

TENDANCE SAISONNIÈRE - HIVER 2024

Évaluation finale - Décembre 2023



Baptiste B.

Décembre 2023

SCIENCE – PRÉVISIONS À LONG TERME

TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION.....	4
➤	1.1. Préface.....	4
➤	1.2. Méthodologie.....	6
➤	1.3. Limites méthodologiques.....	7
2.	INDICES.....	8
➤	2.1. NAO/AO - Évolution de la température.....	8
➤	2.2. Enneigement en Eurasie.....	9
➤	2.3. Activité solaire.....	11
➤	2.4. SST Atlantique Nord.....	13
➤	2.5. TNA.....	16
➤	2.6. QBO.....	18
➤	2.7. PDO.....	19
➤	2.9. ENSO, SOI, IOD.....	20
➤	2.10. PNA.....	24
➤	2.11. Glace Arctique.....	25
➤	2.12. Stratosphère.....	26
➤	2.13. Thermosphère.....	27
➤	2.14. Vortex Polaire Troposphérique.....	28
➤	2.15. Modèles.....	28
➤	2.16. Analogues.....	29
3.	SYNTHÈSE.....	30
➤	3.1. Synthèse des indices.....	30
➤	3.2. Tendances mensuelles.....	40
4.	ANNEXES.....	46
➤	4.1. Indices.....	46
➤	4.2. Bibliographie.....	49

Avant-Propos

Les tendances saisonnières sont une science complexe ayant émergé il y a peu et dont la fiabilité n'excède généralement pas 60%. Il existe divers moyens d'établir une tendance saisonnière : par la modélisation, les indices, ou les analogies, la première méthode étant la plus répandue aujourd'hui et faisant l'objet de recherches actives. La seconde méthode se veut plus ouverte en mixant modélisation et analogie, afin de conserver la rigueur scientifique, mais peut faire l'objet de critiques en raison du réchauffement rapide du climat bouleversant ce qui était autrefois établi, pouvant de facto dégrader l'efficacité de l'usage des analogies.

Les tendances saisonnières purement analogiques sont peu répandues, mais se basent généralement sur un ensemble de cycles, de comparaisons avec des situations antérieures et de surcroît sur certaines lois statistiques. Cette méthode est également affectée par le réchauffement climatique qui contribue vivement à en dégrader la pertinence.

Les discussions autour de la modélisation saisonnière sont actives au sein de la communauté scientifique et certains points font encore débat, ce qui peut affecter les tendances saisonnières se basant en partie ou en totalité sur l'état des connaissances scientifiques.

La présente tendance s'appuie sur la méthodologie décrite comme mixant modélisations, connaissances scientifiques et analogies et peut présenter des inexactitudes ou points d'incertitudes. En outre, la fiabilité n'excède pas 60%, il convient donc de prendre les prévisions avec prudence.

1. INTRODUCTION

1.1. Préface

L'automne a été marqué par des conditions globalement chaudes et sèches jusqu'à mi-octobre. La sécheresse a été prédominante, dans la continuité des saisons précédentes, avec un déficit pluviométrique significatif de l'ordre de -20% en Septembre et une absence totale de pluie en Octobre jusqu'à la moitié du mois. À la mi-octobre, une rupture fracassante avec le schéma observé depuis des mois s'est produit avec le retour du rail dépressionnaire atlantique sur l'Europe, accompagné de précipitations abondantes, se poursuivant encore à la mi-novembre, sans signe de fin prochaine. Les précipitations ont été abondantes et plusieurs records ont été battus, provoquant des inondations parfois très importantes, notamment sur le nord du pays, mais aussi sur le sud-ouest avec des cumuls de précipitations dépassant 300 mm entre mi-octobre et mi-novembre. Partout sur le pays, excepté sur le littoral méditerranéen, la pluie a été abondante depuis la seconde partie de l'automne.

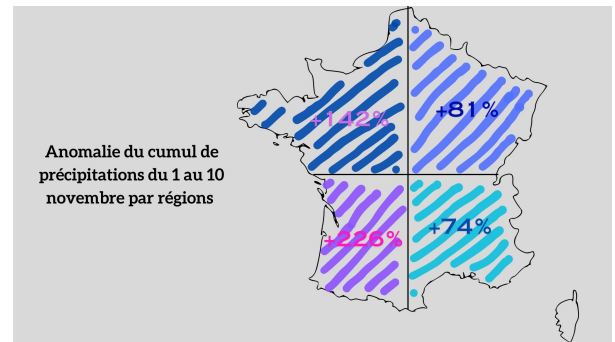


(Fig.1 - Résumé de l'automne)

Globalement, les tendances émises en Août pour la période Septembre-Octobre-Novembre se sont plutôt bien vérifiées, notamment au niveau synoptique. La synoptique attendue en Septembre a été très proche de ce qui a été observé avec une dominante anticyclonique sèche et des dépressions repoussées sur le Royaume-Uni. Malgré cela, les températures se sont révélées beaucoup plus chaudes qu'anticipé avec un excédent de +3.8°C par rapport à 1981-2010 contre +0.5 à +1°C attendus. Les précipitations se sont révélées moins présentes qu'attendu.

La première partie du mois d'Octobre a été très chaude et sèche, avec là aussi un excédent plus important qu'envisagé atteignant +3°C sur le mois, contre +0.5 à +1.5°C envisagés. La première partie du mois s'est correctement vérifiée, mais la seconde

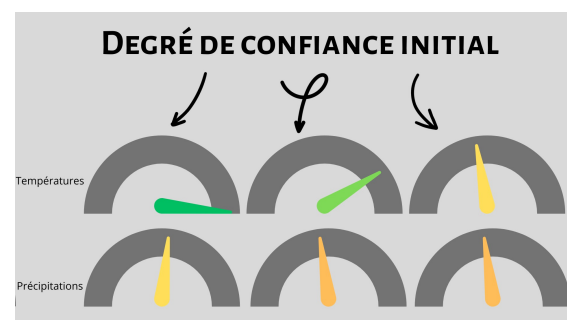
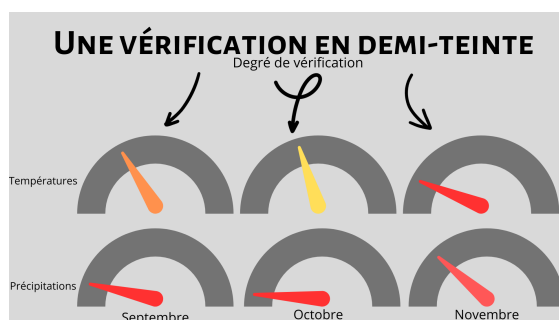
partie beaucoup moins. Néanmoins, une alternance entre des périodes plus sèches et des périodes plus humides étaient mentionnées dans la prévision, ce qui limite l'erreur. Le rail dépressionnaire prévu pour Novembre est arrivé une quinzaine de jours plus tôt que ce qui était prévu, ce qui fait partie des aléas des tendances saisonnières. Dans l'ensemble, la synoptique s'est moins bien vérifiée qu'en Septembre avec un rail dépressionnaire en moyenne plus bas qu'envisagé. Les précipitations ont été plus importantes qu'envisagé. En Novembre, le contexte dépressionnaire s'est bien mis en place avec un imposant rail dépressionnaire au début du mois et des précipitations très excédentaires sur l'ensemble du pays, accompagné de températures proches des normales, affichant +1.5°C d'excédent sur l'ensemble du mois. La pluviométrie a été plus importante que prévu et les températures ont présenté un excédent nettement supérieur aux attentes. Le rail dépressionnaire a dominé une bonne partie du mois, mais le régime de dorsales atlantique a été moins dominant qu'attendu, ne se manifestant qu'à la fin du mois.



(Fig.2 - Anomalie du cumul de précipitations lors de la première décennie de Novembre)

Globalement, l'automne a présenté un excédent de +2.7°C, contre +0.2 à +1°C envisagé, et un excédent pluviométrique de 50% contre -10 à +10% envisagé. Le signal doux a été correctement appréhendé bien que sous évalué, tandis que les précipitations ont été mal prévues, tout en rappelant que la fiabilité concernant ce paramètre était jugée médiocre pour les 3 mois d'automne.

Enfin, les modélisations personnelles se sont révélées décevantes avec des températures projetées comme étant proches des normales en septembre-octobre et douces en novembre, le contraire a été observé. L'écart-type était néanmoins élevé et les premiers runs montraient la douceur.



(Fig.3 - Vérification - NB: degré de confiance dans la nature de l'anomalie et non dans sa valeur)

1. INTRODUCTION

1.2. Méthodologie

La tendance repose sur deux principes fondamentaux, incluant rigueur scientifique et fiabilité. La prévision se veut la plus précise et la plus fiable possible tout en restant dans les limites des connaissances scientifiques actuelles (state-of-art) dans le domaine de la tendance saisonnière en pleine émergence, garantissant ainsi une rigueur absolue. À cet effet, les références bibliographiques servant d'appui à la prévision sont affichées dans la section *Annexes, Bibliographie*. Ces dernières seront citées autant que nécessaire, avec le numéro associé à l'étude entre parenthèses.

La tendance est établie à l'échelle Euro-Atlantique (combinant Europe et Atlantique Nord) ainsi qu'à l'échelle nationale de la France, accompagnée de l'état des connaissances scientifiques pouvant valider ou invalider la prévision. De plus, une carte de l'anomalie des géopotentiels à 500 hectopascals pour le mois sélectionné est produite à partir de la moyenne totale de la résultante synoptique de chaque indice, permettant une approche davantage quantitative et visuelle à une échelle plus vaste, afin d'affiner l'interprétation de la tendance à l'échelle régionale.

La tendance se base de surcroît sur 14 indices différents, décrits dans la section *Annexes, Indices*, accompagnés de modélisations et d'études afin de fournir un support rigoureux à l'interprétation. Le scénario le plus probable est toujours retenu.

1. INTRODUCTION

1.3. Limites méthodologiques

La méthode décrite dans la sous-partie 1.2. *Méthodologie* présente diverses limites en raison du chaos de l'atmosphère mais aussi du réchauffement climatique pouvant bouleverser en partie ou totalement certains indices. Voici 3 limites majeures de la présente méthodologie ;

- Le regroupement des indices permet de dégager une tendance globale, mais ne permet pas d'assurer que le réchauffement climatique ne perturbera pas en partie ou en totalité ses derniers.
- La tendance dégagée à l'échelle mensuelle est globale. Les épisodes de douceur ou de fraîcheur ne sauraient être prévus avec exactitude, pouvant fausser en partie ou totalement la tendance.
- Le caractère chaotique de l'atmosphère peut contribuer à fausser en partie ou totalement la tendance, en induisant notamment une forte incertitude ou des signaux non probants dans les conclusions.

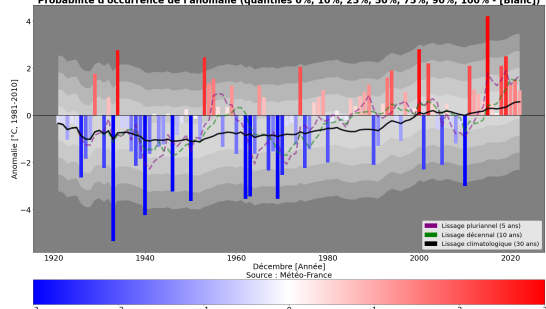
Il convient donc de rester prudent face aux présentes tendances qui ne sont que des tendances globales, et pas précises au jour près, ainsi, des erreurs sont possibles. Il faut garder en tête que ce domaine en est encore à ses balbutiements et que la marge d'erreur reste élevée.

2. INDICES

2.1. NAO/AO - Évolution de la température

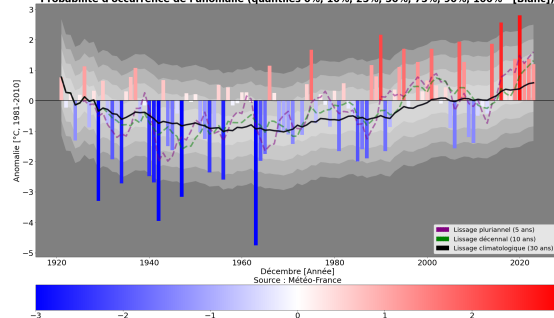
Les hivers se réchauffent de plus en plus depuis plusieurs années. Le dernier hiver froid remonte à 2013 et la probabilité d'en observer un à nouveau décroît d'année en année. En particulier, le mois de décembre est le mois s'étant le plus réchauffé avec une série inégalée de 11 années consécutives plus douces que la normale, alors que janvier et février notamment conservent plus de variabilité. Le début de l'hiver ressemble de plus en plus à une prolongation de l'automne. Le mois de janvier conserve une certaine variabilité mais le dernier mois de janvier vraiment froid remonte à 2017, tandis que les mois de février sont doux depuis 2019. Dans l'ensemble, il est plus probable qu'improbable d'observer un hiver doux.

Évolution de l'anomalie mensuelle de la température en France métropolitaine en Décembre depuis 1921
Lissage pluriannuel, décennal et climatique
Probabilité d'occurrence de l'anomalie (quantiles 0%, 10%, 25%, 50%, 75%, 90%, 100% - [Blanc])



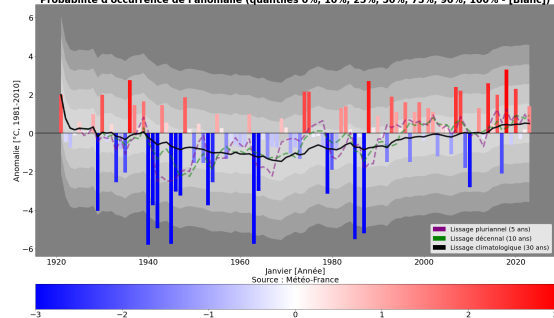
(Fig.4 - Évolution de l'anomalie de la température en France Métropolitaine depuis 1921 en Décembre - base 81/10)

Évolution de l'anomalie mensuelle de la température en France métropolitaine en Hiver depuis 1921
Lissage pluriannuel, décennal et climatique
Probabilité d'occurrence de l'anomalie (quantiles 0%, 10%, 25%, 50%, 75%, 90%, 100% - [Blanc])

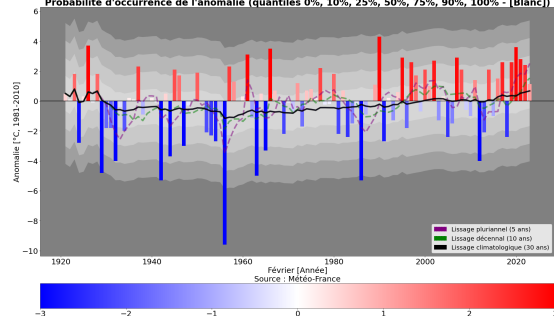


(Fig.5 - Évolution de l'anomalie de la température en France Métropolitaine depuis 1921 en Hiver (DJF) - base 1981-2010)

Évolution de l'anomalie mensuelle de la température en France métropolitaine en Janvier depuis 1921
Lissage pluriannuel, décennal et climatique
Probabilité d'occurrence de l'anomalie (quantiles 0%, 10%, 25%, 50%, 75%, 90%, 100% - [Blanc])



Évolution de l'anomalie mensuelle de la température en France métropolitaine en Février depuis 1921
Lissage pluriannuel, décennal et climatique
Probabilité d'occurrence de l'anomalie (quantiles 0%, 10%, 25%, 50%, 75%, 90%, 100% - [Blanc])



(Fig.6 et 7 - Évolution de l'anomalie de la température depuis 1921 en Janvier, Février - base 1981-2010)

2. INDICES

2.2. Enneigement Eurasien

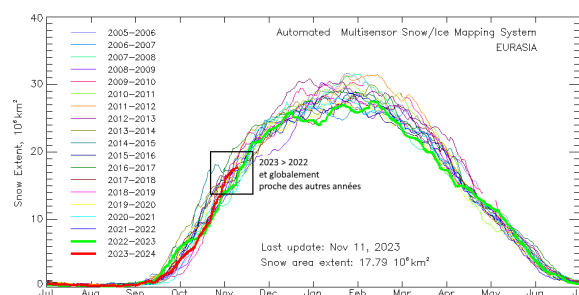
L'enneigement eurasien est légèrement plus élevé que d'habitude, selon les relevés hebdomadaires de la NOAA. Certaines études sont parvenues à lier l'enneigement eurasien à l'état du vortex polaire en fin d'hiver (1, 2), tandis que d'autres présentent des résultats plus mitigés voire non probants (3).

