

*Je ne suis pas  
Madame Soleil !*

## La pomme de pin, le prévisionniste et l'IA.

-Les prévisions météo font partie de nos préoccupations journalières. **Dans ce premier volet** nous allons découvrir de quelle façon Météo-France élabore ses prévisions. Les missions de cet organisme dépassent largement l'émission de bulletins destinés au grand public.

-Pourquoi la prévision du temps **en montagne** demeure un exercice difficile. L'IA permettra-t-elle de gagner en temps et en fiabilité ?



« Quand il pleut à la Saint-Médard, il pleut quarante jours plus tard. A moins que Barnabé, ne lui coupe l'herbe sous le pied »

Dicton de Franche-Comté

Vers 1300 ans avant JC, les *Chinois* collectaient déjà de façon régulière des informations sur les phénomènes météo.

Les *grecs* aussi se sont intéressés aux orages, tempêtes et sécheresses, mais ces événements sont considérés à l'époque comme surnaturels et conséquence de *la colère des Dieux*. Zeus gouvernait l'orage, l'ouragan et la foudre !

Au fil des siècles ces connaissances accumulées pendant l'antiquité seront écartées ou déformées laissant place à des pratiques de *divination*, de *charlatanisme*. Dans les campagnes on se fie aux *dictons* pour savoir qui de la pluie ou du soleil sera au rendez-vous. On s'appuie sur *des observations de terrain* : certaines farfelues, d'autres comportant une part de vérité.



La pomme de pin est un petit outil d'hygrométrie. Selon l'humidité de l'air ses écailles se referment ou s'écartent.

science.lu.fr

Site futura- Sciences.



« Lune cerclée, pluie assurée »

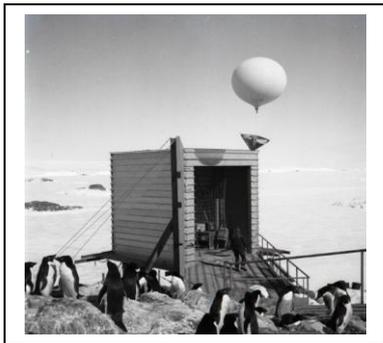
Le halo est lié à la présence de *cirrostratus* abritant des *cristaux de glace* qui diffusent la lumière du soleil. Or la présence de ce type de nuage précède de quelques heures la pluie.

## La météorologie, une science qui émerge au 17<sup>ème</sup> siècle.

- **Quelques découvertes déterminantes.**

-A la fin du 16<sup>ème</sup> on dispose de **baromètres** et de **thermomètres** fiables et transportables.

-Le premier **ballon sonde** muni d'un baromètre est lâché en 1892. En 1929, à Trappes est lancé le premier ballon transmettant ses mesures de temps par radio.



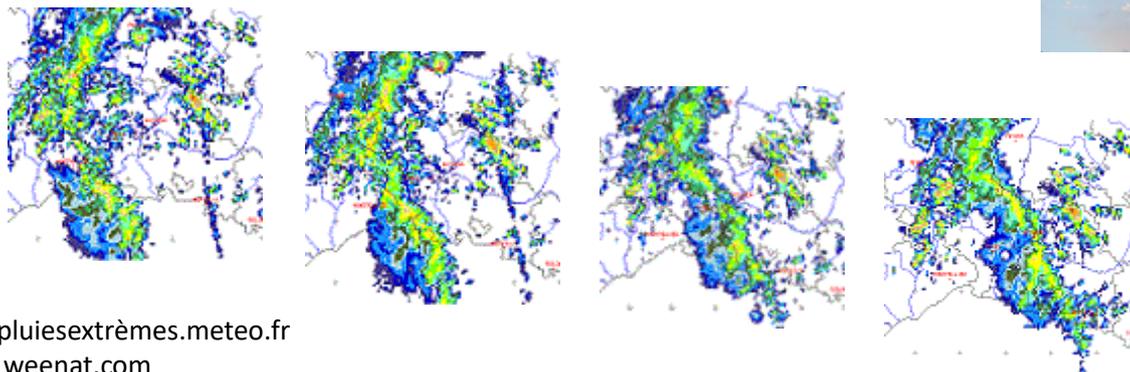
Lâcher de ballon-sonde en 1973 sur la base de Dumont d'Urville.

