

## LES INDICATEURS CLIMATIQUES DE GRANDE ECHELLE ET LA VARIABILITE DES TEMPÊTES SUR LE TERRITOIRE FRANÇAIS

D. JOUAN

*Laboratoire Costel-LETG UMR 6554 du CNRS, Université de Rennes 2  
et CSTB département Climatologie, Aérodynamique, Pollution et Epuration  
11 rue Henri Picherit, BP 82341, 44323 Nantes cedex 03  
[E-mail: jouan@cstb.fr](mailto:jouan@cstb.fr)*

### Résumé

Les indices climatiques de grande échelle comme l'Oscillation Nord Atlantique sont calculés à partir des mesures de pression atmosphérique et présentent donc l'avantage d'être disponibles sur des périodes de temps plus longues que les données de mesures de vitesse du vent. Afin de pouvoir faire une climatologie des tempêtes sur une durée étendue, on cherche à voir si la fréquence et l'intensité des tempêtes sont reliés à ces indices. Il s'avère que des épisodes de vent fort isolés peuvent survenir dans des configurations de circulation atmosphérique très différentes, alors que les tempêtes qui affectent une superficie importante du territoire français se produisent principalement en régime zonal quand les indices ont des valeurs positives. Mais une des limites de l'utilisation de ces indices est que la réciproque ne se vérifie pas.

### Abstract

High scales climatic indexes like the North Atlantic Oscillation are built from pressure measurements. These data are available on longer time scales than wind speed data. In order to build storm climatology on an extended period, we want to study the relationship between oscillation indexes and storms in term of frequency and intensity. Isolated strong wind events could occur in various atmospheric circulation pattern, although storms that affect a great area on the French territory occurs mainly in zonal weather regime when climatic indexes take positive values. But one of the limit of such indexes is that the reciprocity is not verified.

**Mots-clés** : tempêtes, variabilité inter-annuelle, analyse statistique, ONA

**Keywords** : storms, year to year variability, statistical analysis, NAO

### Introduction

On mesure une augmentation de la teneur en gaz à effet de serre dans l'atmosphère depuis le milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle. Une des craintes principales serait que la fréquence et l'intensité des événements extrêmes soient modifiées, en allant vers un renforcement des contraintes et du risque qu'ils engendrent. Pour l'étude des tempêtes, un des problèmes rencontré est la courte durée des séries de mesure du vent. Pour effectuer une climatologie des tempêtes sur un intervalle de temps qui soit suffisamment long, il est donc nécessaire de recourir à d'autres paramètres, ceux-ci étant toujours en lien avec les caractéristiques physiques et dynamiques des tempêtes. Les mesures de pression atmosphérique sont parmi celles qui sont les plus anciennes et elles présentent l'avantage d'être moins sensibles aux variations d'instrumentation. Nous allons voir dans cette étude le lien qui existe entre les indices climatiques de grande échelle, qui traduisent la variabilité de la circulation atmosphérique et les tempêtes qui touchent le territoire français.

## 1. Données

### 1.1. Les imperfections des séries de mesure

Les données qui permettent de mesurer l'intensité d'une tempête sont la vitesse des vents enregistrés d'une part, et la valeur de pression atmosphérique d'autre part. Un des problèmes qui se pose est la mesure des rafales maximales, car jusqu'au début des années 1980, elles détérioraient souvent les anémomètres, ce qui rendait difficile la mesure des rafales de vent d'intensité supérieure à 50 m.s<sup>-1</sup>. Pour cette raison, il existe de nombreuses discontinuités dans les séries de mesure, que ce soit en raison des changements d'appareils ou des destructions d'appareils dans les sites exposés aux rafales les plus fortes (Lemasson, 1999).

