



1. SUIVI ET PRÉVISION DE LA PLUVIOMÉTRIE EN RÉGION BRUXELLOISE

1. Suivi des orages et des précipitations orageuses

1.1. Alerte – Orages

Depuis 1993, l'Institut royal météorologique de Belgique (IRM) s'est équipé d'un réseau de détection automatique des orages remplaçant avantageusement les méthodes d'observations traditionnelles. Le réseau a été complètement renouvelé depuis lors et c'est aujourd'hui **le système « BELLS »¹ (Belgian Lightning Location System) qui mesure en temps réel l'activité électrique dans l'atmosphère avec une précision au-dessus du territoire belge de l'ordre de quelques centaines de mètres.**

Une particularité de ce système est qu'il détecte les décharges intra-nuages qui constituent précisément les premières phases d'un orage. Ce type d'informations apportées en temps réel permet d'évaluer la vitesse et la direction de la zone orageuse du point de vue électrique et permet donc **d'anticiper les décharges au sol (coups de foudre)**, bien évidemment plus dangereuses pour les personnes et les biens. Actuellement, le réseau BELLS détecte ainsi plus de 95% des coups de foudre, ce qui le propulse parmi les réseaux les plus performants d'Europe.

Utilisées en complément aux prévisions et aux avertissements météorologiques (voir point 2.2), certaines applications particulièrement performantes de ce système peuvent lancer des alertes « dernières minutes » très ciblées localement. Les données BELLS sont aussi intégrées dans le système INCA-BE qui est à la base des alertes liées aux prévisions à très court terme (voir point 2.1). Ainsi, les données BELLS peuvent être utilement combinées avec les images issues du réseau des radars météorologiques détectant, quant à eux, les précipitations.

1.2. Observations pluviométriques en Région bruxelloise

1.2.1. Les réseaux de mesures institutionnalisés

L'IRM s'appuie sur deux types de réseaux pour les relevés pluviométriques en Belgique : l'un est automatique, l'autre manuel. Les stations IRM implantées sur le territoire de la Région de Bruxelles-Capitale (RBC) sont les suivantes :

- **La station d'Uccle**, station de référence pour le climat belge. Elle est équipée de plusieurs instruments pluviométriques dont les précisions sont comparées pour en tirer des conclusions d'un point de vue opérationnel. Certains instruments électroniques permettent d'enregistrer les **précipitations en temps réel** et leur consultation en ligne permet aux prévisionnistes d'avoir accès aux données. Cette station fait partie du **réseau belge d'observations synoptiques** (stations de l'IRM, de Skeyes et du Meteo Wing) qui compte une trentaine de stations dans le pays et dont les données automatisées sont centralisées et exploitées par l'IRM.
- **Deux autres stations**, non automatisées, situées également à Uccle, sont exploitées par l'IRM, dans le cadre d'une collaboration avec Vivaqua. Ces deux stations font partie du **réseau climatologique manuel** comptant environ **200 stations en Belgique. Les cumuls journaliers de précipitations y sont relevés par des observateurs le matin à 8h.**

D'autre part, pour répondre à ses besoins spécifiques, Hydria (ex Société Bruxelloise de Gestion de l'Eau SBGE) dispose actuellement d'une **quinzaine de pluviomètres automatiques** répartis sur le territoire bruxellois et appartenant au réseau nommé « Flowbru » (voir <https://www.flowbru.be/fr>).

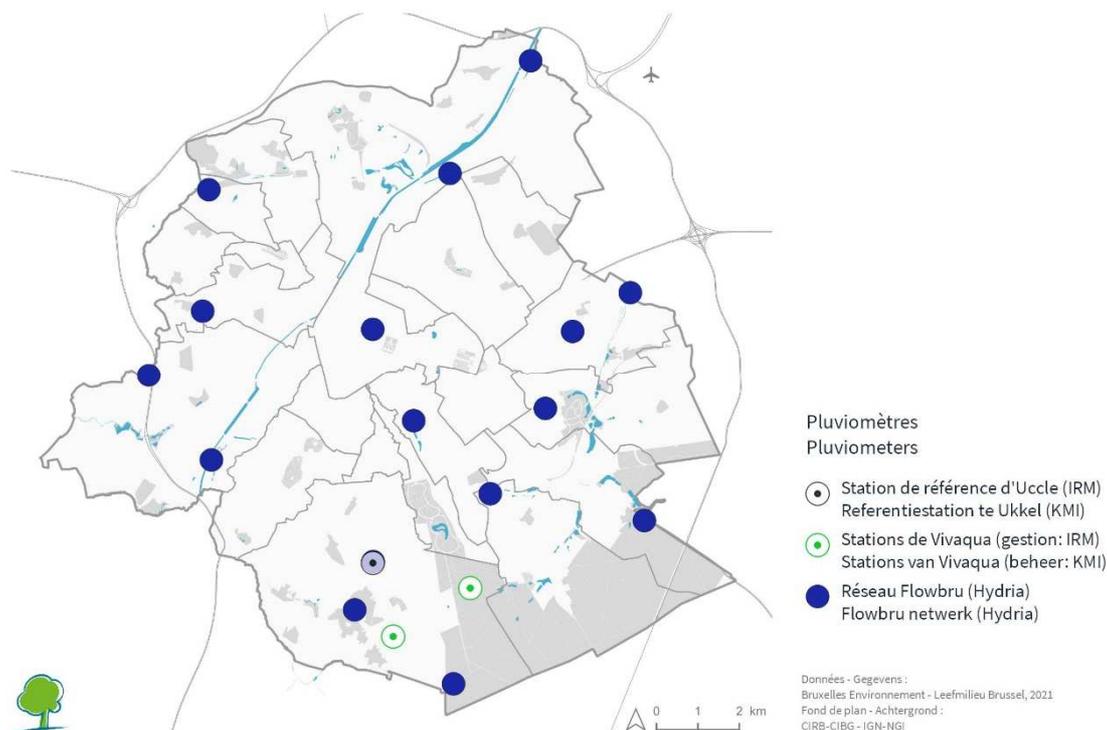
ⁱ Appelé au départ « SAFIR », du nom des capteurs utilisés à l'époque. A partir de 2011, le réseau BELLS a été complété progressivement avec 5 capteurs d'un autre type (LS7002). Ce réseau exploite également les données de 9 autres capteurs similaires situés dans les pays voisins.



