

ENTRETIEN



avec **FRANÇOIS JACQ**
Président-directeur général
de Météo-France

Pourquoi avoir été candidat à la direction de Météo-France?

Soyons clair: je ne suis pas météorologue. Mais, Météo-France est un bel organisme qui mêle des enjeux liés à la science, à l'innovation, à l'opérationnel et au service public. Par beaucoup d'aspects, cela est proche de la culture que j'ai connue lorsque je dirigeais l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs. J'avais envie de renouer avec ce genre de travail, en découvrant un autre univers scientifique et technique.

Quels sont les enjeux qui vous paraissent les plus importants ?

Tous les services météorologiques nationaux connaissent une mutation. Leur environnement change vite: nouvelles demandes de la part des usagers, nouveaux acteurs, nouveaux enjeux comme ceux liés au changement climatique. Or, cette transformation s'effectue dans un contexte très contraint, notamment financièrement. Il s'agit donc de forger ce que sera le service météorologique national de demain pour faire plus et mieux, en restant au premier plan international. Météo-France a visiblement un potentiel scientifique et technique de grande qualité. La recherche et les prestations opérationnelles sont de très bon niveau. La compétence du personnel est reconnue. Bref, les fondamentaux sont sains. On peut bâtir et avancer en exploitant encore mieux ces atouts.

Quelles sont (ou seront) vos premières priorités ?

Les priorités sont énoncées très clairement dans le contrat d'objectifs et de performance signé récemment avec l'État. Le point de départ est de veiller à doter l'établissement des outils nécessaires pour maintenir son excellence scientifique et technique (réseaux, infrastructures, modèles) et développer sa capacité à innover, en aval de sa recherche. Ce n'est qu'à cette condition que nous pourrions à la fois améliorer notre apport aux missions de sécurité que nous confie l'État, réaliser au mieux le volet météo du Ciel unique européen en optimisant notre assistance à l'aéronautique, et répondre aux attentes croissantes des secteurs « météo-sensibles » de notre économie. En matière de climat et d'environnement, nous devons continuer à bâtir une réponse en termes de connaissance et d'appui aux politiques publiques, en intégrant la dimension européenne. Enfin, et même si cela va de soi, tout cela ne se fera pas sans efforts pour adapter et améliorer notre organisation et tirer le meilleur parti de nos ressources.

Propos recueillis par
Jean-Pierre CHALON
Météo-France

ACTUALITÉS

El Niño se développe

Un événement El Niño se développe dans le Pacifique depuis le mois de juin. Ce phénomène se caractérise par des températures de surface supérieures à la normale dans le Pacifique Est et Central. Des modifications de la circulation générale lui sont associées avec des répercussions sur le climat de l'ensemble de la zone tropicale. www.wmo.int

La saison cyclonique de l'Atlantique Nord a démarré doucement

A ce jour (24 septembre), on ne compte que deux cyclones pour la saison de l'Atlantique Nord. La NOAA attribue ce calme relatif au développement du nouvel El Niño qui s'installe sur le Pacifique. www.noaanews.noaa.gov

Concours de la plus belle photo de nuage

Météo-France et Pocket Jeunesse proposent jusqu'au 30 septembre un concours de la plus belle photo de nuage www.meteofrance.com

Le plus grand glacier français fond de manière spectaculaire

Si on met de côté la Terre Adélie en Antarctique, le plus grand glacier français est la calotte Cook, aux Iles Kerguelen. Elle occupait 500 km² en 1967, mais seulement 400 km² en 2003. Elle a perdu 300 à 400 m d'épaisseur au niveau des langues glaciaires. Son "amaigrissement" est nettement plus rapide depuis 1991. www2.cnrs.fr

GOES-14 est presque bon pour le service

Lancé le 27 juin, le satellite météorologique géostationnaire américain GOES-14 a fourni sa première image le 27 juillet. Après plusieurs mois d'essais, il sera mis en hibernation en tant que satellite de réserve en cas de panne de l'un des engins opérationnels. Rappelons que ces satellites servent principalement à la détection et surveillance des phénomènes dangereux, gros orages ou cyclones tropicaux. www.noaa.gov

Emissions de GES en baisse

En 2008, les émissions de gaz à effet de serre ont baissé de 1,5 % dans l'Union Européenne. C'est la 4^e année consécutive de baisse. Les émissions de l'UE sont inférieures de 13,6 % à celles de 1990. *Le Monde*, 02.09.2009.



Inondations à Istanbul

Des pluies orageuses, les plus intenses depuis 80 ans (on a enregistré jusqu'à 220 mm), se sont abattues les 7 et 8 septembre sur Istanbul et sa région, provoquant d'énormes dégâts estimés à 100 M de \$ et causant la mort d'au moins 34 personnes. Certaines ont été emportées par les flots boueux d'une rivière ; treize chauffeurs de poids lourds sont morts sur un parking, surpris en plein sommeil. L'eau atteignait parfois 2 mètres dans les rues. Une urbanisation sauvage est mise en cause.

