



.....  
**FORTS D'UN OBJECTIF COMMUN**  
.....

**UNE FEUILLE DE ROUTE JUSQU'A 2025**



#### ETATS MEMBRES (JANVIER 2016)

-  **Allemagne** Deutscher Wetterdienst (DWD)
-  **Autriche** Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG)
-  **Belgique** Royal Meteorological Institute of Belgium (RMI/KMI)
-  **Croatie** Meteorological and Hydrological Service of Croatia (DHMZ)
-  **Danemark** Danish Meteorological Institute (DMI)
-  **Espagne** Agencia Estatal de Meteorología / State Meteorological Agency (AEMET)
-  **Finlande** Finnish Meteorological Institute (FMI)
-  **France** Météo-France
-  **Grèce** Hellenic National Meteorological Service (HNMS)
-  **Irlande** Met Éireann
-  **Islande** Icelandic Meteorological Office (IMO)
-  **Italie** Ufficio Generale Spazio Aereo e Meteorologia (USAM)
-  **Luxembourg** Air Navigation Administration
-  **Norvège** Norwegian Meteorological Institute
-  **Pays-Bas** Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI)
-  **Portugall** Portuguese Sea and Atmosphere Institute (IPMA)
-  **Royaume-Uni** Met Office
-  **Serbie** Republic Hydrometeorological Service of Serbia
-  **Slovénie** Meteorological Office, Slovenian Environment Agency (SEA)
-  **Suède** Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)
-  **Suisse** Federal Office of Meteorology and Climatology MeteoSwiss
-  **Turquie** Turkish State Meteorological Service

#### ETATS COOPERANTS (JANVIER 2016)

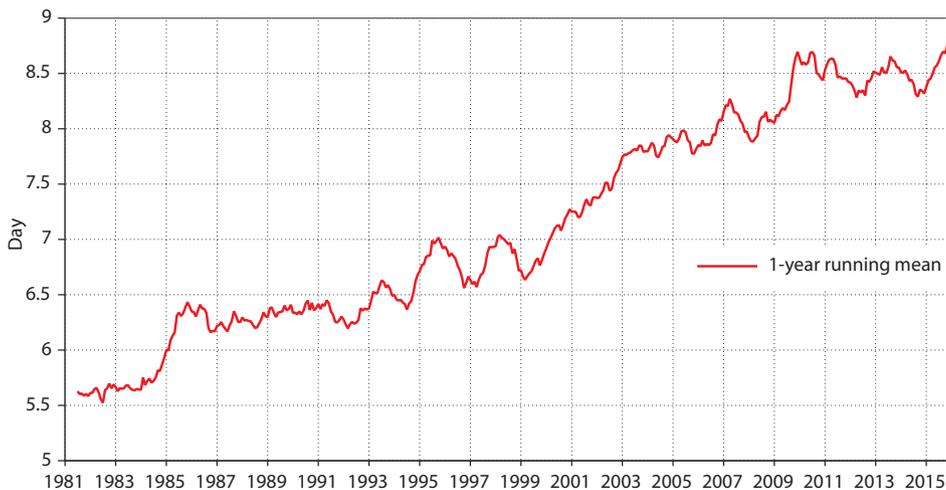
-  **Ancienne République yougoslave de Macédoine** National Hydrometeorological Service Republic of Macedonia
-  **Bulgarie** National Institute of Meteorology and Hydrology
-  **Estonie** Estonian Environment Agency
-  **Hongrie** Hungarian Meteorological Service (OMSZ)
-  **Israël** Israel Meteorological Service
-  **Lettonie** Latvian Environment, Geology and Meteorology Centre
-  **Lituanie** Lithuanian Hydrometeorological Service
-  **Maroc** Météorologie Nationale, Royaume du Maroc
-  **Monténégro** Institute of Hydrometeorology and Seismology of Montenegro (IHMS)
-  **République slovaque** Slovak Hydrometeorological Institute (SHMÚ)
-  **République tchèque** Czech Hydrometeorological Institute (CHMI)
-  **Roumanie** National Meteorological Administration

## DE L'IMPORTANCE DE LA METEO

Le CEPMMT est une organisation intergouvernementale née en 1975 de la volonté de quelques nations européennes de rassembler leurs ressources pour bénéficier collectivement des améliorations de la prévision météorologique numérique.

