



La prévision immédiate

Auteur :

MOISSELIN Jean-Marc, Adjoint au Chef du Département PI (Prévision Immédiate) de la DirOP (Direction des Opérations pour la Prévision) de Météo-France

20-09-2018

Les radars et satellites météorologiques ont longtemps fourni les principales données d'entrée de prévision immédiate. Des méthodes d'extrapolation basées sur les déplacements récents des nuages et des zones précipitantes offraient alors une prévision de très courte échéance. Maintenant, la prévision numérique à haute résolution est suffisamment mature pour faire partie des outils de prévision immédiate et permet de repousser plusieurs limites : échéance maximale, paramètres disponibles. Et depuis peu, les méthodes de fusion de données conduisent à une nouvelle avancée en permettant d'enrichir les sorties et d'atténuer les discontinuités lorsque plusieurs méthodes sont utilisées.

1. L'histoire récente de la prévision immédiate

La prévision immédiate couvre l'ensemble des prévisions météorologique **jusqu'à quelques heures d'échéance**, limite variable selon les définitions. Il s'agit d'une activité structurée et disponible sur de larges territoires, dont on placera sans chercher à être trop précis l'origine **dans les années 1960** avec la montée en puissance des systèmes d'observation radar et des satellites géostationnaires. En effet, ces systèmes d'observation offrent une fréquence de mesure importante, permettant d'appréhender l'évolution des phénomènes suivis sur une large couverture géographique.

Au fil des années, de nombreux facteurs ont permis d'améliorer la prévision immédiate comme la mise en commun de travaux

ou d'initiatives (par exemple le programme COST 78 - *European Cooperation in Science and Technology*, 1983-1988) et l'arrivée de nouveaux satellites météorologiques comme MSG (*Meteosat Second Generation*). L'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) a encouragé des programmes de démonstration de la prévision immédiate, notamment en marge des Jeux Olympiques de Pékin (2008) et Vancouver (2010). L'image de couverture de cet article illustre l'apport de la prévision immédiate dans une assistance sportive.

La prévision immédiate s'est longtemps focalisée sur les phénomènes dangereux, cyclones, tempêtes, fortes précipitations et inondations. A cette composante « sécurité des biens et des personnes », s'ajoute maintenant une composante optimisation économique. L'**aéronautique** travaille aussi en grande partie en mode "prévision immédiate" (notamment pour annoncer l'évolution à très court terme des conditions météorologiques sur un aéroport).

2. L'apport des données satellitaires

En prévision immédiate, les **satellites géostationnaires** présentent plusieurs avantages : une large couverture géographique depuis les tropiques jusqu'aux moyennes latitudes de chaque hémisphère, une haute cadence de mesure (par exemple le balayage rapide toutes les 5 minutes de MSG), et une résolution horizontale permettant d'accéder à la **méso-échelle** (résolution en infra-rouge de 4-5 km de MSG sur l'Europe et de 1 km en visible haute résolution). MSG a fait entrer les satellites dans la panoplie des outils de prévision immédiate à Météo-France, dans un cadre collaboratif international piloté par l'agence des satellites météorologiques EUMETSAT : le SAFNWC (*Satellite Application Facility for Nowcasting*). Les **satellites défilants** proposent une meilleure résolution géographique que les satellites géostationnaires, ainsi qu'une plus large palette d'instruments. En revanche, pour une zone donnée, ils ne capturent que quelques séquences par jour. Leur usage en prévision immédiate se situe plutôt aux hautes latitudes dont la couverture par les satellites géostationnaires est limitée. Le SAFNWC livre tous les 2 ou 3 ans une nouvelle version de logiciels permettant aux services utilisateurs **de proposer sur leur domaine d'intérêt des produits de prévision immédiate**. Météo-France est chargé, dans le cadre du SAFNWC, d'élaborer les codes des produits nuages et convection à partir des satellites géostationnaires.