D'autres études vont plus loin en suggérant un rôle de l'englacement arctique ou de la température arctique interagissant avec l'enneigement eurasien (4, 5). La première étude, très récente, explore au travers de modélisations du 20ème siècle le rôle de l'enneigement dans l'évolution du Vortex Polaire Stratosphérique (VPS) au cours de l'hiver, et conclut que des mécanismes physiques existent et sont connectés entre eux, tandis que l'étude de Garfinkel et al. (3) est plus mitigée et présente des résultats moins probants, mais les auteurs concluent néanmoins que le mécanisme conduisant à l'interaction entre l'enneigement eurasien en fin d'automne et l'évolution du vortex polaire stratosphérique lors de l'hiver suivant est probablement réel.

Les études de Zhang et Martin (4, 5) avancent la possibilité d'une interaction de l'arctique réduisant ou amplifiant la réponse atmosphérique. L'étude de Zhang et al. (4) avance que la réduction de l'englacement arctique en automne pourrait amplifier la réponse à l'enneigement eurasien tandis que celle de Martin et al. (5) explore le rôle entre l'amplification arctique et le lien entre l'enneigement

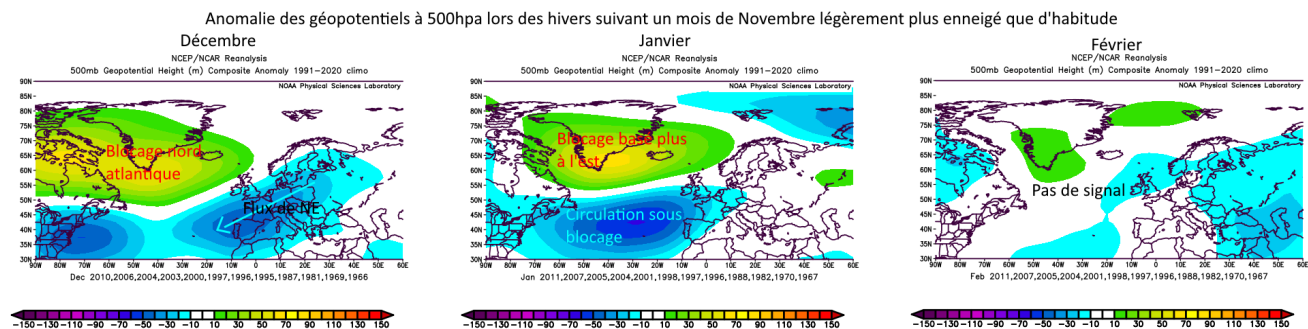
eurasien avec la NAO, concluant un effet renforcé pendant les phases chaudes.

L'enneigement actuel est supérieur à l'année dernière et plus globalement excédentaire. Dans l'ensemble, le mois de Novembre devrait afficher des conditions d'enneigement proche des norme à légèrement excédentaire.



(Fig.8 - État de l'Enneigement en Eurasie à la fin de la première décennie de Novembre)

L'état actuel de l'enneigement semble aller en faveur d'un début d'hiver dominé par des blocages nord-atlantique (notamment en Décembre et Janvier), tandis que tout signal disparaît en Février.

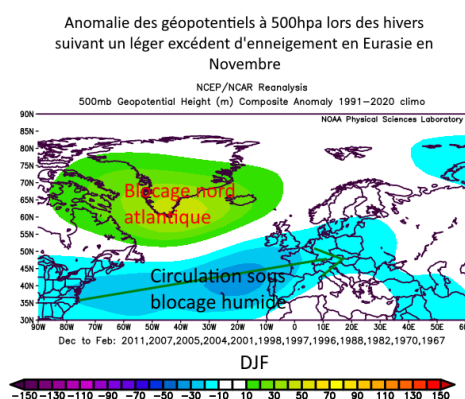


(Fig.9 - Régime atmosphérique dominant après un mois de Novembre légèrement plus enneigé que d'habitude en Eurasie)

Néanmoins, ces résultats sont à prendre avec prudence. Une telle réponse pourrait provenir d'un schéma propice à un affaiblissement précoce du Vortex Polaire Stratosphérique (VPS) en Novembre, se répercutant en Décembre, un mécanisme que certaines études mentionnées plus tôt ont également mises en avant pour expliquer la relation contestée entre l'enneigement eurasien et l'hiver européen suivant. De surcroît, le réchauffement climatique de plus en plus ancré et particulièrement fort cette année pourrait perturber les mécanismes physiques autrefois observés.

La fig.9 indique que le mois de Décembre, sur la base de l'enneigement Eurasien, pourrait se révéler plutôt froid en Europe, avec un blocage Nord-Atlantique robuste et un flux orienté Nord-Est sur l'Europe Occidentale, tandis que Janvier serait plus contrasté avec l'établissement d'une nette circulation sous blocage accompagnée d'un décalage vers l'est du blocage, mais l'impact sur le temps sensible en Europe n'est pas clair. La ceinture dépressionnaire se situe relativement haute en latitude sur l'Europe Occidentale, contribuant à un temps doux et humide dominant. Un décalage imperceptible à ces échelles

de temps vers le sud ou le nord peut conduire à d'importants décalages. Par conséquent, l'impact de l'enneigement sur le mois de Janvier en Europe n'est pas clair dans le cas présent, sur la base des analogies. Nous retrouvons des mois de Janvier doux comme froid dans les présentes analogies. Enfin, Février ne présente aucun signal. Dans l'ensemble, l'hiver est marqué par un régime NAO- dominant et un signal notable d'humidité.



(Fig.10 - Régime atmosphérique dominant en Hiver après un mois de Novembre légèrement plus enneigé que d'habitude en Eurasie)

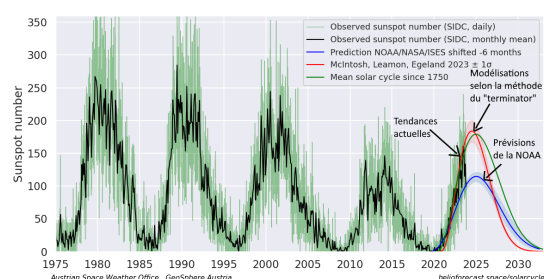
2. INDICES

2.3. Activité solaire

L'Activité solaire est en hausse depuis décembre 2019, mois du paroxysme du minimum du cycle 24. Les prévisions actuelles font état d'un maximum solaire plus fort que le précédent, légèrement en-deçà de 200 taches solaires, alors que les prévisions initiales envisageaient un maximum proche du dernier à légèrement plus faible (*fig.11*).

Les implications de l'activité solaire sur le climat et l'évolution de la météo saisonnière font encore l'objet de débats et de controverses actives dans la communauté scientifique, alors que le réchauffement climatique diminue l'influence de la variabilité naturelle associée au soleil sur la planète. Certaines études ne trouvent qu'un lien marginal entre l'activité solaire et l'atmosphère (6, 7, 8), tandis que d'autres établissent une relation claire entre les deux, notamment en hiver (9, 10, 11, 12, 13, 14).

Les dernières études pointent un mécanisme de "top-down" (comprendre propagation des anomalies de la stratosphère vers la troposphère) pour expliquer les liens de causalités parfois trouvés entre l'activité solaire et la NAO, avec un décalage de quelques années.



(Fig.11 - Comparaison entre les prévisions de la NOAA et la trajectoire actuelle du cycle solaire 25 - Heliocast)

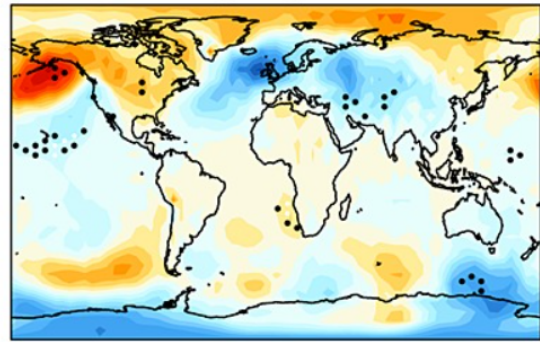
Cependant, les mécanismes et le rôle du réchauffement climatique sont encore mal compris. Certaines études vont même plus loin en suggérant que l'activité solaire pourrait influencer la circulation de renversement thermohaline de l'Atlantique Nord (15, 16, 17) ou que le QBO pourrait moduler la réponse atmosphérique de l'Activité Solaire en fonction de la phase de ce dernier (18, 19, 20, 21). Ces hypothèses ont cependant fait l'objet de critiques (22).

De récentes études confirment cependant un rôle de l'activité solaire via la stratosphère. Une étude particulièrement complète datant de 2013 (4) a réussi à reproduire dans un modèle de pointe le signal solaire observé, conférant un appui à l'hypothèse d'un effet de l'activité solaire sur le climat.

Il convient cependant de noter que le réchauffement climatique contribue à dégrader les signaux en provenance de l'activité solaire, en renforçant notamment la force des anticyclones subtropicaux, ce qui peut fausser ou amoindrir les résultats des présentes études et/ou des analogies.

Le pic de l'activité solaire du cycle 24 ayant eu lieu début 2013, l'hiver 2023/2024 sera marqué par la transition entre le lag+10 et +11, favorisant un hiver globalement doux et humide avec un rail dépressionnaire rejeté vers le nord. La phase descendante du cycle solaire 25 devrait commencer à l'été 2025, favorisant une série d'hivers plus doux. À contrario des années précédentes où la montée en puissance du cycle solaire favorisait des hivers plutôt froids marqués des blocages nordiques récurrents, qui ne se sont pas matérialisés outre mesure, l'arrivée du pic dans quelques mois contribuera à favoriser un hiver plutôt doux et humide, selon l'étude de Gray et al. (9).

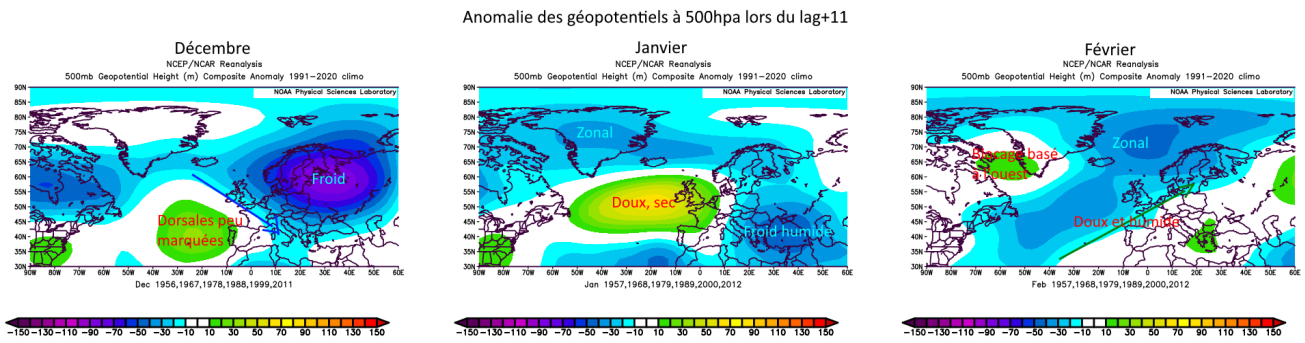
Lag 11-year



(Fig.12 - Anomalie des géopotentiels à 500hpa lors de l'approche du pic d'activité du cycle solaire de 11 ans)

La présence d'un complexe dépressionnaire sur les Îles Britanniques montre un risque accru de précipitations abondantes pouvant donner lieu à des inondations.

Mois par mois, les analogies lors du lag+11, proche des résultats de la recherche de Gray et al. soulignent un temps globalement perturbé, alternant entre froid, douceur et humidité au cours de l'hiver. Le mois de décembre apparaît comme le seul mois relativement ouvert au froid avec de faibles dorsales atlantiques accompagnées d'un bloc dépressionnaire plutôt froid en Russie, dont l'influence tend à déborder sur l'Europe Occidentale. Janvier se distingue pour ses conditions douces et sèches sous zonal repoussé loin au nord, tandis que février apparaît plutôt doux et humide avec un rail dépressionnaire orienté sud-ouest -> nord-est.



(Fig.13 - Anomalie des géopotentiels à 500hpa lors du lag+11)

2. INDICES

2.4. SST Atlantique Nord

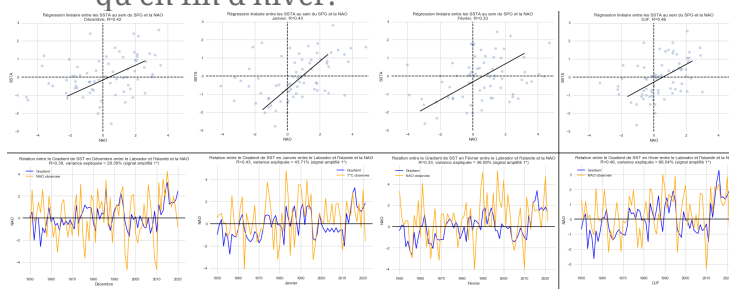
Le rôle de l’océan Atlantique dans la variabilité naturelle de l’Europe est important. L’océan agit comme un “mémorisateur” de l’atmosphère, en étant d’abord forcé par l’atmosphère puis forçant l’atmosphère en retour (mémoire océanique).

De nombreuses études ont été en mesure d’établir un lien entre les conditions océaniques de l’Atlantique Nord et la NAO hivernale (23, 24, 25, 26, 27). 2010 a été un exemple particulièrement marquant de l’impact de l’océan sur l’atmosphère, avec une NAO- record lors de l’hiver 2009/2010 ayant brutalement affaibli l’AMOC de 30% (26), ce qui a conduit à un état océanique extrême de type tripolaire chaud-froid-chaud, qui a réémergé lors de la fin de l’automne 2010 et le début de l’hiver 2011, poussant la NAO dans un état négatif record associé à un mois de Décembre extrêmement froid et historiquement neigeux en Europe. Le Royaume-Uni a

été particulièrement impacté (28, 29, 30). Ce cas a été un tournant dans la compréhension du rôle de l’océan atlantique sur l’atmosphère. L’inverse est également vrai avec le cas de Décembre 2015, durant lequel une anomalie froide record a émergé dans le Gyre Subpolaire Nord-Atlantique, conduisant à un renforcement du gradient de température entre les latitudes moyennes et les hautes latitudes, résultant en une douceur historique en Europe. Ces 2 exemples confortent amplement l’étude de Årthun et al (23). Årthun et al. ont étudié les différents modes de l’océan atlantique, concluant que chaque pattern

d'anomalies de SST possède une réponse atmosphérique unique et très variable (23). Une étude de Cassou (25) va plus loin en concluant que la TNA pourrait influencer la NAO et jouer un rôle non négligeable sur cette dernière. Enfin, il conclut que le mode de l'océan en fin d'été/début d'automne peut avoir une influence significative sur la NAO hivernale.

En hiver, la réponse de l'atmosphère à l'océan est la plus forte en Décembre, au début de l'hiver, puis s'estompe progressivement jusqu'à quasiment disparaître en Février. Cela s'explique par le fait que les anomalies océaniques (ou le schéma tripolaire) sont plus marquées en début d'hiver qu'en fin d'hiver.



