



LA PRÉVISION

La prévision météorologique fait l'objet d'améliorations permanentes pour répondre aux enjeux de sécurité et à l'optimisation des activités économiques. Les efforts portent autant sur la qualité et la précision des prévisions à toutes les échéances pour tous les types de phénomènes, que sur l'adéquation aux besoins des utilisateurs et l'emploi des dernières technologies pour la transmission de l'information.

LES PROGRÈS DE LA PRÉVISION NUMÉRIQUE OPÉRATIONNELLE

- ▶ La prévision déterministe
- ▶ Le développement des prévisions probabilistes
- ▶ La prévision saisonnière

Réfectivités radar prévues par le modèle Arome, le 11 mai 2009 :

• À gauche, les données mettent en évidence la prévision d'un système orageux sur la région Poitou-Charentes (en bleu la pluie, en violet les précipitations de type neige roulée ou grésil, en rouge la neige, en jaune l'eau liquide en suspension).

• À droite, une coupe verticale du système prévu au-dessus du département de Charente-Maritime.

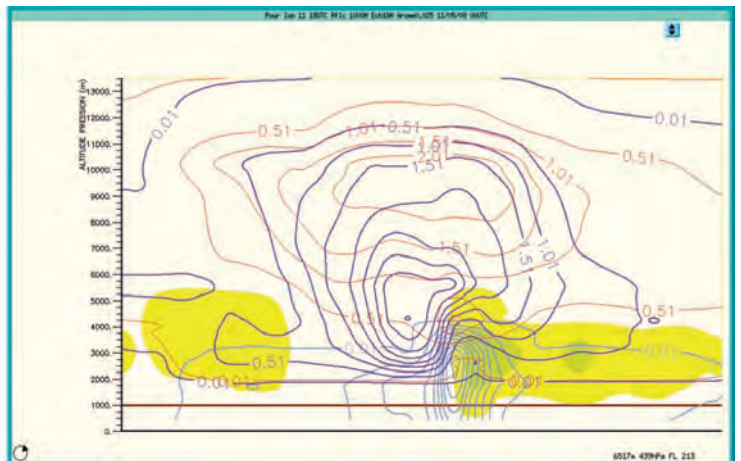
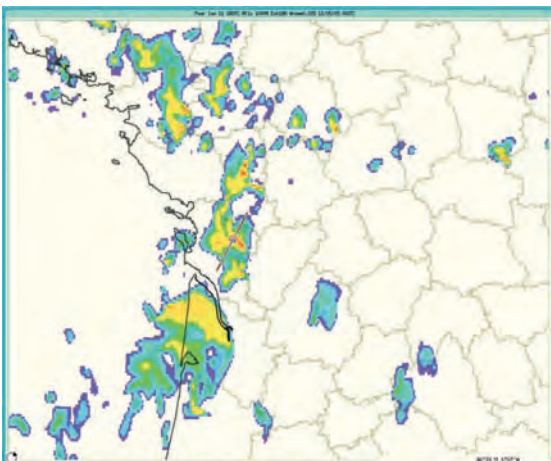
L'année 2009 a vu le démarrage d'un ensemble d'actions devant aboutir, à échéance de 2 à 3 ans, à la mise en place d'une nouvelle organisation de la prévision. L'objectif principal est d'améliorer la chaîne de prévision et la qualité du service rendu aux clients, en particulier lorsque la situation comporte des enjeux de sécurité des personnes.

Des outils permettant aux prévisionnistes de traduire leur expertise de façon plus efficace et par des moyens de collaboration multisites en temps réel ont été développés. Des maquettes ont été testées en vue d'expérimentations grandeur nature qui seront menées à partir de 2010. Ces systèmes permettront de construire des bases de données de prévision