2009 : un été chaud et sec en France

En France, l'été 2009 se situe au 7^e rang des étés les plus chauds depuis 1900. L'écart à la moyenne 1971-2000 est de +1,3°C (+1,4°C en juin, +0,7°C en juillet et +1,7°C en août). Du 15 au 20 août, une vague de chaleur a fait monter les températures à 41,2° à St-Côme d'Olt (12), 41° à St-Martin d'Estreaux (42), 40,5° à Gaillac (81), 40,1° à Lyon 7^e, 39,9° à Condrieu (69), 39,7° à Albi et à Montauban, 39,5° à Carpentras, 39,2° à Lyon-Bron, 39,1° à Nîmes-Courbessac, à Orange, à Avignon et à Villefranche s/Saône, 39° à Lyon-Satolas, 38,9° à Toulouse-Blagnac, 38,7° à Ambérieu et à Auch, 38,4° à St-Yan et 38,1° à Colmar. En-dehors de la Bretagne et du Massif central à la Lorraine, les précipitations estivales sont déficitaires. La sécheresse est particulièrement marquée dans les régions méditerranéennes. Les cumuls trimestriels n'atteignent que 16 mm à Nice et à St-Raphaël, 4,4 à Ajaccio et 1,6 à Toulon...(source: *Météo-France*).

Au niveau mondial, la température moyenne d'août 2009 situe ce mois au 2^e rang des mois d'août les plus chauds depuis 1880, avec un excédent de 0,62°C sur la moyenne du 20^e siècle (6^e rang dans l'hémisphère Nord, 1^{er} dans l'hémisphère Sud). De son côté, le trimestre juin-août est le 3^e le plus chaud depuis 1880 (source : *NCDC/NOAA*).

L'INGÉNIERIE CLIMATIQUE PLANÉTAIRE

Sous ce vocable, parfois remplacé par son équivalent anglo-saxon "Geo-engineering", se rangent un certain nombre de propositions pour combattre le réchauffement climatique à l'échelle planétaire en utilisant, non pas des mécanismes de réduction des émissions des gaz à effet de serre, mais des idées basées sur la mise en œuvre de mécanismes climatiques, susceptibles de produire eux-mêmes un refroidissement global qui viendrait annuler les effets du réchauffement lié à l'augmentation anthropique de l'effet de serre. Le pionnier de cette ingénierie climatique planétaire a été Mikhail BUDYKO, avec son ouvrage "Heat balance of the earth's surface" publié en 1991 avec Yuri IZRAEL.

Quels types de propositions ?

Les techniques proposées reposent toutes, *in fine*, sur la modification du bilan thermique de l'atmosphère. Cette modification peut être tentée soit via la partie de courtes longueurs d'ondes, c'est-à-dire en réduisant l'apport de rayonnement solaire, soit via la partie de grandes longueurs, c'est-à-dire en réduisant l'absorption du rayonnement infrarouge par captation "climatique" du dioxyde de carbone (CO₂). Les méthodes basées sur la modification du bilan radiatif aux courtes longueurs semblent *a priori* plus efficaces que celles basées sur les modifications dans le domaine des grandes longueurs d'ondes, ce qui explique probablement que de plus nombreux exemples existent dans la première catégorie. C'est ainsi que, dans cette première catégorie, Paul CRUTZEN, Prix Nobel de chimie pour ses travaux sur la photochimie de l'ozone, suggère d'injecter massivement des particules de sulfates dans la stratosphère. Ces particules se comporteraient alors comme les aérosols volcaniques dont on sait que, lorsqu'émis en grande quantité suite à une éruption explosive, ils peuvent réfléchir une part significative du rayonnement solaire, et ceci durant toute la période pendant laquelle ils restent en suspension dans la stratosphère, soit typiquement 2 à 3 ans, période après laquelle ils finissent par être lessivés et se déposer au sol. Ne reste plus qu'à opérer les flottes de véhicules capables d'accomplir à intervalles réguliers les missions d'injection de ces particules et d'en assumer les coûts, mais ce ne sont pas là les questions les plus cruciales, comme évoqué plus bas ! D'autres méthodes ont aussi été imaginées, beaucoup plus futuristes, où il peut par exemple s'agir d'intervenir plus haut dans l'atmosphère en y introduisant de vastes réflecteurs solaires comme cela a été proposé par l'école russe. Mais de quels véhicules spatiaux pourrait-on disposer, sachant que les plus gros véhicules actuels sont limités à un emport de masse de

100 tonnes en orbite basse ? Un autre concept, proposé aux États-Unis par Edward TELLER, puis repris par Roger ANGEL, est celui d'une ceinture de mini-miroirs, des disques de 60 cm de diamètre de l'épaisseur d'un Kleenex, moins d'un gramme, en nitrure de silicium. Ce dispositif est nettement plus coûteux que celui proposé par Paul CRUTZEN, mais ses effets collatéraux seraient sans doute plus limités.



