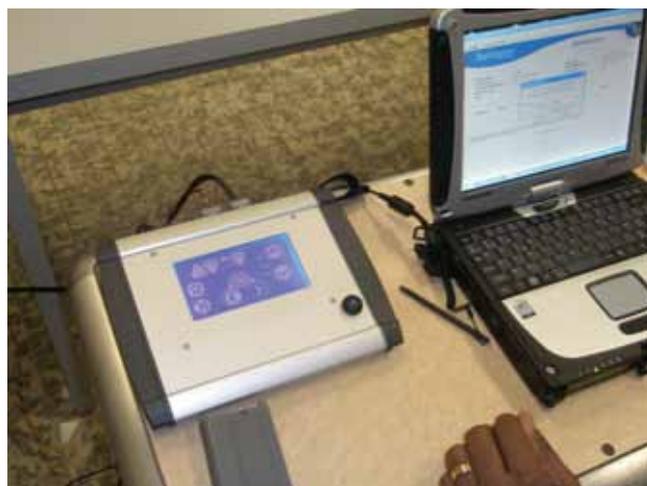


Figure 35 : Electronique de commande du moteur avec écran tactile (à gauche) et ordinateur avec le logiciel de mesure (à droite).

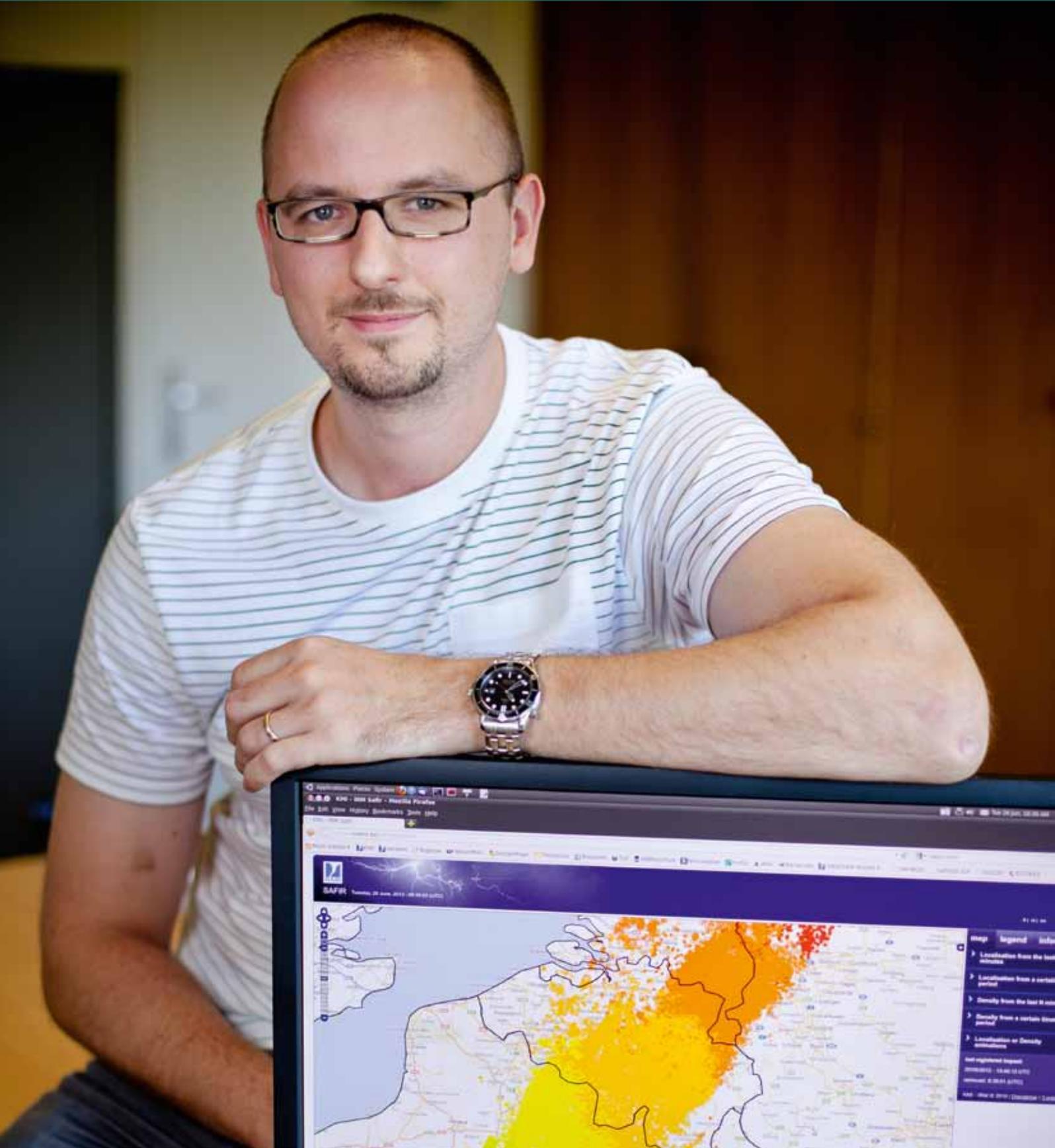
Les données géomagnétiques définitives à Dourbes et Manhay disponibles chaque mois

Les données géomagnétiques définitives à Dourbes et Manhay étaient, jusqu'en 2010, disponibles annuellement à partir de mars de l'année suivante.

A la demande des utilisateurs, principalement des scientifiques travaillant sur des données géomagnétiques mesurées à partir de satellites, nous produisons dorénavant des données définitives de qualité, endéans le mois de leur acquisition, par les capteurs et les mesures absolues de nos observatoires de Dourbes et de Manhay.

L'IRM tient à cœur de répondre ainsi de façon flexible à la demande des utilisateurs de ses données.





la recherche à l'IRM

Thèmes de recherche de la direction opérationnelle: Prévisions du temps et Renseignements climatologiques

La direction opérationnelle Prévisions du temps et Renseignements climatologiques est par vocation une Direction opérationnelle orientée vers la fourniture d'informations et de produits météorologiques et climatologiques à destination du public, des mondes socio-économique et scientifique, ainsi que des institutions et des autorités publics. Elle est en particulier responsable des prévisions générales du temps, des avertissements et des liens avec le Centre de Crise en cas de situations météorologiques à risque pour la sécurité des personnes et des biens, de la confection d'avis pour le Fonds des Calamités, du contrôle de qualité de données d'observations, du traitement des demandes ponctuelles d'informations et du suivi des abonnements réguliers, ainsi que du développement général des activités commerciales de l'IRM.

Dans le cadre de ses responsabilités, la Direction poursuit et développe des projets de recherche à finalités opérationnelles pour améliorer les services rendus, en termes d'innovation, de fiabilité et de délai de fourniture. Parmi les thèmes de recherche propres à la Direction, signalons la mise en place de procédures automatiques de contrôle de qualité des données d'observations et des prévisions météorologiques, ainsi que l'analyse ponctuelle, mais approfondie, de phénomènes météorologiques pouvant mettre en péril la sécurité des personnes et des biens (orages, chutes de neige, tempêtes...).

Le contrôle de qualité des prévisions météorologiques commencé en 2010 a été consolidé. La vérification initialement limitée aux températures maximales et minimales prévues par le Bureau du Temps a ainsi été étendue à d'autres éléments du temps sensible, la priorité ayant été donnée aux vents en surface et aux précipitations. Une comparaison systématique entre les prévisions émises par le Bureau du Temps et celles des modèles numériques disponibles a été mise sur pied afin de s'assurer de la plus-value apportée par les prévisionnistes de l'IRM. Un traitement statistique améliorant la précision

des températures maximales et minimales prévues à court terme par les modèles numériques a été développé et sera prêt pour implémentation opérationnelle en 2012. Un contrôle de qualité des avertissements de phénomènes convectifs sévères sur la région bruxelloise a aussi été effectué en 2011 dans le cadre d'un contrat avec la société responsable de la gestion du parking Flagey en cas de pluies diluviennes.

Le brouillard est un des phénomènes météorologiques potentiellement dangereux. Il peut conduire à des impacts importants sur la circulation routière, aérienne et maritime; sa prévision constitue toutefois un problème délicat en raison de son caractère multifactoriel et de la complexité des processus physiques sous-jacents, conditionnant sa formation, sa densité et sa dissipation. Un projet de recherche visant à améliorer la fiabilité des prévisions du brouillard et des nuages bas a été lancé. Il vise, d'une part, à exploiter les meilleures méthodes de détection du brouillard (par satellite, etc) et, d'autre part, à améliorer son pronostic sur base d'études de cas, de méthodes scientifiques et/ou éventuellement par le biais de la conception (ou de l'amélioration) d'un modèle mathématique de couche limite. En 2011, un premier état des lieux des recherches scientifiques actuelles dans ce domaine a été dressé.

Les développements initiés en 2009 et 2010 dans le domaine de l'énergie solaire ont été poursuivis. En particulier, une base de données de valeurs de rayonnement solaire journalier a été établie sur une grille géo-référencée couvrant l'entièreté du Benelux pour la période 1995-2005. Cette base de données exploite simultanément les mesures effectuées en station et les observations de la première génération des satellites météorologiques européens Meteosat. En parallèle, une méthode similaire basée sur les observations de la seconde génération des satellites Meteosat est en cours de développement et permettra un suivi au jour le jour du potentiel solaire dans le Benelux. Enfin,

...

différentes approches pour estimer le rayonnement solaire incident sur une surface inclinée ont été évaluées. Au terme de ces recherches, l'IRM sera en mesure de fournir des estimations du rayonnement solaire journalier incident sur une surface de toute orientation et inclinaison et pour toute localisation dans le Benelux.

Dans le domaine du climat, les normales climatologiques pour la station d'Uccle ont été recalculées sur une nouvelle période de référence (1981-2010) pour mieux représenter le climat récent. L'adaptation des normales pour l'ensemble des stations du réseau climatologique belge est en cours. D'autre part, financé par le SPF Politique scientifique, un projet de digitalisation des données du réseau climatologique belge sur la période 1881-1950 permettra de mener dans le futur des études sur les climats régionaux en Belgique et sur leur évolution au cours des 130 dernières années.



Climatologie du rayonnement solaire global en Belgique

Une bonne connaissance du rayonnement solaire, tant au niveau de sa valeur climatologique moyenne que de ses caractéristiques dans le temps et l'espace, est essentielle au développement de systèmes d'énergie solaire. Afin d'assurer une information fiable, de longues séries de mesures sont requises. Or, ce genre de séries sont rarement disponibles à proximité des sites envisagés pour l'implantation de tels systèmes énergétiques.

C'est pourquoi des recherches ont été récemment lancées à l'IRM en vue de construire une base de données de valeurs journalières de rayonnement solaire global couvrant spatialement l'entière du Benelux pour la période 1995-2005 (11 années). En 2011, cet objectif a été atteint par l'exploitation conjointe des mesures en stations au sol et d'une base de données de rayonnement solaire estimé à partir des images des satellites Meteosat de première génération (MFG).

situées en Belgique et aux Pays-Bas, et respectivement gérées par l'IRM et l'Institut météorologique national hollandais, le KNMI.

La distribution spatiale du rayonnement solaire global moyen est illustrée dans la figure 36 ci-dessous. En moyenne, le rayonnement solaire moyen s'élève à 2867 Wh/m²/jour sur la Belgique, 2796 Wh/m²/jour sur les Pays-Bas et 2959 Wh/m²/jour sur le Luxembourg. Les valeurs les plus élevées sont observées dans les régions côtières, et en particulier le long de la côte belge. La Lorraine belge et le sud du Grand-Duché de Luxembourg bénéficient également de valeurs de rayonnement solaire relativement élevées. Il est à noter que la tendance globalement positive du Nord vers le Sud sur l'intérieur des terres s'explique en partie par la diminution du rayonnement solaire moyen annuel au sommet de l'atmosphère pour des latitudes plus élevées.

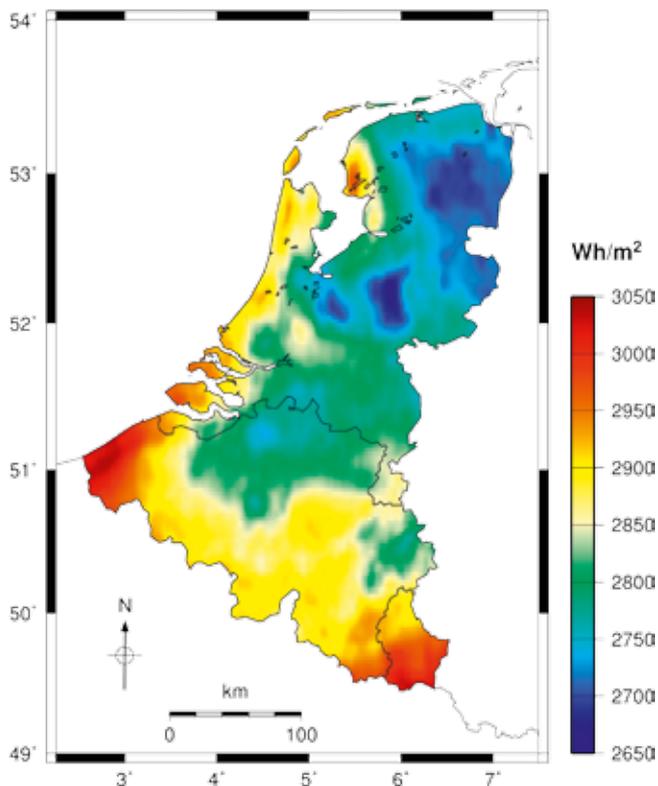


Figure 36 : Distribution spatiale du rayonnement solaire global moyen sur le Benelux pour la période 1995-2005.

Cette approche permet de tirer parti des avantages de chaque type de données, c'est-à-dire, la précision des mesures au sol et la couverture globale des estimations par l'imagerie satellitaire. Les mesures au sol utilisées dans cette étude proviennent de 33 stations automatiques

Validation des données de rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est un paramètre relativement complexe à mesurer et dont les mesures sont soumises à une large gamme d'erreurs. Parmi les erreurs instrumentales, signalons notamment la forte dégradation de la précision des mesures en cas de faibles angles d'incidence du rayonnement solaire sur le capteur. Les instruments présentent aussi généralement une certaine sensibilité à la température, ainsi qu'une légère dépendance à la position du soleil dans le ciel due aux imperfections du dôme de verre présent au sommet du pyranomètre (voir figure 1). Ces instruments nécessitent en plus une maintenance régulière, et en particulier un nettoyage fréquent du dôme de verre. Des problèmes d'ombre peuvent apparaître lorsque l'environnement immédiat n'est pas entretenu. Finalement, la neige et le givre peuvent aussi considérablement perturber les mesures. L'ensemble de ces facteurs expliquent qu'il est essentiel de vérifier la qualité des mesures du rayonnement solaire avant toute exploitation.

La procédure de contrôle de qualité mise en place à l'IRM fonctionne en deux temps. Tout d'abord, les moyennes par période de 10 minutes des mesures effectuées dans 13 stations du réseau automatique de l'IRM sont contrôlées au jour le jour, de manière purement automatique, via des tests physiques et statistiques. Cette étape élimine automatiquement les mesures jugées trop aberrantes et autorise une diffusion rapide de ces données aux utilisateurs. Les valeurs éliminées sont, dans la mesure du possible, remplacées par des estimations basées sur d'autres paramètres mesurés (par exemple, le rayonnement solaire direct peut être estimé à partir des mesures du rayonnement global). Le résultat de ce contrôle automatique est ensuite validé par un opérateur avant archivage définitif dans la base de données.



Figure 37 : Pyranomètre pour la mesure du rayonnement solaire global à Uccle.



Figure 38 : Protocole pour le contrôle qualité (QC) des données de rayonnement solaire à l'IRM.

Thèmes de recherche de la direction opérationnelle : recherche météorologique et climatologique

En 2011, la recherche au sein du département II a réalisé des avancées majeures dans la valorisation des travaux de recherche antérieurs. En effet, elle a permis d'établir un lien entre la recherche fondamentale pratiquée par le département, d'une part, et le développement de nouvelles applications, d'autre part.

La recherche fondamentale du département se concentre sur les systèmes dynamiques. Ces derniers permettent de réaliser des prévisions et constituent la base de la plupart des travaux réalisés dans le domaine des sciences atmosphériques. La complexité du comportement de ces systèmes est leur caractéristique principale. Aussi, une grande partie des travaux de recherche effectués au sein du département II concerne-t-elle les erreurs de modélisation. Une meilleure compréhension du comportement des erreurs de modélisation permet, en effet, d'améliorer le traitement des observations dans les modèles numériques, en vue d'obtenir de meilleures représentations de l'état de l'atmosphère. L'assimilation des données constitue la discipline qui procure la technique permettant d'accomplir cette tâche. De plus, une meilleure compréhension des erreurs de modélisation permet de corriger celles-ci à l'aide de techniques statistiques qui portent le nom d'analyse statistique des variables de sortie des modèles (MOS - Model Output Statistics). Ces techniques sont essentielles dans le domaine de la prévision opérationnelle. Elles améliorent sensiblement les simulations par modèle destinées aux prévisions météorologiques et aux simulations climatiques. Une nouvelle méthode, appelée EVMOS et basée sur des recherches de l'IRM, a été mise au point. En ce qui concerne l'assimilation des données, les derniers résultats de précédents travaux du Prof. Nicolis ont été exploités pour développer une nouvelle méthode d'assimilation des observations à proximité de la surface, telles que la température et l'humidité relative à deux mètres. Cette méthode est connue sous le nom de filtrage de Kalman étendu augmenté de court terme (STAEKF - Short-time Augmented Extended Kalman Filtering).

En ce qui concerne la modélisation numérique atmosphérique, un nouveau schéma, basé sur la méthode de fenêtrage de Boyd, a été mis en œuvre. Celui-ci sert à la formulation mathématique des conditions aux limites latérales du modèle à aire limitée ALADIN. Il s'est révélé être supérieur au schéma de Davies qui nous est familier. Une nouvelle mise en relation de la paramétrisation des grandeurs physiques avec les équations du modèle dynamique, qui conserve

l'énergie (sous la forme de ce que l'on appelle l'enthalpie), a été formulée et introduite dans le modèle ALADIN. En outre, un nouveau schéma a été développé pour les systèmes à convection profonde (ceux qui sont responsables des orages et des précipitations extrêmes). Il a été montré que ce schéma présente un comportement multi-échelle réaliste, ce qui est important lorsqu'il s'agit d'améliorer la résolution du modèle afin de simuler des régimes de précipitations plus réalistes. Cela signifie que le modèle fournira des régimes de précipitations assez cohérents, lorsqu'il fonctionne avec différentes résolutions de modèle. Par exemple, avec des résolutions très élevées, importantes dans le cas des phénomènes à l'origine des événements survenus lors du Pukkelpop, le 18 août 2011, on obtient un comportement plus réaliste des cellules de précipitation. Il a également été montré que la mise en œuvre d'un nouveau schéma de surface, appelé SURFEX, conduit à un comportement plus réaliste du modèle pour une région fortement urbanisée comme la Belgique.

En 2011, il a été établi que le système GLAMEPS - un système de prévision probabiliste qui fournit des estimations d'erreur pour chacune des valeurs météorologiques prévisionnelles - présente des capacités prévisionnelles plus économiques que le système de prévision probabiliste de l'ECMWF. Ce système utilise le modèle ALARO pour calculer une partie substantielle de l'erreur de modélisation, et ce composant ALARO a été mis en œuvre par les chercheurs du département II. En 2011, GLAMEPS a été étendu à un domaine plus large et à une résolution plus élevée. Les modèles probabilistes peuvent être utilisés pour fournir de meilleurs avertissements d'événements extrêmes, comme, par exemple, les inondations. Pour cette dernière application, le département II a réalisé des travaux de recherche portant sur les prévisions probabilistes d'inondations, en recourant au modèle hydrologique de l'IRM, baptisé SCHEME. L'IRM a commencé le développement d'un système d'avertissement précoce, appelé INTeGrated Rmi Alert system (INDRA), qui inclura GLAMEPS et le modèle SCHEME comme éléments constitutifs, mais aussi le système de prévision à très court terme INCA développé dans le département IV.