Prenons comme exemple le produit RDT [1], [2] (**Rapidly Developing Thunderstorm**), du SAFNWC. Le RDT détecte, suit, caractérise les cellules convectives et en prévoit le déplacement. Le RDT s'appuie sur les valeurs des températures de brillance de différents canaux ou différences entre canaux, ainsi que leur tendance entre deux images. L'utilisateur a la possibilité d'utiliser d'autres sources de données : autres produits du SAFNWC (produits nuage et vent), données modèles, données provenant des réseaux foudre au sol comme le réseau Météorage. Au final, le RDT donne les **contours des zones convectives** observées et prévues, ainsi que des **attributs qui caractérisent les cellules convectives** et en particulier leur sévérité : taux de refroidissement, activité électrique, présence ou non de sommets de nuages protubérants (*overshooting tops*), extension verticale du nuage, etc.

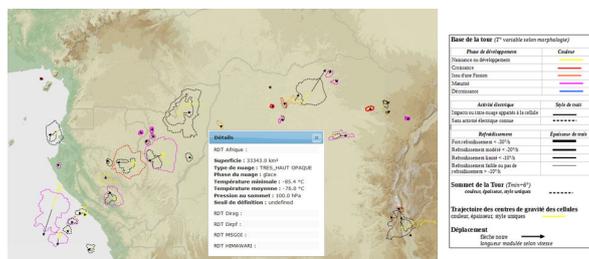


Figure 1. Cellules RDT du 14/2/2017 à 10h00. En haut extrait d'une mosaïque des cellules convectives analysées à partir des données des satellites GOES-E, METEOSAT 10 (MSG 3), METEOSAT 7 et HIMAWARI-8. En bas à gauche, zoom sur l'Afrique de l'Ouest avec contours (couleurs selon le stade de développement du nuage), trajectoire passée (en jaune) et déplacement (flèches) des cellules. La large cellule au sud-ouest de l'image est décrite avec quelques attributs. A droite la légende qui est appliquée sur cette visualisation

Le RDT est utilisé par les prévisionnistes en complément des données radar ou en remplacement sur les zones mal couvertes (montagnes) ou non couvertes (océans). Il a été aussi testé dans le projet HAIC (*High Altitude Ice Crystals*) d'étude des cristaux de glace à haute altitude [3] afin d'évaluer son potentiel en tant qu'outil de signalement des zones de forte concentration en cristaux [4]. A l'occasion du projet HAIC, le RDT a atteint le niveau 5 de l'échelle TRL (*Technology Readiness Level*) qui permet de mesurer le niveau de maturité d'une technologie.

La production du RDT par Météo-France permet maintenant de satisfaire les usagers ayant des besoins globaux, en particulier l'aviation. La figure 1 illustre la couverture du RDT qui utilise de manière continue plusieurs satellites aux résolutions spatiales et temporelles variées. Selon les fréquences et les délais de mise à disposition des différents satellites, on utilise dans l'assemblage des analyses ou des prévisions à courte échéance (**données "prévues pour maintenant"**) pour synchroniser les informations.

Par exemple, puisque les données du satellite GOES-E sont à fréquence 30 minutes et celles de MSG à fréquence 15 minutes, une prévision très courte échéance est appliquée à GOES afin de pouvoir proposer le RDT global toutes les 15 minutes.

3. L'apport des données radar

Comparativement à la mesure satellite, les radars météorologiques fournissent une information **plus facilement exploitable**. Les réflectivités maximales sur une colonne d'air sont utilisées pour déterminer l'intensité de la convection. **On peut en déduire les quantités de précipitations qui atteignent le sol**. Les services météorologiques exploitent également d'autres types de mesure radar : l'effet Doppler qui permet d'accéder à la composante radiale du vent puis d'identifier les forts cisaillements, les mesures polarimétriques [5] qui permettent de caractériser les types d'hydrométéores, etc.

Des méthodes « à zone » permettent de suivre de larges ensembles de cellules précipitantes tandis que des méthodes « objet » permettent de suivre les cellules individuellement. La connaissance des déplacements passés permet d'extrapoler les informations fournies par le radar jusqu'à une échéance caractéristique d'une heure.