En outre se pose le problème de la faible densité du réseau au dessus des océans. Or les tempêtes qui frappent le Nord Ouest de l'Europe prennent naissance au dessus de l'Atlantique Nord et la distribution des cyclones extratropicaux présente une dominante océanique (Trzpit, 1978). Pour cette raison, les étapes d'évolution des tempêtes sont imparfaitement connues à ce jour. De plus, il se peut très bien que le réchauffement climatique se traduise par une modification des trajectoires des tempêtes sans pour autant que leur intensité se modifie. Ainsi, une modification à l'échelle régionale ne traduirait pas forcément une modification à l'échelle de l'Atlantique Nord, dans l'hypothèse où l'on puisse observer une translation vers l'Est du rail des dépressions en lien avec un renforcement du gradient de température (Beersma et al., 1997).

### 1.2. les données utilisées

Deux fichiers initiaux couvrant la saison froide ont été fournis par Météo-France. Un premier recense les dates où au moins une des 67 stations en activité sur la période 1962-1999 a enregistré une rafale supérieure à 100 km/h. Le second fichier recense les épisodes de vent fort (rafales > 100 km/h) qui se sont déroulés pendant 3 jours consécutifs sur la période 1950-1999 et qui ont touché 10 stations au moins sur les 67 qui ont servi à l'étude. Un indice d'ampleur de tempête a été défini selon le nombre de stations touchées par un épisode de vent fort pendant l'événement considéré. Cet indice est constitué de 4 seuils : moins de 10 stations, entre 10 et 19, entre 20 et 29, et plus de 30 postes touchés sur au moins une journée de l'épisode de 3 jours considéré.

## 2. L'incertitude des échelles de variabilité

Nous pouvons voir sur la **figure 1** qu'il existe une forte variabilité inter-annuelle qui est soulignée par la courbe des moyennes mobiles. Nous pouvons observer une baisse du nombre de tempêtes par saison froide du début des années 1960 jusqu'au milieu des années 1970 puis une remontée rapide au début des années 1980 qui se maintient pendant la décennie avant de légèrement baisser au cours des années 1990. Il est toutefois possible de souligner la plus forte occurrence des hivers avec un nombre important de tempêtes sur la fin de la période, avec les hivers remarquables de 87/88, 89/90 et de 94/95, alors que les hivers faiblement tempétueux (moins de 10 tempêtes) surviennent seulement avant 1976. Cela explique la tendance à l'augmentation du nombre de tempêtes sur l'ensemble de la période qui est souligné par la droite de tendance.

En outre, la variabilité naturelle du climat est mal connue, et rien ne permet de mettre en relation cette tendance observée avec le réchauffement des températures qui a été observé concomitamment. Cependant, il convient de nuancer ces affirmations, car ces résultats concernent des données assez disparates avec des tempêtes *d'intensités différentes* qui ont touché des *superficies différentes*, et ne laissent présager en rien de la variabilité des événements de forte intensité.

Ainsi, la **figure 2** montre l'évolution du nombre de tempêtes de forte ampleur par saison froide, c'est à dire des événements pendant lesquels l'étendue des régions concernées par des vitesses de vent élevées était importante. L'intervalle de temps choisi n'est pas l'année civile mais l'année (septembre-août) centrée sur la saison froide (octobre-mars).

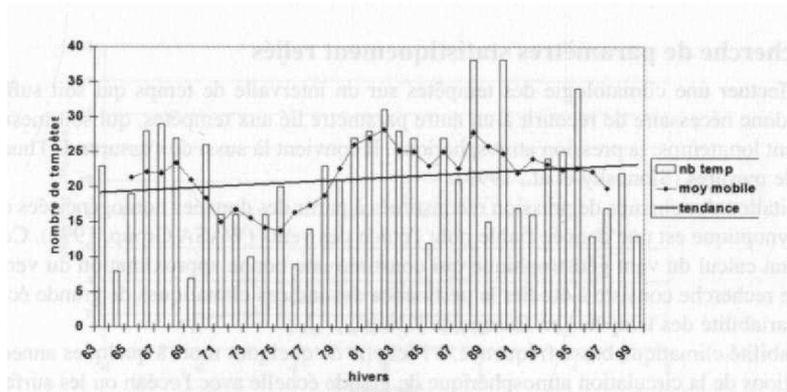


Figure 1 : Evolution du nombre de tempêtes par saison froide (octobre à mars) sur le territoire français de 62/63 à 98/99.