Un de ces pluviomètres est installé dans le parc synoptique de l'IRM, aux fins de comparer les mesures instrumentales. L'ensemble des données pluviométriques du réseau Flowbru est transféré quotidiennement vers l'IRM et contribuent en cas d'événements extrêmes à une meilleure description des zones sinistrées. Ainsi, toutes les informations relatives aux précipitations ayant conduit à des dommages en Région bruxelloise peuvent être intégrées dans les analyses que l'IRM transmet à Bruxelles Pouvoirs locaux dans le cadre de la reconnaissance de calamités naturellesⁱⁱ.

Figure 1.1 : Les réseaux de pluviomètres en Région bruxelloise

Source : Bruxelles Environnement, 2021



1.2.2. Le crowdsourcing (ou production de données participative)

L'IRM fait également appel au **crowdsourcing** pour obtenir des relevés météo complémentaires (dont les précipitations). L'avantage du crowdsourcing est d'étendre la couverture spatiale des observations mais aussi d'obtenir des informations sur des phénomènes très locaux, non détectés par les réseaux de mesures en surface. Les inconvénients généralement cités pour le crowdsourcing sont la fiabilité des données, leur validation ou encore la pérennité des lieux d'observations (peu ou pas de chroniques de mesures en un même site, variabilité des observateurs...).

Deux sources de crowdsourcing ont été mises en place par l'IRM :

- **Via la plateforme WOW-BE** (Weather Observations Website – Belgium <https://wow.meteo.be/fr/>). La plateforme WOW a été développée en 2011 à l'initiative du UK Met Office, le service météorologique du Royaume-Uni. Elle associe d'autres partenaires dont le Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI), l'équivalent de l'IRM aux Pays-Bas. Depuis 2017, l'IRM s'est joint à cette initiative internationale permettant à toute personne possédant **une station météorologique automatique** de partager ses observations en temps réel via internet. Les stations sont surtout installées chez des particuliers et dans des écoles. **A la mi-2021, la Région bruxelloise comptait 7 stations.**

ⁱⁱ La compétence de la reconnaissance des calamités naturelles, autrefois du ressort du Fonds des Calamités, a été transférée aux Régions en 2014. C'est Bruxelles Pouvoirs locaux du Service public régional de Bruxelles qui en a la charge pour la Région bruxelloise (<http://pouvoirs-locaux.brussels/theme/soutien-regional/calamites?>).



La qualité des données d'un tel réseau n'est a priori pas comparable à celle des réseaux de mesures institutionnalisés précités. L'examen des données et le filtrage des valeurs erronées est une activité essentielle de ce genre de projet. Néanmoins, un certain nombre d'études du KNMI et de l'IRM ont déjà montré **l'intérêt scientifique** des données de température et de précipitations récoltées. Une analyse des relevés pluviométriques de l'année 2017 de la plateforme WOW-BE a ainsi révélé que la qualité des cumuls journaliers était similaire à celle des données officielles. En revanche, les données horaires sont moins fiables et ne peuvent donc pas être utilisées directement dans des travaux scientifiques (IRM, Svenja Wilfert, 2018).

Les données collectées via la plateforme WOW-BE peuvent être exploitées pour évaluer en temps réel des situations extrêmes (et améliorer ainsi les avertissements météo), analyser a posteriori certains phénomènes mais aussi, par exemple, pour étudier l'îlot de chaleur urbain.

- **Via son application mobile :**

<https://www.meteo.be/fr/infos/faq/produits-et-services/guide-de-l-application-mobile-de-l-irm>

Depuis août 2019, une nouvelle fonctionnalité a été rajoutée dans l'application mobile de l'IRM. Les utilisateurs peuvent maintenant également transmettre leurs observations instantanées via cette app, **en renseignant le type de phénomène météo** à l'endroit où ils se trouvent (orage, pluie, neige, etc.), ainsi que l'intensité des précipitations. Près d'1,8 million d'observations ont été encodées en 2 ans sur l'ensemble du pays. Pour la RBC, plus de 86.000 observations ont été récoltées, dont environ 18.000 données sur les précipitations (soit 21% du total des observations). En 2020, la possibilité de rapporter également des observations d'inondations a été introduite à la demande des services hydrologiques régionaux. La possibilité d'envoyer également des photos via la fonctionnalité de l'app est à l'étude.

