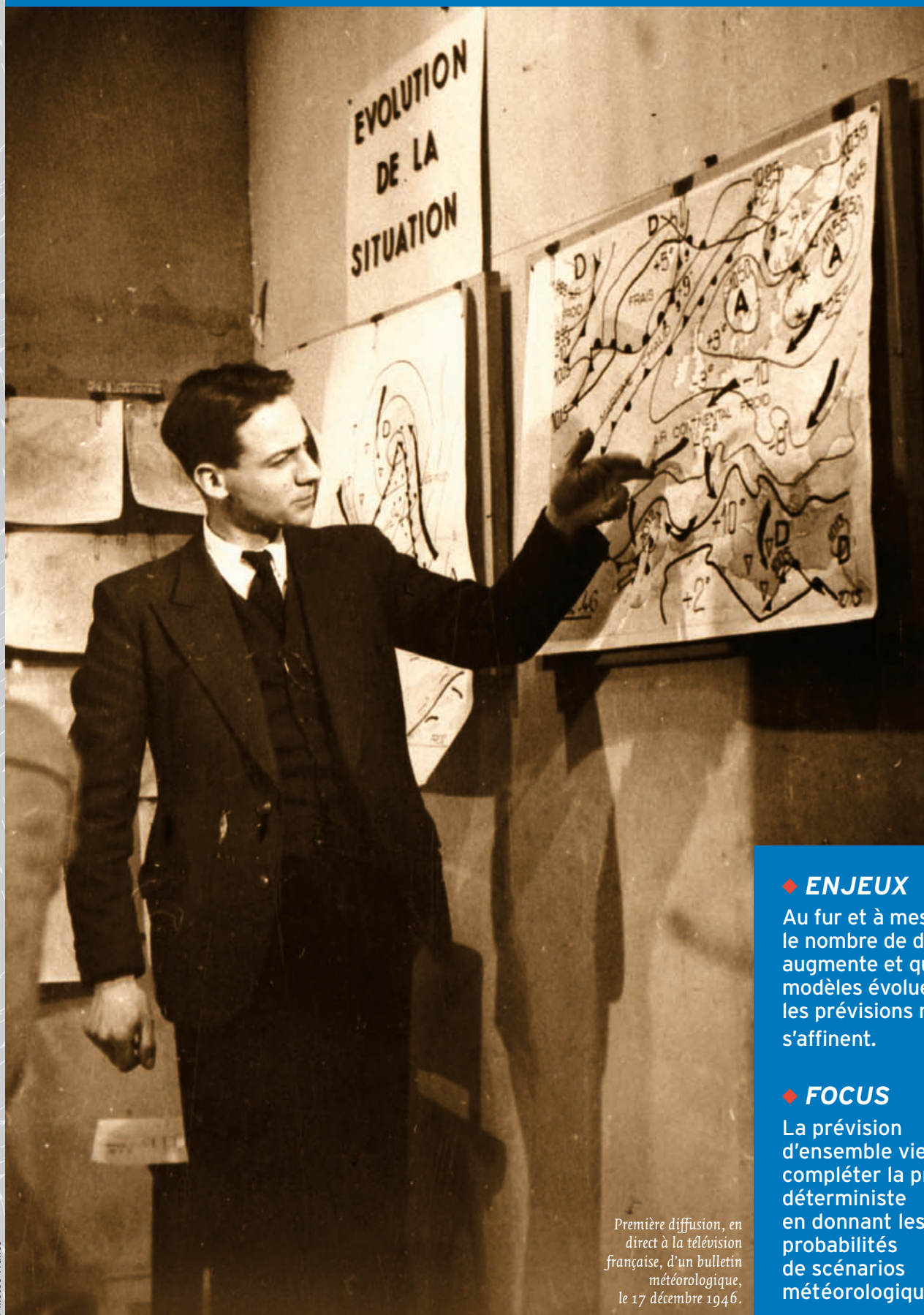


## 4 - AFFINER LES PRÉVISIONS



DE LA MÉTÉO AU CLIMAT

### ◆ ENJEUX

Au fur et à mesure que le nombre de données augmente et que les modèles évoluent, les prévisions météo s'affinent.