En résumé, les activités du département contribuent à l'amélioration des prévisions météorologiques grâce à une meilleure utilisation des données atmosphériques dans les modèles, à une amélioration des modèles, à une estimation des erreurs de modélisation et à un meilleur trai-

tement des variables de sortie des modèles.

Le modèle ALARO, qui est une version améliorée du précédent modèle ALADIN, utilisé à l'IRM, a été utilisé pour réaliser des scénarios climatiques régionaux. Il a été démontré que ce modèle se caractérise par une meilleure climatologie des événements extrêmes que celle de la version climatique du modèle ALADIN. En outre, un premier scénario a été calculé pour la Belgique, inspiré du scénario A1B global IPCC, lancé par le modèle CRNM de Météo France sur une nouvelle plate-forme informatique spécialement installée pour réaliser des études de modélisation du climat. Le département a fourni un service climatique sous la forme d'un canevas climatique à la demande des provinces de Flandre-Orientale et Occidentale. Des recherches théoriques supplémentaires ont été réalisées, portant sur la théorie des statistiques des valeurs extrêmes, et conduisant à une estimation des statistiques de précipitations extrêmes sur le territoire de la Belgique.

En 2011, le département a débuté les premiers développements d'un système de gestion de la valorisation des travaux de recherche, appelé VALOR. Celui-ci permettra à l'interface utilisateur de l'IRM de mieux identifier les développements de recherche qui peuvent être utiles au développement futur de produits opérationnels. Deux publications du département ont été éditées en 2011. Une nouvelle édition du livre « Foundations of complex systems » publié par World Scientific, a été préparée pendant l'année 2011 par les professeurs Grégoire Nicolis et Catherine Nicolis, avec des extensions comprenant plusieurs chapitres, et l'ajout de problèmes destinés aux étudiants. En second lieu, en décembre 2011, un numéro spécial a été publié dans un des principaux journaux de la communauté de la complexité, basé sur des contributions présentées lors de la conférence qui s'est tenue en l'honneur du professeur Nicolis, en février 2010, à l'IRM, avec pour titre « The complexity Paradigm: Understanding the dynamics of weather and climate ». 15 contributions ont été publiées, rédigées par Grégoire Nicolis et Stéphane Vannitsem.

Post-traitement et prévisibilité

Un problème central des prévisions météorologiques et des projections climatiques : la présence d'erreurs de modélisation (en conjonction avec les erreurs sur les conditions initiales), qui dégradent progressivement la qualité des prévisions ou des projections. Une partie de l'impact de ces erreurs peut être supprimée en déve-

loppant des méthodes de post-traitement. En 2011, ce problème a été abordé en développant un schéma de post-traitement opérationnel pour des prévisions d'ensemble provenant de l'ECM-WF. Ce schéma était basé sur des développements théoriques réalisés dans le département de recherche au cours des années passées. La meilleure approche qui a été explorée jusqu'ici, appelée analyse statistique des variables de sortie du modèle par la méthode de l'erreur sur la variable (EVMOS - Error-in-Variable Model Output Statistics), permet de corriger les erreurs de modélisation tout en conservant la variabilité correcte des prévisions d'ensemble.

Autre problème important qui a été abordé : la correction des erreurs de modélisation lorsque le système étudié subit une lente modification de certains paramètres, reflétant les variations progressives de forces externes ou internes. Ce problème a été étudié dans le contexte de systèmes très simples présentant certaines caractéristiques essentielles de la dynamique atmosphérique. Dans ce contexte, les biais et les corrections de post-traitement présentent des variations complexes lorsque le système subit des variations des paramètres, reflétant un changement du climat. Cela exclut une simple transposition de ces corrections d'un état du système à un autre (comme habituellement dans le cas des projections climatiques), et accroît encore l'incertitude lors de l'évaluation des amplitudes des changements climatiques.

L'assimilation des données

Pendant l'année 2011, le projet MO/34/017 a été finalisé par le développement d'un schéma d'assimilation des données (dont l'objectif est d'améliorer les conditions initiales des modèles atmosphériques ou climatiques). Celui-ci a été conçu en vue d'estimer l'état et les paramètres dans le contexte d'un modèle de sol utilisé de manière opérationnelle dans le modèle ALADIN. Le schéma d'assimilation des données qui a été développé est un filtre de Kalman étendu, avec une approche augmentée de l'état qui prend en considération l'estimation de plusieurs paramètres, à savoir l'indice de surface foliaire, l'albédo et la résistance stomatique minimale. Ces paramètres influencent fortement le bilan et la répartition énergétique à la surface, qui régulent à leur tour les configurations de circulation et modifient les processus hydrologiques. Ce schéma a été appelé filtre de Kalman étendu augmenté de court terme ST-AEKF (Short-time augmented extended Kalman filter). Le ST-AEKF a été comparé aux procédures d'assimilation utilisées de manière opérationnelle dans le même contexte.

...

Il s'est avéré présenter des performances très encourageantes. Dans le contexte du consortium ALADIN, il est prévu de mettre le schéma en œuvre dans les versions futures du modèle. Ces derniers travaux mettent en valeur les fructueux travaux d'enrichissement mutuel entre les différentes unités de la Direction des recherches météorologiques et climatologiques.

Le projet Action 1 MO/34/017 financé par BELS-PO a connu un véritable succès en fournissant une nouvelle approche du problème de la modélisation de l'impact des erreurs de modélisation dans le contexte de l'assimilation des données, en s'inspirant de théories fondamentales basées sur des outils développés dans le contexte de la théorie du chaos et de la dynamique non linéaire. Il a conduit à la publication de plus de 10 articles dans les principaux journaux de la science atmosphérique et des communautés de physiciens.

Scénarios climatiques

En dehors de la valorisation et de la conservation des liens avec le monde académique, les activités de la direction opérationnelle « recherche » ont également été élargies en ce qui concerne les domaines de recherche. Alors que la modélisation appliquée du climat entraînait peu en considération jadis, il y a maintenant eu une première tentative de développement d'un modèle climatique régional (basé sur le scénario A1B IPCC). Le modèle climatique régional est actuellement installé sur le système informatique, ce qui prépare la voie au développement de services plus orientés climat. Une application des modèles climatiques régionaux est l'évaluation de l'impact du changement climatique sur la société, en fonction changements qui découlent des projections des modèles climatiques mondiaux rassemblés par l'IPCC. Une première étude a été réalisée, et a indiqué l'intérêt d'utiliser une résolution supérieure, dans le cadre de la simulation de vagues de chaleur à la fin du XXe siècle. Nous avons également établi un atlas de cartes climatiques, à la demande des provinces de Flandre orientale et de Flandre occidentale. Cet atlas donne des informations sur les changements climatiques attendus au cours du prochain siècle. À l'avenir, des études d'impact climatique de ce genre se baseront certainement partiellement sur le résultat des projections climatiques régionales de l'IRM. Une recherche concernant les extrêmes météorologiques comme le vent (Van de Vijver et Delcloo, 2011), la température et les précipitations a également été réalisée.

L'atlas des effets climatiques pour la Flandre orientale et la Flandre occidentale

Le projet soutenu par l'Europe « Neem de mensen mee! » veut inviter les habitants de Flandre orientale, de Flandre occidentale et de Zélande à développer des initiatives concrètes afin de limiter le changement climatique, ou les conséquences de celui-ci. Ils deviennent « ambassadeurs citoyens » dans la lutte contre le changement climatique, qui est également d'actualité aux Pays-Bas.

Le problème du climat nécessite des mesures d'adaptation ciblées. Le projet est une collaboration de la région frontalière Flandre-Pays-Bas : les provinces de Flandre occidentale et de Flandre orientale et la Zélande.

La première étape de ce projet est la mise sur pied d'un atlas des effets climatiques transfron-

taliers associés aux changements climatiques prévus et des effets de ceux-ci. En 2009, le bureau néerlandais de conseil et d'ingénieurs DHV a établi, en collaboration avec le KNMI et Alterra, l'atlas des effets climatiques pour la Zélande. En 2011, l'atlas des effets climatiques a également été établi par l'intermédiaire de l'IRM pour les provinces de Flandre orientale et de Flandre occidentale.

Dans ce recueil, les effets primaires et secondaires du changement climatique sont mis en image. Pour la détermination des effets primaires, les scénarios néerlandais KNMI'06 ont été utilisés. P. Baguis a appliqué ces scénarios sur base des données de mesures flamandes comme les précipitations, la température, la montée du niveau de la mer et le vent. Un exemple en est représenté à la Figure 39. Les effets secondaires (excédent d'eau, pénurie d'eau, salinisation, etc.) et leurs conséquences sur la ville, l'agriculture et la nature, ont été décrits par le service pédologique de Belgique.

Sur cette base, une brochure et un court documentaire ont été réalisés, qui peuvent inspirer les habitants à développer des initiatives.

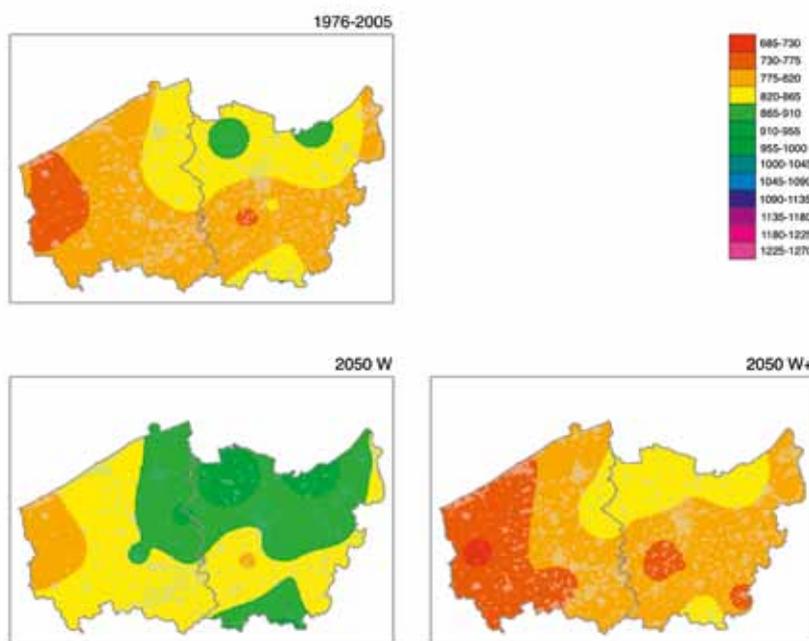


Figure 39 : Cartes présentant les précipitations moyennes par an (en mm) dans le climat actuel (au-dessus ; 1976-2005) et aux alentours de 2050 pour le scénario W- (dans le coin inférieur gauche) et le scénario W+ (dans le coin supérieur droit).

Évaluation de l'effet d'Ilot de Chaleur Urbain (ICO) à Uccle

À l'heure actuelle, l'ICO est estimé comme la différence entre la température du sol à Uccle et celle à Brussegem, à la campagne. La procédure d'estimation habituelle avec des stations de mesure est plus précise, mais elle se focalise sur un endroit unique : Uccle. Il est par conséquent souhaitable d'obtenir des estimations pour l'ensemble de la Région de Bruxelles-Capitale. Dans [Hamdi & Van de Vyver; 2011], des données satellites de l'urbanisation bruxelloise ont été utilisées et ont été intégrées dans un modèle de surface du sol pour obtenir des estimations ICO sur toute la région. Une étude comparative des valeurs ICO à Uccle obtenues entre d'une part des observations au niveau du sol et d'autre part les nouvelles valeurs modélisées nous apprend que les deux approches sont compatibles pour Uccle.

Les observations et les simulations du modèle montrent un réchauffement urbain significatif au cours des mois d'été pendant la période allant de 1960 à 2000, voir la Figure 40. L'ICO estimé relatif à la température minimale quotidienne augmente avec un taux moyen de 0,15 °C par décennie. Pour la température maximale quotidienne, nous trouvons une plus petite croissance de 0,06°C par décennie.

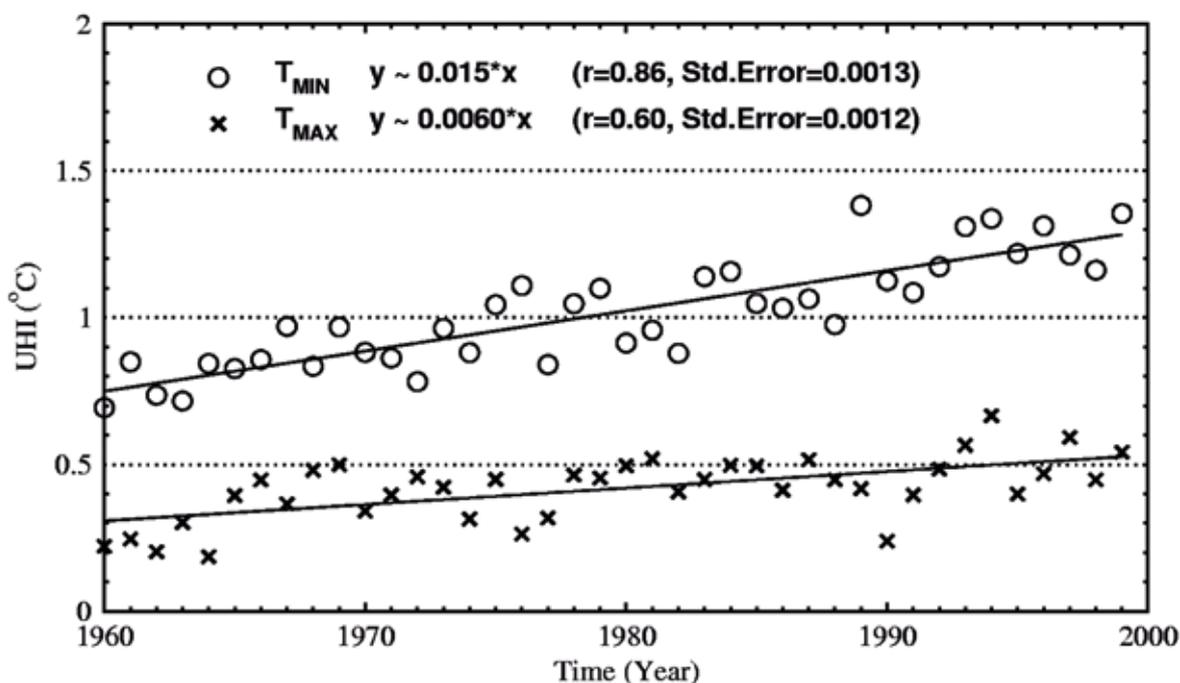


Figure 40 : L'effet ICO (UHI en anglais) estival moyen relatif à la température minimale/maximale quotidienne au sol. L'ICO a été obtenu comme différence entre les simulations de modèles urbains et campagnards.

Validation H-SAF

L'IRM est impliqué dans le Satellite Application Facility on Support to Operational Hydrology and Water Management (H-SAF), un projet EUMETSAT visant à développer et tester les produits basés sur les données obtenues à partir des satellites météorologiques opérationnels et en rapport avec les précipitations, l'humidité du sol et la couverture de neige, des variables clés pour le cycle hydrologique. L'IRM prend part au programme de validation et au cours de l'année 2011, une partie de l'effort était consacrée à harmoniser la méthodologie utilisée par les différents instituts participants pour couvrir la variété des climats en Europe. Un exemple d'un produit de précipitation comparé à l'image est présenté à la Figure 41.

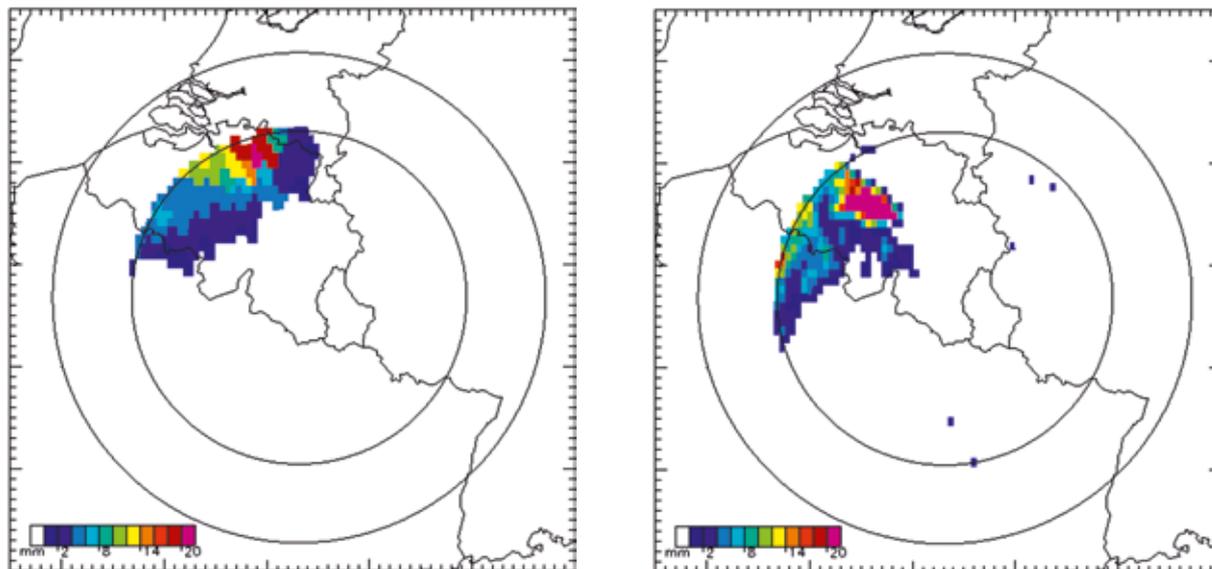


Figure 41 : Exemple de précipitations à partir du satellite (gauche) et du radar (droite) le 26 mai 2009 à 01 UTC. Le satellite est un produit obtenu par une procédure comprenant le morphing entre des images micro-ondes à partir de satellites polaires et prises en charge par des images infrarouges à partir du satellite géostationnaire. Les données radar ont été agrandies pour atteindre la résolution du produit satellite à des fins de comparaison.

Vitesses de vent extrêmes en Belgique

Les distributions généralisées de Pareto (GPD en anglais) ont été plusieurs fois appliquées de par le passé pour modéliser les pointes de vent extrêmes. C'est la distribution cumulative de ces mesures qui dépassent une valeur limite élevée. Il y a en moyenne cinq dépassements par an. Toutefois, les mesures des vitesses de vent ne contiennent pas de décimales suffisantes. La perte de précision entraîne une importante variation du paramètre de forme lorsque nous utilisons des estimateurs classiques pour les paramètres GPD, ce qui complique considérablement l'analyse des valeurs extrêmes. Dans [Van de Vyver&Delcloo; 2011], nous avons introduit des estimateurs plus précis pour le paramètre de forme qui fournissent l'estimation la plus probable. Ensuite, les périodes de retour des vitesses extrêmes de vent sont déterminées dans 5 stations réparties sur le territoire belge. Nous en donnons un bref aperçu dans le tableau suivant :

Tableau de vitesses de vent extrêmes (m/s) pour quelques périodes données.

Période de retour (en année)	10	20	50	100
Gosselies	34	35.8	38.1	39.8
Kleine Brogel	32	33.8	36	37.6
Middelkerke	37.5	39.3	41.6	43.2
Spa	35.5	37.3	39.5	41.1
Zaventem	35.2	36.9	39.1	40.5

Dans le même ouvrage, nous avons également réalisé un bref aperçu de la climatologie générale du vent pour la Belgique. Nous avons ainsi abordé la direction du vent et la vitesse moyenne du vent, comme par exemple la Figure 42.

