



HAL
open science

LES CHANGEMENTS DES TEMPERATURES A BEYROUTH ET LEURS RELATIONS AVEC LES TYPES DE CIRCULATION ATMOSPHERIQUE

Myriam Traboulsi, K. Tolika, Anagnostopoulou Ch., P. Maheras

► **To cite this version:**

Myriam Traboulsi, K. Tolika, Anagnostopoulou Ch., P. Maheras. LES CHANGEMENTS DES TEMPERATURES A BEYROUTH ET LEURS RELATIONS AVEC LES TYPES DE CIRCULATION ATMOSPHERIQUE. Changement climatique, Pénurie des ressources en eau, nexus eau/énergie et formes d'adaptation, Université Hassan II, Jul 2021, Mohammedia, Maroc. hal-04878121

HAL Id: hal-04878121

<https://hal.science/hal-04878121v1>

Submitted on 18 Jan 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LES CHANGEMENTS DES TEMPERATURES A BEYROUTH ET LEURS RELATIONS AVEC LES TYPES DE CIRCULATION ATMOSPHERIQUE

MYRIAM TRABOULSI ^(1,2), KONSTADIA TOLIKA⁽³⁾, CHRISTINA ANAGNOSTOPOULOU⁽³⁾ et PANAGIOTIS MAHERAS⁽³⁾

1 Université Libanaise, Faculté des Lettres, Corniche Mazraa, Beyrouth, Liban.

2 Archéorient UMR 5133. Maison de l'Orient et de la Méditerranée CNRS-Université Lyon 2, 7 rue Raulin, 69007 Lyon. traboulsim@yahoo.fr

3Département de Météorologie et Climatologie. Aristote Université de Thessaloniki, 54124 Grèce.

Résumé : Ce travail propose l'étude des relations entre les températures à Beyrouth et les types de circulation atmosphérique au niveau de 500 hPa pour la période 1970-71/2016-17. L'analyse des températures moyennes, Tx et Tn, annuelles et saisonnières montre des tendances positives significatives dont la hausse en été et au printemps est plus élevée pour les Tx alors qu'elle est plus élevée en automne et en hiver pour les Tn. Les anomalies annuelles et saisonnières des Tx et Tn pour chaque type de circulation et pour chaque année de la période étudiée sont calculées, ainsi que l'étude des tendances thermiques pour tous les types de circulation. Il en résulte que le changement des températures à Beyrouth est accompagné par une modification de la circulation aux échelles régionale et locale, exprimé par une forte hausse des fréquences des types de circulation anticyclonique et des anomalies thermiques qui les accompagnent.

Mots-clés : types de circulation, tendance, températures, Beyrouth-AIB, Liban.

Abstract: *Changes in temperatures in Beirut and their relationships with atmospheric circulation types.* This work proposes the relationship between temperatures in Beirut and types of atmospheric circulation at the 500 hPa level for the period 1970-71 / 2016-17. Average annual and seasonal Tx and Tn temperatures show significant positive trends, with higher summer and spring increases for Tx and higher for winter and autumn for Tn. The annual and seasonal Tx and Tn anomalies for each type of circulation and for each year of the study period are calculated as well as the study of thermal trends for all circulation types. As a result, the change in temperature in Beirut is accompanied by a change in circulation at regional and local level, which is reflected in a strong increase in the frequency of the anticyclonic types of circulation and the thermal anomalies that accompany them.

Keywords: Types of circulation, trend, temperature, Beirut-AIB, Lebanon

Introduction

Au Liban (figure 1), comme partout au Moyen-Orient, on observe depuis les années 1990 d'une part des hivers de plus en plus doux, d'autre part de fortes chaleurs estivales qui sont de plus en plus persistantes dans le temps alors que la fréquence des chaleurs printanières augmente elle aussi. C'est ainsi que la température moyenne annuelle à Beyrouth montre une augmentation de plus de 2 C° significative au seuil de 1 % (Traboulsi, 2014a, b). Cette augmentation des températures ainsi que l'accroissement de l'écart moyen entre les températures minimales et maximales sont des éléments contribuant aux processus de désertification mais dont l'impact reste encore à préciser. La question qui se pose est de savoir si le changement des températures au Liban, accompagné d'une modification de la circulation atmosphérique à l'échelle régionale (Traboulsi, 2016), est également accompagné d'une modification de la circulation à l'échelle locale. Mettre en évidence cette correspondance nous amène à étudier les types de circulation atmosphérique au Liban ainsi que les températures maximales (Tx) et minimales (Tn) qui leur sont associées.