### ◆ FOCUS

La prévision d'ensemble vient compléter la prévision déterministe en donnant les probabilités de scénarios météorologiques.

Première diffusion, en direct à la télévision française, d'un bulletin météorologique, le 17 décembre 1946.

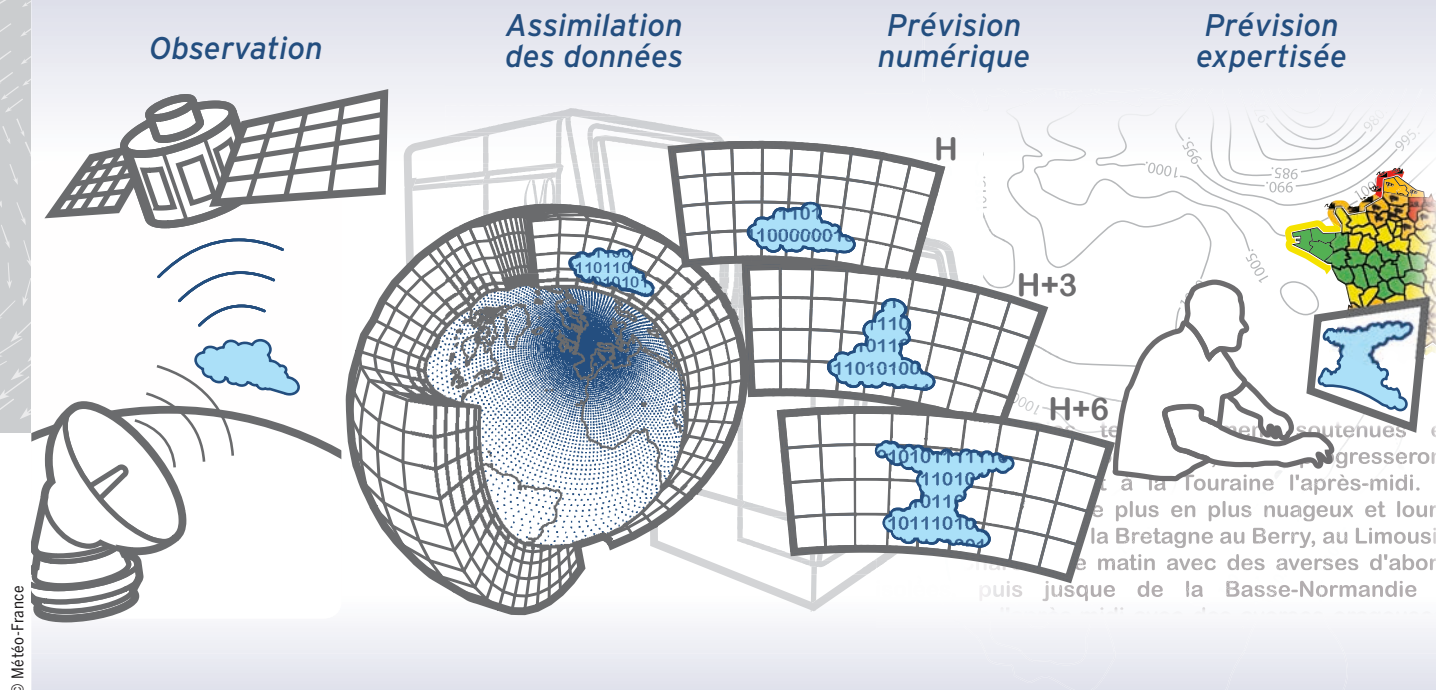
© Météo-France

Tous les deux mois, ce cahier spécial vous permet de comprendre les enjeux de la recherche sur la prévision du temps et du climat. Il est réalisé avec le soutien des chercheurs de Météo-France.