Son principal intérêt est de pouvoir atteindre des altitudes d'au moins 35 km, le record étant de 53 km, difficile à obtenir avec des moyens plus conventionnels tels que les avions, et à un coût bien inférieur à une fusée-sonde ou un satellite.

Archives-polaires.fr

-L'utilisation du **radar** en météo date de 1950. Sa contribution est déterminante car il permet de visualiser les **précipitations** et leur **déplacement**.

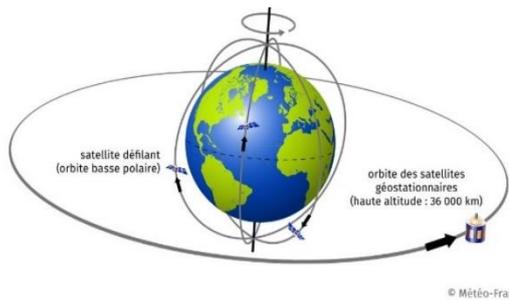
Le 22 septembre 1992 le **radar de Nîmes** enregistre le déplacement du système orageux à l'origine de la catastrophe de **Vaison la Romaine**. Malgré le bulletin d'alerte émis la veille, l'épisode méditerranéen fera 46 victimes dont 37 morts. Ce jour-là ce que Météo-France n'a pas su évaluer c'est l'ampleur des précipitations.



-1960 voit le lancement des premiers **satellites d'observation, géostationnaires ou de défilement**.

Les satellites des programmes Météosat sont géostationnaires, situés à la verticale de l'équateur terrestre, à presque 36 000 km d'altitude. Ainsi, ils observent en permanence un disque terrestre comprenant l'Europe, l'Afrique et l'océan Atlantique





-Les **satellites géostationnaires** ne sont pas si nombreux et appartiennent à des pays différents : Europe, USA, Japon, Indes.

(encyclopédie-environnement.org)

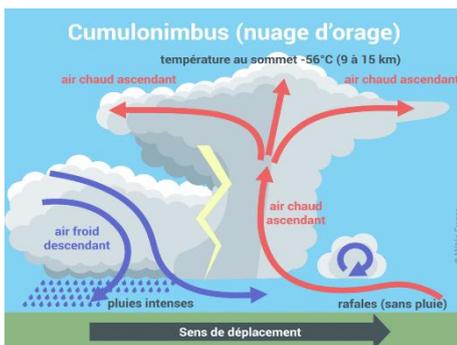
- Les **satellites de défilement** passent au-dessus des pôles toutes les 30 minutes. Les observations combinées de ces différents appareils offrent une couverture de toute la planète. *Une coopération entre les services météo des différents pays concernés est indispensable.*

-Dans les années 1980 apparaissent **les premiers ordinateurs** en capacité de traiter une grande masse de données.

- **Une organisation de plus en plus sophistiquée.**

-A la fin du 18<sup>ème</sup> siècle **les mesures** effectuées sur le terrain sont **harmonisées, codifiées**.

-Un pas supplémentaire vers l'harmonisation est franchi avec l'édition, au début du 19<sup>ème</sup>, des premier **atlas des nuages**. Luke Howard en 1803 est responsable d'une classification tellement géniale qu'elle a inspiré toutes les classifications ultérieures. En bon chimiste il a utilisé toute une série de noms latins.