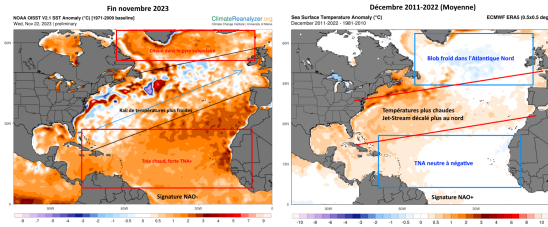
(Fig.14 - Sensibilité de l'atmosphère à l'océan en hiver)

Ces derniers mois, nous avons observé la persistance d'une anomalie chaude sans précédent dans l'Atlantique et plus globalement dans les océans du monde entier comme cela a été discuté dans la précédente tendance couvrant l'automne 2023. L'état sans précédent de l'océan rend plus incertaine la réponse atmosphérique, mais pourrait augmenter les extrêmes. Nous avons observé une séquence pluvieuse exceptionnelle entre mi-octobre et mi-novembre en Europe Occidentale

avec de nombreux records pluviométriques battus, probablement accentués par la chaleur de l'océan permettant plus d'évaporation et donc plus de précipitations de se former au passage d'un air plus froid ou instable. Au cours de l'automne, nous avons également observé des records de chaleurs à travers l'Europe, dans un contexte de SST Atlantiques historiquement chaudes. L'impact que la persistance de ces conditions dans les prochains mois pourrait avoir sur la circulation atmosphérique est plus compliquée à déterminer que d'habitude en raison de ce caractère sans précédent.

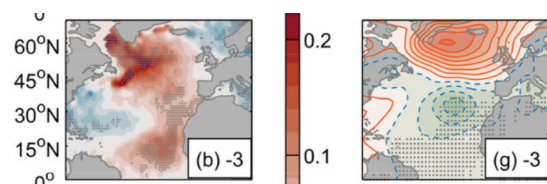
Depuis quelques jours, nous observons la mise en place d'un tripôle peu marqué chaud-froid-chaud dans les anomalies de température à la surface de l'océan de l'Atlantique Nord. L'émergence d'un tel tripôle en début d'hiver est généralement associée à des conditions plus froides en Europe. Au cours des 12 dernières années, nous avons observé une anomalie froide persistante au sud du Groenland en début d'hiver, vers l'Islande, et cela a coïncidé avec des conditions douces et humides en Europe. La récurrence excessive d'un régime zonal au cours des 12 dernières années (2011-2022) en Décembre pourrait être partiellement lié à cette anomalie froide au large de l'Islande forçant un jet-stream plus fort du fait du différentiel de température entre l'air plus chaud aux latitudes subtropicales et l'air plus froid aux latitudes polaires. La mise en place d'un tripôle, bien que faible pour le

moment, marque une nette rupture avec les années précédentes dominées par un schéma froid-chaud-froid dans l'Atlantique.



(Fig.15 - Comparaison entre l'anomalie de SST à la fin novembre 2023 et la moyenne des mois de décembre 2011-2022)

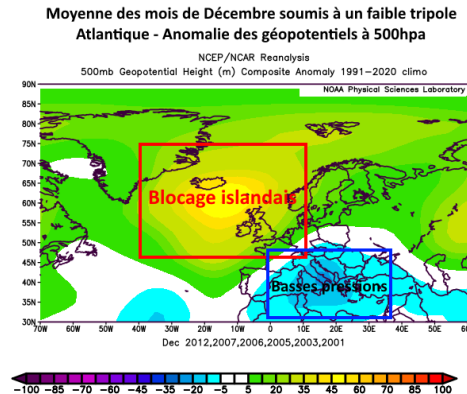
Pour retrouver une telle configuration océanique en début d'hiver, il faut remonter à la décennie 2000-2010 ayant été marquée par des débuts d'hiver plutôt froids de manière récurrente. L'étude de Arkun et al. (25) a étudié ce schéma d'anomalies océaniques et nous renseigne un peu plus sur ce que cela peut impliquer. Bien que le tripôle ne soit pas dans une phase pleinement mature mais uniquement au début, cela peut donner des indications quant au régime atmosphérique que cela pourrait favoriser.



(Fig.16 - Réponse atmosphérique observée (droite) à un schéma tripolaire en début de maturation (gauche))

Nous observons une réponse typée NAO- avec la présence d'un blocage anticyclonique notable sur l'Islande débordant sur une vaste partie de l'Atlantique Nord, associé à un rail dépressionnaire plus au sud. Cela

favorise de façon générale des conditions plus froides en Europe mais pas forcément plus humides. Les analogies de configurations similaires pointent également la même chose.



(Fig.17 - Réponse atmosphérique moyenne à un faible tripôle en Décembre)

Les analogies font ressortir des conditions similaires à l'étude de Arkun et al. (25) avec un vaste blocage nord-atlantique débordant sur l'Europe Occidentale et des basses pressions en méditerrané, un contexte plutôt froid et sec. Les modèles saisonniers indiquent que ce faible tripôle pourrait se poursuivre tout au long de l'hiver, ce qui pourrait favoriser la poursuite des conditions hivernales jusqu'en Janvier, tandis que la relation devient statistiquement moins claire en Février. Le signal se dégrade néanmoins à mesure que l'hiver avance. Dans l'ensemble, les SST Atlantiques devraient favoriser un début d'hiver plutôt froid, suivi d'un radoucissement progressif jusqu'en février.

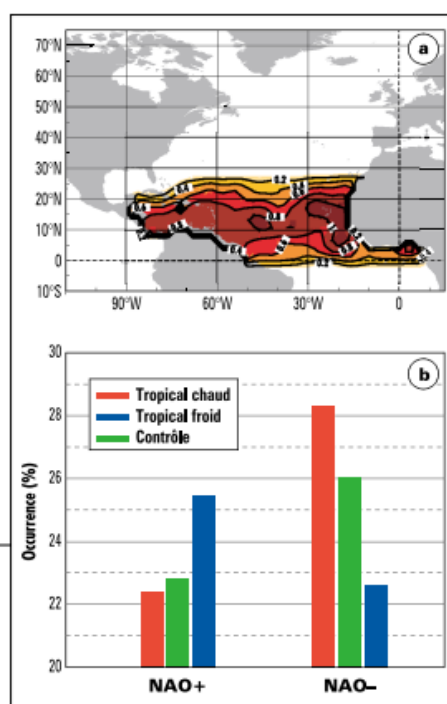
2. INDICES

2.5. TNA

La TNA joue un rôle non négligeable dans la modulation de la NAO (27), en ayant des effets rétroactifs sur l'ensemble de l'Atlantique Nord. Celle-ci est principalement forcée par l'ENSO (25, 26), mais l'inverse également vrai (33, 34). La TNA peut également posséder sa propre variabilité liée à l'AMOC (35). De nombreuses études ont démontré qu'une TNA positive favorise l'émergence d'une NAO négative, et vice-versa, dont une particulièrement complète de Cassou en 2004 (27).

Depuis plusieurs mois, la TNA continue d'être historiquement chaude, comme cela a été abondamment discuté dans la précédente tendance. Ces conditions historiquement chaudes vont persister tout au long de l'hiver. Historiquement, une TNA positive a eu tendance à favoriser la présence plus récurrente de blocages nordiques (circulation NAO-), soutenue par de nombreuses études sur le sujet. Le caractère sans précédent de la situation rend l'évaluation des impacts plus compliquée. La forte TNA+ émerge généralement après l'hiver et non avant l'hiver, à la suite d'un schéma atmosphérique durablement bloqué réduisant les vents d'est sur l'Atlantique subtropical, réchauffant la mer. Cependant, cette année, celle-ci a émergé très tôt avant l'hiver, et persistera dans l'hiver, ce qui ajoute un inconnu supplémentaire à la prévision. L'étude de Cassou et al. (27) a montré que la probabilité d'une NAO- augmente fortement sous régime TNA+. Plus l'anomalie est marquée,

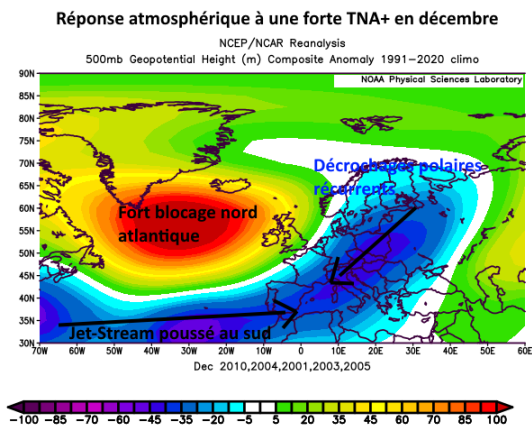
plus la probabilité est élevée.



(Fig.17 - Réponse de l'atmosphère à la TNA)

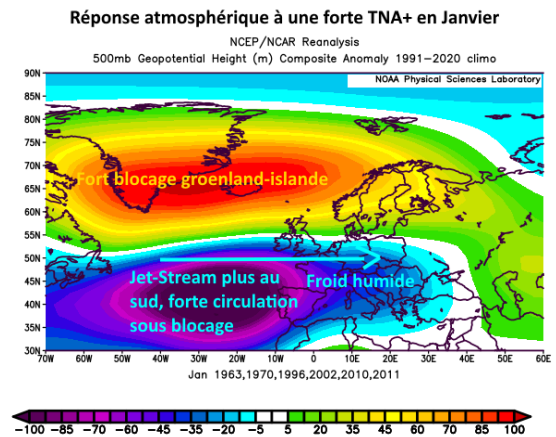
Leur étude se base sur des conditions relativement similaires aux conditions actuelles. Nous pouvons voir que la probabilité d'une NAO- est nettement plus élevée sous TNA+ que la probabilité d'une NAO+ (6% d'écart). Les analogies en relation avec une forte TNA+ durant les hivers sont peu

nombreuses. Après avoir atteint son pic d'anomalie au cours de l'automne, la TNA a un peu diminué mais se situe toujours plutôt proche voir supérieure au record de l'hiver 2010/2011. Une telle configuration pourrait pousser l'atmosphère dans un état particulièrement extrême si d'autres indices sont en phase avec la TNA. 2010, 2004 et 2001 apparaissent en tête de liste comme analogues à décembre 2023 au niveau du présent indice. Ces analogies font ressortir un mois de décembre fortement dominé par la NAO-, un jet-stream poussé plus au sud et des conditions particulièrement hivernales en Europe.



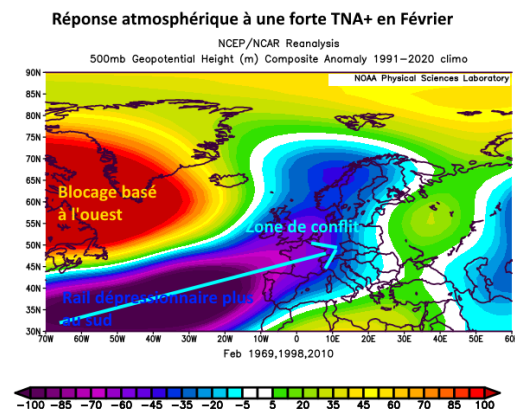
(Fig.18 - Réponse atmosphérique à une forte TNA+ en décembre)

En janvier, 1963, 1970, 1996, 2002, 2010 et 2011 sont en tête de liste des analogies pour avoir présenté les états les plus extrêmes enregistrés de TNA positive. Ces analogies font ressortir une configuration encore plus extrême qu'en décembre avec la présence d'une forte circulation sous blocage propice à des conditions très hivernales en Europe : conflits de masse d'air réguliers, coulées polaires, et blocage nord-atlantique récurrent.



(Fig.19 - Réponse atmosphérique à une forte TNA+ en janvier)

En février, 1969, 1998 et 2010 sont en tête en liste pour avoir présenté les plus fortes conditions de TNA+ observées depuis 1940. Ces mois se sont globalement démarqués pour leur rigueur, notamment en 1969 et 2010 où des conditions très hivernales ont été observées en Europe. Seul 1998 apparaît avec des conditions plus douces. On note un décalage vers l'ouest du blocage par rapport aux mois précédents, ce qui est davantage susceptible d'induire de la douceur en Europe.



(Fig.19 - Réponse atmosphérique à une forte TNA+ en février)

Dans l'ensemble, la TNA devrait favoriser un hiver plutôt rigoureux en Europe, sous réserve des incertitudes liées au caractère sans précédent de la situation.

2. INDICES

2.6. QBO

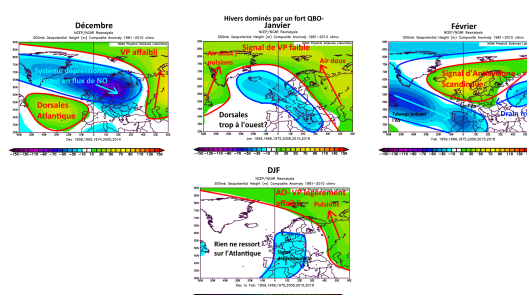
Le QBO, associé à divers facteurs comme l'englacement arctique, l'ENSO ou encore l'Activité Solaire, peut influencer sensiblement le vortex polaire stratosphérique, conduisant à des influences parfois notables en troposphère.

En fonction de l'état de l'ENSO, la réponse atmosphérique au QBO est modulée (36). L'englacement Arctique peut également moduler la réponse au QBO (37). Un faible englacement associé à un QBO+ va avoir tendance à forcer un régime Atlantic Low (doux en Europe), tandis qu'un QBO- associé à une perte de glace arctique va plutôt forcer un régime AO-/NAO- robuste.

L'activité solaire joue également un rôle dans la réponse atmosphérique au QBO (18, 19). Une forte activité solaire associée au QBO+ favorise des réchauffements stratosphériques soudains, tandis que le QBO- tend à renforcer le VPS. L'inverse se produit lors d'une faible activité solaire. La mise en relation de tous ces facteurs permet de déterminer l'influence du QBO sur l'Atlantique Nord.

Nous sommes actuellement à la fin de la phase descendante du QBO- entamée en début d'année. Le QBO+ n'existe quasiment plus à tous les étages et le QBO- devrait atteindre son paroxysme au cours de l'hiver à venir. Associé à d'autres paramètres comme l'ENSO, les SST Atlantiques, le PDO ou encore de potentielles évolutions intra-saisonnières favorables, la

probabilité d'un réchauffement stratosphérique soudain semble plus forte qu'habituellement au cours de l'hiver à venir. Les hivers dominés par un fort QBO- ont tendance à voir un flux de nord-ouest s'établir en décembre, suivi d'un flux plus nordique en janvier puis un anticyclone scandinave en fin d'hiver délivrant des conditions plus froides en Europe. Dans l'ensemble, le QBO- seul semble favoriser un hiver en demi-teinte plus doux au début et plus froid à la fin. L'implication des autres facteurs dans le présent indice sera discutée dans les sections dédiées.



(Fig.20 - Réponse atmosphérique moyenne à un fort QBO- en hiver)

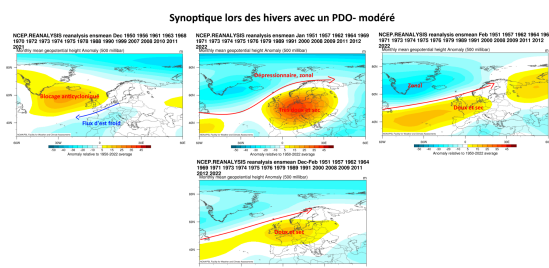
2. INDICES

2.7. PDO

Le PDO est une oscillation décennale de l’océan pacifique agissant de concert avec l’ENSO. Le PDO isolé n’a qu’une influence marginale sur l’atlantique nord, mais couplé à l’ENSO, celui-ci exerce davantage d’influence (38, 39, 40). Le blob chaud du pacifique jouxtant le PDO peut également contribuer à exercer une influence sur la NAO (41). Le PDO est étroitement lié à la PNA. Ainsi, un PDO positif tend à forcer une PNA positive, et vice-versa. L’ENSO peut néanmoins nuancer ce constat (38, 42) en amplifiant le forçage du PDO sur la PNA.