 **MÉTÉO FRANCE**  
Toujours un temps d'avance

## ENJEUX Affiner les prévisions

DE LA MÉTÉO AU CLIMAT



# Des progrès sur toute la chaîne

*Au fur et à mesure que la recherche et la technique progressent, Météo-France améliore ses prévisions en termes de fréquence et de précision.*

Sur une carte, les prévisions météo ont l'air simple. Un soleil sur la Bretagne, c'est qu'il n'y pleuvra pas. Un flocon de neige sur les Pyrénées réjouira les skieurs et demandera aux conducteurs de redoubler de prudence. Les températures minimales et maximales indiquent s'il faut s'habiller chaud ou léger, et l'agriculteur pourra, le cas échéant, protéger ses cultures contre le gel. Ainsi sont utilisées les nombreuses données fournies chaque jour par Météo-France.

Ces précieuses informations cachent un travail monumental mené par les services de prévision et de recherche. Leurs efforts sont sans cesse renouvelés pour que les prévisions progressent en richesse et en précision.

**De plus en plus de données.** Avant d'arriver à une carte météo, il faut d'abord collecter les observations des satellites, des ballons-sondes, des radars et des nombreuses stations de mesure déployées à la surface de la planète. «L'observation représente un coût élevé, aussi est-il essentiel de bien adapter nos moyens aux besoins de la prévision numérique», souligne Dominique Davrinche, directeur adjoint de la Direction des systèmes d'observation de Météo-France.

Au sol, le réseau de radars météorologiques est un des points forts de Météo-France. D'ici à 2020, tous les instruments devraient être équipés de la double polarisation : ils pourront distinguer le type de précipitation détectée, pluie, neige... Les données qu'ils fourniront seront automatiquement en trois dimensions et trouveront des applications immédiates en hydrologie, en aéronautique ou encore dans l'étude des cellules orageuses. Des radars supplémentaires seront installés dans des zones peu couvertes, comme les Alpes, ainsi qu'outre-mer, où l'activité est centrée sur la prévision des cyclones.

Dans l'espace, les instruments se perfectionnent aussi. «Avec les nouvelles générations de satellites géostationnaire (Météosat) et à orbite polaire (MetOp), les données vont être toujours plus nombreuses, plus précises et plus volumineuses», précise Dominique Davrinche. Les instruments embarqués vont aussi «regarder» de plus en plus bas dans l'atmosphère. Pour compléter ces données, les prévisionnistes disposent des mesures des ballons-sondes. Des avions – 600 000 observations par jour sur le globe – leur fournissent aussi des mesures de vent et de température prises tout au long des vols. «Il



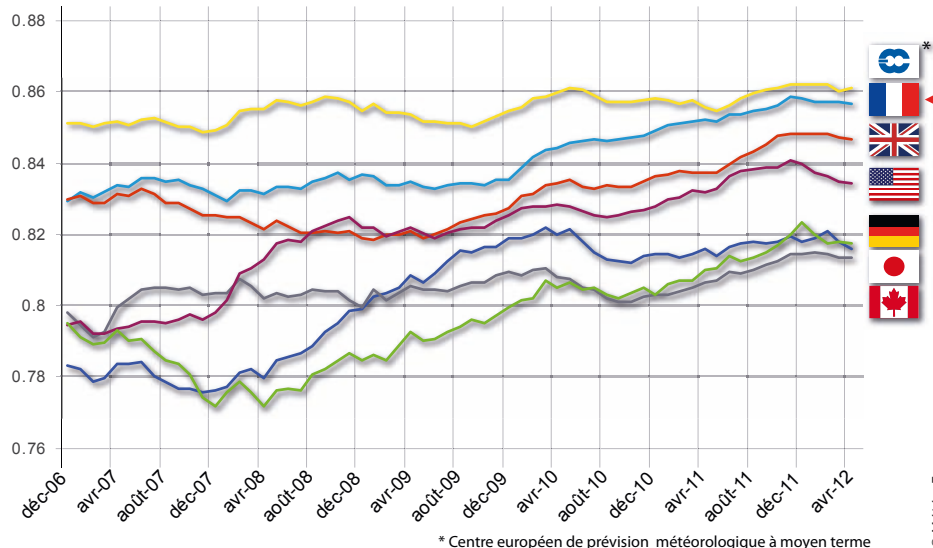
**MODÈLE GLOBAL**  
Logiciel qui simule le comportement de l'atmosphère tout autour du globe.