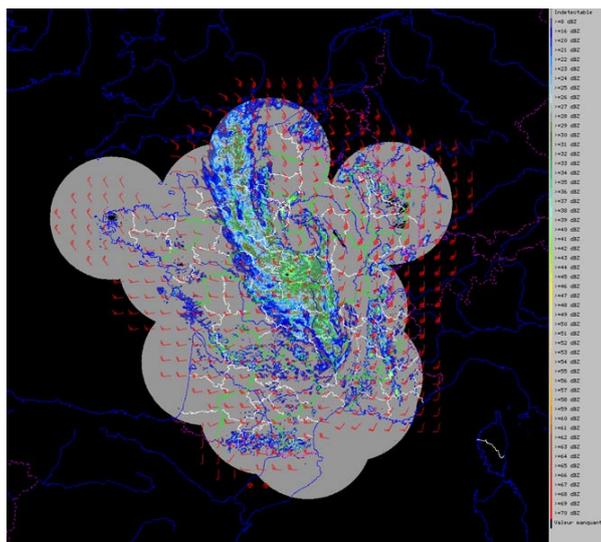


Figure 2. Une illustration du champ de déplacement 2PIR, cas du 05/06/2002, à l'image de réflectivité radar est superposé le champ de déplacement calculé avec la méthode 2PIR

La méthode 2PIR (**Prévision immédiate de précipitations par imagerie radar**) a été initiée dans les années 1990 puis rapidement utilisée pour des besoins en prévision immédiate, comme la prévision de précipitations lors de manifestations sportives météo-sensibles. Son utilisation s'est depuis diversifiée et constitue aujourd'hui l'outil principal automatique de Météo-France pour élaborer des prévisions de précipitations dans l'heure à venir, ceci aussi bien en métropole qu'en Outre-mer. À partir des mosaïques de réflectivité radar, cette méthode analyse dans un premier temps le déplacement des échos radar entre l'image observée du moment et celle qui l'a précédée de 10 minutes, en procédant par corrélation croisée, aboutissant à l'élaboration d'un **champ de vitesse de déplacement défini sur une grille régulière**. Ce champ est ensuite appliqué à la dernière mosaïque observée pour en déduire des mosaïques extrapolées jusqu'à 1 heure d'échéance, ceci pour des images de réflectivité comme pour des images de lame d'eau 5 minutes. Opérant par advections successives, elle permet de prolonger les déplacements observés des précipitations en reproduisant aussi bien les mouvements de rotation que les convergences ou divergences (voir Figure 2). Les principales limites de la méthode 2PIR, outre celles issues de la donnée radar qui l'alimente, sont liées à l'hypothèse d'une advection à intensité constante et à l'absence de prise en compte des effets induits par le relief.

Pour l'aéronautique, le service ASPOC3D (Application de signalisation et prévision des orages pour le contrôle aérien) repose sur :

Le réseau foudre Météorage

Les mesures de réflectivité du réseau radar couplées aux observations par satellite pour identifier la convection et l'altitude des sommets de nuage sur l'ensemble du territoire français, avec une résolution de 1 km et un rafraîchissement de 5 minutes.

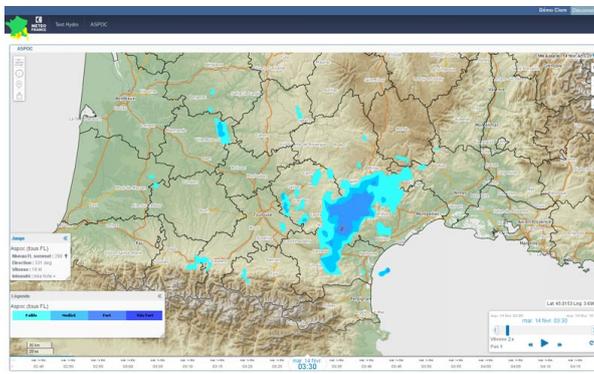


Figure 3. Risque de convection dérivé des mesures radar et satellite. Les contours colorés correspondent à différents niveaux de sévérité.

