

# ÉVOLUTION MENSUELLE DU CLIMAT À NICE-AÉROPORT (FRANCE) EN 70 ANS : IDÉES REÇUES, EMBÛCHES ET FAITS ÉTABLIS

Pierre CARREGA

## Résumé

L'article insiste sur la méthodologie développée dans la recherche d'évolution de variables climatiques entre 1945 et 2015 à Nice-aéroport, en particulier sur les métadonnées renseignant sur les déplacements du poste. Sans surprise, la hausse, maximale en été, alors que l'insolation ne s'accroît qu'en hiver, est plus importante pour les températures minimales que pour les maximales. L'humidité relative est en forte baisse, pour l'essentiel à cause de la très faible augmentation de la vapeur d'eau dans l'air imitée par  $\Theta^w$ . Les précipitations diminuent mais sans tendance réellement significative, tout en accroissant leur variabilité mensuelle.

## Mots-clés

tendance, tests statistiques, variabilité, variables climatiques, changements

## Abstract

*This paper insists on the methodology used to look for climate evolution from 1945 to 2015 at Nice-airport meteorological station, especially on metadata attached to the station location. While insolation only increases in winter, it is not a surprise to observe maximum thermal increase in summer, higher for minimum temperatures than for maximum. Relative humidity is highly decreasing, mainly due to very low increase of water vapour quantity in air, as for  $\Theta^w$ . Rainfall is also decreasing but without significant trend, while its monthly variability increases.*

## Keywords

*trend, statistical tests, variability, climate data, changes*

## I. INTRODUCTION

L'étude des chroniques a toujours constitué l'un des pans de la climatologie, même avant que l'idée d'un changement climatique généré par les activités humaines commence à germer (Carrega *et al.*, 1984). L'homme ayant une mémoire courte, tend à considérer tout événement de quelque importance comme unique et jamais vu auparavant : « on n'avait jamais vu ça ».

Mais le climat n'est évidemment pas constitué que de records ou de faits extrêmes, et le déroulement au jour le jour du temps, même ordinaire, mérite que l'on se penche sur son évolution et que l'on cherche à détecter une quelconque organisation temporelle,

sous forme de cycles ou de tendances, ou d'une simple variabilité. Là aussi, la mémoire humaine est souvent bien défailante, ce qui justifie la création de bases de données de longue durée sur lesquelles on puisse s'appuyer et raisonner objectivement, à condition qu'elles soient fiables.

D'innombrables études ont été et sont effectuées sur l'évolution du climat à l'échelle annuelle majoritairement, voire saisonnière, et concernent en particulier les précipitations et la température, minimale ( $T_n$ ), maximale ( $T_x$ ) ou moyenne  $T_{my}$  (habituellement  $(T_n+T_x)/2$ ). Or l'échelle mensuelle, facilement disponible, autorise l'expression de subtilités intra-saisonnières, et nous avons décidé de travailler à cette échelle mensuelle, sur plusieurs

variables « sources » qui sont la température, les précipitations, l'insolation et l'humidité de l'air.

La région concernée est la Côte d'Azur française, dont le poste le plus fiable et le plus ancien est celui de Nice-aéroport, de niveau « synoptique », donc tenu par un personnel qualifié, en permanence, sur un aéroport international, depuis plus de 20 ans le second de France pour sa fréquentation, après celui de Paris.

Nous avons exposé au 6<sup>ème</sup> colloque de l'Association Internationale de Climatologie (AIC) à Thessalonique (Carrega, 1993) une étude qui cherchait déjà à faire le point à l'époque sur cette thématique de l'évolution, intitulée « Les tendances actuelles du climat de la Côte d'Azur (France) », reposant sur les stations de Nice-aéroport (1946-1992) et Cannes-Mandelieu (1950-1992).

Cet article va permettre de vérifier si les évolutions constatées à l'époque ont continué ou pas, mais il met l'accent sur les embûches d'un tel objectif, en insistant peut-être davantage sur la démarche que sur les résultats.

Une première section présente la région et fait le point sur les données disponibles et les choix retenus, tandis que la seconde section est consacrée aux calculs et ajustements, et donne, par variable, les principaux résultats. La conclusion-discussion est plus synthétique et insiste sur la relativité des regards que l'on peut porter sur les études d'évolution temporelle climatique.

Nous n'avons pas ici pour ambition de procéder à des calculs très sophistiqués sur les séries climatiques (analyses de Fourier, ondelettes) pour chercher des cycles. En effet, les exigences d'une analyse très rigoureuse ne sont pas vraiment remplies. Nous allons donc quantifier la manière dont a évolué ce climat niçois en 70 ans, en insistant sur les tendances, sans perdre de vue que la variabilité du climat se joue des conclusions hâtives.

Une tendance linéaire (trend) est matérialisée par une droite des moindres carrés d'équation  $y=ax+b$  s'ajustant au mieux à une série chronologique (de telle manière que la somme des écarts entre les valeurs naturelles et leur projection sur la droite qui les résume soit minimale). Cette droite ne constitue pas une régression simple car ceci exigerait que les deux séries corrélées soient gaussiennes, ce qui n'est

pas le cas puisque le temps (time) n'est pas gaussien, d'où l'inadéquation du calcul d'un coefficient de corrélation. La relativité des conclusions est de mise : une droite de tendance par nature est sensible aux valeurs de début et de fin, et donc susceptible de se modifier allègrement pour chaque année supplémentaire, ce qui met en cause la robustesse de ce modèle.

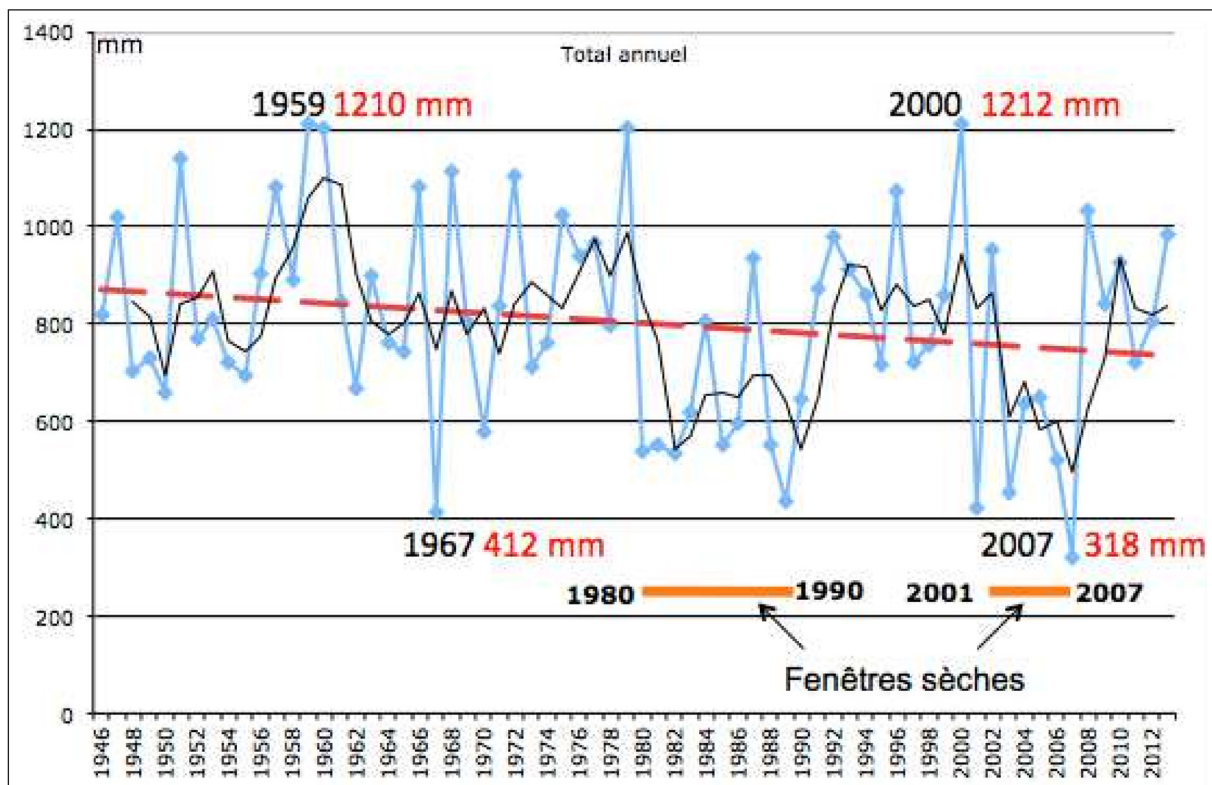
Nous présentons ainsi la figure ci-dessous à une conférence en 2014. On y observe une tendance de -130 mm sur moins de 70 ans à Nice-aéroport (1946-2013), donc une diminution annuelle des pluies non négligeable (Figure 1).

Il se trouve que la première année suivant la période étudiée en Figure 1 (2014) a battu le record absolu avec 1266 mm, ce qui, en l'incluant dans la tendance, atténue de près de 30 mm cette dernière. Par ailleurs, l'évolution des pluies annuelles brutes montre non seulement une forte variabilité interannuelle (valeurs oscillant entre 318 mm et 1212 mm), mais aussi des décrochements, plus visibles avec les moyennes glissantes (ordre 5). Ainsi de 1980 à 1990 s'ouvre une décennie sèche, suivie d'une fenêtre humide, à laquelle succèdent 7 années sèches. Le comportement est donc très hétérogène, et la tendance n'est qu'une indication absolument non extrapolable, mais surtout faussement linéaire, ce qui ne l'empêche de fournir un ordre d'idée quantifié sur le comportement d'ensemble d'une variable, et explique son utilisation -circonspecte- ici.

