

Diagnostic de la prévisibilité à l'échelle saisonnière sur l'Europe

NOLWENN NANO-ASCIONE, ROMAIN VALIENTE

1 - Introduction

La prévision saisonnière est actuellement une discipline de la météorologie en plein essor. Connaître plusieurs mois à l'avance la tendance des conditions météorologiques futures est une information clef pour de nombreux secteurs économiques. Si les prévisions à quelques jours d'échéance ont pour objectif de caractériser le plus précisément possible certains paramètres météorologiques à un instant donné, les prévisions saisonnières ont quant à elles pour vocation de donner des tendances. L'été sera-t-il plus chaud que la normale ? Les précipitations seront-elles plus abondantes ou plus faibles que les quantités moyennes au cours de l'hiver ? Le but des prévisions saisonnières (figure 1), est donc de caractériser la tendance trimestrielle de paramètres météorologiques à l'échelle de régions ou de pays comme la France et ce, jusqu'à 6 mois d'échéance.

2 - L'ENSO et les ondes de Rossby équatoriales

La qualité de ce type de prévisions n'est pas du même niveau partout sur le globe. Les résultats sont assez satisfaisants aux latitudes tropicales car le climat de ces régions est grandement dépendant des anomalies de température océanique qui sont durables. Les anomalies les plus marquées sont relevées dans l'océan Pacifique équatorial en lien avec le phénomène El Niño Southern Oscillation (ENSO). Les variations de l'ENSO, dont El Niño et La Niña représentent respectivement les phases extrêmes chaudes et froides (figure 2), entraînent des modifications très importantes de la localisation des pôles de convection majeurs. Il est par conséquent possible de déterminer des tendances relativement fiables pour les précipitations et les températures aux latitudes tropicales.

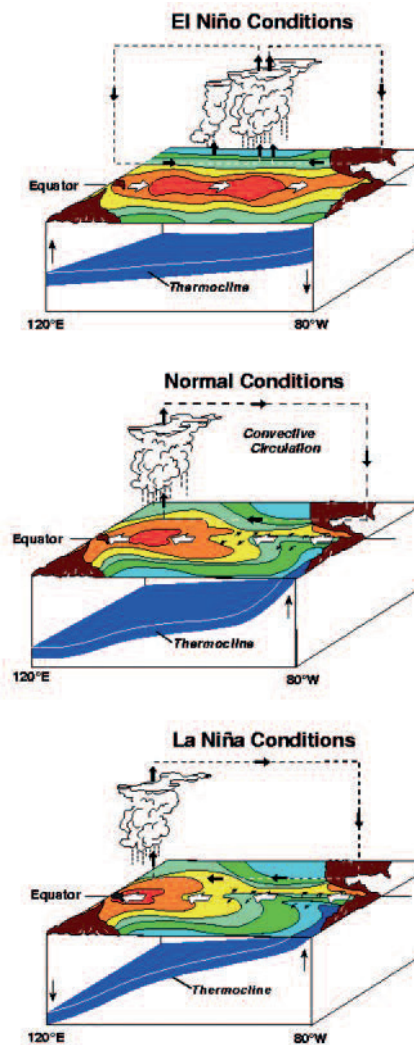


Figure 2 : Illustration des conditions El Niño, neutres et La Niña.

[Source :

http://www.pmel.noaa.gov/tao/elNiño/Niño_normal.html]

EUROSIP multi-model seasonal forecast
Prob(most likely category of 2m temperature)
Forecast start reference is 01/08/14
Unweighted mean