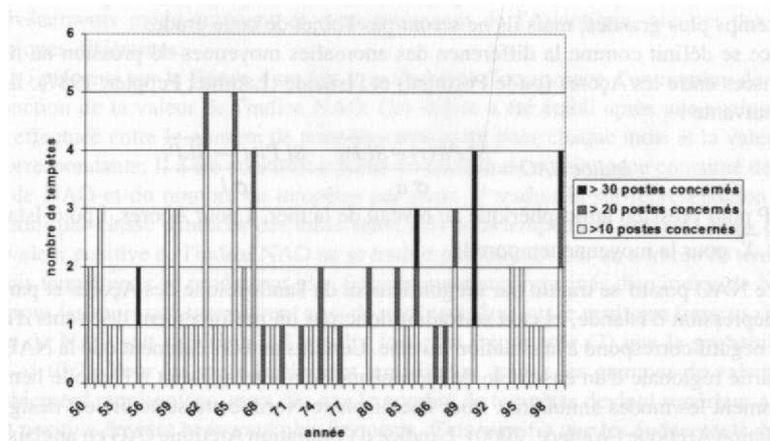


Figure 2 : Evolution du nombre de tempêtes en France par hiver selon leur ampleur entre 1950 et 1999 (d'après un réseau de 67 postes répartis sur l'ensemble du territoire métropolitain).

On retrouve pour les tempêtes de forte ampleur (plus de 10 postes touchés) une grande variabilité inter-annuelle avec des caractéristiques qui sont assez comparables avec le nombre total de tempêtes par an. Cela se traduit par un nombre assez élevé dans les années 1960 suivi d'une baisse dans les années 1970 pour revenir à un niveau assez élevé dans les années 1980 et 1990. L'évolution diverge quelque peu puisque le *nombre de tempêtes de forte ampleur* est plus important dans les années 1960 que dans les années 1980. Mais ce qu'il y a de plus remarquable, c'est que les *tempêtes de très forte ampleur* (qui concernent plus de 30 postes) sont beaucoup plus fréquentes sur la fin de la période (une en 1984 et en 1999, 3 en 1990) contre une seule auparavant en 1955. Cependant, ces événements ont une période d'occurrence assez faible. Il est dès lors possible d'émettre des réserves sur la représentativité de l'échantillon de données, mais cette tendance est suffisamment nette pour être soulignée.

Cependant, ces données ne permettent pas de faire une climatologie des tempêtes, et il est nécessaire d'élargir la période d'étude. Pour cela, il faut trouver d'autres données qui sont reliées avec la vitesse du vent mesurée au sol.

### 3. La recherche de paramètres statistiquement reliés

Pour effectuer une climatologie des tempêtes sur un intervalle de temps qui soit suffisamment long, il est donc nécessaire de recourir à un autre paramètre lié aux tempêtes, qui soit mesuré depuis suffisamment longtemps: la pression atmosphérique. Il convient là aussi de s'assurer de l'homogénéité des séries de mesures (Slonosky et al., 1999).

L'exploitation des champs de pression reconstitués à partir des données homogénéisées de stations du réseau synoptique est une donnée fiable pour l'étude des vents (WASA Group, 1998). Cela permet d'effectuer un calcul du vent géostrophique qui constitue une bonne approximation du vent réel. Un autre axe de recherche consiste à étudier la pertinence des indices climatiques de grande échelle pour décrire la variabilité des tempêtes en Europe de l'Ouest.

La variabilité climatique basse fréquence, à l'échelle de quelques mois à quelques années, est liée aux interactions de la circulation atmosphérique de grande échelle avec l'océan ou les surfaces continentales. Ces oscillations sont en général plus actives en hiver lorsque le gradient méridien de température équateur-pôle est aussi le plus important, et que les perturbations sont les plus fréquentes. Pour l'Atlantique Nord, cette oscillation est connue sous le nom d'Oscillation Nord Atlantique (NAO en anglais). D'autres mécanismes sont responsables des fluctuations climatiques observées à des échelles de temps plus grandes, mais ils ne seront pas l'objet de cette étude.

