

MODELISATION DE LA RELATION TEMPERATURE-MORTALITE EN TUNISIE

Maroua Karâoud^{2,4} Nissaf Bouafif ép Ben Alaya^{1,4} & Dhafer Malouche^{2,3,4}

¹ Observatoire national des maladies nouvelles et émergentes, 5-7 rue Khartoum, complexe diplômât, bloc 4, 13^{ème} étage, le belvédère, Tunis/Tunisie *et marouakaraoud@hotmail.fr 1 et nissaf6937@rns.tn 2*

² Unité signaux et système, école nationale d'ingénieurs de Tunis et *mdhafer.ticv@gmail.com 2*

³ Ecole supérieure de la statistique et de l'analyse de l'information

⁴ Laboratoire de Médecine préventive et Epidémiologie, faculté de médecine de Tunis

Résumé. Le présent papier s'intéresse à l'étude de la relation température-mortalité dans sept régions représentatives des étages bioclimatiques de la Tunisie sur une période de 21 ans de 1991 à 2011 à partir d'enregistrement quotidien de la température et du nombre de décès. Dans cette étude, nous nous sommes intéressés à la modélisation statistique, en voulant d'abord quantifier cette relation et ensuite étudier l'existence ou non d'un effet de retard de la température sur le nombre de décès. Comme notre variable dépendante est une variable de comptage « nombre de décès par jour », nous avons adopté les modèles additifs généralisés à variable réponse distribuée selon la loi de Quasi-Poisson [1]. Nous avons mis en concurrence un nombre important de ce type de modèle et d'outils statistiques (critère d'Akaike, autocorrélation partielle des résidus, graphe des résidus, paramètre de dispersion, etc.) ajustés par des paramètres de confusions, pour estimer le retard qui pourrait expliquer le mieux le nombre de décès. Nous avons alors estimé un modèle pour chaque région et tranche d'âge où on est arrivé à donner une explication parcimonieuse du phénomène et quantifier le risque accru. Ainsi, des baisses de températures moyennes (retard 0-7 jours) augmentent d'une façon significative le nombre de décès surtout chez les personnes âgées de plus de 65 ans. En janvier le risque relatif dépasse les 20% dans toutes les régions et atteint même les 40% dans certaines tandis que l'effet de la chaleur (retard 0-1) est relativement faible. Cela confirme des résultats déjà obtenus dans la littérature [2 ; 3 ; 4], les pays à climat tempérés comme la Tunisie, sont plus sensibles au froid qu'à la chaleur.

Mots-clés. Mortalité, modèle additif généralisé, température, froid, chaleur, risque.

Abstract. The present paper focuses on the study of the relationship temperature-mortality in seven regions in Tunisia from daily data on temperature and number of deaths during the period 1991 to 2011. In this study, we were interested in a statistical modeling of this relationship and to find if temperature delay can affect the number of deaths. As our target variable is a count variable "Number of deaths", we adopted the generalized additive models where the response variable distributed with the Quasi-Poisson family [1]. We examined a large number of this type of models that include confounder variables and we use statistical tools (AIC, PACF, sensitivity analysis, etc.) to show if any delay could better explain the mortality. We estimated a model for each region and age category to quantify the risk of exposure. Thus, declines in average temperatures (lags 0-7 days) increase in a significant way the number of deaths especially for elderly (over 65 years). In January the relative risk exceeds 20% in all regions and can reach even 40% in some, while the effect of heat (lags 0-1) is relatively insignificant. This confirms the results shown in [2; 3; 4], countries with temperate climate like Tunisia, are more sensitive to cold than heat.

Keywords. Mortality, generalized additive model, temperature, cold, heat, risk.

1. Introduction

Le climat sous lequel nous nous trouvons – parce qu’il touche aux mécanismes régulateurs de notre organisme ou parce qu’il modifie les propriétés physiques et chimiques de l’environnement – influence notre état de santé. Depuis l’antiquité grecque et romaine, les effets de l’air et de l’eau sur la santé humaine sont soulignés [5].