Toujours dans cette première catégorie Stephen SALTER, de l'Université d'Édimbourg, propose quant à lui d'injecter à basse altitude (quelques centaines de mètres) et à partir de bateaux automatiques, de très fines gouttelettes d'eau de mer qui viendraient renforcer l'albédo ("blanchir") les très nombreux nuages bas qui recouvrent une grande partie des océans. Cette suggestion repose sur l'idée bien connue des spécialistes de la microphysique des nuages, qui indique que la présence en quantité de noyaux de condensation favorise le développement de très nombreuses petites gouttes d'eau nuageuse, donc de nuages très brillants, au contraire des situations dans lesquelles les noyaux de condensation ne sont pas en assez grand nombre et autour desquels se forment donc de grosses gouttes, conduisant à la formation de nuages beaucoup plus sombres et donc moins réfléchissants. D'autres méthodes ont enfin été proposées, qui s'attachent à augmenter l'albédo de la surface terrestre elle-même, par exemple en blanchissant les bâtiments et les routes. Dans la seconde catégorie il faut mentionner les méthodes basées sur la fertilisation des océans, via leurs floraisons planctoniques, où un apport massif de fer serait de nature à stimuler la croissance des microalgues, absorbant ainsi au cours de leur développement de plus grandes quantités de CO₂. Les équipes germano-indiennes du projet "LAHOFEX" sont les plus en pointe sur ce sujet.

Qu'en penser ?

Toutes ces suggestions posent bien évidemment des questions ardues de nature scientifique. Pour prendre par exemple l'une des idées semblant les plus attrayantes, celle de l'injection de particules dans la stratosphère,

beaucoup de questions restent sans réponse : quels effets secondaires de modification des cycles physico-chimiques stratosphériques ? Est-il possible de garantir que les particules resteront de la bonne taille pour être actives vis-à-vis de la réflexion du rayonnement solaire ? Et comme toutes les méthodes basées sur l'interception du rayonnement solaire elles souffrent du fait qu'elles ne seraient (éventuellement) efficaces que la moitié du temps ! Sans compter que celles agissant à très basse altitude viendraient modifier les gradients horizontaux de température, par exemple entre l'océan et les continents, influant ainsi, de manière incontrôlée, sur de phénomènes tels que les moussons ...

Des campagnes de mesure ont néanmoins été lancées, pour valider les mécanismes supposés intervenir. L'expérience LAHOFEX, qui a consisté à injecter 6 tonnes de fer sur une surface de 300 km² de l'océan Atlantique sud, n'a pas donné de résultats concluants, puisque les microalgues, après effectivement un début de croissance stimulé par l'enrichissement en fer, ont vu celle-ci stoppée par la multiplication de petits copépodes, qui les ont consommées et ont transféré les (petites) quantités de CO₂ ainsi absorbé vers les profondeurs. Le projet dit VOCALS, démarré en fin 2008, a permis de rassembler de nombreuses données d'observation (satellitaires et *in situ*) au large des côtes du Pérou et du Chili pour mieux caractériser les interactions entre les nuages et les aérosols naturels. Les résultats de ce projet ne sont pas encore connus, et ils devraient, en toute hypothèse, être suivis d'expérimentations plus spécifiquement axées sur l'enrichissement artificiel en aérosols.

Mais il est clair que toutes ces propositions posent en premier lieu des questions d'éthique et de politique. Il est par exemple à noter que le gouvernement allemand vient de décider de stopper le projet LAHOFEX. Mais c'est peut-être à travers l'IRGC (International Risk Governance Council), un organisme indépendant basé à Genève, que s'est le mieux exprimée la voie de la sagesse : " *On sait que les mesures de réduction des émissions des gaz à effet de serre sont extrêmement coûteuses et que leurs effets sur le réchauffement global ne se feront sentir que lentement. L'ingénierie climatique planétaire pourrait être dans ces conditions considérée par certains comme une solution potentiellement plus économique. Le danger moral est qu'une décision de retenir ces technologies pourrait conduire à réduire les efforts de réduction des émissions. Même les supporters de cette ingénierie pensent que ce serait une erreur de faire ainsi.*"

LA CHRONIQUE DE GUY BLANCHET

LA TEMPÊTE D'OCTOBRE 1987 DANS LE NORD-OUEST DE LA FRANCE

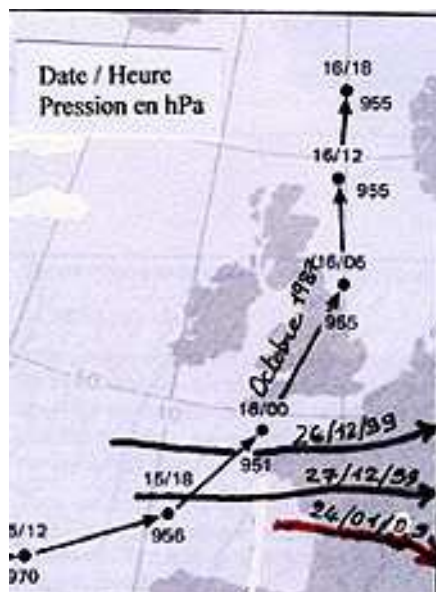


Fig.1 Trajectoire des dépressions de 1987, 1999 et 2009

La Bretagne est une région habituée aux violentes tempêtes. Cependant, celle qui la frappe, ainsi que la Normandie et la Grande-Bretagne, le 15 octobre 1987 restera dans les annales comme l'une des plus dramatiques. Son intensité est telle qu'elle a provoqué des dégâts semblables à ceux d'un cyclone de force 2 dans l'échelle Saffir-Simpson. Une première dépression se déplaçant à 60 km/h touche les côtes bretonnes dans la soirée du 15 octobre, sans faire de dégâts.



