Avril 2004

# Système d'alerte canicule et santé 2004
(SACS 2004)

Rapport opérationnel

INSTITUT DE VEILLE SANITAIRE

| *ETUDE* | |
|---|---|
| Titre | **Système d'alerte canicule et santé 2004** (SACS 2004) |
| Equipe | Karine LAAIDI, épidémiologiste<br>Martine LEDRANS, responsable DSE<br>Mathilde PASCAL, ingénieur mesure environnement<br>Pascal EMPEREUR-BISSONNET, médecin<br>Alain LE TERTRE, statisticien<br>Sylvia MEDINA, épidémiologiste<br>Céline CASERIO, interne de santé publique<br>Pascal BEAUDEAU, épidémiologiste |
| Collaboration Externe | Météo France (Jean-Claude COHEN) |
| Financement | Fonds propres InVS |

| *DOCUMENT* | |
|---|---|
| Titre du rapport | **Rapport opérationnel du système d'alerte canicule 2004** |
| Rédacteurs | Karine LAAIDI<br>Mathilde PASCAL |
| Date | 30 avril 2004 |
| Pages | 35 |
| Annexes | 0 |
| Figures | 12 |
| Tableaux | 15 |

*VALIDATION SCIENTIFIQUE DU DOCUMENT*

| ***Nom et prénom*** | ***Qualité*** | ***Date*** |
|---|---|---|
| 1. Jean-Pierre BESANCENOT | Directeur laboratoire Climat et Santé | 26/04/2004 |
| 2. Jacques MANACH | Directeur adjoint "Opérations"<br>Direction de la Prévision, Météo-France | 30/04/2004 |
| 3. Corinne LE GOASTER | Epidémiologiste InVS | 29/04/2004 |

**1. INTRODUCTION** ..... **4**

**2. METHODE** ..... **5**

2.1. CONCEPTION D'UN SYSTEME D'ALERTE ..... 5
2.2. ZONE ET PERIODE D'ETUDE ..... 6
2.3. INDICATEURS BIOMETEOROLOGIQUES ..... 7
2.4. CALCUL DE LA SURMORTALITE ..... 9
2.5. CHOIX D'UN INDICATEUR ET D'UN SEUIL BIOMETEOROLOGIQUE ..... 12
2.6. EXTENSION GEOGRAPHIQUE ..... 14

**3. RESULTATS** ..... **14**

3.1. CHOIX D'UN INDICATEUR BIOMETEOROLOGIQUE ..... 14
3.2. CHOIX D'UNE REFERENCE POUR LE CALCUL DE LA SURMORTALITE ..... 15
3.3. RESULTATS PAR VILLE ..... 16
3.4. EXTENSION DU SYSTEME A TOUT LE TERRITOIRE METROPOLITAIN ..... 20
*3.4.1. Utilisation des zones climatiques homogènes* ..... *20*
*3.4.2. Utilisation d'un écart à la normale* ..... *21*
*3.4.3. Utilisation des percentiles* ..... *23*

**4. DISCUSSION SUR LES SEUILS** ..... **24**

4.1. PROPOSITION DE SEUILS DE SURMORTALITE POUR CHAQUE VILLE ..... 24
4.2. PROPOSITION DE SEUIL BIOMETEOROLOGIQUE POUR CHAQUE VILLE ..... 25
4.3. PROPOSITION D'EXTENSION ..... 27
4.4. SEUILS DEFINITIFS POUR TOUT LE TERRITOIRE METROPOLITAIN ..... 27
4.5. LIMITES DU SYSTEME ..... 30

**5. MISE EN ŒUVRE PRATIQUE DU SYSTEME** ..... **30**

5.1. CRITERES DE SIGNALEMENT D'UNE ALERTE ..... 31
5.2. ELABORATION ET DIFFUSION DES INFORMATIONS PAR METEO-FRANCE ..... 31

## 1. INTRODUCTION

La canicule de l'été 2003 a été exceptionnelle en France à plus d'un titre puisque de fortes chaleurs ont persisté du 15 juillet au 15 août 2003 et que les températures maximales et minimales étaient inhabituellement hautes pendant la première quinzaine d'août. Selon Météo France, l'été 2003 est ainsi le plus chaud depuis le début des mesures (soit plus de 50 ans en général) pour les températures maximales et, fait important, pour les températures minimales (Météo France, 2003). La vague de chaleur d'août 2003 a été accompagnée d'une vague de surmortalité à court terme d'une importance exceptionnelle, en particulier chez les personnes âgées de plus de 75 ans. Les départements ont subi une surmortalité d'autant plus importante que le nombre de jours consécutifs avec des maximales supérieures à 35°C a été élevé (Hémon, Jougla, 2003) (InVS, 2003).

Le système existant de vigilance météorologique concernait jusqu'à présent cinq phénomènes météorologiques susceptibles d'entraîner une alerte (vents forts, fortes précipitations, orages, neige/verglas et avalanches). Les vagues de chaleur étaient signalées par des communiqués de presse météorologiques spéciaux suivant en cela les recommandations formulées par la Commission « Biométéorologie » du Conseil Supérieur de la Météorologie.

Il s'agit dans cette étude de proposer un système d'alerte opérationnel pour l'été 2004, fondé sur une surmortalité toutes causes pouvant être liée à une vague de chaleur. Dans le cadre du Plan National Canicule, ce système est conçu pour permettre d'alerter les autorités publiques avec trois jours d'anticipation de la survenue possible d'un phénomène épidémique de grande ampleur en rapport avec une vague de chaleur. Les plans d'actions intervenant en amont et en aval de l'alerte sont développés indépendamment par les autorités compétentes (Plan National Canicule de la DGS).

Différents indicateurs météorologiques (températures, indice bioclimatique tel que l'indice thermo hygrométrique, humidité) ont été testés dans quatorze villes pilotes, afin de définir des valeurs seuils sensibles et spécifiques au-delà desquelles l'alerte sera déclenchée. Le système choisi à partir des résultats des tests est ensuite étendu à l'ensemble des départements français. En effet, l'originalité de ce système d'alerte canicule est son extension géographique. De nombreux systèmes de prévention des vagues de chaleur existent à un niveau local dans plusieurs villes du monde (Kalkstein, Jamason, Greene, Libby, Robinson, 1996b; Michelozzi, 2003; WHO Regional Committee for Europe, 2003) mais il existe peu de systèmes nationaux. La difficulté principale consiste donc à trouver des indicateurs biométéorologiques et des seuils adaptés pour toutes les régions climatiques françaises.

Ce rapport présente brièvement la méthode d'analyse retenue et les résultats permettant de proposer des indicateurs biométéorologiques et des seuils sur l'ensemble du territoire. Un rapport détaillant chaque étape de l'analyse sera disponible ultérieurement.

## 2. METHODE

### 2.1. CONCEPTION D'UN SYSTEME D'ALERTE

Un système d'alerte efficace doit répondre à un certain nombre d'exigences. Entre autres, il doit être :

- Adapté au contexte de son application, i.e. ici adapté au contexte bioclimatique français.

- Anticipatif : une alerte ne sera efficace que si elle est lancée suffisamment tôt pour permettre des mesures correctives.

- Intégré : un système d'alerte doit avant tout être considéré comme un sous-système d'un ensemble plus vaste. Il paraît très important que les gestionnaires soient aussi impliqués dans sa conception. A chacune des étapes du système d'alerte, depuis la surveillance des indicateurs jusqu'à la réponse au danger, une grande interaction doit exister entre les différentes parties prenantes du système. De cette manière, l'alerte pourra être donnée à temps, bien comprise et laisser un délai suffisant pour activer les plans.

- Fiable : le système doit se fonder sur des données sûres. La sélection des indicateurs est une phase clef, car la surveillance d'indicateurs peu pertinents pourrait se traduire par une perte de temps et un gaspillage inutile de moyens. De plus, ces indicateurs doivent pouvoir évoluer lorsque de nouvelles connaissances scientifiques sont disponibles. La fiabilité est fondée sur le choix d'indicateurs et de seuils procurant au système les meilleures performances en termes de sensibilité et de spécificité.

- Transparent : la conception du système doit être transparente. Les matériels et méthodes utilisés pour concevoir le système doivent être décrits et leurs sources citées. Même si le fonctionnement du système n'est pas rendu public immédiatement, il est cependant nécessaire de conserver des archives pour permettre une consultation publique *a posteriori*.

Afin d'avoir un système anticipatif et fiable, le choix a été fait de travailler avec des indicateurs biométéorologiques prédictifs d'une surmortalité. La conception d'un système d'alerte canicule passe ainsi par trois étapes :

- identification d'un indicateur biométéorologique, à partir des données de la littérature et de tests sur différents indicateurs.

- choix de seuils biométéorologiques, en fonction des conditions climatiques locales et des critères de spécificité et de sensibilité et non dérivé directement des valeurs d'autres pays qui ne sont pas forcément adaptées. Dans un premier temps, les seuils seront choisis dans quelques villes.

- choix d'une méthode d'extension des seuils à tout le territoire métropolitain, en fonction des conditions climatiques locales.

## 2.2. ZONE ET PERIODE D'ETUDE

Les unités urbaines sélectionnées sont les suivantes : Bordeaux, Dijon, Grenoble, Le Havre, Lille, Limoges, Lyon, Marseille, Nantes, Nice, Paris, Strasbourg, Toulouse et Tours. Il s'agit de grandes agglomérations françaises régulièrement espacées sur l'ensemble du territoire et représentatives de ses différents climats.

La période d'étude couvre les années 1973 à 2003. En ce qui concerne les données de mortalité, les années 1970 à 1972 ont également été utilisées afin de servir de référence pour la mortalité de 1973.

Les villes étudiées présentent une grande hétérogénéité au niveau des variables climatiques. Les températures minimales et maximales moyennées du 1er juin au 31 août sur la période 1973 – 2003 varient respectivement de 12,5 (Lille) à 19°C (Nice) et de 21,2 (Lille) à 28,5°C (Marseille). Les normales saisonnières augmentent graduellement de juin à mi-août puis diminuent, la première semaine d'août étant la période la plus chaude de l'été (Figure 1). On peut aussi noter que l'amplitude thermique journalière, i.e. la différence entre les températures diurnes et nocturnes ($T_{max}$-$T_{min}$), varie peu pendant l'été, et reste stable autour de 10,4°C (7°C à Nice et 12°C à Grenoble). Cette hétérogénéité est importante, car plusieurs études ont montré qu'il existait des contrastes spatiaux importants dans la surmortalité liée à une vague de chaleur, avec une différence entre les régions côtières et les régions continentales, les régions habituées ou non aux chaleurs estivales (Besancenot, 2002). Il existe aussi une différence entre les grandes agglomérations urbaines, les petites villes et les campagnes, comme l'a montré l'exemple d'Athènes en 1987 : surmortalité de 96,5% à Athènes, 32,5% en moyenne dans les autres villes de plus de 10 000 habitants, 26,8% dans les plus petites villes et dans les campagnes (Besancenot, 1995).

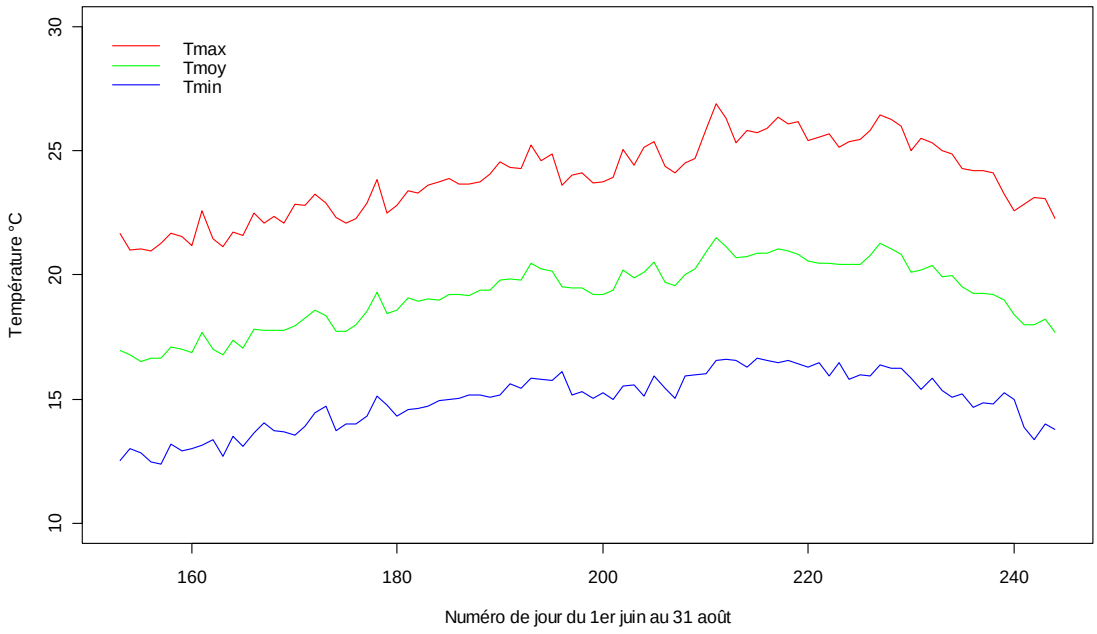



**Figure 1 - Normales jounalières calculées sur trente ans des températures maximales, moyennes et minimales à Paris**

Il n'existe pas de définition météorologique précise concernant les vagues de chaleur. Les météorologistes français privilégient le maintien pendant plusieurs jours de températures maximales voisines ou supérieures à un seuil compris entre 30 et 35°C selon les régions géographiques. Le nombre de jours de dépassement du seuil 30°C dépend de la région climatique (Figure 2). Il s'agit en majorité de dépassement d'un, deux ou trois jours consécutifs. Les dépassements de plus de six jours consécutifs sont rares et correspondent aux périodes de vague de chaleur connues (1976, 1983, 2003).

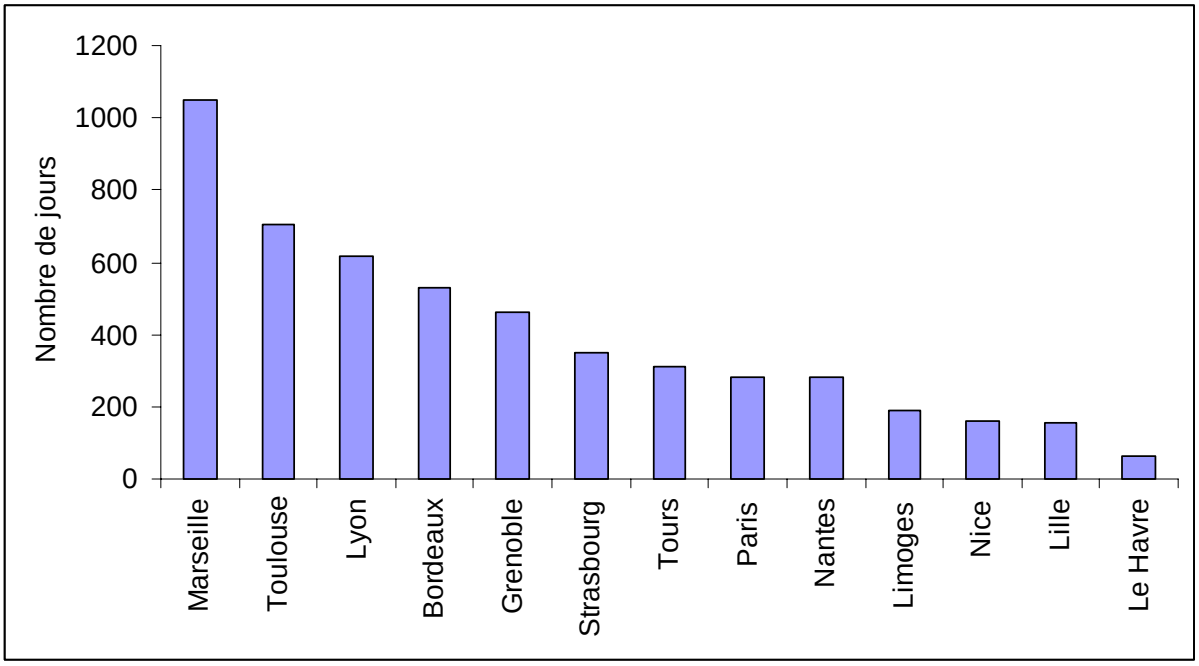



**Figure 2 - Nombre de jours où Tmax a dépassé 30,0°C de 1973 à 2003**

## 2.3. INDICATEURS BIOMETEOROLOGIQUES

La question est de savoir quels sont les paramètres météorologiques susceptibles d'accroître la mortalité (Besancenot, 2002). Les indicateurs retenus pour être testés dans le système d'alerte canicule 2004 sont résumés dans le Tableau 1. Les données brutes au pas de temps journalier ont été fournies par Météo France. Il s'agit de données mesurées par les stations météorologiques classiques.