Après filtrage des valeurs les plus suspectes, les données collectées via l'app permettent de suivre en temps réel la situation météo dans le pays (intérêt pour les prévisionnistes pour des phénomènes parfois très localisés, comme le brouillard, les précipitations neigeuses, les chutes de grêle), de valider les observations et produits radar (occurrence de précipitations, type de précipitations, probabilité de grêle) et de fournir des données potentiellement utiles pour les demandes d'information de la part du public ou pour les avis transmis par l'IRM dans le cadre des calamités publiques.

A côté des initiatives prises par l'IRM, il faut aussi mentionner l'implication du Département HYDR de la VUB dans le projet européen FloodCitiSense (<http://www.floodcitisense.eu>) dont Bruxelles est une des trois villes pilotes. Son objectif est la mise en place d'un service d'alerte rapide en cas d'inondation en zone urbaine. Une des composantes importantes du projet est la possibilité fournie aux citoyens bruxellois, via une application mobile, de communiquer en temps réel le type et l'intensité des précipitations, ainsi que les inondations qui y sont éventuellement liées très localement (plus d'information via <https://www.vub.be/en/theworldneedsyou/planet/project/floodcitisense#about-floodcitisense>). Une série de capteurs pluviométriques à faible coût sont également déployés par des particuliers en RBC et leurs mesures sont testées pour évaluer leur complémentarité avec celles des pluviomètres des réseaux institutionnalisés.



1.3. Les estimations pluviométriques à l'aide du réseau radar

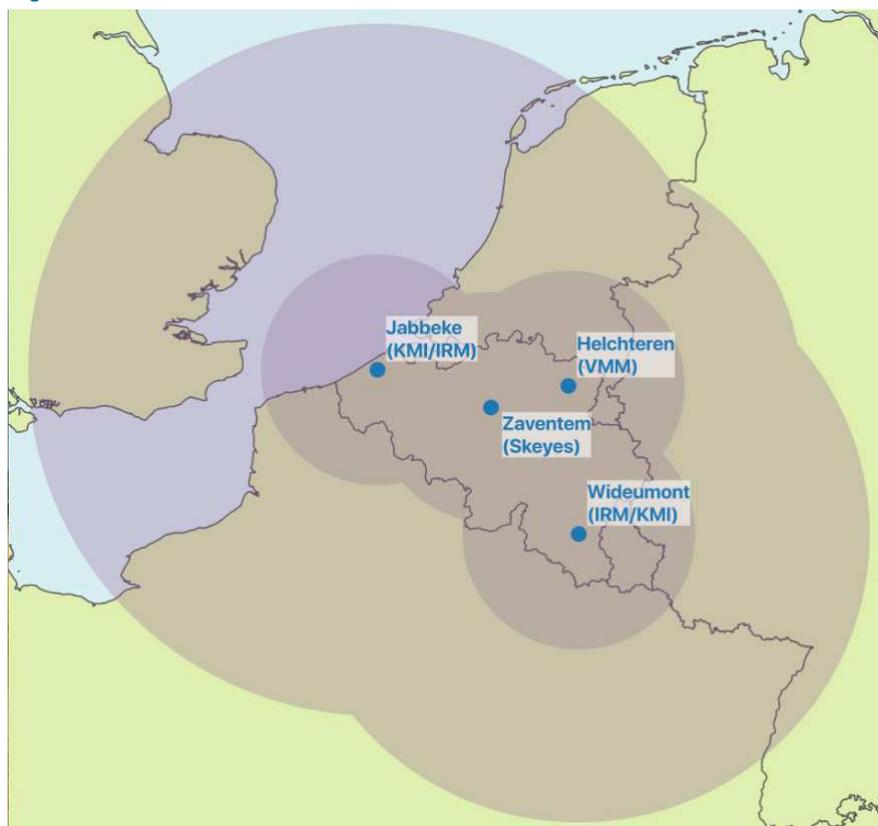
Le radar a fait son apparition en aéronautique durant la seconde guerre mondiale. Sur les images radar apparaissaient des échos en provenance des particules de précipitations (pluie, neige ou grêle). En aéronautique, ces échos étaient considérés comme des parasites. Les météorologistes y virent au contraire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

La Belgique compte sur son territoire **4 radars météorologiques pour observer les précipitations en temps réel (cf. figure 1.2), ce qui donne une couverture radar remarquable pour le pays.** L'IRM est propriétaire de 2 radars, mais exploite opérationnellement en temps réel les données de tous les radars belges :

- Le premier radar installé par l'IRM en 2001 à Wideumont (Libramont) dans la province du Luxembourg. Il sera remplacé en 2022.
- Le deuxième radar installé à Zaventem en 2003, exploité, en priorité pour les besoins aéronautiques, par le service météorologique de Skeyesⁱⁱⁱ.
- Le troisième radar installé par l'IRM en 2012 à Jabbeke, en Flandre occidentale.
- Le radar le plus récent situé à Helchteren (Houthalen-Helchteren) dans le Limbourg, exploité depuis 2016 par la Vlaamse Milieumaatschappij (VMM).