La surmortalité durant les épisodes de canicule, les épisodes d’empoisonnement au monoxyde de carbone, la propagation de la grippe, les accidents de la circulation causés par le brouillard ou encore les crises d’asthme, sont fortement influencés par les conditions météorologiques et/ou climatiques. Les connaissances sont en constante évolution et nécessitent l’exploitation de bases de données complexes pour comprendre la relation entre les facteurs climatiques et météorologique et la santé et mettre en place les mesures de contrôle et de prévention adaptées.

Des travaux et des études ont été alors réalisés portants sur différents pays et régions dans le monde. Au Brésil, pour la ville de São Paulo [6], une étude a été faite sur la relation température-mortalité en fonction des écarts socio-économiques, le même intérêt a été porté pour la population chinoise à Hong Kong [7], en France [8] et en Italie [2], ils se sont focalisés sur les vagues de froid respectivement de 2009 et de 2012, etc.

Dans le cas tunisien, deux études [9 ; 10] ont décrit cette relation dans 9 gouvernorats à partir d’une série d’enregistrement (1991-2007) en ayant recours à une analyse de corrélation entre la mortalité et la température, la deuxième étude a présenté l’effet des canicules possibles sur les populations de Monastir, Kairouan et Tozeur (1990-2004) moyennant des indicateurs de température maximale et de l’indice de l’humidité. Une autre étude [11] menée par l’institut de Pasteur à Tunis, a confirmé l’existence d’une éventuelle relation entre température-mortalité pour la région de Tunis (2005-2007), par la modélisation additive généralisée. Aucune étude n’a été faite sur l’ensemble de la Tunisie en utilisant des méthodes statistiques adaptées à l’environnement et en tenant compte des spécificités régionales.

La présente étude rentre dans le cadre de la mise en place d’un système de veille climatique dans l’ensemble de la Tunisie en étudiant l’impact de la température sur la mortalité dans 7 régions représentatives des différentes étages bioclimatiques de la Tunisie. Afin d’identifier les populations les plus vulnérables, notre analyse statistique a pris en considération trois catégories d’âge: moins de 15 ans, entre 15 et 64 ans et de plus de 64 ans.

2. Les données

Nous avons extraits les données de température (minimale et maximale) des enregistrements publiés par l’institut national de météorologie de 1991 à 2011. Les données sur le nombre quotidien de décès par régions, genre et âge pour la période d’étude, ont été fournies par l’institut national de la statistique en collaboration avec le centre national d’informatisation à partir de la base de données nationale sur les enregistrements de décès. Pour couvrir les principales régions du pays, le nord, le centre et le sud, nous avons sélectionné les villes de Jendouba, Siliana et Tunis (fait partie de la plus grande agglomération urbaine du pays) représentant du nord du pays, Monastir et Kairouan, le centre et Gabès et Tozeur le sud.

3. Méthodologie

Une fois ayant agrégé les bases de données température-mortalité, nous nous sommes mis à expliquer la variable mortalité, généralement enregistrée au pas de temps journalier, et caractérisée par une sur-dispersion des valeurs observées [12] après avoir vérifié le pourcentage des valeurs manquantes qui ne doit pas dépasser les 5% [13]. Afin de prendre en compte cette sur-dispersion, la modélisation remplacera la loi de poisson par la loi quasi poisson [3] qui nous a permis de déterminer le risque relatif de décès associé à 1°C de changement de la température moyenne. Ce

risque a été converti en un effet [14] en utilisant l'expression suivante $(e^{\beta}-1) * 100$ où β sont les coefficients de la régression estimés. Par ailleurs, notre série est soumise à des variations temporelles [3] à long terme (tendance), à moyen et court termes (variations saisonnières, hebdomadaires) et des facteurs de confusion interviennent à savoir : le mois de ramadan, les jours de la semaine et les jours fériés.

La température moyenne a été calculée à partir des enregistrements journaliers de la température minimale et maximale. Pour contrôler la saisonnalité et la tendance à long terme, nous avons considéré pour chaque année 7 ddl [12] permettant de capter l'effet global des variables sans récupérer trop de saisonnalité [3]. Pour la température moyenne journalière, nous avons utilisé entre 2 à 4 ddl pour les 7 régions au cours de l'hiver, et de 2 à 6 ddl pour l'été.