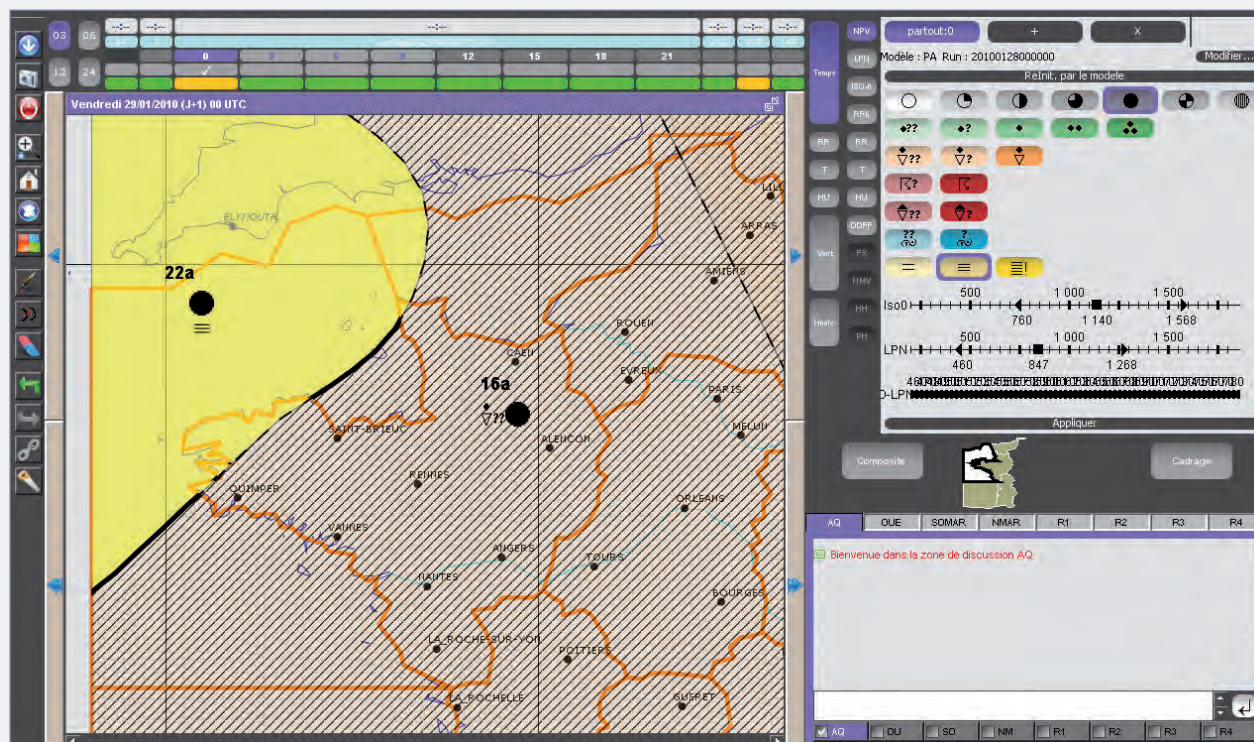
expertisées, utilisables pour améliorer les services fournis grâce au réseau territorial de Météo-France dont la refonte a été engagée. La nouvelle organisation renforcera la réactivité et les moyens disponibles en cas de crise, grâce à une meilleure mutualisation des ressources. Elle vise également à une plus grande simplicité dans l'organisation du travail. L'accent sera mis sur l'aide à la décision afin d'apporter une prestation encore mieux adaptée aux utilisateurs.

La prévision déterministe

Pour assurer la prévision du temps jusqu'à des échéances de 3 ou 4 jours, Météo-France



Le système Symposium



Le système Symposium associe l'expertise humaine et les résultats de la prévision numérique pour fournir les éléments d'une base de données permettant de générer automatiquement des produits météorologiques adaptés aux besoins des usagers. Avec une meilleure ergonomie que son prédécesseur, Symposium-2 est conçu pour faciliter l'interaction des prévisionnistes et leur travail collaboratif. Il s'agit d'une avancée importante pour les services fournis à nos clients. La mise en œuvre sera effective en 2011. À terme, les prévisions diffusées par Météo-France devraient être majoritairement issues de ce système.

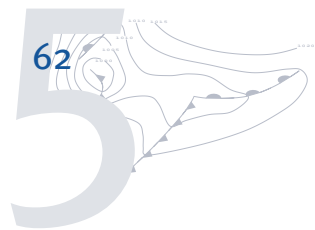
met en œuvre un système fondé sur plusieurs niveaux de simulation.