Figure 1.2 : Le réseau belge de radars météorologiques

Source : Figure extraite du site web de l'IRM, 2021



Au niveau européen, un réseau de plus de 200 radars permet de couvrir la majeure partie du continent. **A côté des radars belges, l'IRM exploite également les données de radars relativement proches situés en France, en Allemagne et aux Pays-Bas.**

ⁱⁱⁱ Anciennement BelgoControl.



Un radar permet de détecter les précipitations jusqu'à une distance maximale qui dépend du radar (de 250 km pour le radar de Wideumont jusqu'à 300 km pour celui de Jabbeke). En général, la portée utile pour une estimation quantitative des précipitations est néanmoins beaucoup plus faible, en particulier en hiver lorsque les nuages sont relativement bas dans l'atmosphère. En été, les cumulonimbus (nuages d'orage) d'où proviennent les précipitations orageuses intenses ont une extension verticale de plusieurs kilomètres, ce qui permet à tous les radars belges de détecter ce type de précipitations au-dessus de la RBC.

Les observations radar brutes nécessitent d'être traitées afin d'obtenir des estimations fiables des intensités et des quantités de précipitations au sol. Ce traitement inclut notamment l'élimination des échos parasites, l'estimation des précipitations au sol à partir des observations radar en altitude, la combinaison des observations de différents radars et la fusion avec les données récoltées par les pluviomètres.

Le produit de base fourni par le radar météorologique est une **image des précipitations générée en temps réel toutes les 5 minutes**. L'application mobile de l'IRM relaie cette image radar avec des prévisions de précipitations toutes les 10 minutes et pour les trois heures à venir.

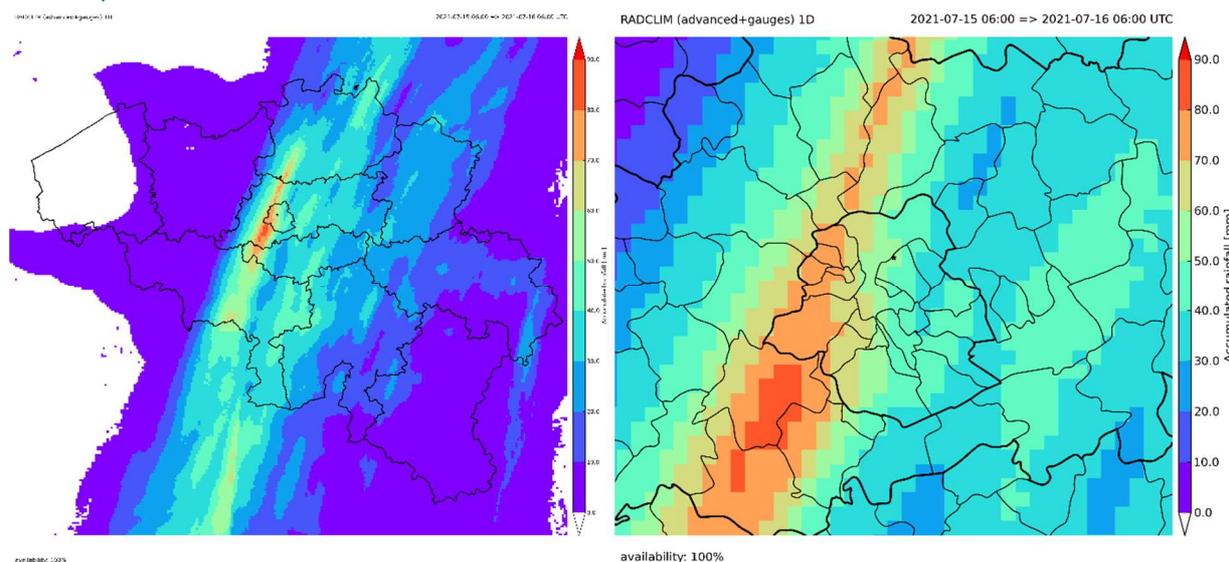
Ces images sont utilisées par l'IRM à différentes fins :

- d'une part pour les **prévisions météorologiques à très court terme**, notamment pour les alertes météorologiques liées à des événements potentiellement dangereux (orages violents, etc.) ;
- d'autre part, pour des prévisions à court terme, dans le cadre des **dispositifs de prévision des crues et des inondations** pilotés par les Régions (Bruxelles Environnement pour la Région bruxelloise) ;
- et enfin, **pour l'interprétation d'événements pluvieux a posteriori**, en combinant les images radars avec des mesures pluviométriques classiques au sol (à titre d'exemple, voir figure 1.3).

Figure 1.3 : Estimation du cumul 24h de précipitations entre le 15 juillet 2021 à 8h et le 16 juillet à 8h temps civil (entre 6h et 6h en temps universel UTC) sur le territoire Belge (à gauche) et sur la RBC (à droite)

Source : IRM, 2021

Les radars indiquent de fortes précipitations touchant l'ouest de la RBC avec des précipitations estimées entre 70 mm et 80 mm (l'échelle de couleurs donne les estimations de précipitations en mm). Plus de 77 mm ont été mesurés à Molenbeek (pluviomètre Semence du réseau Flowbru). Au sud-ouest de la RBC les précipitations estimées dépassent 90 mm. Ces précipitations intenses sur le bassin versant de la Senne ont été à l'origine de crues importantes sur la RBC.