ECMWF/Met Office/Meteo-France/NCEP
SON 2014

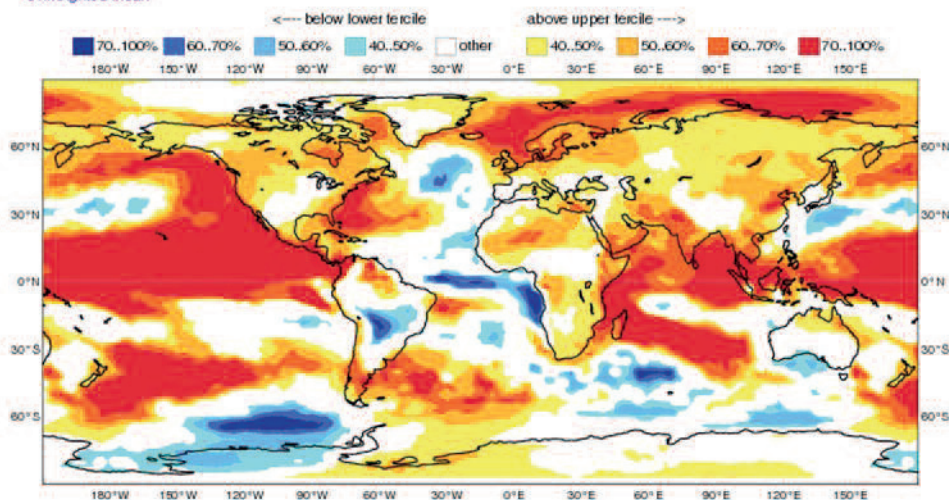


Figure 1 : Prévision multi-modèles probabiliste d'anomalies de température à 2 m pour la période septembre/octobre/novembre 2014.

[Source : EUROSIP / ECMWF]

Aux moyennes latitudes, la situation est différente et la prévisibilité à l'échelle saisonnière est bien moindre. Les circulations perturbées des régions tempérées sont moins directement influencées par les anomalies de température océanique ; il est donc souvent difficile de distinguer une quelconque tendance pour les précipitations ou les températures. Dans certaines situations, les structures atmosphériques des régions tropicales peuvent cependant influencer celles des moyennes latitudes. Les ondes de Rossby atmosphériques générées par les pôles équatoriaux de convection profonde sont habituellement piégées aux latitudes tropicales. Mais dans certaines conditions explicitées ci-après, celles-ci peuvent se propager en direction des pôles et avoir un impact plus ou moins durable sur les structures atmosphériques présentes aux moyennes latitudes. Leur identification est donc essentielle pour tenter d'obtenir des tendances saisonnières fiables, sur l'Europe notamment.

Les ondes de Rossby équatoriales sont générées par les pôles majeurs de convection profonde. Le modèle de Gill (1980) permet d'expliquer la réponse de l'atmosphère à une anomalie positive de température résultant du chauffage lié à la convection

Figure 3 : Réponse linéaire à un forçage équatorial situé dans une zone où le vent zonal est d'ouest à 10 m/s, montrant la propagation des ondes de Rossby vers les moyennes latitudes en aval du forçage (Lau, Ka-Ming, Lim, Hock, 1984).

qui libère une très grande quantité de chaleur latente dans la troposphère équatoriale. En aval du chauffage, des anomalies anticycloniques se forment en haute troposphère de part et d'autre de l'équateur vers 10° N et 10° S (figure 3). Cette paire d'anomalies constitue les ondes de Rossby dont la propagation se fait vers l'ouest. Si la composante zonale du vent en haute troposphère est d'ouest, l'énergie de ces ondes peut alors se propager en direction des pôles.