À l'échelle de la planète, le modèle Arpège permet de simuler et de prévoir les phénomènes de grande dimension comme les dépressions, les anticyclones ou les systèmes frontaux. Sa maille étirée atteint 15 km sur la métropole. Sur une échelle régionale comme l'Europe de l'Ouest, des informations plus détaillées sont fournies par le modèle Aladin, dont la résolution est de 9,5 km. En décembre 2008, ce dispositif a été complété par un troisième niveau. Grâce à sa haute résolution (2,5 km), le modèle Arome améliore la prise en compte des

phénomènes locaux et la prévision des phénomènes dangereux pour les échéances comprises entre 3 et 36 heures. Au cours de l'année 2009, le modèle a fourni d'excellents résultats. Il a bien anticipé la plupart des phénomènes significatifs vécus, même les plus difficiles à prévoir de façon très précise, comme les orages ou les fortes rafales en zone de montagne.

Le développement des prévisions probabilistes

Les incertitudes inhérentes aux observations et les imperfections des modèles



TAUX DE CONFIANCE DES USAGERS DANS LES PRÉVISIONS MÉTÉOROLOGIQUES

TAUX DE CONFIANCE ET DE SATISFACTION DANS LES PRÉVISIONS	2004	2005	2006	2007	2008	2009
pour le lendemain	72 %	77 %	77 %	78 %	81 %	82 %
pour les 2 ou 3 jours à venir	46 %	50 %	55 %	55 %	61 %	62 %
pour les 7 jours à venir	15 %	17 %	21 %	20 %	23 %	24 %

Source : Credoc 2009

PERFORMANCES DU MODÈLE ARPÈGE

Écart quadratique moyen de l'erreur de la prévision du géopotential à 500 hPa pour l'Europe

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Arpège (mètres géopotentiels)	20,7	20,1	18,2	17,1	16,9	16,3	16,5

Source : Météo-France

TAUX DE FIABILITÉ DES BULLETINS DE PRÉVISION DÉPARTEMENTAUX

	2005	2006	2007	2008	2009
Bulletins départementaux à J+1	82 %	82 %	85 %	85 %	86 %
Bulletins à J+3		77 %	86 %	83 %	84,2 %
Bulletins à J+7		49 %	52 %	54 %	48,7 %
Bulletins marine					82,3 %

Source : Météo-France

numériques induisent des erreurs qui rendent les prévisions d'autant moins précises que l'échéance est tardive. Ainsi, deux états initiaux très voisins peuvent, au bout d'un certain temps, conduire à des résultats très différents. Cette limite de prévisibilité est en principe d'autant plus lointaine que la dimension du phénomène prévu est importante. Avec les modèles actuels, pour un système de quelques milliers de kilomètres comme les systèmes frontaux, elle est de 4 à 5 jours. Elle ne dépasse pas quelques heures pour les orages isolés.

Pour évaluer le degré d'incertitude d'une prévision, la méthode dite des ensembles consiste à réaliser plusieurs simulations à partir d'états initiaux légèrement différents, représentatifs de l'incertitude due aux erreurs d'observation, d'analyse et de

modélisation, de manière à diagnostiquer les écarts possibles de la prévision. Ces divergences fournissent alors une information sur la confiance que l'on peut attribuer à chaque prévision.

Une nouvelle version de la chaîne de prévision probabiliste a été mise en service opérationnel en décembre 2009. La technique de prise en compte des données d'observation dans le modèle, ou assimilation des données, a été améliorée (résolution spatiale portée à 50 km, grille de calcul verticale portée à 70 niveaux, nouvelle méthode d'assimilation 4D-variationnel simplifiée).

La description des variations spatiales et temporelles de l'incertitude est beaucoup plus complète et porte désormais sur la plupart des paramètres atmosphériques. La

taille de l'ensemble de prévisions, réalisées par le modèle Arpège, a été portée à 35 membres (soit 35 prévisions différentes). La représentation de l'incertitude due au modèle, qui s'ajoute à l'incertitude initiale, est fondée sur un ensemble de huit jeux de paramétrages physiques différents, qui sont activés selon un tirage aléatoire.