Le premier indicateur considéré est la température, les vagues de chaleur passées ayant montré que les premiers décès surnuméraires apparaissaient à une température d'autant plus élevée que l'on se trouvait dans une région où l'été est d'ordinaire plus chaud, ce qui confirme l'efficacité de l'adaptation biologique, mais aussi probablement comportementale, des populations concernées. Toutefois, la température maximale ne permet pas toujours d'estimer les risques encourus, comme le prouve la fin juillet 1983 dans le Midi de la France (Besancenot, 1990b; Simonet, 1985). Les températures maximales étaient alors supérieures à 40, voire 42,5°C en Provence, mais aucune répercussion sur la mortalité n'a été enregistrée à l'exception d'un périmètre bien délimité englobant Marignane, Marseille, Aubagne et Aix-en-Provence, où les températures nocturnes restaient élevées (>23°C à Marseille) alors qu'elles étaient par exemple inférieures à 20°C à Carpentras. Cette absence de rémission nocturne empêchant l'organisme de récupérer (Besancenot, 1995),(Diaz, Jordan, Garcia, Lopez, Alberdi, Hernandez, Otero, 2002) est presque systématique lors des vagues de chaleur meurtrières. La température minimale est donc un paramètre primordial à prendre en compte.

D'autres paramètres météorologiques peuvent aussi interagir avec la température pour rendre la chaleur plus ou moins supportable, comme la radiation solaire, la vitesse du vent ou l'humidité de l'air (Besancenot, 2001; Besancenot, 1990a). Des indices biométéorologiques ont donc été mis au point pour évaluer plus précisément les risques liés à une vague de chaleur. L'indice thermo hygrométrique (THI) est par exemple utilisé en routine par les services météorologiques. D'autres indicateurs biométéorologiques existent, parmi lesquels on peut citer l'humidex, la température apparente, l'indice de chaleur et l'indice d'inconfort. Ces indicateurs sont tous construits comme une combinaison des températures et des variables représentants l'humidité (InVS, 2003). Ils permettent d'estimer le stress

thermique effectivement ressenti par l'organisme et font intervenir l'humidité relative, soit directement, soit indirectement (température du point de rosée). L'indice thermo hygrométrique seul a été retenu pour être testé, après comparaison de ces différents indices, qui évoluent de la même manière que le THI.

Le choix des indicateurs météorologiques ou biométéorologiques s'est également posé en termes de référence aux systèmes existant à l'étranger, notamment vis-à-vis de l'approche par masses d'air synoptiques (Kalkstein, Valimont, 1986; Kalkstein, Jamason, Greene, Libby, Robinson, 1996a; Michelozzi, 2003; WHO Regional Committee for Europe, 2003). Toutefois, il s'agit d'un système de nature complexe qui serait très long à mettre en place. Il n'a donc pas été retenu en première approche, compte tenu des délais impartis (système opérationnel au 1er juin 2004). Cette option n'est cependant pas écartée et sera envisagée ultérieurement dans le cadre d'une amélioration du système d'alerte 2004.

**Tableau 1 - Caractéristiques des indicateurs biométéorologiques retenus pour les tests**

| Indicateur | Symbole | Commentaire |
|---|---|---|
| **Température minimale** | Tmin | Sous abri, relevée entre J-1 18h00 UTC et J 18h00 UTC[1], généralement observée en fin de nuit |
| **Température maximale** | Tmax | Sous abri, relevée entre J 06h00 UTC et J+1 06h00 UTC, généralement observée en milieu d'après-midi |
| **Température minimale et maximale** | Tmin et Tmax | Indicateur mixte associant les températures minimales et maximales |
| **Température moyenne** | Tmoy | Moyenne des 8 observations trihoraires ou des 24 observations horaires de la température sèche sous abri entre 00h00 UTC et 23h00 UTC |
| **Ecart à la normale** | dtmoy | Tmoy du jour – moyenne sur trente ans du jour |
| **Température moyenne du point de rosée** | Tdrmoy | Moyenne des 8 observations trihoraires ou des 24 observations horaires de la température du point de rosée entre 00h00 UTC et 23h00 UTC<br><br>La température du point de rosée est la température à laquelle on observe la saturation (apparition de rosée) dans un refroidissement à pression constante. Elle permet donc d'estimer l'humidité de l'air.<br>- si la température de rosée est proche de la température de l'air, l'humidité relative (exprimée en pourcentage) est élevée.<br>- si la température de rosée est très inférieure à la température de l'air, l'humidité relative est faible. |
| **Indice thermo hygrométrique** | THI | Dérivé de la formule de E.C. Thom (Laaidi K., 1997):<br>THI = T - [(0,55 - 0,0055 U%) (T - 14,5)]<br>Avec T = température (°C) et U% = humidité relative[2] (%).<br><br>Selon la plupart des auteurs, les THI compris entre 15 et 20°C procurent les plus grandes sensations de bien-être et sont associés aux plus bas taux d'incidence de la majorité des maladies. En revanche, la chaleur humide réduit les performances physiques et expose l'organisme au coup de chaleur, avec risque d'issue fatale lorsque l'indice dépasse 27,7°C. Le seuil de 30°C est d'ailleurs retenu par les Américains comme limite de résistance de l'homme "normal" (Laaidi K., 1997). |

[1] UTC : Universal Time Coordinates (ou TU : Temps Universel, ou GMT : Greenwich Mean Time). En France en horaire d'été, l'heure légale est en avance de 2 heures sur l'heure UTC (06h00 UTC = 08h00 légales), en horaire d'hiver l'heure légale est en avance d'une heure sur l'heure UTC (06h00 UTC = 07h00 légales).

[2] Humidité relative moyenne = Moyenne des 8 observations trihoraires ou des 24 observations horaires de l'humidité relative entre 00H00 Utc et 23H00 Utc

## 2.4. CALCUL DE LA SURMORTALITE

Les données collectées par l'INSERM au Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès (CepiDc) constituent la référence pour les données de mortalité mais leur procédure de contrôle ne permettait pas d'obtenir des données validées pour 2003. Comme il était nécessaire de travailler sur un fichier de données le plus complet et le plus homogène possible sur la période 1970-2003, il a finalement été décidé d'utiliser les données de mortalité journalière toutes causes recueillies par l'INSEE. Le système de gestion de l'INSEE permet en effet une remontée rapide des données sur les décès. Les données sont contrôlées par l'INSEE à une fréquence quotidienne (élimination des doublons) et hebdomadaire (contrôle de qualité des fichiers reçus). Les données étaient disponibles pour une mortalité toutes causes par classes d'âges <65 ans, 65-74 ans et >74 ans. Tous les tests ont été menés sur la surmortalité totale.

La mortalité journalière moyenne pour un jour donné, ou « ligne de base » de la mortalité a été calculée de la manière suivante : moyenne sur les trois années précédentes de la mortalité journalière lissée. Différents laps de temps ont été utilisés pour calculer la moyenne glissante : 31 jours (n=15), 15 jours (n=7) et 7 jours (n=3) (i.e. au jour i est attribuée la moyenne des jours de i-n à i+n, n=[3,7,15]). Le lissage par fenêtre de sept jours permet de gommer la variabilité intra-hebdomadaire tout en préservant la variabilité interhebdomadaire, ce qui est intéressant car les pics de mortalité liée à la chaleur peuvent être d'une durée assez courte. Le lissage par fenêtre d'un mois peut avoir comme inconvénient de trop lisser les pics de mortalité attribuables à la chaleur, le lissage sur quinze jours constituant une solution intermédiaire. On peut noter que le choix de la fenêtre de lissage a eu assez peu d'influence sur les résultats des tests.

La surmortalité journalière du 1 juin au 31 août est ensuite calculée pour les différentes tranches d'âge :

$$s[i, j] = 100 * \frac{mortalite[i, j] - base[i, j]}{base[i, j]}$$

i représente un jour, j une année. La ligne de base est différente de 0.

Le nombre quotidien de décès est très variable en fonction de la taille de l'agglomération étudiée (Tableau 2), ce qui pose des problèmes importants au niveau de l'analyse. En effet, plus le nombre de décès quotidien est faible plus la surmortalité journalière est variable et plus le lien entre surmortalité et vague de chaleur est difficile à établir.

**Tableau 2 - Mortalité journalière moyenne du 1er juin au 31 août (1973-2003) dans les quatorze villes étudiées et traduction des seuils de surmortalité envisagés en nombre de décès**

| Ville | Nombre de décès quotidien | 100% | 50% | 20% | 10% |
|---|---|---|---|---|---|
| **Dijon** | 4,2 | 4,2 | 2,1 | 0,84 | 0,42 |
| **Limoges** | 4,2 | 4,2 | 2,1 | 0,84 | 0,42 |
| **Tours** | 5,8 | 5,8 | 2,9 | 1,16 | 0,58 |
| **Le Havre** | 6 | 6 | 3 | 1,2 | 0,6 |
| **Grenoble** | 6,9 | 6,9 | 3,45 | 1,38 | 0,69 |
| **Strasbourg** | 8,8 | 8,8 | 4,4 | 1,76 | 0,88 |
| **Nantes** | 9,7 | 9,7 | 4,85 | 1,94 | 0,97 |
| **Toulouse** | 12 | 12 | 6 | 2,4 | 1,2 |
| **Bordeaux** | 15,6 | 15,6 | 7,8 | 3,12 | 1,56 |
| **Lille** | 22,5 | 22,5 | 11,25 | 4,5 | 2,25 |
| **Nice** | 25,1 | 25,1 | 12,55 | 5,02 | 2,51 |
| **Lyon** | 26 | 26 | 13 | 5,2 | 2,6 |
| **Marseille** | 32,9 | 32,9 | 16,45 | 6,58 | 3,29 |
| **Paris** | 185 | 185 | 92,5 | 37 | 18,5 |

Pour pallier le problème du faible nombre de décès et de la variabilité importante de la mortalité, il a aussi été calculé une surmortalité à partir d'une mortalité cumulée sur trois jours ; la mortalité cumulée du jour i est la somme de la mortalité des jours i à i+2. Dans ce cas, aucune fenêtre de lissage n'est utilisée. Le cumul sur trois jours permet d'augmenter les effectifs de décès et de lisser les augmentations ponctuelles tout en conservant suffisamment d'information pour détecter les épisodes graves. Une durée de cumul plus longue aurait peu de sens vis à vis de la réactivité du système d'alerte (délais d'anticipation trop courts). Le choix d'une durée de deux jours permettrait de gagner un jour dans la préparation de l'alerte mais réduirait la sensibilité et la spécificité du système.

Même en considérant la mortalité sur trois jours, des différences importantes subsistent entre les villes. Ainsi, à Paris, la surmortalité varie très peu en temps normal et les épisodes de vague de chaleur de 1976 et 2003 sont visibles sur la courbe de surmortalité (Figure 3).

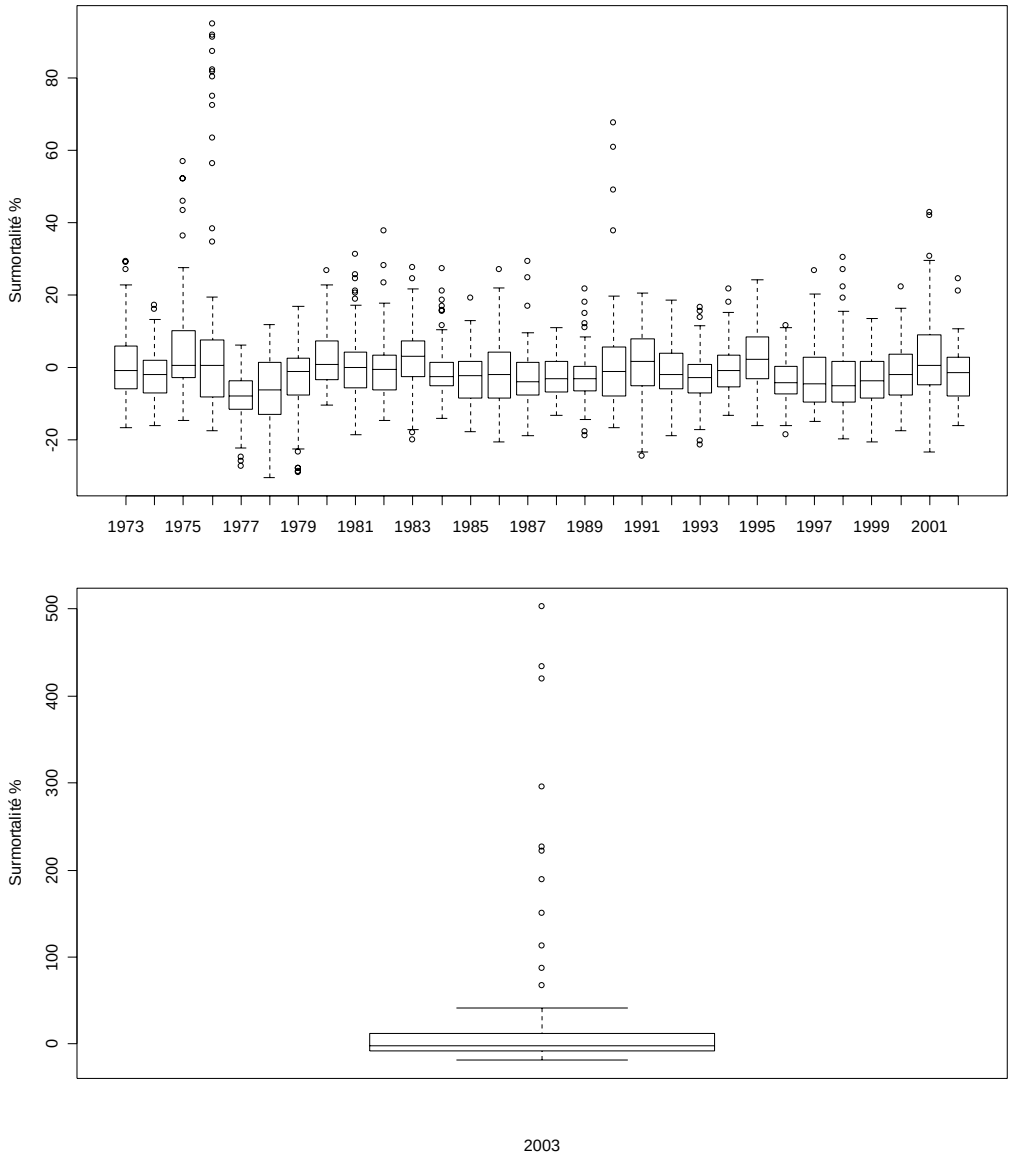



**Figure 3 – Description (Box and Whisker plot) de la surmortalité sur trois jours de 1973 à 2002 et en 2003 à Paris.** Les extrémités de la boîte représentent les 25ème et 75ème percentiles des données. Le trait horizontal à l'intérieur de la boîte représente la médiane. De part et d'autre de la boîte les traits horizontaux représentent le dernier des ponts de l'échantillon situé à 1,5 fois l'espace interquartile de la boîte. Les points situés au-delà de cette limite représentent les points « aberrants ». Ce graphique permet une représentation synthétique des données.