Le rôle du CEPMMT est de développer une capacité de prévision météorologique à moyen terme et de fournir des prévisions à ses Etats membres et Etats coopérants. Pour cela, le CEPMMT développe des modèles globaux et des systèmes d'assimilation de données sur la dynamique, la thermodynamique et la composition de l'enveloppe fluide de la Terre et des éléments en interaction avec le système Terre. Le Centre assure le fonctionnement de ces modèles et systèmes 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7. L'objectif principal du Centre est d'améliorer ses produits de prévision météorologique à moyen terme et à l'échelle mondiale, avec un effort particulier sur les alertes précoces des événements extrêmes. Cela permet ensuite aux services météorologiques nationaux (SMN) d'accéder à de meilleures données d'une résolution plus fine qui les aident à fournir des services de prévision météorologiques.

Les développements scientifiques menés au CEPMMT s'articulent autour d'une stratégie décennale, élaborée en partenariat étroit avec ses Etats membres et révisée tous les cinq ans. Cette périodicité garantit la prise en compte des dernières évolutions scientifiques, technologiques et économiques.



*Evolution de la qualité des prévisions à moyen terme du CEPMMT sur les 35 dernières années. La courbe indique le nombre de jours d'utilité de l'information que les prévisions contiennent. Pour le définir, on prend le jour au-delà duquel, dans l'hémisphère Nord, la corrélation des anomalies à l'altitude géopotentielle 500 hPA chute sous le seuil de 60 %.*

## LES OBJECTIFS A L'HORIZON 2025

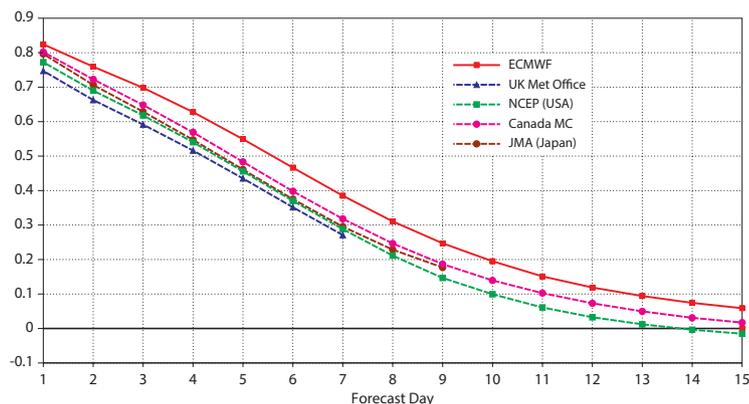
Fournir les prévisions requises pour sauver des vies, protéger les infrastructures et promouvoir le développement économique dans les Etats membres et coopérants, avec :

**Une recherche** aux confins du savoir pour développer un modèle global intégré du système Terre, permettant d'établir des prévisions avec une plus grande fidélité jusqu'à un an à l'avance. Ces travaux s'attaqueront aux problèmes les plus difficiles posés par la prévision météorologique numérique, tels que la faible capacité actuelle à prévoir le temps qu'il fera en Europe un mois à l'avance.

**Des analyses et prévisions d'ensemble opérationnelles** décrivant l'éventail de scénarios possibles et leur probabilité d'occurrence, tout en élevant le niveau requis de qualité et de fiabilité opérationnelle. En 2016, l'échéance des prévisions météorologiques à moyen terme de qualité utile s'élevait à environ une semaine en moyenne. Notre objectif d'ici 2025 est d'offrir des prévisions d'ensemble de qualité des événements météorologiques à fort impact jusqu'à deux semaines à l'avance. Grâce à une approche unifiée, nous envisageons également de prévoir les structures météorologiques à grande échelle et les transitions de régime jusqu'à quatre semaines à l'avance et les anomalies à l'échelle mondiale jusqu'à une année à l'avance.

