



Présentation de la feuille de route 2025 CEPMMT-Météo-France

17 novembre 2016

L'amélioration constante des systèmes de prévision du temps : une priorité pour Météo-France

Contacts presse Météo-France

Sarah Bardis 01 77 94 71 32

Nora Hissem 01 77 94 71 36

presse@meteo.fr

 @meteofrance

L'amélioration constante de ses systèmes de prévision du temps, préalable à de meilleures anticipations et localisations des phénomènes météorologiques, est une priorité pour Météo-France. Les enjeux sont multiples : de sécurité lorsqu'il s'agit d'alerter les pouvoirs publics et la population de l'arrivée d'un phénomène à risques ou de prévoir les conditions météorologiques sur les aéroports, économiques lorsqu'une entreprise a besoin d'une prévision très fine pour organiser son activité.

Ainsi, en 2015, Météo-France déployait après plusieurs mois de tests de nouvelles versions de ses systèmes de prévision numérique du temps, Arome et Arpege. Elles bénéficiaient d'innovations développées par le centre de recherches de Météo-France en coopération avec le CEPMMT et dans le cadre de plusieurs partenariats européens.

La résolution spatiale des modèles a ainsi été affinée, tout en limitant le surcoût de cette évolution en termes de puissance de calcul grâce à plusieurs innovations scientifiques. Le nombre d'observations intégrées a augmenté, et les méthodes d'assimilation en assurent une meilleure prise en compte, entre autres grâce à une meilleure localisation en temps réel des zones moins bien prévues. Enfin, les représentations dans les modèles de certains aspects du système sol/atmosphère ont été rendues plus réalistes.

Le déploiement de ces nouvelles versions d'Arome et d'Arpege en 2015 est la première étape d'une série d'innovations qui seront mises en place d'ici à la fin 2017.

Ces évolutions ont et auront des impacts significatifs sur la qualité des prévisions sur lesquelles Météo-France concentre son attention : les prévisions aux courtes et très courtes échéances et celles des phénomènes météorologiques dangereux voire extrêmes.

Les systèmes de prévision de Météo-France

Météo-France développe ses propres modèles de prévision du temps en coopération étroite avec le CEPMMT et différents services météorologiques européens et d'Afrique du Nord. Il les améliore en continu par des ajustements fins au fil de l'eau et par des innovations majeures régulières, fruits de recherches fondamentales et appliquées menées au sein de l'établissement. Des versions des modèles, Arome et Arpege sont aussi utilisées pour la composante météorologique des prévisions saisonnières ou des projections climatiques.

Météo-France a développé et utilise au quotidien deux modèles complémentaires **pour ses prévisions à courte échéance (jusqu'à 3-4 jours)**:

- **Le modèle mondial Arpege**, qui couvre l'ensemble du globe, avec une résolution plus fine sur la métropole. Il est utilisé pour prévoir les évolutions des phénomènes de grande échelle (dépressions, anticyclones) et pour la prévision jusqu'à 3-4 jours d'échéance sur la métropole, l'outremer, les domaines maritimes et les zones d'intérêt pour la France. Il est utilisé sous forme déterministe, mais aussi sous la forme probabiliste (prévision d'ensemble Arpege ou PEARP).

- **Le modèle régional Arome** couvre la France métropolitaine et les pays voisins avec une maille voisine du kilomètre. Des versions spécifiques ont également été déployées en 2016 sur les quatre régions d'outremer. Alimenté via ses bords latéraux par les simulations d'Arpege, Arome produit des prévisions très détaillées, pour le jour même et le lendemain que les prévisionnistes utilisent pour affiner leurs prévisions à petite échelle, notamment en termes d'anticipation et de localisation des phénomènes météorologiques potentiellement dangereux, comme les orages. Ces prévisions fournissent également des informations locales, (distinguant par exemple la ville de la campagne environnante) et précises de température, d'humidité, d'état du ciel, répondant aux besoins des citoyens dans leur vie quotidienne.

Pour ses prévisions au-delà de 3-4 jours, Météo-France contribue à développer et exploite le modèle global du Centre européen de prévision météorologique à moyen terme (CEPMMT), basé à Reading. Ce modèle comporte des éléments communs avec Arpege, éléments que Météo-France améliore régulièrement. Il est adapté pour les prévisions jusqu'à 15 jours d'échéance, en particulier sous la forme probabiliste.

Deux fois par semaine, ces prévisions sont étendues au mois à venir grâce à une version du modèle qui tient également compte des variations des océans, dont l'influence sur les prévisions météorologiques est significative à cette échéance.

