

Méthodes d'analyse de l'impact sanitaire des vagues de chaleur : suivi en temps réel, estimation *a posteriori*

Sommaire

Abréviations	2
Synthèse	3
1. Contexte	6
1.1 Le plan national canicule et le système d'alerte canicule et santé	6
1.2 La surveillance des indicateurs sanitaires dans le cadre du Sacs	9
2. L'utilisation des indicateurs sanitaires pendant l'alerte	11
2.1 Méthode	11
2.2 Sélection des indicateurs	14
2.3 Illustration sur les vagues de chaleurs passées	21
2.4 Synthèse sur l'apport de l'analyse des indicateurs sanitaires pendant l'alerte	30
3. L'estimation de l'impact sanitaire après l'alerte	31
3.1 Méthode	31
3.2 Comparaison des surmortalités estimées par la méthode d'estimation rapide et par le modèle GAM	33
3.3 Application aux vagues de chaleur entre 1973 et 2007	33
3.4 Synthèse sur l'estimation de l'impact des vagues de chaleur sur la mortalité	37
4. Synthèse et perspectives	37
4.1 Les évolutions possibles du système d'alerte	39
4.2 Vers une surveillance des vulnérabilités ?	42
Références bibliographiques	44

METHODES D'ANALYSE DE L'IMPACT SANITAIRE DES VAGUES DE CHALEUR : SUIVI EN TEMPS REEL, ESTIMATION *A POSTERIORI*

Rédaction du rapport

Mathilde Pascal, Karine Laaidi, Aymeric Ung, Pascal Beaudeau, Département santé environnement (DSE), Institut de veille sanitaire, InVS

Analyse statistique

Annamaria Antics, Sabira Smaili, Vérène Wagner, DSE, InVS

Préparation et gestion des données

Magali Corso, DSE, InVS

Cartographie

Agnès Guillet, Perrine de Crouy-Chanel, DSE, InVS

Ont participé à la relecture du rapport

Laurence Mandereau-Bruno, Elsa Baffert, Olivier Retel, Département de la coordination des alertes et des régions (Dcar), InVS

Validation

Franck GOLLIOT, Dcar, InVS

Remerciements

Les auteurs remercient les participants du groupe de travail "Méthodes statistiques" et l'ensemble des Cellules interrégionales d'épidémiologie dont le rôle est essentiel pour le bon fonctionnement du système d'alerte.

Abréviations

CDC	Centers for Diseases Control
Cire	Cellule interrégionale d'épidémiologie
DGS	Direction générale de la santé
Ephad	Établissement pour personnes âgées dépendantes
IBM	Indicateur biométéorologique
Inpes	Institut national de prévention et d'éducation pour la santé
Insee	Institut national de la statistique et des études économiques
Inserm	Institut national de la santé et de la recherche médicale
InVS	Institut de veille sanitaire
Miga	Mise en garde et actions
OSCOUR®	Organisation de la surveillance coordonnée des urgences
PNC	Plan national canicule
Sacs	Système d'alerte canicule et santé
Samu	Service d'aide médicale urgente
SAU	Service d'accueil aux urgences
SDIS	Service départemental d'incendie et de secours
SurSaUD®	Surveillance sanitaire des urgences et des décès

Synthèse

Depuis 2004, la France a mis en place un dispositif national destiné à prévenir et à lutter contre les conséquences sanitaires d'une canicule, le Plan national canicule (PNC). Ce plan a pour objectif de définir les actions de court et de moyen terme dans les domaines de la prévention et de la gestion de crise afin de réduire les effets sanitaires d'une vague de chaleur. Ces mesures peuvent être mises en œuvre de façon indépendante et graduée en fonction de la situation météorologique et sanitaire, selon les indications du préfet du département.

