

**S**érie : INSTRUMENTS SCIENTIFIQUES: UNE AVENTURE CAPTIVANTE !

# De la rose des vents au satellite : la météo pour tous !



Texte: Christiane DE CRAECKER-DUSSART • [c.decraecker@skynet.be](mailto:c.decraecker@skynet.be)

Photos: Daniel FR/Wikimedia - hygromètre (p.13), IRM - radar (p.13), NASA - satellite (p.13), IRM/KMI (p.14), jardinetsaisons.fr (p.15)

12

*La météo est omniprésente: l'homme a besoin de savoir le temps qu'il fera pour ses activités. Les météorologues disposent d'une panoplie d'Instruments de Mesure, calcul et prévision Météo (IMM). Leur histoire est jalonnée de passionnantes aventures, de la navigation antique à la conquête spatiale !*

**D**e tout temps, la météo a joué un rôle essentiel pour l'Humanité. Mais l'extrême complexité et la variabilité des phénomènes atmosphériques les rendent impossibles à reproduire en laboratoire. La **météorologie** a toutefois fort progressé depuis l'empirisme et les dictons. Les prévisions actuelles se basent sur des observations scientifiques, calculs et simulations numériques.

## PARAMÈTRES MÉTÉO (PM)

1 000 avant J.C.: les Phéniciens utilisent étoile polaire, soleil de midi, vents locaux et 4 points cardinaux pour naviguer. Les Grecs inventent la rose des vents à 4, puis à 8 branches. Aristote crée le terme «météorologie». La rose passe à 12, 24, puis 32 branches (1504). La 1<sup>re</sup> girouette connue est le triton de bronze sur la Tour des Vents d'Athènes au 1<sup>er</sup> siècle avant J.C. Après le 9<sup>e</sup>, on voit un coq-girouette sur des clochers. Dès le 7<sup>e</sup>, les Perses mesurent la vitesse du vent grâce au moulin à vent. Vers 1450, Alberti décrit un **anémomètre** à pales, que Hooke construit en 1667 (voir photo 1 p.13). En 1734, Pajot crée l'anémographe, 1<sup>er</sup> IMM enregistreur. Lind réalise en 1775

l'**anémomètre à pression**, que Dines perfectionne en 1891. Sir Francis **Beaufort** note le vent marin et conçoit son **échelle** (1805). Robinson invente l'anémomètre à coupelles (1846). Fin du 20<sup>e</sup> apparaissent les radars Doppler et les capteurs de vent ou anémomètres électroniques.

Pour évaluer les pluies, les Indiens utilisent des réceptacles gradués en bois dès le 4<sup>e</sup> siècle avant J.C. Le Coréen Jang Yeong-sil invente, en 1441, le 1<sup>er</sup> pluviomètre standard en bronze. Le pluviomètre de Towneley (1677) s'emploie pendant 3 siècles, avant le radar de précipitations et le pluviomètre numérique (fin 20<sup>e</sup>). L'**humidité relative** de l'air se mesure par hygromètre de Hooke (1665), avant l'**hygromètre à cheveux** (Saussure, 1781 - voir photo 2 p.13). Début 19<sup>e</sup>, Boeckmann, Ivory et August inventent le psychromètre à évaporation,

2 thermomètres et tables de calcul. C'est l'un des IMM de référence en station météo (sous abri Stevenson) jusqu'à la fin du 20<sup>e</sup> et l'apparition de la sonde hygrométrique numérique.

Au 3<sup>e</sup> siècle avant J.C., les Grecs décrivent un thermoscope à air pour variation de température, que Galilée, Santorio et Telioux améliorent (début 17<sup>e</sup>). Les Florentins scellent le tube (mi 17<sup>e</sup>), créant le thermomètre à alcool, non influencé par la pression, à 50°. Début 18<sup>e</sup>, Römer lance l'échelle à 2 points fixes (ébullition et congélation de l'eau) à 60 divisions, Fahrenheit les **degrés Fahrenheit (°F)** sur thermomètre précis à mercure (1724) et Réaumur le thermomètre à alcool coloré à 80 divisions (1730). En 1742, Celsius invente son échelle centésimale ou centigrade, que Martel et Christin inversent pour arriver à son aspect définitif. Kelvin calcule, en 1848, les différences de température via la thermodynamique, d'où l'échelle scientifique de température absolue en **Kelvin (K)**. Puis apparaissent le thermographe, le thermomètre à maxima et minima et la thermosonde (20<sup>e</sup>).