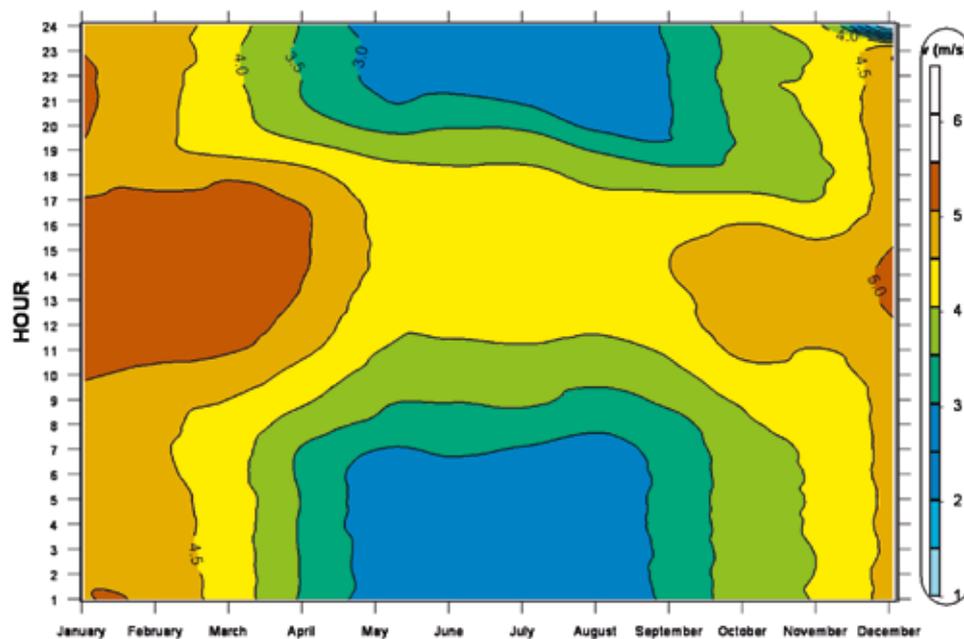


Figure 42 : Vitesse moyenne du vent par heure (en m/s), par mois, pour Zaventem (période : 01/01/1985–31/12/2004).

Thèmes de recherche de la direction opérationnelle: L'IRM à Dourbes

Une des tâches importantes du département III - renforcé par la structure Magnetic Valley - est l'observation de phénomènes et variables géophysiques. Les capteurs jouent donc un rôle de premier plan dans ses activités de recherche. Ces capteurs peuvent être développés au sein du département (Theodolite WIDIF, Robot AUTODIF, Variomètre LAMA, banc de mesure Magcore). Parfois ils peuvent être acquis sur le marché comme la nouvelle ionosonde digitale Lowell-4D.

Les données acquises par ces capteurs sont validées, traitées et utilisées par les chercheurs du département. Nous travaillons entre autres sur une nouvelle carte de déclinaison magnétique en haute résolution et sur des procédés pour rendre les données magnétiques définitives disponibles plus rapidement. Notre façon de caractériser l'état de l'ionosphère en temps réel a été primée en 2011 par une récompense internationale.

Le service de magnétisme environnemental a réalisé plusieurs expériences sur l'aimantation dans les dépôts et sédiments. De même, des travaux sur la datation de structures archéologiques sont poursuivis par nos spécialistes en archéomagnétisme.

Les instruments produits à l'IRM ainsi que les services sont commercialisés et mis à la disposition des collègues d'autres Instituts dans le monde entier, au même titre que les services fournis au secteur socioéconomique belge.

Le département III a produit en 2011 plus de 20 publications et conférences sur ces réalisations.

La nouvelle ionosonde numérique – au service de la recherche ionosphérique

L'ionosphère est la partie de l'atmosphère, à partir d'environ 80 km d'altitude, qui est ionisée par le rayonnement du soleil. À partir de cette altitude, l'ionosphère est tellement rare que les électrons libres peuvent exister pendant quelque temps et que le nombre d'électrons (la densité en électrons) est suffisamment important pour avoir de l'influence sur la reproduction des ondes radio et sur la radiocommunication. Étant donné que la densité et la composition de l'ionosphère de la terre varient, en particulier pendant les tempêtes géomagnétiques, elles représentent un obstacle pour le fonctionnement des technologies qui utilisent les ondes radio. Il est donc très important de contrôler en permanence l'ionosphère, une mission que l'IRM assume depuis 1957, lorsque la première ionosonde a été installée en Belgique.

En avril 2011, une nouvelle ionosonde numérique, la Lowell Digisonde-4D (Figure 43), a été installée au centre géophysique de l'IRM à Dourbes (<http://dourbes.meteo.be/>). Un nouvel émetteur et des nouvelles antennes de réception ont également été installés pour la digisonde, qui ont substantiellement amélioré la qualité des mesures. L'installation et l'étalonnage se sont faits rapidement et depuis lors, l'ionosonde fonctionne avec une résolution temporelle élevée avec une mesure toutes les cinq minutes.

La Digisonde-4D est un appareil à la pointe de l'art qui utilise la technologie radar pour capter à distance afin de contrôler avec une grande précision l'état de l'ionosphère au-dessus de la station de mesure dans le centre géophysique. L'ionosonde a différentes fonctionnalités, soutenues par un système de commande entièrement automatique et une banque de données. De cette manière, nous obtenons des mesures d'une très grande qualité, qui sont immédiatement distribuées par l'intermédiaire de la banque de données internationale du réseau d'ionosondes numériques (DIDBase) et par l'intermédiaire du site Web <http://digisonde.oma.be/>.

La Figure 44 présente un ionogramme typique et une carte du ciel mesurée avec la digisonde de Dourbes. Un ionogramme est l'enregistrement d'un moment de l'état de l'ionosphère au-dessus de la station de mesure. Cela montre le lien entre la fréquence d'une onde radio émise et la hauteur virtuelle à laquelle le signal est reproduit par l'ionosphère. La carte du ciel donne

une image détaillée de l'espace au-dessus de la digisonde et présente l'endroit des points dans l'ionosphère où l'onde radio est reproduite en direction de la digisonde. La couleur indique la fréquence du Doppler des échos provenant des différents points. Les flèches blanches indiquent le composant de vitesse horizontale calculé de l'ionosphère.

Depuis quelque temps, les ionosondes numériques sont un instrument important qui contribue à la recherche moderne dans le domaine de l'ionosphère et de la science spatiale. La qualité supérieure des données de la digisonde garantit que l'IRM disposera ces prochaines années d'un excellent instrument pour les progrès ultérieurs dans la recherche ionosphérique et le développement des services.



Figure 43 : La Digisonde-4D (à gauche), l'antenne émettrice (au milieu) et l'antenne de réception (à droite).

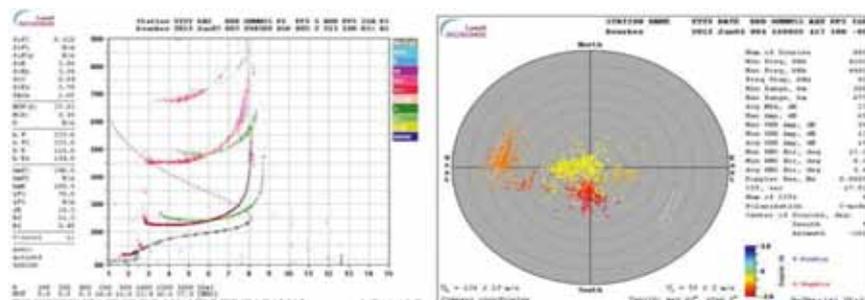


Figure 44 : Ionogramme de la digisonde (à gauche) et carte du ciel (à droite).

Caractérisation de l'ionosphère en temps réel à l'aide d'ionosondes digitales et de mesures GPS

L'accessibilité immédiate à la base de données réunissant des mesures d'une haute qualité obtenues par l'ionosonde de l'IRM installée à Dourbes a permis aux scientifiques de l'IRM de réaliser des travaux de recherche et de développement de grande valeur. Ainsi, le département Sondages Ionosphériques (<http://ionosphere.meteo.be/>), dirigé par le Dr. Stankov, a créé un système fondé sur les données de l'ionosonde et du récepteur GNSS à Dourbes. Appelé LIEDR (Local Ionospheric Electron Density profile Reconstruction), ce système réunit et traite les informations entrantes, calcule le profil de la densité des électrons pour la hauteur totale de l'ionosphère et produit ensuite un graphique dans un profilogramme. LIEDR a été conçu pour offrir un service en temps réel et pour fournir un historique de données et des graphiques à des fins scientifiques et de développement du système.

La communauté scientifique internationale a beaucoup apprécié ce travail. Une publication sur ces développements a été récompensée par le prix du meilleur article (Figure 45) lors du prestigieux International Ionospheric Effects Symposium (mai 2011, Washington, USA).

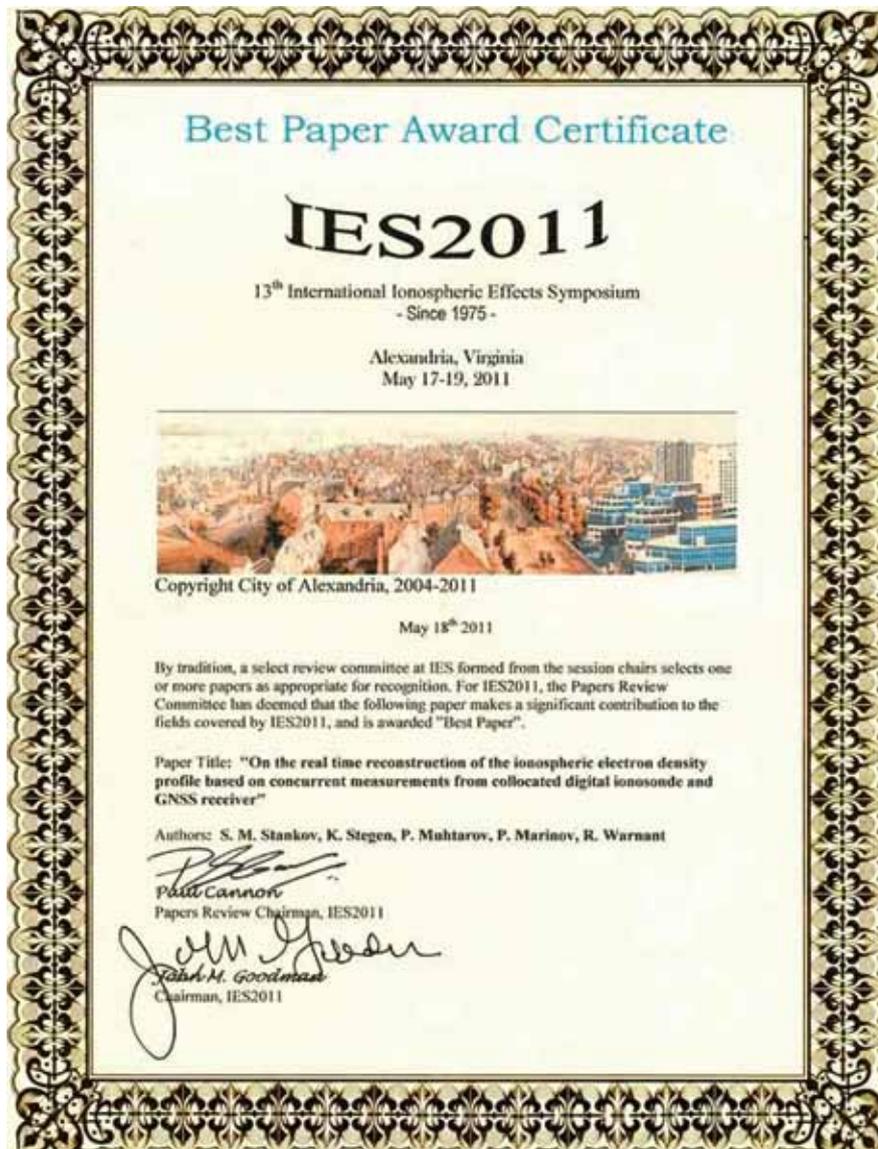
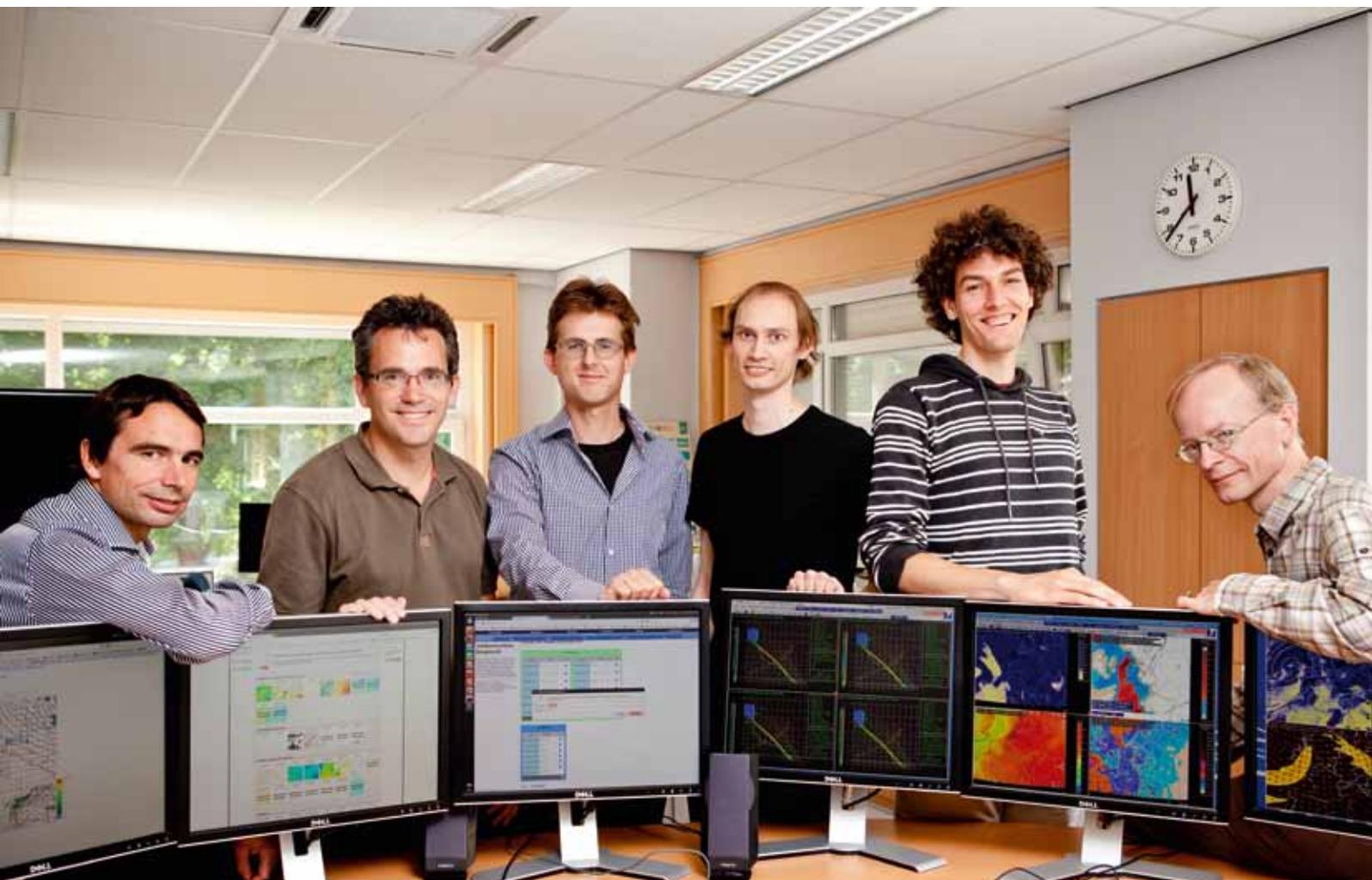


Figure 45 : IES-2011 Best Paper Award-certificaat

R&D en instrumentation : le WIDIF

Les progrès réalisés en instrumentation ne relèvent pas toujours d'une augmentation de la précision de mesure. Le confort d'utilisation, la portabilité, la simplification de la tâche de mesure sont également des objectifs visés dans la R&D relative à l'instrumentation.

Le WIDIF (Wireless Dflux) est une innovation dans le domaine de la métrologie géomagnétique qui se classe dans ces catégories de progrès : l'utilisation des dernières techniques de miniaturisation des capteurs et calculateurs électroniques a permis de miniaturiser l'ensemble à tel point qu'il peut être embarqué sur un télescope de théodolite optique classique. Le magnétomètre absolu résultant présente un encombrement extrêmement réduit et ne nécessite plus de console électronique séparée, ce qui augmente considérablement le confort d'utilisation et de transport, surtout pour les mesures de terrain.



Convention IRM-DG04 SPW : datation des structures archéologiques

En 2011, une convention a été signée entre le Centre de Physique du Globe (CPG) de l'IRM et la Direction d'Archéologie (DGO4) du Service Public Wallonie (SPW), dont l'objectif est d'assurer la continuité des prélèvements, des études et des datations archéomagnétiques des structures brûlées et des terres cuites mises au jour dans les sites archéologiques en Wallonie.

La datation archéomagnétique repose, d'une part, sur nos connaissances de la variation séculaire de l'intensité et de la direction du champ magnétique terrestre dans le passé, et d'autre part, sur la propriété que possèdent les roches et les terres d'acquérir au cours de leur refroidissement après chauffage, une aimantation dite thermorémanente, parallèle et proportionnelle au champ magnétique agissant. Suite à la découverte exceptionnelle d'un ensemble de très grands fours de tuiliers sur la Grande Place de Nivelles près de la collégiale Sainte-Gertrude, une étude archéomagnétique de deux fours fouillés par le Service de l'Archéologie de la Direction extérieure du Brabant Wallon a été entreprise. Au moment de la fouille, l'âge des fours était inconnu.

Nous exposons ici un exemple de datation d'un de ces fours sur base de la direction du champ magnétique enregistré.

Etant donné que la direction du champ magnétique, définie par sa déclinaison (D) et son inclinaison (I), a changé respectivement d'environ 50° en D et d'environ 25° en I pendant les trois derniers millénaires dans nos régions, une datation basée sur ces deux éléments exige le prélèvement d'échantillons de terre cuite orientés avec précision par rapport à un référentiel fixe. Avant extraction, les échantillons ont été orientés par rapport au plan horizontal local et au nord géographique avec haute précision.

Une des tâches principales d'une analyse archéomagnétique est d'isoler et d'identifier les différentes composantes de l'aimantation rémanente présentes dans l'échantillon : la thermorémanence acquise pendant la cuisson et les aimantations rémanentes induites après abandon du four. Ceci se fait couramment par des désaimantations par étape dans des champs magnétiques alternatifs croissants ou des désaimantations thermiques par chauffage à des températures croissantes, suivi d'un refroidissement en champ magnétique nul. Quelques échantillons représentatifs du four ont été soumis à des champs alternatifs croissants par étape. Les variations directionnelles

de l'aimantation rémanente pendant ces traitements indiquent la présence éventuelle de plusieurs composantes d'aimantation rémanente.

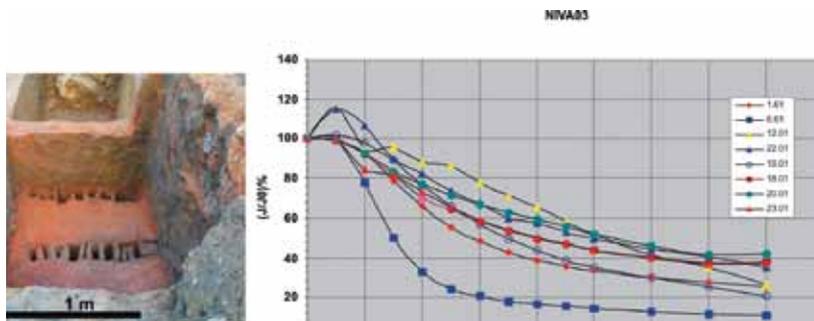


Figure 46 : Four de tuilier (à gauche) et graphique de désaimantations par champs alternatif de 8 échantillons (à droite). Rapport de l'aimantation résiduelle J après chaque étape de désaimantation sur l'aimantation initiale J_0 , en pourcentage, en fonction du champ magnétique alternatif appliqué.

Les tests par désaimantation en champs alternatifs des 25 échantillons orientés, prélevés dans les parois du four, montrent qu'ils possèdent une seule aimantation rémanente caractéristique stable avec des directions cohérentes, indiquant qu'ils ont été chauffés à des hautes températures.