Fig.2 Situation le 16/10/87 à 00UTC

Une seconde, formée sur le front froid de la précédente, se creuse très rapidement et fonce à 100 km/h vers la Bretagne ; elle atteint l'ouest du Finistère peu avant minuit (la pression est alors de 948 hPa, valeur record à Brest). Elle continue sa route vers le Devon et les Midlands avant de

parvenir sur la Mer de Norvège dans la journée du 16 (fig.1 et 2). En altitude, on observe un fort jet de SW (fig.3).

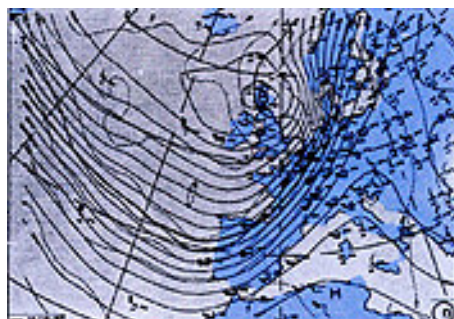


Fig.3. Situation à 500 hPa le 16 à 12 UTC

Au passage de la dépression, la pression chute de façon spectaculaire (30 hPa en 18 heures à Brest) et les vents se déchainent (plusieurs anémomètres sont bloqués sur butée ou brisés...). Les rafales enregistrées (ou estimées) atteignent 220 km/h à la Pointe du Raz, 216 à la Pointe du Roc, 215 à Jersey, 200 à Penmarch, à Ouessant et à la Pointe-St-Mathieu, 197 à Carteret, 191 à Barfleur, 187 à Quimper, 180 à La Hève, 176 à St-Brieuc, à Bréhat, 166 à Lorient, 162 à Belle-Île et à Rostrenen (fig.4).

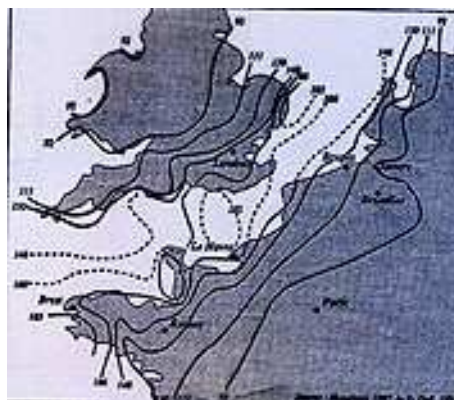


Fig.4. Vitesses maximales du vent en km/h

Ces vitesses sont généralement supérieures à celles des tempêtes de 1999. En mer, les vagues atteignent 10 mètres en moyenne et 16 à 18 au maximum ! Le phénomène de marée de tempête élève le niveau de la mer de 1,5 à 3 mètres (heureusement, on était en situation de faible marée de morte-eau).

La Bretagne et l'ouest de la Normandie sont dévastés : on ne compte plus les toitures envolées, les clochers abattus, les arbres déracinés dans les forêts (un quart de la forêt bretonne est détruite) et les vergers (par exemple 1,6 million de pommiers en Normandie), les croix de cimetières renversées ; les lignes électriques et téléphoniques souffrent beaucoup (1 250 000 abonnés privés

de courant) et beaucoup de routes et voies ferrées sont coupées. Les dégâts sont considérables dans les ports : à Cherbourg, sur les 700 bateaux, pas un n'est indemne. Dans le golfe du Morbihan, 500 bateaux sont endommagés ; à Concarneau, 100 voiliers sont enchevêtrés au pied des remparts.



Le port de Concarneau

La tempête fait au total 15 morts, des dizaines de blessés et coûtera 23 milliards de francs (de 1987) aux assurances. Les pertes humaines auraient pu être encore plus importantes si la tempête avait eu lieu de jour. De plus, grâce aux prévisions météo, les bateaux avaient pu regagner les ports.

En Grande-Bretagne, où les prévisions ont été moins bonnes, la tempête a fait 19 morts et 1,2 milliard de livres de dégâts ; 15 millions d'arbres ont été abattus. Il faut remonter à 1703 pour trouver une tempête aussi catastrophique.

Guy BLANCHET

Société Météorologique de France

Sources : J. LORBLANCHET : La tempête des 15 et 16 octobre 1987 sur la Bretagne (*La Météorologie*, n° 25, déc. 1988, p. 20-23). M. HONTARREDE et JP DUVERE Ouragan sur la France 15-16 octobre 1987 (*Met-Mar*, n° 139, 1988, p. 11-19). OUEST-FRANCE : supplément hors-série, 24 oct. 1987.