Dans ce dispositif, l'Institut de veille sanitaire (InVS) est chargé de proposer les alertes et de surveiller l'impact sanitaire des vagues de chaleur. Les propositions d'alerte se fondent sur les prévisions météorologiques, selon les règles définies par le système d'alerte canicule et santé (Sacs). Météo-France se charge de l'analyse du risque météorologique et envoie quotidiennement à l'InVS, en plus d'une analyse de la situation, les prévisions de probabilités de dépassement des seuils d'alerte minimaux et maximaux pour chaque département métropolitain. Sur la base de ces éléments, l'InVS peut émettre une proposition d'alerte, transmise sous la forme d'une « fiche d'alerte nationale », à la Direction générale de la santé (DGS).

Le but de cette fiche d'alerte est de fournir à la DGS et au préfet les informations nécessaires pour :

- activer localement le niveau de "mise en garde et actions" (Miga) du PNC ;
- définir la graduation des mesures à prendre ;
- si une alerte est en cours, proposer un maintien ou une levée d'alerte.

Pour ces deux derniers objectifs, une description de la situation sanitaire dans les départements concernés est utile. Elle est organisée depuis 2004 par l'InVS, en s'appuyant sur des données de mortalité et de morbidité recueillies dans un échantillon de villes sentinelles (au moins une ville par département métropolitain). Entre 2004 et 2011, les indicateurs sanitaires suivis dans le cadre du Sacs étaient interprétés localement par les Cellules interrégionales d'épidémiologie (Cire), selon des méthodes statistiques propres à chaque Cire. Cependant, le développement du système de surveillance SurSaUD® et des outils associés ouvre accès à un très grand nombre d'indicateurs potentiel, et a vocation à homogénéiser la gestion et l'interprétation de ces données.

Ainsi, après six années de fonctionnement du système d'alerte canicule, il est apparu intéressant de rediscuter de l'utilisation et de l'apport des indicateurs sanitaires pendant et après l'alerte, afin d'optimiser la réactivité et l'efficacité du Sacs. Trois objectifs d'utilisation de ces indicateurs ont été identifiés :

- identifier un impact sanitaire pendant une alerte, afin d'adapter si besoin les mesures de gestion ;
- identifier un impact sanitaire de manière précoce, alors que les seuils météorologiques ne sont pas franchis. Cette information pourrait servir d'argument supplémentaire lorsque les indicateurs météorologiques sont dans une situation limite et que la chaleur dure depuis un certain temps ;
- faire le bilan de l'impact sanitaire des vagues de chaleur en fin de saison et évaluer le nombre de décès en excès ;

Choix des indicateurs à surveiller à des fins d'alerte

Les indicateurs suivis pendant l'été doivent être compris comme des indicateurs d'aide à la décision recueillis et analysés en temps quasi-réel. Leur étude ne se substitue pas à des analyses postévenement plus approfondies qui permettraient de vérifier des hypothèses sur la dynamique de la relation chaleur – santé.

Pour identifier les indicateurs les plus pertinents, nous avons conduit une revue de la littérature. Nos priorités étaient le lien démontré avec la chaleur, la réactivité et la qualité des données. En particulier, les alertes étant déclenchées sur la base des prédictions biométéorologiques sur 3 jours (de j à j+2), et les données sanitaires étant disponibles à partir de j+1, le délai entre l'exposition à la chaleur et la détection de l'effet sanitaire doit être court, entre 0 et 24h. Au-delà, l'indicateur ne serait plus utile à la décision pour le maintien ou la levée d'alerte. Après croisement des indicateurs pertinents et des sources de données disponibles en France,

permettant un recueil quotidien et automatisé des données avec une bonne qualité, une bonne réactivité et une bonne stabilité dans le temps, les indicateurs ci-dessous ont été retenus.