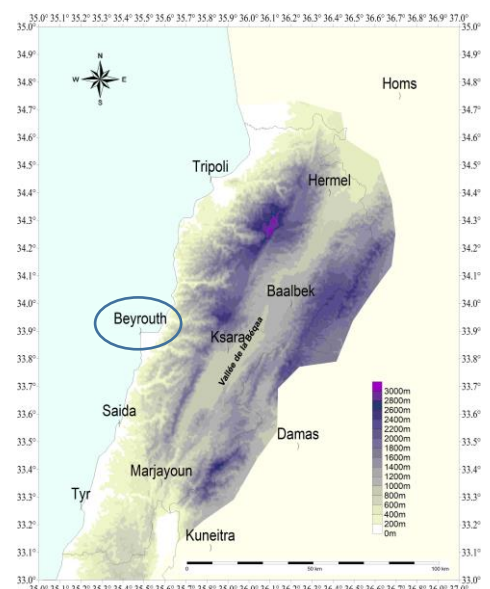


Fig. 1 : Localisation de la zone étudiée

1. Données et méthodes

Pour ce travail, visant à mieux comprendre le comportement des températures à Beyrouth et leur relation avec les types de circulation atmosphérique, ce sont les données quotidiennes des températures (maximales et minimales) de la station de Beyrouth-AIB (Aéroport International de Beyrouth) pour la période 1971-2017 qui seront utilisées ; elles proviennent du service météorologique du Liban. Les données géopotentielle à 500 hPa issues des Réanalyses NCEP/NCAR obtenues sur une maille de 2°5 seront également utilisées pour la même période.

L'étude propose, dans un premier temps, le calcul des tendances des températures moyennes maximales et moyennes minimales tant à l'échelle annuelle que saisonnière ainsi que leur signification. Dans un deuxième temps, nous proposons l'application de la méthode de classification des types de circulation développée par P. Maheras et son équipe, déjà appliquée à l'étude des précipitations de la même station (Traboulsi *et al.*, 2019). Elle permet de déterminer la localisation géographique des types de circulations cyclonique et anticyclonique. Enfin, dans un troisième temps, les anomalies annuelles et saisonnières des températures maximales et minimales pour chaque type de circulation et pour chaque année de la période étudiée seront calculées. Le but final est le calcul et l'étude des tendances thermiques pour tous les types de circulation.

2. Températures et types de circulation : variation et tendance

2.1. Variation et tendance des températures

La station de Beyrouth présente des températures moyennes annuelles (tableau 1) et saisonnières maximales (Tx) et minimales (Tn) clairement plus élevées que celles des stations côtières en Crète à la même latitude (Maheras, 1982). En ce qui concerne la variabilité de ces températures, on constate (Tableau 1) que les écarts types des Tn sont plus élevés que ceux de Tx, excepté au printemps. Ce comportement des températures à Beyrouth est probablement une exception en Méditerranée orientale car presque partout dans les stations de la mer Egée (Maheras, 1982) la variabilité des Tx est plus élevée que la variabilité des Tn. Enfin, les Tx comme les Tn connaissent une tendance à la hausse à l'échelle annuelle ainsi que saisonnière, et partout significative (tableau 2). En automne et en hiver la tendance moyenne de Tn est plus élevée que celle de Tx, alors que, au printemps et en été, la tendance moyenne de Tx est plus élevée que celle de Tn. Enfin, en été, on observe la hausse des températures la plus élevée tant pour les Tx (3,83° C) que pour les Tn (3,53° C).