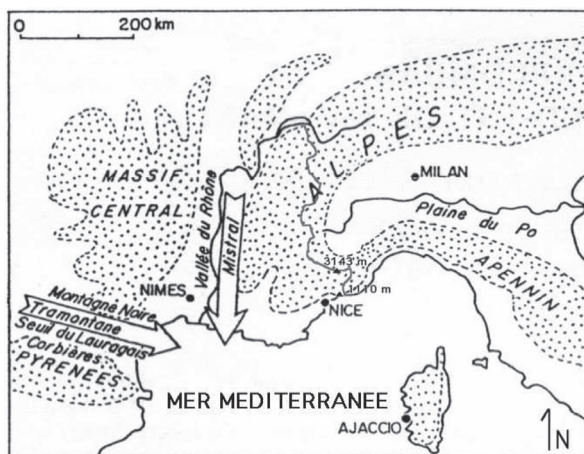
## II. SITUATION, SITE ET HISTOIRE DU POSTE DE NICE-AÉROPORT : UN BIAIS, D'ENTRÉE

### A. Une situation générant de forts contrastes en fonction de la circulation atmosphérique

La région niçoise, dans le sud-est de la France, appartient à la fois aux mondes méditerranéen et alpin (Figure 2). Sa situation à 44° N et sur le flanc sud des Alpes la place, de fait, en marge sud de la plupart des systèmes perturbés zonaux (d'ouest). C'est une évidence en été, lorsque les dorsales anticycloniques poussent vers le nord et recouvrent largement tout le bassin méditerranéen. C'est très souvent le cas même en hiver, où le jet zonal balaye plutôt la moitié nord de la France ou les Iles Britanniques, même s'il lui arrive de descendre durablement en latitude comme en automne 2000 ou en novembre 2014.



**Figure 1.** Précipitations annuelles à Nice-aéroport de 1946 à 2013. Données brutes, moyennes glissantes (ordre 5) et tendance en tireté. Les records sont indiqués



**Figure 2.** Situation de la région niçoise en bordure de Méditerranée. Source : Carrega, 1992

Le relief alpin a pour conséquence météorologique majeure de donner un rôle exceptionnel aux circulations méridiennes : les circulations de nord se font aisément au-dessus de 3000 m d'altitude environ, l'air froid de basse couche étant bloqué par le rempart montagneux, et ne pouvant lancer des attaques que par les quelques trouées disponibles (vallée du Rhône, ou cols de l'Apennin ligure lorsque l'air froid a réussi à remplir la plaine du Pô par le nord-est). Ainsi, la plupart des advections froides ne parviennent-elles sur la région qu'en altitude, ce qui les instabilise ; ou plus souvent, si le flux de secteur nord-ouest (NW)

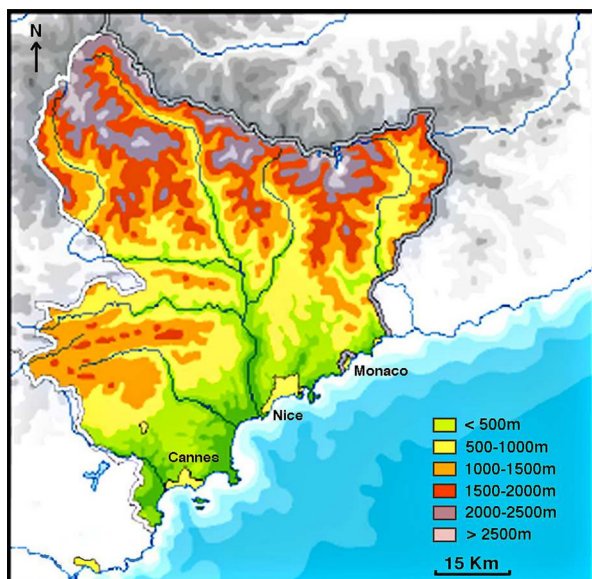
à nord (N) en altitude est rapide, vont-elles donner naissance à du foehn qui contribue largement à la douceur des hivers niçois (laquelle a donné naissance au XIX<sup>ème</sup> siècle au terme « Côte d'Azur », avant que la mode du bain estival s'impose).

L'autre circulation méridienne, celle de secteur sud, a un effet inverse, celui des abats pluviométriques excessifs, particulièrement en automne où l'orographie, le retour de circulations dynamiques à l'avant de forts abaissement de tropopause après la subsidence anticyclonique estivale, et la chaleur encore importante de la mer se conjuguent pour forcer l'ascendance de l'air humide.

## B. Un site de contrastes topographiques et thermiques

À plus fine échelle, Nice est une ville littorale adossée à la terminaison sud des Alpes franco-italiennes, avec de forts gradients altitudinaux : un peu à l'est, le Mont Agel dépasse 1100 m à 3 km de la mer, et les sommets de la crête frontière du Mercantour dépassent 3000 m à moins de 50 km au nord (Figure 3).

La rareté des sites plats a « forcé » la localisation de l'aéroport de la ville à l'embouchure du fleuve Var, sur sa rive gauche (Figure 4). L'aéroport est



**Figure 3.** Situation de Nice et de son arrière-pays montagneux. Source inconnue

antérieur à la Seconde Guerre mondiale (aérodrome « officiel » en 1929), mais ce n'est qu'en 1944 qu'est construite une piste « en dur ».

### C. Le poste météorologique de Nice-aéroport : de l'intérêt des métadonnées et des questions à se poser !

#### 1. Positions du poste

Comme partout, la demande d'informations météorologiques par l'aviation entraîne la création du poste à l'aéroport, dans ses parages nord et est au début, puis près des pistes comme l'indiquent les métadonnées fournies par Météo France (Tableau 1 et Figure 5).



**Figure 4.** Site de Nice et de l'aéroport. Source : Google Earth

Il apparaît qu'à ses débuts, la station change cinq fois de place en 3 ans (dernière guerre), puis quatre localisations successives vont se succéder de 1946 à nos jours (6 : Villa Floris d'avril 1946 à avril 1957, 7 et 8 : rive gauche du Var d'avril 1957 à juin 2008 (Figure 6), et 9 : bordure sud de piste, de 2008 à nos jours).

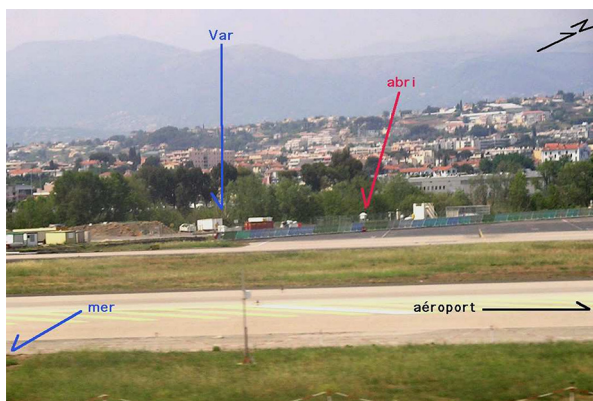
Un premier problème vient donc jeter la suspicion sur ces données : celui de l'exactitude de leur localisation, un poste en mer étant peu probable ! Les localisations de 1942-1946 ne sont pas vérifiables, celle de 1946 à 1958 (6) une fois corrigée (6') ainsi que celles de 1957 à 2008, puis de 2008 à nos jours paraissent exactes à 200 m près (degré de précision annoncé par Météo France).

**Tableau 1.** Les 9 emplacements successifs de la station de Nice-aéroport à partir de 1942. Source : Météo France. Version du 30 janvier 2017

Lieu dit (latitude, longitude, altitude)	du	au	Numéro/Fig.5
Californie-est aérodrome (43°40'00" N, 7°13'00" E, 3m)	01/07/1942	27/11/1942	Hors figure
Villa Mireille (43°40'00" N, 7°12'00" E, 3m)	30/11/1942	04/01/1944	Hors figure
Villa Massena (43°41'26" N, 7°16'06" E, 2m)	05/01/1944	10/09/1944	Hors figure
Aérodrome (43°40'00" N, 7°13'01" E, 2m)	11/09/1944	04/11/1944	Hors figure
Quartier Ferber-piste est (43°40'00" N, 7°12'24" E, 4m)	05/11/1944	04/04/1946	Hors figure
Villa Floris aérodrome (43°39'22" N, 7°12'06" E, 4m)	05/04/1946	25/04/1957	6'
Aéroport (43°39'22" N, 7°12'06" E, 4m)	26/04/1957	30/11/2006	7'
Aéroport (43°39'22" N, 7°12'07" E, 4m)	01/12/2006	10/06/2008	8''
Aéroport (43°38'56" N, 7°12'32" E, 2m)	11/06/2008		9''



**Figure 5.** Localisation des quatre derniers emplacements successifs de la station de Nice-aéroport. D'après données Météo France (versions successives, fournies à 200 m près). Cartographie Cyriel Adnès. Les numéros correspondent à certaines des 9 positions successives de la station depuis 1942. Certaines erreurs ont donné lieu à des révisions et donc à une succession (jusqu'à 3) de positions du même poste signalées par le suffixe ' ou '' (la dernière étant supposée la plus vraisemblable). 6' : 1946 - 1957 ; 7' : 1957-2006, 8'' : 2006-2008, 9'' : depuis 2008. Le tireté blanc correspond au rivage en 1955 (voir plus loin la Fig. 23)



**Figure 6.** Photo du poste en juin 2007 prise à l'atterrissage, vue vers le NW. Cliché P. Carrega

Or l'expérience en topoclimatologie (André *et al.*, 1991) montre que quelques mètres de déplacement peuvent fortement influencer les variables climatiques, en particulier la température.