Les décès totaux Insee

Les décès totaux sont disponibles *via* l'Institut national de la statistique et des études économiques (Insee). Ils ne constituent pas un très bon indicateur pendant l'alerte, du fait du délai nécessaire d'obtention des données (délai de déclaration du décès + délai de saisie et d'envoi à l'Insee par le service d'état civil: 3 à 4 jours en moyenne) et de leur consolidation (7 jours en moyenne). Cependant, pendant la vague de chaleur de 2003, une grande partie des décès ont eu lieu au domicile des personnes, sans recours aux services d'urgence. Il serait donc risqué de ne suivre que des indicateurs de recours aux soins, qui pourraient rester stables alors que la situation évolue par ailleurs. Nous avons donc décidé de conserver cet indicateur sur les décès, obtenu *via* l'Insee, tout en étant conscients des limites de son interprétation.

On peut noter que les décès par cause ne sont pas encore exploitables en routine, la certification électronique étant très peu développée dans la plupart des régions (pour la France entière, seul 5 % des décès sont certifiés de façon électronique).

Les recours à SOS médecins

La collaboration entre l'InVS et SOS Médecins France initiée en décembre 2005 met à la disposition de l'InVS, depuis juillet 2006, les données quotidiennes d'activité de visite à domicile des médecins de ces associations. Ce système de surveillance permet de recueillir des données de consultation en médecine générale, en termes de motif d'appel et, pour certaines zones géographiques, en termes de pathologie diagnostiquée au décours de la visite par le médecin. Pendant l'été, il est particulièrement intéressant de consulter le nombre total d'appels, mais également les appels par classe d'âge ou encore par diagnostic. En effet, les personnes âgées ont rarement recours à ce service, sauf lorsque leur état de santé devient particulièrement inquiétant.

Les passages aux urgences totaux, des plus de 75 ans, et les passages pour causes liées à la chaleur

Les indicateurs retenus sont les passages totaux, et les passages des plus de 75 ans, disponibles dans l'ensemble des départements avec des effectifs suffisants.

Les données par cause ne sont pas disponibles dans l'ensemble des départements. Plusieurs indicateurs seraient disponibles, mais il a été décidé de se concentrer sur les pathologies spécifiques des vagues de chaleur. Il s'agit des passages aux Services d'accueil aux urgences (SAU) pour hyperthermie, hyponatrémie et de déshydratation. Cet indicateur a l'avantage d'être très sensible à la chaleur. Cependant, les effectifs sont très faibles, et ne permettent pas d'analyse autre que descriptive.

Autres indicateurs

D'autres indicateurs, en particulier les affaires traitées par le Service d'aide médicale urgente (Samu), peuvent être suivis dans chaque département en fonction de la disponibilité et de la qualité des données.

Utilisation des indicateurs pendant l'alerte et en situation tangente

Les indicateurs sont recueillis, validés et interprétés dans les Cire pendant les alertes. Ces analyses sont intégrées dans la fiche d'alerte, avec le cas échéant une synthèse nationale.

Pour aider à l'interprétation, nous avons retenu deux méthodes statistiques qui peuvent être utilisées pour identifier des événements inhabituels :

- la méthode des limites historiques, si les données nécessaires pour le calcul sont disponibles (environ deux ans d'historique) ;
- une méthode basée sur le principe des cartes de contrôle, lorsque l'on dispose de peu de données historiques (moins d'un an de recul).

Ces méthodes ont pour objectif le déclenchement « d'une alarme statistique » traduisant pour un jour ou une période donnée, une modification significative de l'amplitude de l'indicateur analysé. L'alarme statistique peut être due à la qualité de la donnée ou à un réel évènement sanitaire. L'expertise des épidémiologistes de la Cire est donc essentielle pour valider cette alarme.

En pratique, pendant une alerte météorologique, en l'absence d'alarme validée sur l'ensemble des indicateurs surveillés, l'alerte sera levée lorsque les températures indiqueront la fin de l'épisode de chaleur (les indicateurs biométéorologiques repassent sous les seuils d'alerte). Si une alarme est validée sur au moins un indicateur parmi ceux analysés, une discussion aura lieu entre les partenaires du Sacs pour juger de la nécessité de maintenir l'alerte au-delà de l'épisode de chaleur, et éventuellement de renforcer les mesures du PNC.