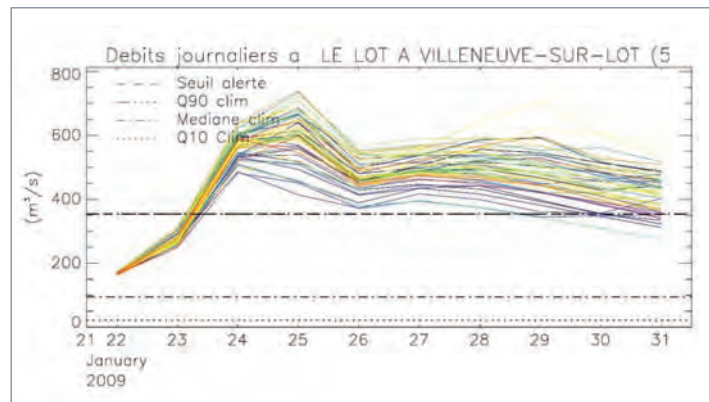
Ces techniques, très consommatrices en moyens de calcul, représentent une avancée importante pour la prévision. Elles apportent une meilleure compréhension des incertitudes, peuvent servir de données d'entrée pour les outils d'évaluation du risque des divers utilisateurs des prévisions, et permettront d'étendre les échéances des prévisions. Dans cet esprit, un système de prévision probabiliste du risque d'inondation pour les grands bassins versants français a été mis à la disposition du Service central d'hydrométéorologie et d'appui à la prévision des inondations (Schapi) à des fins de test dans un environnement opérationnel.

En 2010 la résolution spatiale de la prévision sera portée à 11 km sur l'Europe. Météo-France disposera alors d'un ensemble global avec une résolution élevée sur l'Europe et optimisé pour la courte échéance. Ce système représente un atout considérable, tant pour l'estimation des risques d'événements météorologiques violents que pour la production de prévisions probabilistes destinées aux usagers.

La prévision saisonnière

La prévision saisonnière est une prévision à échéance de plusieurs mois. L'information qui en est issue doit être appréhendée avec prudence, mais elle peut permettre de déceler les grandes tendances climatiques.

Grâce à des méthodes de « descente d'échelle » permettant de disposer de données à maille plus fine, des outils ont pu être



Prévision de crue de la Garonne à Villeneuve-sur-Lot dans le Lot-et-Garonne.

L'ensemble de prévisions de débit à dix jours d'échéance, réalisé à l'aide du modèle d'interaction sol-biosphère-atmosphère SIM, met nettement en évidence les dépassements de seuil d'alerte qui conduiront à des débordements de la Garonne à partir du 23 janvier 2009.

mis en place sur le territoire néo-calédonien. Cette approche sera élargie aux autres départements d'outre-mer, où la prévisibilité à l'échelle saisonnière est élevée.

Divers projets ont également été poursuivis ou initiés au cours de l'année 2009, et notamment le projet AdaptRVF soutenu dans le cadre du programme « Gestion et impacts du changement climatique ». L'objectif est d'étudier la variabilité, à différentes échelles climatiques, de la fièvre de la vallée du Rift au Sénégal, avec l'espoir que la prévision saisonnière puisse contribuer à anticiper le risque de survenue de cette maladie véhiculée par les moustiques.

La tempête du 24 janvier 2009

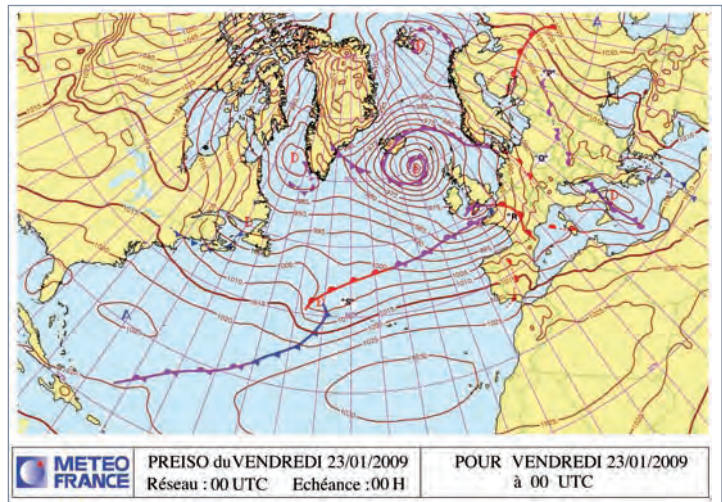
La tempête qui s'est abattue sur le sud-ouest de la France, le 24 janvier 2009, a été particulièrement violente. On a relevé des vitesses de vent fréquemment supérieures à 130 km/h dans l'intérieur des terres et à 170 km/h tant sur la côte aquitaine qu'en Roussillon.