Ici, la topographie est plane, mais au moins trois phénomènes interviennent, capables d'avoir un impact sur les données (Carrega, 1992) :

- L'exposition au vent de terre : la brise nocturne renforcée par l'effet Venturi dans la vallée du Var

assez rectiligne (brise mixte mer-montagne) est ici la règle sur plus de 90 % du temps durant la nuit, et continue fréquemment à souffler le matin et parfois la journée entière par temps froid ou pluvieux. Le déplacement de l'abri météorologique peut donc modifier l'apport advectif en air froid.

- La proximité d'obstacles en dur (bâtiment, radar, végétation), selon les périodes.

- Inversement, le souffle des réacteurs d'avion a pu être reçu par l'abri, différemment selon la position plus ou moins proche de la piste, sous « son » vent, d'où un possible réchauffement local totalement artificiel.

Des « sources de chaleur artificielles » sont par exemple notées, sans autre précision, de 1999 à 2008 (fiche de poste, 2017).

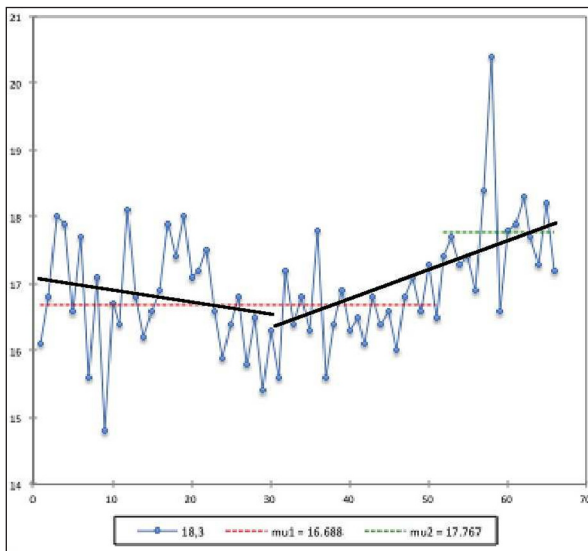
## 2. Qualité des données

Ensuite, comme partout, des impacts peuvent aussi être liés aux changements de type d'instruments de mesure : la fiche de poste indique par exemple que les thermomètres mini et maxi ont changé de type en 1944, 1947, 1958, 1962, 1967, puis des sondes thermométriques apparaissent en 1973 et 2005 sans qu'il soit certain que tous les changements soient répertoriés. Pour la série d'insolation, on note ainsi que l'héliographe Jordan est remplacé en 1968 par un Campbell masque (optique), suivi d'un Campbell chauffant masque de 1972 à 1990. On change ensuite de technologie avec le Cimel (électronique).

Pour pallier les éventuelles insuffisances de qualité et les ruptures d'homogénéité des données, Météo France (2008) a procédé (comme sur nombre de postes) à des corrections (en particulier par corrélations avec certains postes voisins) sur les données brutes afin d'obtenir des données « homogénéisées » concernant les Tn et Tx (1959-2011) et les précipitations (1950-2010). Le croisement des données brutes et homogénéisées mensuelles montre trois périodes d'écart (en pourcentage) pour les précipitations (Figure 7).

On lit que les données brutes sont surestimées par rapport aux données homogénéisées, censées représenter la meilleure approximation de la « réalité », jusqu'à 1970, puis c'est l'inverse jusqu'à 1990, où l'écart demeure nul. Ces dates charnières ne correspondent pas à un changement répertorié de site du poste, ni de son environnement, d'où des



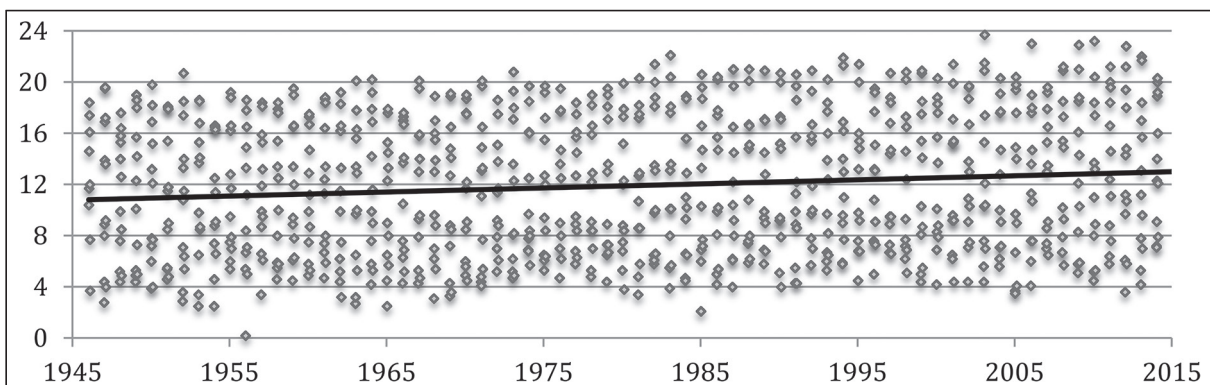


**Figure 8.** Contre-interprétation au diagnostic du test de Pettitt, proposée pour les Tx d'avril, en °C : deux tendances opposées 1949-1979 puis 1980-2015 à la place de deux séries séparées par une rupture en 1999

chements ou les successions de comportements différents étant nombreux, sans qu'il soit possible d'en avoir la raison qui peut être climatique ou liée à l'instrument ou à sa position.

### 3. Hétérogénéité des variables comparées

Autre problème : celui de la non similitude du mode de construction de données qui sont ensuite comparées ou associées pour en créer d'autres : la température moyenne  $T_{my}$  provient du couple  $T_x + T_n$  divisé par deux, donc des deux extrêmes quotidiens, alors que l'humidité relative moyenne  $U$  a été élaborée sur les  $n$  valeurs mesurées chaque jour à Nice ;  $n$  variant selon les périodes : avant 1949, 4 à 5 mesures/jour non séparées d'un intervalle constant ; de 1949 à 1996 mesures tri-horaires (8 par jour) ; après 1996 mesures horaires (24/jour).



**Figure 9.** Évolution de la moyenne mensuelle des températures minimales ( $T_n$ ) d'avril 1946 à décembre 2015, à Nice-aéroport. Unité : °C

À l'évidence, des biais impossibles à estimer précisément sont générés par ces protocoles.

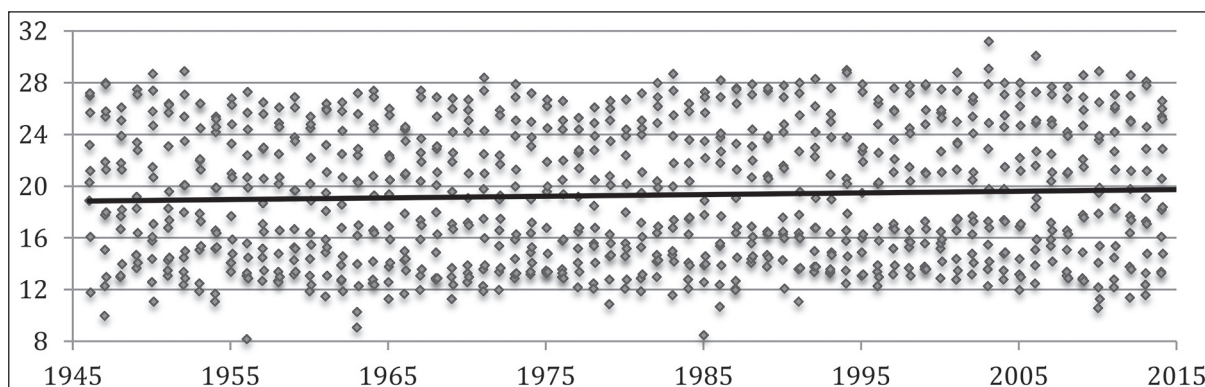
En conclusion, la recherche d'une évolution climatique d'un poste doit être accompagnée d'une méfiance systématique et justifiée ici, vis-à-vis des conditions de mesures.

Tout travail étant un compromis, nous avons choisi d'éliminer la période 1942-45 pour les températures (5 changements de localisation), et démarrons l'étude à partir de janvier 1946 jusqu'à 2015, soit 70 années, ou encore 837 mois consécutifs pour les séries non triées (succession naturelle des mois) ; à partir de 1949 pour les températures mensuelles classées par type de mois, pour l'humidité relative et ses dérivées, ou pour certaines comparaisons thermo-hygrométriques ; et à partir de 1945 pour l'insolation et les précipitations moins sensibles au déplacement du poste.

## III. LES DONNÉES ET LES TENDANCES

### A. Les températures minimales en hausse spectaculaire, et maximales presque stationnaires au fil des mois

À première vue, le comportement temporel respectif des  $T_n$  et  $T_x$  est conforme à ce qui est attendu car constaté ailleurs (Rotschild & Beltrando, 2007 ; GIEC, 2001) avec une augmentation nette des premières (+2,2°C en 70 ans), en particulier pour les plus fortes valeurs (été) (Figure 9), et une évolution moins marquée des secondes (0,9°C), surtout en hiver (Figure 10 et annexes). On note que les amplitudes saisonnières (écart entre le mois le plus froid et le plus chaud, dans l'absolu) des  $T_n$  et  $T_x$  sont similaires, proches de 8°C.