Nous sommes actuellement dans une phase négative depuis 2020, ce qui implique l’émergence plus fréquente qu’en conditions nominales d’une PNA négative, augmentant la probabilité d’une NAO+ (43, 44). La fig.21 reflète cela, avec un anticyclone plutôt basé sur l’Atlantique Nord en moyenne dans un schéma respectant globalement une NAO+ vigoureuse. Les mois de Janvier et Février se distinguent par un fort zonal, et un temps doux et sec en Europe, tandis qu’en Décembre, un blocage Nord-Atlantique est observé.

Dans l’ensemble, le PDO- devrait favoriser un hiver plutôt doux et sec, hormis en Décembre, qui pourrait être plus hivernal. Les implications de l’ENSO par rapport au PDO seront discutées plus tard.



(Fig.23 - Synoptique lors des hivers avec un PDO- modéré)

2. INDICES

2.9. ENSO, SOI, IOD

L'ENSO, connu pour ces influences mondiales, agit en association avec le PDO, et peut exercer une influence sur l'IOD. Les phases durent entre 9 mois et 3 ans et la récurrence des phénomènes froids et chauds va de 2 à 7 ans.

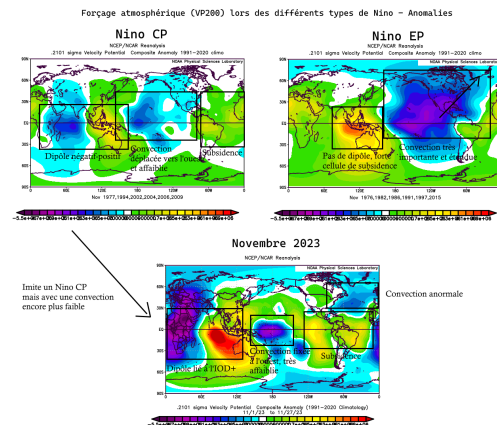
Une phase froide a tendance à renforcer le VPS tandis qu'une phase chaude l'affaiblit (48). Couplé au PDO, l'influence se renforce (38, 39, 40). Le QBO module également la réponse comme cela a déjà été mentionné plus tôt (36), tandis que l'IOD peut contribuer à renforcer les effets. L'IOD a un effet palpable sur la circulation Nord-Atlantique quand celui-ci est dans une phase forte (49). Il a notamment accentué de façon majeure la prévisibilité de l'hiver 2019/2020.

Nous sommes récemment entrés dans un nouvel épisode El Nino. Mais au cours des derniers mois, la réponse atmosphérique à l'événement a été très affaiblie par rapport aux événements précédents de même type. L'atmosphère s'est comportée comme si un Nino de faible amplitude était en émergence plutôt qu'un Nino fort. La persistance de conditions très chaudes dans les océans et plus particulièrement à l'ouest de l'ENSO est suspecté d'affaiblir et de décaler la réponse atmosphérique à El Nino vers l'ouest, la faisant davantage ressembler à un événement de type CP que EP fort favorisant d'habitude des hivers plutôt doux et humides en Europe. Ces caractéristiques inhabituelles ont été

largement discutées dans la tendance de l'automne. Au cours du mois de novembre, le couplage avec l'atmosphère s'est révélé davantage présent avec une diminution des alizées, un réchauffement de la mer dépassant +2°C, un fort IOD et un SOI modérément négatif. Néanmoins, le couplage atmosphérique s'est révélé toujours plus faible que ce à quoi on pourrait s'attendre. Au niveau de la vitesse potentielle, premier marqueur de l'influence de l'ENSO sur l'atmosphère, aucun renforcement du couplage n'a été constaté en Novembre avec la poursuite de l'ancrage vers l'ouest de la cellule de convection principale et des cellules de subsidence sur l'est du Nino. L'influence ne semble pas s'être étendue au-delà de la seule zone du Pacifique Équatorial. Au cours du mois de Novembre, l'IOD+ très fort a essentiellement dominé les schémas de circulation mondiaux en terme de vitesse potentielle en raison du couplage trop faible entre l'atmosphère et El Nino pour contrecarrer efficacement l'influence de l'IOD. L'IOD est néanmoins en net affaiblissement et son influence destructrice sur la MJO devrait prendre fin d'ici la fin de la première semaine de décembre.

L'impact de l'ENSO sur l'hiver à venir dans l'hémisphère nord demeure incertain en raison du caractère très inhabituel que celui-ci présente. L'ouest du Pacifique Équatorial continue de présenter des conditions inhabituellement chaudes pour un épisode El Nino fort, proche des records dans la zone 4. Cette piscine chaude, persistante depuis plusieurs mois, continue de fixer le forçage atmosphérique plus à l'ouest et de l'affaiblir dans l'ensemble. Les implications de ce Nino hybride sont difficiles à appréhender, mais s'il se comporte davantage comme un Nino CP que comme un Nino EP, nous pourrions nous attendre à des conditions de plus en plus hivernales en seconde partie d'hiver. Par ailleurs, la dissonance entre ce que devrait favoriser un Nino EP fort en début d'hiver (doux et humide) et ce que nous observons (froid généralisé en Europe début décembre) contribue à renforcer ce constat que l'ENSO a une influence amoindrie ou modifiée cet hiver. La faiblesse de ce forçage pourrait permettre plus de flexibilité, avec une alternance entre les phases "Nino" (6-7-8, favorables à des blocages dans l'Atlantique) et "Nina" (1-2-3-4, favorables à du zonal) de la MJO tout au cours de l'hiver, contrairement à ce qui aurait été le cas autrement (la MJO aurait davantage été fixée vers ces phases 6-7-8), ce qui pourrait permettre plus d'alternances sur l'hiver européen. L'affaiblissement de l'IOD et la descente du QBO- vers la basse stratosphère tout au long de l'hiver pourrait contribuer à observer des amplitudes de plus en plus élevées au fil des cycles de la MJO (période 30-60 jours). La fig.24 ci-dessous montre la différence entre la vitesse potentielle attendue pour un événement de type

fort El Nino EP (ce qui est actuellement le cas au niveau des températures de surface dans le Pacifique) et ce que nous observons actuellement.



(Fig.24 - Comparaison entre la réponse atmosphérique à un Nino CP, EP et celle constatée en Novembre 2023)

Nous constatons une réponse typée Nino CP, alors que les conditions de surface indiquent l'inverse. Lors d'un Nino EP, la convection est très étendue dans le Pacifique et sur l'Amérique du Nord, ce qui n'est de toute évidence pas le cas ici. Par ailleurs, nous observons également un dipôle négatif-positif dans l'océan indien, caractéristique des Nino CP. Néanmoins, la convection dans le pacifique équatorial est très limitée, et a une influence bien moindre qu'observée lors d'un Nino CP. Ceci le rend unique. En Novembre 2009, une configuration similaire avait été observée avec une convection se limitant à l'ouest du Pacifique Équatorial sans influence sur le reste du monde, puis s'était élargie en seconde partie d'hiver favorisant des blocages nordiques. Néanmoins, le dipôle négatif-positif n'était pas observé. Par ailleurs, une convection anormale s'est développée dans l'Atlantique en Novembre 2023.

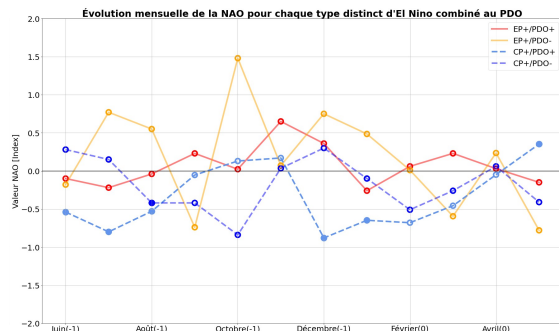
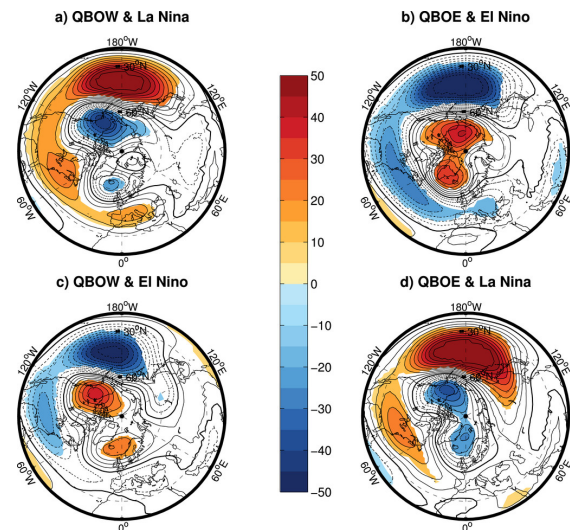


FIG.1. Evolution mensuelle de la NAO pour les hivers EP+/PDO+ (rouge) (1969/1970, 1976/1977, 1982/1983, 1986/1987, 1997/1998, 2015/2016), EP+/PDO- (orange) (1952/1952, 1972/1973), CP+/PDO+ (bleu) (1957/1958, 1958/1959, 1963/1964, 1977/1978, 2002/2003), et CP+/PDO- (bleu) (1953/1954, 1965/1966, 1968/1969, 1994/1995, 2004/2005, 2006/2007, 2009/2010) de Juin(-1) à Mai(0) depuis 1950. Noter que (-1) représente l'année avant la phase mûre d'El Niño, (0) représente l'année durant la phase mûre d'El Niño. Les points remplis représentent un niveau de confiance de 90% avec une déviation standard inférieure à 0.6 points. Analyse basée sur la classification de Yu et al. (2012), Zhiyu et al. (2019), Xiaodan et al. (2021) et Jianwei et al. (2021)

(Fig.25 - Réaction de la NAO en fonction du type de Nino et de PDO)

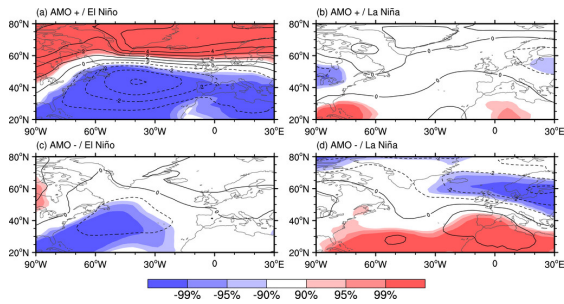
La fig.25 montre que pendant un hiver Nino EP + PDO-, la première partie d'hiver (Décembre + Janvier) est souvent dominée par un régime zonal (NAO+) doux et humide en Europe, tandis que la seconde partie est plus froide (Février + Mars), atteignant un paroxysme en Mars, alors que pendant un Nino CP associé au PDO-, des conditions moins zonales se produisent en Décembre, suivi d'un basculement progressif vers une NAO- atteignant son paroxysme en Février. En supposant que la réponse atmosphérique reste proche d'un Nino CP et qu'elle arrive à imposer son influence, une seconde partie d'hiver davantage marquée par des blocages nordiques semble plus probable que cela n'aurait été le cas autrement. C'est également ce que montrent les modèles saisonniers avec la mise en place d'une NAO- dès Janvier. Par ailleurs, l'absence d'une NAO+ robuste en Décembre 2023 montre que nous tendons davantage vers une réponse CP. Associé au QBO- ayant atteint sa phase mûre il y a peu, les chances d'une seconde partie d'hiver plus froide sont plus élevées. La fig.26 montre les anomalies de géopotentiels à 500hpa lors des différents événements La Nina, El Nino combinés

au QBO-. Nous pouvons y remarquer la prédominance d'un blocage Nord Atlantique lors d'un QBO- couplé à El Nino, qui ressort plus fortement en seconde partie d'hiver.



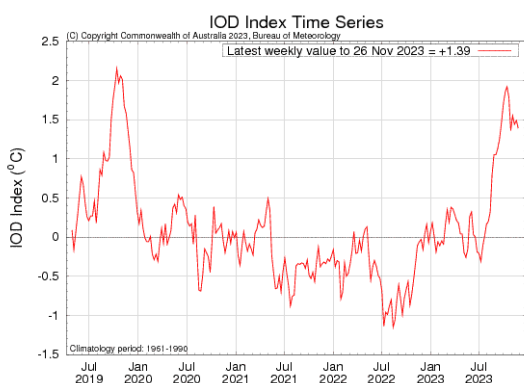
(Fig.26 - Anomalies des géopotentiels à 500hpa en fonction du type d'ENSO + QBO)

Le graphique, tiré de l'étude de Felicitas et al. (36), indique que les hivers dominés par El Nino et QBO- sont plus propices de présenter des perturbations importantes du Vortex Polaire que lors d'un hiver El Nino et QBO+. Dans l'ensemble, le QBO- associé à El Nino devrait favoriser un hiver plutôt froid en Europe, aux États-Unis et en Russie. De surcroît, cela se couple à un AMO+ très positif en ce début d'hiver, dont des études (42) ont mises en avant qu'un AMO+ associé à El Nino tend à favoriser des blocages Nord-Atlantique plus forts que ce ne serait le cas autrement. En particulier, plus la TNA est forte, plus la réponse est amplifiée.



(Fig.27 - Anomalies des géopotentiels à 500hpa en fonction de l'AMO et de l'ENSO)

Tout ceci mis bout à bout nous met dans une bonne posture pour l'hiver à venir du point de vue du potentiel hivernal. De plus, le phasage de ces indicateurs d'arrière plan avec les prochains forçages tropicaux fin décembre pourraient donner un coup d'accélérateur à la dynamique globale et conduire à des conditions plus hivernales en Europe. Par ailleurs, l'IOD ne devrait pas avoir d'influence sur la seconde partie de l'hiver en raison de son affaiblissement rapide dès janvier.



(Fig.28 - Évolution de l'IOD depuis 2019)

Les principales inconnues sont de savoir si El Niño arrivera à imposer suffisamment son influence pour

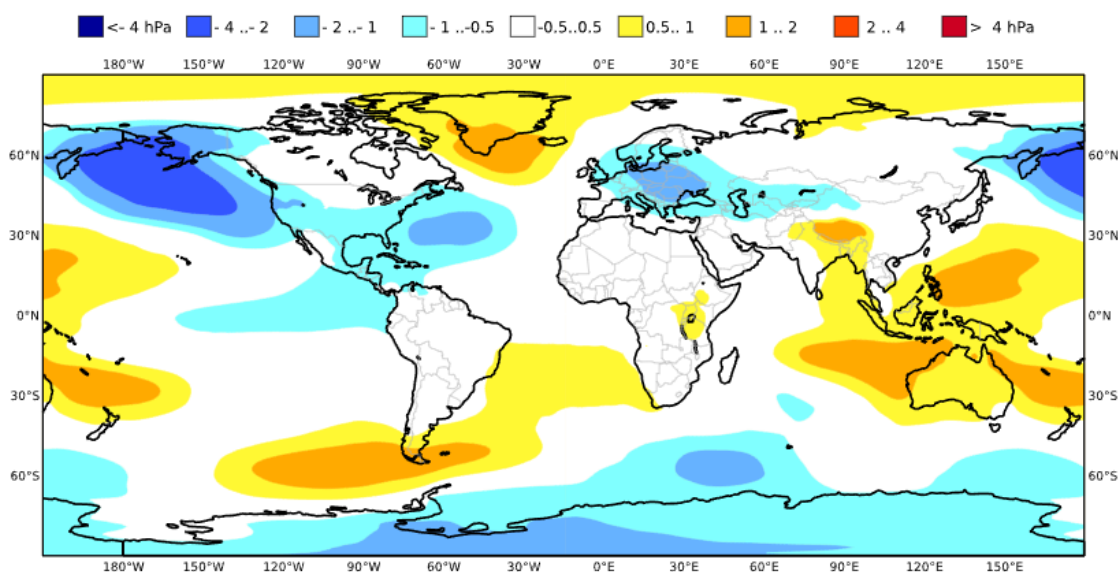
permettre une perturbation plus vaste des régimes de temps atmosphériques à travers l'Hémisphère Nord et si la courte fenêtre de tir de fin décembre va permettre à la mécanique de blocage de se mettre en place.