Le 22 janvier, l'environnement associait de manière étroite de fortes variations horizontales de température et la présence au voisinage de la tropopause d'un tube de vent fort, le courant-jet (ou jet-stream) : des conditions météorologiques favorables au développement de tempêtes.

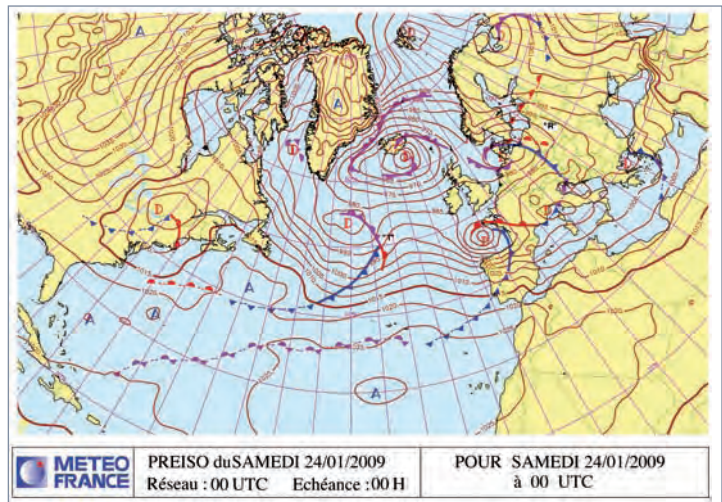
À 6 h UTC, un petit tourbillon de surface s'est développé au milieu de l'Atlantique à l'avant d'un tourbillon d'altitude qui avait pris naissance la veille au-dessus du continent nord américain.

À l'équilibre, le vent était plus ou moins parallèle aux isothermes. Mais la présence d'un tourbillon cyclonique est venue modifier la direction du vent. Elle a produit un vent chaud venant du sud dans sa partie avant (située à l'est) et un vent froid venant du nord dans sa partie arrière (située à l'ouest). Des mouvements verticaux se sont aussitôt mis en place pour tempérer cette action et faciliter l'ajustement vers un nouvel équilibre. Dans un tel système, l'ascendance transporte de l'air chaud et la subsidence de l'air froid. Le tourbillon d'altitude a ainsi pu perturber la circulation de l'atmosphère jusqu'à la surface terrestre.

Tant que le tourbillon d'altitude est resté dans le flux du courant-jet, en amont du tourbillon de basses couches, les deux tourbillons se sont renforcés mutuellement. Le tourbillon de surface est devenu une dépression puis une tempête. On a ainsi assisté à la mise en place d'un cycle moteur dans lequel l'énergie thermique prise dans le milieu ambiant s'est trouvée convertie en énergie cinétique et a généré le vent de la tempête.



Le vendredi 23 janvier 2009 à 00h00 UTC, alors qu'une dépression longe les côtes de la Manche, une deuxième dépression est en formation au centre de l'Atlantique.



Le samedi 24 janvier 2009 à 00h00 UTC, la tempête est sur le golfe de Gascogne

LES AVANCÉES EN MÉTÉOROLOGIE ROUTIÈRE

- ▶ Acquisition des données fournies par les stations météo-routières
- ▶ Le projet Optima

L'assistance météorologique réalisée au profit des gestionnaires du réseau routier fait intervenir de nombreux interlocuteurs : directions interdépartementales des routes, sociétés gestionnaires d'autoroutes, entités en charge de coordination et sécurité (Centre national d'information routière, Centres régionaux d'information et de coordination routières), Conseils généraux, etc.