**Figure 10.** Évolution de la moyenne mensuelle des températures maximales (Tx) d'avril 1946 à décembre 2015, à Nice-aéroport. Unité : °C

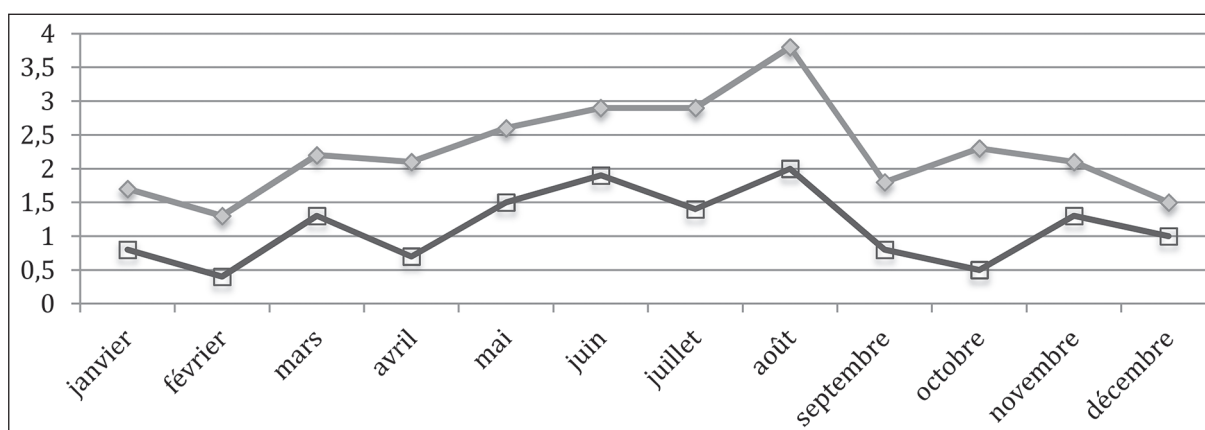
La hausse ne se vérifie pas seulement par les tendances, mais aussi par les dépassements de seuils. Ainsi, la valeur de 1,5 fois l'écart-type ( $\sigma$ ) des deux séries thermiques est sept fois plus souvent dépassée dans la deuxième moitié de la période (par rapport à la première) pour les Tn, et trois fois plus souvent pour les Tx (Tableau 4). Inversement, les valeurs inférieures à  $-1,5 \sigma$  sont moins nombreuses après 1982. En résumé, le réchauffement est plus marqué pour les valeurs les plus chaudes que pour les plus froides, d'où un accroissement des amplitudes absolues.

En regroupant les données mensuellement (janvier, février...) et en calculant leur tendance de 1949 à 2015, on constate des comportements différents qui, comme l'étude de 1993 (Carrega, 1993), montrent un accroissement maximal impressionnant en juillet-août ( $>+3^{\circ}\text{C}$  en 66 ans). La hausse est limitée en fin d'hiver-début de printemps, et globalement plus faible pour les Tx (Figure 11).

En résumé, l'hiver est moins froid mais se prolonge, voire jusqu'en avril, tandis que l'été se durcit.

**Tableau 4.** Valeurs de l'écart-type  $\sigma$  et de  $1,5 \sigma$  sur la totalité de la période 1949-2015 pour les Tn, Tx et Tmy, et comparaison du nombre de mois aux valeurs supérieures ou inférieures à  $1,5 \sigma$  durant la première et la seconde moitiés de l'intervalle 1949-2015

Type de température	Tn	Tn	Tx	Tx	Tmy	Tmy
Valeur de $\sigma$ et $1,5 \sigma$	5,40	8,11	5,21	7,81	5,29	7,93
Périodes	49-82	83-15	49-82	83-15	49-82	83-15
Nombre mois $> +1,5 \sigma$	7	48	15	47	9	47
Nombre mois $< -1,5 \sigma$	18	5	8	6	10	5



**Figure 11.** Comparaison mois par mois des tendances de Tn (losanges) et Tx (carrés) de janvier 1949 à décembre 2015, à Nice-aéroport. Unité : °C



### B. L'humidité relative U en baisse sensible...

Cette variable n'est mesurée que depuis janvier 1949, et la Figure 12 montre une décroissance assez nette de l'humidité U (7-8 % en tendance), et l'œil exercé décèle nettement une tendance quasi nulle jusque vers 1990-1995, et une accélération de la baisse par la suite.

La tendance mois par mois est systématiquement à la baisse, surtout en été et en décembre (Tableau 5).

La question se pose évidemment de la cause de cet écart entre des températures qui augmentent et une humidité relative qui diminue, cette dernière étant le rapport entre la tension réelle de vapeur d'eau et la tension maximale possible (fonction de la température). La hausse de température intervient-elle seule ou y a-t-il aussi une baisse de l'humidité absolue ?

Pour cela, la température du point de rosée (Td) a été calculée à partir de la température et de l'humidité mensuelles moyennes de l'air entre janvier

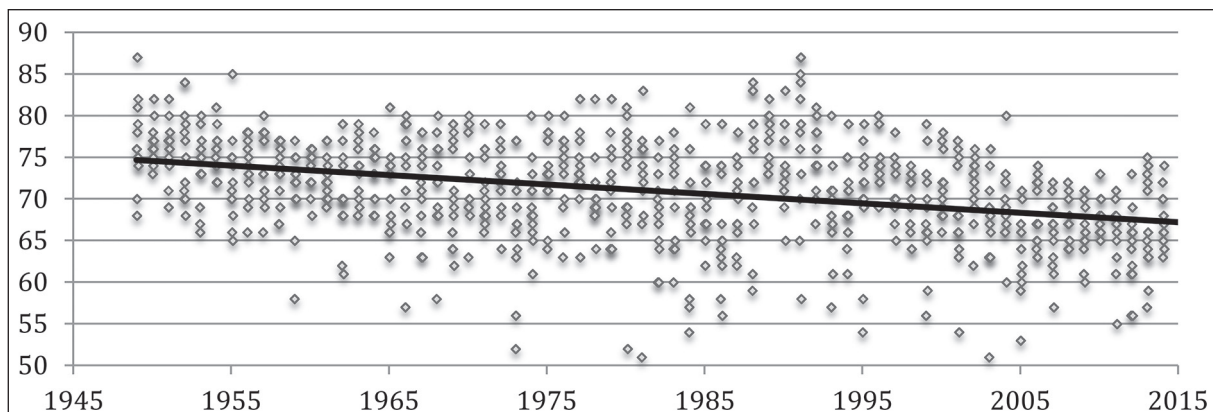


Figure 12. Évolution de l'humidité relative mensuelle de janvier 1949 à décembre 2015, à Nice-aéroport. Unité : %

Tableau 5. Tendances mensuelles de l'humidité relative entre 1949 et 2015. Unité : %

J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	an
-6	-7	-7	-4	-8	-8	-8	-10	-10	-4	-6	-10	-7,3

1949 (début des mesures d'humidité relative) et décembre 2015 selon la méthode suivante :

- calcul de la température moyenne mensuelle  $T_{my}$  ( $T_n + T_x$ ) / 2 ;
- calcul de l'humidité maximale possible  $U_x$  (tension de vapeur saturante en hPa) selon  $T_{my}$  ;
- calcul de l'humidité réelle (« absolue »)  $U_a$  en hPa, avec  $U_a = U_x * \text{humidité relative } U$  ;
- calcul de  $T_d$  à partir de  $U_a$ .

### C. Une tension de vapeur d'eau ... stagnante

La comparaison de  $T_{my}$  et  $T_d$  entre 1949 et 2015 montre clairement une hausse assez marquée des  $T_{my}$ , de l'ordre de + 1,7°C si l'on se réfère à la droite d'ajustement donnant la tendance alors que le  $T_d$  moyen ne subit strictement aucune évolution durant ces 67 ans (Figure 13).

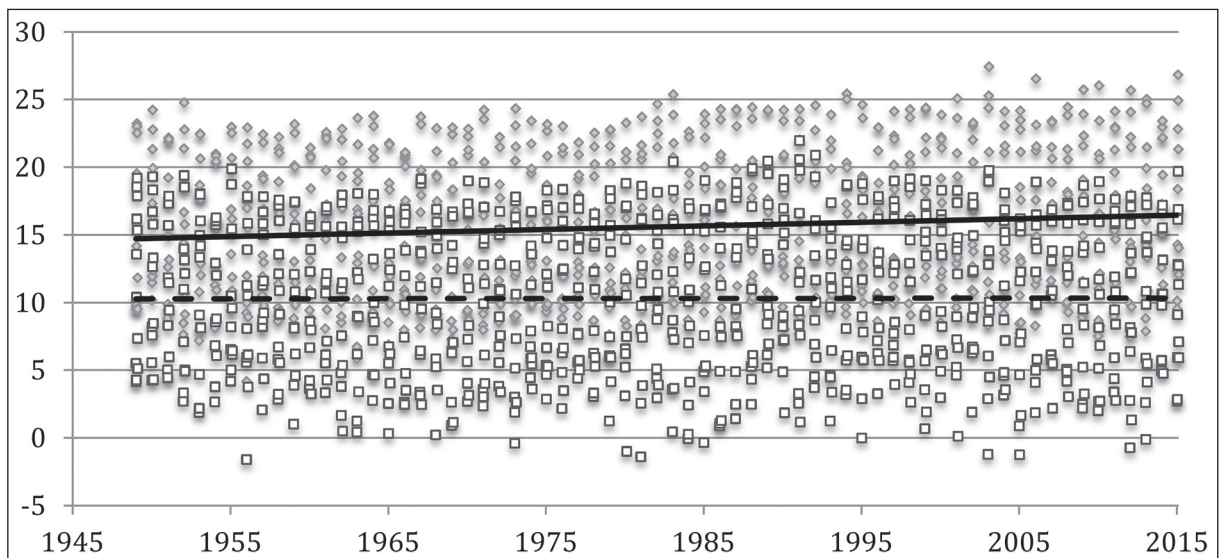
Cette absence d'évolution de  $U_a$  doit cependant être modulée, car d'origine hétérogène. En effet, elle est

fondée sur une succession alternée deux fois par jour, de masses d'air marin et continental, liée au cycle des brises thermiques très dominant à Nice.

