La prévision saisonnière

Auteur :
DEQUE Michel, Responsable de l'équipe Prévisibilité Atmsphérique Saisonnière et Téléconnexions au centre de recherche de Météo-France (Toulouse)

10-07-2018

Cet article montre comment les modèles numériques utilisés pour la prévision numérique du temps peuvent être utilisés pour apporter une information sur le temps qu'il fera au cours des quelques mois à venir, malgré leurs limitations. Il présente comment les scientifiques se sont organisés pour donner un statut opérationnel à cette activité qui demeure encore une activité de recherche, bien qu'elle ait déjà conquis certaines applications.

1. Pourquoi une prévision à l'échelle de la saison ?

La prévision météorologique s'appuie sur la résolution par un calculateur des équations de la mécanique des fluides à partir des observations du système atmosphère-océan-cryosphère-surfaces continentales (lire l'article Introduction à la prévision météorologique). Ainsi, à partir de l'observation du jour J on peut décrire avec une certaine précision l'état du jour J+1. Par un raisonnement simple, on en déduit que l'état du jour J+2 est accessible par le même procédé, puis le jour J+3 … On pourrait croire qu'il n'y a pas de limite à la possibilité de produire des prévisions, si ce n'est la ressource de calcul. Sur le plan pratique, on s'est vite rendu compte que **la qualité des prévisions décroissait très vite avec l'échéance** : au bout de quelques jours (environ une semaine en 2016) une situation météorologique prévue ne ressemble pas plus à la situation réelle qu'une situation prise au hasard le même mois au cours des années précédentes. Lorenz (1963) [1] a montré que même si les modèles météorologiques étaient parfaits, une erreur infime dans la description des conditions initiales rendait impossible toute prévision au-delà d'une limite estimée à 10-15 jours dans le cas de l'atmosphère. Cette notion a été popularisée par le terme d'**effet papillon**.

Il n'est donc pas possible de faire des prévisions déterministes à l'échelle de la saison. Cependant, il existe dans la nature des phénomènes dont l'évolution sur quelques mois n'est pas chaotique (voir section 3) et qui influent sur le comportement de l'atmosphère. Et, par ailleurs, il existe un réel besoin de prévisions à long terme dans de nombreuses activités humaines, agricoles, industrielles ou touristiques Si l'on dispose de modèles numériques qui simulent fidèlement l'évolution de ces phénomènes lents, et qui sont capables de reproduire en moyenne l'effet de ces phénomènes sur le temps perçu (c'est à dire la température, le vent, la pluie ...), alors on peut espérer apporter une information partielle sur ce qui va se passer au cours des

prochains mois.

On distingue la **prévision mensuelle** qui vise à décrire une chronologie même grossière (par exemple un épisode chaud à la fin du mois de janvier), de la **prévision saisonnière** qui renonce à toute approche chronologique pour décrire une saison sur le plan uniquement statistique (par exemple une probabilité importante d'avoir un épisode froid l'hiver prochain). En 2016 les prévisions mensuelles sont en général produites jusqu'au mois M+2 ; les prévisions saisonnières sont en général produites jusqu'au mois M+7 (voir section 4). Dans ce qui suit, nous décrirons comment sont produites ces prévisions saisonnières et ce que l'on peut en attendre.

2. Oui, mais comment réaliser ces prévisions ?

La **prévision saisonnière** est héritière de la prévision météorologique par les outils numériques qu'elle emploie. Il a fallu cependant **attendre plus de trente ans** entre les premières prévisions à court terme opérationnelles et les premières prévisions saisonnières (Palmer et Anderson, 1994) [2]. En effet trois étapes techniques particulièrement difficiles ont dû être franchies :

début des années 1980 : apparition de modèles atmosphériques et d'observations quotidiennes couvrant tout le globe,

début des années 1990 : apparition de modèles couplés océan-atmosphère dont le comportement sur le globe offre une ressemblance raisonnable avec les observations, quand on considère une moyenne sur plusieurs décennies,

début des années 2000 : mise en place d'un réseau d'observation de l'océan mondial en trois dimension Argo [3].