2. INDICES

2.10. PNA

La PNA influence principalement l'Amérique du Nord mais ces influences peuvent s'étendre dans l'Atlantique Nord (44, 45). L'ENSO et le PDO peuvent la moduler (43). En lien avec la mise en place de l'épisode Nino favorisant une PNA+, les modélisations saisonnières voient une PNA positive au cours de l'hiver, qui devrait favoriser des blocages nord atlantique plus récurrents.

C3S multi-system seasonal forecast ECMWF/Met Office/Météo-France/CMCC/DWD/NCEP/JMA/ECCC
Mean MSLP anomaly JFM 2024
Nominal forecast start: 01/11/23
Variance-standardized mean



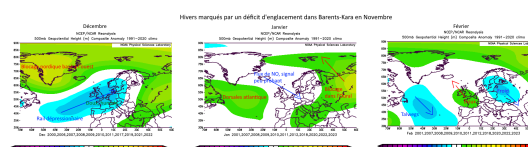
(Fig.29 - Modélisation de l'anomalie de la pression au niveau de la mer sur la période JFM - C3S)

2. INDICES

2.11. Glace Arctique

La diminution de l'englacement arctique en lien avec le réchauffement climatique a fait l'objet de multiples études quant à ces impacts sur l'Hémisphère Nord. De multiples études ont conclu que la perte de glace de mer dans l'Arctique peut influencer le Vortex Polaire en l'affaiblissant, augmentant la probabilité de conditions froides dans l'Hémisphère Nord, en particulier en Sibérie et en Europe (46, 47, 48).

Les mers de Barents-Kara sont particulièrement étudiées pour identifier la réponse atmosphérique du côté Européen. Actuellement, l'englacement est légèrement déficitaire sur Barents-Kara et du côté de Béring. Des études ont montrées qu'un englacement déficitaire en début d'hiver associé à un QBO- tend à favoriser des blocages nordiques plus récurrents. Les hivers marqués par un déficit d'englacement en Novembre sur Barents-Kara ont été dominés, en moyenne, par des mois de décembre doux et humide en Europe, marqué par une circulation sous blocage haut perchée, suivi d'un régime de dorsale atlantique en Janvier puis d'un temps plus doux en Février. Cependant, ces analogies sont à prendre avec des pincettes vu la répétition de ces déficits d'englacement qui se produisent quasiment tous les ans sur la zone désormais. Par ailleurs, la situation sans précédent à l'échelle mondiale complique l'interprétation des impacts.



(Fig.30 - Anomalies des géopotentiels à 500hpa lors d'un déficit d'englacement en Novembre sur Barents-Kara)

Dans l'ensemble, le déficit d'englacement devrait favoriser un hiver plutôt doux et dans les normes pluviométriques.

2. INDICES

2.12. Stratosphère

Le Vortex Polaire Stratosphérique (VPS) agit comme un pont permettant de connecter les indices, notamment tropicaux à l'atmosphère dans l'Atlantique Nord. Le VPS est actuellement plus faible que la normale et devrait le rester durant tout le mois de Décembre.

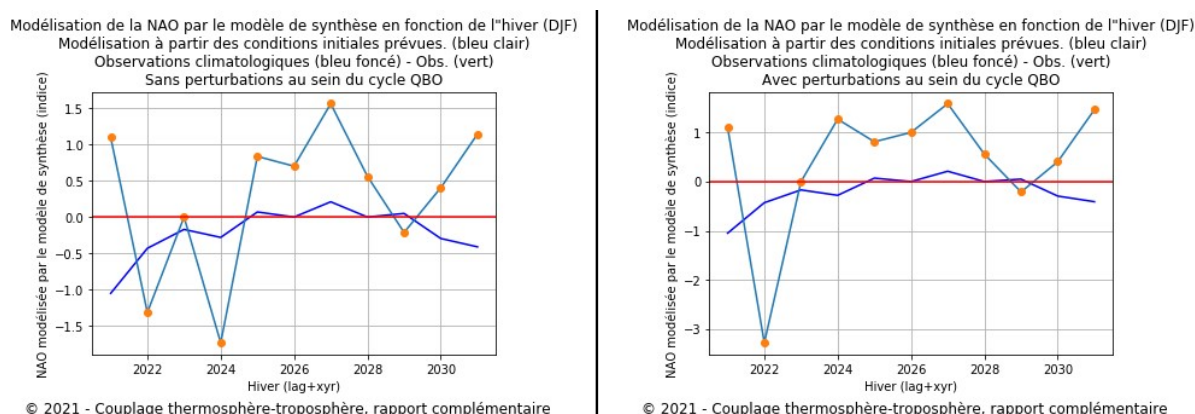
La concomitance d'un VPS préalablement affaibli avant l'arrivée de forçages tropicaux favorables à sa déstabilisation fin décembre augmente les chances d'un réchauffement stratosphérique soudain (SSW) vers début janvier. La MJO va passer dans les phases 6-7-8 dès mi-décembre se poursuivant probablement jusqu'à fin décembre. Associé aux indicateurs d'arrière plan tels que le QBO-, El Nino ou encore l'AMO+ ainsi que des modélisations actuellement en faveur d'une déstabilisation plus marquée du VPS fin décembre ou début janvier en raison d'une synoptique favorable persistante, la probabilité d'un SSW semble accrue. Néanmoins, nous ne savons pas, à ce stade, si un SSW va se produire et quelle sera sa nature (Sibérien, Nord Atlantique, split ou déplacement). Néanmoins, compte tenu des signaux actuellement observés, nous pouvons dire qu'il existe une probabilité plus élevée que d'habitude d'un SSW en Janvier. La synoptique projetée par les modèles pour la première moitié de décembre

correspond à la synoptique généralement observée avant un SSW de type Sibérien, propice aux splits en deux ou trois lobes. Si un SSW Sibérien se produit et qu'il scinde en deux le VPS, la probabilité d'une propagation s'effectuant avec succès vers la troposphère semble plus élevée que d'habitude, en raison de la concomitance avec les facteurs mentionnés précédemment. Dans ce cas, des conditions graduellement plus hivernales pourraient être observées dans l'Hémisphère Nord et possiblement en Europe. Néanmoins, la prévision des impacts d'un SSW est très limitée jusqu'au moment où il se produit. Il s'agit donc ici d'hypothèses sur la base de ce qui est actuellement observé et non de prévisions formelles. De plus, les modèles à longue portée ont du mal à saisir l'arrivée d'un SSW majeur plus d'une dizaine de jours avant sa formation. Nous nous attendons donc à voir un signal croissant en faveur d'un SSW dans les modèles au cours des prochaines semaines sur la base des signes précurseurs actuellement modélisés.

2. INDICES

2.13. Thermosphère

Mes recherches en lien avec la Thermosphère, il y a 3 ans, sur la base de l'activité solaire, ont montré que l'hiver 2023/2024 est propice à une configuration NAO- à connotation marquée, avant l'entrée dans une période plus propice à une NAO+ dès l'hiver 2024/2025. Le signal y était le plus fort dans le scénario sans perturbation du QBO depuis 2020, ce qui a été le cas. Néanmoins, un décalage d'un an a été observé pour 2021 et 2022, avec une NAO- dominante lors de l'hiver 2021, et une NAO+ dominante lors de l'hiver 2022. Ce genre de décalage de +/- 1 ans est classique dans l'étude des impacts de l'activité solaire sur les régimes de temps via des téléconnexions indirectes. L'hiver 2023 a vu des conditions un peu plus proches de ce qui était modélisé en 2020, avec une NAO légèrement plus positive, selon les données de la NOAA, sans excès au regard de la moyenne trimestrielle.



(Fig.31 - Réponse de la NAO à l'état de la thermosphère en fonction du QBO projeté ; étude de 2020)

Par ailleurs, ces mêmes recherches ont montrées qu'il existe, selon l'état de la thermosphère projetée à l'époque, une chance sur deux de connaître un SSW lors de l'hiver 2023/2024, et 60% de probabilités de propagation de l'état du VPS (fort ou faible), avec un déclin progressif du risque de SSW dans les prochaines années. Le MOC à 30°N était modélisé en déclin graduel, atteignant un paroxysme à l'hiver 2026 avec un fort ralentissement à l'image de 2010. Le retour d'un fort AMO+ cette année et la fin de la bulle froide au sud du Groenland soutiennent ce constat d'un affaiblissement de la force avec transfert de l'eau chaude stockée entre 2015-2022 à 30°N vers le nord. La bulle froide pourrait revenir dès 2027.

2. INDICES

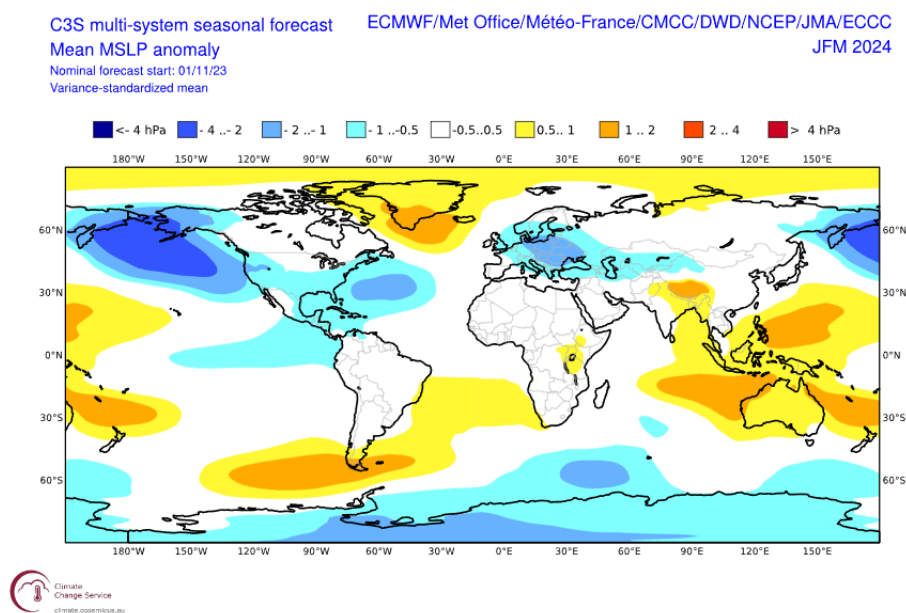
2.14. Vortex Polaire Troposphérique

Comme nous l'avons vu, les indices sont globalement en faveur d'un VPT affaibli en seconde partie d'hiver. Le soutien de la stratosphère et le phasage avec des forçages tropicaux favorables à son affaiblissement fin décembre et potentiellement fin janvier pourrait conduire à un VPT durablement affaibli. Les indications actuellement soutiennent un VPT affaibli.

2. INDICES

2.15. Modèles

Les modèles voient un régime de blocage Nord Atlantique dominant en seconde partie d'hiver, dès Janvier, ce qui pourrait donner lieu à des conditions plus froides qu'habituellement, mais dans un contexte plus ou moins humide, sous NAO-dominante.



2. INDICES

2.16. Analogues

Nous avons vu à plusieurs reprises au cours de l'analyse que la situation est sans précédent dans beaucoup de domaines : SST atlantiques, TNA, ENSO dérégulé et même la vapeur d'eau de l'éruption d'Hunga Tonga qui pourrait interférer sur le vortex polaire de l'hiver à venir. Il n'est donc pas aisé de trouver des analogies à cet hiver. Comme pour l'automne 2023, il n'existe également aucune analogie aux conditions actuellement observées pour l'hiver 2023/2024.

3. SYNTHÈSE

3.1. Synthèse des indices

Le tableau ci-contre montre l'intégralité des indices ainsi que leurs résultantes potentielles (frais, neutre ou doux, chaud). Les indices les plus importants sont surlignés en jaune. Les tableaux 2, 3 et 4 montrent les attentes mensuelles associées aux indices. Le degré d'influence estimé de chaque indice sur l'automne est désormais ajouté pour permettre de mieux juger du poids de chaque indice.

Indice (Influence/5)	Températures (DJF)	Précipitations (DJF)	Type de régime
NAO/AO, Évolution T°C (3/5)	Doux	Sec	NAO-
Enneigement Eurasien (2/5)	Froid	Normal	NAO-
Activité Solaire (1/5)	Doux	Humide	NAO+
SST Atlantiques, MOC (4/5)	Froid	Sec	NAO-
TNA (4/5)	Froid	Normal	NAO-
QBO (2/5)	Normal	Normal à humide	NAO+/AR/AS
PDO (2/5)	Doux	Sec	NAO+
ENSO (1/5)	Aucune influence	Aucune influence	Aucune influence
ENSO+PDO (3/5)	Froid	Normal	NAO-
ENSO+IOD (2/5)	Aucune influence	Aucune influence	Aucune influence
ENSO+QBO (3/5)	Froid	Normal	NAO-
ENSO+AMO (4/5)	Froid	Normal	NAO-
PNA (2/5)	Froid	Normal	NAO-
Glace Arctique (2/5)	Doux	Normal	NAO+/AR/AL
Stratosphère (0/5)	Froid	Normal à sec	NAO-
Thermosphère (2/5)	Froid	Normal à sec	NAO-
Troposphère (3/5)	Normal	Normal à humide	NAO-
Modèles (3/5)	Doux	Humide	NAO-
Analogues (0/5)	Aucun analogue	Aucun analogue	Aucun analogue

(Tableau 1.1 - Résultante des indices pour le trimestre DJF)

Indices	Températures	Précipitations	Type de régime
Total	Froid (47%)	Normal (57%)	NAO- (63%)
Total exprimés	Froid (56%)	Normal (68%)	NAO- (75%)
Total (indices importants)	Froid (46%)	Normal (53%)	NAO- (61%)
Total exprimés (ind. importants)	Froid (54%)	Normal (63%)	NAO- (72%)

(Tableau 1.2 - Résultante des indices pour le trimestre DJF, partie 2)

Un signal majoritaire ressort pour un hiver dominé par des conditions NAO-, avec de fréquents blocages nordiques pouvant donner lieu à des conditions hivernales récurrentes en Europe. Un signal froid ressort majoritairement, mais ne dépasse que faiblement la barre des 50% (une chance sur deux). Dans le contexte actuel du réchauffement climatique, obtenir une telle probabilité demeure plutôt rare et les masses d'air étant réchauffées, il faut plutôt s'attendre à observer une anomalie standard plutôt que réellement froide sur le trimestre si le potentiel se transforme pleinement. Par ailleurs, il existe un bon signal en faveur d'un hiver dans les normes niveau pluviométrie. La confiance dans un régime NAO- est bonne.

Depuis la création de mes tendances saisonnières en 2018, seuls 2 hivers ont été confrontés à un signal plus froid que d'habitude : 2018-2019 et 2021-2022. L'hiver 2018-2019 présentait de prime abord un solide potentiel, soutenu par l'ensemble des modèles et une grosse partie des indices. Celui-ci a cafouillé en cours de route à cause d'une mauvaise propagation du SSW en Janvier et du Nino trop faible n'ayant pas réussi à imposer son influence (il a été révélé plus tard qu'il s'était comporté comme une Nina) - soulignant l'importance du couplage atmosphérique au niveau de l'ENSO dans les téléconnexions. La situation était très prometteuse jusqu'à mi-fin décembre au niveau des indicateurs saisonniers et sous saisonniers.

L'hiver 2021-2022 était diamétralement opposé, avec la présence d'une solide Nina dans le Pacifique, qui était initialement évaluée comme étant de type EP, alors qu'il s'est révélé plus tard qu'elle était finalement de type CP, faussant en partie la prévision. Par ailleurs, un risque plus important de SSW que d'habitude était anticipé. Celui-ci ne s'est jamais matérialisé, et il n'existait pas de support des forçages sous-saisonniers (à plus court terme que les tendances saisonnières) à une émergence d'un SSW dans un avenir prévisible au moment de la rédaction, contrairement à actuellement. Le signal froid n'était soutenu par aucun modèle saisonnier et la tendance était isolée par rapport aux autres tendances.