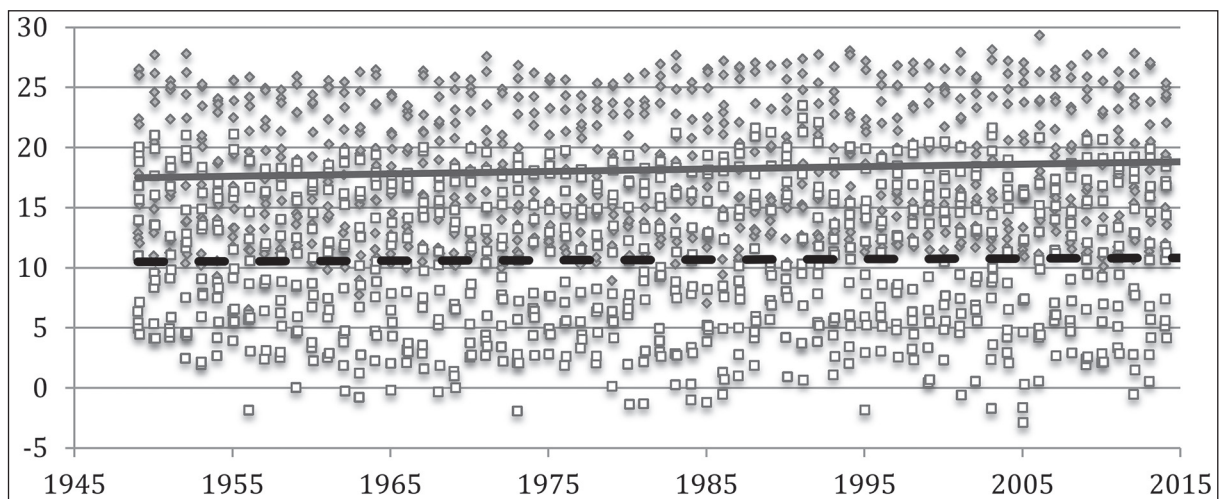
### D. Un air marin dont la contenance en vapeur d'eau n'a pas suivi son réchauffement

Pour savoir si l'apport d'humidité *marine* n'a pas changé, on procède de la même manière, mais uniquement à une heure où le vent souffle de la mer en très forte probabilité : 12h ou 15h TU, sur tous les mois de l'année. L'avantage est aussi que cette fois, le  $T_d$  est parfaitement synchronisé avec la température  $T$  car issu d'une mesure effectuée simultanément (température / humidité relative).

À 12h, la hausse moyenne est de 1,4°C pour les températures, et de 0,4°C pour le  $T_d$  (Figure 14), et respectivement de 1,1°C et 0,2°C à 15h TU (Figure 15). Cette dernière heure est encore moins susceptible de flux continental que 12h où, surtout en hiver la ren-



**Figure 13.** Évolutions comparées de Tmy (losanges et tendance en trait plein) et Td moyens (carrés et tendance en tireté) entre 1949 et 2015. Unité : °C



**Figure 14.** Évolutions comparées de Tmy (losanges et tendance en trait continu) et Td moyens (carrés et tendance en tireté) entre 1949 et 2015 à 12h TU. Unité : °C

verse (passage au flux marin) peut ne pas se produire si le continent demeure plus froid que la mer.

On conclut qu'en moyenne, par flux provenant de la mer, la température a crû de plus de 1°C alors que la teneur en vapeur d'eau de l'air est restée quasiment identique malgré le réchauffement de l'air (et celui de la mer ?).

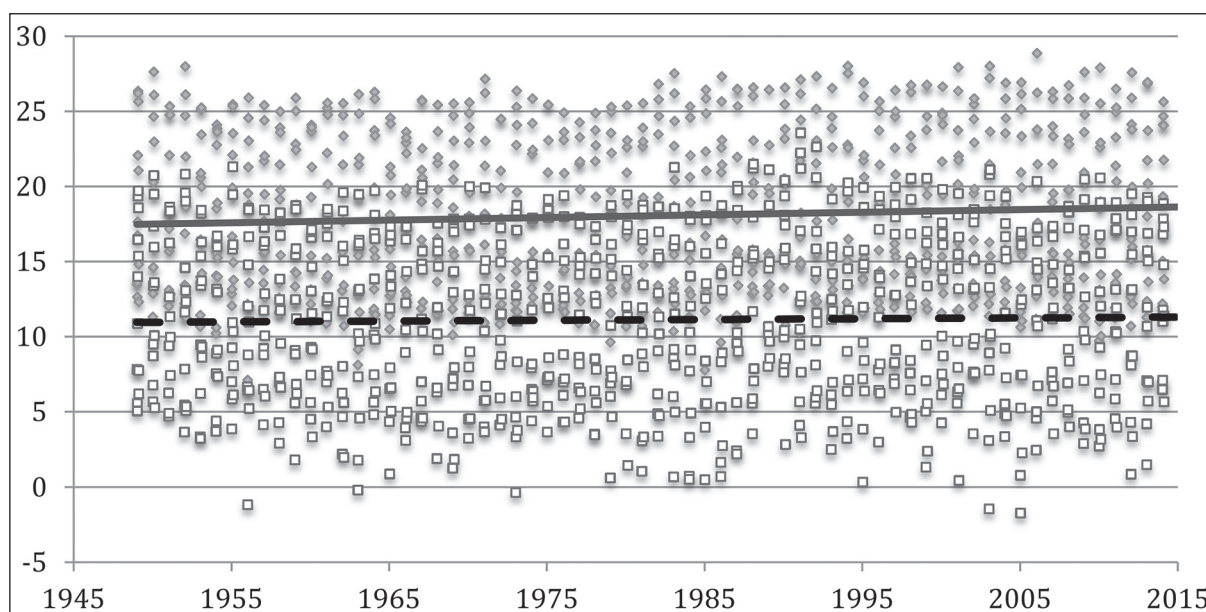
### **E. Un air marin estival avec un déficit de saturation croissant**

Pour éliminer le maximum de flux terrestres, nous appliquons alors ce même traitement en *été uniquement*, là où, sauf orage ou vent synoptique d'ouest (moins de 5 % des cas), il y a certitude d'un flux

exclusivement marin à 12h et 15h TU, la tombée de la nuit se produisant plus de trois heures plus tard (Tableau 6).

La hausse de température très nette l'après-midi en été (surtout en août) par flux marin n'est pas accompagnée de l'équivalent en température du point de rosée : l'apport de vapeur d'eau ne suit pas la capacité de l'air à la contenir, d'où l'accentuation du déficit de saturation en vapeur d'eau exprimé par l'écart Tmy-Td (Figure 16).

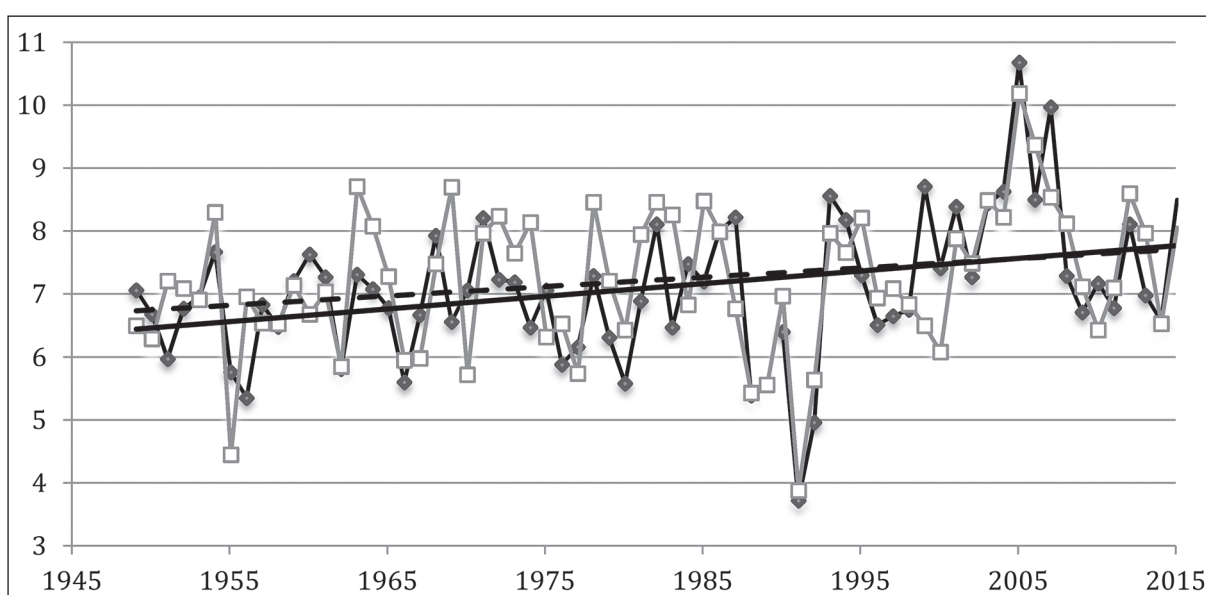
On note une évolution curieusement assez similaire des déficits, ceux d'août étant assez proches de ceux de juillet d'une même année (coefficient de corrélation  $r = 0,70$ ).