Les cellules convectives sont définies par le contour spatial de quatre niveaux de réflectivité. Cette information quasi-tridimensionnelle est ensuite traduite en objets qui représentent les nuages significatifs pour l'aviation : identification des nuages convectifs, caractérisation de leur contour, de l'altitude de leur sommet, des valeurs maximales de réflectivité atteinte au cœur du nuage, de la présence d'éclairs qui attestent que le nuage a atteint le stade d'orage. Chaque objet peut alors être transmis à l'utilisateur pour être intégré à sa console ou à son modèle d'impact. La figure 3 montre ces objets « convection ».

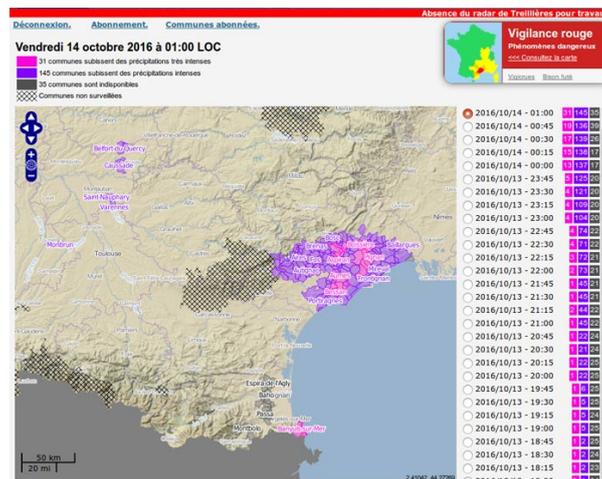


Figure 4. Capture d'écran de l'extranet APIC du 14/10/2016

Après les graves inondations dans le sud-est de la France le 15 juin 2010, il a semblé nécessaire de fournir un service d'alerte en cas de précipitations localisées exceptionnelles. L'objectif est de fournir, de manière entièrement automatique, un service d'aide à la décision destiné aux maires pour l'activation des procédures de gestion des crues. Le service APIC (Avertissement pluies intenses à l'échelle des communes) calcule les précipitations cumulées sur différentes profondeurs à partir des images de lame d'eau du réseau radar français. Pour chaque zone d'intérêt et pour une profondeur variant de 1 heure à 24 heures, des statistiques de période de retour sont utilisées pour évaluer si les précipitations observées sont exceptionnelles, en distinguant deux niveaux de gravité. Lorsque des précipitations exceptionnelles sont nouvellement diagnostiquées, ou en cas d'intensification des précipitations par la suite, un avertissement est envoyé aux abonnés. Un site Web (voir figure 4) fournit une vision générale de la situation par l'intermédiaire d'une carte qui indique à tout moment les avertissements en cours, les indisponibilités temporaires et les zones où le service n'est pas ouvert. Afin de déterminer si le service peut être fourni ou non pour une commune donnée, Météo-France utilise une estimation de la qualité moyenne des précipitations détectées par radar au cours des deux années précédentes. Le service APIC a été ouvert en décembre 2011 et couvre aujourd'hui plus de 92% des communes.

4. Apport de la prévision numérique du temps à la prévision immédiate

Les outils actuels de prévision immédiate utilisent principalement l'extrapolation de données observées. Les progrès de la

modélisation numérique et l'augmentation de la puissance de calcul permettent désormais d'envisager l'utilisation de la prévision numérique pour les toutes premières échéances de prévision, afin de dépasser les limitations des méthodes basées sur l'extrapolation d'observations (les structures ne peuvent pas être créées *ex-nihilo*, ni évoluer en intensité, l'impact du relief en termes de déplacement ou d'évolution en intensité n'est pas pris en compte).