L'IMPACT MÉTÉOROLOGIQUE DES ÉCLIPSES DE SOLEIL

En grec ancien, l'adjectif *εκλινης*, qui constitue l'origine de mot *éclipse*, signifiait "qui manque". Ceux d'éclipse nous qui ont pu assister à une éclipse, sinon totale, du moins présentant une occultation importante, ont pu ressentir à quel point l'étymologie du mot prenait toute sa signification. Lorsqu'elle se produit vers le milieu d'une belle journée d'été, l'éclipse concentre sur une courte durée (une demi-heure à une heure suivant la situation) une évolution de la météorologie que nous ressentons habituellement de façon très diluée (pendant 7 ou 8 heures de temps): le soleil se couche au zénith, puis se relève tout aussi brutalement ! Les hommes ont depuis longtemps appris à décrire et anticiper le cours des astres qui régissent notre vie quotidienne – la lune et le soleil¹. Ils sont donc préparés aux éclipses, et depuis plusieurs dizaines d'années ils en ont mis quelques-unes à profit pour mesurer précisément leur impact météorologique. C'est ainsi qu'outre la chute du rayonnement incident et de la température, aisément sensibles, ils ont mis en évidence des effets plus subtils et ils ont quantifié tous ces mécanismes en analysant des mesures régulières, voire en installant des dispositifs spécifiques. Ce sont ces différents effets que nous allons décrire dans ce qui suit.

Rayonnement et température

La sensation de fraîcheur résultant de l'occultation arrive très rapidement. Les observations conduites lors de différentes éclipses font apparaître un retard de l'ordre du quart d'heure entre le signal de température et celui du rayonnement incident. Autant dire que lorsque la lune coupe le chauffage, cela se sent vite !² Les chutes de température observées lors des éclipses sont très variables, dépendant de la situation météorologique, de la saison, de l'heure et de l'environnement. La surface réagit avec la plus forte amplitude, et il n'est pas rare d'enregistrer des chutes de 5 à 6°C. A 1.5 m de hauteur, on reporte souvent entre 1.5 et 4 °C, ces valeurs diminuant au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la surface. Elles sont également plus faibles en zone côtière, quand la brise de mer était déjà établie avant l'occultation : l'air marin transporté dans la brise est en effet peu marqué par le cycle diurne, donc peu sensible à l'occultation.

Effets dynamiques

Les effets dont nous venons de parler laissent peu de place à la surprise: si leur amplitude est variable, ils traduisent bien l'intuition que nous pouvons avoir du phénomène. Il n'en va pas de même des effets dynamiques de l'éclipse, et, malgré de nombreuses observations, le débat pour certains d'entre eux n'est pas encore tranché.

La diminution de la turbulence dans la couche limite atmosphérique (entre la surface et une hauteur de l'ordre d'un kilomètre) résulte principalement et directement de la diminution de la température de surface. La source "thermique" une fois tarie, les effets se propagent jusqu'au sommet de la couche limite, qui peut alors "se contracter" comme on a pu l'observer lors de l'éclipse totale du 29 mars 2006 en Grèce, grâce à des "lidars" décrivant, avec une forte résolution verticale, le profil dynamique des premiers kilomètres d'atmosphère. L'effet sur le vent de surface (en dehors des zones côtières) est quant à lui débattu. Certaines observations indiqueraient une diminution résultant de l'occultation, mais les simulations numériques réalisées avec des modèles pourtant à l'état de l'art peinent à les reproduire.

Les effets se font également sentir en altitude. Le mécanisme que nous allons décrire ci-dessous, bien qu'il semble emporter l'adhésion de beaucoup de chercheurs, est encore sujet à controverse : il s'agit des ondes de gravité, générées par le refroidissement de la couche d'ozone stratosphérique³. L'éclipse provoque dans cette couche une chute de température, qui se propage à la même vitesse que la trace au sol de l'occultation. Or, cette vitesse est très élevée, de l'ordre de 3000km/h. On observe par conséquent une onde de température, qui se déplace à vitesse supersonique, et qui va générer, dans son sillage, des ondes de gravité⁴ qui, elles, se propageront à une vitesse voisine de celle du son (de l'ordre de 1000 km/h). Très vite s'est imposée l'analogie avec le sillage qui se développe à partir de la proue avant d'un bateau (la vitesse du bateau étant supérieure à la vitesse de propagation de l'onde à la surface de l'eau).

Des observations par radar ionosphérique tendraient à prouver que ces ondes se propagent également vers le haut (à une centaine de kilomètres d'altitude), tout en s'étirant. Elles se propagent également vers le bas et on en trouve la trace dans la troposphère, et parfois jusqu'à la surface.

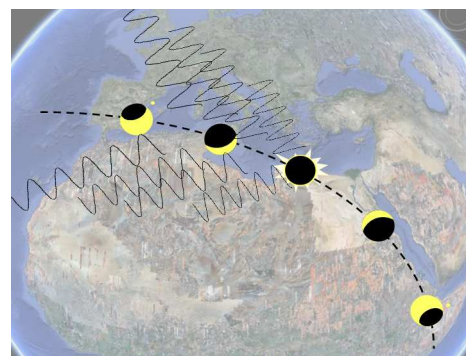


Schéma illustrant la propagation horizontale des ondes de gravité générées par le passage de l'éclipse. A l'instant représenté, l'occultation commence sur le disque à droite de l'image, est totale au centre, et se termine à gauche.