**Figure 15.** Évolutions comparées de Tmy (losanges et tendance en trait continu) et Td moyens (carrés et tendance en tireté) entre 1949 et 2015 à 15h TU. Unité : °C

**Tableau 6.** Tendances des températures sèches (Tmy) et de celles du point de rosée (Td) pour les mois de juillet et d'août à 12h et 15h TU, de 1949 à 2015 à Nice-aéroport

Mois-heure	Juillet 12h	Juillet 15h	Août 12h	Août 15h
Tmy (°C)	1,7	1,4	2,1	2,2
Td (°C)	0,3	0,4	1,2	1,0



**Figure 16.** Évolutions comparées du déficit de saturation Tmy-Td (°C) entre 1949 et 2015 à 12h TU, en juillet (losanges et tendance en trait plein) et en août (carrés et tendance en tireté)

### F. L'indicateur « magique » : la $\theta'w$

Pour raisonner en termes de masse d'air, nous avons calculé pour chaque mois ce qui semble en être le meilleur indicateur, car considéré comme constant, quelles que soient les transformations que puissent subir une masse d'air en mouvement (ce qui n'est pas le cas de  $T$  ou de  $T_d$  qui changent avec l'effet de foehn). Il s'agit de la *température pseudo-adiabatique potentielle du thermomètre mouillé* notée  $\theta'w$ , celle qu'aurait une particule d'air amenée à saturation par détente adiabatique, puis ramenée adiabaticquement en étant maintenue saturée jusqu'au niveau de pression 1000 hPa. Elle équivaut à peu près à la température d'un thermomètre mouillé (celle dont la différence avec la température « sèche » du psychromètre permet de calculer l'humidité relative), et on la considère comme une valeur conservative.

La Figure 17 montre entre 1949 et 2015 une élévation nettement inférieure de  $\theta'w$  mensuelle par rapport à celle de la température  $T_{my}$  :  $0,7^\circ\text{C}$  contre  $1,6^\circ\text{C}$ . L'examen détaillé montre une tendance non linéaire, avec une période de légère hausse vers 1980-2000 suivie d'une plus légère baisse après 2000.

Le même calcul de  $\theta'w$  à 12h TU en été (juillet et août), donc par flux marin, montre une hausse modérée de  $+0,4^\circ\text{C}$  en juillet et plus conséquente de  $+0,9^\circ\text{C}$  en août (Figure 18).

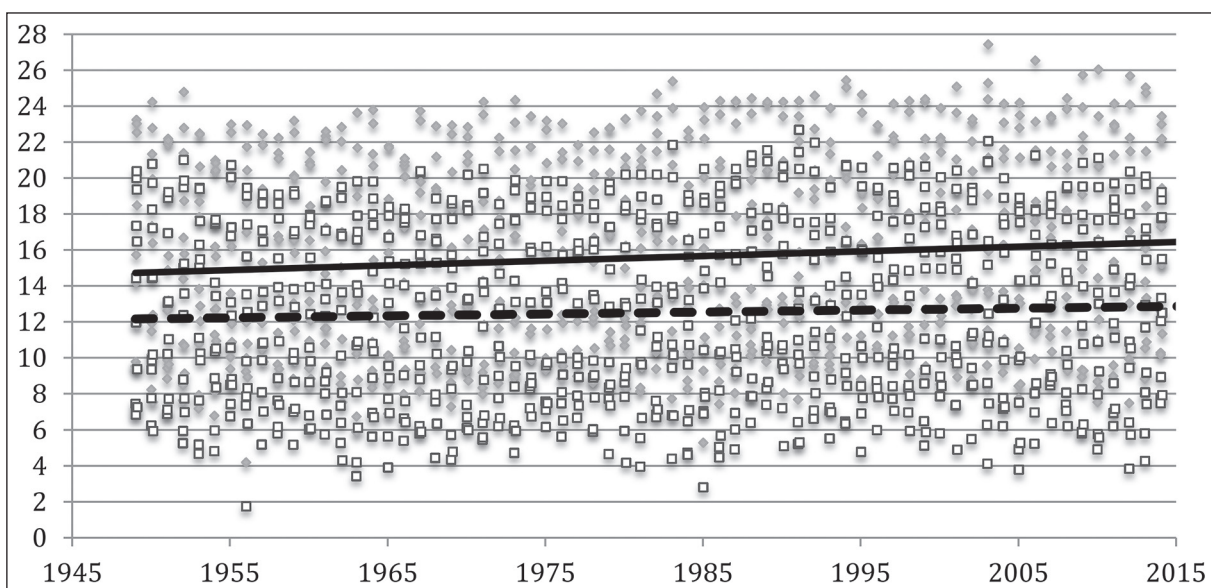
Mois par mois, sur une  $\theta'w$  calculée à partir de  $T_{my}$ , cette hausse se vérifie plus nettement, surtout en été avec l'exception de septembre. Seul l'hiver se réchauffe très peu (Tableau 7).

### G. Cette hausse de température est-elle liée à une insolation accentuée ?

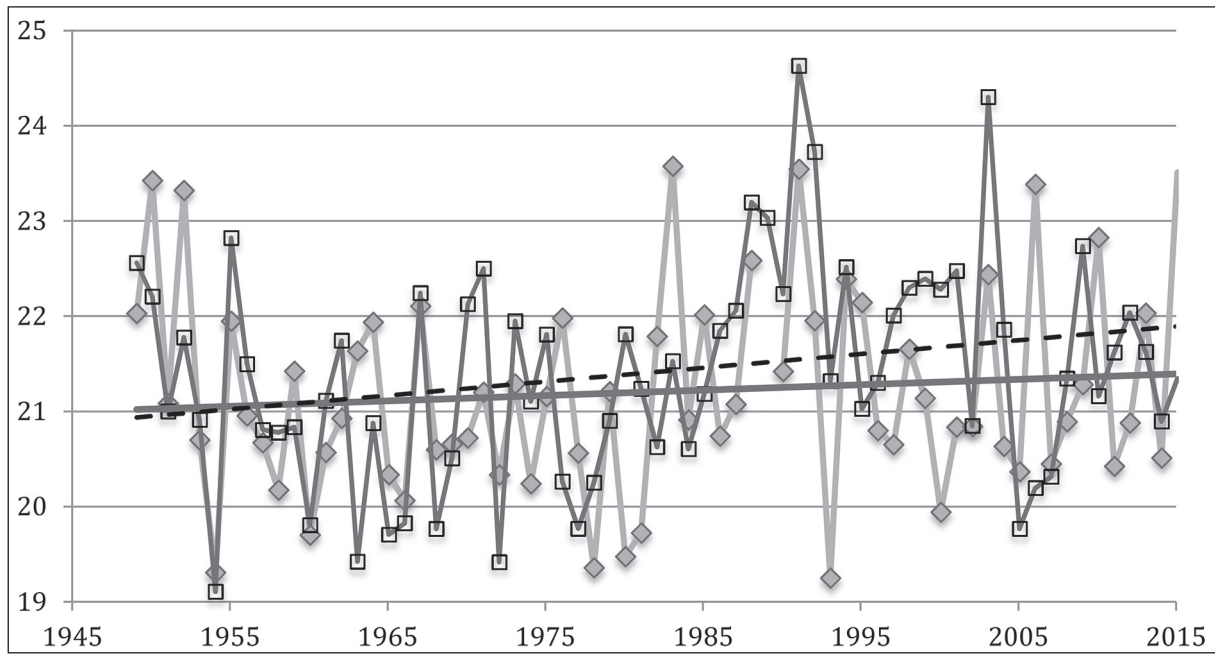
Il y a près de 25 ans (Carrega, 1993), on pointait la forte tendance à la baisse subie par l'insolation ( $-136\text{h}$  en 45 ans). Aujourd'hui, on note que le creux relatif des années 75-95 s'est redressé puisque la tendance générale est de  $-150$  minutes (soit  $-2\text{h}30$ ), donc une baisse devenue très faible (Figure 19).

En comparant les mois, on note essentiellement que seul l'hiver tend à être nettement plus insolé (Figure 20).

L'insolation peut être considérée (hors latitude et période de l'année) comme une mesure inverse de la nébulosité, et agissant sur les températures *a priori* maximales  $T_x$ . La covariance fonctionne mal puisque le coefficient de corrélation  $r$  est de  $0,38$ , ce qui est significativement faible. Nous en déduisons que la hausse des  $T_x$  est peu liée à l'insolation, mais que le comportement hivernal de cette dernière semble corroborer une circulation plus anticyclonique (Douguédroit & Norrant, 2008), surtout dans les années 1995-2005.