2. Prédiction des orages et des précipitations orageuses

2.1. Actuellement, les orages sont-ils prévisibles ? À quelles échéances ?

Les orages font partie des phénomènes météorologiques dont la prévision détaillée s'avère complexe. Cela est lié à leur nature souvent localisée et, par conséquent, à la grande variabilité spatio-temporelle de leur activité. Le développement orageux intense à un endroit/moment précis (plutôt qu'à un autre) est sensible à différents facteurs dont la structure fine ne peut pas toujours être appréhendée facilement et peut parfois être liée à une particularité ponctuelle (relief, convergence locale, etc.).

Néanmoins, les méthodologies et techniques actuelles utilisées en météorologie opérationnelle permettent généralement d'anticiper les phénomènes orageux avec une efficacité/précision qui dépend de l'échéance et aussi du type d'orages (organisés ou non).

Pour des échéances de 2 à 7 jours, voire éventuellement plus éloignées, les situations potentiellement orageuses peuvent parfois déjà être anticipées à l'aide des modèles numériques de prévisions à échelle planétaire et à « mailles larges », ainsi que des prévisions d'ensemble issues de ceux-ci (voir point 2.3 pour les prévisions d'ensemble). Le météorologiste analyse les différentes configurations atmosphériques possibles et leurs probabilités respectives. Certaines de ces configurations peuvent présenter un potentiel orageux; ce potentiel peut être repéré via divers indicateurs fournis par les modèles, comme : des signaux de précipitations importants (surtout pour des systèmes orageux structurés, de grande échelle et très actifs, bien que cela ne soit pas systématique), un contexte dynamique (présence d'un courant-jet, d'un creux, etc.), des indices d'instabilité élevés, etc. Une estimation du nombre de décharges électriques et de la probabilité de dépassement de seuils de densité de ces décharges est également fournie par le modèle global ECMWF ; elle peut alors aussi être utilisée comme indicateur spécifique. Mais c'est l'expertise du météorologiste qui pourra in fine permettre d'attribuer un scénario orageux à un(e) éventuel(le) signal (configuration atmosphérique) dans les sorties de modèles globaux et de leurs ensembles.

Pour des échéances de 1 à 2 jours, il est souvent possible de confirmer/infirmer un contexte orageux et, le cas échéant, de pouvoir préciser la(les) partie(s) du pays, ou éventuellement les provinces, qui seront les plus/moins touchées. Mais des incertitudes importantes peuvent néanmoins parfois subsister quant au timing, à la localisation précise et à l'intensité de ces orages, surtout si ceux-ci sont purement convectifs et non organisés (c-à-d. : non liés à une structure de plus grande échelle comme un front, un creux, etc.). En plus des modèles numériques planétaires et de leurs prévisions d'ensemble, les météorologistes peuvent, à cette échéance plus rapprochée, aussi tirer parti des modèles numériques régionaux, traitant un domaine spatio-temporel plus restreint mais avec une résolution plus fine; ces modèles fournissent une représentation plus détaillée/moins lissée des champs pertinents (précipitations, rafales, etc.). Ils constituent en quelque sorte un « zoom numérique ». L'analyse pourra alors considérer des indicateurs plus avancés, comme : le cisaillement vertical du vent, l'hélicité relative, l'énergie convective potentiellement disponible, la convergence, etc. ainsi que d'éventuels « déclencheurs » liés à des effets locaux (brise de mer, relief, etc.). Ces éléments permettent de caractériser le type de cellule orageuse et d'estimer leur sévérité (en terme d'intensité de précipitations, de risque de grêle, et/ou de phénomènes dynamiques associés).

Dans les quelques heures qui précèdent l'évènement (typiquement jusqu'à 6 heures), les données d'observations entrent en ligne de compte et s'ajoutent aux méthodologies susmentionnées. Les images satellites à haute résolution spatio-temporelle, les données RADAR (voir point 1.3) ainsi que celles du réseau de détection des décharges électriques (réseau BELLS : voir point 1.1) et de données annexes (observations aux stations, crowdsourcing, etc., voir point 1.2) sont recoupées afin d'assurer un suivi de l'activité orageuse en voie de développement et/ou déjà présente (sur le territoire et/ou en amont). Des algorithmes (INCA-BE), permettent des extrapolations à très court terme (typiquement jusqu'à 3 heures d'échéance) des précipitations liées à l'activité orageuse. Ils reposent sur une exploitation combinée des modèles à mailles fines et des données d'observations les plus récentes (RADAR, etc.). Des techniques permettent aussi d'estimer la probabilité de présence de grêle en temps réel. Ainsi, à une échéance d'une heure, il est généralement possible d'être plus précis et de descendre graduellement à l'échelle des communes. Toutefois, même à ces échéances très courtes, de l'incertitude peut encore subsister car certains processus évoluent à des échelles de temps inférieures à l'heure.



2.2. Les produits de prévisions les plus courants en rapport avec les orages

Sur son site internet accessible à tous et via son application mobile, l'IRM diffuse actuellement :

- **des prévisions générales** comprenant des tendances à 14 jours, des prévisions journalières à 7 jours et des prévisions plus détaillées pour les 48 heures à venir.