Impact sur la qualité de l'air

Nous savons bien que le rayonnement solaire (en fait, quelques longueurs d'onde dans l'ultra-violet) joue un rôle dans la "fabrication" de certains polluants (en particulier l'ozone). On pourrait espérer un impact bénéfique des éclipses dans ce domaine. Les choses sont plus compliquées. On observe peu de modifications dans les zones peu polluées, ce qui ne nous surprendra pas beaucoup. On observe également une diminution significative (20 à 30 %) de la teneur en ozone dans les régions polluées (régions industrielles ou à forte densité de population). Pourtant, pas de quoi crier victoire : une analyse plus approfondie montre que cette baisse est compensée par une augmentation de la teneur en dioxyde d'azote (NO₂), composé emblématique des épisodes de pollution hivernale : on a simplement déplacé l'équilibre photochimique pour passer d'une chimie diurne à une chimie nocturne, mais la pollution est toujours présente !

FICHE DECOUVERTE

Conclusion

Les éclipses de soleil constituent une opportunité pour l'observation de phénomènes particuliers, qu'ils soient météorologiques, physicochimiques, voire biologiques. Nous sommes loin

d'avoir brossé un tableau exhaustif des différents effets. En effet, des travaux récents s'intéressent à l'impact sur la végétation (par la modification de l'activité photosynthétique), et sur les êtres vivants (par exemple, déplacement du zooplancton qui se

comporte comme si la nuit était tombée).

On surveillera à l'avenir avec attention les retombées des études conduites lors de l'éclipse totale du 22 juillet 2009 (sur le continent asiatique), la plus importante avant ... le 13 juin 2132 !

¹ Déjà les Incas, à ce qu'il paraît, en étaient capables et Hergé se serait trompé, dans « Le Temple du Soleil », en permettant à Tintin de jouer sur l'effet de surprise de l'occultation du soleil pour se sortir d'un bien mauvais pas.

² Lors d'une belle journée d'été, sous nos latitudes, c'est près d'un kilowatt par mètre carré (l'équivalent d'un radiateur) dont le soleil nous gratifie en milieu de journée. L'effet de l'éclipse est plus violent que lorsque le soleil est masqué par des cumuli, car dans ce dernier cas, le rayonnement diffus, ainsi que « l'effet de serre » provoqué par les nuages compensent quelque peu la perte du rayonnement direct.

³ Cette couche est en effet le siège de réactions photochimiques dues au soleil, induisant un réchauffement qui est à l'origine de la composante diurne de la marée atmosphérique ; on notera que cette composante a par conséquent une période d'exactement 24 heures (période solaire), contrairement à la marée océanique qui fait ressortir principalement les demi-période et période lunaire (24h50min.). La marée atmosphérique est visible sur les enregistrements de pression à la surface. Le passage de l'éclipse induit donc une perturbation de pression, mais si faible que seuls des micro-baromètres avec une sensibilité de l'ordre du Pascal (soit 10^{-5} atmosphère) peuvent la détecter.

⁴ Les ondes de gravité sont des oscillations verticales de l'air avec une fréquence dépendant du profil local de température. Elles sont parfois matérialisées par des nuages ondulants (généralement des Ac).

Pierre DURAND

OMP - Laboratoire d'Aérodynamique

VOS QUESTIONS...NOS REPONSES

Extrait du forum discussion du site de la SMF www.forum-smf.org

QUESTION

Comment fait-on pour calculer la température moyenne de la Terre ? Comment faire intervenir un -75° anormal dans l'antarctique (au lieu d'un -60° pendant des années) par rapport à un -5° au lieu d'un -3° régulier en France ?

RÉPONSE

Les organismes qui se livrent à cette délicate définition d'une température moyenne globale le font en s'efforçant que la pondération des mesures soit proportionnelle à la surface. Cette "température moyenne globale" est une quantité exprimée en degrés mais ce n'est plus une quantité physique comme celle que mesure un thermomètre! Elle est le résultat de différentes procédures de moyennes temporelles et spatiales. Les régions arctiques et antarctiques, de même que certaines régions océaniques, ont

une densité de mesures in situ faibles, si bien qu'il est important que les procédures utilisées soient particulièrement soignées, les rares mesures dans ces régions pouvant avoir un poids non négligeable. Une marge d'incertitude est donnée dans le résultat. Ainsi le GISS estime à $0,05^{\circ}\text{C}$ l'incertitude actuelle (2 sigma, niveau 95%) sur le résultat final et à $0,1^{\circ}\text{C}$ l'incertitude pour les estimations correspondant à des années du début du 20^e siècle.