Dans sa prochaine stratégie décennale intitulée « Forts d'un objectif commun », le CEPMMT s'est fixé l'objectif ambitieux de produire des prévisions de qualité des phénomènes météorologiques à fort impact jusqu'à deux semaines à l'avance et donne la primauté à une approche d'ensemble de la prévision. Les prévisions d'ensemble, qui proposent un éventail de scénarios probables et donnent une indication de la confiance que les prévisionnistes accordent à leurs prévisions, ont été mises en œuvre au CEPMMT il y a près de 25 ans. Cette approche permet déjà au CEPMMT d'enregistrer la probabilité d'occurrence de phénomènes météorologiques extrêmes, ce qui est d'une importance cruciale en raison de leurs conséquences potentiellement catastrophiques. Pour continuer à améliorer ses capacités, cette stratégie vise à affiner la prévision d'ensemble à une

résolution horizontale de 5 km d'ici 2025. Pour réaliser les objectifs exigeants de la stratégie, le CEPMMT oriente ses systèmes de modélisation et d'assimilation de données vers une approche système Terre. Si la modélisation du système Terre en est déjà à ses débuts, son application à l'assimilation de données est une grande nouveauté et les résultats pourraient être sans précédent. Depuis sa création, le CEPMMT doit sa position de leader à l'association de scientifiques de haut niveau et de capacités de calcul haute performance rassemblés par les Etats membres du CEPMMT au sein d'un centre d'excellence. Une priorité clé du CEPMMT est de rester un lieu de travail attrayant pour les meilleurs scientifiques du monde, tout en veillant à leur apporter la capacité de calcul la mieux adaptée pour réaliser sa mission principale.



*La vérification de la qualité de la prévision d'ensemble sur les douze derniers mois illustre les performances du CEPMMT par rapport à d'autres centres dans le monde. Des valeurs plus élevées signifient une meilleure qualité prévisionnelle, le chiffre 1 représentant la perfection. Il convient de noter que tous les centres ne produisent pas leur prévision d'ensemble à deux semaines d'échéance.*

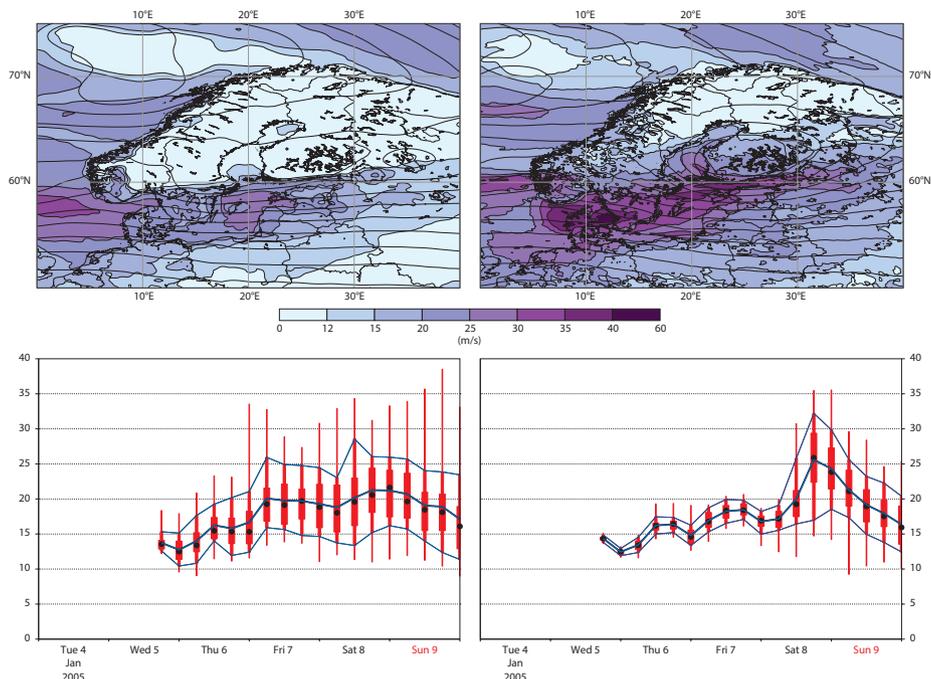
## QUELLE DIFFERENCE DIX ANNEES PEUVENT-ELLES BIEN FAIRE?