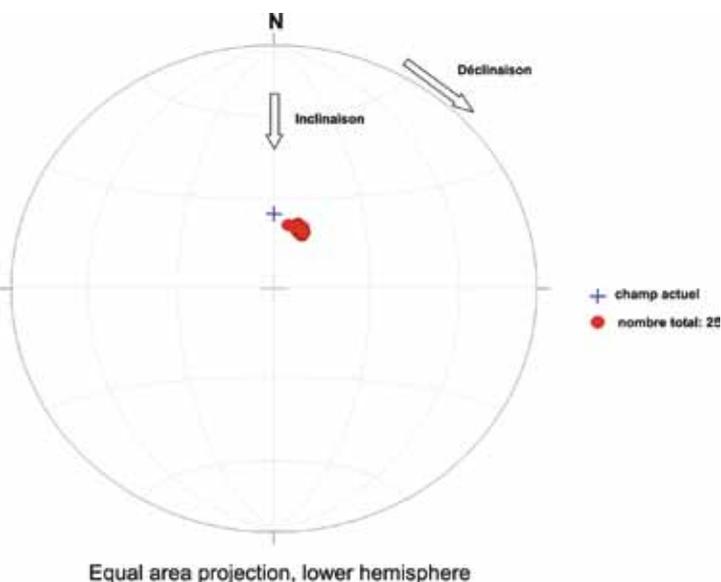


Figure 47 : Projection à égale surface des directions individuelles de la ChRM de chaque échantillon.

La direction moyenne de l'aimantation rémanente caractéristique (ChRM) stable du four a été obtenue après calcul de la direction moyenne de tous les échantillons en appliquant la statistique des vecteurs de Fisher. Les directions individuelles de la ChRM des échantillons sont très groupées. La confiance de la direction moyenne est très élevée : il y a 95% de proba-

bilité de trouver la direction réelle dans un cône avec une demi-ouverture de $0,6^\circ$ (Figure 48).

Pour la datation archéomagnétique du four, nous nous sommes référés aux courbes standards de la variation séculaire de la direction du champ géomagnétique pour les trois derniers millénaires de la France avec Paris comme localité de référence (Figure 47). Ce choix se justifie étant donné que la variation séculaire du champ varie peu dans un rayon de 1000Km et que la courbe de référence de Paris est en partie basée sur des terres cuites provenant de sites archéologiques en Belgique. L'âge archéomagnétique de la dernière mise au feu du four de tuilier de Nivelles se situe à la fin du Haut Moyen Âge et est de $938 (\pm 32)$ A.D. avec un niveau de probabilité de 95%. Il s'agit de l'âge archéomagnétique le plus précis que nous avons obtenu jusqu'à présent. Cet âge soutient l'hypothèse formulée par les archéologues, que les fours ont probablement servi à la production des tuiles et des couvre tuiles pour l'abbaye de Nivelles et d'autres édifices religieux.

Pour augmenter la fiabilité et la précision des datations archéomagnétiques, nous envisagerons dans un futur proche d'établir une courbe de la variation séculaire pour les trois derniers millénaires pour la Belgique avec Uccle comme localité de référence. Cette courbe regroupera toutes les données de référence disponibles dans un rayon de 500 km autour d'Uccle.

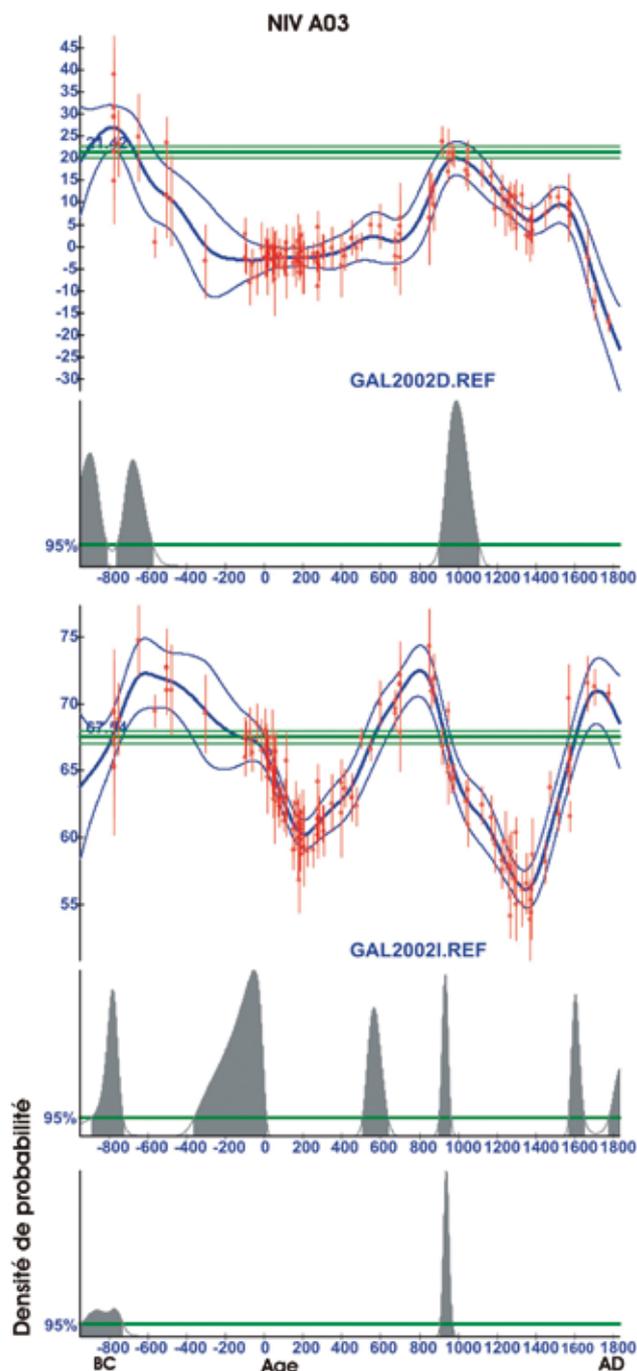


Figure 48 : Densités de probabilité de datation. De haut en bas: en se basant sur la déclinaison D, l'inclinaison I et la direction totale (D et I combinés).

Expériences de redéposition des sédiments marins

Durant des centaines de milliers d'années, des poussières fines, riches en minéraux, avec entre autres des particules magnétiques, se sont déposées au fond des océans formant ainsi des épaisses couches de sédiment. Au moment de leur dépôt, les minéraux magnétiques s'orientent selon la direction du champ magnétique et enregistrent ainsi toutes les informations du champ ambiant, telles que la déclinaison, l'inclinaison et l'intensité du champ.

Afin de mieux comprendre la variation du champ magnétique terrestre durant les différentes périodes géologiques, des études magnétiques ont été faites sur des carottes forées dans le fond océanique. Les analyses de l'aimantation rémanente naturelle (NRM) permettent de reconstituer l'évolution de l'intensité du champ, à condition que la NRM soit proportionnelle et parallèle au champ.

Dans l'eau, l'orientation des particules magnétiques dépend de l'intensité et de la direction du champ magnétique ambiant mais aussi de la viscosité de l'eau. Sachant que cette dernière est négligeable, il est fort probable que les particules soient orientées dans la direction du champ. On espère, que l'aimantation augmente avec l'intensité du champ. Si toutes les grains sont orientés parallèle au champ, l'aimantation ne augmente plus et l'état de saturation complète d'aimantation est atteint.

La preuve expérimentale de cette théorie est difficile à réaliser sur des particules en suspension. Pour résoudre ce problème, une gélatine a été utilisée pour que les grains restent en suspension, mélangée à l'eau salée et au sédiment marin. L'ensemble a été remué dans une bobine placée dans une étuve à 3°C, puis soumis à des champs magnétiques différents. Une courbe d'acquisition de l'aimantation dite « aimantation rémanente détritique en suspension » (DRM_{sus}) a été établie (voir figure 49). Cette courbe montre que pour des champs faibles, l'intensité de l'aimantation rémanente croît avec l'intensité du champ appliqué, alors que pour des champs forts, l'aimantation augmente au ralenti, on parle

alors de saturation. L'expérience a été répétée sans gélatine afin de comparer les courbes d'acquisition de l'aimantation rémanente avec et sans gélatine. La figure 50 montre que l'intensité de l'aimantation rémanente sans gélatine est nettement inférieure, comparée à celle avec la gélatine et que la courbe reste quasi linéaire.

L'expérience sans gélatine correspond plutôt à la nature car les carottes prises au fond de la mer ne contiennent pas du matériel suspendu. Elle montre que la condition nécessaire pour pouvoir reconstituer l'évolution de l'intensité du champ magnétique, c'est-à-dire la proportionnalité entre le champ et l'aimantation, est bien satisfaite pour la gamme des intensités du champ magnétique terrestre.

Évidemment ce modèle ne s'applique pas aux particules magnétiques déposées, car leur orientation par rapport au champ est freinée à cause des frottements entre elles, et à cause de leur arrangement; leur aimantation rémanente sera donc plus faible comparée à celle des particules en suspension.

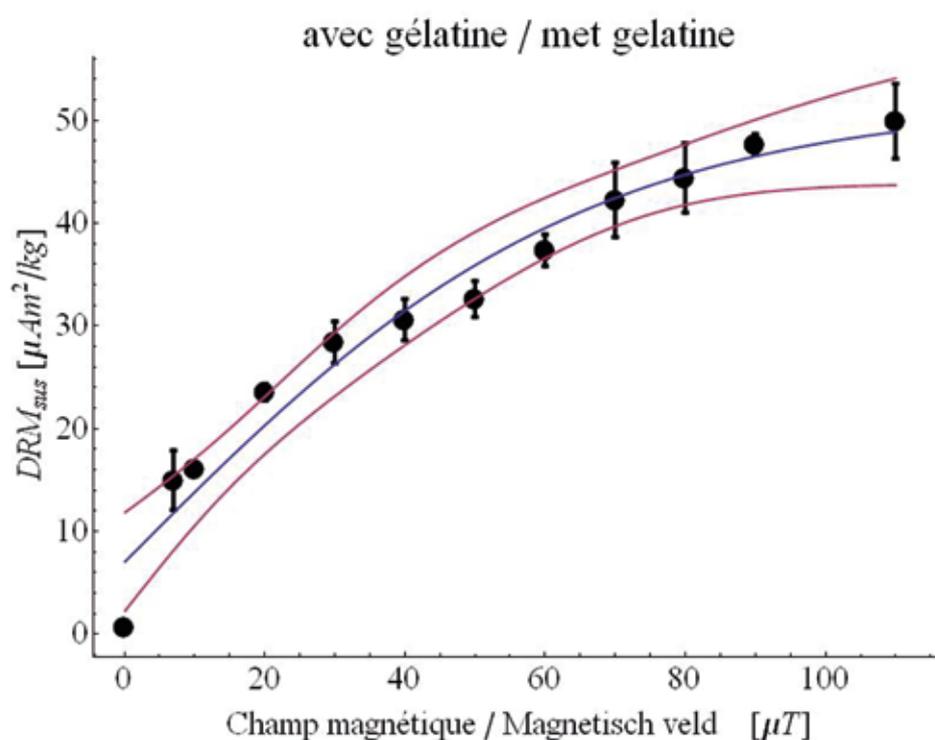


Figure 49 : Dépendance de l'aimantation rémanente détritique en suspension DRM_{sus} en fonction du champ magnétique en utilisant de la gélatine pour que les grains restent en suspension.

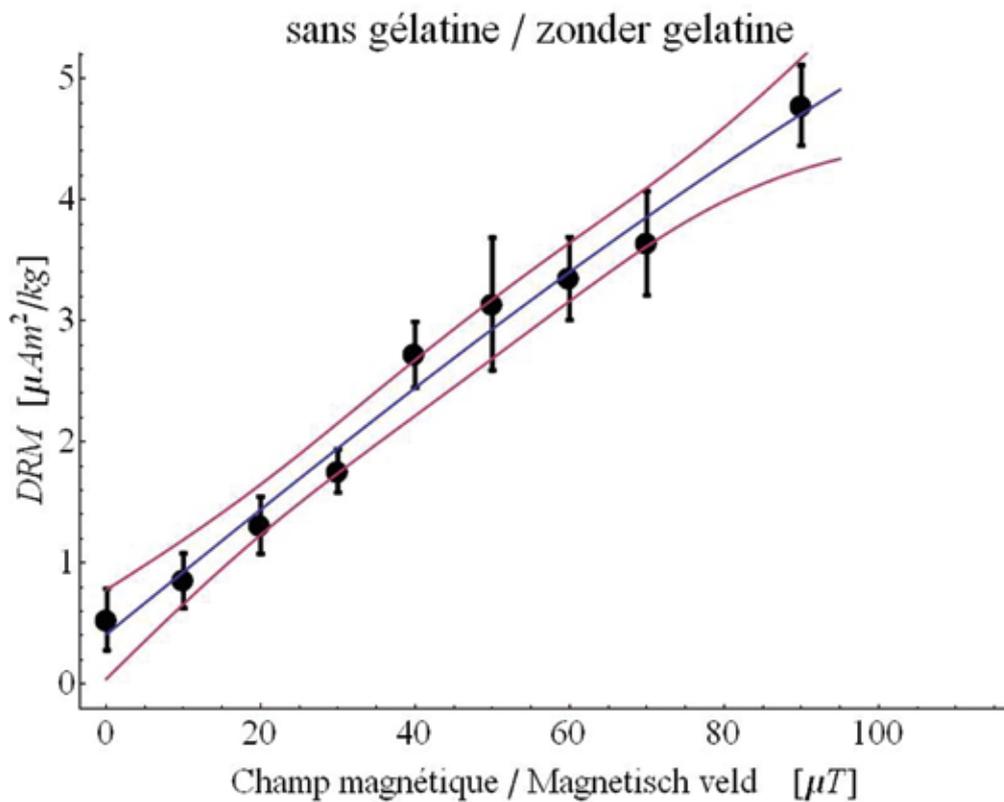


Figure 50 : Dépendance de l'aimantation rémanente détritique (DRM) sans utiliser de gélatine. Les points noirs avec leurs marges d'erreur représentent les mesures et la ligne bleue le résultat d'une analyse de régression non-linéaire avec sa bande d'erreur (mauve). La gamme des intensités du champ magnétique terrestre à la surface de la terre varie généralement entre 20 et 90 μT .

Aspects de l'acquisition de l'aimantation rémanente naturelle dans les dépôts loëss/paléosol en Chine

Le loëss est un sédiment éolien qui contient surtout du quartz, du feldspath, de la calcite et des traces de minéraux magnétiques. L'abrasion glaciaire due aux glaciers et les différences de températures dans les déserts arides produisent des poussières fines qui sont transportées par le vent. Après leur dépôt sur les plateaux continentaux, ces poussières sont compactées sous l'influence de l'eau et de la pression des couches supérieures. Ce sédiment compacté s'appelle « loëss » et il se forme principalement lors de périodes glaciaires. Les minéraux magnétiques dans le loëss s'orientent par rapport au champ ambiant et acquièrent une aimantation rémanente naturelle pendant la compaction.

Pendant les périodes interglaciaires, c'est-à-dire quand le climat est plus humide et plus chaud, le loëss est exposé à d'autres conditions environnementales. Ces changements de conditions climatiques provoquent la pédogénèse, ou formation des sols, et de nouveaux minéraux magnétiques se forment. Ces nouveaux minéraux magnétiques acquièrent aussi une aimantation rémanente naturelle qui se superpose à celle du loëss. Dans un paléosol on trouve donc deux composantes d'aimantation rémanente naturelle acquises à des périodes différentes, une liée aux minéraux primaires et l'autre liée à la pédogénèse.

Ces deux composantes sont difficiles à distinguer, car leurs directions d'aimantation, c'est-à-dire, les déclinaisons et les inclinaisons, sont souvent similaires. Si le champ magnétique s'inverse pendant la pédogénèse (le champ magnétique peut s'inverser pendant une période interglaciaire), dans ce cas, on est dans un stade de formation du sol et les minéraux magnétiques primaires conservent en partie la direction du champ avant de s'inverser. Par contre, ceux liés à la pédogénèse acquièrent une nouvelle direction.

Nous avons étudié un tel cas pendant une inversion du champ magnétique terrestre il y a 1.78 millions d'années. L'étude a eu pour but de vérifier si l'inversion du champ magnétique a été correctement enregistrée par l'aimantation rémanente naturelle. A l'aide d'un modèle mathématique (produit de convolution), nous avons simulé l'aimantation naturelle.

Les résultats montrent que l'aimantation naturelle a été enregistrée avec retard et qu'elle a été fortement influencée par les variations lithologiques de types de minéraux. Ce retard apparaît car les minéraux magnétiques ne sont pas ins-

tantanément fixés mécaniquement, et il dépend entre autre du taux de sédimentation qui varie selon les conditions climatiques.

Donc, les dépôts du loëss / paléosol ne sont pas le matériel idéal pour analyser en détail le déroulement d'une inversion du champ magnétique.

Il est important d'étudier le processus d'inversion du champ magnétique car la nature de cette inversion n'est pas encore bien connue. Les enregistrements de l'aimantation naturelle dans des dépôts sédimentaires représentent le seul moyen d'observer ces inversions. Malheureusement, ces enregistrements ne sont pas toujours dénués d'influences environnementales, ce qu'a démontré notre étude.

Thèmes de recherche de la direction opérationnelle: Observations

Le département IV « Observations » est responsable des observations satellitaires, du radar de précipitations, de la détection des éclairs, des sondages par ballon des profils atmosphériques, des observations de l'ozone et des aérosols et des stations météorologiques automatiques. En corollaire à ce vaste éventail d'observations, un important travail de recherche est mené dans les domaines suivants :

- mise au point et/ou installation de nouveaux instruments ;
- déduction de produits finaux à partir des observations brutes des instruments existants, contrôle de la qualité et/ou amélioration de ces produits ;
- développement de nouveaux produits et/ou de nouvelles applications et/ou de nouvelles analyses scientifiques.

La réalisation concrète de ces objectifs diffère considérablement en fonction du type d'observation.

Mesure de l'irradiance solaire

La mesure de l'irradiance solaire, tant à partir de la Terre qu'à partir de l'espace, est, depuis longtemps, une spécialité de l'IRM. Nous figurons parmi les groupes de tête sur le plan international, les mesures à partir de l'espace. La principale question qui nous occupe est celle de savoir si le soleil peut exercer une influence significative sur les changements climatiques terrestres. Grâce à notre instrument Diarad/Virgo, nous avons mesuré un cycle solaire complet de onze ans et nous avons pu démontrer qu'aucun autre facteur que le champ magnétique de surface du Soleil n'influence la variation de l'irradiance solaire sur cette 'courte' période. Grâce à notre instrument Sova-Picard qui vient d'être lancé, nous espérons en apprendre plus sur les variations possibles de l'irradiance solaire à plus long terme entre ce que l'on appelle la petite période glaciaire entre plus ou moins 1700 et nos jours.

Mesure du bilan énergétique de la Terre

La Terre subit un réchauffement relatif parce qu'elle reçoit l'énergie du soleil et, d'autre part, elle se refroidit à cause de la perte d'énergie qu'elle irradie dans l'espace. La différence entre ces 2 flux d'énergie est ce que l'on appelle le bilan énergétique de la Terre, domaine dans lequel l'IRM est spécialisé.

Dans ce cadre, nous nous engageons à l'échelon international :

1. Nous sommes responsables du traitement

des mesures de l'instrument Geostationary Earth Radiation Budget (GERB) embarqué à bord de Meteosat Second Generation (MSG), voir <http://gerb.oma.be>. L'instrument GERB mesure le bilan énergétique de la Terre avec une résolution élevée dans le temps à partir d'une orbite géostationnaire.

2. Nous participons au programme Clouds and the Earth Radiant Energy System (CERES) de la NASA qui établit la mesure du bilan énergétique de la Terre à partir de satellites polaires.

3. Nous participons aux études préparatoires du projet de satellite euro-japonais Earthcare qui fournira des mesures de structure tridimensionnelle du champ de radiation de la Terre.

4. Nous réalisons les mesures du bilan énergétique de la Terre destinées aux études climatologiques du SAF Climat d'EUMETSAT. Une autre activité au sein de ce SAF Climat consiste à déduire l'épaisseur optique de l'aérosol à partir des images satellitaires de SEVIRI.

Groupe radar et détection de la foudre

Un volet important des activités du département concerne l'utilisation optimale des données des radars météorologiques pour l'estimation quantitative des précipitations. Les méthodes utilisées incluent notamment une correction basée sur le profil vertical de réflectivité et la combinaison des données radar avec les mesures des pluviomètres au sol. Les données radar en 3 dimensions sont également utilisées pour analyser et caractériser les précipitations convectives et les orages en Belgique. Il s'agit notamment de mieux comprendre et de modéliser le cycle de vie des cellules orageuses de manière à pouvoir mieux prévoir leur évolution.