En 1643, Torricelli invente le baromètre à mercure et crée le 1<sup>er</sup> vide artificiel, réfutant le préjugé d'Aristote «*La nature a horreur du vide*». Pascal et Périer prouvent en 1648 la baisse de pression avec l'altitude (expérience du Puy de Dôme), confirmant l'œuvre de Torricelli. Ces événements fondateurs de la physique moderne aident à comprendre la nature de l'atmosphère et sa limite. Hooke fabrique le 1<sup>er</sup> baromètre à cadran (1663) et Vidie la capsule pour **baromètre anéroïde** (1844 - voir photo ci-contre). Fin 20<sup>e</sup>, l'électronique remplace le mercure (toxique) et le baromètre devient numérique.

L'héliographe mesurant l'ensoleillement (Campbell, 1853; Stokes, 1879) fait place à l'actinomètre, au pyranomètre (version électrique), au luxmètre (mesureur d'éclairement) et au **radiomètre multispectral**. Diffusomètres et transmissomètres mesurent la visibilité. Après 1960, le télémètre laser (voir *Athena n° 285*, pp. 12-15) mesure la hauteur des nuages, comme le **radar météo** télémétrique.

## BALLONS, BOUÉES, RADARS ET SATELLITES

En 1783, les frères Montgolfier élèvent à 200 m le 1<sup>er</sup> ballon à air chaud, plus léger que l'air froid extérieur. Charles emporte un altimètre à 3 000 m. Glaisher et Coxwell découvrent que la température baisse d'environ 1° tous les 100 m d'ascension (1882). Assmann (1888) et Hermite (1892) complètent le ballon-sonde météo, emportant thermomètre et baromètre à mercure. En 1898, Teisserenc de Bort emmène hygromètre et anémomètre, dépasse la **troposphère** et découvre la **stratosphère** ! L'ORB (*Observatoire Royal de Belgique*) réalise les 1<sup>ers</sup> sondages météo belges en 1906-1909. Bureau invente le **radiosondage** et Jaumotte (IRM) le météographe, qui transmet, en temps réel, par radiotélégraphie, les observations pour **prévision météo synoptique** (1927). Avec Fitzroy, l'amirauté britannique prend en charge la météo marine dès 1860. Le 1<sup>er</sup> vrai navire météo ne commence à opérer en Atlantique qu'en 1947. La bouée météo complète le réseau marin en station flottante bon marché automatique.

Le 1<sup>er</sup> radar, dû à Watson-Watt, opère en 1935 (voir *Athena n° 290*, pp. 12-15). L'écran repère échos des nuages et hydrométéores (gouttes, grêlons,...) ! Après la Guerre, on construit des radars météo: précipitations, foudre, vent (Doppler) et **radar à double polarisation**. La Belgique en a 3: Wideumont (Libramont, IRM: voir photo 3 p.13), Jabbeke (Bruges, IRM) et Zaventem (Aéroport, Belgocontrol et liaison IRM).

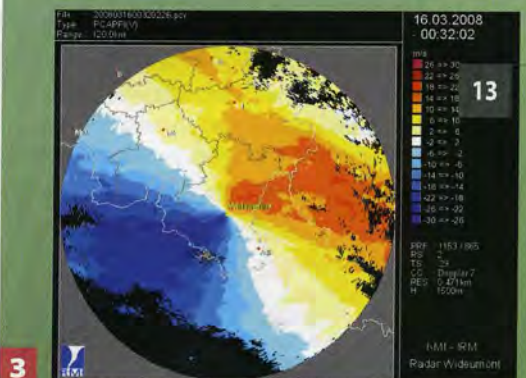
Sputnik est le 1<sup>er</sup> satellite artificiel, lancé par l'URSS en 1957. Les Américains mettent les 1<sup>ers</sup> **satellites météo (SM)** à radiomètre en orbite: *Explorer 7* en 1959 (**défilant** expérimental), *TIROS I* en 1960 (défilant opérationnel), *ATS-1* en 1966 (**géostationnaire** expérimental, à caméra TV de Suomi) et *GOES 1* en 1975 (géostationnaire opérationnel). L'IRM a sa 1<sup>e</sup> station de réception spatiale dès 1968. En 1977, l'Europe (ESA) a son 1<sup>er</sup> SM géostationnaire, *Météosat 1*. L'Organisation européenne pour l'exploitation des SM, *Eumetsat*, opère en 1986. À partir de 2002, elle lance les MSG (*Meteo-*



1  
Modèle d'anémomètre à pales, construit par un fabricant espagnol (J. Graselli), daté de 1870.



2  
Hygromètre à cheveux.



3  
Le radar de Wideumont est équipé d'une fonction Doppler pour mesurer la vitesse radiale des précipitations. Les régions en bleu sont des zones où les précipitations se rapprochent du radar et celles en rouge à des zones où elles s'en éloignent.