La science météorologique a été décrite comme vivant une révolution tranquille, car son évolution et ses progrès ont tendance à être graduels. Dix années d'évolutions scientifiques produisent cependant des avancées bien réelles qui peuvent faire la différence entre la vie et la mort si elles permettent d'alerter plus tôt.

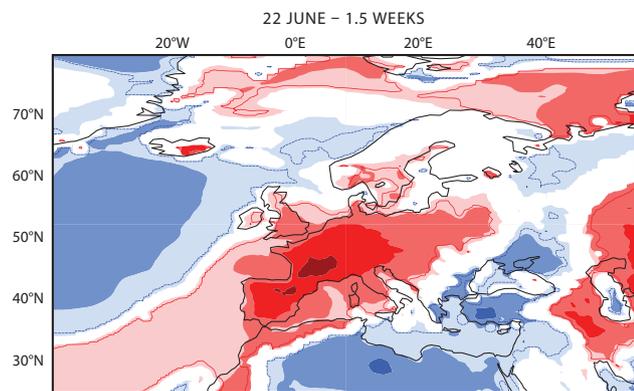
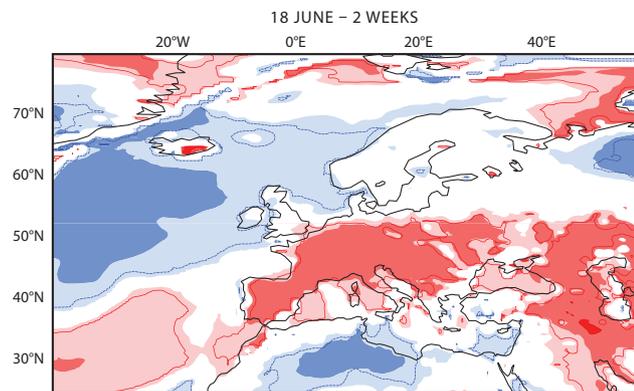
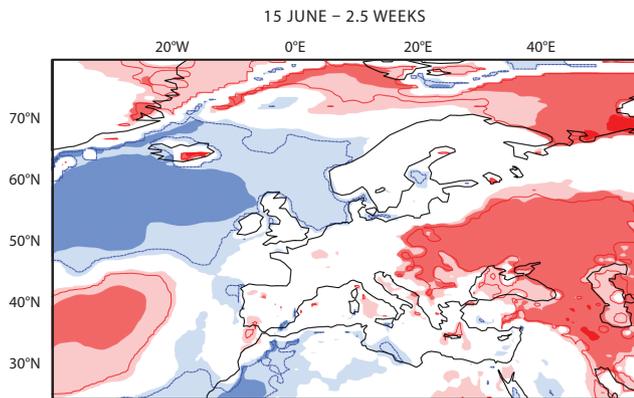
Les deux exemples ci-dessous illustrent le but que nous voulons atteindre en 2025, au terme de cette nouvelle Stratégie.

Une réexécution des prévisions de la tempête Gudrun, qui a touché la Suède en janvier 2005, montre l'ampleur des progrès réalisés ces dix dernières années. Dans

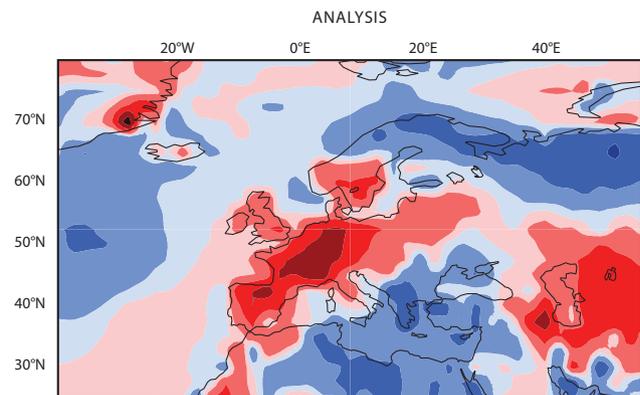
les prévisions établies aujourd'hui, l'incertitude liée à la prévision des rafales est bien plus petite qu'il y a dix ans, comme le montre l'étendue beaucoup plus resserrée du diagramme en « boîtes à moustaches ». Les prévisions d'aujourd'hui sont aussi beaucoup plus précises : la prévision à haute résolution des rafales de plus de 30 m/s dans certaines parties du sud de la Suède correspond beaucoup plus aux valeurs de rafales comprises entre 30 et 35 m/s observées dans la même zone que celles de 15 à 25 m/s prévues à l'époque. En 2025, nous misons sur des prévisions fiables de tempêtes de ce type en moyenne à 10 jours d'échéance et jusqu'à deux semaines à l'avance dans certains cas.