Météo-France est l'un des seuls services météorologiques européens, avec le Met Office anglais et le DWD allemand, à utiliser un modèle à maille très fine (Arome) développé par leurs soins, parfois en collaboration et rafraîchi plusieurs fois par jour, pour affiner les prévisions à courte échéance (36 heures).

Des modèles en constante amélioration

Les modèles numériques de prévision du temps et du climat découpent l'espace et le temps en intervalles élémentaires pour calculer les évolutions des paramètres météorologiques (température, pression, vent, humidité).
La résolution horizontale est définie par la longueur de maille de la grille du modèle, et la résolution verticale, par le nombre de niveaux verticaux du modèle.

Météo-France améliore sans cesse ses modèles, afin d'affiner la prévision opérationnelle, notamment la qualification des phénomènes météorologiques dangereux, ce qui profite à tous les utilisateurs :

- institutionnels (services en charge de la sécurité civile, de la prévision des inondations, de la qualité de l'air, ministère de la Défense...);
- usagers aéronautiques (service de la navigation aérienne, exploitants d'aéroports, compagnies aériennes, aviation légère...);
- clients professionnels dans des secteurs d'activité variés (énergie, transports, BTP, agriculture...);
- citoyens.

Les innovations 2015-2016

Ainsi, en pratique, les améliorations apportées à **Arome**, dont le passage de la résolution à 1,3 km et l'augmentation du nombre d'observations prises en compte (voir p. 8), ont permis d'améliorer la qualité des prévisions :

- ▶ des pluies à caractère orageux (intensité et localisation, rafales de vent associées aux gros orages...).
- ▶ du vent dans les zones de relief marqué, et de façon plus modeste sur la température au niveau du sol

Les modifications apportées à **Arpege**, comme la réduction de la maille à 7,5 km sur la métropole, l'augmentation du nombre d'observations et les changements dans l'assimilation et le modèle, ont quant à elles amélioré la qualité des prévisions :

- ▶ des fortes précipitations
- ▶ des tempêtes
- ▶ des températures au niveau du sol, en particulier le cycle diurne près des côtes
- ▶ de la couverture nuageuse

Le système de prévisions d'ensemble Arpege (voir p. 7), lui aussi amélioré, permet une meilleure quantification, pour les 3 jours à venir, des risques associés à des phénomènes comme les tempêtes ou les gros systèmes précipitants. Ceci permet de relever le niveau d'attention précoce sur ces risques.

Les progrès sur les prévisions Arpege et Arome se répercutent également à un ensemble de prévisions dérivées :

- ▶ prévisions des crues
- ▶ prévisions sur alerte du transport, de la diffusion et du dépôt des polluants radiologiques ou d'autres types de polluants chimiques
- ▶ prévisions de qualité de l'air
- ▶ prévisions des vagues et des niveaux d'eau, notamment à proximité immédiate du rivage
- ▶ prévision sur mesure pour les clients professionnels (agriculture, routes, BTP...)

A venir en 2017

▶ Un nouveau système de prévision pour la très courte échéance

L'élaboration des prévisions pour les 3 prochaines heures s'appuie aujourd'hui sur l'utilisation et l'extrapolation des observations et non sur le modèle Arome. Avec la méthode actuelle d'exploitation de ce modèle, les prévisions sur les 3 premières heures ne sont en effet disponibles... qu'après ces 3 heures ! C'est le temps nécessaire pour calculer les conditions aux frontières du domaine couvert par le modèle et réaliser l'assimilation et la prévision.

Afin d'améliorer ses prévisions immédiates, Météo-France a lancé en service opérationnel une version dédiée d'Arome en mars 2016. Elle intègre les données d'observation à cadence rapide et fournit toutes les heures des prévisions sur les 6 heures à venir, par pas de 15 minutes. Cette nouvelle version, actuellement en phase de qualification par les experts prévisionnistes de Météo-France, permettra d'affiner le suivi temporel et spatial des épisodes météorologiques dangereux, comme les épisodes méditerranéens, notamment lors de vigilance météorologique orange ou rouge. Elle sera également très utile au secteur aéronautique, ainsi qu'à tous les clients dont les activités nécessitent de connaître très précisément la chronologie des épisodes pluvieux (transporteurs routiers, organisateurs d'événements en plein air, etc.).