Pour prendre en compte une éventuelle non-linéarité [15] entre la variable à expliquer et les variables explicatives, un modèle additif généralisé a été exploité. Afin de valider nos modèles statistiques, nous avons appliqué la fonction d'autocorrélation partielle des résidus (PACF) et l'analyse de sensibilité [3]. Le critère d'Akaike (AIC) a été utilisé pour comparer l'effet retardé et non retardé de la température moyenne [1].

Le modèle que nous cherchons à estimer a pour objectif de choisir la meilleure variable météorologique et ses décalages. Pour chaque région et catégorie d'âge, nous avons élaboré un modèle spécifique.

La mise en œuvre des analyses statistiques a été réalisée en utilisant le logiciel statistique R moyennant la librairie « mgcv ».

4. Résultats

Les valeurs manquantes sont seulement de 3.1%, une valeur inférieure au seuil prédéfini pour leur traitement (5%) [13]. Les résultats de notre étude sont alors:

- ✓ Effet retardé de la température moyenne : comparant entre plusieurs modèles estimés, nous avons obtenu un retard de 0-1 jours pour la saison chaude et de 0-7 jours pour la saison froide pour toutes les régions.
- ✓ Modèle validé: Pour chaque région et chaque tranche d'âge, nous avons développé un modèle prenant comme variable dépendante le nombre de décès enregistré le jour j de la catégorie d'âge i en fonction des autres paramètres, le modèle retenu est ainsi :

$$\text{Log}(E\{\text{décès}_{ij}\}) = f_1(\text{temps}) + f_2(\text{température}_j) + \text{covariables}$$

Où f_1 et f_2 sont les fonctions spline de lissage et les covariables sont les jours de la semaine, le mois de ramadan, les jours fériés et les mois.

Pour toutes les régions, nous avons constaté que le risque de mortalité diminue à mesure que la température augmente. La pente du côté du froid est toujours plus longue. Pour le nord, le centre et le sud, le risque de mortalité augmente lors de la saison froide. Une légère augmentation de ce risque a été observée lors de la saison chaude (mois d'octobre) et uniquement chez les personnes âgées, après ajustement par les facteurs de confusion.

Nous avons comparé l'effet de la température moyenne retardée pour les 3 catégories d'âge dans chaque gouvernorat. Dans le cas des régions du nord, pour une augmentation de 1°C de la température moyenne au-dessus de 29°C au cours du mois d'Octobre, nous obtenons un risque de décès de 18,3% (IC_{95%} : 11,1%-25,8%) pour les personnes âgées et de 13,7 % (IC_{95%}: 2,2%-26,3%)

pour les enfants dans le gouvernorat de Tunis et de 22,7% (IC_{95%}: 10,66%-36,2%) uniquement chez les personnes âgées dans le gouvernorat de Jendouba.

Pour le centre, les résultats indiquent une association entre la température moyenne et la mortalité uniquement chez les personnes âgées dans la région de Kairouan durant le mois d'octobre avec une augmentation de la mortalité de 20,4% (IC_{95%}: 10,6%-36,2%). Toutefois, l'effet de la chaleur n'est pas clairement identifié pour les régions du sud représentés par Gabes et Tozeur. En contre partie, les mois dont la température atteint ses degrés les plus élevés (Juin, Juillet et Août) n'enregistre pas de risque de surmortalité.

En moyenne, les 7 régions enregistrent 45 décès journalier, mais l'exception s'est produite au 15 Janvier 2011 avec 144 décès touchant des sujets plutôt jeunes. Un chiffre jamais connu au cours des 21 ans. Cette date coïncide avec les premiers jours de la révolution tunisienne.

Mise à part cette exception, La mortalité hivernale touche certainement les personnes les plus fragiles [15]. Durant la période d'étude, le nombre de décès cumulés de Novembre à Avril s'élève à 276 600, dont 60% sont des personnes âgées. La figure 1, illustre la différence significative entre la saison froide et la saison chaude pour le gouvernorat de Tunis (grande agglomération avec différence démographique) pour les 3 catégories d'âge.