Les indicateurs pourront également être utilisés lorsque la situation météorologique est tangente aux seuils et qu'il y a un doute fort sur la nécessité de lancer une alerte sur la base des données météorologiques seules. Dans ce cas, une alarme validée sur l'un des indicateurs sanitaires, constituerait un argument (non systématique) pour proposer l'alerte.

Estimation rapide de l'impact sanitaire après la vague de chaleur

Il paraît pertinent de mettre en place un indicateur simple et standardisé de suivi de l'impact sanitaire des vagues de chaleur. Cet indicateur ne se substituerait pas à des études épidémiologiques, mais permettrait :

- de faire un premier bilan rapide d'une vague de chaleur après l'été ;
- d'identifier les évènements pouvant faire l'objet d'études plus approfondies.

L'indicateur proposé est le calcul de la surmortalité totale, définie comme la différence entre la mortalité observée et une mortalité de référence. Cette mortalité de référence est calculée comme la moyenne des mortalités observées pendant la même période sur les N années précédentes. Il est recommandé d'utiliser systématiquement plusieurs valeurs de N jusqu'à 5 ans. Ceci permet de fournir une fourchette de l'impact selon plusieurs périodes de référence.

Perspectives

Un système d'alerte ne peut rester efficace que s'il s'adapte continuellement aux nouvelles connaissances et aux nouveaux outils disponibles. Dans les années à venir, il sera important de définir des indicateurs permettant de juger de l'efficacité du système (en terme de délai, de qualité des informations fournies, d'acceptabilité auprès des décideurs), afin de proposer les évolutions les plus pertinentes.

Enfin, si les grands groupes vulnérables sont bien identifiés et font l'objet d'une prévention ciblée, on manque encore de connaissances sur l'efficacité des différentes mesures proposées, sur l'existence de populations vulnérables mal connues, voire sur l'émergence de nouvelles formes de vulnérabilité. Il est donc essentiel de ne pas limiter l'effort sur les vagues de chaleur à la mise en place du Sacs et du PNC, mais d'encourager la réalisation d'études sur ce sujet, qui peuvent prendre la forme d'études épidémiologiques mais également sociologiques, d'urbanisme ou autres, et peuvent relever de l'InVS comme d'autres partenaires.

1. Contexte

1.1. Le plan national canicule et le système d'alerte canicule et santé

La vague de chaleur de l'été 2003 a entraîné une surmortalité estimée à près de 15 000 décès entre le 1^{er} et le 20 août. Suite à cet évènement, de nombreuses études ont été menées, et les impacts des vagues de chaleur sur la mortalité et sur la morbidité sont aujourd'hui mieux documentés en France [1-6]. Dès 2004, la France a mis en place un dispositif national destiné à prévenir et à lutter contre les conséquences sanitaires d'une canicule, le Plan national canicule (PNC), qui a pour objectif de définir les actions de court et de moyen terme dans les domaines de la prévention et de la gestion de crise afin de réduire les effets sanitaires d'une vague de chaleur.

Le PNC comprend trois niveaux progressifs :

- un niveau de veille saisonnière, déclenché automatiquement du 1^{er} juin au 31 août de chaque année ;
- un niveau de mise en garde et actions (Miga) déclenché, maintenu ou levé par les préfets de département, sur la base de l'évaluation concertée des risques météorologiques, réalisée par Météo-France, et des risques sanitaires, réalisée par l'Institut de veille sanitaire (InVS) ;
- un niveau de mobilisation maximale, déclenché au niveau national par le Premier ministre sur avis du ministre chargé de l'Intérieur et du ministre chargé de la Santé, en cas de vague de chaleur intense et étendue associée à des phénomènes dépassant le champ sanitaire (sécheresse, délestages électriques, saturation des chambres funéraires, etc.).