Le choix d'un seuil de surmortalité à ne pas dépasser de 100, 50, 20 ou même 10% a donc un sens à Paris. A Tours, par contre, même si l'épisode d'août 2003 a un impact clair sur la surmortalité de 2003, on peut remarquer que sur toutes les années la surmortalité varie entre -50 et +100%, indépendamment des vagues de chaleur (Figure 4). Dans ce cas, un seuil de surmortalité à ne pas dépasser inférieur à 100% ou à 50% semble peu pertinent car beaucoup trop sensible et peu spécifique.

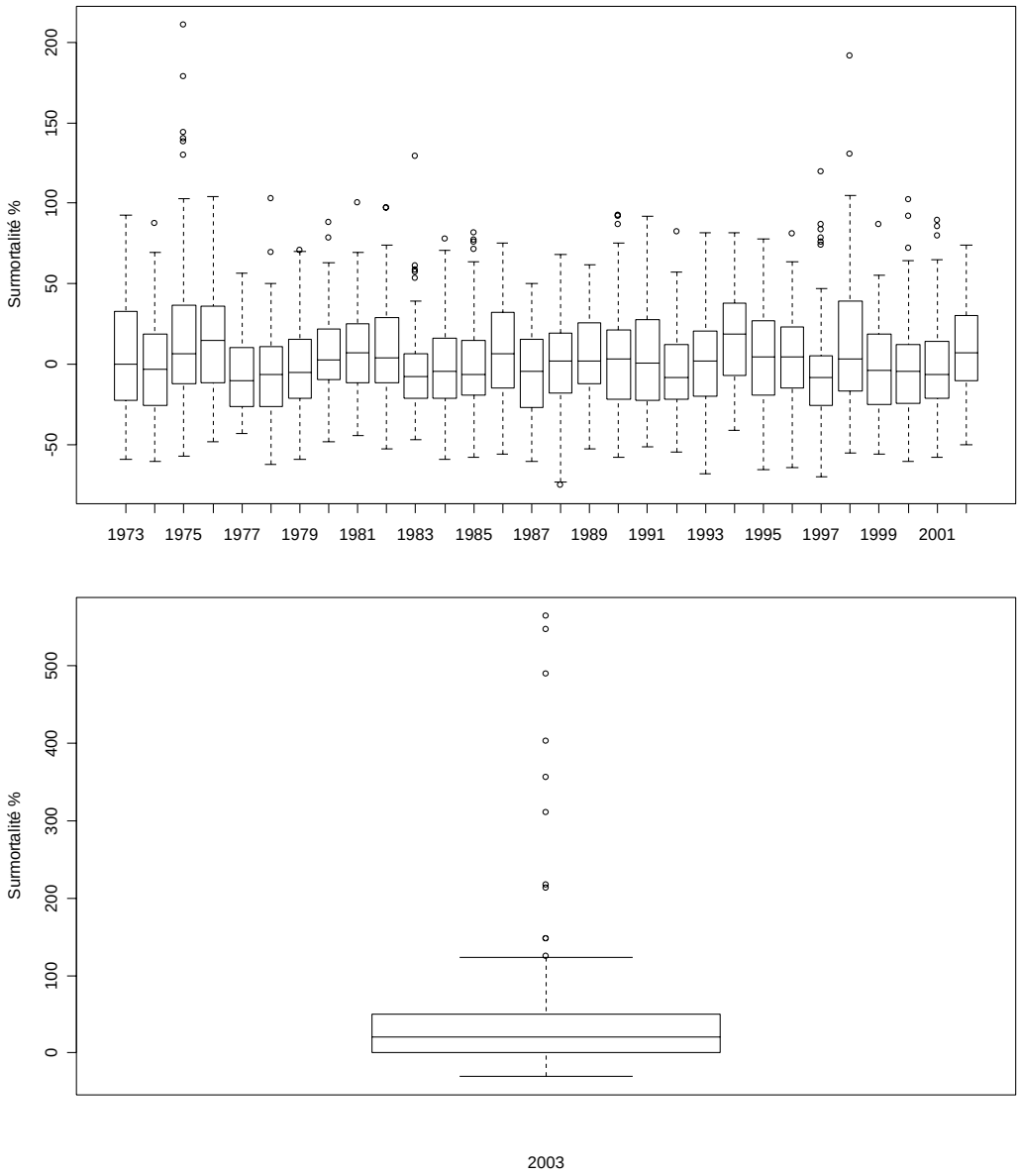



**Figure 4 - Description (Box and Whisker plot) de la surmortalité sur trois jours de 1973 à 2002 et en 2003 à Tours**

L'analyse est encore plus délicate au Havre, qui n'a pas connu de vague de chaleur ayant eu des conséquences sanitaires importantes (Figure 5).

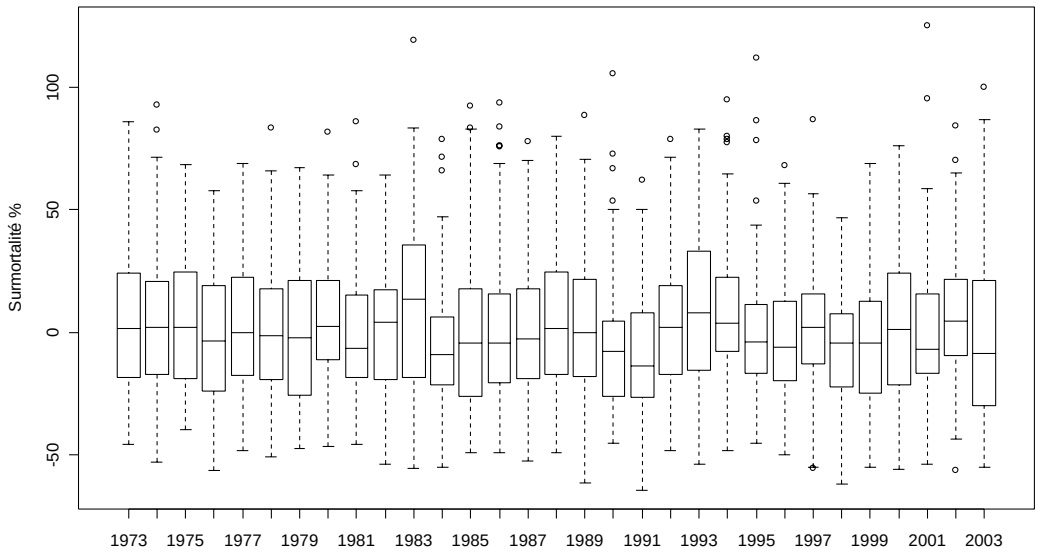



**Figure 5 - Description (Box and Whisker plot) de la surmortalité sur trois jours de 1973 à 2003 au Havre**

## 2.5. CHOIX D'UN INDICATEUR ET D'UN SEUIL BIOMETEOROLOGIQUE

Dans chaque ville, des tests ont été menés pour différents indicateurs et différents seuils de mortalité. Un test consiste à calculer pour plusieurs valeurs possibles[3] de seuils le nombre total d'alertes en distinguant les « vraies alertes » (températures élevées associées à une surmortalité) et les « fausses alertes » (températures élevées non associées à une surmortalité). Par analogie avec un test diagnostique, les résultats des tests des indicateurs ont donnés lieu à des calculs de sensibilité (Se), de spécificité (Sp), de valeur prédictive positive (VPP) et de valeur prédictive négative (VPN).

Les quatre situations possibles pour le système d'alerte sont représentées sous la forme d'un tableau (Tableau 3).

**Tableau 3 - Situations possibles pour le système d'alerte**

| | **Dépassement du seuil de surmortalité** | **Non dépassement du seuil de surmortalité** |
|---|---|---|
| **Dépassement du seuil biométéorologique** | Nv : Nombre de vraies alertes (*vrai positif*) | Nf : Nombre de fausses alertes (*faux positif*) : |
| **Non dépassement du seuil biométéorologique** | Nr : Nombre d'alertes ratées (*faux négatif*) : | vn : *vrai négatif* |

La sensibilité est la probabilité d'avoir un dépassement du seuil biométéorologique lorsque le seuil de surmortalité est dépassé : Nv/(Nv+Nr).

Cette approche revient à considérer que tous les dépassements des seuils de surmortalité sont dus à une cause météorologique, ce qui est évidemment faux. Comme nous ne disposons pas de la surmortalité par causes, il est en particulier difficile d'évaluer si une « *alerte manquée* » l'est réellement (i.e. véritablement liée à la température) ou si elle correspond à un événement indépendant de la température. Cette difficulté a été partiellement résolue en considérant qu'un dépassement du seuil de mortalité n'était pas attribuable à la température s'il se produisait un jour où les indicateurs n'étaient

[3] - 30 valeurs pour les indicateurs Tmin, Tmax, Tmoy, dtmoy, Trosée moy et THI, augmentant par pas de 1°C
- 400 couples possibles pour l'indicateur Tmin et Tmax

pas supérieurs ou égaux à leur moyenne sur trente ans + 1°C  (respectivement +2°C). Une nouvelle sensibilité notée Se+1°C (respectivement Se+2°C) a été calculée en utilisant ce critère.

La spécificité est la probabilité de ne pas dépasser le seuil biométéorologique quand le seuil de surmortalité n'est pas dépassé : vn/(Nf+d).

La sensibilité et la spécificité dépendent uniquement de la qualité du test, l'idéal étant de disposer d'un test ayant une sensibilité de 1 et une spécificité de 1. Cela apparaît souvent difficile à réaliser et il faut alors trouver un compromis entre le manque de sensibilité (le nombre de dépassements de seuil de surmortalité non détectés i.e. d'alertes manquées) et le manque de spécificité (le nombre de fausses alertes). De manière graphique, ceci peut être représenté sur une courbe ROC (*Receiver Operating Characteristic curve*). Plus cette courbe se rapproche de l'angle supérieur gauche plus le test est satisfaisant (Figure 6). L'utilisation de ce type de courbe permet de juger de la qualité des indicateurs, indépendamment du seuil (Degoulet, Fieschi, 2004).

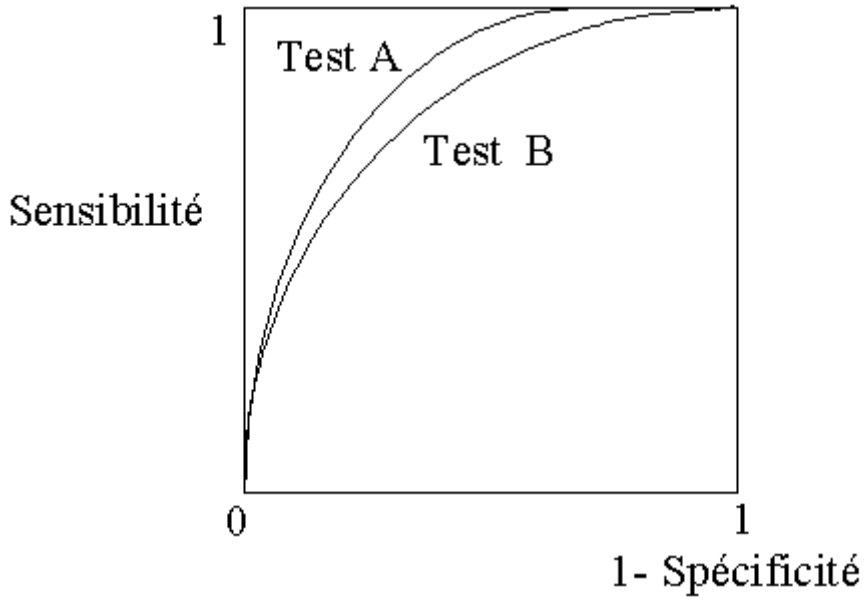



**Figure 6 - Courbe de ROC**

La valeur prédictive positive est la probabilité d'avoir un dépassement du seuil de surmortalité lorsque le seuil biométéorologique est dépassé : Nv/(Nv+ Nf).

La valeur prédictive négative est la probabilité de ne pas avoir un dépassement du seuil de surmortalité lorsque le seuil biométéorologique n'est pas dépassé : d/(Nr+ d).

Valeurs prédictives positive et négative sont dépendantes de la fréquence des alertes.

## 2.6. EXTENSION GEOGRAPHIQUE

Plusieurs méthodes ont été envisagées pour l'extension du système à l'ensemble du territoire. Une fois l'indicateur et les seuils choisis dans les villes pilotes, il faut étendre ces seuils à l'ensemble du territoire, en se fondant uniquement sur des considérations climatologiques.

Une première approche consiste à raisonner sur un découpage de la France en zones thermiques homogènes définies par Météo France. Les seuils choisis pour une ville de chaque zone sont ensuite étendus à toute la zone.

Une autre approche consiste à rechercher si les seuils retenus pour chaque ville présentent une cohérence en termes d'écarts à la moyenne ou de percentiles. Dans le premier cas, le seuil serait alors exprimé comme un écart à la normale saisonnière et ainsi aisément généralisable à tout le territoire. Dans le second cas, un percentile de la distribution de l'indicateur sur les trente dernières années serait choisi pour seuil, applicable là aussi à tout le territoire.

# 3. RESULTATS

## 3.1. CHOIX D'UN INDICATEUR BIOMETEOROLOGIQUE

Dans un premier temps, tous les indicateurs ont été testés en regard d'une surmortalité journalière, pour des seuils de surmortalité de 100%, 50 % et 20%. L'utilisation des courbes ROC a mis en évidence dans toutes les villes le fait que la température du point de rosée n'était pas un indicateur pertinent (Figure 7). Pour les seuils de surmortalité de 100% et 50%, l'indicateur le plus efficace dans toutes les villes (i.e. celui minimisant le nombre de fausses alertes tout en conservant une sensibilité intéressante) est la combinaison de la température minimale et maximale. Les résultats des tests pour un seuil de surmortalité de 20% montrent qu'à ce niveau et en dessous, il n'est plus plausible d'attribuer les variations de la surmortalité à une cause météorologique.