Tableau 1 : Moyennes des températures maximales, minimales et moyennes à Beyrouth AIB durant la période 1970-71 / 2016-17.

| | Automne | Hiver | Printemps | Eté | Année |
|------------|---------|-------|-----------|------|-------|
| Tx moy | 26,9 | 18,4 | 22,7 | 29,5 | 24,3 |
| Ecart type | 1,15 | 1,25 | 1,45 | 1,40 | 1,04 |
| Tn moy | 19,8 | 11,2 | 14,8 | 22,8 | 17,2 |
| Ecart type | 1,43 | 1,27 | 1,22 | 1,41 | 1,10 |
| Tmoy | 23,3 | 14,7 | 18,7 | 26,2 | 20,7 |

Tableau 2 : Tendances saisonnières et annuelles des températures maximales, minimales et moyennes à Beyrouth AIB durant la période 1970-71 / 2016-17. Les tendances significatives sont marquées par *.

| | Automne | Hiver | Printemps | Eté | Année |
|------------|---------|-------|-----------|------|-------|
| Tx | +* | +* | +* | +* | +* |
| Tend. moy. | 2,38 | 1,96 | 3,49 | 3,83 | 2,82 |
| Tn | +* | +* | +* | +* | +* |
| Tend. moy. | 3,49 | 2,97 | 2,88 | 3,53 | 3,14 |
| Tmoy | +* | +* | +* | +* | +* |

2.2. Les types de circulation : fréquence et tendance

La classification comprend 5 types anticycloniques (Cnnw (Anw, Ane, A, Asw, Ase) et 7 cycloniques (C, Cnnw Cwnw, Csw, Csw, Cse, Cne). La méthode de classification ainsi que la description de ces types de circulation ont été déjà exposées dans des études antérieures concernant l'étude des précipitations à Beyrouth (Traboulsi *et al.*, 2019).

Le calcul des fréquences relatives annuelles moyennes (tableau 3) montre que les types anticycloniques représentent 56,7 % du total des jours pour la période étudiée alors que les types cycloniques n'entrent que pour 43,3 %. Parmi les types cycloniques, le type C (goutte froide) est le plus fréquent à l'échelle annuelle (10,2 %) suivi par le type Cne (9,4 %). A l'échelle saisonnière, le type Asw est le plus fréquent en automne (17,6 %) suivi par le type Anw en été (17,4 %). Parmi les types cycloniques, le type Cne est le plus fréquent en hiver (14,4 %) et au printemps (12,5 %), suivi par le type C pour l'hiver et le printemps (12,4 % et 12,3 %).

Tableau 3 : Fréquences saisonnières et annuelles (en pourcentage) des types de circulation à Beyrouth-AIB (1970-71 /2016-2017). (A : anticyclonique ; C : cyclonique. N : nord ; s : sud ; e : est ; w : ouest. Ex : Anw, anticyclonique nord ouest)).

| | Anw | Ane | A | Asw | Ase | C (goutte froide) | Cnnw | Cwnw | Csw | Csw | Cse | Cne |
|-----------|------|------|------|------|------|-------------------|------|------|------|-----|-----|------|
| Automne | 16,0 | 11,8 | 8,0 | 17,6 | 8,6 | 8,3 | 3,2 | 8,0 | 6,1 | 1,2 | 3,5 | 7,9 |
| Hiver | 6,7 | 8,9 | 13,5 | 11,3 | 2,6 | 12,4 | 2,2 | 6,4 | 13,4 | 2,4 | 5,8 | 14,4 |
| Printemps | 8,6 | 7,9 | 11,7 | 13,2 | 4,0 | 12,3 | 3,4 | 5,3 | 11,7 | 2,9 | 6,5 | 12,5 |
| Été | 17,4 | 12,0 | 12,7 | 16,8 | 17,2 | 7,9 | 1,0 | 4,6 | 5,4 | 0,7 | 1,0 | 3,1 |
| Année | 12,2 | 10,1 | 11,5 | 14,7 | 8,1 | 10,2 | 2,5 | 6,1 | 9,1 | 1,8 | 4,2 | 9,4 |

Le calcul des tendances de types de circulation montre que les types anticycloniques affichent une tendance à la hausse significative aux échelles saisonnière et annuelle. Par contre, les types cycloniques affichent une tendance négative significative pour les mêmes échelles temporelles.