3 - Étude de l'événement El Niño 1997/1998

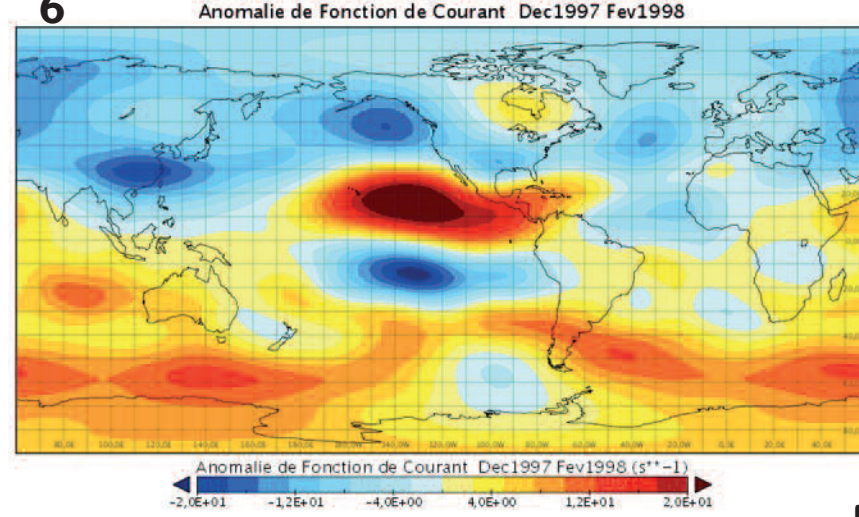
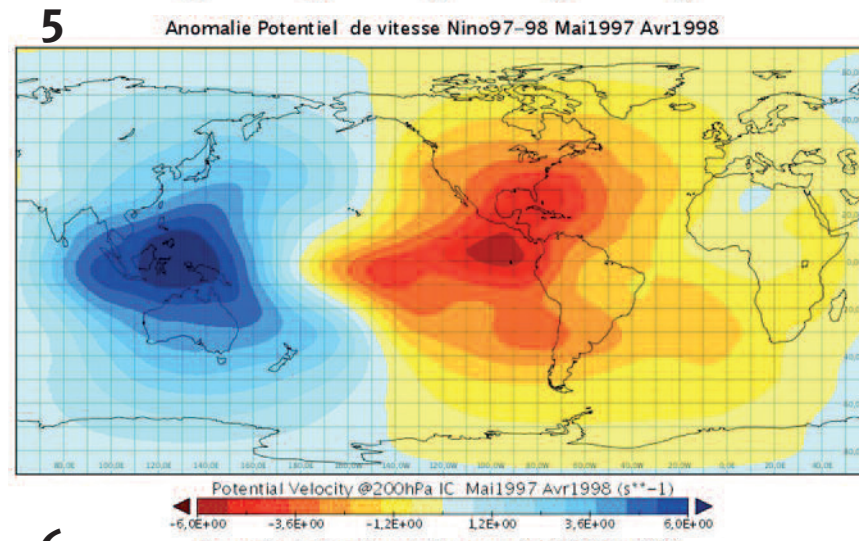
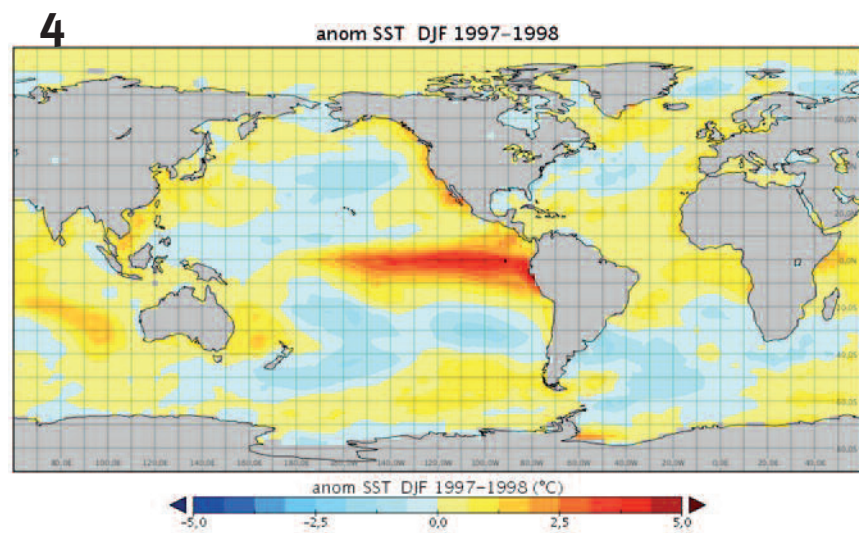
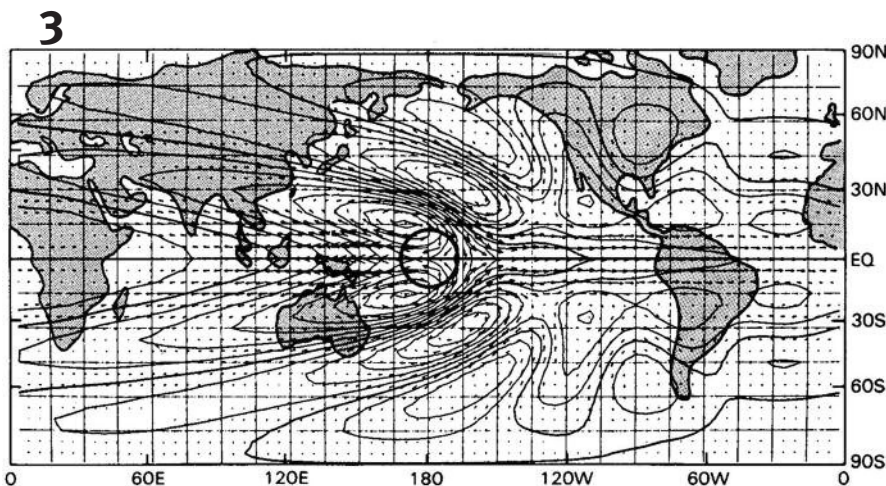
Pour mettre en évidence cette propagation, des champs d'anomalies de potentiel de vitesse et de fonction de courant sont étudiés. Les anomalies de potentiel de vitesse à 200 hPa permettent dans un premier temps d'évaluer la divergence en haute troposphère et donc les zones d'ascendance ou de subsidence liées à la circulation de Walker. Les champs d'anomalies de fonction de courant rendent ensuite possible l'identification de structures se manifestant par l'alternance d'anomalies de signes opposés qui s'étendent depuis les tropiques vers les moyennes latitudes. Ce mécanisme permet d'expliquer les influences que peut exercer l'atmosphère tropicale sur les régimes de temps des latitudes moyennes, dénommées ainsi « téléconnexions ».