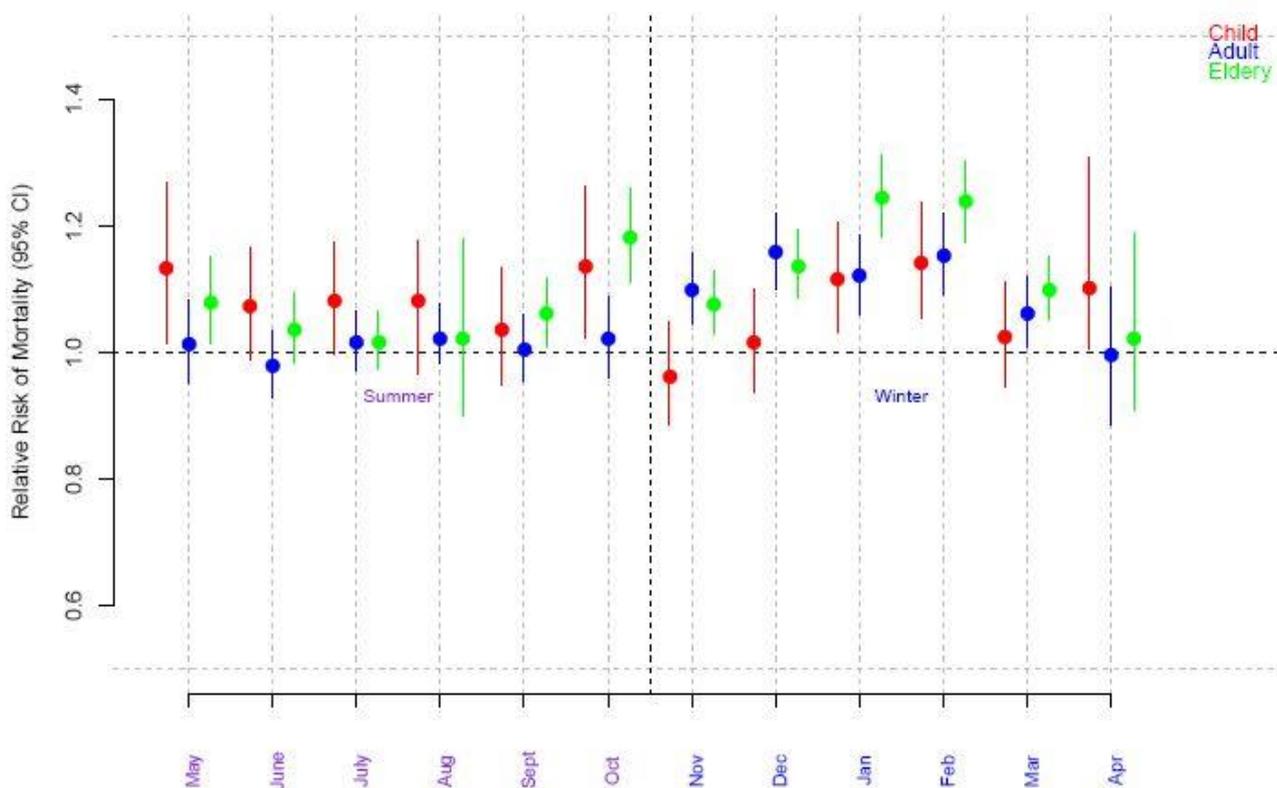


Figure 1. Risque relatif et intervalle de confiance à 95% pour un changement de 1°C dans la température moyenne retardée de 0-1 et 0-7 jours, dans la région de Tunis et pour les 3 catégories d'âge

Les risques relatifs sont plus élevés pour toutes les régions et tous les groupes d'âge au cours de la saison froide et plus précisément le mois de Janvier qui apparait comme un mois à haut risque. Dans le nord, lorsque la température moyenne (retard 0-7) diminue au-dessous de 11°C, nous avons observé une augmentation du risque de mortalité surtout chez les personnes âgées suivie des enfants. Même résultat pour celles du centre et du sud du pays (voir tableau 1).