L'hiver 2021-2022 relevait essentiellement d'une erreur d'interprétation associée à un mauvais déroulement des choses au fur et à mesure que l'hiver avançait, avec un flop d'un important potentiel hivernal fin décembre 2021 qui aurait bien pu marquer la suite de l'hiver, qui s'est finalement rapidement transformé en zonal. L'hiver 2018-2019 présentait une analyse correcte mais les choses ont mal tourné. La dynamique s'était mise en place comme attendu mais a capoté en plein milieu du déroulement. De cet hiver a été tiré la leçon importante de ne pas se fier qu'aux conditions de surface pour mesurer l'impact de l'ENSO mais surtout aux conditions atmosphériques, rappelant les conditions de cet hiver avec un couplage affaibli. De surcroît, il a été tiré que malgré des conditions favorables, le potentiel initial peut échouer au dernier moment. La prudence est donc de mise quand ce genre de potentiel ressort.

Les conditions de cet hiver sont très différentes de ces deux hivers. Un épisode El Nino fort domine en surface, mais peine à établir son influence en altitude. Une certaine flexibilité semble quand même exister, avec des phases MJO arrivant à se former et atteindre une intensité respectable. De plus, cela est associé à une TNA+ record, un tripôle atlantique marqué, un QBO-, PDO- simultanément au Nino, ce qui n'était pas le cas en 2019. De plus, nous voyons déjà des indications d'une possible perturbation de la stratosphère et de la mise en place de blocages en Janvier, dans un contexte de VPS déjà affaibli préalablement. Les conditions semblent donc plus favorables que lors de ces deux précédents hivers.

Indice (Influence/5)	Températures (Dec)	Précipitations (Dec)	Type de régime
NAO/AO, Évolution T°C (3/5)	Doux	Sec	NAO-
Enneigement Eurasien (2/5)	Froid	Normal	NAO-
Activité Solaire (1/5)	Normal	Sec	AR
SST Atlantiques, MOC (4/5)	Froid	Sec	NAO-
TNA (4/5)	Froid	Normal	NAO-
QBO (2/5)	Doux	Humide	NAO+/AR
PDO (2/5)	Froid	Sec	NAO-
ENSO (1/5)	Aucune influence	Aucune influence	Aucune influence
ENSO+PDO (3/5)	Doux	Humide	NAO+
ENSO+IOD (2/5)	Doux	Humide	NAO+
ENSO+QBO (3/5)	Froid	Normal	NAO-
ENSO+AMO (4/5)	Froid	Normal	NAO-
PNA (0/5)	Froid	Normal	NAO-
Glace Arctique (2/5)	Doux	Humide	NAO-
Stratosphère (3/5)	Doux	Humide	NAO+
Thermosphère (2/5)	Froid	Normal à sec	NAO-
Troposphère (3/5)	Normal	Normal à humide	NAO-
Modèles (3/5)	Doux	Humide	NAO-
Analogues (0/5)	Aucun analogue	Aucun analogue	Aucun analogue

(Tableau 2.1 - Résultante des indices pour le mois de Décembre)

Indices	Températures	Précipitations	Type de régime
Total	Froid (42%)	Normal (36%)	NAO- (63%)
Total exprimés	Froid (47%)	Normal (43%)	NAO- (70%)
Total (indices importants)	Pas de signal	Pas de signal	NAO- (53%)
Total exprimés (ind. importants)	Pas de signal	Pas de signal	NAO- (58%)

(Tableau 2.2 - Résultante des indices pour le mois de Décembre, partie 2)

Peu de signal probant pour Décembre. Les signaux s'éclatent en parts égales entre un excédent thermique et un déficit thermique, tandis que les précipitations sont peu claires mais favorisées comme étant proches des normes. Un régime NAO- de blocage Nord Atlantique ressort majoritairement, ce qui devrait finalement être le cas au regard des modélisations actuelles. Les dernières modélisations penchent vers un mois plutôt doux et humide, notamment entre le 4 et le 20 décembre.

Indice (Influence/5)	Températures (Jan)	Précipitations (Jan)	Type de régime
NAO/AO, Évolution T°C (3/5)	Doux	Sec	NAO-
Enneigement Eurasien (2/5)	Froid	Normal	NAO-
Activité Solaire (1/5)	Doux	Sec	NAO+
SST Atlantiques, MOC (4/5)	Froid	Sec	NAO-
TNA (4/5)	Froid	Normal à humide	NAO-
QBO (2/5)	Doux	Humide	NAO+/AR
PDO (2/5)	Doux	Sec	NAO+
ENSO (1/5)	Aucune influence	Aucune influence	Aucune influence
ENSO+PDO (3/5)	Froid	Normal	NAO-
ENSO+IOD (2/5)	Aucune influence	Aucune influence	Aucune influence
ENSO+QBO (3/5)	Froid	Normal	NAO-
ENSO+AMO (4/5)	Froid	Normal	NAO-
PNA (0/5)	Froid	Normal	NAO-
Glace Arctique (2/5)	Normal	Normal	AR
Stratosphère (3/5)	Normal à froid	Normal	NAO-
Thermosphère (2/5)	Froid	Normal à sec	NAO-
Troposphère (3/5)	Normal à froid	Normal à sec	NAO-
Modèles (3/5)	Normal	Humide	NAO-
Analogues (0/5)	Aucun analogue	Aucun analogue	Aucun analogue

(Tableau 3.1 - Résultante des indices pour le mois de Janvier)

Indices	Températures	Précipitations	Type de régime
Total	Froid (47%)	Normal (36%)	NAO- (63%)
Total exprimés	Froid (50%)	Normal (43%)	NAO- (75%)
Total (indices importants)	Normal à Froid (53%)	Normal (46%)	NAO- (61%)
Total exprimés (ind. importants)	Normal à Froid (63%)	Normal (60%)	NAO- (80%)

(Tableau 3.2 - Résultante des indices pour le mois de Janvier, partie 2)

Un signal relativement solide ressort en faveur d'un mois standard à froid, associé à un régime NAO- dominant, ce qui n'est pas incompatible avec les signaux sous-saisonniers actuellement observés. Les précipitations ressortent majoritairement comme standard mais un mois plus sec est possible. L'option d'un mois plus doux que la normale est minoritaire (26% du total exprimé et 40% du total exprimé dans les indices importants).

Indice (Influence/5)	Températures (Fev)	Précipitations (Fev)	Type de régime
NAO/AO, Évolution T°C (3/5)	Doux	Sec	NAO-
Enneigement Eurasien (2/5)	Aucune influence	Aucune influence	Aucune influence
Activité Solaire (1/5)	Doux	Humide	NAO+/AL
SST Atlantiques, MOC (4/5)	Froid	Sec	NAO-
TNA (4/5)	Normal à doux	Humide	NAO-
QBO (2/5)	Normal à froid	Sec	AS
PDO (2/5)	Doux	Sec	NAO+
ENSO (1/5)	Aucune influence	Aucune influence	Aucune influence
ENSO+PDO (3/5)	Froid	Normal	NAO-
ENSO+IOD (2/5)	Aucune influence	Aucune influence	Aucune influence
ENSO+QBO (3/5)	Froid	Normal	NAO-
ENSO+AMO (4/5)	Froid	Normal	NAO-
PNA (0/5)	Froid	Normal	NAO-
Glace Arctique (2/5)	Doux	Normal à sec	AL
Stratosphère (3/5)	Normal à froid	Normal	NAO- (?)
Thermosphère (2/5)	Froid	Normal à sec	NAO-
Troposphère (3/5)	Normal à froid	Normal à sec	NAO-
Modèles (3/5)	Normal	Humide	NAO-
Analogues (0/5)	Aucun analogue	Aucun analogue	Aucun analogue

(Tableau 4.1 - Résultante des indices pour le mois de Février)

Indices	Températures	Précipitations	Type de régime
Total	Normal à Froid (52%)	Normal (42%)	NAO- (57%)
Total exprimés	Normal à Froid (71%)	Normal (53%)	NAO- (73%)
Total (indices importants)	Normal à Froid (53%)	Normal à sec (46%)	NAO- (61%)
Total exprimés (ind. importants)	Normal à Froid (63%)	Normal à sec (54%)	NAO- (72%)

(Tableau 4.2 - Résultante des indices pour le mois de Février, partie 2)

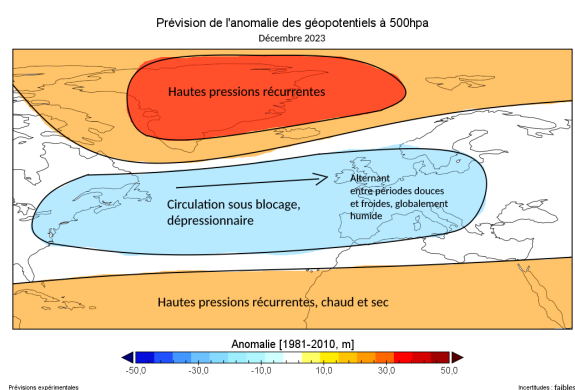
Comme en Janvier, un signal prédominant en faveur d'un écart thermique standard à neutre ressort, le tout dans des précipitations proches des normes à déficitaires. Le régime NAO- continue d'être favorisé comme le régime dominant. Il y a néanmoins beaucoup d'incertitudes autour de ce signal, dépendant essentiellement de l'évolution des forçages tropicaux d'ici là et de la stratosphère. Un mois plus doux ou plus sec que la normale n'est pas exclu mais peu probable.

3. SYNTHÈSE

3.2. Tendances mensuelles

Établir des tendances pour l'hiver est particulièrement compliqué cette année en raison de la situation sans précédent de nombreux indices comme l'océan nord atlantique en surchauffe, l'ENSO détraqué, l'absence d'analogies solides principalement. La prévisibilité semble néanmoins meilleure que pour l'Automne qui vient de passer, avec une meilleure cohérence entre les indices et des forçages tropicaux déjà visibles.

Décembre - Un mois d'alternances

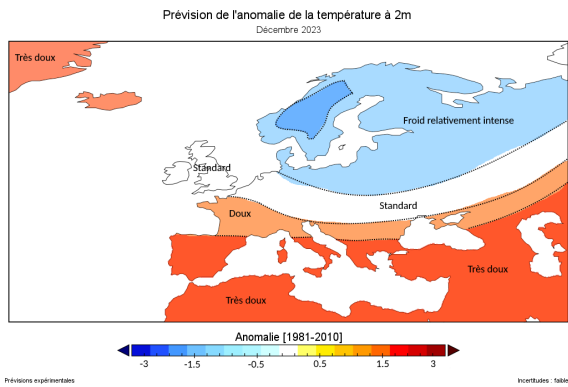


(Fig.32 - Prévision de l'anomalie des géopotentiels à 500hpa en Décembre)

Le premier mois de l'hiver 2023/2024 est vraisemblablement parti pour être un mois marqué par de fortes alternances. La première partie du mois est, comme nous avons pu le constater jusqu'à présent, dominée par un temps plutôt froid et sec sur l'Europe Occidentale, et particulièrement neigeux sur l'Europe Centrale, de l'Est et du Nord. Dès le lundi 4 décembre, le flux d'ouest va faire son retour, apportant d'importants cumuls de précipitations sur l'Europe

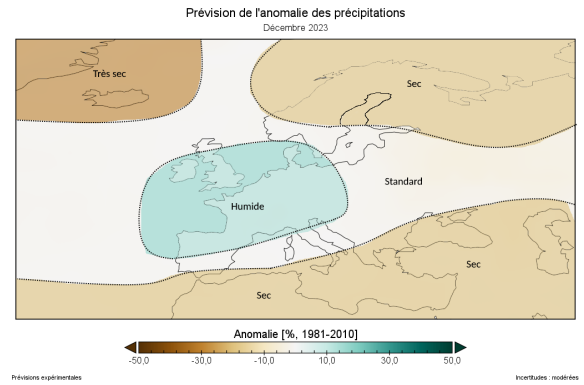
Occidentale, tandis qu'un froid inhabituellement intense pour la saison va se développer en Russie en parallèle de cela, permettant la mise en place de réserves froides à proximité de l'Europe. Le flux d'ouest humide et doux devrait persister jusqu'au début de la dernière décade de Décembre (20 décembre), avant la mise en place d'un changement de régime notoire en relation avec le phasage particulièrement favorable entre l'arrivée de forçages tropicaux favorables à la mise en place de blocages anticycloniques sur l'Atlantique Nord, le Vortex Polaire Stratosphérique (VPS) préalablement affaibli et l'état de fond des indices pointant un régime NAO-plus probable. La dernière décade de Décembre pourrait se démarquer par des conditions globalement hivernales sur l'Europe, avec une probabilité croissante sur la seconde partie de la décade (vers Noël), pouvant se prolonger jusqu'en Janvier. Par conséquent, les températures devraient se situer en dessous des normales saisonnières sur

une bonne partie de la Scandinavie et de l'Europe de l'Est, tandis que l'Europe du Sud devrait connaître, en moyenne, des températures plus nettement douces que d'habitude. En France, en raison du retour de conditions plus douces entre le 4 décembre et la dernière décade lié au flux zonal dominant et plutôt humide, les températures pourraient afficher un excédent situé entre +0.5 et +1°C sur le mois, un excédent mitigé par le risque de retour du froid en dernière décade.

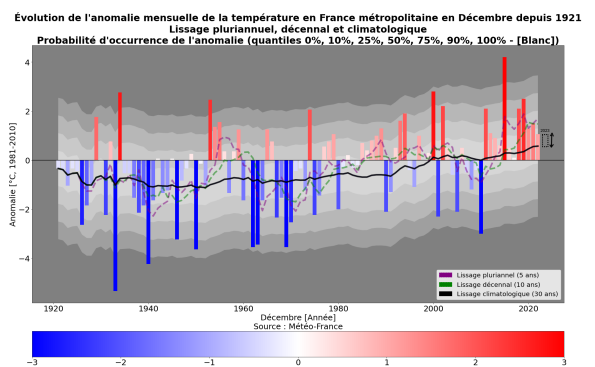


(Fig.33 - Prédiction de l'anomalie de la température à 2m en décembre (°C))

L'humidité pourrait être particulièrement présente en raison de ce bref retour du zonal, affichant un excédent sur une vaste partie de l'Europe Occidentale, tandis que l'Europe de l'Est et du Nord afficheraient un excédent moins marqué en raison d'un froid plus durable réduisant les précipitations. Un excédent situé entre +10 et +30% semble probable en France.