Des recherches visent également à affiner la prévision à très court terme des précipitations dans le système de nowcasting INCA-BE. Ce système a été développé par le service météorologique autrichien (ZAMG). Il est maintenant implémenté dans plusieurs pays européens et l'IRM contribue à son développement. Concernant la foudre, nos activités portent sur la détection de l'activité électrique totale à l'aide du système SAFIR-TLP. Le système détecte non seulement les coups au sol mais aussi les éclairs intranuages. Nos recherches visent à évaluer et à améliorer les performances du système et en particulier le taux de détection et la précision de localisation. A cette fin, des comparaisons avec d'autres systèmes de détection couvrant la Belgique sont réalisées.

La procédure de sélection et d'achat du nouveau radar météorologique de Jabbeke, a été menée à bien. L'installation aura lieu dans le courant de l'année 2012.

L'objectif est l'utilisation optimale des données pour la prévision et les avertissements dans les situations d'orage.

Ozone/aérosol/Antarctique

L'IRM possède également une longue tradition dans l'observation de la composition chimique de l'atmosphère. En 1971 déjà, nous mesurons la quantité totale d'ozone à l'aide de spectrophotomètres UV. Parallèlement, nous mesurons, depuis 1969, la répartition verticale de l'ozone jusqu'à une altitude d'environ 30 km, trois fois par semaine. Ces données sont rassemblées grâce à des instruments de mesure embarqués dans des ballons météorologiques. Grâce à ces données, éventuellement confrontées à celles provenant d'autres stations d'observation, nous étudions l'évolution de la couche d'ozone. Les mesures prises à partir du sol sont également utilisées pour la validation des observations par satellite. Les observations des spectrophotomètres UV contiennent également des informations relatives aux aérosols (particules fines) présents dans l'atmosphère. Le groupe ozone/UV/aérosol a mis au point des algorithmes pour extraire ces informations. Nous pouvons ensuite utiliser ces données pour améliorer la prévision de l'indice UV. De plus, la connaissance des propriétés des aérosols dans l'atmosphère peut fournir des indications en vue de mieux gérer les dangers de la pollution atmosphérique.

Les propriétés de ces aérosols ne sont pas uniquement étudiées à Uccle. Une série d'instruments a également été installée dans la station belge Princess Elisabeth en Antarctique. Ces derniers permettent d'étudier les aérosols loin des activités industrielles.

Sova-Picard : premiers résultats

L'irradiation solaire totale, ou Total Solar Irradiance (TSI), est une variable climatique essentielle indiquant la quantité d'énergie solaire perçue par la Terre, et déterminant également le climat terrestre. L'IRM conçoit des instruments spatiaux pour mesurer la TSI. Depuis 1983, 11 vols dans l'espace ont eu lieu. Aujourd'hui, deux instruments actifs flottent dans l'espace. Diarad/Virgo mesure la TSI depuis 1996, soit une période d'enregistrement de 16 ans, tandis que Sova-Picard réalise des mesures depuis 2010.

En 2011, nous avons obtenu les premières données validées de Sova-Picard (Figure 51). Ces informations permettent d'apporter une contribution internationale significative à l'avancement de ces recherches climatiques.

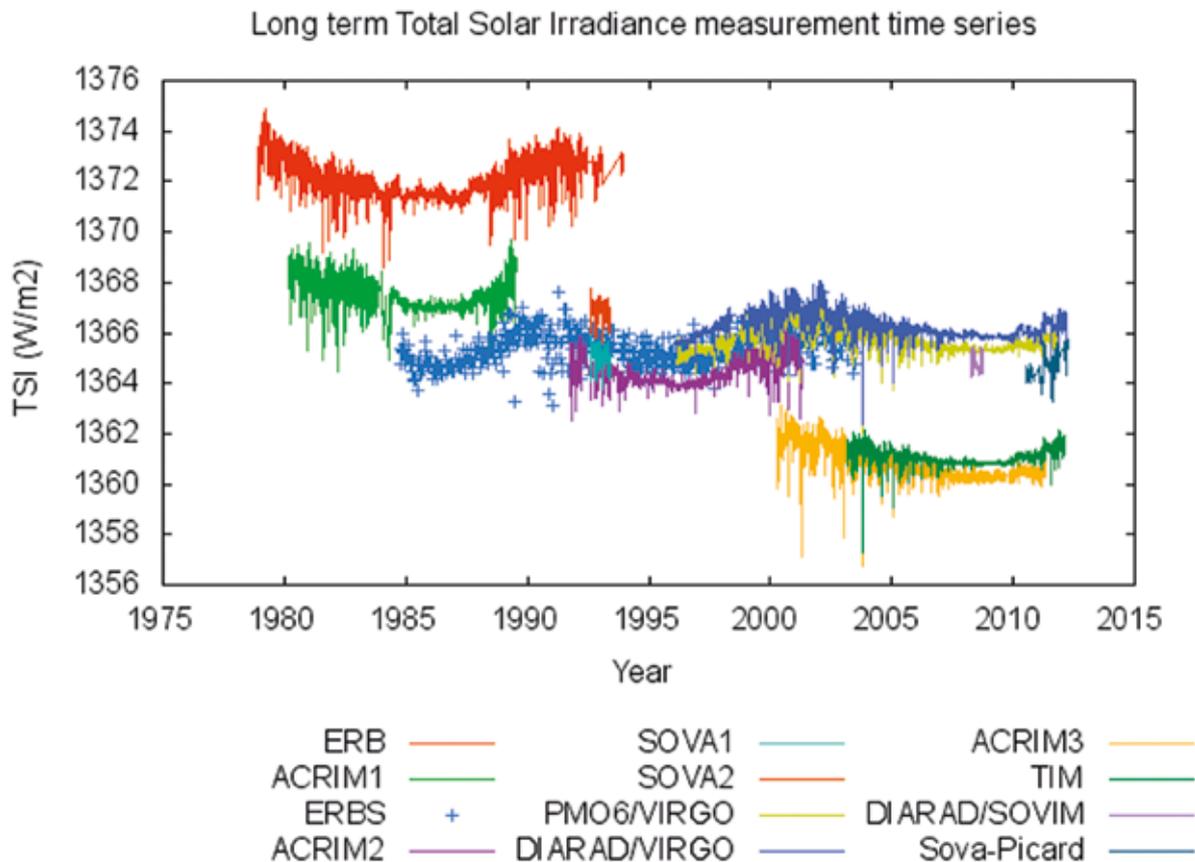


Figure 51 : Mesures à long terme distinctes de l'irradiation solaire totale. Les instruments de l'IRM sont Sova1, Diarad/Virgo, Diarad/Sovim et Sova-Picard.

Le ralentissement du réchauffement climatique et l'équilibre énergétique de la planète

En 2011, nous avons examiné les variations de l'équilibre énergétique de la Terre durant la période 2000-2010. Cette période a été marquée par un ralentissement de la tendance haussière de la température planétaire moyenne. Les variations de l'équilibre énergétique de la Terre au cours de cette période montrent un passage de conditions El Niño à des conditions La Niña. Lors de conditions El Niño, l'océan dégage de la chaleur et réchauffe l'atmosphère, faisant ainsi augmenter la température de la planète. À l'inverse, lors de conditions La Niña, l'océan capte de la chaleur, ce qui réduit le réchauffement atmosphérique.

La Figure 52 présente le flux thermique moyen émis annuellement ou Outgoing Longwave Radiation (OLR) mesuré par l'instrument CERES Terra. Cette carte illustre de quelle manière l'Earth Radiation Budget (ERB) est associé aux zones climatiques principales de la terre comme la région de convection tropicale (faible OLR), les zones de haute pression subtropicale (haute OLR), et les zones de basse pression de latitude moyenne (faible OLR). Les OLR les plus bas ont été mesurés au-dessus de la surface terrestre recouverte en permanence de neige/de glace en Antarctique ou au Groenland.

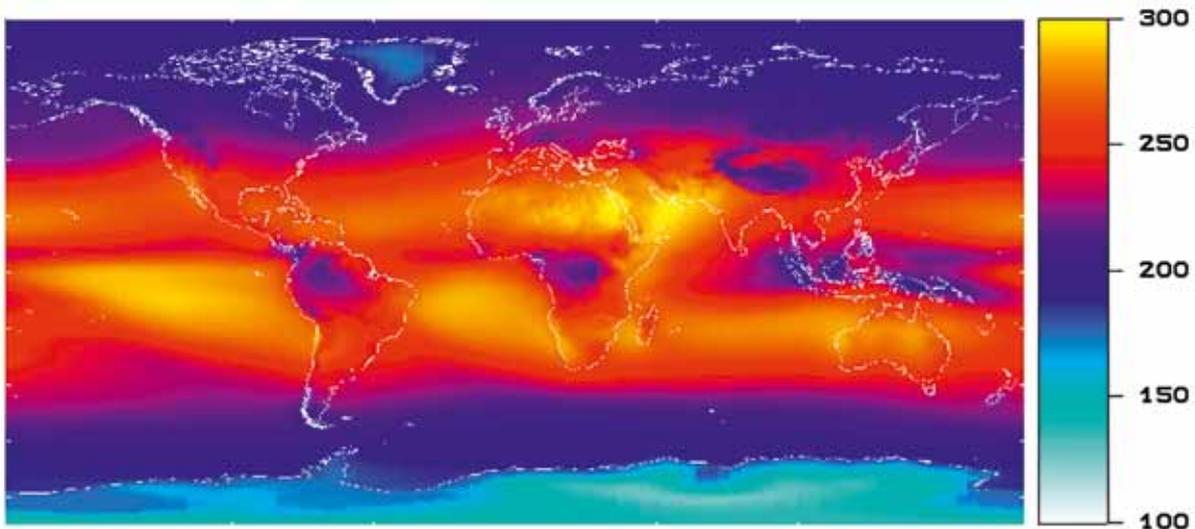


Figure 52 : Le flux thermique moyen émis annuellement mesuré par l'instrument CERES Terra.

Les premières observations pour l’ozone et les ultraviolets à la station princesse Élisabeth en Antarctique

Au mois de janvier 2011, le collaborateur de l’IRM Alexander Mangold a installé sur le toit de la station belge Princesse Élisabeth, située en Antarctique, un spectrophotomètre Brewer. La station se trouve à 73° de latitude sud et 23° de longitude est dans l’est de l’Antarctique, dans la région des montagnes Sor Rondane. Elle est établie sur les rochers de « Utsteinen » à une altitude de 1350m.

Le spectrophotomètre Brewer mesure l’épaisseur de la couche d’ozone et l’intensité des rayons ultraviolets. Il est utilisé en Antarctique afin de pouvoir établir une climatologie de ces espaces. Les mesures de la couche d’ozone sont également importantes pour pouvoir suivre l’évolution du trou dans la couche d’ozone qui revient chaque année au-dessus de l’Antarctique.

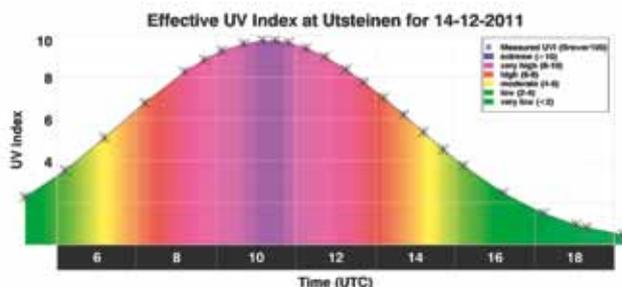


Figure 53 : L’indice ultraviolet effectif le 14 décembre 2011 à la station princesse Élisabeth, mesuré avec le spectrophotomètre Brewer. Aux alentours de midi heure locale (à peu près 10 heures 30, heure universelle), l’indice ultraviolet atteignait presque une valeur de 10.

Les premières observations de la couche d’ozone ont eu lieu le 23 janvier 2011 et l’instrument a pu continuer à mesurer jusqu’à ce que la dernière équipe ait quitté la station à la fin du mois de février 2011. Au cours des mois d’hiver dans l’Antarctique, il n’y a personne dans la station et le spectromètre ne peut donc pas fonctionner. Avec l’arrivée de la nouvelle équipe au mois de novembre 2011, les observations de la couche d’ozone et des rayons ultraviolets ont recommencé. Le 14 décembre 2011, l’épaisseur moyenne de la couche d’ozone était de 224.2 DU. C’est beaucoup moins que l’épaisseur que nous observons en moyenne en Belgique (310DU). L’indice UV à Utsteinen a donc atteint une valeur très élevée de 9,7 (voir la Figure 53). Le rayonnement ultraviolet est alors tellement intense que la peau humaine brûlerait presque immédiatement si on l’exposait au soleil sans la moindre protection. À titre de comparaison, la valeur la plus élevée de l’indice pour les rayons ultraviolets en Belgique sur toute l’année s’élève

à 8. La valeur de 9,7 est donc relativement élevée, surtout au vu du degré de latitude élevé où se trouve la station Princesse Élisabeth. L’explication réside principalement dans le fait que la couche d’ozone au-dessus d’Utsteinen était clairement plus mince en raison du déplacement d’un vestige de la couche d’ozone dans l’Antarctique au-dessus de cette région (voir Figure 54). Mais, la présence de neige (avec une réverbération plus importante des rayons ultraviolets), l’atmosphère plus pure et l’altitude à laquelle la station se trouve (1350 m) sont également responsables de ces valeurs d’indice élevées pour les rayons ultraviolets.

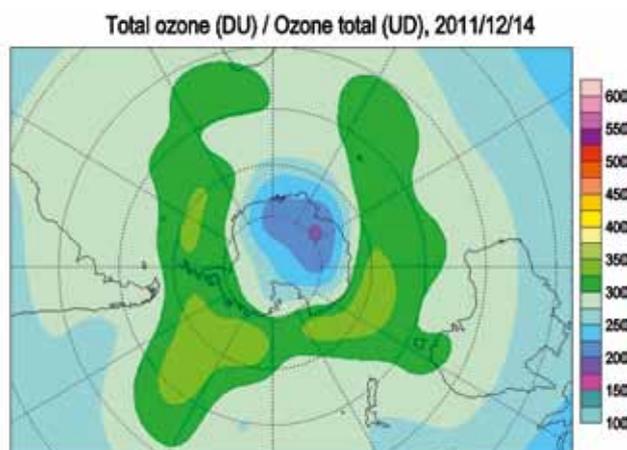


Figure 54 : Carte de la quantité totale d’ozone le 14 décembre 2011 au-dessus de l’hémisphère sud (l’Antarctique est au milieu). La carte a été réalisée par le World Ozone and Ultraviolet Data Centre sur la base des observations à partir du sol et des mesures satellites qui sont rassemblées et traitées dans la banque de données internationale www.woudc.org. La station Princesse Élisabeth se trouve dans le coin supérieur gauche de la tâche violette.

Utilisation des observations radar pour caractériser les précipitations convectives en Belgique

Les données du radar météorologique de Wideumont ont été utilisées pour analyser les caractéristiques des cellules de précipitations de type convectives (averses intenses ou orages). Le radar, qui mesure toutes les 5 minutes les précipitations à haute résolution spatiale (250m) avec une portée de 240 km, constitue le meilleur outil pour ce genre d'analyse. Huit années de données radar ont été traitées dans le but d'identifier les cellules convectives et de suivre leur trajectoire. Au total, plus de 100.000 trajectoires ont été analysées. Cette étude nous offre une vue sans précédent des caractéristiques des cellules convectives se déplaçant sur notre pays, ainsi que de leur distribution spatiale et temporelle. Elle nous enseigne par exemple que la vitesse moyenne de déplacement des cellules est de 40 km/h ou que la durée de vie moyenne d'une cellule individuelle est de 20 minutes. Elle nous apprend également que les cellules se déplacent plus lentement durant l'après-midi que durant le reste de la journée et que l'activité convective est maximale durant les mois de juillet et août et aux alentours de 17 h (temps local).

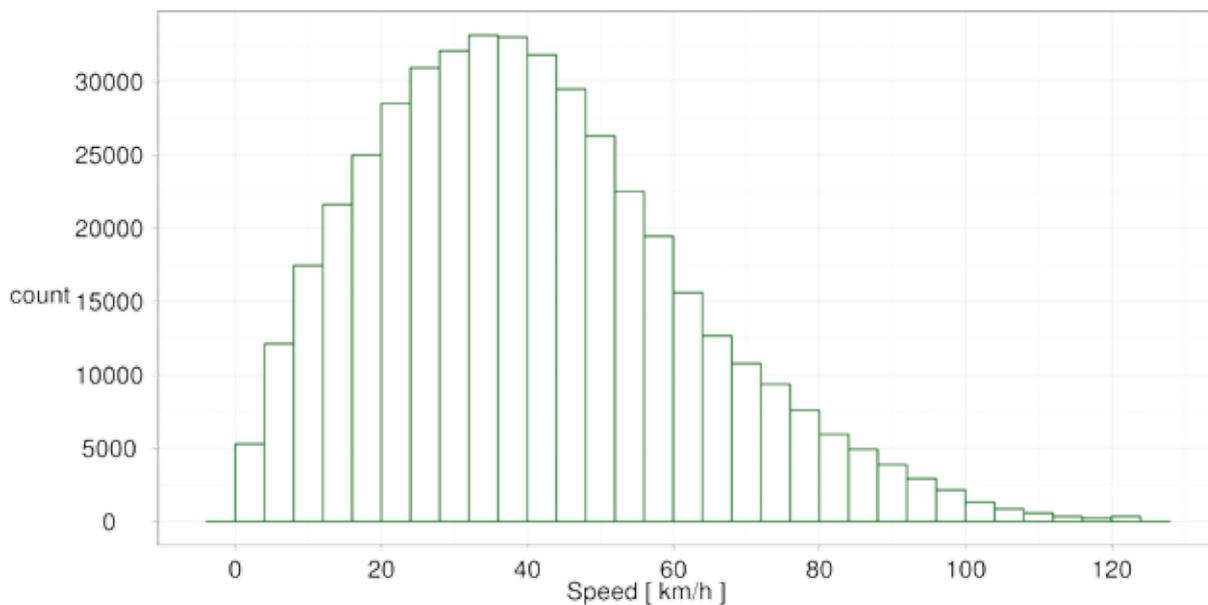


Figure 55 : Distribution de la vitesse de déplacement des cellules de précipitations convectives communément appelées averses (avec ou sans activité orageuse). La vitesse d'une cellule est estimée sur base de son déplacement entre 2 images radar successives (toutes les 5 minutes). On retrouve en ordonnée le nombre de cellules et en abscisses la vitesse de déplacement. On observe que la fréquence croît rapidement pour atteindre un maximum correspondant à une vitesse de l'ordre de 35 km/h. La fréquence décroît ensuite plus lentement jusqu'à atteindre une vitesse proche de 100 km/h.





IRM et international

Le Consortium ALADIN

2011 a été la première année au cours de laquelle P. Termonia a dirigé le programme du consortium ALADIN. Au cours de cette année et pour la première fois, un plan de travail scientifique a été établi en commun avec le consortium HIRLAM. En outre, il a organisé une réunion stratégique du 27 au 29 septembre 2011 à Bruxelles, à laquelle ont été invités 19 experts NWP provenant des 26 pays membres d'ALADIN et d'HIRLAM. Sur base de leur apport, il a fourni, au cours de l'assemblée générale des 16 partenaires ALADIN les 15 et 16 novembre 2011 à Toulouse, un carnet de bord pour les dix années à venir afin de ne pas perdre la stratégie ALADIN de vue (2008-2017). Les principaux points d'attention seront l'évolution vers la résolution très élevée (c'est-à-dire ce que l'on appelle les échelles hectométriques) et la préparation d'une étude scientifique visant à établir l'essence dynamique actuelle pour la prochaine évolution prévue des technologies High-Performance Computing, au cours des 15 prochaines années. Il est reconnu que ces questions ont beaucoup d'intérêt pour les applications futures au sein de l'IRM étant donné que des applications à très haute résolution de ce genre peuvent, à l'échelle d'une décennie, fournir une amélioration supplémentaire substantielle concernant l'état actuel de l'art, des compétences de prévision pour les processus météorologiques qui ont été responsables du désastre du Pukkelpop en date du 18 août 2011. Donc, la stratégie internationale et la stratégie de l'IRM sont formulées pour se renforcer l'une l'autre.

Réunion de l'EAC à Koksijde

L'Institut Royal Météorologique a organisé à Koksijde la 16ème réunion de l'EAC (ECSN Advisory Committee) les 30 mars et 1er avril 2011.