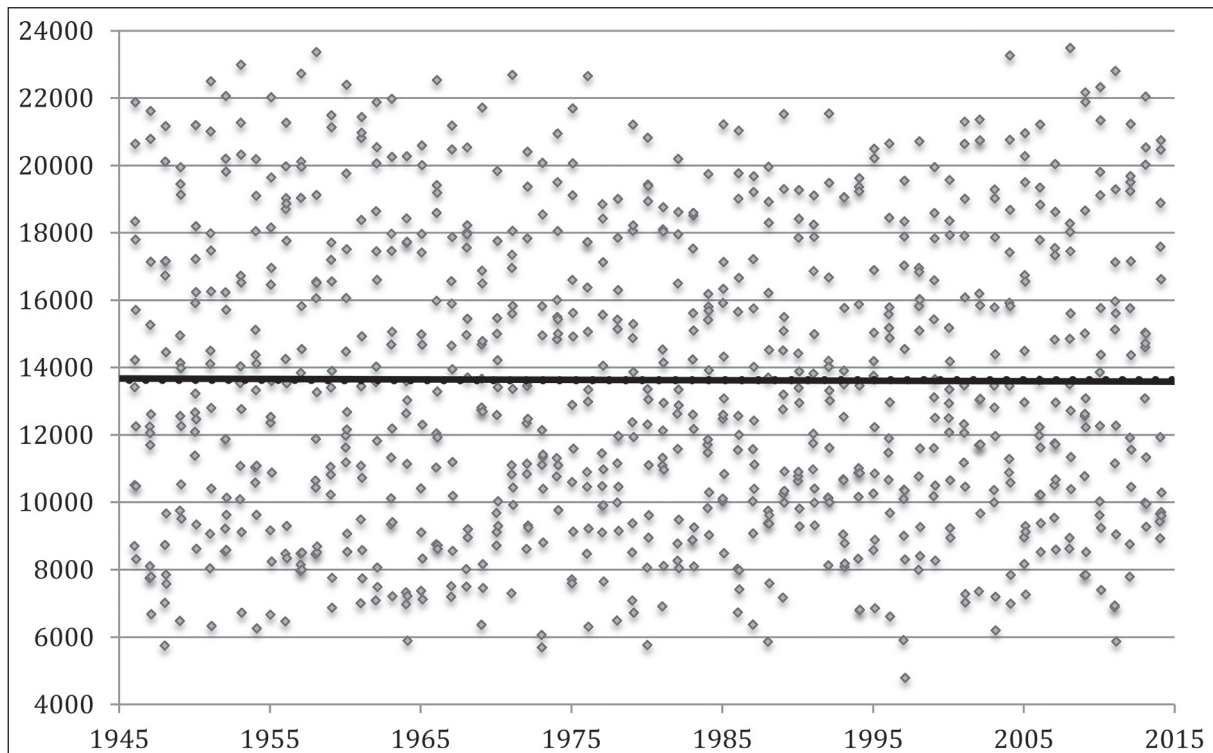
**Figure 17.** Évolutions comparées de  $T_{my}$  (losanges et tendance en trait continu) et  $\theta'w$  (carrés et tendance en tireté) entre 1949 et 2015 (tous mois). Unité :  $^\circ\text{C}$



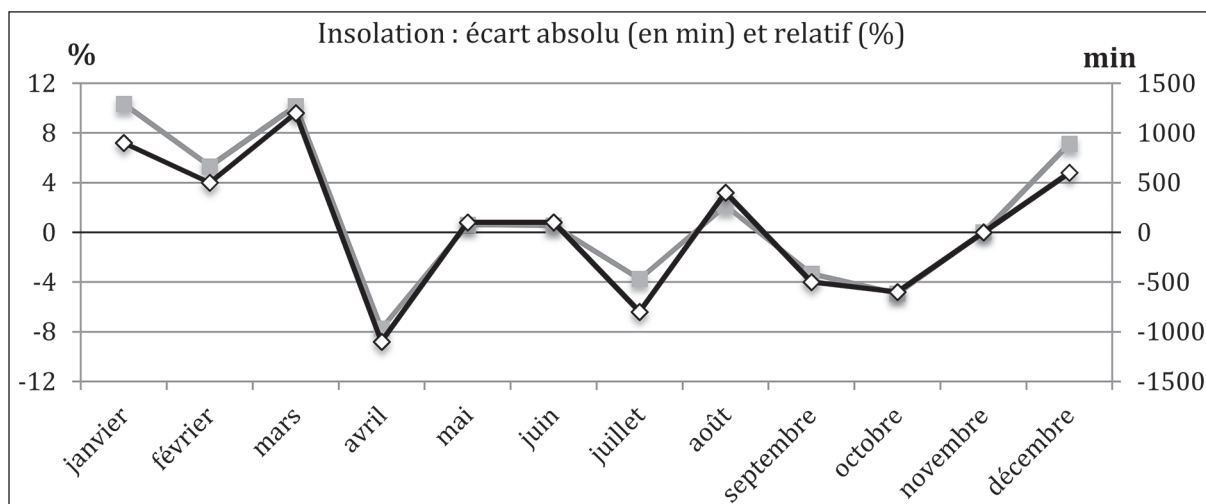
**Figure 18.** Évolutions comparées de Thêta'w entre 1949 et 2015 pour les mois de juillet (losanges et tendance en trait plein) et août (carrés et tendance en tireté), à 12h TU. Unité : °C

**Tableau 7.** Tendances mensuelles de  $\theta'w$  entre 1949 et 2015. Unité : °C

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	an
0,6	0,2	0,9	0,8	0,9	1,1	0,8	1,2	-0,2	0,9	0,9	0,2	0,7



**Figure 19.** Évolution de la durée d'insolation mensuelle de janvier 1945 à décembre 2015, à Nice-aéroport. Unité : minutes/mois



**Figure 20.** Comparaison des tendances mensuelles de l'insolation entre 1945 et 2015. Les différences en valeur absolue sont en minutes/mois (losanges), et les écarts relatifs sont en % (carrés)

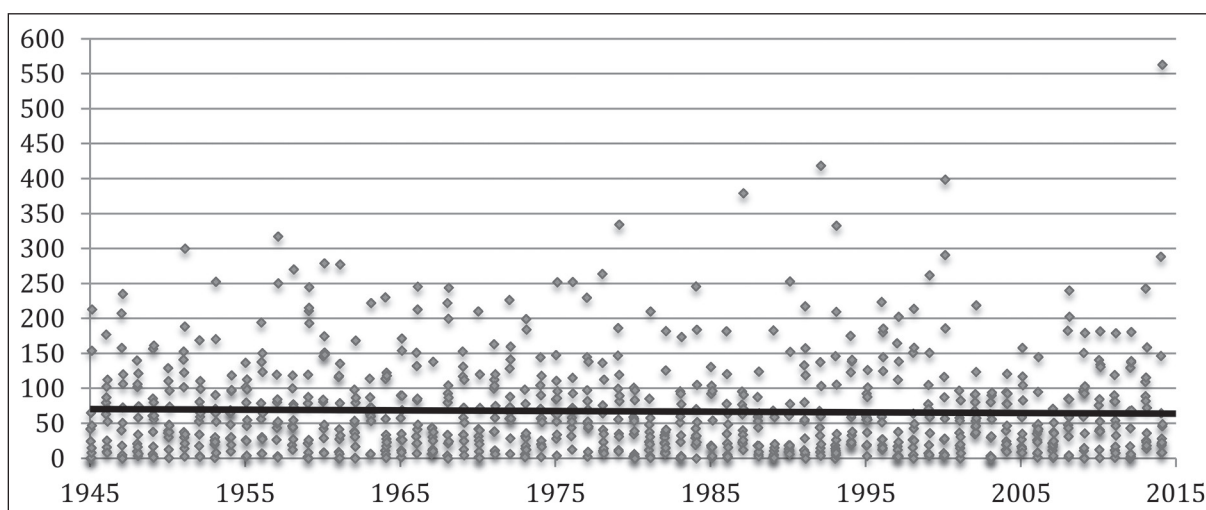
### H. Et les précipitations face à cette atmosphère plus chaude et plus sèche ?

De 1945 à 2015, la pluie baisse de 6 mm/mois en moyenne (de 70 à 64 mm), ce qui constitue une diminution d'environ 8 %. Mais plus importante nous paraît la croissance de l'amplitude et donc de la variabilité inter-mensuelle et inter-annuelle (Figure 21).

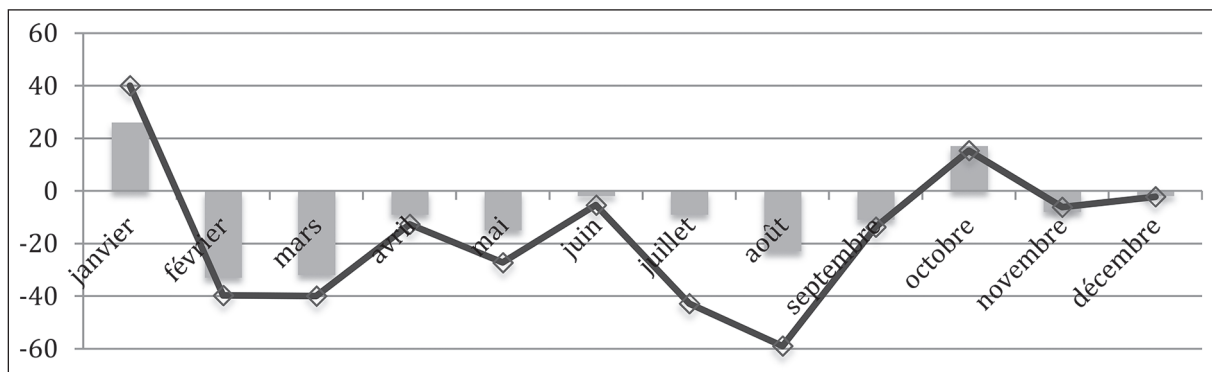
Les données homogénéisées par Météo France sur toute la période 1950-2010 montrent une décroissance mensuelle moyenne de 10 mm (de 72 à 62 mm), contre 11 mm (de 73 à 62 mm) pour les données brutes sur la même période.

Pour les données brutes, mois par mois, des distinctions s'opèrent entre 1949 et 2015 (Figure 22). Seuls deux mois voient leurs pluies augmenter : octobre et surtout janvier. Relativement, c'est surtout l'été qui s'assèche, et février dans l'absolu, qui est le seul mois dont la tendance est validée par le test de Mann-Kendall (*cf* II.C.).

L'examen mensuel (Annexes) montre qu'il n'est pas aisé de déceler de vraies tendances, car la variabilité est très forte : une valeur extrême « tire » les valeurs dans une tendance mais on note, malgré la baisse dominante, une hausse des fortes valeurs au printemps et en automne, donc des amplitudes, à partir des années 80.