Ces prévisions se déclinent sous deux formes principales :

- des graphiques, cartes ou icônes représentant l'évolution prévue des variables clefs (température, vitesse/direction du vent, précipitations, etc.), et pouvant être consultés à l'échelle de la Belgique ou pour une localisation précise (commune) ;
- des bulletins sous forme de textes fournissant une description de l'évolution dans son ensemble, permettant aussi de nuancer les produits graphiques/quantitatifs, de donner une idée de l'incertitude, et de lier ces différents éléments au contexte atmosphérique.

Ces produits sont régulièrement mis à jour : 5 fois par jour pour les prévisions à des échéances de 6 heures à 14 jours, et plus régulièrement encore (parfois toutes les heures) pour les prévisions à très court terme (Nowcasting) qui se focalisent sur les prochaines 6 heures.

- **des avertissements généraux** pour tous les phénomènes météorologiques dangereux. La classification de ces risques a fait l'objet d'une harmonisation à l'échelle européenne entre les différents services météorologiques nationaux (voir « Météo-Alarm » http://www.meteoalarm.eu/index.php?lang=fr_FR). Pour ce qui concerne **les orages**, les couleurs de l'avertissement varient suivant une échelle de niveaux identifiés comme suit :
 - **Niveau vert** : Pas de problème significatif lié aux orages. Éventuellement possibilité de quelques coups de tonnerre ou impacts de foudre localisés.
 - **Niveau jaune** : Localement des orages avec de fortes pluies, de la grêle, des rafales de vent, ou des impacts de foudre, pouvant conduire à des problèmes ou des dégâts. Être vigilant.
 - **Niveau orange** : Orages violents et répandus avec des pluies intenses, de la grêle, de violentes rafales de vent ou des impacts de foudre, pouvant conduire à des problèmes ou des dégâts répandus. Se tenir prêt et suivre les conseils donnés par les autorités compétentes.
 - **Niveau rouge** : Risque élevé d'orages très violents avec des impacts exceptionnels en plusieurs endroits. Prendre des mesures pour assurer sa sécurité ainsi que celle des autres et, si possible, protéger nos bien personnels. Suivre scrupuleusement les conseils des autorités compétentes.

L'avertissement est émis dans un certain délai qui est fonction de son niveau (au maximum 48h avant l'évènement pour le code jaune, 24h pour l'orange et 12h pour le rouge). Il est réactualisé plusieurs fois par jour, voire toutes les heures en cas d'évolution rapide.

Sur une carte du pays en ligne, les niveaux d'alarme sont définis pour 9 zones correspondant approximativement aux « anciennes » 9 provinces belges. **Pour ce type d'avertissements, la RBC est donc soumise aux mêmes « alarmes » que la province du Brabant.** L'émission d'un avertissement de niveau jaune, orange ou rouge est décidée si, sur base des prévisions, on estime que la probabilité d'atteindre ou de dépasser les critères relatifs à ce niveau est d'au moins 65 % sur minimum un quart de la zone considérée. Les critères sont liés à des seuils quantitatifs (cumuls de précipitations sur 1h, 6h, 24h, taille estimée de la grêle, etc.) et/ou à la présence de phénomènes dynamiques potentiellement dangereux (fortes rafales). Les principaux critères relatifs aux avertissements pluie et orages sont repris dans la figure 1.4.



Figure 1.4 : Tableau récapitulatif des critères non exhaustifs liés aux avertissements de pluies et/ou d'orage

Source : Figure extraite du site web de l'IRM, 2021

Avertissement			
Pluie	10 à 30 l/m ² en 1 heure*	31 à 50 l/m ² en 1 heure*	Dégâts déjà constatés dans la province et précipitations abondantes encore prévues
	ou	ou	
	20 à 40 l/m ² en 6 heures	41 à 60 l/m ² en 6 heures	ou
ou	ou		
25 à 50 l/m ² en 24 heures	51 à 100 l/m ² en 24 heures	> 50 l/m ² en 1 heure* ou > 60 l/m ² en 6 heures ou > 100 l/m ² en 24 heures	
Orages	10 à 30 l/m ² en 1 heure*	31 à 50 l/m ² en 1 heure*	Dégâts déjà constatés et précipitations abondantes encore prévues
	ou	ou	
	20 à 40 l/m ² en 6 heures	41 à 60 l/m ² en 6 heures	ou
	ou	ou	
	25 à 50 l/m ² en 24 heures	51 à 100 l/m ² en 24 heures	> 50 l/m ² en 1 heure* ou > 60 l/m ² en 6 heures ou > 100 l/m ² en 24 heures
	ou	ou	ou
	risque de fortes rafales localisées	risque de fortes rafales sur une zone étendue	risque de rafales violentes sur une zone étendue
ou	ou	ou	
risque de grêlons de 1 à 2 cm	risque de grêlons de 3 à 5 cm	ou risque de grêlons > 5 cm	

- **Des flashes météo, via l'application mobile**, pour l'arrivée imminente (de 10 minutes à maximum 1 heure) de pluies intenses en combinaison ou non avec des orages ou de la grêle, **à l'échelle des communes** (voir : <https://www.meteo.be/fr/infos/actualite/lirm-lance-les-flashes-meteo>). Ils sont actualisés **toutes les 10 minutes**.