On parle parfois de **prévision sans couture** pour la production de prévisions à 24h, à 10 jours, à un mois, à 6 mois, à 10 ans, ou même de scénarios climatiques pour la fin du siècle. Cette expression souligne la nécessité de **mise en commun des développements scientifiques et techniques**. Ainsi, le modèle utilisé à Météo-France pour la prévision saisonnière est également celui utilisé pour les scénarios climatiques du GIEC (Groupe International d'experts sur l'Évolution du Climat et sa composante pour l'atmosphère et les surfaces continentales est le modèle utilisé par Météo-France pour la prévision météorologique à court terme.

Pour des raisons pratiques, il existe des **différences** d'implémentation **entre la prévision saisonnière et la prévision à court terme** :

La **modélisation précise** et l'initialisation **de l'océan**, composante lente du système est **indispensable à l'échéance saisonnière**. Elle ne se justifie que pour quelques applications à l'échéance de 2-3 jours.

La **prévision** que l'on cherche à faire **à l'échéance saisonnière** n'est pas de nature déterministe mais **de nature statistique**. Il faut donc réaliser au moins une cinquantaine de prévisions pour obtenir des estimations statistiques robustes. On parle de **prévision d'ensemble** (Lire l'article Prévision d'ensemble).

A courte échéance la principale source d'incertitude porte sur l'état initial. A l'échelle saisonnière, il faut également prendre en compte les différences entre le climat simulé et le climat réel.

3. Une prévision, ça se vérifie !

La difficulté d'évaluer une prévision saisonnière a longtemps retardé le consensus sur la validité d'une approche scientifique.

En prévision à court terme, on peut évaluer au bout de quelques mois le taux de réussite et d'échec d'un système de prévision. En prévision saisonnière, il faudrait attendre des décennies pour porter un jugement fiable. Aussi, se tourne-t-on vers le passé en produisant ce que l'on appelle **des re-prévisions**. Une re-prévision est une prévision produite rétrospectivement, des années plus tard, mais sans tricher, c'est à dire en n'utilisant aucune information postérieure à l'instant initial de la prévision. Ces re-prévisions doivent couvrir une période à la fois longue (pour des raisons statistiques) et récente (pour des raisons d'homogénéité du système d'observation). Les applications opérationnelles font démarrer cette période en 1993 (début de l'observation altimétrique satellitaire), tandis que les évaluations en mode recherche débutent en 1979 (début de l'observation globale de la température de l'océan par les satellites). Produire un jeu de re-prévisions couvrant les 30 ou 40 dernières années prend de six mois à un an. Ce temps d'attente met le chercheur à l'abri du biais qui consisterait à choisir le meilleur système parmi un grand nombre, en se fondant sur le taux de succès le plus élevé. Ce taux de succès est généralement mesuré par un indice appelé **score de prévision**. Un score est un nombre compris généralement entre 0 et 1, correspondant à une prévision triviale, par exemple prévoir systématiquement la climatologie du mois et du lieu, 1 correspondant à une prévision parfaite. Une prévision peut avoir un score négatif, par exemple quand elle annonce systématiquement le contraire de ce que l'on observe. Un score très souvent employé est le coefficient de corrélation entre deux séries temporelles. Cet indice compris entre -1 et 1 vaut 0

si les séries sont indépendantes, et vaut 1 si on peut passer de l'une à l'autre par une relation algébrique linéaire croissante. Sa définition précise fait appel aux moments d'ordre 2 de la distribution statistique (Jolliffe et Stephenson, 2012 [4]).