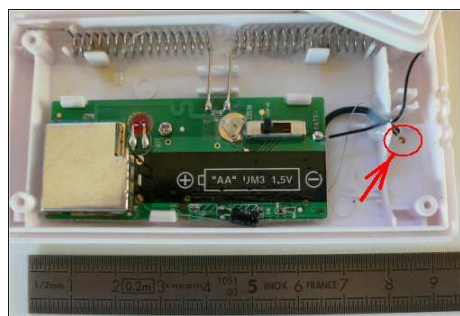
LES STATIONS METEO "AMATEUR"

Cette rubrique a pour objectif de faire le point sur les éléments clés intervenant dans le choix, l'installation et l'exploitation d'une station météo pour amateur. Il ne s'agit pas ici d'établir un comparatif entre tel ou tel modèle (*), mais plutôt de situer les fondamentaux qui permettront à l'utilisateur de faire un choix cohérent en fonction de ses besoins, puis un usage judicieux de la station choisie ainsi qu'une bonne interprétation des observations effectuées. Instrumentation, implantation de la station, acquisition des données... seront donc les sujets successivement abordés dans quelques numéros de SMF INFO.

Instrumentation :

Mesure de la température de l'air

Longtemps effectuée à l'aide de thermomètres, dont le principe était basé sur la dilatation d'un liquide ou d'un solide, la mesure de la température s'effectue actuellement à l'aide de sondes thermométriques. Les stations météo d'entrée de gamme sont en général livrées avec des capteurs de température qui sont des **thermistances CTN** (Coefficient de Température Négatif), composants électroniques constitués de mélanges agglomérés d'oxydes métalliques dont la résistance électrique décroît lorsque leur température augmente. La précision de la mesure est de l'ordre de 0,5 à 1°C. Il ne faut évidemment pas confondre la "résolution" de l'afficheur, qui est en général de 0,1°C avec la précision réellement offerte par le capteur. Sur certains modèles, il est possible de réaliser une calibration du capteur, en s'aidant par exemple d'un thermomètre à liquide, de précision.



Capteur de température d'une station météo "sans fil". Sur la photo du haut, on distingue la thermistance (au milieu du cercle rouge). Une thermistance de ce type vaut environ 1€. Sur la photo du bas, le boîtier étant refermé, on distingue les trois trous d'aération permettant à la thermistance

d'être en contact thermique avec l'air ambiant. On conçoit qu'un certain temps soit nécessaire pour obtenir un bon équilibre thermique entre l'extérieur et l'intérieur du boîtier. De plus, ce dernier ne doit pas être exposé au rayonnement solaire, ni soumis aux précipitations, mais placé dans un abri.

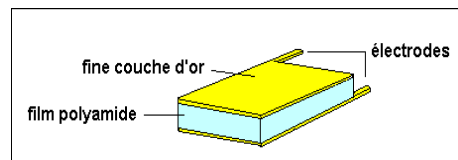
Les stations météo plus élaborées sont équipées de **sondes thermométriques à résistance métallique** (cuivre, nickel, platine). La résistance électrique de ces métaux varie avec la température selon une loi de type $R(T) = R(0^{\circ}\text{C}) \cdot (1 + \alpha \cdot T)$, α étant un coefficient caractéristique du métal. Pour le nickel, $\alpha = 6,6 \cdot 10^{-3}$, et pour le platine, $\alpha = 3,9 \cdot 10^{-3}$. Ces capteurs (20 à 50 fois plus chers qu'une thermistance) offrent une précision bien meilleure, par exemple 0,15°C pour une sonde platine de type Pt100 (100 ohms à 0°C). Bien sûr, là aussi, l'abri demeure indispensable.

Mesure de l'humidité :

L'hygromètre à cheveu ayant été relégué au rang des curiosités et le psychromètre à crécelle demeurant un instrument réservé aux spécialistes, l'usage de l'hygromètre électronique s'est largement répandu. Sur le marché accessible aux amateurs, on distingue deux familles de capteurs d'humidité :

- **les humidistances résistives**, capteurs dont la résistance décroît lorsque l'humidité ambiante augmente. Ces capteurs peuvent effectuer des mesures dans une gamme qui s'étend de 20 à 90% d'humidité, avec une incertitude de 10%. Leur prix se situe autour de 5 €.

- **les humidistances capacitives**, dont le principe repose sur la variation des propriétés électriques d'un condensateur en fonction de l'humidité ambiante. Ces capteurs peuvent effectuer des mesures dans une gamme qui s'étend de 10 à 100% d'humidité, avec une incertitude de 5% pour les meilleurs d'entre-eux. Leur prix se situe dans une gamme qui va de 15 à 50 € ou au delà.



Humidistance capacitive

Un film polyamide hygroscopique est métallisé sur deux faces par de fines couches d'or qui constituent les armatures du condensateur. L'humidification du film polyamide entraîne une variation de capacité du condensateur.

Dans tous les cas, la conception même du capteur d'humidité implique un temps de réponse assez long, de l'ordre de 3 à 5 minutes, parfois plus, après une phase de saturation (qui peut être destructrice pour les humidistances résistives). Là aussi, le capteur d'humidité doit être placé sous abri, notamment pour ne pas être soumis directement aux précipitations.