4  
Satellite americano-japonais GPM «Global Precipitation Measurement Core Observatory» étudiant les phénomènes extrêmes (ouragans, inondations, sécheresses, ...). Il assure la coordination et l'unification des données de divers satellites figurés.



sat *Second Generation*), à radiomètre multispectral de pointe (GERB: *IRM, AMOS*) et à partir de 2006, les *MetOp, SM* défilants. Pour 2015-2030, *Eumetsat* projette la mise en orbite des *MTG (Meteosat Third Generation)*, à radiomètre multispectral ultraperfectionné, détecteur d'éclairs, sondes Infrarouge et Ultraviolet.

## RÉSEAUX, CARTES ET ORDINATEURS

Ferdinand II de Médicis crée le 1<sup>er</sup> réseau météo dès 1657; l'*Observatoire royal de Paris* le sien en 1699. Halley établit des cartes des températures et vents (1686). Franklin note les observations et lance les 1<sup>es</sup> stations météo américaines (1743-1784). Sont créées: les cartes synoptiques françaises (Lavoisier et Borda, 1777), le réseau européen de Mannheim (Theodor et Hemmer, 1780) et les graphiques à isothermes (A. von Humboldt, 1817). En 1843, Morse finalise son télégraphe électrique et son code. La *Smithsonian Institution* américaine peut mettre en place les 1<sup>ers</sup> observatoires météo reliés en réseau et tracer les 1<sup>es</sup> cartes météo détaillées

(1849). Loomis trace une carte avec isobares et isothermes (E-U), Gleisher publie 50 relevés quotidiens avec cartes (G-B) et l'*Electric Telegraph Cy* organise la collecte des observations par télégraphe, à heures fixes, pour les 1<sup>es</sup> cartes journalières européennes (1851).

En 1853, Quételet (*ORB*) convoque à Bruxelles la 1<sup>re</sup> réunion internationale visant «un système uniforme d'observations météo» et en 1873, avec d'autres, crée l'*OMI (Organisation Météorologique Internationale)* devenue *OMM (Organisation Mondiale de la Météorologie)* en 1950.

Le Verrier (*Observatoire de Paris*) crée un réseau météo avec télégraphe pour prévenir les tempêtes, les services de météo journalière - alerte tempêtes et cartes météo quotidiennes (1854-1865). Fitzroy fait de même avec le *Met Office* (G-B). Après la découverte des ondes radio (Hertz, 1888), diverses inventions développent la météo: la TSF ou télégraphie sans fil (Marconi, 1897), l'émetteur-récepteur radio (Fessenden et Alexanderson, 1906), le téléimprimeur (Stibitz, 1939), l'ordinateur (*voir Athena n° 298, pp. 12-15*), l'Internet (Défense US, années 1960), le Web (*CERN, Berners-Lee et Cailliau, 1989*), etc. Les énormes calculateurs ENIAC (Eckert et Mauchly, 1946) et EDVAC (von Neumann et Charney, 1947) effectuent les calculs complexes (mécanique des fluides, thermodynamique) et les 1<sup>es</sup> **prévisions météo numériques** au début des années 1950. Cray développe ses supercalculateurs (1970-1980), équipant le **CEPMMT** de Reading (G-B). En 1985, Cray-2 stimule recherche et application des modèles mathématiques MMPN. Fin 20<sup>e</sup>, l'énorme vitesse de calcul améliore qualité et fiabilité des **prévisions météo d'ensemble**.

## PRÉVISIONS ET FIABILITÉ

La prévision météo moderne se base sur la loi de Buys-Ballot (1857): le vent se déplace en sens antihoraire autour d'une dépression (D ou L) et en sens horaire autour d'un anticyclone (A ou H) dans l'hémisphère nord. Dès 1917, Bjerknes et l'École norvégienne connaissent (sans pouvoir les utiliser) les équations primitives de l'atmosphère incluant mécanique

des fluides, thermodynamique, fronts et masses d'air. En 1914-1918, Richardson établit le 1<sup>er</sup> bulletin météo sur 1 jour, par innombrables calculs manuels. En 1922, il exploite les équations différentielles, en vain, faute de moyens de calcul. Il fonde alors la prévision numérique. L'ENIAC et l'EDVAC réussissent les calculs en 1950-1955 pour des cartes tracées à la main ! En 1963, Lorenz (*MIT*) introduit un MMPN tenant compte de la convection de l'atmosphère et de la **théorie du chaos**. Avec les supercalculateurs, calcul et tracé des cartes s'accroissent: elles deviennent enfin numériques ! Le système mondial d'observation **VMM** de l'*OMM* fonctionne. La prévision moderne est une synthèse synoptique-numérique, mais les phénomènes météo sont très complexes, variables et aléatoires. Les experts parlent d'une physique chaotique et lancent la prévision d'ensemble ou globale.