Météo-France a créé en son sein un pôle Route afin de coordonner l'ensemble des activités de météorologie routière de l'établissement. Il est aussi chargé de développer des produits dédiés à la route et à ses particularités.

L'année 2009 a vu les premiers résultats de cette démarche : le développement d'une chaîne d'acquisition temps réel des données issues des stations météo-routières et le projet Optima destiné à la géo-localisation de l'information le long des axes routiers.

Acquisition des données fournies par les stations météo-routières

Pour améliorer les prévisions de température de la chaussée, Météo-France s'est engagé dans la récupération, en temps réel, des

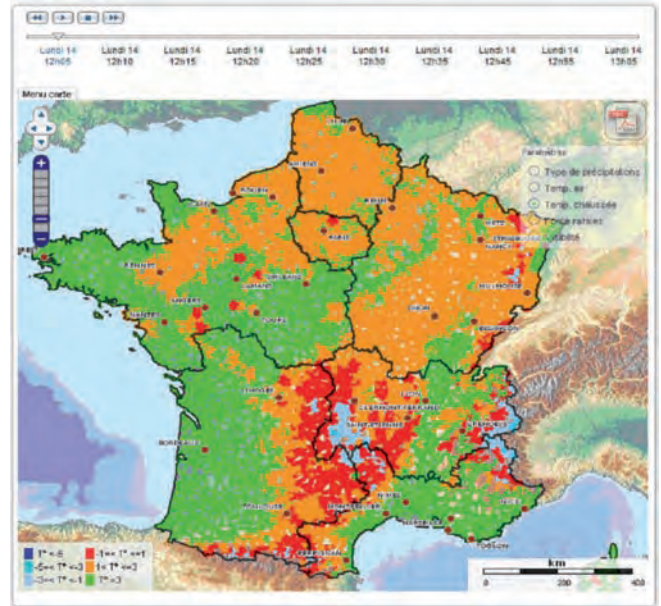
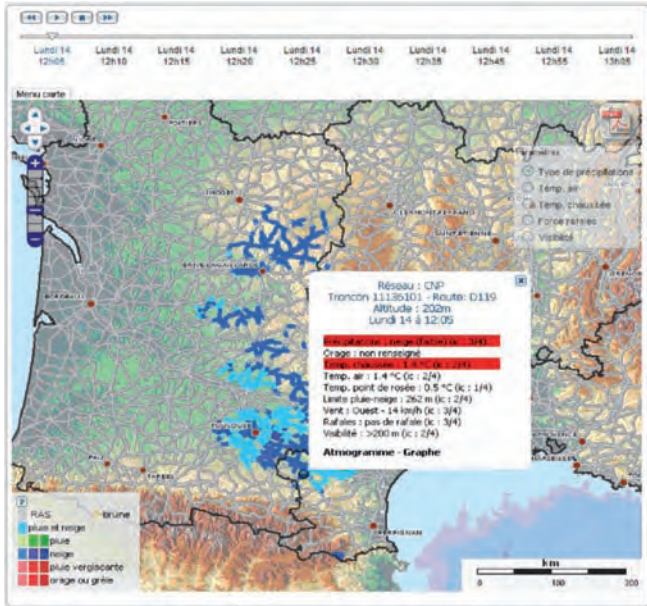
données d'environ 600 stations automatiques installées le long des routes par les gestionnaires (DIR Routes, sociétés concessionnaires d'autoroutes, Conseils généraux).

Il s'agit tout d'abord de réaliser une climatologie fine des conditions météorologiques rencontrées sur les routes dans chaque type de situation. Les particularités locales, mises ainsi en évidence, pourront ensuite être prises en compte dans les modèles de prévision grâce à des méthodes dites d'adaptation statistique.

En fin d'année 2009, 150 stations étaient en phase d'intégration.

Abri météo et pluviomètre, le long de la route, à Roissy dans le Val d'Oise.





Conditions rencontrées sur le réseau routier de la région toulousaine lors des épisodes neigeux du 14 décembre 2009. Informations disponibles sur le système Optima.