-Le **cumulonimbus** est une véritable usine thermodynamique, qui s'alimente d'air chaud et humide pour fournir l'énergie nécessaire aux mouvements ascendants. Son énergie est considérable : chaque seconde, un gros cumulonimbus peut aspirer **700 000 tonnes d'air** et absorber ainsi **8 800 tonnes de vapeur d'eau**.

-Le même nuage peut renvoyer à la surface terrestre **4 000 tonnes d'eau**, sous forme d'eau liquide, de neige ou de grêle.

-Les mesures sont reportées sur **des cartes**. Les notions de **fronts chauds, fronts froids, dépression anticyclone** apparaissent.

-Création sur le territoire du premier **réseau de stations** météo capable de suivre le déplacement des événements météo.

-En 1878 né le bureau central météorologique. Il deviendra, par décret du 25 novembre 1920 l'Office national de la météorologie. *Météo-France est créée en 1993, établissement public sous tutelle du ministère des transports.*



-En 1903 **Eiffel** met sa tour, menacée de disparition, à disposition de l'armée. Elle est équipée alors **d'un poste de radiotélégraphie** munie d'une antenne émettrice d'une portée de 400km !

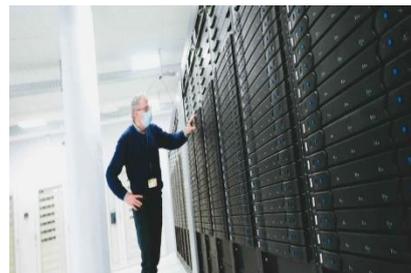
-En 1921 la TSF militaire est rejointe par une station de radio civile, la première en France à diffuser la voix humaine et de la musique.

-En 1922 la tour émet ses premiers **bulletins météorologiques**.

-L'apparition de **super calculateurs** ouvre la voie à la prévision numérique du temps (PNT).

Un nouveau système de calculs intensifs a été mis en place en 2021 par Météo-France. Développé par Bull, filiale du groupe Atos, fabriqué à Anger. Il permet entre autres :

- D'améliorer la prévisions des phénomènes dangereux avec un gain d'une à deux heures d'échéance sur les prévisions.**
- De prévoir les impacts du changement climatique à très haute résolution.**

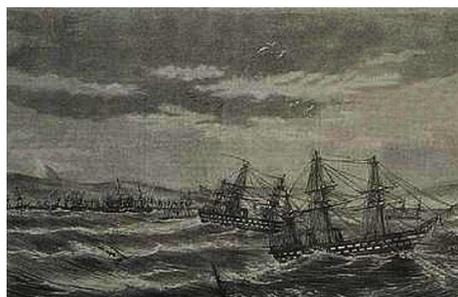


Chaque pays du monde dispose d'un Service Météorologique National, ayant pour mission de réaliser des observations régulières de l'atmosphère et d'élaborer des prévisions pour le gouvernement, l'industrie, le public. Mais quelques pays seulement disposent de centres de prévisions numériques du temps. (PNT). Il revient à l'Organisation Météorologique Mondiale OMM de distribuer les analyses aux autres pays.

- **Les guerres donnent un coup d'accélérateur à l'établissement de prévisions météo.**

### *Les leçons d'un désastre.*

*La tempête en baie de Kamiesch*



aufildesmotsetdelhistoire.unblog.f

Le 14 novembre 1854, pendant la guerre de Crimée, une violente tempête causa la perte de 38 navires de commerce français. 400 marins périrent dans la catastrophe. A la demande du ministre de la guerre de Napoléon III, Urbain Le Verrier fut chargé d'élucider les causes du désastre. **L'enquête montra que la tempête existait depuis plusieurs jours et qu'elle s'est déplacée sur une très grande distance. Le naufrage aurait donc pu être évité.**