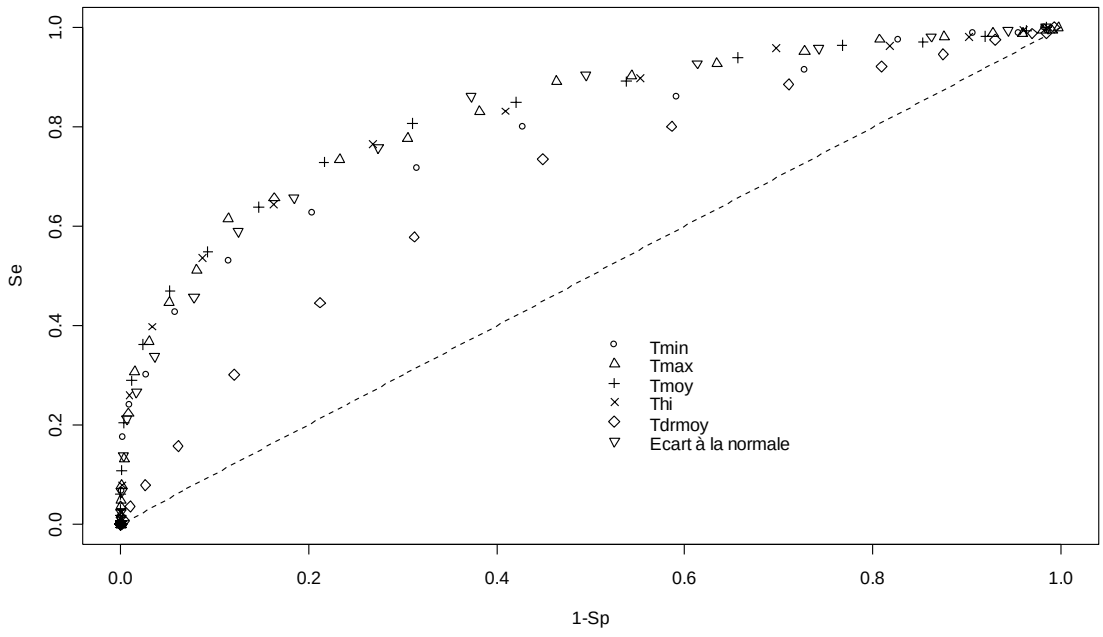



**Figure 7– Courbes de sensibilité/spécificité pour les différents indicateurs biométéorologiques à Paris, pour une surmortalité de référence journalière, au seuil de surmortalité de 50%.**

Compte tenu des valeurs prédictives positives et de la sensibilité élevée obtenues pour le couple Tmin>seuil1 et Tmax>seuil2, cet indicateur mixte est retenu pour toutes les villes. Deux seuils peuvent être retenus selon que l'on veut privilégier une valeur prédictive positive (VPP) élevée ou une sensibilité élevée. Ils doivent être ensuite arrondis au degré, puisqu'ils seront utilisés avec des prévisions météorologiques dont la précision est de l'ordre du degré et non du dixième de degré.
Par la suite, seuls les résultats obtenus pour cet indicateur sont présentés.

## 3.2. CHOIX D'UNE REFERENCE POUR LE CALCUL DE LA SURMORTALITE

L'utilisation d'une mortalité cumulée sur trois jours, associée à des données météorologiques moyennées sur 3 jours, permet d'améliorer considérablement le système. Ainsi, sur la Figure 8, trois scénarios ont été envisagés, pour un seuil de surmortalité de 50%:

- A : surmortalité cumulée sur trois jours et données météorologiques moyennes sur les trois jours
- B : surmortalité journalière, Tmin du jour et Tmax de la veille
- C : surmortalité journalière, Tmin et Tmax du jour

Les scénarios B et C sont deux variantes du scénario "surmortalité journalière", avec dans un cas (B) une forte chaleur diurne se prolongeant la nuit suivante et dans l'autre cas (C) des températures minimales élevées (toujours corrélées avec les températures maximales de la veille), suivies par une forte chaleur le jour suivant.

La Figure 8 montre que le test est beaucoup plus performant en considérant les données sur trois jours. Ceci est vérifié dans toutes les villes, sauf au Havre et à Limoges.

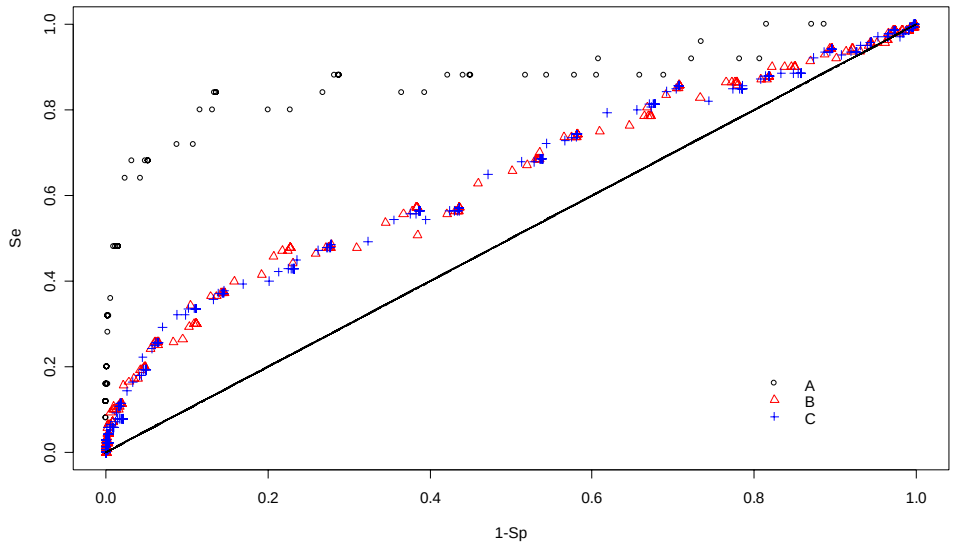



**Figure 8 – Performance du système d'alerte selon le choix de la surmortalité de référence (journalière ou cumulée sur trois jours) à Nice pour l'indicateur Tmin et Tmax et le seuil de 50% de surmortalité.**

L'utilisation d'une surmortalité cumulée sur trois jours est donc retenue comme donnant de meilleurs résultats. En effet, le cumul permet de réduire la variabilité journalière de la surmortalité. D'autre part, un décalage de un et deux jours entre les données de température et de mortalité a été testé, i.e. les températures moyennées sur les jours J, J+1, J+2 associées à une surmortalité cumulée sur J+1, J+2, J+3 (respectivement J+2, J+3, J+4). L'intérêt d'utiliser un décalage ne ressort pas de manière claire dans toutes les villes (Figure 9). En outre il ne tiendrait pas compte de l'influence de la température sur la mortalité du même jour. Par ailleurs, la notion de décalage entre température et mortalité est

présente d'une certaine manière dans le cumul glissant sur trois jours puisqu'il intègre la température du jour J et la surmortalité du jour J+3.

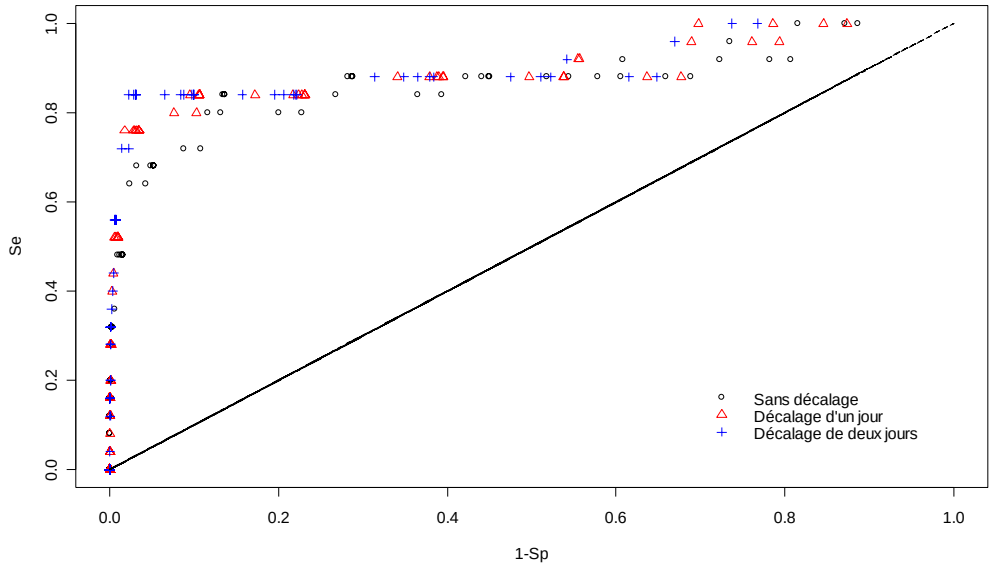



**Figure 9– Performance du système d'alerte selon le décalage entre température et surmortalité à Nice, pour l'indicateur Tmin et Tmax et le seuil de 50% de surmortalité.**

On retient donc *a priori* le calcul d'une surmortalité cumulée sur trois jours glissants, associée à des paramètres météorologiques moyennés sur les mêmes trois jours. Ce procédé présente en plus l'avantage d'intégrer la notion de persistance de la vague de chaleur, dont l'impact sanitaire a été montré par plusieurs études (Kilbourne 1997 ; Díaz et al. 2002).

## 3.3. RESULTATS PAR VILLE

Les dépassements des seuils de surmortalité par ville sont résumés dans le Tableau 4.

**Tableau 4 - Nombre de dépassements des seuils de surmortalité de 100 et 50 % dans les villes étudiées**

| | **Dépassements du seuil de 100%** | **Dépassements du seuil de 50%** |
|---|---|---|
| **Bordeaux** | 5 jours consécutifs en 2003 | 36 jours |
| **Dijon** | 45 jours | 306 jours |
| **Grenoble** | 14 jours, dont 3 jours consécutifs en 2003 et en 1983 et deux jours consécutifs en 1990 | 190 jours |
| **Le Havre** | 5 jours, 1 jour en 1983, 1975, 1990, 2001 et 2003. | 195 jours |
| **Lille** | Pas de dépassement | 14 jours |
| **Limoges** | 38 jours, dont 2 jours consécutifs en 1973, 2 en 1975, 2 en 1995, 3 en 1998, 2 et 3 en 2003. | 331 jours |
| **Lyon** | 8 jours consécutifs en 2003 | 32 jours |
| **Marseille** | 7 jours consécutifs en 1983 | 15 jours |
| **Nantes** | 18 jours dont 4 et 3 jours consécutifs en 1976, 3 en 1983 et 5 en 2003. | 114 jours |
| **Nice** | 3 jours dont 2 jours consécutifs en 2003 | 25 jours |
| **Paris** | 9 jours consécutifs en 2003 | 27 jours |
| **Strasbourg** | 10 dont 6 jours consécutifs en 2003 | 99 jours |
| **Toulouse** | 1 jour en 2003 | 66 jours |
| **Tours** | 32 jours dont 7 jours consécutifs en 1975, 3 en 1998 et 15 en 2003 | 32 jours |

On constate que dans plusieurs villes les dépassements du seuil de surmortalité de 100% sont concentrés sur les années de vague de chaleur déjà connues, 2003 (Bordeaux, Lyon, Nantes, Paris, Strasbourg, Tours) et 1983 (Marseille, Nantes). Dans d'autres villes, les dépassements du seuil de surmortalité sont plus nombreux et/ou plus dispersés. En particulier, Le Havre ne semble pas avoir subi de vague de chaleur conséquente au cours des trente dernières années, le seuil de surmortalité de 100% n'étant dépassé que cinq fois sur cinq années différentes. Les dépassements du seuil de 50% sont très nombreux à Dijon, à Grenoble, au Havre, à Limoges, Nantes et Strasbourg et ne peuvent pas être tous attribuables à des événements météorologiques.
Les résultats des tests pour quelques seuils sont présentés sous forme de tableaux (Tableau 5 et Tableau 6) résumant pour chaque ville le nombre d'alertes, de fausses alertes, d'alertes manquées, la VPP et les différentes sensibilités.

**Tableau 5 - Propositions de seuils pour une surmortalité > 100%.** Se+1°C, Se+2°C = sensibilité recalculée en considérant qu'un dépassement du seuil de mortalité n'est pas attribuable à la température s'il se produit un jour où les indicateurs ne sont pas supérieurs ou égaux à leur moyenne sur trente ans + 1°C (respectivement +2°C). Méd. = médiane.

| | | Nombre d'alertes | | | Sensibilité et valeur prédictive positive | | | | Surmortalité pendant les fausses alertes | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tmin–max | Total | Fausses | Ratées | VPP | Se | Se +1°C | Se +2°C | Méd | Min | max |
| **Bordeaux** | 22-36 | 7 | 2 | 0 | 0,71 | 1 | 1 | 1 | 52,1 | 29,6 | 74,6 |
| | 22-37 | 7 | 2 | 0 | 0,71 | 1 | 1 | 1 | 52,1 | 29,6 | 74,6 |
| | 22-38 | 2 | 1 | 4 | 0,5 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 29,6 | 29,6 | 29,6 |
| **Dijon** | 17-30 | 164 | 151 | 32 | 0,08 | 0,22 | 0,65 | 0,81 | 11,6 | -57 | 98,1 |
| | 18-32 | 51 | 42 | 36 | 0,17 | 0,2 | 0,45 | 0,56 | 4,1 | -50 | 98,1 |
| **Grenoble** | 15-35 | 21 | 16 | 9 | 0,24 | 0,36 | 0,41 | 0,45 | 71,8 | -25 | 96,9 |
| | 18-35 | 15 | 11 | 10 | 0,26 | 0,28 | 0,33 | 0,36 | 55,7 | -25 | 96,9 |
| | 14-27 | 741 | 729 | 2 | 0,02 | 0,86 | 1 | 1 | 6,4 | -60 | 96,9 |
| **Limoges** | 22-36 | 8 | 5 | 35 | 0,37 | 0,08 | 0,16 | 0,25 | 21,6 | 2,6 | 96,9 |
| | 16-36 | 9 | 5 | 34 | 0,44 | 0,16 | 0,22 | 0,33 | 21,6 | 2,6 | 96,9 |
| | 14-21 | 1232 | 1209 | 15 | 0,02 | 0,6 | 1 | 1 | 0 | -81,2 | 96,9 |
| **Lyon** | 22-36 | 8 | 3 | 3 | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 78,7 | 78,2 | 82,1 |
| | 22-35 | 12 | 7 | 3 | 0,41 | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 63,2 | -7 | 82,1 |
| | 22 -38 | 7 | 2 | 3 | 0,71 | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 80,4 | 78,7 | 82,1 |
| **Marseille** | 23-35 | 11 | 6 | 2 | 0,45 | 0,71 | 0,71 | 0,71 | 35,4 | 26,2 | 59,3 |
| | 23-36 | 7 | 3 | 3 | 0,57 | 0,57 | 0,57 | 0,57 | 46,4 | 37,3 | 59,3 |
| **Nantes** | 18-31 | 54 | 41 | 5 | 0,24 | 0,72 | 0,72 | 0,76 | 35,6 | -22,5 | 98,6 |
| | 20-32 | 22 | 11 | 7 | 0,5 | 0,61 | 0,61 | 0,64 | 55,2 | 17,1 | 98,6 |
| | 21-32 | 13 | 5 | 10 | 0,61 | 0,44 | 0,44 | 0,47 | 57,3 | 35,6 | 98,6 |
| | 21-33 | 12 | 4 | 10 | 0,66 | 0,44 | 0,44 | 0,47 | 68,7 | 55,2 | 98,6 |
| **Nice** | 24-30 | 54 | 41 | 5 | 0,54 | 0,72 | 0,72 | 0,72 | 39,9 | 6,9 | 87,9 |
| **Paris** | 22-33 | 20 | 11 | 0 | 0,45 | 1 | 1 | 1 | 81,9 | 56,2 | 94,9 |
| | 23- 34 | 10 | 5 | 4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 91,5 | 80,4 | 94,9 |
| | 22-37 | 8 | 0 | 1 | 1 | 0,89 | 0,89 | 0,89 | - | - | - |
| **Strasbourg** | 17-35 | 11 | 5 | 4 | 0,54 | 0,6 | 0,75 | 0,75 | 90,5 | 9,4 | 96,4 |
| | 18-34 | 12 | 8 | 6 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 62,9 | 9,4 | 96,4 |
| **Toulouse** | 21-38 | 9 | 8 | 0 | 0,11 | 1 | 1 | 1 | 84,6 | 59,8 | 98,2 |
| **Tours** | 16-31 | 9 | 8 | 0 | 0,4 | 1 | 1 | 1 | 30,4 | -41 | 92 |
| | 17-34 | 25 | 11 | 18 | 0,56 | 0,52 | 0,52 | 0,52 | 57,6 | 24,5 | 92 |

Les résultats sont assez variables selon les villes, mais si on regarde la surmortalité pendant les fausses alertes, on constate qu'elle est souvent assez élevée comme c'est le cas par exemple à Strasbourg où la médiane est, selon le seuil, de 62,9 ou 90,5% : il s'agit donc alors d'une fausse alerte biométéorologique, mais pas d'une fausse alerte sanitaire puisque la surmortalité associée était importante. Il était donc justifié de lancer une alerte dans ces cas là. Ceci renforce notre confiance dans les seuils envisagés.