La notion d'hiver doux ou froid n'a qu'une réalité statistique à nos latitudes. Au cours d'un même hiver se succèdent des épisodes chauds et des épisodes froids. Parfois ces derniers sont plus nombreux ou plus intenses. Avec des ensembles de 50 membres de prévisions quotidiennes, on peut reconstituer une loi de probabilité prévue. Estimer une probabilité pour les observations d'un hiver donné est beaucoup plus délicat, car on ne dispose que de 90 valeurs, et ces valeurs ne sont pas indépendantes car on observe une certaine persistance d'un jour sur l'autre.. L'évaluation par un coefficient de corrélation est insuffisante car elle ne prend pas en compte l'incertitude inhérente à une prévision non-déterministe. L'évaluation probabiliste est plus délicate car le phénomène à prévoir (la probabilité d'une vague de froid) ne peut être estimé que grossièrement. De nombreux scores probabilistes sont disponibles (Jolliffe et Stephenson, 2012 [4]). S'ils présentent un intérêt pour le chercheur, ils se prêtent mal à des comparaisons entre modèles, car il n'existe pas de consensus sur un score unique.

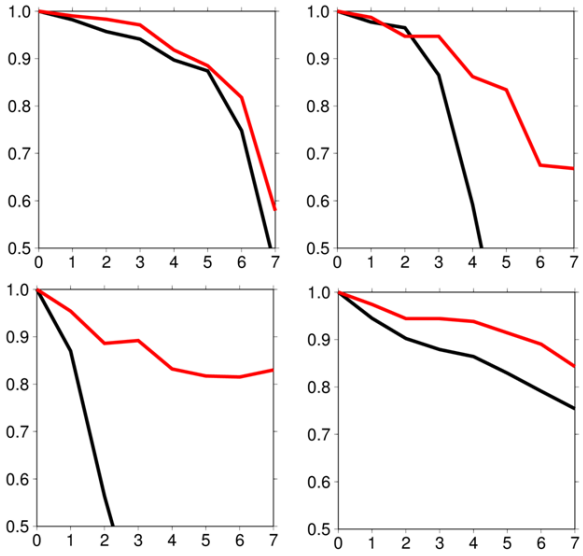

Figure 1. Coefficient de corrélation entre température mensuelle prévue et température mensuelle observée dans le Pacifique équatorial central en fonction de l'échéance (mois). La date de départ est successivement le 1er novembre (a), le 1er février (b), le 1er mai (c) et le 1er août (d). La courbe rouge représente les scores du modèle de Météo-France, la courbe noire ceux de la persistance des conditions initiales. Ce coefficient est calculé pour la période 1979-2012.

Pour une évaluation plus fiable, on se tourne vers des phénomènes à évolution lente qui conservent une caractéristique constante au cours d'une saison, tout en offrant une forte variabilité d 'une année sur l'autre. Il en existe trois qui soient accessibles à la fois à l'observation et à la modélisation, et pour lesquels on dispose aujourd'hui de scores satisfaisants.

Phénomène bien connu depuis les années 1980 (Shukla 1981) [5], la température de surface de l'océan Pacifique équatorial : comme le montre la figure 1, le phénomène ENSO (El Niño Southern Oscilation) offre une prévisibilité remarquable jusqu'à 7 mois (courbe rouge) ; en hiver et en automne, le phénomène est très persistant (courbe noire), mais le modèle fait aussi bien voire mieux.

Phénomène découvert assez récemment : l'étendue de banquise arctique (Chevallier et al., 2013) [6].

Moins utile sur le plan pratique, mais scientifiquement intéressant : le vent dans la stratosphère équatoriale (Boer and Hamilton, 2008) [7].

Phénomène bien connu depuis les années 1980 (Shukla 1981) [5], la température de surface de l'océan Pacifique équatorial : comme le montre la figure 1, le phénomène ENSO (El Niño Southern Oscilation) offre une prévisibilité remarquable jusqu'à 7 mois (courbe rouge) ; en hiver et en automne, le phénomène est très persistant (courbe noire), mais le modèle fait aussi bien voire mieux.

Phénomène découvert assez récemment : l'étendue de banquise arctique (Chevallier et al., 2013) [6].

Moins utile sur le plan pratique, mais scientifiquement intéressant : le vent dans la stratosphère équatoriale (Boer and Hamilton, 2008) [7].