Une des spécificités des flashes météo est qu'ils sont générés de manière automatisée par une technologie de prévisions à très court terme intelligente (INCA-BE, voir point 2.1). Cette technologie exploite à la fois les données des radars météorologiques et celles liées à la foudre du réseau BELLS.

L'extrapolation des précipitations ainsi que les signaux de grêle et de décharges électriques sont analysés sur deux échéances caractéristiques : très courte (jusqu'à 20 minutes) et longue (de 20 à 80 minutes). Des critères spécifiques d'intensités sont définis pour chacune de ces échéances et sont fournis sur : <https://www.meteo.be/fr/infos/faq/produits-et-services/criteres-des-flashes-meteo-de-lapplication-de-lirm>. Ils se déclinent sur 3 niveaux de couleurs (jaune, orange ou rouge), comme les avertissements généraux.



Lorsqu'une partie d'une commune (plus de 33%) répond à l'un des critères à court ou long terme, un flash est alors émis pour cette commune. Le flash précise :

- o le/les phénomène(s) concerné(s) : forte pluie et/ou orage et/ou grêle, etc. ;
- o le niveau de sévérité : intense, très intense, extrême, suivant le niveau (jaune, orange ou rouge, en fonction des critères) ;
- o l'échéance : l'heure de l'arrivée du/des phénomènes concernés ;
- o le risque : probable/élevé si le niveau est atteint à long terme, et très probable/très élevé si le niveau est atteint à très court terme.

2.3. Des progrès opérationnels peuvent-ils être raisonnablement attendus bientôt pour la prévision de ces phénomènes ?

Des progrès au niveau de la prévision des orages, et des phénomènes intenses associés à ceux-ci, peuvent être attendus au vu des avancées techniques et scientifiques (auxquelles l'IRM contribue dans certains cas activement), et ce, suivant différents axes :

- **Augmentation de la résolution des modèles numériques**: les modèles à mailles fines voient leur résolution spatiale augmenter avec une distance horizontale entre points de grille qui descend actuellement autour du km (1,3 km pour les dernières versions des modèles ALARO et AROME). De tels modèles commencent à être exploités en météorologie opérationnelle. Leurs schémas physiques sont adaptés afin de pouvoir intégrer la convection atmosphérique de manière plus explicite, faisant davantage apparaître les développements orageux. Cela peut être vu comme une mise au point plus nette pour obtenir une image à haute résolution des phénomènes, faisant ainsi apparaître leurs structures plus fines, dont les cellules convectives.
- **Approches ensemblistes (probabilistes) et post-processing** : les méthodes de prévisions dites « prévisions d'ensemble » cherchent à mieux prendre en compte le caractère chaotique du comportement de l'atmosphère, responsable d'une très grande sensibilité aux conditions initiales dont sont nourris tous les modèles. Elles utilisent plusieurs modèles et/ou conditions initiales simultanément. La distribution de la quantité prévue parmi les « membres » de cet ensemble permet d'estimer le niveau de confiance (faible pour des membres très dispersés, important pour des membres très « serrés ») ; elle permet aussi d'établir des prévisions probabilistes, et donc de fournir une évaluation du risque. L'approche ensembliste est exploitée à l'IRM, notamment pour les prévisions opérationnelles des températures, du vent et du cumul de précipitations; ce dernier pouvant constituer un signal d'épisode orageux. Un système de nowcasting probabiliste des précipitations (Py-STEPS) a également été implémenté à l'IRM en vue d'une future utilisation opérationnelle. Les prévisions d'ensemble peuvent éventuellement aussi faire l'objet de corrections statistiques (post-processing d'ensembles, désignée par « MOS » pour Model Output Statistics); à l'IRM, ce type de correction statistique est actuellement appliqué à un set restreint de variables (températures et rafales de vent). Par ailleurs, des travaux de recherche récents, menés notamment aux USA, sur les prévisions ensemblistes (avec post-processing) d'indices plus spécifiques comme l'hélicité intégrée sur une portion du courant ascendant d'une cellule orageuse, permettent d'envisager des apports futurs intéressants dans ce type d'approche.
- **Amélioration des schémas physiques associés aux systèmes convectifs** : ces phénomènes font encore l'objet de recherches, et des campagnes d'études expérimentales in situ sont menées pour valider des modèles conceptuels.
- **Amélioration des données d'assimilation** : la qualité des données d'observations (RADAR, satellites, etc.) continue à augmenter. Ces informations de plus en plus détaillées et riches permettront des diagnostics encore plus fins lors de la phase de suivi des orages, mais amélioreront aussi les résultats des modèles numériques dont elles constituent le point de départ. A l'avenir, la fréquence de mise à jour des modèles à mailles fines devrait augmenter afin d'intégrer plus régulièrement ces données d'observations de qualité accrue, et ainsi mieux « recalibrer » ces modèles par rapport à l'évolution de la situation.
- **Utilisation accrue des données issues du crowdsourcing** (voir point 1.2.2) : la participation plus importante de citoyens (rapports d'observations via l'application mobile, etc.) pourrait permettre des études de cas plus documentées (photos, etc.), et constituer une aide plus systématique lors de l'émission d'avertissements à très court terme.
- **L'intelligence artificielle** : cette forme de traitement de l'information, en complément des autres méthodes, constitue une voie très prometteuse. Des recherches sont notamment en cours dans



le but d'améliorer l'estimation et le nowcasting des précipitations en utilisant des techniques de Deep Learning appliquées aux observations des radars, des satellites et des pluviomètres.

