

introduction

L'astrophysicien Trinh Xuan Thuan, dans son livre «Le chaos et l'harmonie», écrit, page 104, «la prévision à long terme n'est qu'une chimère».

Au moment où paraît cet excellent ouvrage, on apprend que plusieurs services météorologiques, dont Météo-France, ont décidé de produire, et parfois de rendre public, des prévisions saisonnières. Ces prévisions entrent dans la catégorie des prévisions à longue échéance. Il y a-t-il une contradiction entre l'assertion de Thuan et la position des services météorologiques ?

Certainement pas ; cette contradiction, apparente, tient simplement au contenu que l'on donne au terme «prévision du temps».

Beaucoup d'entre nous se souviennent sans doute qu'il y a quelques années, sur une radio dite périphérique, un journaliste, se disant météorologiste, répondait à des questions du genre : «Ma fille se mariera le 25 juillet prochain, à Trifouillis-les-Oies. Fera-t-il beau ce jour-là ?». La question était posée quelque trois ou quatre mois à l'avance.

Bien entendu, il répondait très sérieusement à ces questions. J'ai toujours rêvé que, dans un moment de lucidité, il pose la question supplémentaire : «À quelle heure sortira-t-elle sur le parvis de l'église ?». Hélas, il manquait totalement d'humour.

Il est bien évident que si l'on entend par prévision météorologique la prévision du temps qu'il fera à un endroit précis à un moment précis, et ce un mois ou même une semaine à l'avance, Thuan a raison. Ce genre de prévision est et restera toujours hors de la portée de l'homme.

Nous sommes au-delà de ce qui est prévisible.

Par contre être capable de dire en janvier : «Le printemps sur la France sera plus pluvieux que la normale» est aussi une prévision du temps et les météorologistes considèrent que l'on approche du moment où l'on pourra faire une telle prévision.

À l'autre extrémité du spectre, ceux qui regardent les Internationaux de France à la télévision, ont fait l'expérience du type : «L'averse qui va avoir lieu dans quelques minutes sur le court central sera de courte durée».

Dans les deux cas ; on a une prévision météorologique. On passe cependant de : «Le printemps prochain sur la France...» à «dans quelques minutes sur le court central...». Elles illustrent le fait que, plus la prévision est lointaine, moins elle peut être précise dans le temps et dans l'espace.

Bien entendu, chacune de ces prévisions n'a qu'une certaine chance de se révéler exacte. Elles correspondent à des méthodes différentes, chacune de ces méthodes étant utilisée jusqu'à la limite de la confiance que l'on peut lui attribuer.

Dans l'état actuel de nos connaissances, on définit quatre types de prévisions. À chacun correspond une méthode de prévision différente qui s'applique à un espace et à une échéance cohérents.

En allant de l'échelle la plus grande, dans l'espace et dans le temps, à la plus petite, on distingue :

- la prévision à longue échéance. Elle porte sur un temps supérieur à deux semaines et couvre un espace géographique au moins égal à celui de notre pays.

- la prévision à moyenne échéance. Elle correspond à une période de cinq jours à deux semaines et couvre quelques régions, au sens de nos régions économiques.

- la prévision à courte échéance, d'un à quatre jours, pour l'équivalent de quelques-uns de nos départements.

- la prévision immédiate. Elle va de quelques minutes à environ douze heures et elle porte sur quelques kilomètres à quelques dizaines de kilomètres carrés.

Dans les numéros qui viennent, grâce à l'amabilité de nos collègues de Météo-France, chacune de ces méthodes sera explorée, vous donnant ainsi la possibilité de connaître l'état actuel de l'art de la prévision du temps.

Le premier de ces articles concerne la prévision saisonnière, qui relève de la prévision à longue échéance.

Il est l'œuvre de Pierre Bessemoulin, chef du Service de climatologie.