Cet indice se définit comme la différence des anomalies moyennes de pression au niveau de la mer, normalisées entre les Açores (ou le Portugal) et l'Islande (Lamb et Pepler, 1987). Il est calculé de la façon suivante :

$$\text{indice NAO} = \frac{SLPa(t) - \overline{SLPa}}{\sigma_a} - \frac{SLPi(t) - \overline{SLPi}}{\sigma_i}$$

avec SLP pour pression atmosphérique au niveau de la mer, a pour Açores, i pour Islande,  $\sigma$  pour écart type et  $\bar{X}$  pour la moyenne temporelle.

Un indice NAO positif se traduit par un gonflement de l'anticyclone des Açores et par un creusement de la dépression d'Islande, et cela se traduit donc par un renforcement des vents d'ouest, alors qu'un indice négatif correspond à la situation inverse. Certains auteurs estiment que la NAO ne constitue que la partie régionale d'un ensemble de mécanismes qui interagissent à l'échelle hémisphérique et qu'ils nomment les modes annulaires. Pour l'hémisphère Nord, cette structure est désignée sous le nom d'Oscillation Arctique (Wallace, 2000). L'indice d'Oscillation Arctique (AO en anglais) se calcule à partir de la première composante principale d'une Analyse en Composante Principale (ACP) effectuée sur le champ de pression au niveau de la mer. Selon la valeur de cet indice, la force du flux zonal est favorable à une forte interaction onde planétaire-flux moyen (Thompson et Wallace, 2000).

Cependant, ce sont des indices qui sont calculés à grande échelle, et ils ne décrivent qu'imparfaitement la situation moyenne de l'atmosphère sur le territoire considéré à une échelle temporelle qui peut être variable. Nous allons étudier leur pertinence pour des événements qui sont localisés dans l'espace et dans le temps.

En ce qui concerne les tempêtes, les liens entre les tempêtes et les indices semblent moins évidents comme le montre la **figure 3**.

On peut voir que même si le nombre de tempêtes tend à augmenter quand l'indice NAO augmente, la corrélation entre le nombre de tempêtes par mois et l'indice de NAO demeure très faible (0.26) et n'a donc pas vraiment de signification statistique. La corrélation est encore plus faible avec l'indice AO (0.12). L'échelle temporelle n'a que peu d'incidence, car si on se place à l'échelle de la saison froide étendue (octobre à mars) les corrélations passent à 0.28 pour la NAO et 0.11 pour l'AO. Mais il faut souligner que ces résultats tiennent compte d'épisodes de vent fort qui sont très différents les uns des autres. En effet certains auront été ressentis à une échelle locale alors que d'autres auront eu une intensité et une étendue spatiale beaucoup plus importante. De plus, aucune distinction n'est faite

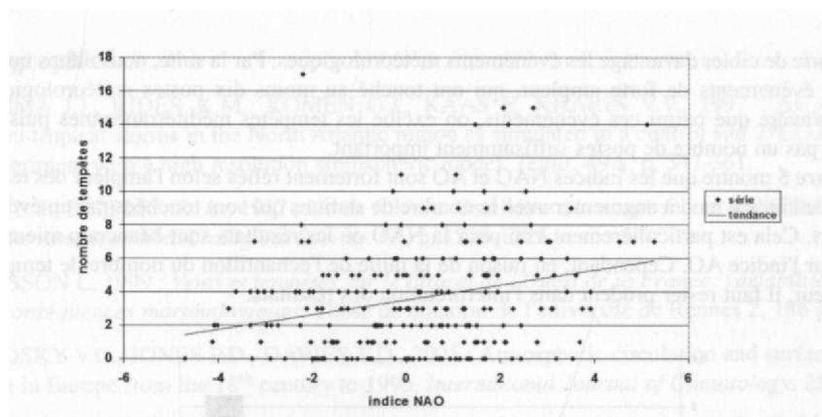


Figure 3 : nombre de tempêtes enregistrées pendant les mois de la saison froide (octobre à mars) selon la valeur de l'indice NAO pour la période 1962 à 1999.

entre les événements méditerranéens et ceux provenant de l'Atlantique, qui ont des dynamiques météorologiques différentes.