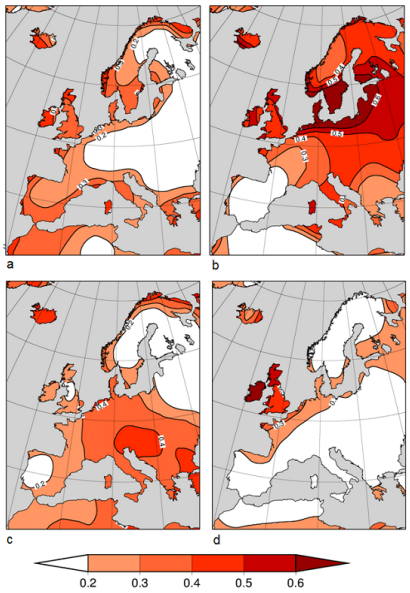

Figure 2. Coefficient de corrélation entre température saisonnière prévue et température saisonnière observée sur l'Europe pour les prévisions du modèle de Météo-France. La date de départ est le 1er novembre (a), le 1er février (b), le 1er mai (c) et le 1er août (d), et la prévision concerne la moyenne du 2ème au 4ème mois. La tendance due au réchauffement climatique a été soustraite. Ce coefficient est calculé pour la période 1979-2012. La figure 2c pourrait être choisie comme image de couverture, si vous n'avez pas mieux ?

Il est néanmoins nécessaire d'estimer la prévisibilité aux moyennes latitudes, même si celle-ci est faible. La mesure usuelle de la qualité de ce type de prévision est le coefficient de corrélation (mentionné plus haut) entre la moyenne saisonnière prévue et la moyenne observée, qui a le mérite d'être utilisé depuis longtemps et d'être universellement employé, même s'il est peu robuste sur des séries de 30 ans et ne prend pas en compte la dispersion de l'ensemble de prévisions.

La figure 2 montre les valeurs de ce coefficient pour les prévisions de températures aux quatre saisons (DJF, MAM, JJA, SON, où chaque majuscule est l'initiale d'un mois de l'année) pour la température sur l'Europe. La tendance due au réchauffement climatique a été soustraite, car elle gonfle artificiellement les scores.

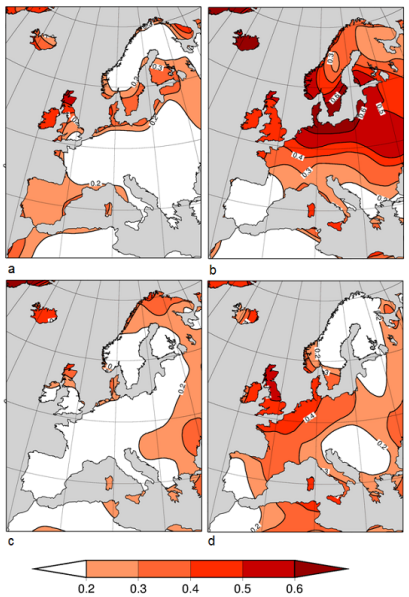

Figure 3. Coefficient de corrélation entre température saisonnière observée et température mensuelle du mois précédant la prévision sur l'Europe (prévision par persistance). Les moyennes saisonnières concernent respectivement l'hiver (a) le printemps (b) l'été (c) et l'automne (d). La tendance due au réchauffement climatique a été soustraite. Ce coefficient est calculé pour la période 1979-2012.

On considère qu'un coefficient inférieur à 0.2 n'apporte aucune information utilisable. On peut voir que la prévisibilité varie d'une région à l'autre et d 'une saison à l'autre. En hiver (figure 2a) la façade océanique est privilégiée. En été (figure 2c) c'est le Sud-Est du continent qui est privilégié. La figure 3 montre les mêmes scores, mais pour une prévision par persistance de la situation initiale. On peut voir qu'aux saisons intermédiaires cette méthode peu coûteuse en calcul fait en général mieux que le modèle. Une leçon de modestie !

4. La mise en œuvre opérationnelle des prévisions

Dans la section 2, il a été écrit que les défauts systématiques des modèles étaient une source à la fois d'erreur (que l'on peut corriger a posteriori) et d'incertitude (que l'on doit estimer). Cela implique de produire non seulement des prévisions, mais également des re-prévisions (ce terme a été défini dans la section 3). Dans une activité de recherche, on se contente de réaliser des re-prévisions.