• JEAN LABROUSSE •

Les prévisions saisonnières

• PIERRE BESSEMOULIN •

L'augmentation de l'échéance des prévisions du temps a toujours représenté une des préoccupations majeures des météorologistes. C'est ainsi que depuis vingt cinq ans, c'est à un gain d'environ un jour d'échéance tous les cinq ans auquel on a assisté, à qualité égale. On sait maintenant que les prévisions de type déterministe présentent des scores qui se rapprochent rapidement de zéro aux échéances de 10-15 jours. C'est une des conséquences de la nature fractale et turbulente de l'atmosphère. Pour affiner les prévisions de type déterministe, on produit de nos jours, au CEPMMT par exemple, des prévisions jusqu'à 7 jours (et bientôt dix) qualifiées «d'ensembles» consistant à exploiter de façon statistique un grand nombre de prévisions (cinquante et une actuellement) à partir de conditions initiales légèrement différentes. Leur convergence ou non vers des solutions voisines permet d'affecter un critère de confiance à ces prévisions de nature, désormais en partie, statistique.

Il faut remarquer qu'historiquement, c'est à partir de méthodes statistiques que des tentatives pour allonger les échéances ont été effectuées. La Direction de la Météorologie nationale (DMN) a ainsi disposé dans les années 70 d'un service «Prévi longue échéance» dont un des objectifs était la fourniture de prévisions pour le mois suivant. Certaines tentatives faisant également appel à la notion d'analogues ou à des méthodes dites «par singularité» ont par ailleurs été conduites à la DMN et ailleurs. Ces études statistiques, même si leur pouvoir prédictif s'est souvent révélé décevant, ont eu le mérite de mettre en évidence certaines «téléconnexions», c'est-à-dire d'établir des liaisons

entre conditions météorologiques intéressant deux régions à un instant donné, ou par des périodes décalées dans le temps. Les études, visant à relier anomalies de températures de surface des océans et conditions climatiques, se sont révélées particulièrement fructueuses. C'est ainsi qu'ont pu être mises en évidence l'influence de la température de surface de l'océan Atlantique dans le golfe de Guinée sur les précipitations sahéliennes, ou toutes les conséquences planétaires des anomalies de température de surface du Pacifique équatorial(1), très persistantes lorsqu'elles existent, chaude (El Niño ou froides La Niña), principalement localisées sur le pourtour du Pacifique et dans la ceinture intertropicale.

Une des avancées récentes importantes de la recherche en modélisation climatique a été de montrer que si la prévisibilité du temps, au jour le jour ou heure par heure, est limitée aux 15 jours évoqués plus haut, il n'en est pas de même si l'on prévoit des paramètres moyennés sur des durées mensuelles ou trimestrielles. On obtient alors des scores exprimés en terme de coefficients de corrélation entre champs observés et calculés atteignant en moyenne des valeurs de 0,2-0,4 déjà significatives, mais qui peuvent être notablement plus élevées selon le lieu géographique ; la saison, le type dominant de circulation atmosphérique et l'amplitude des anomalies forçant l'atmosphère.

Les prévisions dites saisonnières tirent parti du fait que, comme l'ont souligné Palmer et Anderson en 1994, la prévision, au-delà de la limite moyenne de prévisibilité déterministe des phénomènes météorologiques d'échelle synoptique, est

possible du fait :

- que la circulation atmosphérique moyennée dans le temps est plus prévisible que ses états instantanés successifs ;

- que certains types de circulations sont plus prévisibles que la moyenne ;

- que des variations lentes et prévisibles du forçage à la limite inférieure de l'atmosphère présentant de grandes constantes de temps comme la température de surface des océans (SST), mais aussi l'étendue des glaces de mer, l'humidité des sols,... influent sur les statistiques des paramètres relatifs à la circulation atmosphérique.