L'indice  $i$  présenté sur la figure 4 traduit la probabilité d'occurrence d'un nombre de tempêtes par mois en fonction de la valeur de l'indice NAO. Cet indice a été établi après une analyse des correspondances effectuée entre le nombre de tempêtes enregistré pour chaque mois et la valeur de l'indice de NAO correspondante. Il a été construit à partir du tableau de contingence constitué des fréquences de classes de NAO et du nombre de tempêtes par mois. Il traduit la surreprésentation (ou la sous-représentation) par classe d'indices des mois selon s'ils sont tempétueux ou non. Nous pouvons voir que si une valeur positive de l'indice NAO ne se traduit pas toujours par un nombre de tempêtes important, les mois tempétueux se produisent plus fréquemment accompagnés d'un indice de NAO élevé.

Ainsi, pour les mois qui enregistrent plus de neuf tempêtes sur le territoire français, la probabilité que l'indice de NAO soit supérieur à 1 est dix fois plus importante (2) que la probabilité qu'il soit inférieur à -1 (0.2). Pour les mois faiblement tempétueux, toutes les gammes de valeur des indices sont équitablement représentées, mais dès que le nombre de tempêtes devient supérieur à 5, les cas où la NAO est positive devient beaucoup plus fréquents. Cela signifie que les événements de vent fort se produisent plus fréquemment lors d'épisodes qui ont une durée de plusieurs jours consécutifs.

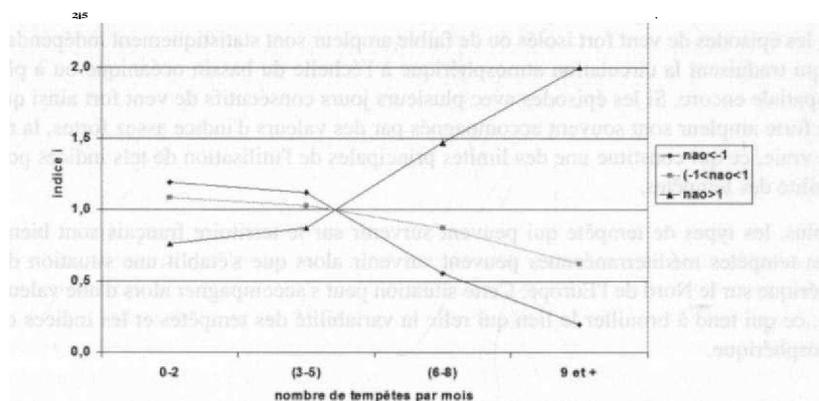
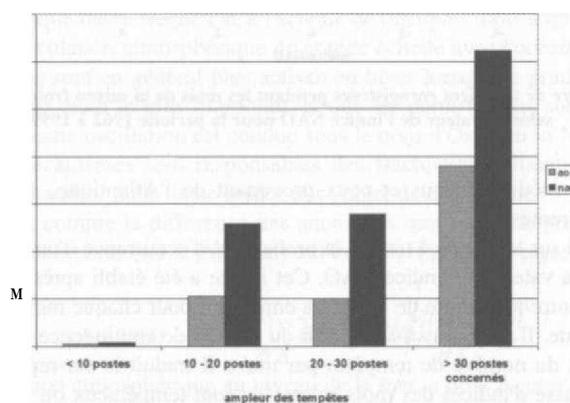


Figure 4 : Indice de probabilité d'occurrence mensuelle du nombre de tempêtes selon l'indice NAO.