Les prévisions opérationnelles consistent à comparer une moyenne de situations prévues à une moyenne pluri-annuelle appelée climat de référence. On dispose pour cela d'un jeu de re-prévisions des années passées. Ce jeu sert aussi à estimer les scores attendus pour la prévision. Il est essentiel d'avoir une homogénéité parfaite entre les re-prévisions et la prévision. Cela veut dire que les deux productions ne diffèrent que par la condition initiale. Il n'est pas question d'effectuer la moindre modification dans le modèle entre les re-prévisions, faites une fois pour toutes, et la prévision faite chaque mois. Étant donné le temps nécessaire à la réalisation d'une re-prévision (six mois à un an), les centres de prévision ne changent de version que tous les deux ou trois ans.

Pour estimer l'incertitude liée aux imperfections du modèle, la méthode la plus couramment utilisée est l'approche multi-modèle. En effet chaque modèle est construit à partir de choix et d'hypothèses qui sont propres au centre qui le met en œuvre. Il arrive que les prévisions de deux modèles soient en désaccord. Ainsi il existe en Europe (Eurosip), en Amérique du Nord (NMME) et en Asie (APCC) des consortiums qui combinent les prévisions de plusieurs modèles. Ces prévisions sont accessibles gratuitement sous formes de cartes ou de bulletins. Aux USA et bientôt en Europe (programme Copernicus Climate Change Service de l'Union Européenne) les données numériques sont librement accessibles chaque mois pour les six mois à venir.

5. A quoi servent les prévisions saisonnières ?

Les prévisions saisonnières sont essentiellement faites pour être **diffusées** vers tous les usagers potentiels sous formes de cartes ou de bulletins à travers le web (Centre Européen de Prévisions à Moyen Terme [8] Météo-France [9]). Le cortège des conséquences d'un événement chaud dans le Pacifique équatorial (El Niño) est suffisamment documenté [10] pour qu'une prévision de l'occurrence de ce phénomène soit interprétée en termes de sécheresses, ressources halieutiques, risque d'inondations …

Il existe également **des applications** des prévisions saisonnières développées **pour une utilisation précise**. C'est surtout sur les régions tropicales, où les scores sont plus élevés, que l'on trouve une collaboration entre les prévisionnistes et les utilisateurs, en général à travers une adaptation statistique. Ce type d'approche requiert des re-prévisions sur des longues périodes et des changements de version peu fréquents. C'est ainsi que la gestion d'un barrage sur le fleuve Sénégal inclut une composante de prévision saisonnière (Bader et al ., 2006 [11]). En Amérique du Sud, un certain nombre d'adaptations statistiques sont réalisées par le consortium Eurobrisa [12].

En Europe les utilisateurs sont souvent rebutés par les faibles scores (Bruno-Soares and Dessai, 2016 [13]). En France des études ont été menées sur le rendement du blé (Canal, 2014 [14]) ou sur le débit des fleuves et l'humidité des sols (Singla et al., 2012 [15]). Cette dernière application est maintenant opérationnelle. Des prototypes sont en cours d 'élaboration en Europe dans d'autres domaines d'application, à travers le projet Euporias [16] : impact des conditions hivernales sur les transports au Royaume Uni, production d'énergies renouvelables en Espagne, gestion de l'énergie hydroélectrique en Suède.

6. Quel avenir pour les prévisions saisonnières

Dotée d'un objectif ambitieux et fortement limitée par les contraintes de la physique (effet papillon) et de la technique (ressources des calculateurs numériques) la prévision saisonnière déçoit souvent au premier abord. Pourtant son **surcoût** par rapport à un système de prévision du temps est **très faible** et les **services** qu'elle peut rendre sont **indéniables** si on accepte une gestion de l'aléa. Les progrès sur la qualité des prévisions sont visibles si l'on compare l'état de l'art en 2015 à celui de 2005 ou de 1995, mais le sont très peu d'une année sur la suivante, ce qui donne parfois une fausse idée de stagnation.