▶ Un système de prévision d'ensemble Arome

La méthode des ensembles (voir p. 7), qui permet de caractériser finement les incertitudes qui pèsent sur une prévision, n'était jusqu'à présent appliquée qu'avec le modèle global Arpege. Le renforcement de la puissance de calcul a permis le déploiement en novembre 2016 d'un système pré-opérationnel de prévision d'ensemble basé sur le modèle Arome. Le déploiement opérationnel est prévu pour le printemps 2017. Il permettra de mieux quantifier les risques de phénomènes dangereux à petite échelle (brouillard, épisodes orageux intenses, crues soudaines...), ce qui bénéficiera en premier lieu au secteur aéronautique et à la vigilance météorologique. La méthode des ensembles sera également appliquée en 2017 au modèle de surcote couplé au système de prévision d'ensemble d'Arome.

Et à l'horizon 2025

En collaboration avec ses partenaires, au premier rang desquels le CEPMMT, les systèmes de prévision seront préparés afin de tirer le meilleur parti possible des opportunités à venir :

- ▶ le renouvellement et la modernisation du réseau radars, qui permettra de connaître l'état de l'eau dans les nuages (glace, eau liquide ou mélange des deux)
- ▶ l'intégration des données radars des pays limitrophes
- ▶ le lancement d'un nouveau sondeur hyperspectral en orbite géostationnaire au début des années 2020
- ▶ la mise en place d'une nouvelle représentation des processus nuageux, qui devrait permettre de progresser encore sur la prévision du brouillard et des faibles visibilitées.

La prévision numérique du temps

Météo-France est l'un des rares centres au monde capables de collecter et de traiter des observations venues du monde entier H24 et 7 jours sur 7.

Dans le monde, les grands services météorologiques nationaux comme Météo-France comparent en permanence les qualités des prévisions issues de leurs modèles globaux de prévision numérique du temps. Météo-France figure toujours aux tout premiers rangs mondiaux.

Une prévision météorologique est élaborée en quatre étapes : l'observation, l'assimilation des données, la simulation de l'évolution de l'atmosphère au moyen de modèles numériques et l'analyse des résultats par les prévisionnistes.

Météo-France est l'unique organisme français dont les activités couvrent l'ensemble de la chaîne de prévision.

1. Recueillir les observations

Pour prévoir le temps qu'il fera demain, il faut déjà connaître le temps qu'il fait aujourd'hui.

90 % des données d'observation utilisées par Météo-France proviennent des satellites météorologiques, le reste étant fourni par des stations au sol, des radiosondages, des radars, des capteurs embarqués sur des avions de ligne et des navires de commerce ou installés sur des bouées ancrées et dérivantes.

Météo-France est en charge des observations sur les territoires français et reçoit des mesures recueillies sur l'ensemble du globe des autres services météorologiques.

2. Assimiler les données

Les données d'observation ne sont pas utilisables telles quelles par les modèles, qui ont besoin d'une cartographie cohérente de l'atmosphère à l'instant initial, c'est-à-dire les valeurs des paramètres météorologiques clés (température, pression, vent, humidité) en tout point d'une grille en 3D représentant l'atmosphère. Les données d'observation disparates sont donc traitées lors d'une étape appelée assimilation de données.

Elle consiste à combiner une prévision récente, première ébauche du temps qu'il fait, avec toutes les observations du même moment. A l'arrivée, l'assimilation fournit un nouvel état de l'atmosphère plus proche des observations que la première ébauche, propre à une nouvelle prévision.

3. Simuler le comportement de l'atmosphère

A partir des états initiaux produits par l'assimilation, les modèles calculent l'évolution des paramètres météorologiques sur la grille en 3D qui représente l'atmosphère, en s'appuyant sur les lois physiques qui régissent son comportement.

4. Analyser les simulations

Les résultats de ces simulations ne sont pas encore des prévisions : il s'agit de scénarios d'évolution des principaux paramètres météorologiques en tout point de la grille qui représente l'atmosphère.

L'expertise des prévisionnistes est indispensable pour analyser ces résultats complexes et les traduire en informations concrètes. Ils choisissent le scénario le plus probable et le déclinent en cartes et bulletins de prévision adaptés aux utilisateurs. Ils caractérisent aussi les risques de phénomènes dangereux et prennent les décisions relatives à la vigilance. De plus, ils assurent un contact direct avec certaines catégories d'utilisateurs, comme les services en charge de la sécurité civile en France.

La méthode des ensembles

Chaque étape de la prévision du temps comporte des incertitudes qui peuvent peser sur la qualité de la prévision finale. Les observations sont hétérogènes dans l'espace et dans le temps, les modèles ne sont que des représentations forcément imparfaites du comportement de l'atmosphère et l'atmosphère elle-même a un comportement chaotique : deux états initiaux très proches peuvent conduire à des situations très différentes au bout de quelques jours, voire quelques heures.