Le niveau de veille saisonnière est consacré à des mesures de prévention. Les niveaux Miga et mobilisation maximale permettent d'activer tout ou partie des mesures nécessaires à la gestion d'une vague de chaleur. Pour les deux volets prévention et gestion, le PNC fournit de nombreuses recommandations s'articulant autour de quatre priorités, dont les actions phares sont résumées dans le tableau 1. Ces recommandations ciblent le grand public, les populations particulières (travailleurs en plein air, sportifs), les professionnels de santé, et les professionnels s'occupant de personnes à risque. Lors d'une vague de chaleur, les recommandations et mesures du PNC peuvent être mises en œuvre de façon indépendante et graduée, en fonction de l'analyse de la situation faite par Météo-France et par l'InVS, et des informations complémentaires dont peuvent disposer les préfets.

Le niveau Miga du PNC est déclenché en s'appuyant sur le système d'alerte canicule et santé (Sacs), opérationnel du 1^{er} juin au 31 août de chaque année.

Le Sacs a été construit par Météo-France et par l'InVS en 2004, dans le but d'anticiper une vague de chaleur pouvant avoir des conséquences de grande ampleur sur la mortalité. L'alerte est proposée lorsque deux indicateurs météorologiques ont une probabilité élevée de dépasser simultanément des seuils d'alerte.

Ces seuils varient géographiquement, et ont été calculés pour une ville de référence par département de France métropolitaine.

Les indicateurs météorologiques suivis quotidiennement sont les moyenne mobiles des températures minimales et maximales prédictes sur trois jours, notés IBMmin et IBMmax. Pour le jour j :

$$\begin{aligned} IBM \min_j &= \frac{T \min_j + T \min_{j+1} + T \min_{j+2}}{3} \\ IBM \max_j &= \frac{T \max_j + T \max_{j+1} + T \max_{j+2}}{3} \end{aligned}$$

Afin de prendre en compte la dimension incertaine des prévisions météorologiques, des probabilités de dépassements des seuils ont été établies par Météo-France pour chaque ville de référence, en s'appuyant sur l'analyse de la situation météorologique et sur l'analyse de l'écart des prévisions aux températures observées. Ces probabilités sont traduites en cinq classes : quasi-nulle, faible, moyenne, élevée et très élevée. La combinaison des probabilités de dépassements des seuils pour les IBMmin et IBMmax conduit à la définition de trois niveaux (tableau 2) :

- RAS=pas de risque de vague de chaleur ;
- Vigie=niveau interne à l'InVS indiquant un risque faible de vague de chaleur, ne justifiant pas un Miga mais se traduisant par une attention accrue et éventuellement une carte de vigilance jaune pour Météo-France ;
- Miga.

Ces règles ont été établies en s'appuyant sur l'expérience de l'opération du système depuis 2004 et sur l'expertise des opérateurs InVS et Météo-France. Un poids plus important a été donné à la probabilité de dépasser le seuil IBMmin du fait de l'importance de la température nocturne sur la mortalité. Différents paramètres peuvent également être pris en compte pour moduler la décision. Par exemple, en cas de prévision de vague de chaleur d'intensité élevée (écart au seuil >4 °C) ou accompagnée d'une humidité importante (>80 %), une situation de Vigie peut être transformée en Miga.

Sur la base de ces règles, entre le 1^{er} juin et le 31 août, Météo-France transmet quotidiennement, pour chaque département métropolitain, une analyse du risque météorologique à l'InVS. L'InVS rédige alors une proposition d'alerte, transmise sous forme de « fiche d'alerte nationale », à la Direction générale de la santé (DGS). Le but de cette fiche d'alerte est de fournir à la DGS et au préfet les informations nécessaires pour :

- activer localement le niveau Miga ;
- définir la graduation des mesures à prendre ;
- si un Miga est en cours, proposer un maintien ou une levée de Miga selon l'évolution de la situation.