En parallèle, les modèles numériques à fine échelle sont désormais en capacité de simuler des phénomènes d'échelle qui intéressent la prévision immédiate avec beaucoup de réalisme et d'assimiler des observations toujours plus fréquentes. Ils permettent de répondre de plus en plus aux besoins de la prévision immédiate : **disposer de données sur les premières échéances de prévision réactualisées avec les dernières observations. Ces informations doivent également être disponibles dans un délai qui permet leur exploitation en temps réel.** La mise à disposition des informations réactualisées dans un délai court est le défi que doivent relever les modèles de prévision numérique dédiés aux échéances de la prévision immédiate. Cette contrainte impose notamment un compromis entre le nombre de réactualisations, le rafraîchissement des données observées et le temps de calcul nécessaire. Si les processus physiques simulés restent identiques à ceux des modèles à maille fine, les modèles numériques dédiés à la prévision immédiate doivent donc être configurés de manière à répondre à ces différents enjeux.

Météo France dispose d'un modèle à maille fine AROME-FR (Lire : [Introduction à la prévision météorologique](#)) dont la mise en œuvre a été adaptée pour créer un **modèle numérique dédié à la prévision immédiate : AROME-PI**, en place depuis mars 2016.

AROME-PI reprend l'ensemble des caractéristiques d'AROME-FR : même domaine, même version du code physique et dynamique, même méthode 3D-var d'assimilation des données, même résolution (1,3 km), même modèle coupleur (ARPEGE). Certains réglages sont en revanche adaptés pour répondre aux besoins de la prévision immédiate. Par exemple les sorties d'AROME-PI sont disponibles à intervalle temporel de 15 minutes contre 1 heure pour AROME-FR. Le but est de faciliter l'usage du modèle en prévision immédiate ainsi que la fusion de données avec d'autres prévisions hautement cadencées.

Le volume et la fréquence des informations délivrées par ce modèle sont importants. Des dispositifs permettent de synthétiser l'information disponible et d'attirer l'attention sur les phénomènes dangereux facilitant l'exploitation par les prévisionnistes de Météo France.

5. Nouvelle avancée : la fusion de données

Les méthodes de fusion [\[6\]](#) de données sont appelées à se généraliser en prévision immédiate (approche combinée entre satellite, radar et prévision numérique de méso-échelle).

Prenons à nouveau l'exemple du SAFNWC. Les données suivantes sont utilisées en complément des données satellites : réseaux foudre, données des modèles numériques.

Le produit MPE ([Multisensor Precipitation Estimate](#)) d'Eumetsat est un autre exemple. Sur une zone donnée, couverte par un satellite Météosat7 ou MSG, on utilise les données des satellites américains DMSP (*Defense Meteorological Satellite Program*) équipés de l'instrument SSMIS (*Special Sensor Microwave Imager/Sounder*). Leurs mesures permettent de mettre en œuvre un apprentissage statistique pour estimer les taux de précipitations à partir des données des satellites géostationnaires. Le schéma statistique est utilisé ensuite et régulièrement calibré à chaque passage du satellite défilant.

Des informations supplémentaires peuvent enrichir le descriptif des diagnostics ou prévision immédiate issus des données radar, en voici deux exemples :

Le produit **sommet des nuages** du SAFNWC développé par le Centre de météorologie spatiale de Lannion est largement utilisé, en particulier pour l'aviation. Il permet de donner une information sur l'extension verticale des nuages convectifs, les contours 2D étant déterminés à partir de la mosaïque des radars hydrométéorologiques français.

L'hélicité [\[7\]](#) relative est un diagnostic issu de la prévision numérique et est un bon précurseur de **potentiel tornadique des cellules convectives**. Elle est calculée pour chaque cellule observée par radar dans la production Météo-France.

L'extrapolation d'observations apporte une grande proximité avec la situation observée sur les premières échéances. AROME-PI aide à pallier les défauts connus de l'extrapolation des observations (limites en zones de relief, absence de création ou de disparition de cellule, etc). La difficulté est de tirer parti des avantages de chaque méthode pour disposer d'informations plus pertinentes et sans discontinuité sur les échéances de prévision 0h-3h. La fusion développée à Météo-France depuis juin 2016 s'appuie sur une méthode combinant deux prévisions (appelées « experts »), l'extrapolation radar et AROME-PI, de manière à obtenir une combinaison proche ou meilleure que le meilleur des deux experts. Le produit ainsi réalisé est une somme pondérée des champs de prévision numérique et des extrapolations. Les poids attribués à chaque expert sont ajustés en temps réel, en fonction du comportement passé de chaque expert par rapport à l'observation.