Les progrès les plus faciles à anticiper viendront de l'augmentation de résolution horizontale et verticale des modèles et de la complexification de la représentation des sources de chaleur et d'humidité (que l'on appelle paramétrisations physiques). En effet, cet effort est commun à celui sur l'amélioration de la prévision du temps et de la modélisation du climat. Mais il existe aussi des axes de recherche plus spécifiques comme l'introduction de perturbations dans les équations pour simuler les erreurs du modèle (Batté and Doblas-Reyes, 2015 [17]), ou comme le post-traitement statistique des prévisions prenant en compte les erreurs du modèle sur une période d'apprentissage. Les paramètres à évolution lente comme la couverture de neige ou l'humidité dans le sol jouent un rôle dans la mémoire du système à l'échelle saisonnière. Le raffinement de leur initialisation dans les prévisions et re-prévisions est également une source potentielle d'amélioration.

Références et notes

[1] Lorenz (1963). Deterministic nonperiodic flow. Journal of Atmospheric Sciences ,20, 130-141.

[2] Palmer, T.N. and Anderson, D.L.T (1994). The prospects for seasonal forecasting - a review paper". Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 120, 755-793.

[3] ARGO. Part of the integrated observation strategy.

[4] Jolliffe IT and Stephenson DB (2012) Forecast Verification. 2nd edition, Chichester (UK), Wiley-Blackwell

[5] Shukla J. (1981) Dynamical predictability of monthly means. Journal of Atmospheric Sciences, 38",2547-2572.

[6] Chevallier M., Salas y Mélia D., Voldoire A., Déqué M. and Garric G. (2013). Seasonal Forecasts of the Pan-Arctic Sea Ice Extent Using a GCM-Based Seasonal Prediction System. Journal of Climate, 26, 6092–6104.

[7] Boer G.J. and Hamilton K. (2008). QBO influence on extratropical predictive skill. Climate Dynamics, 31, 987-1000.

[8] ECMWF, Forecast Charts

[9] Météo-France, Prévision saisonnière (site public, mais identification obligatoire),

[10] Météo-France, Comprendre : El Nino et La Nina

[11] Bader JC, Piedelievre JP, et Lamagat JP (2006). Prévision saisonnière du volume de crue duFleuve Sénégal: utilisation des résultats du modèle ARPEGE Climat. Hydrological Science Journal , 51:3, 406-417, DOI: 10.1623/hysj.51.3.406

[12] Eurobrisa ; A EURO-BRazilian Initiative for improving South American seasonal forecasts.

[13] Bruno Soares M and Dessai, S. (2016). Barriers and enablers to the use of seasonal climate forecasts amongst organisations in Europe. *Climatic Change*, 1-2, 89-103. DOI: 10.1007/s10584

[14] Canal N, (2014). Application à l'agriculture de la prévision saisonnière : évaluation à l'échelle de la France. Thèse de l'Université Paul Sabatier. Toulouse

[15] ingla S, Ceron JP, Martin E, Regimbeau F, Déqué M, Habets F and Vidal JP (2012). Predictability of soil moisture and river ows over France for the spring season. Hydrology and Earth System Sciences, 16, 201-216.

[16] Euporias. European Provision Of Regional Impacts Assessments on Seasonal and Decadal Timescales.

[17] Batté L. and Doblas-Reyes F.J. (2015) Stochastic atmospheric perturbations in the EC-Earth3 earth system model: impact of SPPT on seasonal forecast quality. Climate Dynamics, 45, 3419–3439.

L'Encyclopédie de l'environnement est publiée par l'Université Grenoble Alpes - www.univ-grenoble-alpes.fr

Pour citer cet article: **Auteur :** DEQUE Michel (2018), La prévision saisonnière, Encyclopédie de l'Environnement, [en ligne ISSN 2555-0950] url : http://www.encyclopedie-environnement.org/?p=1707

Les articles de l’Encyclopédie de l’environnement sont mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.