## L'évaluation des prévisions

De l'observation à la prévision expertisée, en passant par l'assimilation des données et la modélisation, les améliorations portent sur l'ensemble de la chaîne de prévision.

La comparaison porte sur la prévision d'un paramètre déterminant en météorologie à grande échelle : le champ de géopotential à 500 hPa, c'est-à-dire la surface où la pression atmosphérique est partout égale à 500 hPa – elle se trouve en général autour de 5 500 m d'altitude. Les courbes rendent compte de l'évolution mensuelle du score moyen des modèles (Arpège pour le modèle français) pour cette prévision. La valeur 1 correspond à la performance d'un modèle parfait c'est-à-dire une totale concordance entre la prévision et l'observation.

Comparaison des performances de modèles de prévision du temps (sur la prévision à 48 heures sur l'Europe)



### ◆ Quel temps a-t-il vraiment fait hier ?

Comme ses homologues étrangers, Météo-France procède systématiquement à l'évaluation a posteriori de ses prévisions. Les prévisions passées sont comparées à deux sources de données : les observations pour le jour en question et les « analyses », c'est-à-dire des représentations cartographiques du temps qu'il fait, issues de l'assimilation des observations. Cette évaluation est une étape indispensable pour améliorer les méthodes et les techniques. Sur les trente dernières années, la qualité des prévisions du modèle Arpège de Météo-France a gagné un jour tous les dix ans : aujourd'hui, les prévisions à quatre jours sont aussi fiables que les prévisions à trois jours au début des années 2000.



### MODÈLE NON HYDROSTATIQUE

Modèle qui prend en compte le bilan des forces verticales et horizontales dans l'atmosphère, alors que les modèles hydrostatiques s'en tiennent aux seules forces horizontales.

### COUVERTURE ET TAILLE DE LA MAILLE DES MODÈLES

- Arpège (version climat) : couvre le globe, maille d'environ 100 km.
- Arpège (version prévision) : couvre le globe, maille plus ou moins fine selon la zone (de 10 km sur la France à 60 km dans le Pacifique sud).
- Aladin : couvre un domaine limité à 3 000 km, maille de 8 km.
- Arome : couvre la France métropolitaine, maille de 2,5 km.

faudrait que nous puissions ajouter des capteurs d'humidité sur les appareils, ajoute Dominique Davrinche. C'est une donnée dont les avions n'ont pas besoin pour voler, mais qui est essentielle pour nous. Elle pourrait aussi répondre à certains besoins des compagnies aériennes, comme l'économie recherchée de carburant. »

### Un modèle actualisé toutes les heures.

Toutes ces observations parviennent en temps réel aux prévisionnistes de Météo-France. Les chercheurs en extraient de plus en plus d'informations, qui sont intégrées aux modèles de prévision numérique. Ces outils complexes simulent, par le calcul, l'évolution de l'atmosphère qu'ils découpent en « mailles » plus ou moins larges. Lorsque le phénomène qu'ils cherchent à prévoir dépasse la taille de leur maille, ils suivent les lois de la physique en toute rigueur. Dans le cas contraire, ils appliquent des hypothèses simplificatrices supplémentaires.

« Actuellement, notre modèle global\* Arpège, dont la maille varie de 10 à 60 km selon le continent, est alimenté en données toutes les six heures, commente Florence Rabier, adjointe au responsable du Groupe de modélisation et d'assimilation

pour la prévision (GMAP) au Centre national de recherches météorologiques (CNRM, Météo-France/CNRS). Pour notre modèle à maille fine, Arome, qui s'étend jusqu'au sud du Royaume-Uni, au nord de l'Espagne et à la frontière orientale de l'Allemagne, nous faisons une mise à jour toutes les trois heures. D'ici à 2015, nous devrions avoir la possibilité de l'actualiser toutes les heures. »