Il importe de cibler davantage les événements météorologiques. Par la suite, nous allons nous intéresser aux événements de forte ampleur, qui ont touché au moins dix postes météorologiques du réseau. Il s'avère que parmi ces événements, on exclue les tempêtes méditerranéennes puisqu'elles n'affectent pas un nombre de postes suffisamment important.

La **figure 5** montre que les indices N A O et AO sont fortement reliés selon l'ampleur des tempêtes. La valeur de l'indice tend à augmenter avec le nombre de stations qui sont touchées par un événement de vent fort. Cela est particulièrement vrai pour la NAO où les résultats sont beaucoup mieux corrélés que pour l'indice A O. Cependant, en raison de la taille de l'échantillon du nombre de tempêtes de forte ampleur, il faut rester prudent dans l'interprétation des résultats.



**Figure 5 :** Valeur moyenne des indices d'Oscillation Arctique et d'Oscillation Nord-Atlantique selon le nombre de postes concernés par des vents forts.

## Conclusion

Il faut retenir que la variabilité inter-annuelle du nombre et de l'ampleur des tempêtes ne permet pas de pouvoir déceler de tendances significatives, d'autant plus que la variabilité naturelle reste mal connue en raison de la durée des séries de mesure disponibles. Les indices climatiques de grande échelle présentent l'avantage de pouvoir être calculés sur des périodes de temps beaucoup plus longues, mais nous avons pu voir qu'ils sont imparfaitement reliés avec les événements de tempête. En effet, les épisodes de vent fort isolés ou de faible ampleur sont statistiquement indépendants de ces indices qui traduisent la circulation atmosphérique à l'échelle du bassin océanique ou à plus grande échelle spatiale encore. Si les épisodes avec plusieurs jours consécutifs de vent fort ainsi que les épisodes de forte ampleur sont souvent accompagnés par des valeurs d'indice assez fortes, la réciproque n'est pas vraie, ce qui constitue une des limites principales de l'utilisation de tels indices pour décrire la variabilité des tempêtes.

De plus, les types de tempête qui peuvent survenir sur le territoire français sont bien distincts. Ainsi, les tempêtes méditerranéennes peuvent survenir alors que s'établit une situation de blocage atmosphérique sur le Nord de l'Europe. Cette situation peut s'accompagner alors d'une valeur de N A O négative, ce qui tend à brouiller le lien qui relie la variabilité des tempêtes et les indices de circulation atmosphérique.

## Bibliographie

- BEERSMA J.J., RIDER K.M., KOMEN G.J., KAAS E, KHARIN V.V., 1997 : An analysis of extra-tropical storms in the North Atlantic region as simulated in a control and 2\*CO2 time-slice experiment with a high resolution atmospheric model. *Tellus*, 49A, p. 347-361.
- LAMB R J., PEPPLER R. A., 1987 : North Atlantic Oscillation: concept and an application, *Bulletin of the American Meteorological Society*. 68, p. 1218-1225.
- LEMASSON L, 1999 : *Vents et tempêtes sur le littoral de l'Ouest de la France: variabilité, variation et conséquences morphologiques*, Thèse de doctorat de l'université de Rennes 2, 186 p.
- SLONOSKY V.C., JONES P.D., DAVIES T.D., 2001 : Atmospheric circulation and surface temperature in Europe from the 18<sup>th</sup> century to 1995, *International Journal of Climatology*. 21, p. 63-75.
- THOMPSON D. W. J., WALLACE J. M., 2000 : Annular modes in the extratropical circulation. Part I : month to month variability, *Journal of Climate*. 13, pp. 1000-1016.
- TRZPIT J. P., 1978 : Activités cycloniques et rythmes climatiques aux latitudes moyennes, *Norois*, 97, pp. 69-85 ; *Norois* 98, p. 149-168.
- W A L L A C E J. M . , 2000 : North Atlantic Oscillation/annular mode: two paradigms-one phenomon, *Quarterly Journal of the royal Meteorological Society*. 126, p. 791-805.
- W A S A Group, 1998 : Changing waves and storms in the Northeast Atlantic?, *Bulletin of the American Meteorological Society*. 79 (5), p. 741-760.