**Tableau 6 - Propositions de seuils pour une surmortalité > 50%.** Se+1°C, Se+2°C = sensibilité recalculée en considérant qu'un dépassement du seuil de mortalité n'est pas attribuable à la température s'il se produit un jour où les indicateurs ne sont pas supérieurs ou égaux à leur moyenne sur trente ans + 1°C (respectivement +2°C).

| | Tmin – Tmax °C | Nombre d'alertes | Nombre de fausses alertes | Nombre d'alertes ratées | VPP | Se | Se+1°C | Se+2°C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Bordeaux** | 15-33 | 102 | 88 | 22 | 0,14 | 0,40 | 0,7 | 0,82 |
| | 19-32 | 62 | 48 | 22 | 0,22 | 0,40 | 0,7 | 0,87 |
| | 19-34 | 38 | 27 | 25 | 0,29 | 0,30 | 0,55 | 0,69 |
| **Grenoble** | 15-31 | 170 | 139 | 153 | 0,21 | 0,19 | 0,41 | 0,52 |
| | 16-32 | 88 | 57 | 159 | 0,35 | 0,16 | 0,34 | 0,43 |
| | 16-31 | 144 | 109 | 155 | 0,24 | 0,18 | 0,38 | 0,49 |
| **Lille** | 15-30 | 80 | 68 | 2 | 0,15 | 0,86 | 1 | 1 |
| | 15-31 | 49 | 39 | 4 | 0,2 | 0,71 | 0,83 | 0,83 |
| | 15-32 | 30 | 21 | 5 | 0,3 | 0,64 | 0,75 | 0,75 |
| | 16-32 | 28 | 18 | 6 | 0,31 | 0,57 | 0,66 | 0,66 |
| | 17-32 | 21 | 14 | 7 | 0,33 | 0,5 | 0,58 | 0,58 |
| **Limoges** | 13-26 | 614 | 517 | 234 | 0,16 | 0,29 | 0,72 | 0,88 |
| | 16-25 | 497 | 414 | 248 | 0,17 | 0,25 | 0,65 | 0,85 |
| **Lyon** | 18-31 | 228 | 202 | 6 | 0,11 | 0,81 | 0,86 | 0,93 |
| | 18-33 | 99 | 77 | 10 | 0,22 | 0,68 | 0,73 | 0,78 |
| | 18-34 | 53 | 32 | 11 | 0,39 | 0,65 | 0,7 | 0,75 |
| | 20-32 | 58 | 38 | 12 | 0,34 | 0,62 | 0,66 | 0,71 |
| | 20-34 | 35 | 16 | 13 | 0,54 | 0,59 | 0,63 | 0,68 |
| **Marseille** | 21-34 | 50 | 40 | 5 | 0,2 | 0,66 | 0,77 | 0,77 |
| | 22-32 | 70 | 59 | 4 | 0,16 | 0,73 | 0,84 | 0,84 |
| | 22-34 | 28 | 19 | 6 | 0,32 | 0,6 | 0,7 | 0,7 |
| | 23-35 | 11 | 5 | 9 | 0,54 | 0,4 | 0,46 | 0,46 |
| **Nantes** | 16-27 | 314 | 265 | 65 | 0,15 | 0,42 | 0,89 | 0,96 |
| | 17-30 | 114 | 75 | 75 | 0,34 | 0,34 | 0,71 | 0,76 |
| | 17-31 | 75 | 42 | 81 | 0,44 | 0,29 | 0,6 | 0,64 |
| **Nice** | 21-30 | 96 | 79 | 8 | 0,18 | 0,68 | 0,81 | 0,85 |
| | 24-30 | 22 | 13 | 16 | 0,41 | 0,36 | 0,42 | 0,45 |
| **Paris** | 20-30 | 71 | 45 | 1 | 0,36 | 0,96 | 0,96 | 0,96 |
| | 21-31 | 39 | 13 | 1 | 0,66 | 0,96 | 0,96 | 0,96 |
| | 21-33 | 34 | 10 | 3 | 0,70 | 0,88 | 0,88 | 0,88 |
| **Strasbourg** | 16-30 | 130 | 106 | 75 | 0,18 | 0,24 | 0,57 | 0,70 |
| | 17-30 | 85 | 64 | 78 | 0,25 | 0,21 | 0,5 | 0,61 |
| **Toulouse** | 17-33 | 110 | 89 | 45 | 0,19 | 0,32 | 0,58 | 0,7 |
| | 19-33 | 69 | 51 | 48 | 0,26 | 0,27 | 0,5 | 0,6 |
| **Tours** | 13-29 | 319 | 238 | 186 | 0,25 | 0,30 | 0,66 | 0,79 |
| | 18-29 | 58 | 22 | 231 | 0,62 | 0,13 | 0,3 | 0,4 |

Même si les résultats ne paraissent pas significativement améliorés par l'utilisation d'un décalage d'un jour ou deux entre température et surmortalité (Figure 9), les VPP et les sensibilités ont été calculées pour les seuils présentés dans les deux précédents tableaux. Ces résultats sont donnés dans les tableaux 7 et 8 (Lille n'est pas représentée dans le Tableau 7 car la surmortalité dans cette ville n'a jamais dépassé les 100%).

**Tableau 7 – VPP et Sensibilité avec ou sans décalage entre température et surmortalité, pour une surmortalité de 100%.** VPP, Se = sans décalage, VPP1, Se1 = avec décalage d'un jour, VPP2, Se2 = avec décalage de deux jours.

| | Tmin – Tmax °C | VPP | Se | VPP1 | Se1 | VPP2 | Se2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Bordeaux** | 22-36 | 0,71 | 1 | 0,71 | 1 | 0,71 | 1 |
| | 22-37 | 0,71 | 1 | 0,71 | 1 | 0,71 | 1 |
| | 22-38 | 0,5 | 0,2 | 0,5 | 0,2 | 1 | 0,4 |
| **Dijon** | 17-30 | 0,08 | 0,22 | 0,08 | 0,31 | 0,067 | 0,24 |
| | 18-32 | 0,17 | 0,2 | 0,12 | 0,13 | 0,12 | 0,13 |
| **Grenoble** | 15-35 | 0,24 | 0,36 | 0,19 | 0,28 | 0,14 | 0,21 |
| | 18-35 | 0,26 | 0,28 | 0,2 | 0,21 | 0,13 | 0,14 |
| | 14-27 | 0,02 | 0,86 | 0,01 | 0,86 | 0,01 | 0,86 |
| **Limoges** | 22-36 | 0,37 | 0,08 | 0,37 | 0,08 | 0,37 | 0,08 |
| | 16-36 | 0,44 | 0,16 | 0,44 | 0,10 | 0,44 | 0,1 |
| | 14-21 | 0,02 | 0,6 | 0,02 | 0,58 | 0,01 | 0,45 |
| **Lyon** | 22-36 | 0,62 | 0,62 | 0,75 | 0,75 | 0,62 | 0,62 |
| | 22-35 | 0,41 | 0,62 | 0,5 | 0,75 | 0,41 | 0,62 |
| | 22 -38 | 0,71 | 0,62 | 0,86 | 0,75 | 0,71 | 0,62 |
| **Marseille** | 23-35 | 0,45 | 0,71 | 0,45 | 0,71 | 0,45 | 0,71 |
| | 23-36 | 0,57 | 0,57 | 0,57 | 0,57 | 0,57 | 0,57 |
| **Nantes** | 18-31 | 0,24 | 0,72 | 0,24 | 0,72 | 0,26 | 0,77 |
| | 20-32 | 0,5 | 0,61 | 0,45 | 0,55 | 0,5 | 0,61 |
| | 21-32 | 0,61 | 0,44 | 0,61 | 0,44 | 0,54 | 0,38 |
| | 21-33 | 0,66 | 0,44 | 0,66 | 0,44 | 0,58 | 0,38 |
| **Nice** | 24-30 | 0,13 | 0,72 | 0,13 | 1 | 0,13 | 1 |
| **Paris** | 22-33 | 0,45 | 1 | 0,4 | 0,88 | 0,34 | 0,77 |
| | 23- 34 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,4 |
| | 22-37 | 1 | 0,89 | 1 | 0,89 | 0,87 | 0,78 |
| **Strasbourg** | 17-35 | 0,54 | 0,6 | 0,54 | 0,6 | 0,54 | 0,6 |
| | 18-34 | 0,3 | 0,4 | 0,41 | 0,5 | 0,5 | 0,6 |
| **Toulouse** | 21-38 | 0,11 | 1 | 0,11 | 1 | 0,11 | 1 |
| **Tours** | 16-31 | 0,23 | 0,62 | 0,22 | 0,59 | 0,18 | 0,5 |
| | 17-34 | 0,56 | 0,52 | 0,56 | 0,44 | 0,52 | 0,4 |

**Tableau 8 – VPP et Sensibilité avec ou sans décalage entre température et surmortalité, pour une surmortalité de 50%.** VPP, Se = sans décalage, VPP1, Se1 = avec décalage d'un jour, VPP2, Se2 = avec décalage de deux jours.

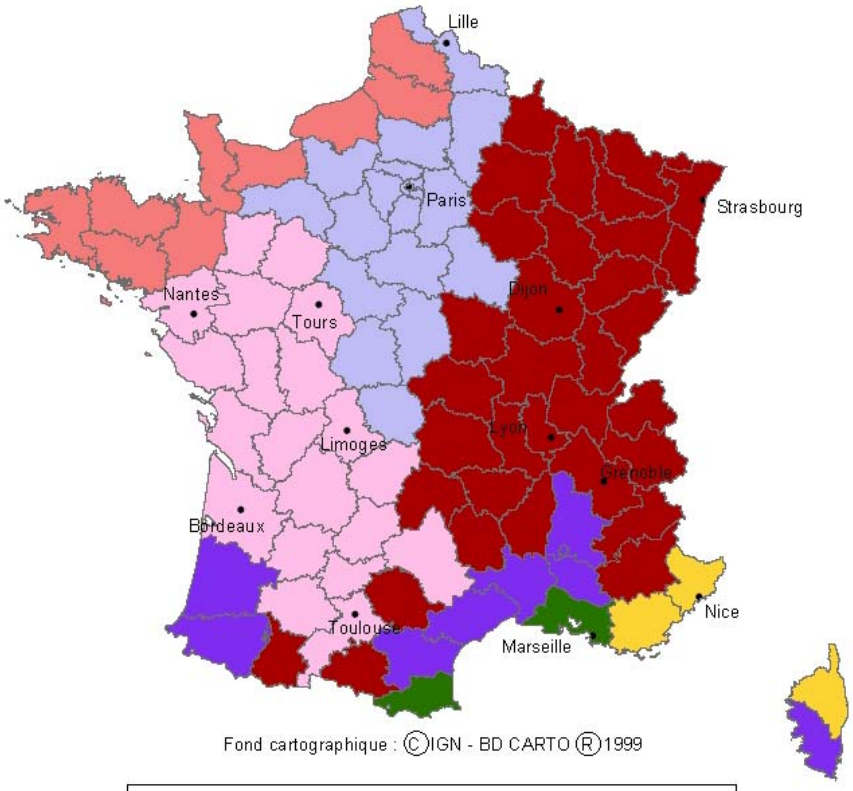
| | Tmin – Tmax °C | VPP | Se | VPP1 | Se1 | VPP2 | Se2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Lille** | 15-30 | 0,15 | 0,86 | 0,15 | 0,86 | 0.14 | 0.78 |
| | 15-31 | 0,2 | 0,71 | 0.22 | 0.78 | 0.18 | 0.64 |
| | 15-32 | 0,3 | 0,64 | 0.26 | 0.57 | 0.26 | 0.57 |
| | 16-32 | 0,31 | 0,57 | 0.26 | 0.5 | 0.23 | 0.43 |
| | 17-32 | 0,33 | 0,5 | 0.23 | 0.36 | 0.19 | 0.28 |
| **Lyon** | 18-31 | 0,11 | 0,81 | 0,11 | 0,81 | 0.10 | 0.78 |
| | 18-33 | 0,22 | 0,68 | 0.24 | 0.75 | 0.24 | 0.75 |
| | 18-34 | 0,39 | 0,65 | 0,39 | 0,65 | 0,39 | 0,65 |
| | 20-32 | 0,34 | 0,62 | 0.36 | 0.65 | 0,34 | 0,62 |
| | 20-34 | 0,54 | 0,59 | 0,54 | 0,59 | 0.51 | 0.56 |
| **Marseille** | 21-34 | 0,2 | 0,66 | 0.24 | 0.8 | 0.2 | 0.66 |
| | 22-32 | 0,16 | 0,73 | 0.14 | 0.66 | 0.11 | 0.53 |
| | 22-34 | 0,32 | 0,6 | 0.32 | 0.6 | 0.25 | 0.46 |
| | 23-35 | 0,54 | 0,4 | 0.45 | 0.33 | 0.45 | 0.33 |
| **Paris** | 20-30 | 0,36 | 0,96 | 0.36 | 0.96 | 0.34 | 0.88 |
| | 21-31 | 0,66 | 0,96 | 0.66 | 0.96 | 0.59 | 0.85 |
| | 21-33 | 0,70 | 0,88 | 0.76 | 0.96 | 0.67 | 0.85 |

Selon les villes, l'utilisation d'un décalage améliore (légèrement) les résultats ou au contraire les rend moins performants, ou bien n'a aucun impact. Il paraît peu probable que la température ait un impact immédiat ou retardé selon la population, aussi cette option n'a pas été retenue.