Tableau 1. Mortalité, risque relatif (RR) et intervalle de confiance à 95% de l'effet du froid de la température moyenne retard 0-7 jours du mois de Janvier

Région	Hiver (%)	0-14 ans		15-64 ans		> 65 ans	
		RR	95% IC	RR	95% IC	RR	95% IC
Gabes	55,56	1,263	[1,165 ; 1,360]	1,132	[0,962 ; 1,335]	1,347	[1,214 ; 1,495]
Jendouba	56,81	1,413	[1,069 ; 1,864]	1,290	[1,197 ; 1,388]	1,418	[1,295 ; 1,551]
Kairouan	57,41	1,172	[0,990 ; 1,385]	1,245	[1,167 ; 1,327]	1,449	[1,328 ; 1,557]
Monastir	54,84	1,322	[1,244 ; 1,403]	1,070	[0,939 ; 1,218]	1,437	[1,320 ; 1,562]
Siliana	58,84	1,472	[1,218 ; 1,775]	1,044	[0,887 ; 1,227]	1,314	[1,181 ; 1,460]
Tozeur	55,15	0,671	[0,418 ; 1,076]	1,196	[0,924 ; 1,548]	1,278	[1,058 ; 1,541]
Tunis	53,89	1,116	[1,032 ; 1,206]	1,121	[1,059 ; 1,185]	1,245	[1,181 ; 1,311]

5. Discussion

Dans le but de vérifier une association significative entre la température et la mortalité en Tunisie, nous avons eu recours à une nouvelle approche « les modèles additifs généralisés », exploitée dans plusieurs recherches dans le domaine de l'environnement [3]. Une méthode introduisant des fonctions de lissage permettant de mieux modéliser la série du nombre journalier de décès qui est supposée suivre une loi quasi poissonnienne expliquée par les paramètres météorologiques en contrôlant par les facteurs de confusions [14]. Nous avons commencé par une analyse de sensibilité afin de savoir si on va conserver ou pas les valeurs extrêmes. Le paramètre de dispersion relatif aux différentes régions était supérieur à 1, d'où nous avons procédé à leur suppression lors de la modélisation. Nous avons mis en concurrence plusieurs modèles avec différents retards pour les variables météorologiques. Notre choix de température s'est arrêté sur la température moyenne retardée de 0-1 et 0-7 jours respectivement pour la saison chaude et la saison froide, en utilisant le critère d'Akaike et la minimisation de la somme des carrés de résidus.

Pour nos 7 régions d'études, le mois de Janvier est le mois dont le nombre de mort est le plus élevé avec un risque pouvant dépasser les 20% surtout chez les personnes âgées. En générale, les tendances saisonnières de la mortalité sont plus élevées dans les climats tempérés (Tunisie, la France) que dans les climats extrêmes [4]. En effet, dans les régions froides comme Sibérie et Finlande, la population prend des mesures de protection contre le froid [17], ce qui n'est pas le cas en Tunisie ; une raison pouvant expliquer le pourcentage important du risque relatif. L'apparition des excès de mortalité au cours du mois de Janvier et spécialement pour les personnes âgées, n'est pas exclusive à nos régions d'étude, une étude faite par l'institut national de veille sanitaire sur les vagues de froid et santé en France métropolitaine (1984-2003), a montré que le mois de Janvier est le mois le plus froid pour la région de Paris et Marseille 2 avec un excès de 15% dans le nombre de décès. Même chose pour la région de São Paulo au Brésil (1991-1994), pour une diminution de 1°C de la température moyenne (décalage 0-20) au dessous de 20°C, l'excès de mortalité atteint les 12% [6]. Pour l'Italie, une étude faite sur les vagues de froid, a mis en évidence un excès de mortalité de +22% à Bologne et peu allé jusqu'à +58% à Torino [2]. Par contre nous n'avons enregistré de relation significative entre l'effet de la saison chaude et la mortalité, que au cours du mois d'octobre et uniquement chez les personnes âgées et parfois les enfants.