**Figure 21.** Évolution du cumul mensuel de précipitations de janvier 1945 à décembre 2015, à Nice-aéroport. Unité : mm



**Figure 22.** Tendance des précipitations en valeur absolue (histogramme, en mm) et relative (losanges et trait continu, en %)

#### IV. DISCUSSION ET CONCLUSION

On a longuement insisté sur les nombreuses sources d'erreurs ou de biais, simplement liées à l'historique du poste et de son environnement ainsi, éventuellement, qu'aux éventuels changements instrumentaux. Il paraît vraiment capital de s'intéresser aux métadonnées, malheureusement souvent incomplètes voire erronées, nécessaires à la critique des données elle-même indispensable. L'exemple de Nice est à cet égard assez probant.

Malgré l'incertitude apportée par les conditions de mesure, il n'en demeure pas moins qu'entre la fin des années 40 et nos jours, un certain nombre de changements du climat est avéré : la hausse des  $T_n$ , supérieure à celle des  $T_x$ , maximale dans les deux cas de mai à août, donc autour de l'été.

Cette hausse semble s'accompagner d'un accroissement de la variabilité, des amplitudes, donc d'une modification de la distribution, sans que l'on puisse évoquer (c'est souvent trop vite le cas) une augmentation des extrêmes (et donc des aléas intervenant dans les risques), car l'échelle n'est ici que mensuelle, pas quotidienne ou multi-horaire.

La variabilité engendre ainsi des mois extraordinaires à toutes périodes de l'année : février 1956, janvier et février 1963, janvier 1985, février 1986, mars 1971, mai 1984 et 1991, octobre 1974 pour le froid. Pour la chaleur : janvier 1955 et 2007, février 1990, avril 2007, juin 2003, juillet 2006 et 2015 ; août 2003 ... le mois d'octobre 1974 est probablement le plus atypique avec une très faible  $T_n$ , une faible  $U$  et donc un faible  $T_d$ , liés à une persistance rare d'une circulation rapide d'ouest à nord, provoquant du Föhn sous le vent des Alpes.

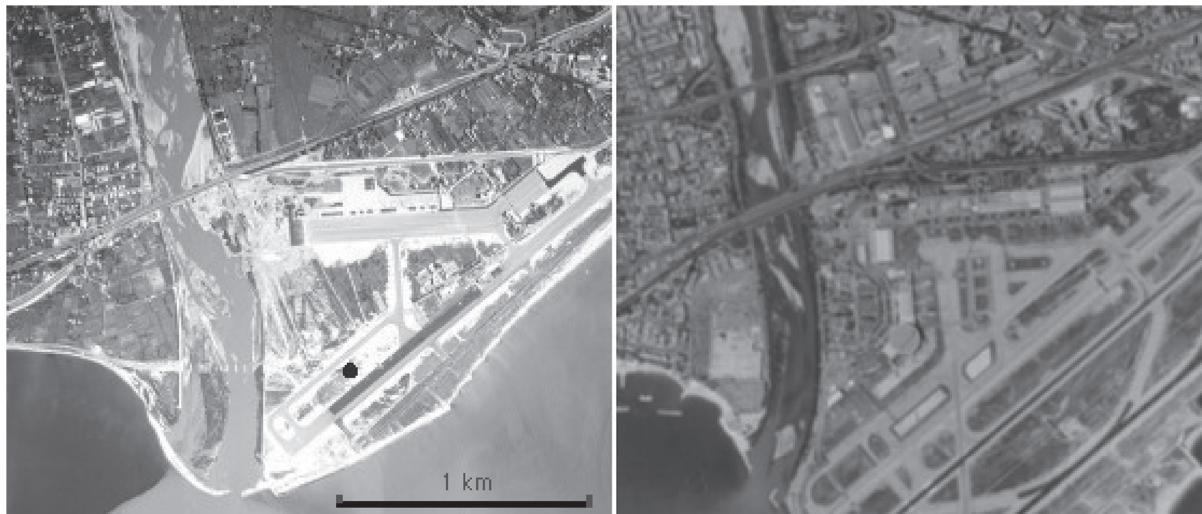
Il est intéressant de noter l'absence d'une hausse comparable de la vapeur d'eau pour le moment, dont la question de la ou des causes se pose : retard du réchauffement marin ? Mais les flux continentaux ne semblent pas plus humides non plus dans l'absolu. Les conséquences sont plutôt bénéfiques pour les habitants, surtout en été, avec une baisse généralisée de l'humidité relative  $U$ , donc un meilleur confort.

Logiquement, l'identificateur de masse d'air  $\theta'w$  est donc en hausse très faible en hiver, plus nette en été.

Dans ce contexte, la diminution généralisée des précipitations (excepté pour deux mois sur douze) doit donc être prise au sérieux, car toutes les agglomérations de la région ne bénéficient pas comme Nice de l'apport des eaux des hautes montagnes du Mercantour, qui constituent un apport allogène.

Sans que l'on puisse faire la part des choses, on peut concevoir que ces évolutions ont une triple origine, pesant différemment selon les variables climatiques, à une échelle spatialement de moins en moins fine :

- Les changements de site et d'instruments, et aussi de l'environnement immédiat du poste (avions), surtout pour  $T_n$ ,  $T_x$ ,  $T_{my}$  et  $\theta'w$  ;
- L'urbanisation progressive des environs de l'aéroport, plus marquée au nord (au vent de la brise nocturne) à partir des années 85-90. On est ainsi passé d'un environnement agricole à une artificialisation presque totale des deux rives du Var qui constituent la banlieue nord de l'aéroport (Figure 23).
- Le « changement climatique » dont les causes multiples dépassent largement l'aéroport, la région et le continent européen. Cet emboîtement d'échelles différentes montre une fois de plus l'intérêt de la géographie.



**Figure 23.** L'aéroport de Nice est sa banlieue nord en 1955 (gauche) et en 2004 (droite). Mêmes échelles. En 2004, on note le gain sur la mer (vers le sud) et le rétrécissement du lit du Var. Point noir à gauche : position du poste en 1955. En 2004, il est plus au sud, hors photo

## REMERCIEMENTS

Cet article doit beaucoup à la gentillesse d'Yves BIDET, de Météo France région Sud-Est que nous remercions pour ses réponses aux demandes successives de données.

## BIBLIOGRAPHIE

- Acquaotta, F. & Fratianni, S. (2012) *Étude climatologique des longues séries des précipitations dans le nord-ouest de l'Italie*. Actes du 25<sup>e</sup> colloque de l'AIC, Grenoble, pp 45-50.
- André, P., Mabile, G. & Erpicum, M. (1991) *Impact d'un changement de site sur une série de données thermométriques (Thimister)*. Actes du colloque de Fribourg. Public. AIC, vol. 4, pp. 37-42.
- Carrega, P. & Dauphiné, A. (1984) Les températures décennales à Lisbonne et Marseille. Étude de longues séries. *Revue Géographique de l'Est*, n° spécial congrès UGI, Paris, août 1984, pp. 65-78, tome XXIV n°1.
- Carrega, P. (1990) Vents et échelles de contraintes géographiques ; exemples en région niçoise. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 2, 83-88.
- Carrega, P. (1992) *Topoclimatologie et habitat*. Thèse Doctorat d'État, ronéo, Nice, 475 p. + annexes. Publiée en 1994 dans la *Revue d'Analyse Spatiale*, Nice, n° 35 et 36. 408 p.
- Carrega, P. (1993) Les tendances actuelles du climat de la Côte d'Azur (France). *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 6, 173-182.
- Carrega, P. (2008) Le vent : importance, mesures, modélisation et tribulations. N° spécial Climatologie-Topoclimatologie. *Bull. Soc. Géogr. Liège*, 51, 5-16.
- Carrega, P. (2014) Le climat urbain de Nice en milieu géographique contrasté : synthèse par approche inductive. *Revue Climatologie*, 10, 9-36.
- Douguédroit, A. & Norrant, C. (2006) *À propos des tendances significatives des précipitations dans le bassin méditerranéen (1950-2000)*. Actes du 19<sup>e</sup> colloque de l'AIC, Épernay, pp. 196-201.
- Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat, (2001) *Bilan 2001 des changements climatiques : les éléments scientifiques*. Rapport groupe 1, OMM PNUE, 97p.
- Mestre, O. (2000) *Méthodes statistiques pour l'homogénéisation des séries climatiques*. Thèse Université de Toulouse.
- Météo France, (2008) *LSDM-méthode*. Annexe Séries homogénéisées. 7p.
- Météo France, séries de données de températures, précipitations, insolation, humidité relative à Nice-aéroport.
- Météo France, (2017) *Fiche de poste de Nice-aéroport 06088001*.
- Moisselin, J.M., Schneider, M., Canellas, C. & Mestre, O. (2002) Les changements climatiques en France au XX<sup>e</sup> siècle. *La Météorologie*, 8(38), 45-56.
- Norrand-Romand, C. (2012) *Les vagues de chaleur dans la région lilloise de 1950 à 2009 : le cas du 15 au 20 août 2009*. Actes du 25<sup>e</sup> colloque de l'AIC, Grenoble, pp. 577-582.
- Rotschild, E. & Beltrando, G. (2007) *Évolution des températures observées en Suisse durant les dernières décennies*. Actes du 20<sup>e</sup> colloque de l'AIC, Carthage, pp. 489-494.
- XLSTAT : logiciel de statistiques.

*Coordonnées de l'auteur :*

Pierre CARREGA  
 Professeur Émérite à l'Université de Nice  
 Sophia Antipolis - UMR Espace  
[carrega@unice.fr](mailto:carrega@unice.fr)



ANNEXE