L'objectif de l'ECSN :

Dans le cadre d'EUMETNET, l'objectif de l'ECSN (European Climate Network System) est d'organiser une meilleure coopération entre ses membres dans le domaine du climat et des activités connexes en vue d'élargir leurs capacités à soutenir la communauté des utilisateurs européens, grâce à la fourniture accrue :

- a) de données climatiques et de produits de haute qualité,
- b) de services et des conseils basés sur l'expertise climatique.

Réunion de 2011 :

Lors de la réunion, qui s'est tenue à Koksijde et dont les participants sont repris en Figure 56, une présentation sur « Plus de 175 ans de météorologie en Belgique » a été donnée, et les progrès et situation de plusieurs programmes, entre autres, de recherche, de partage et de contrôle de qualité de données météorologiques, ont été discutés.



Figure 56 : Participants, de gauche à droite : Maryvonne Kerdoncuff, Marc Vandiepenbeeck, John Prior, Ingeborg Auer, Reija Ruuhela, Antonio Mestre, Eirik Førland, Raino Heino, Claus Kern-Hansen, Philippe Dandin, Stefan Rösner, Klaus-Jürgen Schreiber, Aryan van Engelen, Gé Verver, Arie Kattenberg, Steve Noyes, Liam Keegan and Christof Appenzeller

32ème Assemblée Générale d'ECOMET, Bruxelles, Juin 2011

L'IRM a eu le plaisir d'accueillir la 32ème Assemblée Générale d'ECOMET le 23 juin 2011. L'Economic Interest Grouping of the National Meteorological Services of the European Economic Area (ECOMET) dont le siège se trouve dans les bâtiments de l'IRM à Uccle et qui comporte actuellement 23 pays membres, a été créé en 1995 dans le but de renforcer les relations existantes entre les différents instituts météorologiques nationaux mais aussi d'optimiser les relations économiques grandissantes entre ces instituts et le secteur privé, assujetti aux régulations européennes.

Cette 32ème assemblée a été ouverte par un discours du Directeur général a.i. de l'IRM, le Dr. Daniel Gellens, qui a insisté sur l'importance du rôle d'ECOMET comme catalogue de référence des données météorologiques disponibles par institut national. Le Dr. Gellens porte également une grande importance à la présence du secrétariat d'ECOMET au sein de l'IRM. L'Institut y était représenté par messieurs Marc Christiaens (Business Unit Manager) et Christophe Ruttens (juriste).

Entre autres points à l'ordre du jour, ECOMET est heureux d'annoncer que l'Institut national de météorologie de Slovénie (ARSO) est en passe de devenir membre et a fait preuve d'un grand enthousiasme en la matière.

Les membres de la 32ème Assemblée Générale ont également élu à l'unanimité un nouveau président, en la personne du Dr. François Jacq de Météo France, ainsi qu'un nouveau vice-président en la personne du Dr. Michael Staudinger, Directeur du ZAMG, l'institut météorologique national autrichien, tous deux pour un mandat de trois ans.

Le Directeur Général d'ECOMET, René Hoenson, a pour sa part annoncé sa décision de céder sa place à la fin de l'année.

La fonction de président du groupe de travail d'ECOMET laissée vacante depuis le mois de février 2011, a, quant à elle, été attribuée à l'unanimité par l'Assemblée Générale, à M. Søren Olufsen du DMI (l'institut météorologique du Danemark), pour un mandat de deux ans.

La 33ème Assemblée Générale d'ECOMET s'est tenue le 21 novembre 2011 à Belgrade, en Serbie.



Figure 57 : Photo d'ambiance de la 32ème assemblée générale d'ECOMET dans la salle de conférence de l'IRM (photo: Iulia Velican)

Organisation d'une session à l'INQUA en honneur de Tungsheng Liu

Au XVIIIème congrès de l'Union Internationale pour l'Etude du Quaternaire (INQUA) à Berne en juin 2011, une session a été organisée avec la participation de scientifiques de l'IRM pour rendre hommage au Professeur Tungsheng Liu (1917 – 2008) de l'Académie chinoise des Sciences, ancien président de l'INQUA, et à ses contributions pionnières pour la compréhension du changement climatique dans le passé. Quatre conférenciers invités ont présenté le parcours et les mérites des travaux du Professeur Tungsheng Liu. Ils ont aussi démontré que malgré relative à la maturité de ce domaine de recherche scientifique, il reste encore beaucoup de questions sans répondre. Peut-on arriver à établir une climatologie quantitative du passé ? Peut-on démêler les variations des indicateurs du climat du passé spécifiquement liées aux différents sites examinés? Répondre à la dernière question est une tâche importante. Elle offre l'opportunité de cartographier le changement du climat dans le passé et en même temps de vérifier les résultats des modèles numériques de la circulation globale des masses d'air. Ces modèles sont actuellement le meilleur moyen pour comprendre le changement climatique futur. Les différents exposés étaient accompagnés d'une session de posters très animée consacrée au Plateau de Löss en Chine, les dépôts de loess en Corée, en Serbie, en Bulgarie et en Alaska. Des données contemporaines provenant des dépôts sédimentaires marins de l'océan Pacifique ont aussi été exposées.



Figure 58 : Professeur Tungsheng Liu (au centre) de l'Académie Chinoise des Sciences et Professeur Jozef Hus (à droite) de l'IRM au 13ème congrès de l'INQUA à Pékin en 1991.

Intégration de l'IRM au réseau EUCLID

Le réseau EUCLID (European Cooperation for Lightning Detection) a été créé en 2001 en collaboration avec la Norvège, l'Allemagne, l'Italie, l'Autriche et la Slovénie. La France, la Finlande, la Suède, l'Espagne et le Portugal ont adhéré plus tard.

EUCLID repose sur plusieurs réseaux européens de détection de la foudre visant à identifier et à déterminer les lieux où frappe la foudre sur tout le territoire européen. Grâce à cette collaboration, plus de 142 capteurs de foudre sont reliés entre eux et sont étudiés en temps réel par un processeur central. La figure ci-dessous montre l'emplacement actuel des capteurs de foudre dans le réseau.

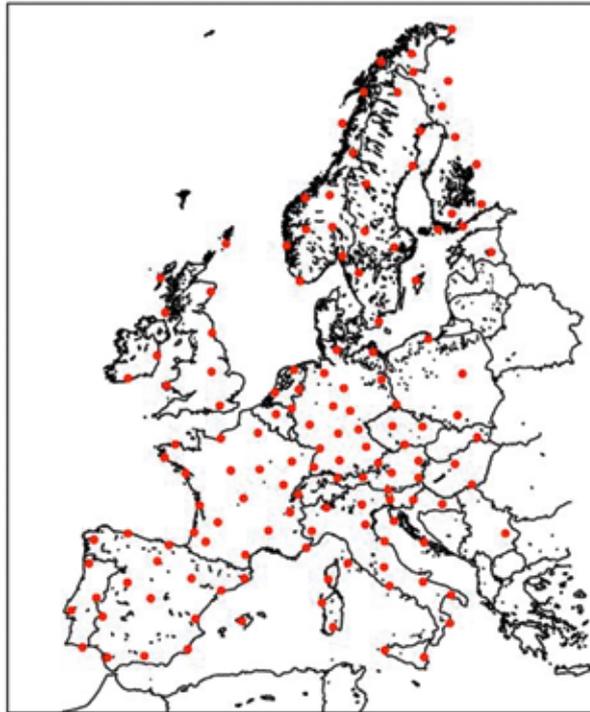


Figure 59 : Le réseau EUCLID

Le réseau de détection de la foudre de l'IRM regroupe aujourd'hui 6 capteurs installés à Uccle, à Oelegem, à La Gileppe, à Mourcourt, à Dourbes et à Ernage. Le capteur le plus central et le plus récent situé à Ernage sera le premier à être relié au réseau EUCLID.

En charge de la gestion d'EUCLID, ALDIS (Austrian Lightning Detection & Information System) dresse un état mensuel pour chaque capteur avec indication des modifications à apporter pour garantir un meilleur fonctionnement. Cela conduira à une meilleure efficacité de la détection et garantira des indications plus précises sur les lieux où tombe la foudre dans toute l'Europe.

Les membres d'EUCLID se réunissent au moins une fois par an. Pendant cette rencontre, ils traitent différents sujets tels l'entretien, les aspects techniques et l'optimisation des capteurs. Les membres du réseau s'échangent les données mais également leur expertise.



Figure 60 : Le ballon-sonde juste après le lancement.
De haut en bas, on distingue le parachute,
la radio-sonde de l'IRM et la balise.

la vie de l'institut

Projet éducatif 'ballon météorologique'

ESERO – European Space Education Resource Office, l'IRM et le Collège Saint-Pierre de Jette ont organisé en commun un projet scientifique éducatif pour permettre aux élèves du fondamental et du secondaire d'explorer « les frontières de l'espace ». Les étudiants et leurs professeurs ont pu faire preuve de créativité en proposant des expériences scientifiques et technologiques à envoyer « aux frontières de l'espace ». Un jury sous la présidence du premier astronaute belge, Dirk Frimout, a entamé la sélection des projets dès le mois de février 2011. Les équipes primées ont été invitées à l'IRM le jeudi 28 avril 2011 pour accrocher à un ballon stratosphérique leur matériel expérimental. Ce type de ballon qui est lancé régulièrement trois fois par semaine à l'IRM pour mesurer la température, la pression, l'humidité de l'air, la quantité d'ozone, la vitesse et la direction du vent en fonction de l'altitude, atteint une hauteur d'environ 30 km. A une telle altitude, la pression atmosphérique est très faible, la température et l'humidité sont beaucoup plus basses qu'à la surface de la Terre si bien que l'on dispose d'une espèce de laboratoire spatial prêt à accueillir des expérimentations scientifiques. De plus, (voir la figure 1) à cette altitude, le ciel s'obscurci, la Terre devient bleu-clair et si l'on porte le regard vers l'horizon, une légère courbe se distingue clairement. On commence à distinguer la forme circulaire de la Terre.



Figure 61 : Une photo prise depuis le ballon en plein vol.

Aux côtés des lauréats de ce tournoi et de la délégation du collège Saint-Pierre, étaient également présentes 2 équipes internationales (une d'Espagne, l'autre de Grande-Bretagne). Tous s'étant déplacés pour réaliser leurs expériences en profitant du lancement du ballon.

Les contributions étaient respectivement les suivantes :

- Le Collège Saint-Joseph de Wemmel avait mis au point une expérience sur les phasmes. Le but de l'expérience était de vérifier l'influence des conditions spatiales sur l'éclosion des œufs de ces insectes très particuliers.
- Le Lycée public de Dilsen avait prévu d'embarquer une caméra digitale et recherchait à vérifier la loi universelle des gaz en mesurant la température et la pression pendant le vol.
- Le Collège Retamar de Madrid observait à la fois la pression atmosphérique, la température et le volume d'une certaine quantité de gaz enfermée dans une enceinte en forme de seringue au piston mobile. La température et la pression étaient mesurées d'une manière électronique alors que la variation du volume repérée sur une échelle graduée était filmée pendant le vol.
- Le Collège Saint-Paul de Londres avait un dosimètre à bord pour mesurer dans quel mesure l'électronique embarqué pouvait être exposé à la radioactivité, et deux dosimètres à l'extérieur de la balise pour déterminer la quantité de rayonnement venant du bas (donc de la Terre) et du haut (donc de l'espace).
- Le Collège Saint-Pierre de Jette coordonnait le lancement. Les expériences contrôlées par les étudiants de cet établissement consistaient à récolter les mesures de la pression, de la température et de l'humidité à l'intérieur et à l'extérieur de la balise. A l'extérieur, des capteurs étaient prévus pour mesurer l'intensité de la lumière solaire et pour mesurer la concentration de méthane et du monoxyde de carbone. De

plus, l'efficacité des cellules solaires était testée à hautes altitudes et un datalogger enregistrait les données GPS du vol.



Figure 62 : La balise qui contient tous les instruments accompagnant le vol.

Pour le positionnement du ballon, il avait été fait appel à un module de GPS TraxGo et à une radio-sonde de l'IRM qui est, en fait, une mini station météorologique émettant des signaux radio jusqu'à un système de réception à Uccle. La radio-sonde permet de suivre en temps réel la position du ballon. Pour ce qui concerne la position précise de l'atterrissage, le module-GPS commercial de TraxGo était tout indiqué.



Figure 63 : La balise juste avant le départ du ballon que l'on observe à l'arrière-plan.

La récupération des instruments nous a donné du fil à retordre (de fait, les instruments ont été parachutés en France dans la région de Valenciennes, c'est-à-dire à environ 70 km d'Uccle) où ils ont été repérés par un radio-amateur qui les a ramenés chez lui. Le signal GPS suivi à la trace a permis cependant à une équipe d'étudiants de

se rendre jusqu'au domicile de ce sympathique et fort intéressé "chasseur". Les étudiants ensuite sont revenus à l'IRM pour terminer la journée placée sous le signe de l'espace où ils ont pu, entre autres, discuter pendant une petite heure avec Dirk Frimout et avec une équipe conduite par l'Eurospace Center. Les élèves du fondamental ont donc pu fabriquer un paysage lunaire et s'exercer à lancer des fusées.



Figure 64 : Les étudiants et leurs professeurs qui ont réalisé une des expériences.

Il rentre dans les intentions des 3 organisateurs (European Space Education Resource Office, Collège Saint-Pierre de Jette et l'IRM) de reproduire ce type d'expériences pédagogiques et d'inviter une fois par an les étudiants du fondamental et du secondaire de toute la Belgique à proposer de nouvelles expériences à l'aide d'un ballon météorologique. Nous espérons de la sorte éveiller la passion pour les sciences de l'atmosphère et de l'Espace chez nos jeunes têtes blondes !

Plus d'info sur <http://www.asgard-balloons.webs.com/>

Jommeke en visite à l'IRM

Lorsque Ballon Media lança en 2010 en collaboration avec l'IBSR (l'Institut Belge pour la Sécurité Routière) un livre thématique Jommeke à propos de la circulation, la maison d'édition proposa en février 2011 à l'IRM de réaliser ensemble un livre thématique sur le temps.

Tom Elegeert (Figure 65), l'un de nos prévisionnistes, assuma cette mission avec beaucoup de plaisir. Au cours de quelques sessions de réflexion dans les bureaux de Ballon Media à Anvers, la structure du livre prit progressivement forme.

Sur la base de cette structure, Tom écrivit le texte du livre thématique, qui fut adapté au groupe cible (enfants de l'enseignement primaire) par un collaborateur de la maison d'édition.

Au mois de juin, le contenu du livre était prêt et après une dernière réunion à Anvers, « Jommeke doet het weer » se vit conférer son titre et sa forme définitifs. Le livre fut lancé au début de la nouvelle année scolaire 2011-2012.

Cerise sur le gâteau, un concours fut associé à ce lancement par l'intermédiaire du journal Jommeke. Chaque enfant qui envoyait une belle photo de nuages et avait imaginé pour ce faire une photo originale remportait une visite de l'IRM avec sa classe, ainsi qu'avec Jommeke lui-même !

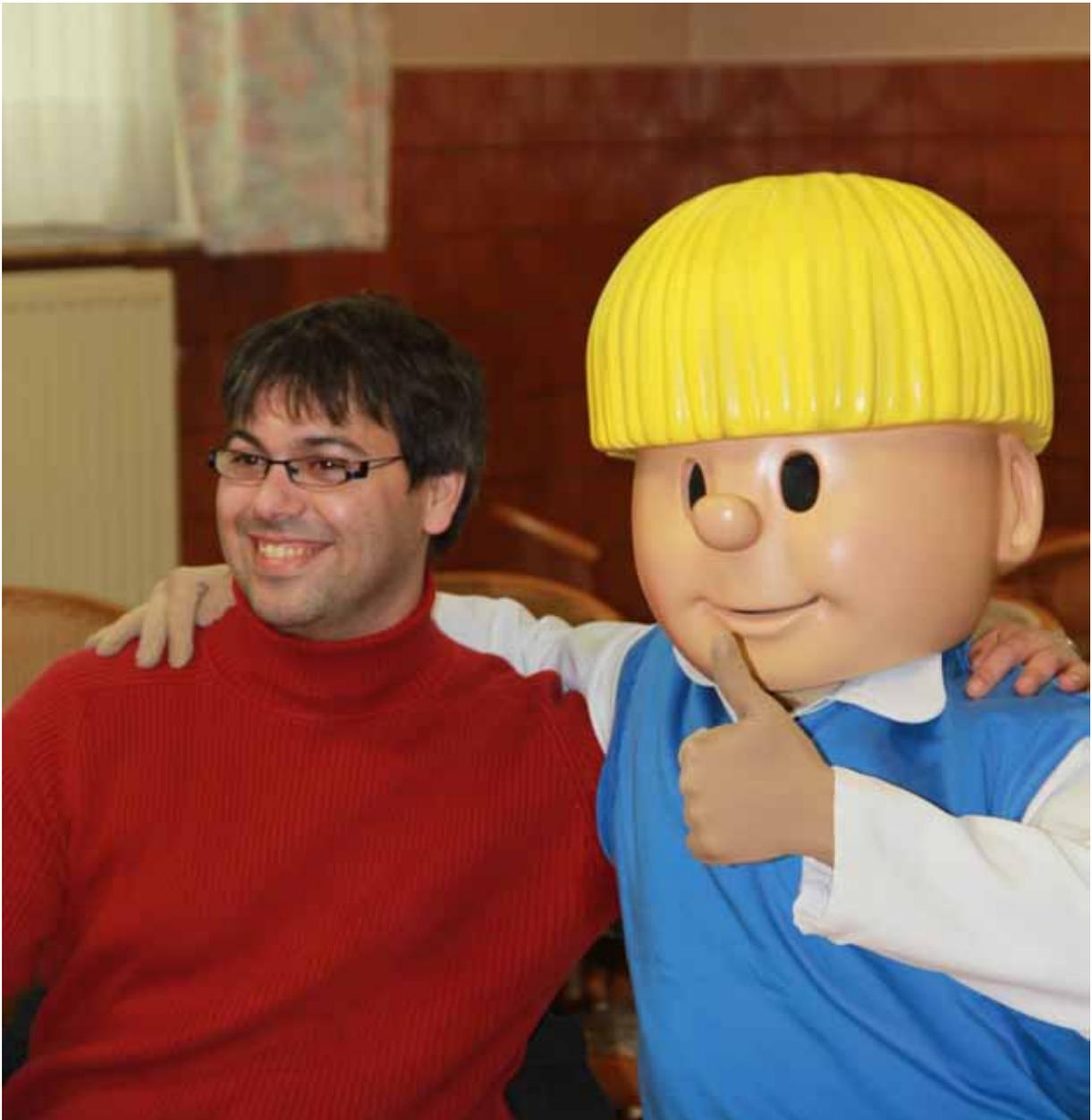


Figure 65 : Jommeke et Tom Elegeert.

Du nouveau à la direction : Dr Daniel Gellens, directeur général a.i.

« Cher Monsieur le Directeur général, cher Daniel, pourriez-vous en quelques mots nous exposer votre parcours afin de faire votre connaissance ? »

Je suis mathématicien de formation (diplômé de l'ULB en 1982) et j'ai élargi cette base par une licence spéciale en géophysique (diplômé de l'ULB en 1984), c'est-à-dire une formation complète sur les sciences de la Terre recouvrant notamment la météorologie. J'ai pu exploiter ces connaissances à l'IRM et ainsi mener un ensemble de travaux de recherche en climatologie statistique et en modélisation hydrométéorologique. J'ai contribué à diverses études d'impact des changements de climats sur le cycle hydrologique de bassins versants situés en Belgique mais aussi en Suisse et au Kenya.

En 1994, j'entre à la section informatique de l'IRM (le Centre de Calcul), qui est à l'époque une Section Autonome. Ma fonction était initialement celle d'administrateur système. Avec les années, je suis devenu responsable de cette équipe, de la surveillance continue du fonctionnement de l'infrastructure et des télécommunications, et en particulier du contrôle des échanges de données de l'Organisation Météorologique Mondiale.