Les principaux services météorologiques (tels que le Centre européen de prévisions météorologiques à moyen terme, la NOAA, le Service météorologique du Royaume-Uni, Météo-France,...) se sont engagés récemment dans l'élaboration de prévisions dites saisonnières, c'est-à-dire à échéance d'un ou deux trimestres. Au niveau des outils, les modèles atmosphériques et océaniques deviennent en effet de plus en plus réalistes et on assiste à l'avènement de modèles atmosphère-océan couplés. Notre capacité à observer l'océan superficiel s'est, par ailleurs, beaucoup développée grâce à des satellites comme ERS1 fournissant en temps réel des données de surface relatives à la température, au vent, à la tension de surface, au niveau de cette surface,... complétés par des réseaux de bouées effectuant des mesures in situ dans l'atmosphère et dans l'océan. Enfin, l'assimilation de données d'origines diverses, indispensable pour décrire l'état des milieux atmosphérique et océanique à un instant donné, a également connu des développements spectaculaires.

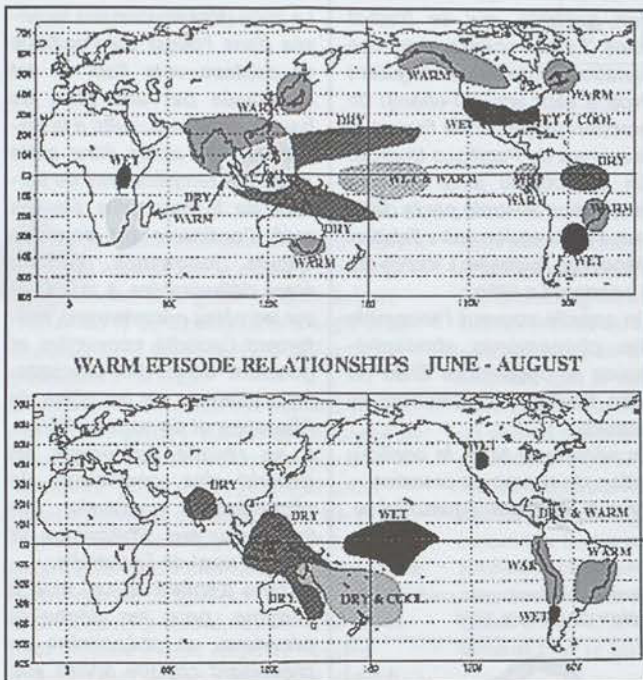


figure 1.

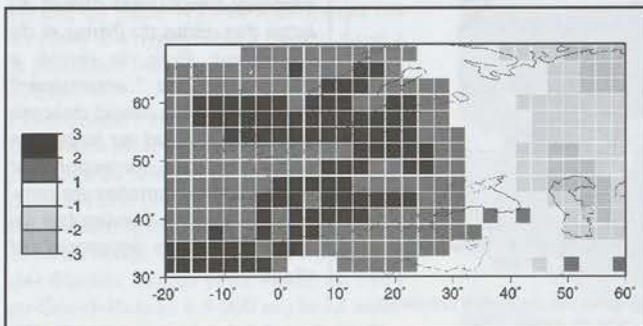


figure 2.
Anomalie de température (°C) observée sur l'Europe pendant l'hiver 1997-1998.

La conjonction de cet ensemble de faits a participé au développement des prévisions saisonnières. Celles-ci sont conduites à l'aide de modèles climatiques, assez proches des modèles de prévision, mais utilisant des résolutions moindres, de l'ordre de 300 km. Le modèle utilisé à Météo-France est Arpège-Climat, utilisable également en mode étiré comme le modèle original.

Ces modèles sont pour l'instant essentiellement «forcés» par des anomalies de température de surface de l'océan Pacifique équatorial résultant de l'oscillation australe, zone pour laquelle on dispose des enseignements du grand programme d'observations conduites lors de l'expérience météo-océanique Toga, des données satellitales et de

celles issues d'un réseau de 74 bouées, dotées de chaînes bathythermiques équipées jusqu'à 500 m de profondeur, qui permettent de disposer en temps réel de l'information et de l'assimiler dans un modèle d'océan.