L'étude de l'événement El Niño de 1997/1998 permet d'aborder le sujet car il est le plus intense du XXe siècle. Les anomalies positives de température de l'océan Pacifique équatorial ont été parfois supérieures à 5 °C sur le centre et l'est du bassin (figure 4). Le pôle de convection profonde habituellement présent sur l'Indonésie s'est déplacé vers l'est et vers les côtes de l'Amérique centrale (figure 5), avec des conséquences notables particulièrement remarquables aux moyennes latitudes au cours de l'hiver boréal. Les anomalies positives de fonction de courant (rouge) correspondent à des circulations anticycloniques dans l'hémisphère nord et cycloniques dans l'hémisphère sud. Les anomalies négatives (bleu) correspondent à des circulations cycloniques dans l'hémisphère nord et anticycloniques dans l'hémisphère sud (figure 6).

Figure 4 : Anomalies de température de surface de la mer moyennées sur les mois d'hiver 1997-1998.

Figure 5 : Anomalies de potentiel de vitesse à 200 hPa moyennées sur les mois de mai 1997 à avril 1998.

Figure 6 : Anomalies de fonction de courant à 200 hPa moyennées entre décembre 1997 et février 1998.



4 - Étude de la période 1981-2012

Cet épisode a servi de base pour l'analyse globale qui a été menée sur les années 1981 à 2012. Les moyennes des champs d'anomalies de potentiel de vitesse et de fonction de courant sont calculées pour chaque épisode El Niño ou La Niña. Nous avons retrouvé les mêmes signaux qu'en 1997/1998 avec toutefois une intensité variable en fonction des années. L'intensité maximale des phases extrêmes de l'ENSO est observée au cours de l'hiver boréal. Nous avons donc ensuite jugé pertinent d'analyser uniquement les mois d'hiver dont l'indice ENSO est marqué afin d'obtenir les signaux les plus importants.

Les conclusions sont intéressantes et font ressortir en situation El Niño une phase positive de l'oscillation Pacific North America (PNA). Cela correspond à une succession d'anomalies négatives sur le Pacifique nord, puis positives sur le nord-ouest des Etats-Unis et de nouveau négatives sur le sud-est de ce pays. En situation La Niña nous observons une phase négative de la PNA avec des anomalies de signes opposés. Sur l'Atlantique et l'Europe qui sont situés à une plus grande distance des anomalies observées sur le Pacifique, le signal est moins franc. Il ressort toutefois qu'en situation La Niña, une zone d'anomalie anticyclonique s'étire du sud-est des États-Unis à l'Europe de l'Ouest.