La tempête Gudrun a balayé le sud de la Scandinavie les 8 et 9 janvier 2005. La carte en haut à gauche montre la prévision de la pression de surface (lignes de contour) et des rafales maximales (nuances de couleurs) établie à l'époque par le CEPMMT 3,5 jours à l'avance. Le diagramme en « boîtes à moustaches » situé au-dessous montre la prévision d'ensemble correspondante pour la pointe sud de la Suède jusqu'à 4 jours à l'avance. Les deux cartes sur la droite montrent les prévisions équivalentes établies à l'aide du système de prévision utilisé en 2016. Les nettes améliorations observables dans les prévisions d'aujourd'hui sont attribuables à un meilleur paramétrage physique, à une résolution effective plus élevée et à la manière de représenter l'incertitude du modèle et la dépendance du flux de l'erreur du modèle.



A l'été 2015, l'Europe a subi une dangereuse vague de chaleur qui avait commencé début juillet. Bien que nos prévisions l'aient rendue sporadiquement visible deux semaines et demie à l'avance, elle est devenue constamment et clairement visible deux semaines avant son apparition. La présente stratégie vise à permettre la prévisibilité constante des phénomènes à fort impact et des structures météorologiques à grande échelle trois semaines à l'avance en moyenne, et jusqu'à quatre semaines dans certains cas, donnant plus de temps aux services compétents et à la société pour se préparer.



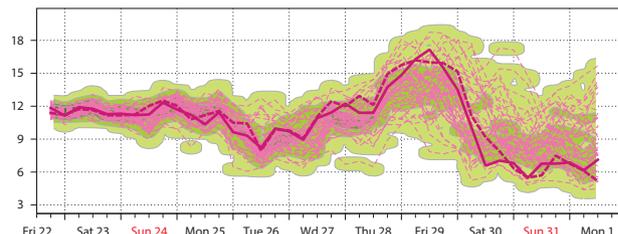
*Prévisions de la température à 2 mètres : anomalie hebdomadaire pour la période du 29 juin au 5 juillet 2015 tirée de l'analyse et des prévisions des 22 juin, 18 juin et 15 juin.*

# L'APPROCHE STRATEGIQUE DU CEPMMT

En repoussant les limites de la recherche, nous acquerrons une meilleure compréhension des sources de prévisibilité aux échéances concernées et améliorerons le système de prévision intégré (IFS) afin de pouvoir en extraire le signal prévisible. Dans la prochaine décennie, cette stratégie vise à offrir des prévisions de bonne qualité pour les phénomènes météorologiques à fort impact jusqu'à deux semaines à l'avance, et jusqu'à quatre semaines à l'avance pour les structures à grande échelle. Cela permettra d'améliorer l'échéance à partir de laquelle les alertes liées à des vagues de chaleur ou à des périodes de grand froid peuvent être fournies par les Services météorologiques nationaux (SMN).