3. Relations entre les types de circulation et les températures Tx et Tn

Afin d'étudier le caractère thermique des types de circulation, nous avons calculé les anomalies et les tendances annuelles et saisonnières des températures maximales et minimales pour chaque type de circulation et pour chaque année de la période étudiée. L'étude des fréquences des types de circulation et leurs tendances, conjuguée avec l'analyse des anomalies thermiques de ces types, peut contribuer à fournir une explication probable du changement des températures au Liban. C'est ainsi que, d'après le tableau 4, on constate que presque toutes les anomalies des températures maximales des types anticycloniques sont positives tandis que, dans la majorité des cas, les anomalies des types cycloniques sont négatives, surtout celles des types cycloniques qui connaissent les fortes fréquences (C, Cne). Il est à noter que les types A et Ane connaissent les plus fortes anomalies positives tandis que le type

C connaît les plus fortes anomalies négatives. Au contraire, parmi les types cycloniques, le type Cwnw connaît les plus fortes anomalies positives. L'image fournie par le tableau 5 concernant les anomalies des températures minimales des types de circulation ne diffère pas beaucoup de l'image des Tx décrite ci-dessus, excepté la valeur des anomalies. En effet, pour tous les types de circulation (excepté le type Cnnw), tant les anomalies positives que les anomalies négatives des températures maximales sont plus élevées (en chiffres absolus) que les anomalies des températures minimales.

Tableau 4 : Moyennes des anomalies des températures maximales par types de circulation à Beyrouth AIB durant la période 1970-71/2016-17.

| | Anw | Ane | A | Asw | Ase | C | Cnnw | Cwnw | Csw | Cssw | Cse | Cne |
|-----------|-------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|
| Automne | 0,87 | 1,41 | 1,30 | 0,70 | 0,82 | -1,34 | 0,17 | 0,57 | 0,68 | -0,19 | -0,84 | -1,19 |
| Hiver | -0,45 | 2,29 | 1,60 | 0,71 | 2,03 | -1,65 | 0,33 | 1,49 | 1,24 | -0,19 | -0,95 | -0,87 |
| Printemps | 1,19 | 2,78 | 2,95 | 0,67 | 2,73 | -1,18 | 0,53 | 1,64 | 1,27 | -0,89 | -1,37 | -0,91 |
| Été | 1,01 | 0,83 | 1,11 | 0,91 | 0,65 | 0,19 | -0,16 | 0,58 | 0,30 | -0,32 | 0,33 | 0,12 |
| Année | 0,89 | 1,74 | 1,81 | 0,80 | 1,00 | -1,13 | 0,20 | 1,01 | 0,94 | -0,54 | -1,00 | -0,97 |

Tableau 5 : Moyennes des anomalies des températures minimales par types de circulation à Beyrouth AIB durant la période 1970-71/2016-17.

| | Anw | Ane | A | Asw | Ase | C | Cnnw | Cwnw | Csw | Cssw | Cse | Cne |
|-----------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|
| Automne | 0,46 | 1,40 | 0,75 | 0,58 | 1,10 | -0,33 | 0,69 | 0,86 | 0,68 | -0,01 | -0,75 | -0,39 |
| Hiver | -0,80 | 0,78 | 0,50 | 0,64 | 1,54 | -0,17 | 1,19 | 1,48 | 1,03 | 0,16 | -0,74 | -0,28 |
| Printemps | 0,33 | 1,65 | 0,95 | 0,23 | 1,84 | -0,09 | 0,84 | 1,04 | 1,12 | -0,17 | -0,69 | -0,51 |
| Été | 0,58 | 0,62 | 0,65 | 0,54 | 0,59 | 0,39 | 0,63 | 0,26 | 0,10 | -0,38 | -0,15 | 0,10 |
| Année | 0,44 | 1,16 | 0,78 | 0,54 | 0,90 | -0,09 | 0,78 | 0,97 | 0,85 | 0,01 | -0,66 | -0,41 |

L'examen des tendances des Tx et Tn pour l'ensemble des types de circulation, anticycloniques et cycloniques, nous montre qu'elles sont positives et partout significatives (tableau 6) à l'échelle annuelle et saisonnière. Pourtant, l'analyse de ces tendances par type de circulation montre quelques exceptions (tableau 7), comme par exemple les tendances positives hivernales de Tx non significatives pour un certain nombre de types anticycloniques et cycloniques ainsi que les tendances négatives non significatives des Tn en été pour les types cycloniques Cnnw et Cse.