6. Le proche avenir

La prévision immédiate s'émanche peu à peu d'une utilisation exclusive des grands systèmes d'observation qui l'ont fait émerger : les radars et les satellites. Les progrès de la prévision numérique permettent de disposer de prévisions utilisables à des échéances plus courtes et avec une description des phénomènes plus proches des dernières observations disponibles. Ce constat nous conduit à construire des méthodes de fusion entre les approches traditionnelles par extrapolation et la prévision numérique.

La prévision immédiate bénéficiera à l'avenir des avancées dans les grands systèmes d'observation qu'elle utilise. Le satellite MTG (*Meteosat Third Generation*), qui sera opérationnels à partir de 2020, apportera avec le radiomètre FCI (*Flexible Combined Imager*) une meilleure résolution spectrale, horizontale et temporelle. Avec le détecteur d'éclairs LI (*Lightning Imager*) embarqué dans MTG nous aurons une information nouvelle qui, pour les produits convection en particulier, sera utilisé dans les phases de réglages, de traitements temps-réel et de vérification. Concernant le radar, des avancées sont attendues dans de nouveaux paramètres qui exploitent toute la mesure radar sur la verticale, la double polarisation, et d'autres perfectionnements.

Références et notes

Image de couverture : Roland Garros sous la pluie (2010)

[1] Mahfouf, J.-F., Moisselin, J.-M., Autonès, F., Vidot, J., **2017**, *Apport de l'observation satellitaire pour la prévision du temps*, La Météorologie, à paraître

[2] Autonès, F., Moisselin, J.-M., **2016**, *Algorithm Theoretical Basis Document for Convection Products*, NWC/CDOP2/GEO/MFT/SCI/ATBD/Convection, voir <http://www.nwcsaf.org/indexScientificDocumentation.html>

[3] Brenguier, J.-L., Bouttier, F., Moisselin, J.-M., **2015**, *Les nouveaux services météorologiques pour l'aviation*, La Météorologie - n° 91 - novembre 2015 pp47-53

[4] Gounou, A., Moisselin, J.-M., Autonès, F., Brenguier, J.-L., Levailant, D., Defer, E., Turner, S., Parol, F., Dezitter, F., Grandin, A., **2015**, *The RDT nowcasting tool for detecting convective areas associated with high ice water content during HAIC/HIWC field campaign*. Paper for the 2015 SAE conference on Icing

[5] La polarimétrie radar consiste à émettre successivement des ondes polarisées horizontalement et des ondes polarisées verticalement. La comparaison des deux échos en retour permet de déterminer le degré de sphéricité de la cible, et donc le type d'hydrométéores.

[6] La fusion de données doit être distinguée de l'assimilation de données, décrite dans l'article [Assimilation des données météorologiques](#). En assimilation, on doit prendre soin de préserver certains équilibres entre les variables de manière à permettre une initialisation équilibrée d'un modèle de prévision. En fusion, on n'a pas cette contrainte, et on peut donc définir un état plus proche des observations.

[7] En mécanique des fluides, l'hélicité (produit scalaire du vecteur vitesse par le vecteur tourbillon) est souvent considérée comme une mesure de l'effet d'entraînement que donnera une rotation locale sur une particule fluide.

L'Encyclopédie de l'environnement est publiée par l'Université Grenoble Alpes - www.univ-grenoble-alpes.fr

Pour citer cet article: **Auteur** : MOISSELIN Jean-Marc (2018), La prévision immédiate, Encyclopédie de l'Environnement, [en ligne ISSN 2555-0950] url : <http://www.encyclopedie-environnement.org/?p=3727>

Les articles de l'Encyclopédie de l'environnement sont mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.