## 3.4. EXTENSION DU SYSTEME A TOUT LE TERRITOIRE METROPOLITAIN

### 3.4.1. Utilisation des zones climatiques homogènes

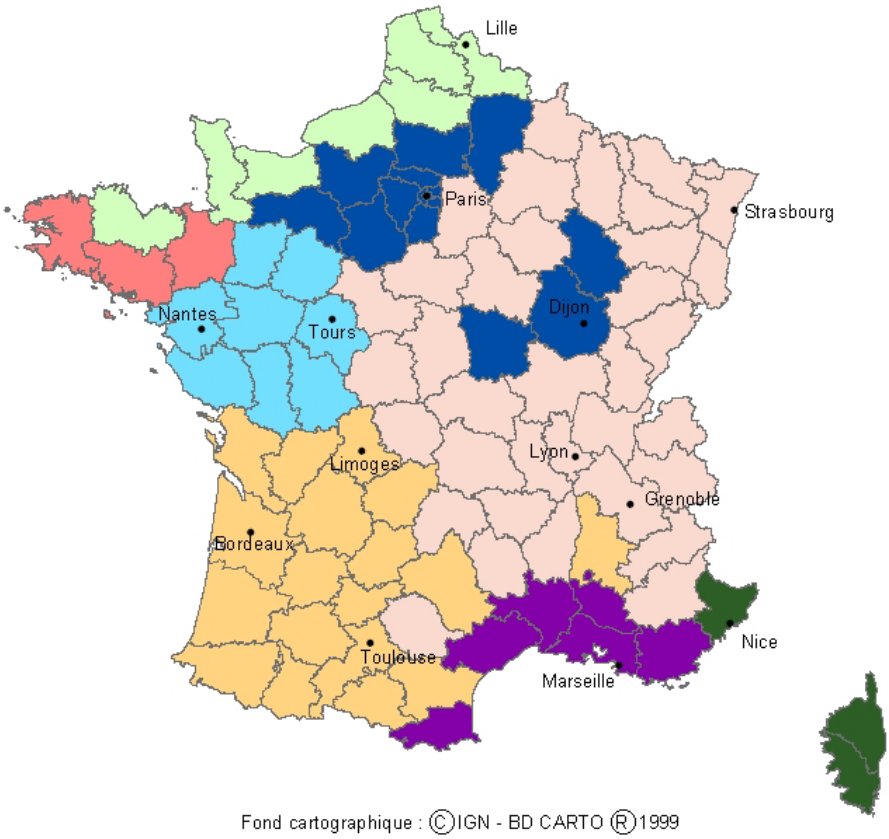
Une première méthode d'extension géographique consisterait à étendre le seuil d'une ville à l'ensemble de la région climatique à laquelle elle appartient. Des zones climatiques homogènes pour les températures minimales (Figure 10) et maximales (Figure 11) ont été définies par Météo France. En légende est donnée à titre indicatif la valeur de la médiane estivale des températures minimales ou maximales pour la station étalon qui représente le mieux chaque zone. L'inconvénient de cette méthode est que l'on ne dispose pas de stations du système d'alerte canicule santé dans chacune des zones, et que inversement pour une zone donnée on a parfois plusieurs stations.




• Villes du système d'alerte

| Zones Tmin | Ville étalon | Médiane des Tmin |
|---|---|---|
| 1 | Dinard | 12,4°C |
| 2 | Bourges | 12,5°C |
| 3 | Agen | 13,9°C |
| 4 | Saint Dizier | 12,4°C |
| 5 | Orange | 15,8°C |
| 6 | Marignane | 17,6°C |
| 7 | Cannes | 16,6°C |

**Figure 10 - Zones climatiques homogènes pour la température minimale**




• Villes du système d'alerte

| Zones Tmax | Ville étalon | Médiane des Tmax |
|---|---|---|
| 1 | Dinard | 19,7°C |
| 2 | Dunkerque | 19,1°C |
| 3 | Château-Chinon | 20,3°C |
| 4 | Angers | 23,2°C |
| 5 | Agen | 25,3°C |
| 6 | Orange | 28,2°C |
| 7 | Cannes | 25,7°C |
| 8 | Mâcon | 24,2°C |

**Figure 11 - Zones climatiques homogènes pour la température maximale**

### 3.4.2. Utilisation d'un écart à la normale

Une autre possibilité d'extension géographique serait d'exprimer les seuils en termes d'écarts aux normales saisonnières, i.e. Tmin normale + Δmin et Tmax normale + Δmax. Des propositions de Δ sont présentées dans le Tableau 9. Il n'existe pas de valeur unique de Δmin et Δmax utilisable pour toutes les villes. Le Δmax est toujours supérieur au Δmin, ce qui souligne le rôle majeur de la température minimale lors des vagues de chaleur.

**Tableau 9 - Ecart entre les seuils et les normales saisonnières**

| Ville | Normales saisonnières | | | Seuils 100% | | | | Seuils 50% | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tmoy (°C) | Tmin (°C) | Tmax (°C) | Seuil min | Seuil max | Ecart min | Ecart max | Seuil min | Seuil max | Ecart min | Ecart max |
| **Dijon** | 16,6 | 13,7 | 24,7 | 18 | 35 | 4,3 | 10,3 | 18 | 32 | 4,3 | 7,3 |
| **Le Havre** | 16,6 | 13,9 | 19,9 | 19 | 30 | 5,1 | 10,1 | 18 | 28 | 4,1 | 8,1 |
| **Lille** | 17,2 | 12,5 | 21,2 | | | | | 15 | 32 | 2,5 | 10,8 |
| **Limoges** | 17,9 | 13,6 | 22,7 | 20 | 32 | 6,4 | 9,3 | 16 | 25 | 2,4 | 2,3 |
| **Tours** | 18,5 | 13 | 24,3 | 16 | 32 | 3 | 7,7 | 13 | 29 | 0 | 4,7 |
| **Nantes** | 18,5 | 13,5 | 24 | 20 | 32 | 6,5 | 8 | 17 | 30 | 3,5 | 6 |
| **Strasbourg** | 18,7 | 13,4 | 24,5 | 17 | 35 | 3,6 | 10,5 | 17 | 30 | 3,6 | 5,5 |
| **Grenoble** | 19,1 | 13 | 25,2 | 18 | 35 | 5 | 9,8 | 15 | 31 | 2 | 5,8 |
| **Paris** | 19,2 | 14,9 | 23,9 | 22 | 33 | 7,1 | 9,1 | 21 | 33 | 6,1 | 9,1 |
| **Bordeaux** | 19,9 | 14,7 | 25,7 | 22 | 36 | 7,3 | 10,3 | 19 | 32 | 4,3 | 6,3 |
| **Lyon** | 20,4 | 15 | 26 | 22 | 36 | 7 | 10 | 20 | 32 | 5 | 6 |
| **Toulouse** | 20,8 | 15,2 | 26,7 | 21 | 38 | 5,8 | 11,3 | 19 | 33 | 3,8 | 6,3 |
| **Nice** | 22,5 | 19 | 26,2 | 24 | 30 | 5 | 3,8 | 24 | 30 | 5 | 3,8 |
| **Marseille** | 23,1 | 18 | 28,5 | 23 | 35 | 5 | 6,5 | 22 | 34 | 4 | 5,5 |

A partir des résultats du Tableau 9, on peut proposer l'extension suivante :

-Pour les villes dont la température minimale moyenne sur trente ans du 1er juin au 31 août est proche de 18 - 19°C et dont la température maximale moyenne sur trente ans du 1er juin au 31 août est proche de 26 - 28°C :

$Tmin_{moy30ans}$+ 5°C et $Tmax_{moy30ans}$+5°C pour une surmortalité>=100%
$Tmin_{moy30ans}$+ 4°C et $Tmax_{moy30ans}$+ 4°C pour une surmortalité>=50%

-Pour les villes dont la température minimale moyenne sur trente ans du 1er juin au 31 août est proche de 15°C et dont la température maximale moyenne sur trente ans du 1er juin au 31 août est proche de 26°C:

$Tmin_{moy30ans}$+ 7°C et $Tmax_{moy30ans}$+11°C pour une surmortalité>=100%
$Tmin_{moy30ans}$+ 5°C et $Tmax_{moy30ans}$+ 8°C pour une surmortalité>=50%

-Pour les villes dont la température minimale moyenne sur trente ans du 1er juin au 31 août est proche de 13°C et dont la température maximale moyenne sur trente ans du 1er juin au 31 août est proche de 24°C:

$Tmin_{moy30ans}$+ 5°C et $Tmax_{moy30ans}$+9°C pour une surmortalité>=100%
$Tmin_{moy30ans}$+ 4°C et $Tmax_{moy30ans}$+ 5°C pour une surmortalité>=50%

Cependant, cette méthode ne permet pas de couvrir l'ensemble des situations climatiques rencontrées en France. La plage de Tmin de nos 14 villes s'étend de 12,5 à 19°C, et celle des Tmax de 19,9 à 28,5°C, alors que sur l'ensemble des stations de chaque département les Tmin vont de 8,1°C à 19,5°C et les Tmax de 15,1°C à 29,7°C, soit une gamme plus étendue.

### 3.4.3. Utilisation des percentiles

Les résultats du Tableau 9 montrent que les villes ayant des normales saisonnières voisines ont des seuils assez voisins. La possibilité d'utiliser des percentiles des températures maximales et minimales calculées sur la période 1973-2003 a donc été explorée. Les percentiles 95 et 98 sont assez proches des Tmin normale + Δmin et Tmax normale + Δmax trouvés respectivement pour 50 et 100% de surmortalité. Des tests ont ainsi été réalisés en considérant comme seuils les percentiles 94 à 96 (seuil de 50%) et 97 à 99 (seuil de 100%) des températures maximales et minimales, calculés sur la période 1973-2002. Les résultats pour les seuils de mortalité de 50 et 100 % sont présentés dans les Tableau 10 et Tableau 11. Les percentiles 98 et 99 donnent des résultats intéressants pour le seuil de 100% sauf au Havre, à Grenoble et Strasbourg. Les percentiles 95 sont intéressants pour le seuil de 50%.

**Tableau 10 – Résultats obtenus pour les percentiles 97 à 99 et une surmortalité>=100%**

| Villes | Percentiles | Tmin – Tmax °C | VPP | Se |
|---|---|---|---|---|
| **Bordeaux** | P97 | 20-35 | 0,29 | 1 |
| | P98 | 21-35 | 0,5 | 1 |
| | **P99** | **21-37** | **0,55** | **1** |
| **Dijon** | P97 | 19-33 | 0,32 | 0,15 |
| | P98 | 19-34 | 0,44 | 0,15 |
| | **P99** | **20-35** | **0,55** | **0,11** |
| **Grenoble** | P97 | 19-33 | 0 | 0 |
| | P98 | 19-34 | 0 | 0 |
| | P99 | 20-35 | 0 | 0 |
| **Le Havre** | P97 | 19-29 | 0 | 0 |
| | P98 | 19-30 | 0 | 0 |
| | P99 | 20-31 | 0 | 0 |
| **Limoges** | P97 | 20-32 | 0,23 | 0,1 |
| | P98 | 20-32 | 0,23 | 0,1 |
| | **P99** | **21-34** | **0,4** | **0,1** |
| **Lyon** | P97 | 21-34 | 0,35 | 1 |
| | P98 | 21-35 | 0,37 | 0,87 |
| | **P99** | **22-36** | **0,62** | **0,62** |
| **Marseille** | P97 | 23-34 | 0,4 | 0,85 |
| | **P98** | **23-35** | **0,45** | **0,71** |
| | P99 | 24-36 | 0,6 | 0,43 |
| **Nantes** | P97 | 19-32 | 0,37 | 0,66 |
| | **P98** | **20-33** | **0,55** | **0,61** |
| | P99 | 21-35 | 0,5 | 0,22 |
| **Nice** | P97 | 24-31 | 0,13 | 0,66 |
| | **P98** | **24-31** | **0,13** | **0,66** |
| | P99 | 24-32 | 0,12 | 0,33 |
| **Paris** | P97 | 21-33 | 0,26 | 1 |
| | P98 | 21-34 | 0,47 | 0,88 |
| | **P99** | **22-35** | **1** | **0,88** |
| **Strasbourg** | P97 | 19-33 | 0,14 | 0,1 |
| | P98 | 19-33 | 0,14 | 0,1 |
| | P99 | 20-35 | 0 | 0 |
| **Toulouse** | P97 | 21-35 | 0,09 | 1 |
| | P98 | 21-36 | 0,09 | 1 |
| | P99 | 22-37 | 0 | 0 |
| **Tours** | P97 | 19-33 | 0,59 | 0,4 |
| | **P98** | **19-34** | **0,6** | **0,37** |
| | P99 | 20-35 | 0,71 | 0,31 |

**Tableau 11 - Résultats obtenus pour les percentiles 94 à 95 et une surmortalité>=50%**

| Villes | Percentiles | Tmin – Tmax °C | VPP | Se |
|---|---|---|---|---|
| **Lille** | P94 | 17-30 | 0,17 | 0,64 |
| | **P95** | **17-30** | **0,17** | **0,64** |
| | P96 | 18-31 | 0,22 | 0,36 |
| **Lyon** | P94 | 20-33 | 0,39 | 0,59 |
| | **P95** | **20-34** | **0,54** | **0,59** |
| | P96 | 20-34 | 0,54 | 0,59 |
| **Marseille** | P94 | 22-34 | 0,32 | 0,6 |
| | **P95** | **22-34** | **0,32** | **0,6** |
| | P96 | 22-34 | 0,32 | 0,6 |
| **Paris** | P94 | 20-31 | 0,42 | 0,96 |
| | **P95** | **20-32** | **0,51** | **0,96** |
| | P96 | 20-32 | 0,51 | 0,96 |

En dehors des grandes agglomérations où on peut utiliser le percentile 95 associé à une surmortalité de 50%, dans les villes moins importantes on peut retenir soit le percentile 98 soit le percentile 99. Le percentile 98 sera finalement choisi car il correspond à une meilleure sensibilité sans trop diminuer la VPP, ce qui permet de maintenir un système d'alerte suffisamment sensible.

## 4. DISCUSSION SUR LES SEUILS

### 4.1. PROPOSITION DE SEUILS DE SURMORTALITE POUR CHAQUE VILLE

Le seuil de 100% donne généralement de meilleurs résultats (sensibilité et VPP plus élevées), sauf à Lille où il n'y a jamais eu de surmortalité supérieure à 100%. Dans ce cas on retiendra le seuil de 50%.

A Toulouse et Bordeaux, même si les courbes ROC donnent de meilleurs résultats avec 100%, les jours correspondant à une surmortalité supérieure ou égale à 100% sont peu nombreux.

A Dijon, au Havre et à Limoges, même si la courbe ROC pour une surmortalité de 100% est légèrement meilleure que pour les autres seuils, elle reste assez proche de la diagonale ce qui montre une qualité moyenne pour le test. Mais comme on l'a dit précédemment, les fausses alertes biométéorologiques n'étaient pas toutes des fausses alertes sanitaires, la mortalité étant souvent élevée bien qu'inférieure à 100%, ce qui renforce la confiance dans les seuils de ces villes, du moins à Dijon et Limoges. Il est par contre impossible de tester correctement les seuils au Havre où il n'y a pas eu d'évènement ressemblant à une vague de chaleur.

A Grenoble, Nantes et Tours, le test est sans conteste meilleur pour une surmortalité de 100%.

A Lyon, Marseille, Nice et Paris le test est meilleur avec 100% mais il montre quand même une bonne sensibilité et une bonne VPP du système pour 50%. Ce seuil de surmortalité sera donc retenu de préférence. On peut souligner le cas particulier de Marseille qui réalise depuis plusieurs années des actions de prévention, ce qui explique probablement en partie le nombre de fausses alertes en 2003 quel que soit le seuil considéré.

Enfin, il faut souligner que même si les seuils de 50 ou 100% paraissent intrinsèquement élevés, ils correspondent bien à la définition d'évènements épidémiques graves qui sont visés dans le plan national canicule. Des seuils plus bas ne peuvent de toute façon pas être envisagés du fait de la variabilité trop importante de la mortalité dans les villes de taille moyenne, où 20% de la mortalité journalière représente parfois moins d'un décès. Une surmortalité inférieure à 50% peut alors être due à tout autre évènement qu'une vague de chaleur, comme par exemple un accident de la route. On

propose donc de retenir le seuil de 100% pour toutes les villes, sauf Paris, Marseille et Lyon pour lesquelles le seuil de 50% est retenu en raison de la taille de ces agglomérations. Le seuil de 50% est aussi retenu pour Lille où la surmortalité n'a jamais atteint 100%.