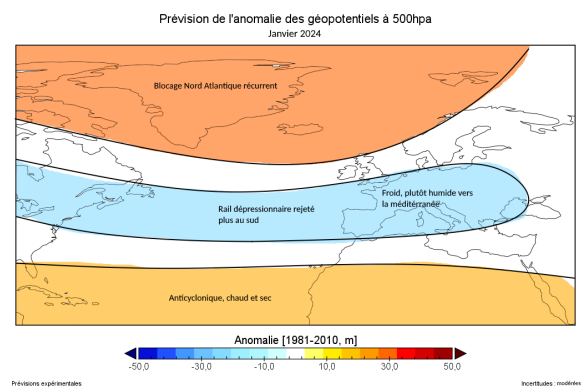


(Fig.34 - Prédiction de l'anomalie des précipitations en Décembre)



(Fig.35 - Prédiction de l'anomalie de température en Décembre 2023 par rapport à la climatologie)

Janvier - Un mois plus hivernal

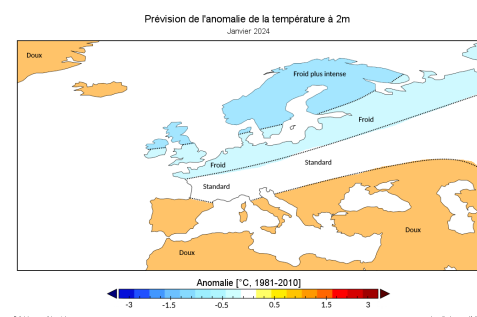


(Fig.36 - Prédiction de l'anomalie des géopotentiels à 500hpa en Janvier)

Le mois de Janvier présente un potentiel non négligeable de conditions hivernales

en Europe. En lien avec l'arrivée des forçages tropicaux liés au passage en phase 6/7/8 de la MJO fin décembre, le VPS préalablement affaibli et l'état de fond des indices, un risque plus élevé que d'habitude ressort en faveur d'un Réchauffement Stratosphérique Soudain (RSS ou SSW), de préférence début ou mi-janvier, associé de surcroît à une synoptique faisant pression sur ce dernier dès les premiers jours de Décembre. Indépendamment de l'occurrence ou non d'un RSS, une probabilité plus élevée ressort en faveur d'une première décade de Janvier dominée par un régime NAO-, pouvant donner lieu à des conditions hivernales en Europe, dans la poursuite de la fin décembre. Les forçages tropicaux seraient ensuite moins favorables mais ce phasage entre la MJO, le VPS préalablement affaibli et déjà mis sous pression ainsi que l'état de fond des indices pourrait suffire pour donner un coup de poing final au Vortex Polaire Stratosphérique et enclencher un RSS majeur pouvant conduire à la prolongation des conditions bloquées dans l'Atlantique et intensifier le froid en Europe. Ainsi, deux hypothèses ressortent, la première sans RSS avec une période bloquée dans la première décade de Janvier suivi d'un retour progressif du zonal puis un temps de nouveau plus froid en fin de mois, et la seconde avec RSS majeur se propageant en surface induisant des conditions durablement hivernales. La seconde hypothèse est actuellement privilégiée sur la base de ce qui a été précédemment discuté, et la propagation d'un éventuel

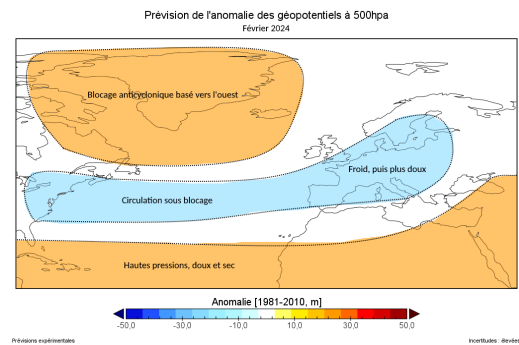
RSS semble plus probable qu'improbable en raison des indices comme le QBO-, El Nino couplé au PDO-, QBO-, la forte TNA+, le tripôle atlantique et la concomitance avec l'arrivée de la MJO et le VPS préalablement affaibli plus susceptible de donner des impacts vers la troposphère. De surcroît, El Nino tend à favoriser une seconde partie d'hiver plus froide, bien que son influence soit moindre qu'habituellement. Par conséquent, un temps hivernal pourrait, si cette hypothèse se vérifie, s'installer durablement sur l'Europe et plus largement vers la Sibérie. Le cas échéant, une alternance proche de ce qui est attendu en Décembre pourrait se produire, avec un penchant plus important pour le froid compte tenu de l'avancée dans la saison. La prédominance inattendue de la NAO- en début de saison diffère de ce qui est généralement attendue sous un El Nino classique et pourrait favoriser la mise en place de blocages durables dès Janvier. En conséquence, les températures devraient probablement afficher un léger déficit de l'ordre de 0 à -0.5°C, avec quelques incertitudes mentionnées précédemment qui pourraient conduire à un déficit plus marqué.



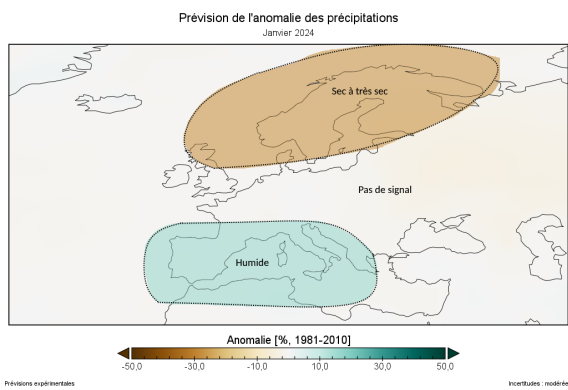
(Fig.37 - Prévision de l'anomalie de la température à 2m en Janvier (°C))

Le déficit de température serait le plus marqué en Scandinavie et au nord de l'Angleterre ainsi qu'en Irlande, en raison de la proximité plus importante avec les masses d'air froides. L'humidité pourrait être relativement limitée en raison de la persistance du froid, mais plus importante vers la méditerranée. Plus au nord en Europe, les précipitations pourraient être déficitaires. En France, un écart entre -10 et +10% est probable.

Février - Possiblement hivernal

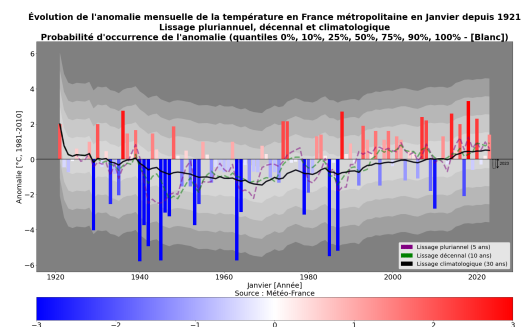


(Fig.40 - Prévision de l'anomalie des géopotentiels à 500hpa en Février)



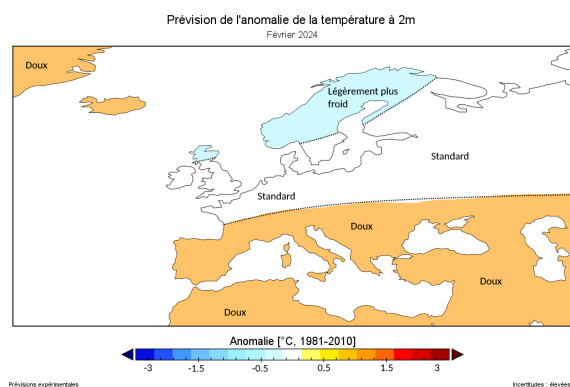
(Fig.38 - Prévision de l'anomalie des précipitations en Janvier)

Dans l'ensemble, le mois présente un potentiel hivernal potable, plus marqué en début de mois.



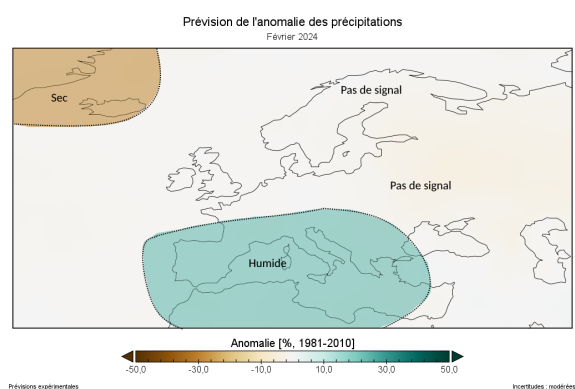
(Fig.39 - Prévision de l'anomalie de température en Janvier 2024 par rapport à la climatologie)

Dans la poursuite de Janvier et avec un Vortex Polaire Stratosphérique affaibli ou ayant subi un SSW majeur, associé au prochain passage de la MJO en phases 6/7/8 vers fin janvier/début février selon son cycle de 30 jours, un potentiel hivernal pourrait apparaître pour le mois de Février, qui reste un mois très difficile à prévoir de façon générale. La fin de l'hiver est propice aux conditions hivernales sous Nino + PDO- + QBO- + AMO+ comme nous l'avons vu précédemment. Les signaux en faveur d'un régime dominant NAO- sont également importants pour ce mois, bien que le signal en faveur d'un temps plus froid soit moindre que Janvier, se rapprochant davantage de la neutralité. Ce pourrait être un mois coupé en deux parties avec une première partie plus hivernale puis une seconde partie plus douce. Dans l'ensemble, ce mois pourrait rester proche des normales pluviométriques (-10 à +10%) et de température (-0.5 à +0.5°C).

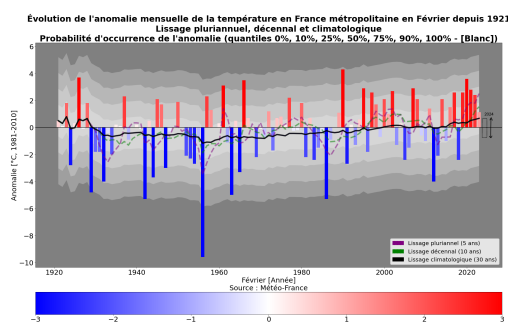


(Fig.41 - Prévision de l'anomalie de la température à 2m en Février (°C))

La Scandinavie pourrait de nouveau afficher des températures déficitaires tandis qu'une bonne partie de l'Europe du Sud serait dans la douceur, avec une démarcation nord/sud.



(Fig.42 - Prévision de l'anomalie des précipitations en Février)



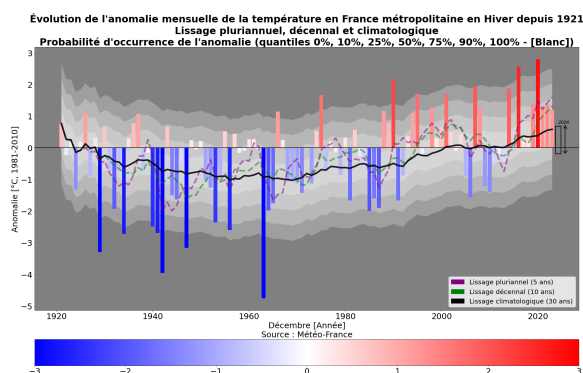
(Fig.43 - Prévision de l'anomalie de température en Février 2024 par rapport à la climatologie)

DJF - Un hiver ouvert aux conditions hivernales

Dans l'ensemble, l'hiver semble ouvert aux conditions hivernales de manière plus régulière que nous avons pu le voir ces dernières années. En particulier, après une brève période de flux d'ouest entre le milieu de la première décennie et le début de la dernière de Décembre, les choses pourraient bouger avec la mise en place plus franche et potentiellement durable de blocages Nord Atlantique permettant à des conditions plus froides d'arriver en Europe. Ce début d'hiver a déjà présenté des caractéristiques inattendues et inhabituelles avec des chutes de neige exceptionnelles dans les Balkans, en Angleterre, en Allemagne, en Russie mais aussi la mise en place d'une forte vague de froid en Russie persistant une bonne partie du mois de Décembre, selon les prévisions, ainsi qu'un froid persistant en Scandinavie, que nous n'avons pas observé ces dernières années en début de saison. Les réserves froides sont particulièrement bonnes et la mise en place de cette brutale vague de froid recouvrant une très vaste zone de la Russie va permettre la mise en place d'un solide anticyclone de surface dans l'Oural mettant une pression accrue sur le Vortex Polaire Stratosphérique dès les premiers jours de Décembre, associé par la suite à un phasage plus favorable avec les forçages tropicaux fin décembre exerçant une pression accrue sur ce dernier et augmentant fortement les chances d'un réchauffement stratosphérique soudain. Associé aux conditions favorables en arrière-plan (QBO-, El Nino, AMO+, VPT préalablement

affaibli...), les chances d'une propagation s'effectuant avec succès sont plus élevées que d'habitude. Par conséquent, la seconde partie d'hier (Janvier + Février) pourrait s'avérer plutôt hivernale en Europe, de manière plus marquée en Scandinavie et vers l'Europe de l'Est, tandis que l'Europe de l'Ouest serait davantage soumise aux influences du flux océanique. Un hiver standard est privilégié en France (-0.15°C à +0.5°C pour une moyenne de +0.17°C), ce qui n'est plus arrivé depuis les hivers 2014/2015, 2016/2017 et 2017/2018. Les précipitations pourraient se révéler proches des normes (0 à +15% pour une moyenne de +7.5%), avec un excès plus marqué en méditerranée. Comme indiqué, un potentiel plus important pour des conditions hivernales ressort entre fin décembre et début janvier, puis fin janvier et début février, indépendamment de l'occurrence d'un réchauffement stratosphérique soudain qui pourrait ancrer la dynamique. Février pourrait être en demi-teinte, plus froid au début, plus doux à la fin. L'Europe du Sud devrait connaître un hiver particulièrement doux.

Sur la base de la cohérence entre les indices, la fiabilité concernant les températures est jugée médiocre en décembre, janvier et février, tandis que la fiabilité concernant les précipitations est jugée médiocre en décembre, janvier et février. La fiabilité concernant le régime dominant est jugée bonne en décembre, janvier et février. Dans l'ensemble, sur le trimestre, la fiabilité des températures est jugée médiocre, de même que pour les précipitations et bonne pour le régime de temps dominant.



(Fig.44 - Prévission de l'anomalie de température pour l'hiver 2024 par rapport à la climatologie)

4. ANNEXES

4.1. Indices

Divers indices sont utilisés pour l'élaboration de la présente tendance. En voici les principales définitions et ce qu'il faut savoir.

1. NAO/AO, représentant l'oscillation nord-atlantique ainsi que l'oscillation arctique respectivement, la première se situant dans l'atlantique nord, la seconde dans l'arctique respectivement à leur nom. Ces deux indices comprennent deux phases, l'une positive, l'autre négative.

Lorsque la NAO est en phase positive, un temps doux et humide prédomine en Europe (présence de zonal atlantique - basses pressions circulant d'ouest en est) et inversement avec la phase négative où un temps frais à froid et généralement humide (parfois sec si continental) est favorisé en Europe Centrale, Occidentale, en Scandinavie et Europe Orientale, mais plus doux et sec en Europe du Sud en raison des hautes pressions. Une NAO positive ne garantit pas un hiver humide, de la même manière qu'une NAO négative ne garantit pas un hiver froid.

Une phase AO+ se caractérise généralement par un temps doux voire très doux aux latitudes moyennes, tandis que l'AO- favorise le contraire.

2. Enneigement Eurasien, évolution de l'enneigement en Eurasie au cours de l'automne et de l'hiver. Un enneigement excédentaire a tendance à favoriser des hivers plus rigoureux et des perturbations du vortex polaire.

3. Activité solaire, influençant potentiellement la météo à l'échelle locale (par exemple, l'Europe, l'Amérique du nord, ou encore l'Arctique) en fonction de son état (fort, en baisse, faible, en hausse, au pic...), mesuré avec le nombre de taches solaires à la surface du soleil, suivant un cycle de 11 ans durant lequel un pic maximum et un pic minimum sont atteints tous les 6 ans environ, d'autres cycles de 22, 33, ... ans existant également. Une faible activité solaire tend à favoriser des hivers froids et humides ou secs, tandis qu'une forte activité favorise le contraire, avec un décalage de quelques années.

4. SST Atlantique Nord [Température à la surface de la mer], qui comme son nom l'indique, se situe dans l'Atlantique nord et permet d'anticiper les évolutions possibles en réponse à leur état, dans une zone sensible en particulier : le Gyre

Subpolaire de l'Atlantique nord (se situant au sud du Groenland, entre 50-65°N et 25-60°W), qui semble être un grand influenceur de la synoptique (lors d'une phase plus chaude, un régime NAO- ressort plus souvent, et inversement, notamment en hiver mais également valable en été). L'influence semble plus marquée en début d'hiver.

4. TNA, abréviation de "Tropical north atlantic" et se situant au nord de l'Atlantique tropical.

Cet indice va de pair avec les SST Nord-atlantiques, vu qu'il existe des formations en Fer à cheval ou tripôle entre ces deux zones (SST - Sea surface temperature - plus chaude dans le SPG et sur la TNA, plus froides sur la zone du MOC [à 26°N], ainsi que plus froides dans le SPG et sur la zone de la TNA, plus chaudes sur la zone du MOC respectivement) en fonction de sa phase (positive ou négative), un régime NAO- ou NAO+ va être favorisé.

5. QBO, représentant l'oscillation quasi-biennale (Quasi-biennial oscillation en anglais) aux tropiques, situé en stratosphère et possédant deux phases (positives et négatives) se succédant tous les 14 mois environ.