## Prévision d'ensemble : annoncer plus tôt les phénomènes météorologiques extrêmes

L'amélioration de notre capacité de prévision des phénomènes météorologiques à fort impact reposera sur l'utilisation d'un système d'ensemble à haute résolution permettant de réaliser des prévisions jusqu'à deux semaines à l'avance. Un objectif ambitieux pour les prévisions d'ensemble, qui sera fonction des progrès scientifiques et des progrès en matière de calcul et d'adaptabilité des codes (*scalability*), est de parvenir à une résolution horizontale d'environ 5 km d'ici 2025. Ce niveau de résolution est indispensable pour que le modèle puisse simuler les phénomènes météorologiques qui affectent le plus les populations et les biens. La haute résolution présente également des avantages déterminants dans la mesure où elle réduit les erreurs de l'état initial car elle peut mieux assimiler tous les types d'observation. Elle augmente aussi la précision des calculs numériques et permet en particulier de mieux décrire les éléments météorologiques de surface. Une approche d'ensemble est donc essentielle compte tenu de l'incertitude de prévision inhérente et de la nécessité d'enregistrer de manière adéquate la probabilité d'occurrence de phénomènes météorologiques extrêmes à cause de leurs conséquences potentiellement catastrophiques. Pour les prévisions à plus longue échéance, les configurations du modèle utilisé pour les prévisions sous-saisonnnières et saisonnières convergeront progressivement pendant la période couverte par la Stratégie.



L'incertitude de la prévision peut être visualisée par les panaches qui s'élargissent lorsque la prévision devient plus incertaine. Elle est représentée ici par des exemples de prévisions de température (°C) à 850 hPa.

## Une approche système Terre

La fourniture de prévisions d'ensemble de qualité des phénomènes météorologiques à fort impact jusqu'à deux semaines à l'avance et des structures météorologiques à grande échelle et transitions de régime jusqu'à quatre semaines à l'avance exigent non seulement d'utiliser un modèle amélioré de l'atmosphère, mais également de mettre davantage l'accent sur les autres composantes du système Terre, à savoir l'océan, l'état de la mer, les glaces de mer, les terres émergées, les aérosols et toutes leurs interactions.

## Développement des modèles

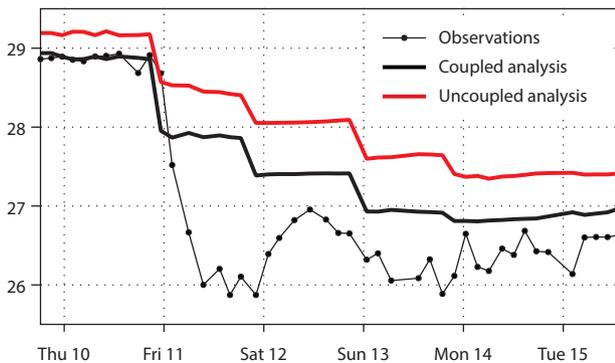
De nos jours, les modèles globaux de prévision peuvent résoudre des échelles atmosphériques descendant jusqu'à des dizaines de kilomètres et inclure les interactions avec la surface des terres émergées et les océans. Pour améliorer la réalisme et la qualité des prévisions, de nouvelles composantes devront être ajoutées aux modèles et la résolution spatiale devra être améliorée.

Au cours des dix années à venir, la recherche visant à mieux comprendre les processus physiques dans l'atmosphère sera essentielle, pour de meilleures représentations des nuages et des précipitations, du rayonnement, du mélange turbulent et de la convection. Le modèle atmosphérique sera appliqué à une plage croissante d'échelles de résolutions spatiales, allant des

résolutions plus basses pour la prévision saisonnière jusqu'aux résolutions d'ensemble plus fines où la convection profonde sera de mieux en mieux définie. La recherche sera nécessaire pour s'assurer que les processus physiques du modèle fonctionnent avec efficacité et cohérence à toutes ces résolutions. Il sera essentiel de perfectionner la modélisation de la surface des terres émergées pour toutes les échéances de prévision et d'améliorer la modélisation de l'océan, des vagues de surface, de la cryosphère et de la physique des aérosols. La recherche sur les façons de représenter l'incertitude inhérente aux processus physiques de toutes les composantes du système Terre sera cruciale pour obtenir un ensemble de prévision efficace.