Une fois ces analyses préliminaires réalisées, le diagnostic subjectif des possibles téléconnexions est effectué sur la période d'étude qui s'étend de 1981 à 2012. Comme l'intensité maximale des phases extrêmes de l'ENSO est observée pendant l'hiver boréal, seuls les mois de décembre, janvier et février de chaque année sont analysés. Notre première approche consiste à étudier les moyennes trimestrielles de chaque hiver. Les premiers résultats montrent que les phases neutres de l'ENSO ne favorisent pas l'établissement de téléconnexions sur l'océan Pacifique. Au niveau de l'océan Atlantique, les conclusions sont moins franches mais il semble que les téléconnexions soient plus nombreuses en phase La Niña de l'ENSO. Cependant, la position géographique des anomalies de fonction de courant n'est pas aussi stationnaire que sur l'océan Pacifique. Cette analyse trimestrielle présente donc des limites : les champs d'anomalies

se retrouvent parfois très lissés en cas de structures de signes opposés d'un mois à l'autre et le risque de perte du signal identifiant des téléconnexions est donc relativement important.

Une étude plus poussée des hivers mois par mois est alors réalisée. Pour l'océan Pacifique, celle-ci confirme que les situations ENSO neutres ne sont pas du tout favorables à la présence de téléconnexions. Cependant, l'apparition de téléconnexions n'est pas systématique en phases intenses de l'ENSO. Par contre, les tests statistiques du *khiz* réalisés sur la dépendance entre la phase de l'ENSO et la présence de téléconnexions sur l'Atlantique ne permettent pas de conclure à un lien entre ces deux paramètres. Il semble alors intéressant d'étudier les anomalies de surface de l'océan Atlantique qui pourraient peut-être jouer un rôle sur les téléconnexions. Cependant les tests sur la dépendance entre les anomalies de température de surface de la mer sur l'Atlantique tropical et la présence de téléconnexions sur l'Europe et l'Atlantique ne permettent pas d'apporter de conclusions fiables car la taille de l'échantillon est trop faible.

Le diagnostic des téléconnexions réalisé précédemment est fait de manière subjective en analysant visuellement des cartes d'anomalies de fonction de courant. Le but serait de le rendre plus objectif. Pour ce faire, nous avons imaginé de créer des cartes de référence représentatives des situations El Niño et La Niña. Ces cartes de référence représentent la moyenne des champs de potentiel de vitesse et de fonction de courant pour les épisodes ENSO en phases positives ou négatives assez marquées, sur l'ensemble de la période 1981/2012. Le but est de calculer la distance euclidienne entre les champs d'anomalies de fonction de courant et de potentiel de vitesse d'un mois quelconque et ces cartes de référence. S'il existe un lien entre les distances et la présence de téléconnexions ces distances calculées nous serviraient d'indices pour aider au diagnostic des téléconnexions. Cependant les résultats obtenus n'ont pas permis d'établir de lien entre les distances et la présence de téléconnexions, à la fois sur l'océan Pacifique et sur l'océan Atlantique. La présence de téléconnexions améliore la prévisibilité aux moyennes lati-

tudes. Nous pouvons donc imaginer que lorsque des mois ont bénéficié d'une bonne prévisibilité, des téléconnexions ont été observées. Afin d'identifier ces périodes, le calcul de la corrélation entre situation prévue et situation observée est envisageable. La prévisibilité est abordée dans la suite par l'étude de la corrélation entre la prévision du modèle ARPEGE et la réanalyse ERA-interim sur la période d'étude. Elle est déterminée sur le champ de géopotential à 500 hPa moyenné une période d'un mois. Le score final obtenu correspond à la corrélation d'anomalies entre le champ observé et le champ prévu. Ce score est calculé distinctement aux moyennes latitudes sur trois zones : Pacifique, Atlantique et Europe. Des calculs de distance ont été à nouveau réalisés à partir de nouvelles cartes de référence. Ces nouvelles cartes de référence sont réalisées en moyennant les champs de potentiel de vitesse ou de fonction de courant des situations avec un ENSO positif ou négatif marqué lorsque la corrélation déterminée ci-dessus est importante. Les résultats obtenus n'en ont malheureusement pas été améliorés.

5 - Conclusion

La variabilité du climat des régions tempérées est en partie modulée par les phénomènes qui se produisent aux latitudes tropicales, mais il est certain que d'autres influences extra-tropicales jouent également un rôle important dans la variabilité des climats tempérés. L'anomalie de température de l'océan tropical n'est pas le seul paramètre influençant l'établissement de téléconnexions. Ainsi, il semblerait, par exemple, que le signal de l'ENSO soit relayé aux moyennes latitudes par la stratosphère.