## 4.2. PROPOSITION DE SEUIL BIOMETEOROLOGIQUE POUR CHAQUE VILLE

Des seuils par villes sont proposés dans les Tableau 12 et Tableau 13, le seuil choisi étant en gras. Dans chaque ville on retiendra :

- Pour Paris, Lyon et Marseille, qui sont de grandes agglomérations, ainsi que Lille où la surmortalité n'a jamais dépassé les 100%, le seuil de surmortalité de 50%.
- Pour les autres villes le seuil de 100%.

**Tableau 12 – Choix de seuils pour une surmortalité>=100%**

| | | Tmin – Tmax °C | VPP | Se |
|---|---|---|---|---|
| **Bordeaux** | | **22-36** | **0,71** | **1** |
| | | 22-37 | 0,71 | 1 |
| | P98 | 21-35 | 0,5 | 1 |
| **Dijon** | | 17-30 | 0,08 | 0,22 |
| | | 18-32 | 0,17 | 0,2 |
| | P98 | **19-34** | **0,44** | **0,15** |
| **Grenoble** | | **15-35** | **0,24** | **0,36** |
| | | 18-35 | 0,26 | 0,28 |
| | P98 | 19-34 | 0 | 0 |
| **Le Havre** | P98 | 19-30 | 0 | 0 |
| **Limoges** | | 22-36 | 0,37 | 0,08 |
| | | **16-36** | **0,44** | **0,16** |
| | P98 | 20-32 | 0,23 | 0,1 |
| **Nantes** | | 21-32 | 0,61 | 0,44 |
| | | 21-33 | 0,66 | 0,44 |
| | P98 | **20-33** | **0,55** | **0,61** |
| **Nice** | | **24-30** | **0,54** | **0,72** |
| | | 21-30 | 0,18 | 0,68 |
| | P98 | 24-31 | 0,13 | 0,66 |
| **Strasbourg** | | **17-35** | **0.54** | **0.6** |
| | | 18-34 | 0.3 | 0.4 |
| | P98 | 19-33 | 0,14 | 0,1 |
| **Toulouse** | | **21-38** | **0.11** | **1** |
| | P98 | 21-36 | 0,09 | 1 |
| **Tours** | | 16-31 | 0.4 | 1 |
| | | **17-34** | **0.56** | **0.52** |
| | P98 | 19-34 | 0,6 | 0,37 |

- A Bordeaux, Limoges, Nice, Strasbourg et Toulouse, le seuil choisi correspond à la meilleure VPP et à la meilleure sensibilité.
- A Grenoble, Nantes et Tours, le seuil choisi correspond à un compromis entre VPP et sensibilité, sachant que pour deux seuils présentant des VPP assez proches, on a choisi de privilégier la meilleure sensibilité.
- A Dijon, les seuils retenus d'après notre étude étant peu sensibles et occasionnant de nombreuses fausses alertes, nous avons retenu le percentile 98 qui améliore la VPP et donc réduit le nombre de fausses alertes, tout en conservant une sensibilité qui, même si elle est faible, est la plus élevée possible.
- Au Havre il n'a pas été possible de déterminer des seuils, pas même en utilisant les percentiles.

**Tableau 13 - Choix de seuils pour une surmortalité>=50%**

| Ville | | Tmin – Tmax °C | VPP | Se |
|---|---|---|---|---|
| **Lille** | | **15-32** | **0,3** | **0,64** |
| | | 16-32 | 0,31 | 0,57 |
| | | 17-32 | 0,33 | 0,5 |
| | P95 | 17-30 | 0,17 | 0,64 |
| **Lyon** | | 20-32 | 0,34 | 0,62 |
| | | **20-34** | **0,54** | **0,59** |
| | P95 | **20-34** | **0,54** | **0,59** |
| **Marseille** | | 22-32 | 0,16 | 0,73 |
| | | **22-34** | **0,32** | **0,6** |
| | P95 | **22-34** | **0,32** | **0,6** |
| **Paris** | | **21-31** | **0,66** | **0,96** |
| | | 21-33 | 0,7 | 0,88 |
| | P95 | 20-32 | 0,51 | 0,96 |

- A Lyon et Marseille, le seuil choisi correspond à la meilleure VPP (les autres étant vraiment très faibles) et à une bonne sensibilité. Il correspond également par hasard au percentile 95.
- A Paris et à Lille le seuil choisi correspond à un compromis entre une bonne sensibilité et une bonne VPP.

Les seuils définitifs peuvent donc être résumés dans le Tableau 14.

**Tableau 14 : choix des seuils définitifs**

| | Tmin – Tmax °C | VPP | Se |
|---|---|---|---|
| **Bordeaux** | 22-36 | 0,71 | 1 |
| **Dijon** | 19-34 | 0,44 | 0,15 |
| **Grenoble** | 15-35 | 0,24 | 0,36 |
| **Le Havre** | Aucun seuil n'a pu être déterminé | | |
| **Lille** | 15-32 | 0,3 | 0,64 |
| **Limoges** | 16-36 | 0,44 | 0,16 |
| **Lyon** | 20-34 | 0,54 | 0,59 |
| **Marseille** | 22-34 | 0,32 | 0,6 |
| **Nantes** | 20-33 | 0,55 | 0,61 |
| **Nice** | 24-30 | 0,54 | 0,72 |
| **Paris** | 21-31 | 0,66 | 0,96 |
| **Strasbourg** | 17-35 | 0,54 | 0,6 |
| **Toulouse** | 21-38 | 0,11 | 1 |
| **Tours** | 17-34 | 0,56 | 0,52 |

La Figure 12 reprend sur la carte de France les seuils retenus.

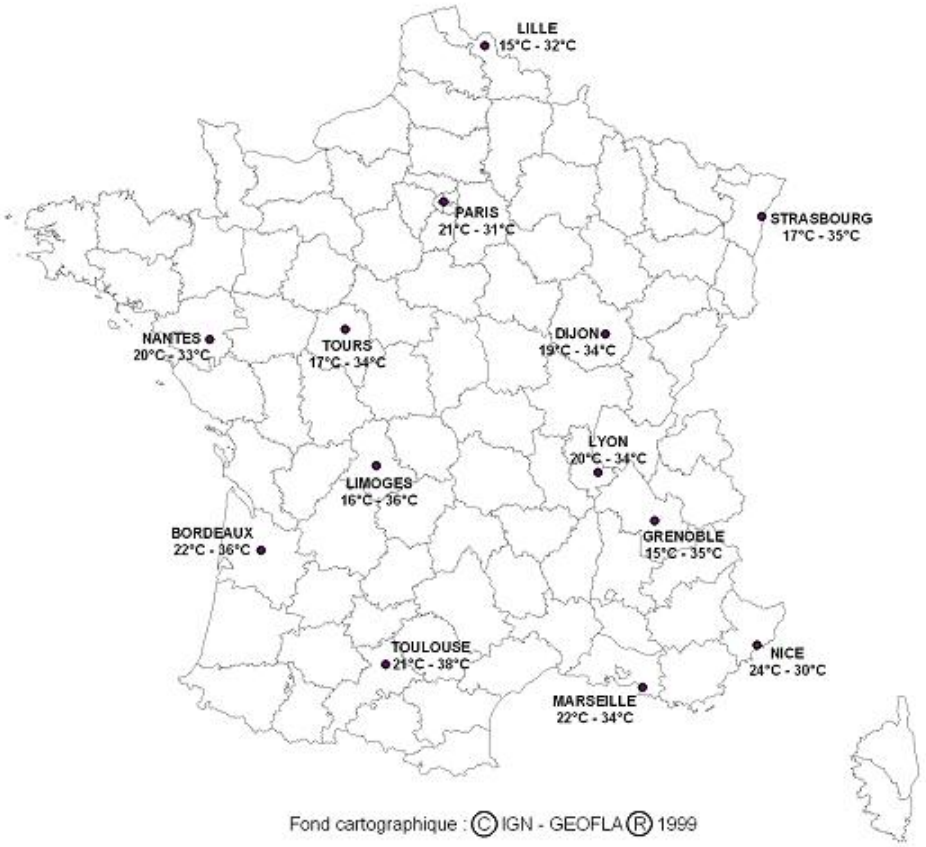



**Figure 12 : carte des seuils Tmin et Tmax retenus pour le système d'alerte**

## 4.3. PROPOSITION D'EXTENSION

On propose d'étendre le système à tous les autres départements métropolitains en prenant comme seuils les percentiles 98 des températures minimales et maximales (voir paragraphe 3.4.3), calculés du 1er juin au 31 août sur les années 1973 – 2003.

## 4.4. SEUILS DEFINITIFS POUR TOUT LE TERRITOIRE METROPOLITAIN

Les seuils définitifs sont représentés dans le Tableau 15.

**Tableau 15- Seuils définitifs du système d'alerte pour tout le territoire métropolitain.** En gras figurent les seuils issus de l'étude InVS. Ailleurs, les seuils sont calculés par Météo France comme les percentiles 98 sur 30 ans des Tmin et Tmax mesurées dans une station de référence. Pour les postes ne disposant pas de 30 ans de données, les percentiles 98 ont été calculés sur les postes du même département disposant de trente années de données ainsi que sur la période restreinte du poste à traiter ; l'écart moyen du percentile 98 entre ces deux périodes a été calculé afin de corriger le percentile 98 calculé sur la période restreinte. Source : Météo France.

| Département | Commune de référence | Seuils | | Commentaires |
|---|---|---|---|---|
| | | Tn | Tx | Entre parenthèse les percentiles des stations où les seuils ont été calculés par l'InVS |
| Ain | Ambérieu (Château-Gaillard) | 21 | 35 | |
| Aisne | St-Quentin (Fontaine-Les-C) | 18 | 32 | |
| Allier | Vichy (Charmeil) | 18 | 35 | |
| Alpes-de-Haute-Provence | St-Auban-sur-Durance | 19 | 35 | |
| Hautes-Alpes | Embrun | 18 | 33 | |
| **Alpes-Maritimes** | **Nice** | **24** | **30** | (24/31) |
| Ardèche | Aubenas (Lanas) | 21 | 36 | |
| Ardennes | Charleville | 17 | 32 | 10 ans de données |
| Ariège | St-Girons (Lorp-sentaraill) | 19 | 35 | |
| Aube | Troyes (Barberey-st-s) | 18 | 34 | |
| Aude | Carcassonne | 22 | 35 | |
| Aveyron | Salles la Source (rodez) | 19 | 34 | |
| **Bouches-du-rhône** | **Marseille (Marignane)** | **22** | **34** | (23/35) |
| Calvados | Caen (Carpiquet) | 18 | 31 | |
| Cantal | Aurillac | 18 | 32 | |
| Charente | Cognac (Chateaubernard) | 20 | 35 | |
| Charente-maritime | La Rochelle | 21 | 33 | |
| Cher | Bourges | 19 | 34 | |
| Corrèze | Brive la gaillarde | 20 | 36 | |
| Haute-corse | Bastia (Lucciana) | 23 | 33 | |
| Corse sud | Ajaccio | 22 | 34 | |
| **Cote d'or** | **Dijon (Ouges)** | **19** | **34** | (19/34) |
| Côtes-d'Armor | St Brieuc (Tremuson) | 17 | 29 | 20 ans de données |
| Creuse | Guéret | 22 | 33 | 15 ans de données |
| Dordogne | Périgueux | 19 | 35 | 15 ans de données |
| Doubs | Besançon | 19 | 33 | |
| Drome | Montélimar | 22 | 36 | |
| Eure | Evreux (Huest) | 18 | 32 | |
| Eure-et-loir | Chartres (Champhol) | 18 | 33 | |
| Finistère | Quimper (Pluguffan) | 18 | 30 | |
| Gard | Nîmes (Courbessac) | 23 | 36 | |
| **Haute-garonne** | **Toulouse (Blagnac)** | **21** | **38** | (21/36) |
| Gers | Auch | 20 | 36 | 15 ans de données |
| **Gironde** | **Bordeaux (Mérignac)** | **22** | **36** | (21/35) |
| Hérault | Montpellier (Mauguio) | 23 | 35 | |
| Ille-et-vilaine | Rennes (St Jacques de la l) | 19 | 33 | |
| Indre | Châteauroux (Deols) | 20 | 34 | |
| **Indre-et-loire** | **Tours (Parcay-Meslay)** | **17** | **34** | (19/34) |
| **Isère** | **Grenoble (Le Versoud)** | **15** | **35** | (19/35) |
| Jura | Lons-le-saunier (Montmorot) | 21 | 33 | |
| Landes | Mont-de-marsan | 20 | 36 | |
| Loir-et-cher | Blois | 18 | 34 | 15 ans de données |
| Loire | St Etienne (Boutheon) | 20 | 35 | |
| Haute-loire | Le Puy (Chaspuzac) | 16 | 32 | 15 ans de données |
| **Loire-atlantique** | **Nantes (Bouguenais)** | **20** | **33** | (20/33) |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Loiret | Orléans (Bricy) | 19 | 34 | |
| Lot | Gourdon | 20 | 36 | |
| Lot-et-garonne | Agen (Estillac) | 20 | 35 | |
| Lozère | Mende (Brenoux) | 15 | 31 | |
| Maine-et-loire | Angers (Beaucouze) | 19 | 34 | 15 ans de données |
| Manche | Valognes | 17 | 28 | 15 ans de données |
| Marne | Reims (Courcy) | 18 | 33 | |
| Haute-marne | Langres | 19 | 31 | |
| Mayenne | Laval (Entrammes) | 18 | 33 | 15 ans de données |
| Meurthe-et-moselle | Nancy/Essey (Tomblaine) | 19 | 33 | |
| Meuse | Nancy/Essey (Tomblaine) | 19 | 33 | |
| Morbihan | Vannes (Sene) | 19 | 32 | 5 ans de données |
| Moselle | Metz/Frescaty (Augny) | 19 | 34 | |
| Nièvre | Nevers (Marzy) | 18 | 34 | |
| **Nord** | **Lille (Lesquin)** | **15** | **32** | (18/32) |
| Oise | Beauvais (Tille) | 18 | 33 | |
| Orne | Alençon | 18 | 33 | |
| Pas-de-calais | Cambrai (Epinoy) | 18 | 32 | |
| Puy-de-Dôme | Clermont-ferrand | 19 | 35 | |
| Pyrénées-atlantiques | Pau (Uzerche) | 20 | 34 | |
| Hautes-Pyrénées | Tarbes (Ossun) | 19 | 34 | |
| Pyrénées-orientales | Perpignan | 24 | 35 | |
| **Bas-rhin** | **Strasbourg (Entzheim)** | **17** | **35** | (19/34) |
| Haut-rhin | Colmar (Meyenheim) | 19 | 35 | |
| **Rhône** | **Lyon (Bron)** | **20** | **34** | (21/35) |
| Haute-Saône | Luxeuil (St Sauveur) | 18 | 34 | |
| Saône-et-Loire | Macon (Charnay-les-macon) | 20 | 34 | |
| Sarthe | Le Mans | 20 | 34 | |
| Savoie | Chambéry (Voglans) | 19 | 34 | |
| Haute-savoie | Chamonix | 14 | 31 | |
| **Paris** | **Paris Montsouris** | **21** | **31** | (21/34) |
| Seine-maritime | Rouen (Boos) | 18 | 32 | |
| Seine-et-marne | Melun (Montereau-sur-le-j) | 18 | 34 | |
| Yvelines | Trappes | 20 | 33 | |
| Deux-Sèvres | Niort | 20 | 35 | |
| Somme | Abbeville | 18 | 31 | |
| Tarn | Albi (Le-sequestre) | 21 | 37 | 15 ans de données |
| Tarn-et-garonne | Montauban | 21 | 37 | |
| Var | Toulon | 23 | 35 | |
| Vaucluse | Avignon | 22 | 36 | |
| Vendée | La Roche-sur-Yon | 19 | 33 | 20 ans de données |
| Vienne | Poitiers (Biard) | 19 | 34 | |
| **Haute-vienne** | **Limoges** | **16** | **36** | (20/32) |
| Vosges | Epinal (Dogneville) | 18 | 32 | 20 ans de données |
| Yonne | Auxerre (St-georges-sur-b) | 20 | 35 | |
| Territoire de Belfort | Belfort | 19 | 33 | |
| Essonne | Paris/Orly | 20 | 34 | |
| **Hauts-de-seine** | **Paris Montsouris** | **21** | **31** | (21/34) |
| **Seine-saint-denis** | **Paris Montsouris** | **21** | **31** | (21/34) |
| **Val-de-marne** | **Paris Montsouris** | **21** | **31** | (21/34) |
| Val-d'oise | Paris/Le Bourget | 19 | 34 | |