Le projet Optima

Optima (Outil de production sur les tronçons d'informations météo-routières agrégées) est un système de suivi en temps réel et d'anticipation des phénomènes météorologiques intéressant quelque 120 000 km du réseau routier principal français. L'information météorologique y est déclinée par tronçon routier kilométrique, sur une profondeur de prévision d'une heure, avec des pas de temps de 5 et 10 minutes. L'information est rafraîchie toutes les 5 minutes.

Pour obtenir ce résultat, des algorithmes de fusion de données ont été mis au point, utilisant à la fois des données issues des réseaux d'observation et des données prévues. Les paramètres concernés sont principalement le temps sensible (bruine, pluie, neige, pluie verglaçante, orage, grêle), la température (de l'air, du point de rosée et de la chaussée), le vent et la visibilité. Un indice de confiance, en fonction de la complétude des données, est associé à chacun des paramètres.

La saison de viabilité hivernale 2008-2009 a permis de consolider les algorithmes et a

montré tout l'intérêt d'une telle démarche au travers d'une visualisation de type Google-Earth. Pour la saison 2009-2010, une extension Web spécifique a été développée (technologie MapServer) pour mettre le produit à disposition de tous nos clients ou partenaires. L'interface, proposée pour visualiser les différents paramètres prévus par Optima, offre aussi la possibilité de configurer et de gérer des alertes météo-routières sur un réseau routier. Elle constitue ainsi un outil d'aide à la décision très précis.

L'objectif est maintenant de valoriser Optima sur tous les vecteurs pertinents. Dans les GPS embarqués, il pourra par exemple informer l'automobiliste de la présence de brouillards ou de chutes de neige à 5 km de distance.

LA PRÉVISION IMMÉDIATE

- ▶ Détection des orages grace aux détections des satellites
- ▶ Le suivi du risque d'orage
- ▶ Le produit « Pluie dans l'heure »
- ▶ Les développements futurs

La prévision immédiate concerne le très court terme : de quelques minutes à quelques heures. À la différence des prévisions ayant des échéances plus éloignées, elle repose sur une exploitation plus importante des observations de toute nature et des informations que l'on peut

obtenir par des méthodes de combinaison de données, d'analyse d'images ou d'extrapolations.

Dans ce cadre, Météo-France s'est attaché à développer de nouveaux produits ou services de prévision immédiate, adaptés à des

Orage sur le golfe d'Ajaccio.





besoins personnalisés. Leur principal objectif est le signalement et la description des phénomènes présentant un risque pour la sécurité des personnes et de leurs biens ou ayant une influence sur leurs activités.

Détection des orages grace aux détections des satellites

Dans le cadre de l'utilisation des données des satellites météorologiques (SAF – Satellite Application Facility Nowcasting), Météo-France a développé pour Eumetsat un logiciel de détection des orages violents. Une

Averse violente de pluie pendant la mousson au Bénin.



fois repérés, les orages sont décrits sous forme d'objets et suivis de leur formation à leur dégénérescence. La couverture géographique des satellites géostationnaires confère à ce produit un intérêt particulier sur les zones dépourvues de réseau radar, telles que les zones océaniques ou certains territoires désertiques. Les applications mises en œuvre au profit de l'armée française participent ainsi à la sécurité aéronautique des forces déployées sur les théâtres extérieurs d'opération.

Le suivi du risque d'orage

Proposé aux professionnels, sur abonnement, le service de suivi du risque d'orage prévient du risque d'être touché par ce phénomène dans l'heure à venir. Il apporte aussi des indications sur l'intensité des phénomènes associés comme l'activité électrique, l'intensité des précipitations, la force des rafales ou le risque de grêle. Le client spécifie la zone à surveiller (la précision spatiale visée est la commune ou le canton), le seuil de risque et les modalités de mise à disposition des produits. Le service comprend l'envoi de bulletins d'avertissement, par courriel ou par SMS, annonçant le début, l'aggravation éventuelle et la fin des orages. Ils sont accompagnés d'un produit graphique de suivi des orages accessible sur Internet et sur mobiles compatibles. L'évaluation, confirmée par les retours-client, montre la qualité de ce service, en particulier sur des territoires peu perturbés par les reliefs.