Tableau 6 : Tendances des anomalies des températures saisonnières et annuelles par type de circulation à Beyrouth-AIB (1970-71 / 2016-2017) (même légende que pour le tableau 2).

| | | Anticycloniques | Cycloniques |
|-----------|----|-----------------|-------------|
| Automne | Tx | +* | +* |
| | Tn | +* | +* |
| Hiver | Tx | +* | +* |
| | Tn | +* | +* |
| Printemps | Tx | +* | +* |
| | Tn | +* | +* |
| Année | Tx | +* | +* |
| | Tn | +* | +* |

Tableau 7 : Tendances des anomalies des températures maximales et minimales par type de circulation à Beyrouth-AIB (1970-71 /2016-2017) (les tendances significatives au seuil de 5 % selon le test Mann Kendall sont marquées par une étoile).

| | Anw | Ane | A | Asw | Ase | C | Cnn w | Cwn w | Cws w | Cssw | Cse | Cne |
|-----------|-----|-----|----|-----|-----|----|----------|----------|----------|------|-----|-----|
| Année Tx | +* | +* | +* | +* | +* | +* | +* | +* | +* | +* | +* | +* |
| Tn | +* | +* | +* | +* | +* | +* | +* | +* | +* | +* | +* | +* |
| Autom. Tx | +* | +* | +* | +* | +* | +* | +* | +* | +* | - | + | +* |
| Tn | +* | +* | +* | +* | +* | +* | +* | +* | +* | + | + | +* |
| Hiver Tx | +* | +* | +* | + | + | + | + | +* | +* | +* | + | + |
| Tn | +* | +* | +* | +* | + | +* | + | +* | +* | +* | +* | +* |
| Print. Tx | +* | +* | +* | +* | +* | +* | +* | +* | +* | +* | +* | +* |
| Tn | +* | +* | +* | +* | +* | +* | + | +* | +* | +* | +* | +* |
| Été Tx | +* | +* | +* | +* | +* | +* | + | +* | +* | - | + | +* |
| Tn | +* | +* | +* | +* | +* | +* | - | +* | +* | + | - | +* |

4. Discussion et conclusion

Les tendances des températures Tx et Tn annuelles et saisonnières à Beyrouth sont positives et significatives. Ces résultats traduisent une hausse des températures remarquable durant toutes les saisons : elles sont plus élevées en été et au printemps pour les Tx et en hiver et en automne pour les Tn. A l'échelle annuelle, les fréquences des types anticycloniques sont égales à 56,7 %, marquées par des tendances positives significatives. De même les tendances positives des fréquences anticycloniques saisonnières apparaissent partout significatives. Les fréquences des types cycloniques (43,3 %) sont, au contraire, marquées par des tendances négatives significatives. La hausse des températures de surface et la diminution des précipitations observées (Traboulsi *et al.*,2019) ne sont donc que les conséquences de cette modification régionale et locale de la circulation atmosphérique matérialisée par une persistance des conditions anticycloniques durant la période d'étude. Cette modification a été mise en évidence également sur le Proche-Orient par Traboulsi (2016). Evidemment la hausse des températures n'est pas la même durant toutes les saisons. Le maximum apparaît en été tant pour les Tx (3,83° C) que pour les Tn (3,53° C), le minimum en hiver pour les Tx (1,98° C) et au printemps pour les Tn (2,88° C).

Le maximum de la hausse en été est probablement lié aux fréquences très élevées des types anticycloniques, aux anomalies positives de ces types quelques fois élevées ainsi qu'à celles des types cycloniques présentant des fréquences importantes, et enfin aux tendances positives significatives des types anticycloniques et de quelques types cycloniques. Le minimum de la hausse en hiver est probablement lié aux fréquences très élevées des types cycloniques. On insistera plus sur les causes de la hausse des températures :est-elle le résultat de la variabilité naturelle du climat, s'agit-elle d'un effet des émissions de gaz à effet de serre ou enfin s'agit-il d'un effet du climat urbain ? Les trois sont évidemment en cause, mais il est très difficile de les hiérarchiser ainsi que de quantifier leur influence sur la hausse des températures observée. Pourtant, il est possible de faire quelques remarques concernant ce problème. C'est un effet connu que la variabilité naturelle du climat se produise en l'absence de forçages externes et intègre les processus intrinsèques de l'atmosphère, de l'océan et du couplage océan-atmosphère ; on peut l'estimer par la valeur de température moyenne + 2 fois l'écart type « naturel » établi sur la période préindustrielle. A l'échelle locale, l'urbanisation croissante que connaît l'agglomération de Beyrouth pourrait justifier une partie du réchauffement actuel. En effet, la multiplication des constructions dans et autour de la capitale, et en particulier en direction de l'aéroport, contribue sans doute au réchauffement à partir de l'après-midi et surtout la nuit (Hamdi,2010 ; Carrega, 2017) et ce sont les périodes estivales qui devraient