6. Conclusion

La mise en place de systèmes de veille opérationnels à partir d'indicateurs météorologiques, est donc amenée à se développer, en parallèle avec l'amélioration des connaissances acquises. La température, indicateur le plus utilisé, n'est toutefois pas à prendre isolément d'autres indicateurs climatologiques sont à prendre en considération pour étudier l'impact du climat sur la santé.

De nombreuses études ont mis en évidence que la mortalité et la morbidité en zone tempérée sont influencées par les tendances saisonnières du climat.

En conclusion, bien que le froid ait un impact sur la santé, des mesures de protection et de préventions peuvent être prises afin de limiter les risques :

- Réaction sur le court terme : Elaborer un bulletin d'alerte climatique destiné au professionnel de la santé et à la population générale et aux différents intervenants basé sur les estimations des seuils faites dans le cadre de cette étude.

- Réaction sur le long terme : Elaborer un plan de développement régional permettant d'améliorer les conditions socio-économiques, déterminant majeur de la surmortalité liée au froid surtout pour les personnes âgées ou malades en mettant en place un système de veille et d'alerte climatologique.

Par ailleurs, les études concernant la relation climat-santé méritent d'être poursuivies et élargies afin de mieux cerner les déterminants et de mettre en place les mesures de lutte adéquates.

Bibliographie

- [1] Gentleman, R., Hornik, K., & Parmigiani, G. (2011). *Statistical Methods for Environmental Epidemiology*, Springer.
- [2] de' Donato, F. K., Leone, M., Noce, D., Davoli, M., & Michelozzi, P. (2013). The impact of the February 2012 cold spell on health in Italy using surveillance data. *PloS one*.
- [3] Eilstein, D., Tertre, A. Le, Zeghnoun, A., Cassadou, S., Filleul, L., Pascal, L., ... Fabre, P. (n.d.). *Séries temporelles et modèles de régression Application à l'analyse des associations à court*, (3).
- [4] Healy, J. D. (2003). Excess winter mortality in Europe: a cross country analysis identifying key risk factors. *Journal of epidemiology and community health*, 57(10), 784–9.
- [5] Yu, W. (2011). *The identification and quantification of temperature-related*. Thèse de doctorat (274p). Brisbane, Australia.
- [6] Gouveia, N. (2003). Socioeconomic differentials in the temperature-mortality relationship in Sao Paulo, Brazil. *International Journal of Epidemiology*, 32(>3), 390–397.
- [7] Chan, E. Y. Y., Goggins, W. B., Kim, J. J., & Griffiths, S. M. (2012). A study of intracity variation of temperature-related mortality and socioeconomic status among the Chinese population in Hong Kong. *Journal of epidemiology and community health*, 66(4), 322–7.
- [8] Institut National de Veille Sanitaire (2009), Vagues de froid et santé en France métropolitaine.
- [9] Habib B., Mohamed C. (2007). Fortes chaleurs et surmortalité en Tunisie.
- [10] Henia, L., & Alouane, T. (2009). Les ambiances caniculaires dans les villes tunisiennes : cas de Monastir, Kairouan et Tozeur, 241–246.
- [11] Bettaieb, J., Toumi, A., Leffondre, K., Alaya, N. B. E. N., & Boukthir, A. (2010). Relation température-mortalité pour la ville de Tunis : 2005-2007.
- [12] Wood, S. N., & Augustin, N. H. (2002). GAMs with integrated model selection using penalized regression splines and applications to environmental modelling. *Ecological Modelling*, 157.
- [13] Roch, G. (2011), LERTIM, Faculté de Médecine, Marseille, France.
- [14] Labarere, D. J. (2011). *Epidémiologie étiologique*.
- [15] Host, S., Chatignoux, E., & Gremy, I. (2006). *Erpurs*.
- [16] Aylin, P., Morris, S., Wakefield, J., Grossinho, a, Jarup, L., & Elliott, P. (2001). Temperature, housing, deprivation and their relationship to excess winter mortality in Great Britain, 1986-1996. *International journal of epidemiology*, 30(5).
- [17] Froid et Santé : éléments de synthèse bibliographique et perspectives. (2004).