### Assimiler les observations pour mieux comprendre le présent

La compétence prévisionnelle du CEPMMT est souvent attribuée à sa force et à son expertise dans la recherche et les techniques de pointe de l'assimilation de données. Des initiatives proactives visant à trouver des solutions innovantes d'assimilation de données (telles que les techniques variationnelles, l'ensemble d'assimilations de données) ainsi que des modes de collaboration très

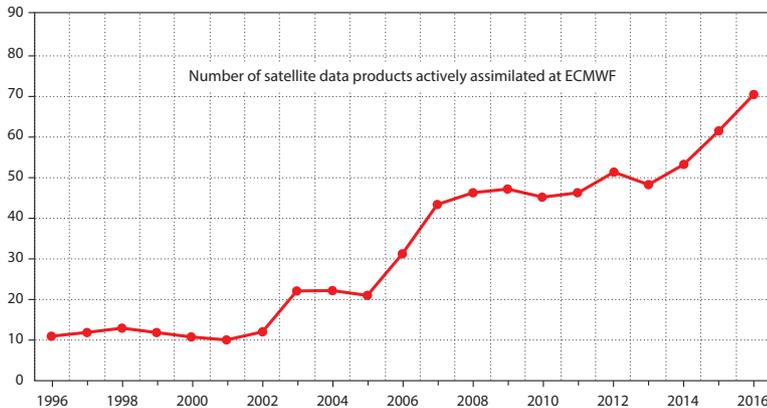


**Impact de l'assimilation couplée au cours d'un cyclone.** Les lignes en pointillés montrent la série chronologique des observations de la température de l'océan mesurée à 40 m de profondeur par un flotteur Argo situé sur la trajectoire du cyclone Phailin. La chute de la température le vendredi 11 octobre 2013 est due au refroidissement dans le sillage du cyclone. L'écart entre les lignes épaisses rouges et noires montre l'impact de l'utilisation d'un système d'assimilation couplée. L'analyse couplée (ligne noire) est plus proche des observations in situ en partie grâce à la meilleure utilisation des mesures satellitaires des vents de surface.

étroits avec des pourvoyeurs de données (EUMETNET pour les données in situ, EUMETSAT et d'autres agences spatiales pour les observations satellitaires) ont joué un rôle clé dans le maintien du leadership du CEPMMT dans ce domaine.

Au fur et à mesure de la progression des prévisions du CEPMMT vers la modélisation couplée, les interactions entre les différentes composantes devront être prises intégralement en compte, non seulement au moment de la prévision mais aussi lors de la définition des conditions initiales des prévisions. Le CEPMMT a commencé à explorer un nouveau système d'assimilation couplée permettant d'initialiser les prévisions numériques du temps de manière plus globale et équilibrée. Une telle approche à le potentiel de mieux utiliser les mesures satellitaires et d'améliorer la qualité de nos prévisions. Elle engendrera une réduction des chocs d'initialisation dans les prévisions couplées en rendant parfaitement compte des interactions entre les composantes. Elle conduira également à la création d'un état cohérent du système Terre pour l'initialisation des prévisions à toutes les échéances.

Notre stratégie conjuguant résolution spatiale élevée et couplage accru des différentes composantes du système Terre nécessitera de nouvelles observations. Bien que le CEPMMT utilise des observations fournies par de nombreux types d'instruments, allant des ballons sondes et des radars aux avions, plus de 95 % des 40 millions d'observations traitées chaque jour proviennent de satellites. Le CEPMMT entretient une collaboration étroite avec des agences spatiales du monde entier, et plus particulièrement avec son organisation sœur EUMETSAT, pour s'assurer que les instruments répondent aux besoins de la météorologie. Les dix prochaines années verront l'avènement des premiers instruments hyperspectraux en orbite géostationnaire, du Système polaire d'EUMETSAT de deuxième génération en orbite basse, qui comprendra des instruments améliorés et nouveaux, ainsi que le renforcement de la capacité de sondage hyperfréquence. Nous travaillerons également en étroite collaboration sur le système américain de nouvelle génération, JPSS, et le programme évolutif chinois Feng Yun. Il y a aussi des missions de démonstration scientifiques et technologiques passionnantes, comme ADM-Aeolus et EarthCare à l'ESA, où le CEPMMT est, et s'efforcera de rester, à l'avant-garde de la recherche dans le domaine de l'assimilation de nouvelles observations.