Pour terminer, signalons que des études de météorologie urbaine à petite échelle, spécifique à la Région bruxelloise et à sa périphérie, mériteraient d'être envisagées pour mettre en évidence l'importance relative des précipitations (et de leur évolution) et celle de l'environnement urbain dans la problématique des inondations (et de leur évolution). L'étude des phénomènes à échelle microclimatique urbaine reste à faire ; elle pourrait révéler des surprises et amener, elle aussi, certains enseignements opérationnels.

Sources

1. CALUWAERTS, S., *et al.*, 2021. « Engaging Schools to Explore Meteorological Observations Gaps », *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **102 (6)**, 1126-1132, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-20-0051.1>
2. DAS, S., 2017. « Severe Thunderstorm Observation and Modeling – A Review », *Vayu Mandal*, **43 (2)**, 1-29.
3. DELOBBE, L., 2006. « Estimation des précipitations à l'aide d'un radar météorologique », KMI, Publication scientifique et technique n°44, 48 pp. Disponible sur : https://www.meteo.be/resources/publication/rmi_scpub-1149.pdf
4. FORESTI, L., REYNIERS, M., Seed, A., and L. DELOBBE, 2016. « Development and Verification of a Stochastic Precipitation Nowcasting System for Urban Hydrology in Belgium », *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **20**, 505-527.
5. GOUDENHOOFDT, E., DELOBBE, L., and P. WILLEMS, 2017. « Regional Frequency Analysis of Extreme Rainfall in Belgium Based on Radar Estimates », *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **21**, 5385-5399, <https://doi.org/10.5194/hess-21-5385-2017>.
6. GOUDENHOOFDT, E., and L. DELOBBE, 2016. « Generation and Verification of Rainfall Estimates from 10-Yr Volumetric Weather Radar Measurements », *J. Hydrometeorol.*, **17**, 1223-1242, doi: 10.1175/JHM-D-15-0166.1.
7. GOUDENHOOFDT, E., and L. DELOBBE, 2013. « Statistical Characteristics of Convective Storms in Belgium Derived from Volumetric Weather Radar Observations », *J. Appl. Meteorol. Climatol.*, **52**, 918–934. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JAMC-D-12-079.1>
8. IRM, « Rapport annuel ». Disponible sur le site web de l'IRM depuis 2001 <https://www.meteo.be/fr/infos/publications> (cf. notamment les chapitres consacrés aux avertissements des épisodes orageux, aux prévisions déterministes ou aux prévisions d'ensemble, aux projets de nowcasting)
9. LOPEZ, P., 2018. « Promising Results for Lightning Predictions », ECMWF, Newsletter n°155 - Avril 2018. <https://www.ecmwf.int/en/newsletter/155/meteorology/promising-results-lightning-predictions>
10. LUKACH M., *et al.*, 2017. « Estimating the Occurrence and Severity of Hail Based on 10 Years of Observations from Weather Radar in Belgium », *Meteorol. Appl.*, **24**, 250-259.
11. MORAUX, A., *et al.*, 2021. « A Deep Learning Multimodal Method for Precipitation Estimation », *Remote Sens.*, **13**, 3278. <https://doi.org/10.3390/rs13163278>
12. POELMAN, D.R., 2014. « A 10-Year Study on the Characteristics of Thunderstorms in Belgium Based on Cloud-to-Ground Lightning Data », *Mon. Weather Rev.*, **142**, 4839-4849.
13. REYNIERS, M., and L. DELOBBE, 2012. « The Nowcasting System INCA-BE in Belgium and its Performance in Different Synoptic Situations », ERAD 2012, The 7th European Conference on RADAR in Meteorology and Hydrology, Toulouse, France, June 25-29, 2012, Poster Programme.
14. ROBERTS, B., *et al.*, 2020. « What Does a Convective-Allowing Ensemble of Opportunity Buy Us in Forecasting Thunderstorms ? », *Weather Forecast.*, **35**, 2293-2316.
15. STANKOVA, E.N., *et al.*, 2020. « On the Effectiveness of Using Various Machine Learning Methods for Forecasting Dangerous Convective Phenomena », Computational Science and Its Applications – ICCSA 2020, 20th International Conference, Cagliari, Italy, July 1-4, 2020, Proceedings, Part VI, 82-93.
16. TERMONIA, P., *et al.*, 2018. « The ALADIN System and its Canonical Model Configurations AROME CY41T1 and ALARO CY40T1 », *Geosci. Model Dev.*, **11**, 257-281.



Autres fiches à consulter

Thème « Climat » :

- 2. Évolution passée du climat en Région bruxelloise - Température et précipitations
- 3. La Région de Bruxelles-Capitale face au changement climatique
- 6. Evolution future du climat en Belgique et en RBC, et conséquences et risques associés

Auteur(s) de la fiche

BROUYAUX François et TRICOT Christian (IRM)

Mise à jour : DEBAL Fabian, DELOBBE Laurent et TRICOT Christian (IRM) et DAVESNE Sandrine (Bruxelles Environnement)

Date de mise à jour : Novembre 2021