Durant cette période, j'ai été amené à réaliser et défendre ma thèse de doctorat. Mon passage au département informatique et dans le domaine de la gestion de l'infrastructure informatique m'a permis ensuite d'être en contact avec l'ensemble des utilisateurs de l'IRM. J'ai acquis de ce fait une connaissance détaillée de l'ensemble des disciplines traitées, ce qui me permet de comprendre aussi bien les besoins des chercheurs que du personnel opérationnel. J'ai pu occuper au cours de ma carrière différents postes qui m'ont amené à gérer des équipes et des projets de plus en plus importants. Ma participation au processus décisionnel de l'IRM depuis 2007 m'a permis de me forger une vision plus complète de ce qu'est une stratégie de service public, basé sur la recherche, qui remplit sa mission envers la population et les autorités.

“Votre vision de l'Institut a sans doute évolué au fil du temps : au début de votre carrière et maintenant en tant que Directeur général... ? »

Comme jeune chercheur j'ai pu exploiter mes acquis tous neufs de l'université dans le domaine de la climatologie statistique et la modélisation. Mes préoccupations étaient alors celles

des chercheurs qui doivent publier pour exister et pouvoir continuer à faire de la recherche. Une situation dans une équipe plutôt autonome dirigée par le Dr Bultot. C'est une réelle chance que j'ai eue de débiter dans son équipe. Monsieur Bultot a eu des intuitions scientifiques assez visionnaires en matière de modélisation hydrologique et en particulier d'étude des impacts des changements de climat à une époque où ce sujet commençait à peine à être abordé dans la littérature scientifique. Une vision scientifique autonome, et, à la limite, à contrecourant de la voie bien-pensante, est donc pour moi indispensable pour une institution scientifique. Mais ceci implique aussi le respect des opinions d'autrui.

Mon évolution professionnelle m'a ensuite mis au service des autres dans le domaine de l'ICT. En cette matière, il faut rester attentif aux besoins de tous mais aussi délimiter les priorités. Le partage d'une infrastructure informatique ne permet pas aux uns d'imposer leurs volontés sans tenir compte des besoins des autres. J'ai aussi découvert la richesse de la gestion du personnel. Motiver le personnel le plus possible pour lui permettre d'exploiter au mieux ses capacités et le défendre le moment venu.

Finalement cette préoccupation reste la base du travail de Directeur général.

“Y a-t-il un aspect de l'IRM que vous désiriez voir se développer d'avantage?”

Les missions de l'IRM envers la population et les autorités sont nos guides de développement. Le Directeur général prend ses décisions, non pas dans une tour d'ivoire, mais avec le Conseil de Direction. Il imprime bien sûr certaines directions mais il le fait dans la concertation.

Mon désir est de maintenir la recherche dans nos priorités car cela apporte une plus-value indispensable à toutes nos activités. J'accorde beaucoup d'importance au respect, à la tolérance et à l'ouverture d'esprit : tous les domaines de recherches peuvent mener à des résultats d'utilité publique, sans préjugés.



Dr. Daniel Gellens, Directeur général a.i. de l'IRM



Directeur général a.i.



Direction services de soutien

Service : infrastructure informatique et télécommunications

Service : gestion des données



Direction opérationnelle: observations

Service : stations d'observation

Service : télédétection à partir de la Terre

Service : télédétection à partir de l'espace



Direction opérationnelle: prévisions météorologiques et renseignements climatologiques

Service : prévisions, avertissements, informations météorologiques et climatologiques

Service : renseignements climatologiques

Service : services d'information et commercial

la structure de l'IRM

Direction générale

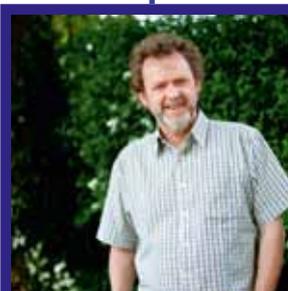


Direction opérationnelle:
recherche météorologique
et climatologique

Service : modélisation
hydrométéorologique

Service : météorologie
et climatologie dynamique

Service : analyse des
risques et durabilité



Direction opérationnelle
de l'IRM à Dourbes

Service : observations
géomagnétiques

Service : magnétisme
environnemental

Service : profils ionosphériques



les publications et conférences de nos scientifiques

10

Publications dans des revues internationales avec comité de lecture

Bidaine, B., Warnant, R. (2011): Ionosphere modeling for Galileo single frequency users: illustration of the combination of the NeQuick model and GNSS data ingestion. *Advances in Space Research*, Vol.47, pp.312-322, doi:10.1016/j.asr.2010.09.001.

Böhme, T., van Lipzig, N., Delobbe, L., Goudenhoofdt, E., Seifert, A., 2011. Evaluation of microphysical assumptions of the COSMO model using radar and rain gauge observations, *Meteorol. Zeitschrift*, 20, 2, 133-144, DOI: 10.1127/0941-2948/2011/0235.

Campioli, M., Vincke, C., Jonard, M., Kint, V., Demarée, G., Ponette, Q., 2011. Current status and predicted impact of climate change on forest production and biogeochemistry in the temperate oceanic European zone – Review and prospective for Belgium as a case study. *Journal of Forest Research*, 60 p.

Carrassi, A., Vannitsem, S., 2011. Treatment of the error due to unresolved scales in sequential data-assimilation. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 21, 3619-3626.

Carrassi, A., Vannitsem, S., 2011. State and parameter estimation with extended Kalman Filter. An alternative formulation of the model error dynamics. *Q. J. Royal Met. Soc.*, 137, 435-451.

Fu Yongshuo H., Campioli, M., Demarée, G., Deckmyn, A., Hamdi, R., Janssens, I.A., Deckmyn, G., 2011. Bayesian calibration of the Unified budburst model in six temperate tree species. *International Journal of Biometeorology*, DOI 10.1007/s00484-011-0408-7.

Demarée, G.R., Rutishauser, T., 2011. From 'Periodical Observations' to 'Anthochronology' and 'Phenology' – the scientific debate between Adolphe Quetelet and Charles Morren on the origin of the word 'Phenology'. *International Journal of Biometeorology*, DOI 10.1007/s00484-011-0442-5.

Fechner, K., de Lil, A., Clavel, V., Hus, J., Teheux, E., Brous, F., Dugois, F., Elleboode, E., Fournand, S., Gaillard, D., Heller, F., Julien, M., Leroy-Langelin, E., Lorin, Y., Marchal, J-Ph., Naton, H-G., Poirier, C., Praud, I., Slachmuylder, J-L., 2011. Cartographie du phosphore dans des bâtiments allongés du néolithique dans le Nord de la France, en Belgique et au Luxembourg. *Revue archéologique de Picardie*, n° spécial 28 - Le Néolithique du Nord de la France dans son contexte européen. p1- 24.

Ghil, M., Yiou, P., Hallegatte, S., Malamud, B. D., Naveau, P., Soloviev, A., Friederichs, P., Keilis-Borok, V., Kondrashov, D., Kossobokov, V., Mestre, O., Nicolis, C., Rust, H. W., Shebalin, P., Vrac, M., Witt, A., Zaliapin, I., 2011. Extreme events: dynamics, statistics and prediction, *Nonlin. Processes Geophys.*, 18, 295-350, doi:10.5194/npg-18-295-2011.

Ghilain, N., Arboleda, A., Sepulcre-Cantò G., Batelaan O., Ardö J., Gellens-Meulenberghs, F., 2011. Improving evapotranspiration in land surface models by using biophysical parameters derived from MSG/SEVIRI satellite. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, doi:10.5194/hessd-8-9113-2011, 8, 9113-9171.

Ghilain, N., Arboleda, A., Gellens-Meulenberghs, F., 2011. Evapotranspiration modelling at large scale using near-real time MSG SEVIRI derived data. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, doi:10.5194/hess-15-771-2011, 15, 771-786.

Grimmond, S., Blackett, M., Best, M., Baik, J.-J., Belcher, S., Beringer, J., Bohnenstengel, S., Calmet, I., Chen, F., Dandou, A., Fortuniak, K., Gouvea, M., Hamdi, R., Hendry, M., Kanda, M., Kawai, T., Kawamoto, Y., Kondo, H., Krayenhoff, E., Lee, S.-H., Loridan, T., Martilli, A., Masson, V., Miao, S., Oleson, K., Ooka, R., Pigeon, G., Porson, A., Ryu, Y.-H., Salamanca, F., Steeneveld, G.-J., Tombrou-Tzella, M., Voogt, J., Young, D., Zhang, N., 2011. Initial Results from Phase 2 of the International Urban Energy Balance Comparison Project. *International Journal of Climatology*. DOI: 10.1002/joc.2227, Volume 31, Issue 2, pages 244–272.

Hamdi, R., Termonia, P., Baguis, P., 2011. Effects of urbanization and climate change on surface runoff of the Brussels Capital Region: a case study using an urban soil-vegetation-atmosphere-transfer model. *International Journal of Climatology*. DOI : 10.1002/joc.2207, Volume 31, Issue 13, pages 1959–1974.

Hamdi, R., Van de Vyver, H., Termonia, P., 2011. Regional climate of summer maximum surface air temperature over Belgium through high-resolution dynamical downscaling. *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.2409.

Hamdi, R., Van de Vyver, H., 2011. Estimating urban heat island effects on near-surface temperature records of Uccle (Brussels, Belgium): an observational and modeling study. *Advances in science and research*, 6, 27-34, doi:10.5194/asr-6-27-2011.

Hamdi, R. UHI effects on temperature records near Brussels, Belgium: An observational and modeling study. *International Association for Urban Climate Newsletter*, Issue 40, June 2011, pp. 9.

Iversen, T., Deckmyn, A., Santos, C., Sattler, K., Bremnes, J. B., Feddersen, H., Frogner, I.-L., 2011. Evaluation of 'GLAMEPS' - a proposed multimodel EPS for short range forecasting *Tellus A* 63, 513–530. doi: 10.1111/j.1600-0870.2010.00507.

Lejeune, S., Wautelet, G., Warnant, R., 2011. Ionospheric effects on relative positioning within GPS dense network. *GPS Solutions*, Vol.16, No.1, pp.105-116, doi:10.1007/s10291-011-0212-1.

Mangold, A., De Backer, H., De Paepe, B., Dewitte, S., Chiapello, I., Derimian, Y., Kacenenbogen, M., Leon, J.-F., Huneus, N., Schulz, M., Ceburnis, D., O'Dowd, C.D., Flentje, H., Kinne, S., Benedetti, A., Morcrette, J.-J. and Boucher, O., 2011. Aerosol analysis and forecast in the ECMWF Integrated Forecast System: 3. Evaluation by means of case studies, *J. Geophys. Res.*, 116, D03302, doi:10.1029/2010JD014864.

Mahtour, A., M. El Jarroudi, L. Delobbe, L. Hoffmann, H. Maraite, and B. Tychon, 2011. Site-specific Septoria Leaf Blotch Risk Assessment in Winter Wheat using Weather-Radar Rainfall Estimates, *Plant Disease*, DOI: 10.1094/PDIS-07-10-0482.

Nicolis, G., Vannitsem, S., 2011. Foreword of the Special Issue 'The complexity paradigm : Understanding the dynamics of weather and Climate'. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 21, 3387-3388.

Mangold, A., De Backer, H., De Paepe, B., Dewitte, S., Chiapello, I., Derimian, Y., Kacenenbogen, M., Leon, J.-F., Huneus, N., Schulz, M., Ceburnis, D., O'Dowd, C.D., Flentje, H., Kinne, S., Benedetti, A., Morcrette, J.-J., Boucher, O., 2011. Aerosol analysis and forecast in the ECMWF Integrated Forecast System: 3. Evaluation by means of case studies, *J. Geophys. Res.*, 116, D03302, doi:10.1029/2010JD014864 (pdf-file 4.6 Mb).

Rieder, H. E., Jancso, L. M., Di Rocco, S., Staehelin, J., Maeder, J. A., Peter, T., Ribatet, M., Davison, A. C., De Backer, H., Koehler, U., Krzyścin, J., Vaníček, K., 2011. Extreme events in total ozone over the Northern mid-latitudes: an analysis based on long-term data sets from five European ground-based stations, *Tellus B*, 63B, 5, 860–874, doi:10.1111/j.1600-0889.2011.00575.

Scannell C., Hurtmans D., A. Boynard A., Hadji-Lazaro J., George M., Delcloo A., Tuinder O., Coheur P.-F., Clerbaux N., 2011. A review of the ozone hole from 2008 to 2010 as observed by IASI, *Atmos. Meas. Tech. Discuss.*, 4, 4717-4752.

Spasov, S., Hus, J., Heller, F., Evans, M.E., Yue, L.P., von Dobeneck, T., 2011. A detailed record of the Upper Olduvai boundary from Lingtai, central Chinese Loess Plateau: Evidence for transitional geomagnetic field behaviour or delayed remanence acquisition? in: E. Petrovský et al. (eds.), *The Earth's Magnetic Interior*, IAGA Special Sopron Book Series 1, p. 235-245, DOI 10.1007/978-94-007-0323-0.

Spits, J., Warnant, R., 2011. Total Electron Content Monitoring using triple frequency GNSS: results with GIOVE-A/-B data. *Advances in Space Research*, Vol.47, No.2, pp.296-303, doi:10.1016/j.asr.2010.08.027.

Stankov, S., Stegen, K., Muhtarov, P., Warnant, R., 2011. Local ionospheric electron density profile reconstruction in real time from simultaneous ground-based GNSS and ionosonde measurements. *Advances in Space Research*, Vol.47, No.7, pp.1172-1180, doi:10.1016/j.asr.2010.11.039.

Stankov, S., Stegen, K., Warnant, R. (2011): K-type geomagnetic index nowcast with data quality control. *Annals of Geophysics*, Vol.54, No.3, pp.285-295, doi:10.4401/ag-4655.

Termonia, P., Degrauwe, D., Hamdi, R., 2011. Improving the temporal-resolution problem by localized gridpoint nudging in regional weather and climate models. *Monthly Weather Review*, DOI 10.1175/2010MWR3594.1, Volume 139, Issue 4 (April 2011) pp. 1292-1304.

Trigo, I., Da Camara, C., Viterbo, P., Roujean, J.-L., Olesen, F., Barroso, C., Camacho-de-Coca, F., Carrer, D., Freitas, S., García-Haro, J., Geiger, B., Gellens-Meulenberghs, F., Ghilain, N., Meliá, J., Pessanha, L., Siljamo, N., Arboleda, A., 2011: The Satellite Application Facility on Land Surface Analysis. *Int. J. Rem. Sens.*, 32(10), 2725-2744.

Van de Vyver, A. Delcloo, 2011. Stable estimations for extreme wind speeds. An application to Belgium. *Theor. Appl. Climatol.*, 105, 417-429.

Van de Vyver, H., Delcloo, A., 2011. Stable estimations for extreme wind speeds – An application to Belgium. *Theoretical and Applied Climatology* 105, Issue 3, 417-429.

Van Schaebroeck, B., Vannitsem, S., 2011. Post-processing through linear regression. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 18, 147-160.

Vannitsem, S., Hagedorn, R., 2011. Ensemble forecast post-processing over Belgium : Comparison of deterministic-like and ensemble regression methods. *Meteorol. Appl.*, 18, 94-104.

Vannitsem, S., 2011. Bias correction and post-processing under climate change, *Nonlinear Processes in Geophysics*, 18, 911-924.

Van Weverberg, K., van Lipzig, N. P. M., Delobbe, L., 2011. Evaluation of moist processes during intense precipitation in km-scale NWP models using remote sensing and in-situ data: impact of microphysics size distribution assumptions. *Atmos. Res.*, 99, 15-38.

Publications dans des revues nationales avec comité de lecture

Arboleda, A., Ghilain, N., Gellens-Meulenberghs, F., 2011: EUMETSAT's LSA-SAF evapotranspiration: comparisons of operational product to observations and models at hydrological basins scale. Poster. Proceedings of the 2011 EUMETSAT meteorological satellite data user's conference, Oslo, Norway, 5th-9th September, 7 pp. available at: http://www.eumetsat.int/Home/Main/AboutEUMETSAT/Publications/ConferenceandWorkshopProceedings/2011/groups/cps/documents/document/pdf_conf_p59_s2_02_arboleda_p.pdf.

Demarée, G.R., Ogilvie, A.E.J. & Csonka, Y., 2011. Connections between the Inuit Peoples of Labrador/Nunatsiavut, the Moravian Brethren, and French-Speaking Switzerland. Chapter 17 in "Histories from the North: Environments, Movements, and Narratives", Edited by John P. Ziker and Florian Stammler. Proceedings of the Final BOREAS Conference, Rovaniemi, Finland, October 29-31, 2009, pp. 166-179.

Hamid, K., 2011. Zoektocht naar de oorsprong van significante windschade na onweer, *Meteorologica*, 20, nr 3.

Monographies internationales

Aucune monographie internationale n'a été produite en 2011.

Delcloo, A., Tuinder, O., Validation of GOME-2 ozone profiles, using balloon sounding data, EUMETSAT Meteorological Satellite conference, 4-9 September, 2011, Oslo, Norway.

Delcloo, A., Hurtmans, D., Coheur, P-F, Clerbaux, C. Validation of IASI ozone profiles, using balloon sounding data, EUMETSAT Meteorological Satellite conference, 4-9 September, 2011, Oslo, Norway.

Mangold, A., De Backer, H., Delcloo, A. et al., 2011. Aerosol analysis and forecast in the ECMWF Integrated Forecast System: Evaluation by means of case studies, in: D.G. Steyn and S.T. Castelli (eds.), Air Pollution Modelling and its Application XXI, NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security 4, 525-528, doi: 10.1007/978-94-007-1359-8_87, 2011, Proceedings of the 31st NATO/SPS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application, 27.9 – 01.10.2010, Torino, Italy.

Mangold, A., De Backer, H., Hermans, C., Gorodetskaya, I., Maenhaut, W., 2011. Monitoring atmospheric composition at Princess Elisabeth Station, in: F. Dehairs (Chief Ed.), Declerq, H., De Broyer, C., Tison, J.-L., Vanreusel, A., Wilmotte, A. (eds.), Proceedings of the Contactforum ,Belgian IPY symposium. The contribution of Belgian Research to the achievements of the International Polar Year 2007-2009', The Royal Academies for science and the arts of Belgium, National Committee of Antarctic Research, 26.05.2010, Brussels, Belgium.

Stankov, S. M., Stegen, K. , Muhtarov, P., Marinov, P., Warnant, R., 2011. On the real time reconstruction of the ionospheric electron density profile based on concurrent measurements from collocated digital ionosonde and GNSS receiver. Proc. Ionospheric Effects Symposium (IES), 17-19 May 2011, Alexandria, USA, Paper No. A043. (Note: Winner of the “Best Paper Award” at the IES-2011 Conference)

Warnant, R. , Lonchay, M., Spits, J., Bidaine, B., Stankov, S. M., Wautelet, G., 2011. Total Electron Content reconstruction using dual frequency Galileo (E1/E5a) and modernized GPS (L1/L5) measurements. Proc. Ionospheric Effects Symposium (IES), 17-19 May 2011, Alexandria, USA, Paper No. A056.

Stankov, S. M., Wautelet, G., Spits, J., Warnant, R. , 2011. On the impact of ionospheric variability and disturbances on GNSS-based positioning applications . Geophysical Research Abstracts, (ISSN 1029-7006), vol.13 (Proc. EGU General Assembly, 03-08 Apr 2011, Vienna, Austria), ABS No. EGU11-12067 .

Hamdi, R. Surfex Behavior within the Belgian NWP: ALADIN 7km, ALARO 7km and ALARO 4km. May 2011.

HAMID,K., Bespreking van het onweer op 18/08/2011 en de daaropvolgende "Damage Survey" in Binkom en Kiewit, KMI, september 2011

Hus, J., Ech-Chakrouni, S., 2011. Archeomagnetische dateringen. Dans: Rapport 2162. Een aanvullende archeologische evaluatie en waardering van het plateau van Caestert (Riemst, provincie Limburg).RAAP Archeologisch adviesbureau, 62-74.

Stankov, S., Stegen, K., Warnant, R., 2011. Local Operational Geomagnetic Index K Calculation (K-LOGIC) from digital ground-based magnetic measurements. Technical Report, Solar-Terrestrial Centre of Excellence, Royal Meteorological Institute of Belgium.