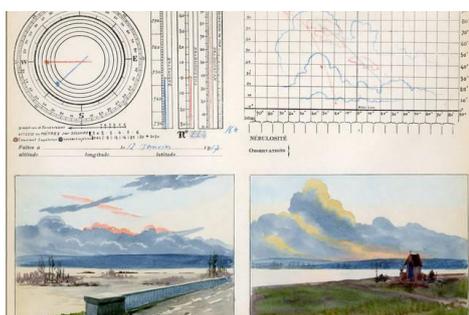
**Le Verrier décide de mettre en place un réseau de station capable de localiser les évènements dangereux pour mieux s'y préparer. 10 ans plus tard 59 stations fonctionnent en Europe. L'observatoire de Paris commence à publier quotidiennement des cartes météo.**

**Le Verrier est considéré comme le père de la météorologie moderne.**

### *La météorologie pendant la grande guerre de (14-18).*

Confrontées aux nouvelles avancées techniques en matière de combats : **l'artillerie** qui doit pouvoir tirer avec précision, **l'aviation** qui monte en puissance, **l'utilisation d'armes chimiques** (gaz asphyxiants), les autorités militaires comprennent rapidement l'importance de la météorologie. Un bureau météo militaire est créé en 1915. Un réseau d'observation est mis en place tout au long du front, **les observations en altitudes** se multiplient, grâce à de nouveaux instruments.

### *Une collaboration surprenante :*



André Des Gachons est un artiste qui **a mis son talent d'aquarelliste** au service du bureau central de la météorologie. Dès 1913 chaque jour pendant 40 ans, à heure fixe, il a saisi des instantanés du ciel de Champagne **sous forme d'aquarelles** qu'il accompagnait d'observations météorologiques (mesures de température, de pression, relevés de vents). Il postait quotidiennement son travail aux services de la météo. Il a même tenté de réaliser des prévisions météo.

**Au temps de la grande guerre, pour les soldats et officiers qui se battaient dans la boue des tranchées la météo est une préoccupation journalière.**

## Une approche numérique rendue possible par l'informatique et les super calculateurs.

Quelle mécanique se cache derrière les prévisions ? Voici les étapes conduisant à l'émission d'un bulletin.

### 1) L'assimilation des données :

- Des outils de mesure situés au niveau des continents, des océans, de l'atmosphère et de l'espace, recueillent **des données de terrain** très variées : **température, humidité, pression atmosphérique, précipitations, hauteur de neige, vent.**
- La compilation de ces données, dans le jargon météo, va permettre d'établir « **l'état initial** » de la situation météorologique à l'échelle du globe et plusieurs fois par jour.
- Ces données initiales sont traitées pour être incorporées dans différents **modèles numériques**.
- . Météo France traite ainsi environ **22 millions de données** chaque jour !

Les capteurs embarqués sur les **satellites** (90% des données), **navires, avions, bouées** sont très précieux pour recueillir les données au niveau des océans.

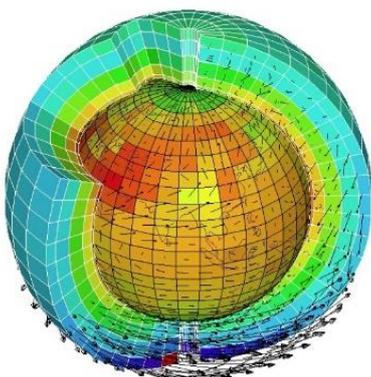
L'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) possède des outils de mesure sur 7000 navires et 3000 avions !



Pendant les périodes de confinement liées au Covid la diminution du trafic a privé l'OMM de 80% de ses mesures.

### 2) La prévision numérique du temps = PNT.

À partir de cet **état initial**, les modèles simulent l'évolution de l'atmosphère en tenant compte bien sûr des lois qui gouvernent son évolution (**thermodynamique, mécanique des fluides, changement d'état de l'eau, turbulence, rayonnement...**). Les calculs permettent alors d'établir **un état final**, c'est-à-dire une **prévision brute** à une échéance donnée.