Mais un modèle idéal est impossible: les équations, même très élaborées, ne peuvent décrire complètement cette physique. De plus, le nombre et la qualité des observations ne suffisent pas. Les météorologues réduisent ces 2 sources d'erreurs pour augmenter fiabilité, qualité et échéance des prévisions. Malgré les techniques modernes, la fiabilité n'augmente que de quelques points, les plus difficiles et coûteux à obtenir ! 100% reste utopique: il y aura toujours une part d'erreur. On se satisfait de 80-90% pour 2-5 jours. Avec l'instabilité atmosphérique, le nombre et la qualité d'observations dans l'hémisphère nord, on établit des prévisions plus ou moins fiables à 7 jours (5 pour le sud), sauf pour les phénomènes de petite taille (orages,...). Des prévisions fiables à plus de 2 semaines restent impossibles: dans le calcul, toute inexactitude dans l'évaluation initiale de l'atmosphère double la marge d'erreur tous les 2 ou 3 jours. Les prévisions à plusieurs semaines, voire saisonnières, n'ont donc pas (encore) de base scientifique solide...

Bref, la météorologie n'est toujours pas une science exacte,... mais on s'en rapproche ! ■



Carte météo: zones de haute (H) et basse (L) pressions, avec front chaud en rouge et front froid en bleu.



### Pour en savoir plus:

- Comprendre le climat, par W.J. Burroughs, Delachaux & Niestlé, Paris, 2000.
- Comprendre les mécanismes météo, par D. Del Regno, Vallée Heureuse, Toulouse, 2013.
- Les Coulisses du temps, par J. Metz, Duculot, Gembloux, 1975.
- Guide de la météorologie, par G.D. Roth, Delachaux & Niestlé, 2010.
- La Météo, par R. Reynolds, Gründ, Paris, 2009.
- La Météo, du baromètre au satellite, par J.P. Javelle, Météo-France, 2000.
- Prévoir la pluie et le beau temps, par R. Chaboud, Bordas, Paris, 1982.
- <http://www.eumetsat.int> (UE)
- <http://www.meteo.be> (IRM)
- <http://www.meteo.fr> (France)
- <http://www.noaa.gov> (USA)
- <http://www.wmo.int> (OMM)



## GLOSSAIRE

IMM = Instrument de Mesure Météo ; MMPN = Modèle Mathématique de Prévision Numérique ; PM = Paramètre Météo.