Stankov, S., Stegen, K., Warnant, R. , 2011. RMI-Dourbes ionosonde database – Status 2010, Technical Report, Solar-Terrestrial Centre of Excellence, Royal Meteorological Institute of Belgium.

Stankov, S. , 2011. La meilleure digisonde ionosphérique au monde à l'IRM. IRM Actualite, 8 November 2011 (<http://www.meteo.be/meteo/view/fr/6642677>)

Wang, Y., Bellus, M., Smet, G., Weidle, F., 2011, Use of the ECMWF EPS for ALADIN-LAEF, ECMWF Newsletter No. 126: Winter 2010/11.

Résumés de conférences et posters

Brenot, H., J. Neméghaire, L. Delobbe, and N. Clerbaux, 2011. Development of deep convection and identification of preliminary signs in water vapour structures by GNSS. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 13, EGU2011-7969.

Camacho, F., García-Haro, H. J., Meliá, J., Arboleda, A., Ghilain, N., Gellens-Meulenberghs, F., 2011. The Land SAF Project: The evapotranspiration and vegetation products. Talk presented at the Second African Monitoring of the Environment for Sustainable Development (AMESD) forum. Balaclava, Mauritius, 20-23 July, 2011. Abstract available at <http://www.forum2.amesd.org>.

Carrassi, A., Vannitsem, S.: 'Treatment of the model error due to unresolved scales in sequential data assimilation'. Workshop 'Representing Model Uncertainty and Error in Weather and Climate Prediction' ECMWF, 20-24 juin 2011.

Delcloo, A., Smet, G., Termonia, P., De Backer, H., Evaluation of an experimental ensemble forecast system with the CTM CHIMERE, using the 50 members of the operational ECMWF EPS forecasts as NWP input. Poster presented at the 3rd International Workshop on Air Quality Forecasting Research (IWAQFR), Bolger Center, Potomac, MD, USA, 29 November - 1 December 2011.

Demarée, G.R., Ogilvie, A.E.J., Rollmann, H., 2011: From London to Labrador, via Stromness: Crossing the Atlantic with the Moravian Missionaries. Saint Magnus Conference, Orkney, April 14-15, 2011, Centre for Nordic Studies, Kirkwall, Scotland, U.K.

Devleeschouwer, X., Riquier, L., Sterckx, S., Babek, O., Petitclerc, E., Spassov, S., The Givetian Frasnian boundary at the GSSP (Puech de la Suque, Montagne Noire, France): a multi-proxies approach. Is there a need to search for another GSSP section?, Annual IGCP-580 project meeting, Prague, Tchèque, du 12 au 19 octobre 2011.

Ech-Chakrouni, S., Hus, J., Spassov, S., Geeraerts, R., Limestone as an archaeomagnetic geomagnetic field recorder, *Geophysical Research Abstracts* Vol. 13, EGU2011-3328, 2011.

Ech-Chakrouni, S., Hus, J., La datation archéomagnétique des structures brûlées fouillées à Bouvignes sur Meuse et Dinant, en relation avec la production de la dinanderie. IRPA 18 mai 2011.
Ech-Chakrouni, S., Verbeek, M., Hus, J., Un four à chaux du 8^{ème} siècle à Dinant, place Patenier. Journée d'Archéologie en Wallonie (JAW 2011), 2-3 décembre 2011.

Gellens-Meulenberghs, F., Ghilain, N., Arboleda, A., 2011: Evapotranspiration assessment constrained by MSG SEVIRI derived data. Poster presented at the 3rd iLEAPS Science Conference, Garmisch-Partenkirchen, Germany, 18th to 23rd September 2011, poster available at http://www.ileaps.org/components/com_chronocontact/uploads/sci_conf_poster/gellens-meulenberghs-et-al-2011-poster-theme-2.pdf, abstract book (http://www.ileaps.org/sci_conf_book/pdf/20110413173503_Gellens-Meulenberghs-F_iLEAPS2011_s2_abstract.pdf), 1 pp.

Hus, J., Ech-Chakrouni, S., Etat actuel de la datation archéomagnétique en Europe. Journée d'Archéologie en Wallonie (JAW 2011), 2-3 décembre 2011.

Humbled, F., Rasson, J., Hus, J., Spassov, S., Gonsette, A., Hendrix, O., Magnetic Valley: a research valorization project, *Geophysical Research Abstracts* Vol. 13, EGU2011-14029, 2011.

Mangold, A., De Backer, H., Delcloo, A., De Paepe, B., Dewitte, S., Chiapello, I., Derimian, Y., Kacenelenbogen, M., Leon, J.-F., Huneus, N., Schulz, M., Ceburnis, D., 2011. O'Dowd, C.D., Flentje, H., Kinne, S., Benedetti, A., Morcrette, J.-J. and Boucher, O., Aerosol analysis and forecast in the ECMWF Integrated Forecast System: Evaluation by means of case studies, in: D.G. Steyn and S.T. Castellani (eds.), *Air Pollution Modelling and its Application XXI*, NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security 4, 525-528, doi: 10.1007/978-94-007-1359-8_87, 2011, Proceedings of the 31st NATO/SPS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application, 27.9 – 01.10.2010, Torino, Italy.

Mangold, A ., De Backer, H., Hermans, C., Gorodetskaya, I. and Maenhaut, W., 2011. Monitoring atmospheric composition at Princess Elisabeth Station, in: F. Dehairs (Chief Ed.), H. Declerq, C. De Broyer, J.-L. Tison, A. Vanreusel, A. Wilmotte (eds.), Proceedings of the Contactforum, Belgian IPY symposium. The contribution of Belgian Research to the achievements of the International Polar Year 2007-2009', The Royal Academies for science and the arts of Belgium, National Committee of Antarctic Research, 26.05.2010, Brussels, Belgium.

Poelman, D. R. , 2011: 'Present status and preliminary results of the Belgian lightning detection network'. Poster presented at the 6th European Conference on Severe Storms, Palma de Mallorca, Balearic Islands, Spain, 3- 7 October 2011. Spassov, S ., Heller, F., Evans, M.E., Analysis and interpretation of natural remanence directions at the upper Olduvai boundary at Lingtai, Chinese Loess Plateau, abstract N° 1589, XVIII INQUA Congress, Berne, Suisse, du 21 au 27 Juillet, 2011 . Spassov, S. Hus, J., Ech-Chakrouni, S ., A sampling technique for signals of fractal nature: Application to top soil magnetic susceptibility measurements, Geophysical Research Abstracts Vol. 13, EGU2011-13976, 2011.

Spits, J., Warnant, R. , 2011. Enhancement of Total Electron Content Monitoring Using Triple Frequency GNSS Data. 3 rd International Colloquium - Scientific and Fundamental Aspects of the Galileo Programme, Copenhagen, 31 August-2 September 2011, Copenhagen, Denmark.

Stankov, S. , 2011. RMI ionosphere/space weather research and developments. STCE Annual Meeting / Ionosphere Workshop, 26 May 2011, Royal Observatory, Brussels.

Stankov, S. , 2011. Geomagnetic indices and their use and their use in operational space weather services . STCE Seminar, 14 October 2011, Royal Observatory, Brussels.

Conférences et posters sans résumé

Arboleda, A., Ghilain, N., 2011: Evapotranspiration. Participation to EUMETrain event week, session 4 (on-line presentation, see http://www.eumetrain.org/events/lsasaf_week_2011.html), 22nd November 2011.

Caluwaerts, S., Deckmyn, A., Degrauwe, D., Duerinckx, A., Gerard, L., Hamdi, R., Smet, G., Termonia, P., ALADIN-Belgium national poster. Presented at the 33rd EWGLAM and 18th SRNWP Meetings, Tallinn, Estonia, 10 October - 13 October 2011.

Carrassi, A.: Conference at the RMI, 12 October 2011: Advanced data assimilation techniques and model error.

Clerbaux, N., Conference at the RMI, 23 November 2011: Satellite monitoring of the climate : the European Climate Monitoring SAF project.

De Bock, V., Conference at the RMI, 5 October 2011: Aerosol optical depth measurements at 340 nm with a Brewer spectrophotometer and comparison with Cimel sunphotometer observations at Uccle, Belgium.

De Bock, V., De Backer, H., Mangold, A., Improved cloud screening for Aerosol Optical Depth measurements with a Brewer spectrophotometer, European Aerosol Conference, Manchester, United Kingdom, September 4-9, 2011. (pdf-file, 1.1 Mb)

Deckmyn, A., Gustafsson, N. : Report on the Joint SRNWP workshop on DA-EPS, Bologna, 22-24 March, at Joint 21st ALADIN Workshop & HIRLAM All Staff Meeting 2011, 5-8 April 2011, Norrköping, Sweden.

Deckmyn, A., Tsyrlunikov, M.: Review of the joint ensemble prediction and ensemble data assimilation workshop in Bologna, at 33rd EWGLAM and 18th SRNWP meetings, 10th - 13rd October 2011 (Tallinn, Estonia).

Defourny, P., Tychon, B., Gellens-Meulenberghs, F., de Wit, A., Piccard, I., Bakary, D., Amani, L., Sepulcre Canto, G., Delrue, J., Qinghan, D., Massart, M., Curnel, Y., Duveiller, G., Bériaux, E., 2011: GLOBAM outcomes bridging the gap between agriculture monitoring and crop modeling at regional scale. Belspo Belgium Observation Day, Oudenburg , 25th May.

Delcloo, A., Tuinder, O., Validation of GOME-2 ozone profiles, using balloon sounding data, EUMETSAT Meteorological Satellite conference, Oslo, Norway, 4-9 September 2011. (pdf-file, 0.4 Mb)

Delcloo, A., Van Malderen, R., De Backer, H., Trends in ozone concentrations at the ozonesonde station of Uccle. Second Workshop on Tropospheric Ozone Changes, April 11th - April 14th, 2011, Toulouse - France (pdf-file 145 Kb)

Delcloo, A., Hurtmans, D., Coheur P-F, Clerbaux, N., Validation of IASI ozone profiles, using balloon sounding data, EUMETSAT Meteorological Satellite conference, Oslo, Norway, 4-9 September 2011. (pdf-file, 0.3 Mb)

Delcloo, A., Smet, G., Termonia, P., De Backer, H., Evaluation of an experimental ensemble forecast system with the CTM CHIMERE, using the 50 members of the operational ECMWF EPS forecasts, International WORKSHOP on Air Quality Forecasting Research, 29 Nov - 1 Dec, 2011, Washington DC - USA. (pdf-file, 0.1 Mb)

Demarée, G.R., 2011. Contribution of the RMIB to PEP725, ECSN, ZAMG, Pan European Phenology DB, Vienna, 5 April 2011.

Demarée, G.R., 2011. Climatic and human dimension's aspects of large volcano eruptions: Lakigigar (1783-1784) and Asama (1783). Pre-COST-project CESIVOLC, Paris, Sorbonne, Institut de Géographie, 5 December 2011.

Gellens-Meulenberghs, F., Roujean, J.-L., Trigo, I., and collaborators, 2011: Land SAF Evaporation and Radiation Budget Products. Invited course in the framework of EUMETSAT Training Course on Satellite Data Application in Hydrology, Kraków, Poland, 14-15th November 2011.

Gellens-Meulenberghs, F., Roujean, J.-L., Trigo, I., and collaborators, 2011: Land SAF Evaporation and Radiation Budget Products. Invited course in the framework of EUMETSAT Training Course on Satellite Data Application in Hydrology, Kraków, Poland, 14-15th November 2011.

Gerard, L.: Contribution to RMI ALADIN group's poster, EWGLAM Meeting, October 2011.

Gerard, L.: Comparison of CAPE and moisture convergence closure results in 3D-model tests, at COST ES0905 WG1+2 meeting, Munich, May 2011.

Gerard, L.: Complementary subgrid updraft approach: theoretical bases, main features, behaviour study in 3D academic model, at COST ES0905 WG3 meeting in Offenbach, 28-29 November 2011.

Ghilain, N., 2011: Evapotranspiration monitoring from remote sensing: a large scale application.

Invited lecture in the framework of the VUB IUPWARE Master/PhD program, Brussels, Belgium, 26th April 2011.

Hamdi, R.: SURFEX behavior within the BELGIAN NWP: ALADIN 7 km, ALARO 7 km, and ALARO 4 km. Joint 21st ALADIN Workshop & HIRLAM All Staff Meeting 2011, 5-8 April 2011, Norrköping, Sweden (Poster)

Hamdi, R.: Downscaling global climate change to the city level : A case study for the Brussels Capitale Region Part I : Challenges. RMI conference, 30th November 2011. (Presentation)

Hamdi, R.: Recent developments in land surface modeling and data assimilation in ALADIN. ECMWF, 5th September 2011. (Presentation)

Hamdi, R.: On the use of SURFEX as a new land surface scheme for ALADIN/ALARO. Toulouse, 6th October 2011. (Presentation)

Iversen T., Deckmyn, A.: GLAMEPS and HarmonEPS: LAM ensemble prediction systems under development, at 33rd EWGLAM and 18th SRNWP meetings, 10th - 13rd October 2011 (Tallinn, Estonia).

Tuinder, O.N.E., Delcloo, A., Kins, L., Ozone Profiles & Aerosol Products from GOME-2: Outlook for CDOP-2, EUMETSAT Meteorological Satellite conference, Oslo, Norway, 4-9 September 2011.

Hamdi, R., Conference at the RMI, 30 November 2011: Downscaling global climate change to the city level : A case study for the Brussel Capitale Region (Part I : Challenges).

Humbled, F., Conference at the RMI, 14 December 2011: Magnetic Valley: achievements & challenges

Hus, J., Géomagnétisme et Archéologie (Archéomagnétisme). Table ronde SPW-DG04, 2 février 2011.

Journée, M., Conference at the RMI, 18 May 2011: Prévision du temps et renseignements climatologiques

Mangold, A., De Backer, H., Hermans, C., Maenhaut, W., Monitoring and characterising light-absorbing particles at Princess Elisabeth station, East Antarctica, 10th International Conference on Carbonaceous Particles in the Atmosphere, 26-29 June 2011, Vienna, Austria. (pdf file 0.8Mb)

Nikitidou, E., De Bock, V., De Backer, H., Kazantzidis, A., Estimation of aerosol optical properties and their effect on UV irradiance at Uccle, Belgium, 11th EMS Annual Meeting / 10th European Conference on Applications of Meteorology (ECAM), Berlin, Germany, September 12-16, 2011. (pdf-file, 1.1 Mb)

Poelman, D., Conference at the RMI, 9 November 2011: Lightning principles and research at KMI.

Roulin, E., Conference at the RMI, 26 October 2011: Post-processing of medium-range ensemble precipitation forecasts.

Smet, G., Conference at the RMI, 7 December 2011: On the economic value of weather forecast

Smet, G., Economic value of GLAMEPS-LAEF over Belgium. Talk at the 21st ALADIN Workshop & HIRLAM All-Staff Meeting 2011, Norrköping, Sweden, 5 April - 8 April 2011.

Smet, G., Conference at the RMI, 7 December 2011: On the economic value of weather forecasts.

Spassov, S., Magnetic minerals in the environment: What do they reveal? – A transdisciplinary survey through applied Earth science. Invited talk given at Ludwig Maximilian University of Munich, Germany on the 8th of November 2011.

Van den Bergh, J., Improving the cloud geometry in APLMPHYS. 21st ALADIN Workshop & HIRLAM All Staff Meeting 2011, 5-8 April 2011, Norrköping, Sweden.

Van den Bergh, J., Improving the cloud geometry in APLMPHYS. 21st ALADIN Workshop & HIRLAM All Staff Meeting 2011, 5-8 April 2011, Norrköping, Sweden.

Van den Bergh, J., Conference at the RMI, 16 November 2011: Probabilistic forecasting of floods and extreme precipitation.

Van de Vyver, H., Delcloo, A., 2011. Stable estimations for extreme wind speeds. Poster presented at 7th Conference on Extreme Value Analysis, Probabilistic and Statistical Models and their Applications, June 27th-July 1st, 2011, Lyon, France.

Van de Vyver, H., Delcloo, A., 2011. Stable estimations for extreme wind speeds. Poster presented at 7th Conference on Extreme Value Analysis, Probabilistic and Statistical Models and their Applications, June 27th-July 1st, 2011, Lyon, France.

Thèses en vue de l'obtention du grade de docteur

Aucune thèse de doctorat n'a été produite en 2011.

Avis pour le Fonds des Calamités

Date de l'événement	Type d'événement	Provinces touchées
Octobre 2010		
23/24 octobre 2010	Précipitations abondantes	Flandre-Occidentale (1 commune)
Janvier 2011		
Décembre 2010 (4 conseils)	Épaisseur de la couche de neige/ charge de neige	Toute la Belgique
Du 6 au 15 janvier 2011	Précipitations abondantes + dégel	Toute la Belgique
Juin 2011		
6 juin 2011	Orage avec précipitations abondantes	Limbourg (1 commune)
28 juin 2011	Orage avec tempête et fortes pluies	Brabant flamand (8 communes)
		Brabant wallon (5 communes)
		Anvers (28 communes)
		Flandre-Orientale (6 communes)
		Liège (6 communes)
		Limbourg (2 communes)
Juillet 2011		
14 juillet 2011	Orage et grêle	Hainaut (2 communes)
14 juillet 2011	Orage avec précipitations abondantes	Brabant wallon (2 communes)
21 juillet 2011	Orage avec précipitations abondantes	Région de Bruxelles-Capitale (1 commune)
Août 2011		
18 août 2011	Orage avec tempête et fortes pluies	Brabant flamand (41 communes)
		Région de Bruxelles-Capitale (9 communes)
		Flandre-Orientale (4 communes)
		Liège (7 communes)
		Limbourg (4 communes)
		Brabant wallon (11 communes)
		Anvers (19 communes)

...

Date de l'événement	Type d'événement	Provinces touchées
22 et 23 août 2011 (2 conseils)	Orage avec tempête et fortes pluies	Brabant flamand (40 communes)
		Brabant wallon (12 communes)
		Anvers (19 communes)
		Région de Bruxelles-Capitale (9 communes)
		Flandre-Orientale (7 communes)
		Hainaut (11 communes)
		Liège (4 communes)
		Limbourg (1 commune)
Namur (4 communes)		



liste des acronymes et abréviations

ALADIN: Aire Limitée, Adaptation dynamique, Développement InterNational
ALDIS: Austrian Lightning Detection and Information System
AUTODIF: Automatic Declination and Inclination Fluxgate Theodolite
BIRA: Belgisch Instituut voor Ruimte Aëronomie
CEPMMT: Centre Européen pour les prévisions Météorologiques à Moyen terme
CERES: Clouds and the Earth's Radiant Energy System
ChRM = aimantation rémanente caractéristique
DGO4 du SPW = Direction de l'Archéologie de la Direction générale du Territoire, du Logement, du Patrimoine et de l'Energie. Service public Wallonie
ECMWF: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
ECOMET: Economic Interest Grouping of the National Meteorological Services of the European Economic Area
EGU = European Geosciences Union
EPS : Ensemble Prediction System
EUMETNET: European Meteorological network
EUMETSAT: EUropean METeorological SATellites
GLAMEPS : Grand Limited Area model Ensemble Prediction System
GERB: Geostationary Earth Radiation Budget
GIEC: Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GPD: Generalized Pareto Distribution
HEPS: Hydrological Ensemble Prediction System
HIRLAM: High Resolution Limited Area Model
IASB: Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique
INCA : Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis
INDRA: INtegrateD Rmi Alert system
IPCC: Intergovernmental Panel on Climate change
IRPA = Institut royal du Patrimoine artistique
JAW = Journée d'Archéologie en Wallonie
KNMI : Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
KSB: Koninklijke Sterrenwacht van België
LAEF: Limited Area Ensemble Forecasting
LSA-SAF : Land Surface Analysis – Satellite Application Facility
LTT: Lighting Task Team
MFG : Meteosat First Generation (satellites)
MSG : Meteosat Second Generation
OMM: Organisation Météorologique Mondiale
ORB: Observatoire Royal de Belgique
SAF: Satellite Application Facilities
SAFIR : Système d'Alerte Foudre par Interferometry Radioélectrique
SEVIRI: Spinning Enhanced Visible Infra-Red Imager
SOVAP: Solar VARIability Picard
STCE: Solar Terrestrial Centre of Excellence
WIDIF: Wireless Diflux
WMO: Wereld Meteorologische Organisatie
ZAMG: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