- Les modèles de prévision opérationnels en 2016 comportent **plusieurs millions de mailles, une dizaine de variables par maille**. Ils imposent de résoudre plus de **100 millions d'équations complexes pour produire une seule heure de prévision**.
- Seule l'utilisation des calculateurs les plus puissants, mais aussi d'algorithmes efficaces permet de produire des prévisions suffisamment rapidement pour qu'elles puissent être transmises aux prévisionnistes en temps utile.
- Capacité de calcul actuelle : **5 millions de milliards d'opération à la seconde...**

#### Important :

Les ingénieurs météos vont pouvoir faire tourner leurs modèles autant de fois qu'ils le veulent en faisant varier un ou des paramètres.  
encyclopédie-environnement.org

Météo-France utilise essentiellement deux modèles numériques :

- Pour des prévisions à 3 jours Météo-France utilise **le modèle Arpège** qui couvre l'Europe avec une maille de **10km**.
- Pour des prévisions plus fines à 1 jour d'échéance concernant des phénomènes localisés elle utilise **le modèle Arome** avec une maille de **2.5 km**.

### 3) L'expertise du prévisionniste, une étape indispensable.

Son travail consiste, en bout de chaîne, à **interpréter** les simulations numériques disponibles (état final). Il apporte ses connaissances du territoire où il exerce et **ajuste les prévisions** en fonction de certains phénomènes encore mal perçus par les modèles numériques. (La limite pluie-neige par exemple.) Précieux en montagne, il connaît bien la topographie des lieux et possède une **solide expérience de terrain**.

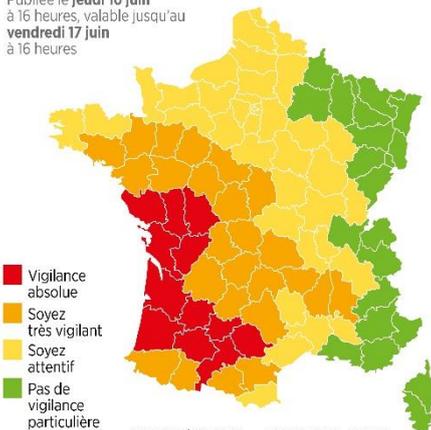


**A savoir :** *Beaucoup de sites internet mettent à disposition des prévisions entièrement automatisées directement issues d'un modèle numérique, **sans aucune expertise humaine**. Cela induit une **dégradation de la qualité de la prévision** fournie, surtout pour les prévisions en montagne.*

## Les missions de Météo-France.

### La carte de la vigilance canicule

Publiée le **jeudi 16 juin**  
à 16 heures, valable jusqu'au  
**vendredi 17 juin**  
à 16 heures



**P** -Surveiller en continu l'atmosphère, les océans, le manteau neigeux.

-Exercer Un rôle de **suivi et de veille** qui consiste à **détecter tout phénomène potentiellement dangereux** pour pouvoir avertir les usagers concernés. (Publication de cartes de vigilance)

-Surveillance de la **qualité de l'air et des pollens**.

-Coopérer avec les services de la **protection civile**.

-Assurer une **assistance aux forces armées françaises**.

-Gérer entretenir **moderniser son réseau d'observation**.

-Conserver la **mémoire du climat**.

-Contribuer au **développement économique** en répondant aux besoins de secteurs d'activité météo-sensibles tels que le tourisme, l'agriculture, la pêche, l'énergie éolienne etc.

## La montagne, un environnement particulier qui crée sa propre météo.

« Brume dans la vallée, fais ta journée ; brume sur les monts, reste à la maison. »

Consulter la météo fait partie des rituels journaliers.  
Pester sur le temps qu'il fait...aussi ! Quelles sont les points forts et les faiblesses des prévisions ?  
Pourquoi la dégradation subite des conditions météo en montagne reste une des principales causes d'accidents ?  
Qu'apportera l'IA aux prévisions météo dans les années à venir ?