Aladin, Arpège et Arome\* constituent un trio de modèles imbriqués les uns dans les autres. Combinés deux à deux, ils permettent de représenter de manière plus réaliste les phénomènes météorologiques de petite taille. C'est dans cette direction qu'a beaucoup progressé Météo-France au cours de la dernière décennie. « À partir du moment où nous avons utilisé des modèles non hydrostatiques\*, comme Arome, nous avons pu décrire de façon réaliste des phénomènes comme les orages, que l'on peine à représenter dans un modèle global, précise Alain Joly, responsable du GMAP. Nous pouvons aussi mieux représenter les nuages ou la formation du brouillard. Dans ce dernier domaine, beaucoup de progrès restent à faire. Nous nous y attaquerons dans les années qui viennent. »

Avec Arome, les paramètres intégrés ont >>>



## « Prévoir le temps dans les 6 heures qui viennent nécessite d'adapter les modèles classiques. »

### ◆ Qu'est-ce que la prévision immédiate ?

Il s'agit des prévisions pour les échéances très courtes, en-deça de six heures. Ce ne sont pas les plus faciles à élaborer ! Car pour les heures à venir, les résultats des modèles de prévision présentent des aspects peu réalistes. On utilise donc d'autres méthodes, qui s'appuient sur les seules observations. Dans le cas de la pluie, par exemple, on extrapole les observations radars en supposant que les précipitations vont continuer dans la même direction.

### ◆ Comment rendre les modèles plus performants ?

En travaillant sur la fréquence, la qualité de l'assimilation des données et sur la modélisation des phénomènes de petite taille. Des versions spécifiques du modèle Arome sont par exemple à l'étude. Elles seront opérationnelles d'ici à trois ans :

Arome PI (pour Prévision immédiate) sera rafraîchi toutes les heures et Arome Aéroport aura une résolution de 500 m sur une zone de 100x100 km<sup>2</sup>. Cette version sera notamment expérimentée en partenariat avec Thalès pour l'étude des turbulences créées dans le sillage des avions.

### ◆ Qui sont les utilisateurs des prévisions immédiates ?

L'aéronautique, bien sûr, mais aussi la route, les travaux publics, les événements sportifs... C'est par exemple ce type de prévisions que nous utilisons pour accompagner les organisateurs des Internationaux de France de Roland-Garros ou des grands prix de Formule 1. Elles s'adressent aussi à des services chargés de la gestion de l'eau dans les municipalités, qui les utilisent pour déclencher des alertes vers la population en cas de risques d'inondation.



© Météo-France

### TROIS QUESTIONS À LUDOVIC AUGER

Depuis 2009, responsable de l'équipe algorithmique au sein du Groupe de modélisation et d'assimilation pour la prévision du CNRM.

- Diplômé de l'École polytechnique en 1996
- Thèse sur la pollution urbaine à l'université Paul-Sabatier en 2005.

>>> aussi été enrichis : le modèle prend en compte les mesures de vent et de précipitations effectuées par les radars. Pour affiner les prévisions locales, le type de surface (lac, forêt, mers, villes, etc.) est aussi pris en considération.

### Des prévisions locales et globales.

Sur le terrain opérationnel, les résultats des simulations sont ensuite analysés par un prévisionniste. Connaissant le climat régional et les limites du modèle, il les ajuste et les traduit pour le public en cartes et bulletins météo. « *Lorsqu'il y a des intempéries, nous avons plusieurs millions de connexions sur notre site Internet* », explique Jean-Marie Carrière, directeur de la prévision. Dans ces cartes et bulletins, on retrouve des prévisions par commune pour les trois jours à venir, et une tendance pour les six suivants. « *Nous adaptons aussi nos prévisions à des domaines spécifiques, comme la production énergétique, les routes, l'hydrologie ou encore la météo marine. Ces utilisateurs doivent disposer d'informations avec des incertitudes aussi réduites que possible afin d'adapter leurs prises de décision.* »