Les champs de potentiel de vitesse et de fonction de courant en haute troposphère sont assez bien adaptés pour le suivi des téléconnexions, mais leur diagnostic est déterminé de façon subjective à partir de moyennes trimestrielles ou mensuelles. Ainsi, il a été montré que les conditions ENSO neutres sont clairement défavorables aux téléconnexions sur le Pacifique. Celles-ci sont régulièrement observées en phase El Niño mais aussi en phase La Niña. Cependant, un épisode marqué El Niño ou la Niña n'est pas forcément associé à des téléconnexions. En ce qui concerne l'océan

4 - Étude de la période 1981-2012

Cet épisode a servi de base pour l'analyse globale qui a été menée sur les années 1981 à 2012. Les moyennes des champs d'anomalies de potentiel de vitesse et de fonction de courant sont calculées pour chaque épisode El Niño ou La Niña. Nous avons retrouvé les mêmes signaux qu'en 1997/1998 avec toutefois une intensité variable en fonction des années. L'intensité maximale des phases extrêmes de l'ENSO est observée au cours de l'hiver boréal. Nous avons donc ensuite jugé pertinent d'analyser uniquement les mois d'hiver dont l'indice ENSO est marqué afin d'obtenir les signaux les plus importants.

Les conclusions sont intéressantes et font ressortir en situation El Niño une phase positive de l'oscillation Pacific North America (PNA). Cela correspond à une succession d'anomalies négatives sur le Pacifique nord, puis positives sur le nord-ouest des Etats-Unis et de nouveau négatives sur le sud-est de ce pays. En situation La Niña nous observons une phase négative de la PNA avec des anomalies de signes opposés. Sur l'Atlantique et l'Europe qui sont situés à une plus grande distance des anomalies observées sur le Pacifique, le signal est moins franc. Il ressort toutefois qu'en situation La Niña, une zone d'anomalie anticyclonique s'étire du sud-est des États-Unis à l'Europe de l'Ouest.

Une fois ces analyses préliminaires réalisées, le diagnostic subjectif des possibles téléconnexions est effectué sur la période d'étude qui s'étend de 1981 à 2012. Comme l'intensité maximale des phases extrêmes de l'ENSO est observée pendant l'hiver boréal, seuls les mois de décembre, janvier et février de chaque année sont analysés. Notre première approche consiste à étudier les moyennes trimestrielles de chaque hiver. Les premiers résultats montrent que les phases neutres de l'ENSO ne favorisent pas l'établissement de téléconnexions sur l'océan Pacifique. Au niveau de l'océan Atlantique, les conclusions sont moins franches mais il semble que les téléconnexions soient plus nombreuses en phase La Niña de l'ENSO. Cependant, la position géographique des anomalies de fonction de courant n'est pas aussi stationnaire que sur l'océan Pacifique. Cette analyse trimestrielle présente donc des limites : les champs d'anomalies

se retrouvent parfois très lissés en cas de structures de signes opposés d'un mois à l'autre et le risque de perte du signal identifiant des téléconnexions est donc relativement important.

Une étude plus poussée des hivers mois par mois est alors réalisée. Pour l'océan Pacifique, celle-ci confirme que les situations ENSO neutres ne sont pas du tout favorables à la présence de téléconnexions. Cependant, l'apparition de téléconnexions n'est pas systématique en phases intenses de l'ENSO. Par contre, les tests statistiques du khiz réalisés sur la dépendance entre la phase de l'ENSO et la présence de téléconnexions sur l'Atlantique ne permettent pas de conclure à un lien entre ces deux paramètres. Il semble alors intéressant d'étudier les anomalies de surface de l'océan Atlantique qui pourraient peut-être jouer un rôle sur les téléconnexions. Cependant les tests sur la dépendance entre les anomalies de température de surface de la mer sur l'Atlantique tropical et la présence de téléconnexions sur l'Europe et l'Atlantique ne permettent pas d'apporter de conclusions fiables car la taille de l'échantillon est trop faible.