être les plus impactées. A l'échelle saisonnière, la hausse des températures est plus remarquable en été et au début de l'automne. En effet, les températures ont beaucoup augmenté durant les mois chauds (juin-août) par rapport aux mois relativement froids (décembre-février).

Le troisième facteur de la hausse des températures, l'augmentation des émissions des gaz à effet de serre, semble être également important. En effet, étant donné que l'îlot de chaleur urbain influence plus la hausse des Tn aussi bien en hiver qu'en été alors que cette influence est moins importante sur la hausse des températures maximales, il semble que ce troisième facteur est surtout responsable, entre autres, de la hausse très élevée des Tx observée surtout en été à Beyrouth.

Enfin, dans ce contexte de la hausse très importante de Tx d'été, on peut se poser la question de savoir si ce fait ne serait pas le signal d'un changement qui serait plus précoce que ce qui était attendu jusqu'à présent ? (à savoir, la période 2040-2050 selon Ulmann et Roucou, 2016). C'est que l'on appelle le concept de «time of emergence» ; il s'agit du moment à partir duquel la tendance au réchauffement deviendra significative par rapport à la variabilité naturelle (Ulmann et Roucou, 2016). Évidemment cette question reste sans réponse et ne peut être qu'une hypothèse.

Nous avons conscience que les explications données concernant la hausse très élevée tant des Tx que des Tn à Beyrouth sont relativement simplistes et incomplètes car les facteurs responsables du réchauffement observé durant la période d'étude sont plus complexes. Un travail plus complet, utilisant également les données d'autres stations, pourra fournir des explications plus complètes et mieux fondées.

Bibliographie

- Anagnostopoulou C., Tolika K., & Maheras P., 2009. Classification of circulation types: a new flexible automated approach applicable to NCEP and GCM datasets. *Theoretical and Applied Climatology*, 96, p. 3-15.
- Carrega P., 2017. Le climat urbain et le changement climatique. *Variabilité, changement climatique et conséquences en Méditerranée*. Hal-01794243, p. 108-121.
- Hamdi R., 2010. Estimating urban heat island effects on the temperature series of Uccle (Brussels, Belgium) using remote sensing data and a land surface scheme. *Remote Sensing*, 2(12), p. 2773–2784.
- Maheras P., 1982. *Climatologie de la mer Egée et de ses marges continentales. Essai de Climatologie descriptive et de Climatologie dynamique*. Thèse de doctorat d'État, Atelier de Reproduction des Thèses, Université de Lille III.
- Traboulsi M., 2014a. Le réchauffement climatique au Proche-Orient : une évolution inquiétante ? *ArchéOrient - Le Blog (Hypotheses.org)*, 21 novembre 2014. [En ligne] <http://archeorient.hypotheses.org/341>
- Traboulsi M., 2014b. Les fortes chaleurs au Proche-Orient (1970-2010) : exemple de réchauffement climatique. *Actes du XXVIIème colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Dijon, 2-5 juillet 2014*, p. 753-758.
- Traboulsi M., 2016. Modification de la circulation atmosphérique au-dessus du Proche-Orient. *ArchéOrient - Le Blog*, [En ligne] <https://archeorient.hypotheses.org/6627>
- Traboulsi M., Tolika K., Anagnostopoulou Ch. et Maheras P., 2019. Les précipitations à Beyrouth et leurs relations avec les types de circulation. *Actes du XXXIIème colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Thessaloniki*, p. 523-528.
- Ulmann A. et Roucou P., 2016. Le concept de «time of emergence» appliqué aux températures maximales d'été sur le bassin Méditerranéen. *Actes du XXIXème colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Lausanne - Besançon*, p. 419-424.