Plus les prévisions s'affinent, plus les demandes sont pointues : « *Nous traitons de plus en plus les phénomènes de petite échelle : la température des pistes sur un aéroport, la hauteur de neige sur les chaussées, les précipitations sur une zone restreinte... Nous cherchons aussi à mieux quantifier l'incertitude des prévisions : l'utilisation de la prévision d'ensemble (voir Focus page 59), qui le permet, se généralise. Et nous travaillons à enrichir l'information de prévision en y ajoutant plus systématiquement des indices de confiance.* »

Et pour le temps qu'il fera dans le mois, la saison, les années à venir ? Plus on vise loin dans le temps, plus on doit renoncer aux détails. Pour ces échéances, les météorologues estiment la probabilité qu'il fasse plus froid ou plus humide que la normale.

Discipline encore prospective, la prévision à ces échéances nécessite par ailleurs de combler le fossé séparant la prévision météorologique des projections climatiques. À ces échelles de temps, les variations des océans, des fleuves, des nappes phréatiques, de la végétation, des gaz et poussières ont des influences non négligeables sur l'atmosphère, dont il faut tenir compte dans les modèles.

Dans cette représentation du « système terre », le modèle atmosphérique sur lequel s'appuie la prévision pour demain tient une place centrale, mais nécessite d'être adapté. Sa déclinaison en une version « climat » souffre parfois du manque de données qui aideraient à le tester et à l'ajuster. Météo-France travaille donc à rapprocher les deux versions « prévision » et « climat », afin que la vérification quotidienne de la première bénéficie aussi à la seconde. ●

### à retenir

- Les données d'observation sont toujours plus nombreuses et plus précises.
- Météo-France cherche à les assimiler dans ses modèles de façon plus fréquente et plus efficace, à différentes échelles.
- Au bout de la chaîne, les prévisions sont plus fines. Elles s'adaptent à la demande et elles s'enrichissent d'expressions de l'incertitude.

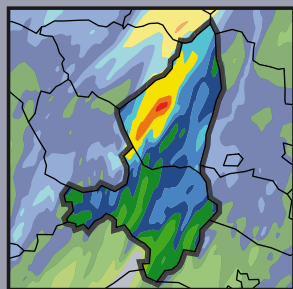
**130 millions** d'observations de satellites sont traitées chaque jour pour le modèle global de Météo-France. 7 millions sont effectivement utilisées.

**40 000 milliards** d'opérations par seconde. C'est la puissance théorique des supercalculateurs de Météo-France.

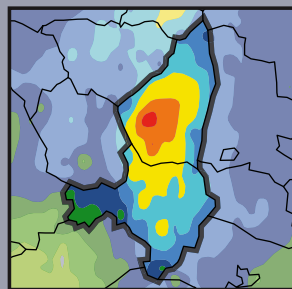


# FOCUS Prévoir le temps

## Prévision déterministe (un seul jeu de conditions initiales)



## Situation observée par les pluviomètres



Précipitations (en mm)

1 5 15 30 50 75 100 150 200 250 300



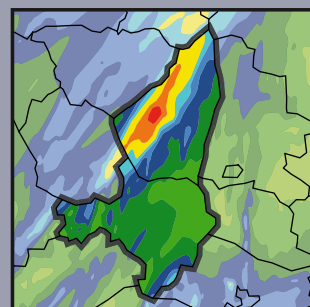
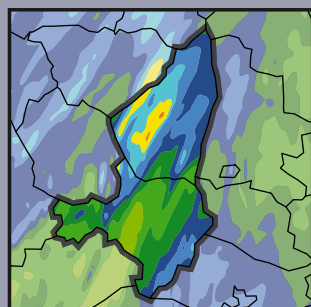
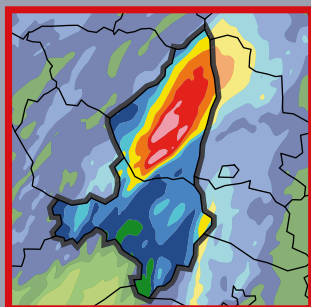
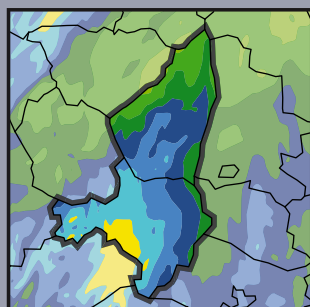
## Épisode de pluies diluviennes dans l'Ardèche et le Gard 7-8 septembre 2010