La technique de prévision saisonnière utilise également des ensembles d'une dizaine d'éléments. On distingue deux types de modèles :

- ceux utilisant des SST prescrites : vaste gamme de complexité, depuis des SST observées en début de simulation - éventuellement conservées pendant toute la simulation, ou évoluant de façon climatologique, jusqu'à des SST prévues par un modèle d'océan, en passant par un grand nombre de solutions mixtes.
- ceux utilisant des modèles d'atmosphère et d'océan cou-

plés : pour l'instant, essentiellement au CEPMMT et au NCEP aux États-Unis.

On considère à l'heure actuelle que le couplage est nécessaire pour des échéances au delà de quatre mois. Météo-France utilise pour l'instant un modèle forcé, alors que le CEPMMT utilise déjà un modèle d'atmosphère (celui du CEP) couplé au modèle d'océan du Max Planck Institut, à l'aide d'un coupleur développé au Cerfacs. Météo-France travaille au développement d'un modèle similaire. Les ensembles de simulations sont initialisés avec les analyses opérationnelles de jours consécutifs. Les résultats sont en général présentés sous forme déterministe (cartes d'anomalies prévues les plus probables) ou probabiliste (probabilité qu'une anomalie positive, nulle ou négative se produise). Pour mieux filtrer la part imprévisible de l'atmosphère, on a en général recours à des moyennes trimestrielles plutôt que mensuelles. Les coefficients de corrélation moyens varient de 0,2 à 0,4. La qualité des prévisions varie toutefois beaucoup avec la localisation géographique. Ceci se comprend aisément si, l'on a en tête la répartition globale des impacts d'El Niño ou de La Niña (cf figure 1 ci-jointe pour les impacts du Niño. Ceux de la Niña se produisent sensiblement aux mêmes endroits avec de signes opposés) qui constituent les forçages connus les plus persistants et importants. Ces impacts sont très localisés dans la ceinture intertropicale, autour du Pacifique, et dans quelques régions telles que golfe de Guinée, Nordeste au Brésil, région du lac Victoria ou sud-est de l'Afrique du Sud. Différents exercices de modélisation climatique ont permis de commencer à quantifier la qualité de ce type de prévisions. Pour les modèles non couplés, on peut citer l'expérience Provost qui vient de s'achever, conduite en coopération par le CEPMMT, le UK Met Office, le CNRM de Météo-France et EDF. Ce pro-

gramme a consisté à estimer la validité de prévisions faites a posteriori dans les conditions du temps réel, sur les quinze ans de la réanalyse récente effectuée par le CEPMMT (pour la période 1969-1994). Cette étude montre que pour l'Europe, les scores sont moins bons que près des tropiques, et que c'est en hiver et pour la température que l'on obtient les meilleurs scores. Pour cette zone, le signe de l'anomalie de température a été prévu correctement dix fois sur quinze.

La qualité des modèles pour l'hiver 1997-1998 s'est en général révélée particulièrement bonne en raison de l'épisode El Niño d'une amplitude exceptionnelle, qualifié de Niño du siècle. Le modèle de Météo-France prévoyait dès novembre, pour la période décembre, janvier, février une anomalie hivernale chaude sur toute l'Europe de l'Ouest, qui a été bien vérifiée par les observations (figure 2). La réussite la plus spectaculaire (hormis celle d'avril 1997) reste cependant sans contestation la prévision de l'évolution d'El Niño avec le modèle océanique du CEPMMT (figure 3).

Les résultats des prévisions saisonnières sont actuellement pour l'essentiel restreints à des utilisations en interne par les services météorologiques nationaux. Deux sites Internet diffusent, toutefois, quelques produits au grand public :

- le CEPMMT qui limite cette production à la bande intertropicale, là où les résultats sont les meilleurs (<http://ecmwf.int/html/seasonal/products.html>)
 - l'IRI (International Research Institute), organisme américain qui est une émanation de la NOAA, du Scripps Institute et de quelques autres centres de recherche climatiques et océaniques (<http://iri.ucsd.edu/forecast>).
- Tous les autres sites Internet nécessitent l'attribution d'un mot de passe réservé aux membres de services météorologiques nationaux.