Les innovations dans le domaine de la mesure et les recherches sur les processus atmosphériques permettent de réduire petit à petit les deux premières sources d'incertitude. Mais la troisième est une réalité physique qui nous échappe, une propriété de l'atmosphère.

Aussi, au lieu de s'en tenir à une approche déterministe qui produit un unique scénario d'évolution pour chaque cartographie du temps qu'il fait, est-il préférable de se tourner vers la prévision dite probabiliste, qui produit les différentes évolutions possibles dans le contexte du moment, affectées de leur probabilité. Pour cela, on construit des échantillons de prévisions, appelés «ensembles». Toute la difficulté est de les rendre représentatifs, c'est-à-dire d'explorer toutes les possibilités significatives, avec un petit nombre de prévisions.

L'assimilation de données par exemple combine les approches déterministes et probabilistes, afin d'éliminer les observations trop fausses ou redondantes, et d'affecter à chaque source d'information un poids selon les incertitudes qui pèsent sur elles.

Les prévisions probabilistes, ou prévisions d'ensemble, ont permis et permettront encore à l'avenir des progrès importants de la prévision. Elles sont utilisées dans le domaine de la sécurité, car elles évitent toute «surprise» en offrant aux prévisionnistes une vision claire du champ des évolutions possibles. Les prévisions d'ensemble sont également très utiles aux secteurs météosensibles (production d'énergie, d'eau, agriculture, assurances etc.) qui savent orienter leurs activités en fonction des probabilités d'occurrence de chaque scénario d'évolution.

Arome et Arpege : ce qui a changé en 2015

Toutes choses égales par ailleurs, le doublement de la résolution horizontale d'Arome nécessite une puissance de calcul 8 fois plus importante. Grâce à un ajustement fin du cœur numérique du modèle, fruit de recherches sur les méthodes numériques étalées sur 20 ans, le « surcoût » réel n'a été que de 4,8. La prévision numérique a ainsi progressé ainsi plus vite que la seule augmentation de la puissance de calcul.

Les nouvelles versions d'Arome et d'Arpege déployées en 2015 bénéficient de nombreuses améliorations, rendues possibles par le renouvellement du système de calcul intensif de l'établissement en 2014 et l'augmentation significative de la puissance de calcul disponible.

Focus sur les principales évolutions.

1- Les résolutions des modèles

Arome a vu sa résolution horizontale doubler sur la France (maille de 1,3 km au lieu de 2,5 km) et le nombre de niveaux verticaux a été multiplié par 1,5. Le domaine de calcul a été légèrement étendu vers le nord (+10% environ) pour couvrir le domaine aéronautique FABEC.

La résolution horizontale d'Arpege est passée de 10 km à 7,5 km sur l'Europe (de 15 km à 10 km pour la prévision d'ensemble) mais de 60 km à 36 km aux antipodes (de 90 km à 60 km pour la prévision d'ensemble). Le modèle découpe à présent l'atmosphère en 105 niveaux verticaux au lieu de 70 dans la version précédente.

2- Le nombre d'observations utilisées

Le nombre d'observations pour estimer « le temps qu'il fait » en début de prévision est augmenté de façon significative, notamment grâce à l'intégration de données issues de nouveaux instruments, comme le sondeur d'humidité SAPHIR embarqué sur le satellite Megha-Tropiques, ainsi que de nouveaux canaux dans des instruments déjà utilisés.

3- Les méthodes d'assimilation des données

Les algorithmes d'assimilation des observations dans le modèle, étape préparatoire à la simulation du comportement de l'atmosphère, ont été revus en profondeur pour tenir compte de cet apport de nouvelles données et en amplifier les bénéfiques, ainsi que pour mieux prendre en compte l'information pertinente.

4- La représentation de phénomènes physiques

Les phénomènes physiques ont aussi été rendus encore plus réalistes à l'intérieur des modèles. La nouvelle version d'Arome bénéficie d'une base de données orographiques plus récente et plus fine, qui contribue à une représentation plus réaliste des zones de relief. Le processus de conversion de cristaux en neige dans les nuages bas d'hiver a par ailleurs été modifié dans ce modèle, permettant de représenter les nuages gris et bas de façon plus réaliste.

La nouvelle version d'Arpege déterministe calcule plus souvent les interactions rayonnement-atmosphère-nuages, ce qui donne des cycles diurnes plus réalistes et réduit les biais de la simulation en altitude. La nouvelle version de l'ensemble Arpege bénéficie d'une représentation des cumulonimbus et des précipitations associées améliorée.