*Ce graphique montre le nombre de produits de données satellitaires actifs assimilés au CEPMMT. Le Centre traite en moyenne 40 millions d'observations par jour, transmises par plus de 70 instruments. La collaboration avec l'organisation sœur EUMETSAT, mais aussi, entre autres, avec l'ESA, la CMA, la JMA, la NASA et la NOAA permet au CEPMMT d'avoir accès aux observations indispensables à la météorologie. L'utilisation de données satellitaires par le CEPMMT est amenée à s'accroître au rythme des avancées remarquables de la technologie spatiale et des lancements de nouveaux instruments prévus par les agences spatiales.*

## Une approche adaptable du calcul haute performance

L'évolution vers une modélisation du système Terre à haute résolution génère des défis en termes de scalabilité et d'opérabilité qui nécessiteront des méthodes scientifiques et des méthodes de calcul fondamentalement nouvelles. Engager une réflexion sur la capacité de calcul sans penser à une approche adaptable n'est pas une option possible. Pour atteindre ces objectifs ambitieux tout en préservant ses impératifs de viabilité économique et de durabilité environnementale, le CEPMMT doit s'assurer d'avoir accès aux technologies de calcul les mieux adaptées tout en perfectionnant son approche adaptable du développement des codes.

### Une adaptabilité des codes (*scalability*) pour une utilisation efficace de la puissance de calcul disponible

Toutes les composantes du processus de prévision nécessitent un code adaptable, des données issues des observations à la modélisation prévisionnelle, en passant par la génération de produits et la diffusion de prévisions aux Etats membres. L'ensemble à haute résolution de future génération représente une tâche de traitement numérique et de calcul beaucoup plus vaste, équivalente à plusieurs fois celle d'aujourd'hui, avec en plus une hausse considérable des volumes de données d'observation attendus. Malgré l'accroissement des volumes, les temps de production devront rester inférieurs à une heure pour répondre aux délais stricts des Etats membres. Dans le même temps, le

secteur du calcul haute performance est en plein essor et voit sans cesse apparaître de nouveaux modèles, tels que l'utilisation de systèmes accélérés ou l'utilisation de noyaux légers à large bande passante. Il convient aujourd'hui de changer radicalement d'orientation et d'adopter une approche intégrée pour les éléments suivants : méthodes numériques, matériel informatique et conception des codes.

La bonne mise en oeuvre de cette stratégie repose sur des avancées conjointes des sciences du calcul et de la prévision météo numérique dans les domaines associant à la fois les algorithmes et la technologie nécessaires à un haut rendement énergétique, ainsi que la précision et la stabilité numériques. Il appartiendra aussi au Centre d'entretenir et de renforcer ses liens étroits avec les principaux fournisseurs afin de pouvoir bénéficier de leurs feuilles de route technologiques, tout en restant attentif à la mise au point d'éventuelles nouvelles technologies révolutionnaires.

Des projets de recherche sur de futures architectures informatiques hétérogènes ont déjà été lancés. Ces projets seront importants tout au long de la durée de cette stratégie car ils permettront d'établir le meilleur modèle possible, en tenant compte des contraintes futures en matière de puissance de calcul et de gestion des données.

**Le CEPMMT s'efforcera de fournir une installation de calcul haute performance qui permette de matérialiser les bénéfices de l'innovation scientifique de façon efficace sur le plan énergétique et durable sur le plan environnemental.**

Depuis quarante ans, le CEPMMT bénéficie du soutien du nombre croissant de ses Etats membres et Etats coopérants, tant sur le plan financier que dans le domaine de la coopération scientifique et du partage des compétences. Le CEPMMT a également élargi son approche collaborative en diversifiant ses coopérations avec des services météorologiques, des instituts de recherche, des universités et des agences spatiales en Chine, aux Etats-Unis d'Amérique, au Brésil, au Japon et bien entendu via l'Organisation météorologique mondiale (OMM). En toute indépendance, le CEPMMT entretient également un solide partenariat avec l'UE. Les bourses de recherche accordées par l'UE ont permis au Centre de faire progresser entre autres son expertise dans les domaines de l'adaptabilité des codes (*scalability*) et de la prévision saisonnière. Plus récemment, le CEPMMT est devenu l'opérateur de deux services Copernicus, le programme phare de l'UE, respectivement consacrés à la surveillance de l'atmosphère et du changement climatique.

Cette stratégie est le fruit de cette vaste collaboration et son succès repose sur la persévérance de l'esprit de collaboration qui est l'essence même du CEPMMT et de sa communauté.