## La météo est une source de bougonnerie intarissable et pourtant...

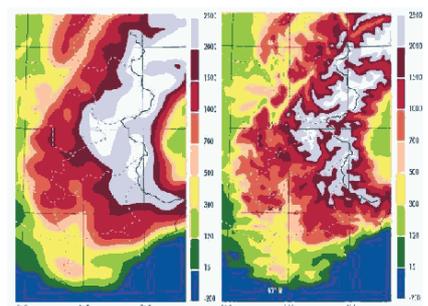


L'actu en patates Le blog de Martin Vidberg.  
Le monde

- Une météo de plus en plus précise

-Les satellites plus nombreux et l'utilisation de supercalculateurs permettent à Météo France d'appréhender des phénomènes plus complexes et de fournir des prévisions à une échelle spatiale de plus en plus fine.

-A titre d'exemple, les mailles analysées il y a une trentaine d'années étaient des carrés de 200 ou 300km de côté, alors qu'actuellement la taille des mailles varie entre 1.2 km et 10km en fonction des modèles météorologiques. (cf 1<sup>ère</sup> partie : les différents modèles)



A gauche l'image des Alpes vues par le **modèle Arpège** (maille 10km). L'image de droite est celle du **modèle Arome** (maille 1.2km). Les grandes vallées et les différents massifs deviennent visibles.

- Des prévisions de qualité dans l'ensemble

- Aux échéances courtes la **température** est en général prévue avec une erreur ne dépassant pas quelques degrés, et le **vent** avec une erreur ne dépassant pas quelques mètres par secondes.

-Pour les **précipitations**, notamment orageuses, on n'en est pas à ce niveau de qualité.



- Prévoir avec précision la **localisation précise d'un orage** et la quantité de pluie associée ou le risque de grêle reste extrêmement difficile, même quelques heures à l'avance.

- Il en est de même pour la **quantité de neige** en hiver, surtout quand la température est proche de 0°C au sol, et qu'une petite erreur de température peut entraîner une erreur sur la nature des précipitations (pluie ou neige). C'est également le cas du **brouillard**, qui reste très difficile à prévoir, même quelques heures à l'avance, car sa formation dépend de l'humidité qui est très variable.

(notre-planète.info)

- La **prévision des fortes tempêtes hivernales** comme Xynthia (nuit du 27 au 28 février 2010) a fait de gros progrès, on peut maintenant discerner le risque 72h à 120h à l'avance.
- Les **vagues de froid ou de canicule** sont prévues plusieurs jours à l'avance avec une fiabilité très correcte.

**L'amélioration de la prévision des crues-éclair dans les régions méditerranéennes constitue un des objectifs majeurs des services météo.**

*Le réchauffement climatique n'altère en rien la qualité des prévisions dans la mesure où on ne s'appuie pas sur les prévisions anciennes pour prédire le temps à venir.*

Et le réchauffement climatique dans l'histoire ?

- **Indice de confiance et l'effet papillon.**

-L'effet papillon est une métaphore énoncée par le météorologue E.Lorenz lors d'une conférence, en 1972. La phrase célèbre qui lui est associée est : « **Un battement d'ailes d'un papillon au Brésil peut-il provoquer une tornade au Texas ?** »

-En fait Lorenz exprime l'idée que dans un système de type chaotique, lorsqu'on a une chaîne d'évènements qui se suivent les uns les autres et dont le précédent influe sur le suivant, une perturbation même infime d'un paramètre en début de chaîne peut générer à un résultat très éloigné de celui qu'on aurait eu sans la perturbation.

-Or les systèmes d'équations des modèles numériques utilisés en prévisions météo présentent un caractère chaotique et le temps qu'il fera dans quelques jours dépend bien d'une chaîne d'évènements !