Lors de cet épisode, les seules prévisions en haute résolution dont disposaient les prévisionnistes étaient des prévisions déterministes (un exemple à gauche). Elles prévoyaient ponctuellement jusqu'à 210 mm de pluie en 24 heures. Dans les faits, il a été enregistré localement plus de 350 mm\* en moins de 24 heures. Bien qu'imparfaite dans les détails, la prévision déterministe a permis d'avertir les populations et les autorités sur des risques de forts orages.

Ci-dessous, quatre exemples de scénarios parmi les dizaines qui auraient été obtenus avec la prévision d'ensemble. Le scénario le plus pessimiste fixe la limite maximale de la quantité de pluie attendue. Dans ce cas (scénario encadré en rouge), il prévoit localement jusqu'à 360 mm\* de pluie en 24 heures, ce qui est cohérent avec les observations.

\* Les cartes présentées sont « spatialisées », c'est-à-dire lissées géographiquement. Les valeurs maximales prévues ou observées ponctuellement ne sont donc pas visibles sur ces cartes.

## Prévision d'ensemble (exemples de prévisions obtenues avec plusieurs jeux de conditions initiales)



© Météo-France

# La prévision d'ensemble

Pour prévoir le temps des jours à venir, les prévisionnistes ont recours à deux méthodes complémentaires : la prévision déterministe et la prévision d'ensemble. Pour la première, ils commencent par établir à partir des observations une « analyse », c'est-à-dire une représentation cartographique du temps qu'il fait. Le modèle calcule ensuite l'évolution des paramètres météorologiques au fil du temps. Si l'analyse et le modèle étaient parfaits, la méthode serait d'une rigueur mathématique implacable. Mais dans les faits, ils sont loin d'être dénués d'incertitudes : erreurs de mesure, zones sans données, hypothèses de modélisation...

Ces défauts passeraient inaperçus si l'atmosphère, comme d'autres systèmes physiques « chaotiques », n'avait pas la propriété de les amplifier très vite. Pour analyser les incertitudes et les scénarios alternatifs, les météorologues utilisent de plus en plus un autre type de prévision : la prévision d'ensemble, ou probabiliste. Le temps qu'il fait n'est plus décrit par une seule analyse, mais par plusieurs, choisies de manière à rester cohérentes avec les observations et les incertitudes associées. Et l'on n'utilise plus un seul modèle, mais plusieurs variantes très proches. En les faisant tourner avec les différents jeux de paramètres, les météorologues

obtiennent une palette de scénarios possibles. « Nous cherchons ainsi à simuler les erreurs que l'on fait dans le scénario déterministe, aussi bien au niveau des observations que de la modélisation », explique François Bouttier, chercheur au Centre national de recherches météorologiques. La méthode des ensembles est particulièrement intéressante en cas de phénomènes violents, car elle permet d'envisager toutes les possibilités, en termes d'intensité et de localisation, et d'estimer la probabilité de chacune. Les prévisionnistes analysent les différents scénarios et choisissent les plus pertinents. De leurs arbitrages dépend par exemple la couleur de la carte de la vigilance.

À l'heure actuelle, Météo-France utilise surtout le modèle global Arpège pour effectuer ses prévisions d'ensemble. D'ici à 2015, les résultats seront encore affinés avec l'adaptation à cette technique du modèle Arome, dont la maille est plus fine. « Nous pourrions mieux évaluer les risques sur les phénomènes de petite taille, ajoute François Bouttier. Par exemple, en modélisant les petits orages dans l'atmosphère, nous estimerons mieux le risque d'averses ou de rafales. » •

• **Comité éditorial** : Directions de la Recherche et de la Communication de Météo-France  
• **Rédaction** : Myriam Détru  
• **Conception graphique et réalisation** : A noir,