<b>Anémomètre</b>	(du grec <i>anemos</i> , vent, et <i>metron</i> , mesure) IMM servant à mesurer la vitesse d'écoulement d'un fluide gazeux, en particulier du vent. Couplé à une girouette à 10 m de haut pour limiter les erreurs dues aux obstacles au sol (turbulences).
<b>Anémomètre à pression</b>	<i>Anémomètre</i> où la force dynamique du vent s'exerce sur un tube de Pitot. Un autre tube, perpendiculaire, mesure la pression statique. Les tubes sont reliés à un manomètre différentiel indiquant la pression différentielle due à la force du vent.
<b>Baromètre anéroïde</b>	Baromètre se composant d'une capsule de Vidie (boîte métallique vide d'air, protégée de l'écrasement par ressort, se déprimant selon les variations de la pression), d'une aiguille et d'un cadran. Il faut surtout observer les variations.
<b>Beaufort (bf) (Échelle de)</b>	Échelle internationale servant à mesurer la force du vent au sol ou en mer, graduée de 0 à 12-17 degrés bf, en fonction de ses effets et des dégâts causés.
<b>CEPMMT ou Centre de Reading</b>	Centre Européen de <i>Prévision Météo</i> à Moyen Terme, situé à Reading, en Angleterre, et équipé d'ordinateurs très puissants.
<b>Chaos (Théorie du) et « Effet papillon »</b>	Étude de divers phénomènes avec dépendance sensible aux conditions initiales. Obéit souvent à des équations. Une petite variation en conditions initiales peut donner une solution très différente après 2-3 jours. Ex.: modèles météo basés sur la dynamique des fluides (boutade de l'« <i>effet papillon</i> »).
<b>Degré Fahrenheit (°F)</b>	Unité anglo-saxonne de mesure de t°. 180° partie de l'échelle définie par le point normal de fusion de la glace ou de congélation de l'eau (32°F = 0°C) et le point normal d'ébullition de l'eau (212°F = 100°C).
<b>Humidité relative ou Degré hygrométrique (HR en %)</b>	Rapport entre la teneur en vapeur d'eau de l'air ambiant et la teneur maximale en vapeur d'eau possible à la même t°. L'air est sec quand HR = 0 %. HR = 100 % désigne de l'air dont la teneur en vapeur d'eau est maximale: il est dit saturé.
<b>Hygromètre à cheveux</b>	Hygromètre basé sur la propriété du cheveu de s'allonger à l'air humide et se rétracter à l'air sec.
<b>Kelvin (K)</b>	Unité scientifique de base du SI de l'échelle absolue de mesure de t°, établie par la thermodynamique. Le zéro K ou zéro absolu est la t° la plus basse possible, à laquelle toutes les molécules sont au repos absolu; 0 K = -273,15°C.
<b>Météo(rologie)</b>	(du grec <i>meteôra</i> , élevé dans l'air, et <i>logos</i> , science) Science étudiant les phénomènes physiques et processus dynamiques de l'atmosphère (surtout la <i>troposphère</i> ), les PM et la mise au point de MMPN.
<b>Prévision météo d'ensemble ou globale</b>	<i>Prévision météo</i> numérique par le CEPMMT, lançant le même MMPN 51 fois avec conditions initiales peu différentes ( <i>théorie du chaos</i> ).
<b>Prévision météo synoptique</b>	Prévision météo basée sur analyse et traitement de divers PM résultant de l'observation synoptique (à la même heure, dans les stations d'un réseau étendu). Se fonde sur expériences pratiques et lois simples.
<b>Prévision numérique</b>	Prévision météo réalisée par ordinateur faisant tourner les MMPN.
<b>Radar météo</b>	Radar à ondes centimétriques pour <i>prévisions météo</i> à court terme de grandes perturbations (fortes pluies, inondations, orages, grêle, tempêtes, tornades,...).
<b>Radar météo à double polarisation</b>	<i>Radar météo</i> mesurant la réflectivité des hydrométéores (gouttes, grêlons,...) en directions horizontale et verticale, pour évaluer leur forme et taille.
<b>Radiomètre multispectral</b>	Mesure l'intensité d'un rayonnement électromagnétique à des longueurs d'onde spécifiées, notamment celle du rayonnement visible réfléchi ou IR émis (sondage thermique). Réalise des photos de la couverture nuageuse.
<b>Radiosondage</b>	Mesure météo par ballon-sonde équipé d'une radio pour transmission des PM (+ taux d'ozone) en temps réel. Établit le profil vertical de l'atmosphère et contribue aux <i>prévisions météo</i> .
<b>Satellite (circum)polaire ou Satellite défilant météo</b>	SM à orbite polaire basse (env. 850 km) couvrant la totalité du globe et fournissant des images haute résolution toutes les 12 h, par <i>radiomètre</i> . Ses images complètent celles des <i>satellites géostationnaires</i> .
<b>Satellite géostationnaire ou Satellite géosynchrone météo</b>	SM décrivant, au dessus de l'équateur, à 35 800 km et en 24 h, une orbite dont le sens de rotation = celui de la Terre, restant dans la même position par rapport à elle. Chaque ½ h, transmet des images de la même portion du globe par <i>radiomètre</i> .
<b>Satellite météo (SM)</b>	<i>Satellite défilant</i> ou <i>géostationnaire</i> , météo et climatique. Transmet des photos haute résolution (masses nuageuses, précipitations,...) par <i>radiomètre</i> .
<b>Stratosphère</b>	Couche de la haute atmosphère au-dessus de la <i>troposphère</i> , où la t° augmente avec l'altitude (entre 8-16 et 50 km d'altitude environ). Siège de la couche d'ozone.
<b>Troposphère</b>	Couche inférieure de l'atmosphère ou basse atmosphère, jusqu'à 8-16 km. Affectée sur 2 ou 3 km de tourbillons dus à la présence de relief, végétation,... La t° y décroît jusqu'à la <i>stratosphère</i> . Siège des phénomènes <i>météo</i> .
<b>Veille météorologique mondiale (VMM)</b>	Base de tous les programmes de l'OMM. Réseau mondial recueillant en temps réel les mesures météo standardisées des IMM et les redistribuant aussitôt à tous les services météo pour <i>prévisions</i> .