**Concrètement les prévisionnistes**, conscients que l'état initial (1<sup>ère</sup> partie) qui leur a servi à établir le temps qu'il fera (état final) contient inévitablement des imprécisions, **vont faire tourner plusieurs fois** leur supercalculateurs, **en injectant chaque fois, volontairement une petite variation** ! on est plus dans une prévision déterministe mais probabiliste. S'ils constatent que les résultats obtenus sont très différents de la prévision initiale alors ils exprimeront leur doute sur la fiabilité de leur travail en faisant intervenir le **fameux indice de confiance** (de 1 à 5). Plus l'échéance de la prévision est lointaine plus l'indice est faible.

## La météo en montagne : une science qui cumule les difficultés.

- **L'interaction montagne-atmosphère.**

-La montagne constitue un milieu très particulier, même pour la météo. Un massif montagneux est fait **de creux**, de **bosses à des échelles très variables** (du cm au km). **L'atmosphère qui est un fluide en mouvement** va, au contact du relief, réagir par des mouvements complexes. **La montagne crée sa propre météo avec des phénomènes qui restent localisés et un mauvais temps souvent amplifié.**

-La montagne **oblige le flux atmosphérique à prendre de l'altitude** ce qui renforce le mauvais temps sur l'obstacle.



-A l'arrière de l'obstacle que constitue un relief peut se créer une zone plus abritée avec **un effet atténuation** des conditions météo. L'effet dépend de l'orientation du vent.

-Le mauvais temps a tendance à « **s'accrocher** » au relief.

La Meije depuis le plateau d'Emparis. RF

- **Interpréter et utiliser le bulletin météo à la veille d'une sortie en montagne n'est pas toujours facile.**

Un bulletin de météo en montagne utilise un vocabulaire spécifique qui peut s'avérer trompeur. Par exemple :

**L'isotherme 0 degré** désigne l'altitude où l'on mesure la t° de zéro degré, en atmosphère libre, c'est à dire en dehors de toute influence du sol. Il ne s'agit en aucun cas de l'altitude où il commence à geler au sol. Une zone d'ombre, la proximité d'un névé, d'un glacier peuvent provoquer d'importantes variations de température.

Il en va de même pour **les vents** indiqués dans les bulletins. Ce sont des vents « météo » d'atmosphère libre. Un col, un couloir, les brises thermiques (vents ayant un caractère local, cyclique, dont l'origine est thermique) modifient grandement ce paramètre. **Or en montagne le ressenti du froid dépend beaucoup du vent.**

- **L'expérience : un atout fondamental pour tenir compte de la météo.**

Il faut savoir **adapter la course au niveau des participants**. En cas d'aggravation subite des conditions il faut être en capacité de réagir vite.

Il faut se préparer à prendre la décision la plus difficile : **renoncer et faire demi-tour.**

## L'IA peut-elle bouleverser les prévisions météo ?

*Les prévisions météo par satellite alimentées par l'IA peuvent produire des résultats à la fois plus rapides et plus précis.*

Lorsqu'il manque 51 m d'eau à Serre Ponçon ! RF



Marc Pontaud, directeur de l'enseignement et de la recherche chez Météo-France, donne son avis sur l'utilisation de l'IA :

*« Je n'exclus pas qu'à terme, d'ici dix à vingt ans, on puisse disposer de prévisions automatiques, sans supervision humaine. Nous envisageons l'IA comme un outil facilitant le travail du prévisionniste.*

*-Gagner deux à trois heures d'anticipation sur un événement dangereux est déterminant pour protéger les personnes et les biens.*

*-Nous visons, d'ici cinq à dix ans, une résolution de quelques centaines de mètres pour nos prévisions contre 1,3 kilomètre aujourd'hui.*



La « **fiancée de la pluie** », figurine Berbère proménée par des jeunes filles pour faire venir la pluie.

Site : [francetvinfo.fr](http://francetvinfo.fr)

*Merci à Catherine et Gérard Capoulade pour leur aide précieuse.*

Septembre 2023. R Ferrus