Le diagnostic des téléconnexions réalisé précédemment est fait de manière subjective en analysant visuellement des cartes d'anomalies de fonction de courant. Le but serait de le rendre plus objectif. Pour ce faire, nous avons imaginé de créer des cartes de référence représentatives des situations El Niño et La Niña. Ces cartes de référence représentent la moyenne des champs de potentiel de vitesse et de fonction de courant pour les épisodes ENSO en phases positives ou négatives assez marquées, sur l'ensemble de la période 1981/2012. Le but est de calculer la distance euclidienne entre les champs d'anomalies de fonction de courant et de potentiel de vitesse d'un mois quelconque et ces cartes de référence. S'il existe un lien entre les distances et la présence de téléconnexions ces distances calculées nous serviraient d'indices pour aider au diagnostic des téléconnexions. Cependant les résultats obtenus n'ont pas permis d'établir de lien entre les distances et la présence de téléconnexions, à la fois sur l'océan Pacifique et sur l'océan Atlantique. La présence de téléconnexions améliore la prévisibilité aux moyennes lati-

tudes. Nous pouvons donc imaginer que lorsque des mois ont bénéficié d'une bonne prévisibilité, des téléconnexions ont été observées. Afin d'identifier ces périodes, le calcul de la corrélation entre situation prévue et situation observée est envisageable. La prévisibilité est abordée dans la suite par l'étude de la corrélation entre la prévision du modèle ARPEGE et la réanalyse ERA-interim sur la période d'étude. Elle est déterminée sur le champ de géopotential à 500 hPa moyenné une période d'un mois. Le score final obtenu correspond à la corrélation d'anomalies entre le champ observé et le champ prévu. Ce score est calculé distinctement aux moyennes latitudes sur trois zones : Pacifique, Atlantique et Europe. Des calculs de distance ont été à nouveau réalisés à partir de nouvelles cartes de référence. Ces nouvelles cartes de référence sont réalisées en moyennant les champs de potentiel de vitesse ou de fonction de courant des situations avec un ENSO positif ou négatif marqué lorsque la corrélation déterminée ci-dessus est importante. Les résultats obtenus n'en ont malheureusement pas été améliorés.

5 - Conclusion

La variabilité du climat des régions tempérées est en partie modulée par les phénomènes qui se produisent aux latitudes tropicales, mais il est certain que d'autres influences extra-tropicales jouent également un rôle important dans la variabilité des climats tempérés. L'anomalie de température de l'océan tropical n'est pas le seul paramètre influençant l'établissement de téléconnexions. Ainsi, il semblerait, par exemple, que le signal de l'ENSO soit relayé aux moyennes latitudes par la stratosphère.

Les champs de potentiel de vitesse et de fonction de courant en haute troposphère sont assez bien adaptés pour le suivi des téléconnexions, mais leur diagnostic est déterminé de façon subjective à partir de moyennes trimestrielles ou mensuelles. Ainsi, il a été montré que les conditions ENSO neutres sont clairement défavorables aux téléconnexions sur le Pacifique. Celles-ci sont régulièrement observées en phase El Niño mais aussi en phase La Niña. Cependant, un épisode marqué El Niño ou la Niña n'est pas forcément associé à des téléconnexions. En ce qui concerne l'océan

Atlantique tropical, son rôle n'est sûrement pas négligeable dans la formation de téléconnexions influençant l'Europe, mais les tests statistiques réalisés dans cette étude n'ont pas permis de le mettre en évidence.

D'une part, l'étude de téléconnexions au moyen de tests statistiques s'est heurtée à plusieurs reprises à la taille de l'échantillon trop réduite et d'autre part le calcul de moyennes trimestrielles a tendance à lisser les champs étudiés, ce qui masque parfois les téléconnexions quand celles-ci ont une position géographique sensiblement variable. On pourrait donc envisager de réaliser un suivi des objets à étudier pour éviter les pertes d'informations liées à l'effet de moyenne, ou encore d'utiliser une approche en régimes de circulation basés sur les champs de potentiel de vitesse et de fonction de courant.

Bibliographie

Gill, A. E., 1980. *Some simple solutions for heat-induced tropical circulation*, Q. J. Roy. Met. Soc., 106, pp. 447-462.
Lau, Ka-Ming, Lim, Hock (1984). *On the Dynamics of Equatorial Forcing of Climate Teleconnections*. J. Atmos. Sci., 41-2, pp.161-176.

* Ce projet de fin d'étude était encadré par Christian Viel et Jean-Pierre Céron.