Pour conclure

La modicité des prix des capteurs de température et d'humidité explique le véritable déferlement de petites stations météo domestiques sur le marché au cours de ces dernières années. Si elles offrent des services globalement satisfaisants, on doit cependant garder à l'esprit que la tolérance de fabrication des composants de la plupart d'entre-elles ne permet pas de garantir des mesures irréprochables. Mais en fait, c'est surtout l'implantation des capteurs qui joue un rôle majeur dans la qualité des mesures. Ce dernier aspect ne doit pas pour autant être négligé pour les stations automatiques "haut de gamme", plus performantes en termes de précision des capteurs. Dans tous les cas, mesures de température et d'humidité exigent un abri spécifique bien réalisé et bien placé, ainsi qu'on le verra un peu plus tard.

Jean CASSANET
Société Météorologique de France

(* Actuellement, il existe beaucoup de modèles de stations, dans une large gamme de prix et de nombreux passionnés échangent à ce sujet sur des forums d'associations. Voir par exemple le forum d'Infoclimat : <http://forums.infoclimat.fr/>

AUTOUR D'UN MICRO AVEC JOEL COLLADO

Saison 4 - Toulouse (Cité de l'espace)

15 octobre 2009 à 18h30

Tornades ou trombes terrestres : des tourbillons dévastateurs

Jean-Pierre Chalon (M t -France), David Dumas et Emmanuel Wesolek (Association K raunos)

26 novembre 2009 à 18h30

Cendres volcaniques : un danger pour l'aviation

Philippe Husson (M t -France, adjoint au chef de la division aéronautique à la Direction de la Prévision).

17 décembre 2009   18h30

L'océan, moteur du climat

Silvana Buarque-Giordani (Mercator Océan)

11 février 2010 à 18h30

Evolution du climat : que nous apprend le passé ?

Jean Jouzel (président de la SMF, chercheur au Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, membre du GIEC)

18 mars 2010 à 18h30

Météorologie et océanographie, deux outils stratégiques pour la défense ?

Yves Morel, ingénieur en chef de l'armement, SHOM

29 avril 2010

Peut-on s'adapter à un climat qui change ? Stéphane Hallegatte, Chercheur et Economiste pour M t -France au Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement.

6  FORUM INTERNATIONAL DE LA MÉTÉO

Paris, 20 > 25 octobre 2009

VOLET GRAND PUBLIC

Animations et ateliers pédagogiques

A travers cinq secteurs thématiques ENVIRONNEMENT, ÉNERGIES, ESPACE, CLIMAT et MÉTÉO, venez participer à des animations, des jeux interactifs et des ateliers de vulgarisation avec les chercheurs.

Parc André Citroën, Serre de l'Orangerie
2, rue de la Montagne de la Fage 75015 Paris
Entrée libre et gratuite

Formation Météo & Climat pour les enseignants

Présentations-débats avec des experts de M t -France, de l'ADEME et du CNES pour les professeurs des écoles et les professeurs de SVT, Physique-Chimie et Histoire-Géographie.

Banque Populaire (Grand Auditorium)
5, rue Leblanc 75015 Paris
Accès gratuit sur inscription nathalie.conchon@meteo.fr

VOLET PROFESSIONNEL

Colloque La ville face aux changements climatiques

- Météo urbaine et énergie dans la ville
- Extrêmes climatiques en milieu urbain: quelle prévention? Quels coûts ?
- Enjeux de la pollution de l'air en milieu urbain dans 50 ans
- Quelles réponses politiques au changement climatique

Banque Populaire (Grand Auditorium)
5, rue Leblanc 75015 Paris
Programme détaillé, tarifs et inscription sur www.smf.asso.fr/fim09_pro.html
Les membres de la SMF sont exonérés des frais d'inscription au colloque. Si vous souhaitez assister au déjeuner, une participation de 25 à vous est demand e.



LA MÉTÉOROLOGIE

Sommaire du n 67 - Novembre 2009

LA VIE DE LA SMF

- Présentation du Forum de la Météo à la 3  Conférence Mondiale sur le Climat de Genève
- La conférence EMS/ECAM de Toulouse

ARTICLES >> CHANGEMENT CLIMATIQUE

- Impact du changement climatique sur les  v nements de pluie intense du bassin méditerranéen (Cyprim)
- Les températures mensuelles en région parisienne de 1676 à 2008
- Les tornades en France. Généralités et analyse de l' v nement du 3 août 2008 en Val de Sambre

LU POURVOUS

VIENT DE PARAÎTRE

SAISON CYCLONIQUE



MÉTÉO, LE MAGAZINE www.meteofrance.com

(publication de M t -France)

Sommaire du n 7 - Septembre 2009

EDITO

COURANT D'AIR

IN SITU

- De l'impact du climat sur l'activité agricole
- Piloter les cultures
- Château d'Yquem une longue tradition de météorologie

GRAND FORMAT

- Les nuages... là-bas... les merveilleuxnuages !

DOSSIER CLIMAT

- Quelle récolte en 2050 ?

QUOTIDIEN

- Des outils pour l'agrométéorologie

GRAND AIR

- Temp  pic    Roland Garros
- Le Bourget 2009, un salon centenaire
- Chabre 2009, Championnat du monde de deltaplane

PORTRAIT

- Olivier Berrouet

SYNERGIE

- Graine de science au coll ge
- La météo à l' cole

DANS L'AIR

JOURNAL DU TEMPS