## 4.5. LIMITES DU SYSTEME

Le système d'alerte canicule santé 2004 constitue une première étape dans la réflexion menée par l'Institut de Veille Sanitaire dans le cadre des programmes "climat et santé".
Tel qu'il est proposé aujourd'hui, il présente certaines limites :

- Tout d'abord, en ce qui concerne le lien température-mortalité, seules quelques études proposent des courbes dose-réponse, mais elles n'ont pas été établies pour des situations extrêmes comme celles de l'été 2003.
- Les caractéristiques des futures vagues de chaleur pourront être différentes de celles des 30 dernières années, en particulier plus humides, avec aussi éventuellement des conditions de vent différentes.
- Le système a été élaboré pour la population générale, et il n'a pas été possible de tenir compte de la vulnérabilité de certaines populations comme les personnes âgées (même si, la surmortalité concernant essentiellement les personnes âgées, elles sont prises en compte de facto), alitées, les personnes souffrant de pathologies à risque (maladies cardio-vasculaires, respiratoires, neurologiques, diabète, etc…) ou les personnes vivant dans des conditions de vie précaires.
- Les impacts sanitaires des futures vagues de chaleur ne seront pas forcément les mêmes que par le passé : un évènement identique, de même intensité et survenant à la même période et au même endroit qu'un évènement passé aura des conséquences différentes, en fonction des changements qui auront eu lieu dans la société (EWS, 2003).
- Par ailleurs les seuils obtenus l'ont été en utilisant des observations météorologiques et non des prévisions. Des tests seront réalisés par Météo-France dans le courant du mois de mai afin de tester le système sur des séries de données prévues (2000 à 2003).
- En dehors des plus grandes villes, et surtout de Paris, les effectifs faibles qui ont servi à établir le système ont conduit à considérer des évènements rares, et donc à avoir une base de choix pour les seuils moins solide que dans les grandes agglomérations (c'est le cas par exemple de Toulouse pour le seuil de 100%).
- Il convient aussi d'émettre des réserves sur le calcul des sensibilités en éliminant certaines alertes ratées (non détection du risque) sur des critères uniquement météorologiques. Ces calculs devront être corroborés en utilisant les données de mortalité par causes, dès qu'elles seront disponibles.

Ce travail sera donc poursuivi et amélioré en prenant en compte d'autres facteurs comme les masses d'air ou des évènements temporels (tendance, saisonnalité, etc…) au moyen d'analyses temporelles de séries chronologiques.

# 5. MISE EN ŒUVRE PRATIQUE DU SYSTEME

Le système d'alerte canicule s'insère dans un dispositif national de prévention (Plan National Canicule) qui repose sur 4 niveaux d'alerte.

**Le niveau 1** correspond à l'activation d'une veille saisonnière le 1er juin, afin de vérifier au niveau départemental et national la fonctionnalité des interfaces d'alerte, les dispositifs de repérage des personnes vulnérables et le caractère opérationnel des mesures prévues. Il comporte aussi des campagnes d'information. Il est désactivé le 1er octobre. Dès l'activation du niveau 1, Météo France transmet quotidiennement des données à l'InVS.

**Le niveau 2** correspond à la mobilisation des services publics locaux et nationaux, principalement dans les secteurs sanitaire et social, en raison du dépassement des seuils biométéorologiques prévu à trois jours ou plus par Météo-France dans au moins une région. Des messages de prévention sont diffusés et le recueil d'indicateurs sanitaires débute.

**Le niveau 3** correspond au dépassement effectif des seuils biométéorologiques dans au moins une région, et par suite à la mise en œuvre des mesures d'information et des mesures visant à prendre en charge les personnes à risques.

**Le niveau 4** correspond au dépassement des seuils biométéorologiques dans plusieurs régions sur une longue durée avec apparition d'effets collatéraux (e.g. sécheresse, saturation des hôpitaux ou des pompes funèbres, panne d'électricité), et par suite à la mise en œuvre de mesures exceptionnelles.

## 5.1. CRITERES DE SIGNALEMENT D'UNE ALERTE

Les alertes de niveau 2 peuvent être fondées sur une combinaison de prévisions à trois jours (très fiables) et cinq jours (assez fiables), i.e. pour les périodes J1 à J3, J2 à J4 et J3 à J5. Ainsi, si un dépassement des seuils est prévu sur une de ces périodes dans au moins un département, l'InVS émet un bulletin d'alerte de niveau 2 vers la Cellule de Coordination des Alertes de l'InVS (CCA) qui prévient la DGS. Des messages de prévention sont diffusés auprès de la population et des services de soins.

Le plan canicule prévoit de déclencher l'alerte de niveau 3 lorsque les observations rejoignent les prévisions. Comme notre système repose sur des données cumulées sur trois jours, il faudrait attendre trois jours pour avoir des observations, ce qui serait trop tard pour lancer une alerte. Il est donc proposé que les alertes de niveau 3 soient fondées sur une combinaison d'observations (Tmin de J) et de prévisions à deux jours (très fiables), i.e. pour les jours J à J2. Ainsi, si les seuils sont dépassés dans au moins un département, l'InVS émet un bulletin d'alerte de niveau 3. L'alerte est transmise via la Cellule de Coordination des Alertes (CCA) à la cellule de crise COM-Ségur et la Cellule de Crise Canicule (CIC), qui diffuse les messages de prévention, d'alerte et de recommandation prévus en annexe 6 du PNC.

Les alertes de niveau 4 peuvent être fondées de la même manière sur une combinaison d'observations et de prévisions pour les jours et J à J2 et sur la notion de persistance (>quatre jours), d'étendue géographique ou d'autres facteurs aggravants. Si les indicateurs biométéorologiques dépassent les seuils plusieurs jours de suite et/ou dans plusieurs départements et/ou si les indicateurs sanitaires recueillis présentent une augmentation significative, l'InVS envoie à la cellule de crise COM-Ségur et la CIC un message d'alerte aggravée. On peut également observer des effets collatéraux, les conséquences de la canicule dépassant le champ sanitaire ou social. Les ministres chargés de la santé et de l'intérieur, après avis de la cellule de crise COM-Segur et du COGIC, proposent au premier ministre d'activer le niveau 4. Celui-ci confie la responsabilité de la gestion de la canicule au niveau national au ministre chargé de l'intérieur. La cellule de crise ministérielle se met à sa disposition.

Les prévisions à cinq et sept jours ne sont pas assez fiables pour servir de base au signalement d'une alerte. Cependant, un dépassement prévu de seuil pour les jours J+4 à J+6 ou J+5 à J+7 doit conduire à une vigilance accrue au sein du département santé environnement de l'InVS.

## 5.2. ELABORATION ET DIFFUSION DES INFORMATIONS PAR METEO-FRANCE

Du 1er juin au 30 septembre, Météo-France met chaque jour à disposition de l'InVS un ensemble d'informations comprenant :

1. L'indication sur une carte de France des départements où les moyennes des températures minimales et maximales prévues pour J+5, J+6, J+7 dépassent simultanément les seuils biométéorologiques fournis par l'InVS.
2. L'indication sur une carte de France des départements où les moyennes des températures minimales et maximales prévues pour J+4, J+5, J+6 dépassent simultanément les seuils biométéorologiques fournis par l'InVS.

3. L'indication sur une carte de France des départements où les moyennes des températures minimales et maximales prévues pour J+3, J+4, J+5 dépassent simultanément les seuils biométéorologiques fournis par l'InVS.
4. L'indication sur une carte de France des départements où les moyennes des températures minimales et maximales prévues pour J+2, J+3, J+4 dépassent simultanément les seuils biométéorologiques fournis par l'InVS.
5. L'indication sur une carte de France des départements où les moyennes des températures minimales et maximales prévues pour J+1, J+2, J+3 dépassent simultanément les seuils biométéorologiques fournis par l'InVS.
6. L'indication sur une carte de France des départements où les moyennes des températures minimales et maximales observées ou prévues pour J, J+1, J+2 dépassent simultanément les seuils biométéorologiques fournis par l'InVS.
7. L'indication sur une carte de France des départements où les moyennes des températures minimales et maximales observées ou prévues pour J-1, J, J+1 dépassent simultanément les seuils biométéorologiques fournis par l'InVS.

Ces cartes seront accessibles sur un mini-site dédié à 15h00 légales, Météo-France ne pouvant fournir des données corrigées et fiables plus tôt. Tmax de J ne sera pas forcément une donnée observée. En effet, les Tmax du jour sont calculées sur la période 06h00 UTC du jour J à 06h00 UTC du jour J+1, et les Tmin sur la période 18h00 UTC du jour J-1 à 18h00 UTC du jour J.

En été, avec un écart de 2h entre heure UTC et heure locale, il y a de bonnes chances que le maximum de température du jour ne se soit pas encore produit à 15h locales (13h00 UTC). En moyenne le maximum de température quotidien se situe vers 14.00 UTC (16 heures locales) et peut atteindre 15h00 UTC (17 heures locales).

8. Deux tableaux récapitulatifs pour chacune des 22 régions administratives avec pour chaque département :

   - La ou les villes de référence et les seuils biométéorologiques définis par l'InVS
   - Les couples Tmin/Tmax moyens sur [J+5, J+6, J+7] , [J+4, J+5, J+6], [J+3, J+4, J+5], [J+2, J+3, J+4], [J+1, J+2, J+3], [J, J+1, J+2], [J-1, J, J+1]
   - Les couples Tmin/Tmax prévus pour les journées J+1 à J+2, J+3, J+4, J+5, J+6, J+7, avec un indicateur de confiance sur chaque prévisions.
   - Les couples Tmin/Tmax observés pour les journées J-1 et J

Ces tableaux seront produits à 15h00 légales et diffusés par email à l'InVS. Ils seront aussi accessibles sur le mini-site dédié avec les cartes.

En cas de passage en niveau 3 du PNC, Météo-France enverra chaque jour à l'InVS une réactualisation des températures maximales à 18h00 légales (donnée observée pour confirmer la prévision reçue à 15h00 légales).

Outre ces informations spécifiques diffusées à l'InVS, et conformément à l'item 4.2 de l'accord cadre de collaboration entre Météo-France et l'InVS, Météo-France enverra une synthèse des données, disponible à 16h00 légales, sous la forme :

- de 22 tableaux établis pour les 22 régions administratives comportant :
  - le département et la ville de référence
  - les seuils définis par l'INVS
  - les prévisions des températures minimales et maximales pour J+1, J+2, J+3,
  - les valeurs correspondantes des indicateurs biométérologiques avec indication des dépassements de seuils pour J+2 et J+3 et du niveau de vigilance dans la procédure de vigilance météorologiques

- et de cartes visualisant le dépassement de seuils sur les départements français pour J+2 et J+3 complétées par la carte de vigilance météorologiques seront accessibles sur un mini site dédié (cartes) aux partenaires du secteur sanitaire et social désignés par l'InVS. Les tableaux pourront être diffusés par email à une liste de correspondants fournie par l'InVS.

## REMERCIEMENTS

L'équipe du système d'alerte canicule tient à remercier Adeline MAULPOIX (statisticienne), Karim ZEGHNOUN (statisticien) et Pascal DAOUDI (Moniteur d'étude).

## REFERENCES

Besancenot,J.P. (1990a). L'organisme humain face à la chaleur. *Sécheresse, Science et changements planétaires.*, 1, 98-104.

Besancenot,J.P. (1990b). Les fortes chaleurs sont-elles dangereuses? *Recherche (la)*, 223, 930-933.

Besancenot,J.P. (2001). *Climat et santé* Paris: Presses Universitaires de France.

Besancenot,J.P. (2002). Vagues de chaleur et mortalité dans les grandes agglomérations urbaines. *Environnement Risques et Santé*, 1, 229-240.

Besancenot,J.P. (1995). Vague de chaleur, pollution atmosphérique et surmortalité urbaine : l'exemple d'Athène en juillet 1987. In Besancenot,J.P. (Ed.), *Climat, pollution atmosphérique, santé* (pp. 47-70). Dijon: GDR.

Chestnut,L., Breffle,W.S., Smith,J., & Kalkstein,L.S. (1998). Analysis of differences in hot-weather-related mortality across 44 U.S. metropolitan areas. *Environmental Science & Policy*, 1, 59-70.

Degoulet,P. & Fieschi,M. (2004). Données et décisions médicales.*Traitement de l'information médicale, Méthodes et applications hospitalières.*

Díaz J, García R, Velázquez de Castro F, Hernández E, López C, Otero A. 2002. Effects of extremely hot days on people older than 65 years in Seville (Spain) from 1986 to 1997. Int J Biometeorol, 46:145-149.

Diaz,J., Jordan,A., Garcia,R., Lopez,C., Alberdi,J.C., Hernandez,E., & Otero,A. (2002). Heat waves in Madrid 1986-1997: effects on the health of the elderly. *Int.Arch.Occup.Environ.Health*, 75, 163-170.

Hémon, D. and Jougla, E. Surmortalité liée à la canicule d'août 2003. Rapport d'étape (1/3). Estimation de la surmortalité et principales caractéristiques épidémiologiques. INSERM. 1-59. 2003. Paris, INSERM.

InVS. Impact sanitaire de la vague de chaleur en France survenue en août 2003. Rapport d'étape, 28 août 2003. http://www.invs.sante.fr . 28-8-2003.

Kalkstein,L.S., Jamason,P.F., Greene,J.S., Libby,J., & Robinson,L. (1996b). The Philadelphia hot weather-health watch/warning system: development and application, summer 1995. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, 1519-1528.

Kalkstein,L.S. & Valimont,KM. (1986). An evaluation of summer discomfort in the United States using a relative climatological index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 67, 842-848.

Kilbourne EM. Heat waves and hot environments. In : Noji EJ, ed. The public health consequences of disasters. Oxford : Oxford University Press, 1997 : 245-69.

Laaidi K. (1997). Les éléments du climat et leurs possibles implications sur la santé. *Presse Thermale et Climatique*, 134, 213-223.

Météo France. Dossier canicule 2003. Météo France . 4-9-2003. 8-4-2004.

Michelozzi, P. The impact of heat wave on mortality during the summer of 2003 in Rome. 2003.

Robinson,P.J. (2000). On the definition of a heat wave. *J.Appl.Meteorol*, 40, 762-775.

Simonet, J. Vague de chaleur de juillet 1983 : étude épidémiologique et physiopathologique. 1-161. 1985. Faculté de Médecine. Marseille.

WHO Regional Committee for Europe. Heatwaves: impacts and responses. WHO. 1-11. 2003. WHO.

Accord cadre de collaboration "Institut de Veille Sanitaire" - "Météo-France"