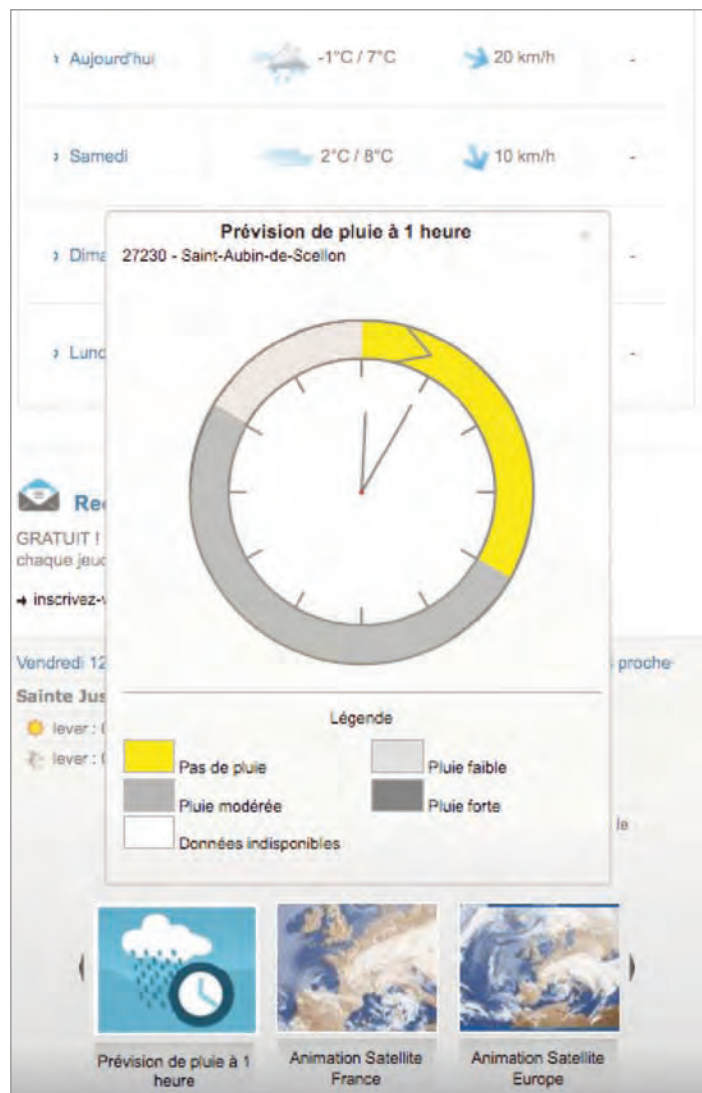
Le produit « Pluie dans l'heure »

À destination du grand public, le produit « Pluie dans l'heure » signale, à l'échelle de la commune, le risque de précipitations dans l'heure à venir. Le message est complété par une information qualitative sur les périodes estimées de précipitations et sur leur intensité. Il est actuellement proposé sur les trois-quarts du territoire, dans les régions où il s'est

avéré d'une qualité statistiquement suffisante. Il est consultable à la fois sur le site Internet www.meteofrance.com et sur le kiosque 3250 (0,34 € /mn, tarif avril 2010). Sa conception simple et totalement automatique le rend d'accès facile, mais le limite à un usage de confort. La forte fréquentation de la version kiosque montre clairement que ce produit répond à une réelle attente.

Les développements futurs

Les progrès de la prévision numérique, associés en particulier aux apports du modèle Arome, sont aujourd'hui exploités pour construire un outil de fusion des dernières observations avec les premières échéances de prévisions numériques disponibles. Des prévisions continues et fréquemment rafraîchies seront ainsi produites pour donner accès au risque d'occurrence de phénomènes comme les faibles visibilités, la pluie ou les chutes de neige.



Exemple de produit « Pluie dans l'heure » disponible sur www.meteofrance.com. L'internaute accède au produit depuis l'onglet « Météo locale », en sélectionnant sa région, son département et enfin sa commune d'intérêt puis en cliquant sur le pictogramme en bas à gauche. Le produit s'affiche sous la forme du cadran d'une montre pour signaler le risque de pluie dans l'heure avec une indication sur la durée et l'intensité des pluies prévues.