La politique de Météo-France

en la matière est prudente comme celle de la majeure partie des services météorologiques. Il a été récemment décidé de transférer l'exploitation de la dernière version d'Arpège-Climat du CNRM vers le SCEN en 1999, pour une utilisation dans un cadre opérationnel. Dans un premier temps (2000-2001), le Scem cherchera à se rapprocher de quelques utilisateurs potentiels représentatifs de différents secteurs comme l'énergie (EDF), l'agriculture, la gestion des stocks, les assurances,... afin de développer avec eux des outils adaptés à leurs besoins.

(1) *El Niño et La Niña constituent deux éléments importants de la variabilité du climat. Il s'agit de phénomènes océaniques (d'origine mal connue) se traduisant :*

- *en période El Niño par des températures de surface (les quelques premières dizaines de mètres) anormalement chaudes dans le centre et l'est du Pacifique autour de l'équateur. Lors du dernier (1997-1998), l'anomalie a atteint 4 °C (moyenne sur le domaine 5 S-5 N x 150 W-90 W), et localement 5 °C sur l'équateur dans le Pacifique est au plus fort du phénomène en décembre 1997.*

- *en période La Niña par des températures de surface dans la même zone anormalement froides.*

Du fait du fort couplage existant entre océan et atmosphère, El Niño et la Niña constituent les deux états extrêmes de ce que l'on appelle l'oscillation australe, qui se traduit dans l'atmosphère par une variation à intervalles irréguliers (trois à sept ans) du champ de pression moyen entre l'ouest et le sud-est du Pacifique tropical. On caractérise ainsi souvent l'oscillation australe par la différence de pression entre Tahiti et Darwin en Australie. L'indice est 0 pendant La Niña.

On appelle souvent l'ensemble des phénomènes atmosphériques et océaniques Enso (El Niño-Southern Oscillation en anglais).

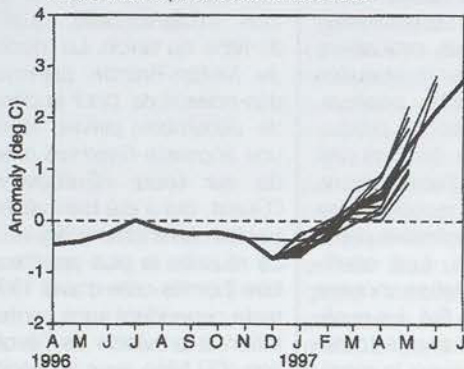
En période El Niño, la configuration du champ de pression dans le Pacifique équatorial se

traduit par un déplacement vers l'est des zones de fortes pluies qui se produisent normalement dans les régions voisines de l'Indonésie.

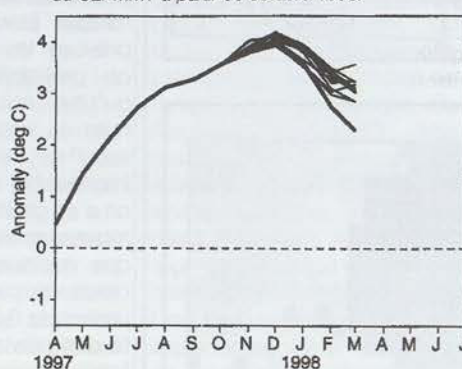
La zone dépressionnaire localisée dans l'ouest du Pacifique se déplace vers l'est et est remplacée par une zone de hautes pressions, suite à la disparition des alizés dans cette zone. Les températures de surface de la mer, plus élevées qu'à l'ordinaire (et connues depuis longtemps comme étant défavorables à la pêche sur les côtes péruviennes), renforcent l'activité convective et génèrent donc des précipitations intenses sur les côtes de l'Équateur et du nord du Pérou. Il en résulte également en général des conditions de sécheresse anormale en Indonésie, aux Philippines et dans le nord de l'Australie.