Une phase positive va, en fonction d'autres indices favoriser ou non un régime NAO+, et inversement.

Cependant, depuis 2016 des perturbations sont apparues au sein du présent indice, rendant plus aléatoire l'anticipation des impacts potentiels.

6. PDO, abréviation de "Pacific decennial oscillation" représenté par un tripôle

froid-chaud-froid dans le Pacifique nord sur les SST lors de sa phase négative, et inversement lors de la phase positive.

En fonction de la phase de l'ENSO, du QBO, le PDO peut favoriser certaines choses, allant jusqu'à une modification potentielle des SST nord-atlantiques.

7. Blob chaud du Pacifique, se caractérisant par une anomalie chaude dans l'océan pacifique nord et pouvant modifier la circulation atmosphérique à l'échelle de l'Hémisphère Nord.

8. ENSO, SOI, abréviation de "El nino southern oscillation" et "Southern oscillation index", comportant 3 phases pour l'un, 2 pour l'autre : El Nino, Nada, La Nina (située aux tropiques) pouvant influencer l'atmosphère sur diverses parties du monde, jusqu'en Europe.

Le SOI, lui, comprend les phases négatives (caractérisant un épisode El Nino), et positives (épisode La Nina). La phase neutre pourrait être attribuée. Il représente la différence de pression entre Tahiti et Darwin.

9. PNA, qui comme son nom l'indique (Pacific/North American pattern) se situe dans le Pacifique nord, à cheval avec l'Amérique du nord.

Il comprend deux phases (positives et négatives) qui peuvent favoriser un régime NAO-/NAO+ respectivement.

En fonction de la phase de l'ENSO, la réponse peut être modifiée (par exemple, pendant El nino et PNA+, les dorsales nord-américaines sont diminuées entraînant un NAO-, tandis que La Nina va favoriser un NAO+ lors

d'une PNA-, et par inversion un NAO- lors du PNA+ en renforçant le régime favorisé).

Il est à noter qu'un PNA+ favorise de la douceur sur l'ouest de l'Amérique du Nord et du froid sur la partie est, inversement lors de la phase négative.

10. Thermosphère, pouvant favoriser certains régimes (décalage possible +/- 1 an) en fonction du stade dans le cycle, d'une durée de 11 ans.

11. Glace Arctique, qui comme son nom l'indique est un indice en relation avec l'englacement Arctique, en diminution depuis 1980.

Certaines zones du bassin Arctiques sont particulièrement intéressantes vis-à-vis de la tendance saisonnière, à savoir Barents-Kara et Barents en particulier.

L'état d'englacement de ces zones peut modifier la circulation atmosphérique à l'échelle de l'AO, mais aussi de la NAO. Une réduction de l'englacement a tendance à faire remonter l'anticyclone subtropical vers le nord et donner des étés et hivers plus doux.

12. Stratosphère, évolution du Vortex Polaire Stratosphérique au cours de l'automne et de l'hiver. Des réchauffements stratosphériques soudains peuvent induire des conditions plus froides dans l'hémisphère nord et inversement pour un vortex fort.

13. Modèles saisonniers, qui sont un ensemble de 8 modèles saisonniers mondiaux et permettent de faire

ressortir une tendance pour la saison à venir, basé sur l'ensemble du système climatique à partir des conditions initiales.

14. Analogies. Fait ressortir le scénario le plus probable pour la saison considérée à partir des conditions les plus proches déjà observées par le passé, ne garantit pas une réussite.

4. ANNEXES

4.2. Bibliographie

1 - Martin Wegmann et al. Impact of Eurasian autumn snow on the winter North Atlantic Oscillation in seasonal forecasts of the 20th century. *Weather Clim. Dynam.*, 2, 1245–1261, 2021.
<https://doi.org/10.5194/wcd-2-1245-2021>.

2 - Kim, B.M., Son, S.W., Min, S.K. et al. Weakening of the stratospheric polar vortex by Arctic sea-ice loss. *Nat Commun* 5, 4646 (2014).
<https://doi.org/10.1038/ncomms5646>.

3 - Garfinkel, C.I., Schwartz, C., White, I.P. et al. Predictability of the early winter Arctic oscillation from autumn Eurasian snowcover in subseasonal forecast models. *Clim Dyn* 55, 961–974 (2020).
<https://doi.org/10.1007/s00382-020-05305-3>

4 - Role of Eurasian Snow Cover in Linking Winter-Spring Eurasian Coldness to the Autumn Arctic Sea Ice Retreat.
<http://dx.doi.org/10.1029/2019JD030339>.

5 - Eurasian autumn snow link to winter North Atlantic Oscillation is strongest for Arctic warming periods.
<https://doi.org/10.5194/esd-11-509-2020>.

6 - Pittock, A. B. (1978), A critical look at long-term Sun-weather relationships, *Rev. Geophys.*, 16(3), 400– 420,
<https://doi.org/10.1029/RG016i003p00400>.

7 - Pittock, B. Can solar variations explain variations in the Earth's climate?. *Climatic Change* 96, 483–487 (2009).
<https://doi.org/10.1007/s10584-009-9645-8>

8 - Van Oldenborgh, G. J., A. T. J. de Laat, J. Luterbacher, W. J. Ingram, and T. J. Osborn (2013), Claim of solar influence is on thin ice: Are 11-year cycle solar minima associated with severe winters in Europe?, *Environ. Res. Lett.*, 8, 024014,
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/2/024014>.

9 - Gray, L. J., Scaife, A. A., Mitchell, D. M., Osprey, S., Ineson, S., Hardiman, S., Butchart, N., Knight, J., Sutton, R., and Kodera, K. (2013), A lagged response to the 11 year solar cycle in observed winter Atlantic/European weather patterns, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, 13,405– 13,420,
<https://doi.org/10.1002/2013JD020062>.

10 - Sally Dacie. (2015), Solar Influence on the North Atlantic Oscillation - Initial Results, arXiv,
<https://doi.org/10.48550/arxiv.1505.05285>

11 - Sitnov, S. (2009). Influence of the 11-year solar cycle on the effects of the equatorial quasi-biennial oscillation, manifesting in the extratropical northern atmosphere. *Climate Dynamics*. 32. 1-17.

<http://dx.doi.org/10.1007/s00382-007-0362-6>.

12 - Karin Labitzke. (2008). Influences of the 11-year sunspot cycle on the stratosphere – and the importance of the QBO, Institute for Meteorology. F.U. Berlin Germany.

<https://slideplayer.com/slide/5140870/>

13 - Roy, Indrani. (2018). Solar cyclic variability can modulate winter Arctic climate. *Scientific Reports*. 8.

10.1038/s41598-018-22854-0.

<https://www.nature.com/articles/s41598-018-22854-0>.

14 - Woollings, T., Lockwood, M., Masato, G., Bell, C., and Gray, L. (2010), Enhanced signature of solar variability in Eurasian winter climate, *Geophys. Res. Lett.*, 37, <https://doi.org/10.1029/2010GL044601>.

15 - Muthers, Stefan & Raible, Christoph & Stocker, Thomas. (2016). Response of the AMOC to reduced solar radiation – the modulating role of atmospheric-chemistry. *Earth System Dynamics Discussions*. 1-21.

<http://dx.doi.org/10.5194/esd-2016-16>.

16 - Knudsen, M., Jacobsen, B., Seidenkrantz, MS. et al. Evidence for external forcing of the Atlantic Multidecadal Oscillation since termination of the Little Ice Age. *Nat Commun* 5, 3323 (2014).

<https://doi.org/10.1038/ncomms4323>

17 - Park, W., Latif, M. Atlantic Meridional Overturning Circulation response to idealized external forcing. *Clim Dyn* 39, 1709–1726 (2012).

<https://doi.org/10.1007/s00382-011-1212-0>

18 - Karin Labitzke. (1987). Sunspots, the QBO, and the stratospheric temperature

in the north polar region. *Geophys. Res. Lett.*, 14.

<https://doi.org/10.1029/GL014i005p00535>.

19 - Labitzke, Karin & Kunze, Markus & Brönnimann, S.. (2006). Sunspots, the QBO and the stratosphere in the North Polar Region - 20 years later.

Meteorologische Zeitschrift. 15. 355-363.

<http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0136>.

20 - Salminen, Antti & Asikainen, Timo & Maliniemi, Ville & Mursula, Kalevi.

(2020). Dependence of Sudden

Stratospheric Warmings on Internal and External Drivers. *Geophysical Research Letters*. 47.

<http://dx.doi.org/10.1029/2019GL086444>.

21 - Salby, Murry & Callaghan, Patrick.

(2000). Connection between the Solar Cycle and the QBO: The Missing Link. *Journal of Climate - J CLIMATE*. 13.

328-338.

<http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442-13.2.328>.

22 - Knudsen, M., Seidenkrantz, MS., Jacobsen, B. et al. Tracking the Atlantic Multidecadal Oscillation through the last 8,000 years. *Nat Commun* 2, 178 (2011).

<https://doi.org/10.1038/ncomms1186>

23 - Buchan, J., Hirschi, J. J., Blaker, A. T., and Sinha, B. (2014). North Atlantic SST Anomalies and the Cold North European Weather Events of Winter 2009/10 and December 2010. *Monthly Weather Review* 142, 2, 922-932,

<https://doi.org/10.1175/MWR-D-13-00104.1>.

24 - Rodwell, M., Rowell, D. & Folland, C. Oceanic forcing of the wintertime North Atlantic Oscillation and European climate. *Nature* 398, 320–323 (1999).

<https://doi.org/10.1038/18648>

25 - Årthun, M., Wills, R. C. J., Johnson, H. L., Chafik, L., and Langehaug, H. R. (2021). Mechanisms of Decadal North Atlantic Climate Variability and Implications for the Recent Cold Anomaly. *Journal of Climate* 34, 9, 3421-3439, available from: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0464.1>.

26 - Bryden, H.L. & King, B.A. & McCarthy, G. & Mcdonagh, Elaine. (2014). Impact of a 30% reduction in Atlantic meridional overturning during 2009-2010. *Ocean Science*. 11. <http://dx.doi.org/10.5194/osd-11-789-2014>

27 - Cassou. (2004). Du changement climatique aux régimes de temps : l'oscillation nord-atlantique. *La Météorologie*. 45. https://meteone.pagesperso-orange.fr/image/previsions/phenomenes/NAO/Cassou_la_meteorologie_04.pdf.

28 - Nick Finnis. (2017). Look Back At December 2010 - The Coldest In 100 Years. <https://www.netweather.tv/weather-forecasts/news/8607-look-back-at-december-2010---the-coldest-in-100-years>

29 - Met Office. (2016). Snow and low temperatures, December 2010. <https://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/metofficegovuk/pdf/weather/learn-about/uk-past-events/interesting/2010/snow-and-low-temperatures-december-2010---met-office.pdf>

30 - Prior, John & Kendon, Mike. (2011). The disruptive snowfalls and very low temperatures of late 2010. *Weather*. 66. 315-321. <http://dx.doi.org/10.1002/wea.874>.

31 - Jiang, Leishan & Li, Tim. (2019). Relative roles of El Niño-induced extratropical and tropical forcing in generating Tropical North Atlantic (TNA) SST anomaly. *Climate Dynamics*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-019-04748-7>.

32 - García-Serrano, J., Cassou, C., Douville, H., Giannini, A., and Doblus-Reyes, F. J. (2017). Revisiting the ENSO Teleconnection to the Tropical North Atlantic. *Journal of Climate* 30, 17, 6945-6957, available from: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0641.1>

33 - Zhang, Wenjun & Jiang, Feng & Stuecker, Malte & Jin, Fei-Fei & Timmermann, Axel. (2021). Spurious North Tropical Atlantic precursors to El Niño. *Nature Communications*. 12. 3096. <https://www.nature.com/articles/s41467-021-23411-6>.

34 - Jiang, L., and Li, T. (2021). Impacts of Tropical North Atlantic and Equatorial Atlantic SST Anomalies on ENSO. *Journal of Climate* 34, 14, 5635-5655, available from: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0835.1>

35 - Wang, C., and Zhang, L. (2013). Multidecadal Ocean Temperature and Salinity Variability in the Tropical North Atlantic: Linking with the AMO, AMOC, and Subtropical Cell. *Journal of Climate* 26, 16, 6137-6162, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00721.1>

36 - Hansen, F., Matthes, K., and Wahl, S. (2016). Tropospheric QBO-ENSO Interactions and Differences between the Atlantic and Pacific. *Journal of Climate* 29, 4, 1353-1368, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0164.1>

- 37 - Labe, Zachary & Peings, Yannick & Magnusdottir, Gudrun. (2019). The Effect of QBO Phase on the Atmospheric Response to Projected Arctic Sea Ice Loss in Early Winter. *Geophysical Research Letters*. 46. 7663-7671.
<http://dx.doi.org/10.1029/2019GL083095>.
- 38 - Ding, S., Chen, W., Feng, J., and Graf, H. (2017). Combined Impacts of PDO and Two Types of La Niña on Climate Anomalies in Europe. *Journal of Climate* 30, 9, 3253-3278,
<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0376.1>.
- 39 - Li, Z., Zhang, W., Stuecker, M. F., Xu, H., Jin, F., and Liu, C. (2019). Different Effects of Two ENSO Types on Arctic Surface Temperature in Boreal Winter. *Journal of Climate* 32, 16, 4943-4961,
<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0761.1>.
- 40 - Wang, S., Huang, J., He, Y. et al. Combined effects of the Pacific Decadal Oscillation and El Niño-Southern Oscillation on Global Land Dry–Wet Changes. *Sci Rep* 4, 6651 (2014).
<https://doi.org/10.1038/srep06651>
- 41 - Liang, Y., Yu, J., Saltzman, E. S., and Wang, F. (2017). Linking the Tropical Northern Hemisphere Pattern to the Pacific Warm Blob and Atlantic Cold Blob. *Journal of Climate* 30, 22, 9041-9057,
<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0149.1>.
- 42 - Wenjun Z. et al. (2019). A Nonstationary ENSO–NAO Relationship Due to AMO Modulation. *Journal of Climate*, 32, 33-43,
<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0365.1>
- 43 - Yu, B., Zwiers, F.W. The impact of combined ENSO and PDO on the PNA climate: a 1,000-year climate modeling study. *Clim Dyn* 29, 837–851 (2007).
<https://doi.org/10.1007/s00382-007-0267-4>
- 44 - Soulard, Nicholas & Lin, Hai. (2017). The spring relationship between the Pacific-North American pattern and the North Atlantic Oscillation. *Climate Dynamics*. 48. 10.1007/s00382-016-3098-3.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-016-3098-3>.
- 45 - Pinto, J.G., Reyers, M. & Ulbrich, U. The variable link between PNA and NAO in observations and in multi-century CGCM simulations. *Clim Dyn* 36, 337–354 (2011).
<https://doi.org/10.1007/s00382-010-0770-x>
- 46 - Claude F., Amélie S., Guillaume G, Young-Oh K. An observational estimate of the direct atmospheric response to the Arctic sea ice loss in the cold season. *Blue Ocean* (2019).
https://www.umr-lops.fr/content/download/133855/file/Claude_Frankignoul_Conf_Seaice_Brest2019.pdf
- 47 - Ringgaard, I.M., Yang, S., Kaas, E. et al. Barents-Kara sea ice and European winters in EC-Earth. *Clim Dyn* 54, 3323–3338 (2020).
<https://doi.org/10.1007/s00382-020-05174-w>
- 48 - Amy B. (2016). El Niño and the stratospheric polar vortex,
<https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/el-ni%C3%B1o-and-stratospheric-polar-vortex>
- 49 - Hardiman, SC, Dunstone, NJ, Scaife, AA, et al. Predictability of European winter 2019/20: Indian Ocean dipole impacts on the NAO. *Atmos Sci Lett*. 2020; 21:e1005.
<https://doi.org/10.1002/asl.1005>