El Niño (l'enfant Jésus) était à l'origine, pour les pêcheurs péruviens, un phénomène se produisant chaque année aux environs de Noël et se traduisant par un courant chaud au large des côtes du Pérou et de l'Équateur. Puis, le terme a désigné les cas " anormaux " de courant plus chaud descendant plus au sud au large des côtes du Chili, correspondant aussi à des anomalies de températures dans l'ensemble du bassin Pacifique équatorial est et central.

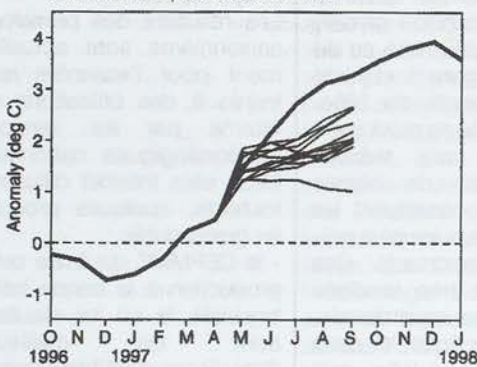
Nino-3 SST : panaché des anomalies prévision du CEPMMT à partir de décembre 1996.



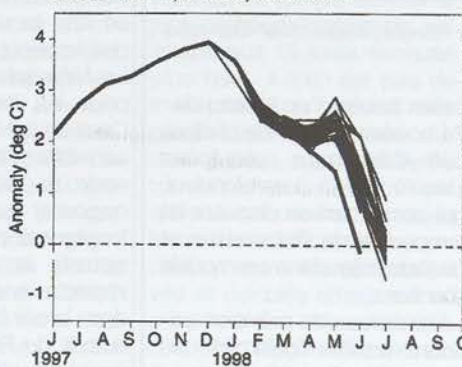
Nino-3 SST : panaché des anomalies prévision du CEPMMT à partir de octobre 1996.



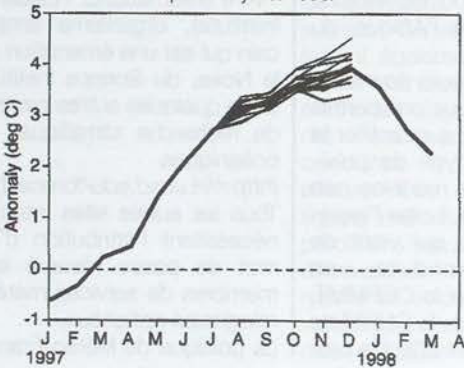
Nino-3 SST : panaché des anomalies prévision du CEPMMT à partir de avril 1996.



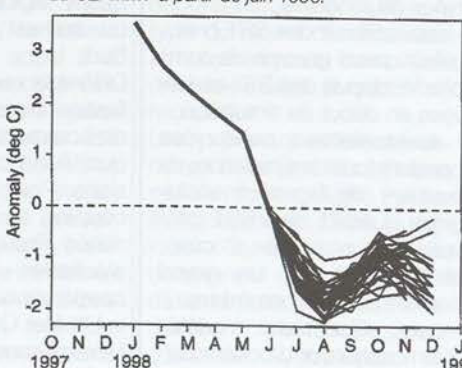
Nino-3 SST : panaché des anomalies prévision du CEPMMT à partir de janvier 1996.



Nino-3 SST : panaché des anomalies prévision du CEPMMT à partir de juillet 1996.



Nino-3 SST : panaché des anomalies prévision du CEPMMT à partir de juin 1996.



◀ figure 3.

Trait plein : évolution observée
Traits fins : évolutions prévues par la prévision d'ensembles.

Tracé des valeurs des SST de Nino-3 prévues pour six mois différents de début des prévisions.

Les prévisions de décembre 96, juillet 97 et octobre 97 sont toutes bonnes. Celles débutant en avril 97 sousestiment la croissance d'El Niño. La rapide décroissance des SST au printemps sont aussi sous évaluées.