Ces propositions sont en cohérence avec la carte de vigilance publiée quotidiennement par Météo-France à des fins d'information du public.

Tableau 1 – Déclinaison des axes du PNC différenciés selon la prévention (hors Miga) et la gestion (pendant un Miga)

Axes	Prévention	Gestion
Mesures de protection des personnes à risques hébergées en institutions (établissements d'hébergement pour personnes âgées dépendantes (Ehpad), établissements pour personnes handicapées, établissements de soins)	Installation d'au moins une pièce rafraîchie dans tous les établissements de soins, maisons de retraite, foyers logements, unités de soins de longue durée	Activation du plan bleu (maisons de retraite), du plan blanc (hôpitaux), ou du plan établissements en tension
Repérage des personnes à risques isolées	Mise en place d'un plan fixant le mode général d'organisation en cas de crise ou de déclenchement de l'alerte	
Solidarité	Le maire recueille les éléments relatifs à l'identité des personnes âgées et des personnes handicapées qui en font la demande	Intervention ciblée des services sanitaires et sociaux
Communication	Les préfets recensent les services de soins infirmiers à domicile, les associations et services d'aide à domicile, les associations de bénévoles, et vérifient leurs dispositifs de permanence estivale	Mobilisation des associations par les préfets de départements (à qui incombe désormais tout ce qui relève du champ social)
	Distribution de supports de communication détaillant les conseils de comportements pour différentes populations	Communication d'urgence

Tableau 2 – Règles de combinaison des probabilités de dépassement des seuils d'IBMmin et IBMmax (Pmin et Pmax).

Pmax		Quasi-nulle	Faible	Moyenne	Élevée	Très élevée
Pmin	Quasi-nulle	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS
Quasi-nulle	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS
Faible	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS
Moyenne	RAS	RAS	Vigie	Vigie	Vigie	Vigie
Élevée	RAS	RAS	Vigie	Miga	Miga	Miga
Très élevée	RAS	Vigie	Miga	Miga	Miga	Miga

1.2. La surveillance des indicateurs sanitaires dans le cadre du Sacs

La surveillance de la situation sanitaire dans les départements touchés par une vague de chaleur peut apporter des éléments d'aide à la décision pour choisir les mesures à mettre en place, ou pour prolonger un Miga au-delà de la vague de chaleur météorologique. Dans le cadre du PNC, cette surveillance est organisée depuis 2004 par l'InVS et les Cire, en s'appuyant sur des données de mortalité et de morbidité recueillies pour au moins une ville par département dans l'ensemble des départements métropolitains. Plusieurs indicateurs ont été introduits ou retirés du système depuis 2004. Les principaux indicateurs utilisés entre 2004 et 2010 sont résumés dans le tableau 3. En complément, dans certaines régions, des remontées d'informations complémentaires sont organisées, par exemple en Ile-de-France, où l'Institut médico-légal signale à la Cire toute activité inhabituelle, ou en Languedoc-Roussillon, où un réseau d'Ehpad transmet des informations sur le nombre de résidents hospitalisées ou décédés.

Depuis 2004, l'InVS anime également le système de surveillance des urgences et des décès (SurSaUD[®]), qui rassemble plusieurs sources de données :

- les services d'urgences des hôpitaux (Organisation de la surveillance coordonnée des urgences : réseau OSCOUR[®]) (données fournies depuis 2004, plus de 310 services d'urgences en 2011 ce qui correspond à environ la moitié des recours) ;
- les associations SOS médecins (données fournies depuis 2006, 58 associations sur 62 en 2011) ;
- la mortalité recensée par l'Insee (données fournies depuis 2004 pour plus de 3 000 communes en 2011 soit environ 80 % de la mortalité totale) ;
- la mortalité recensée par la certification électronique des décès, avec accès aux causes de mortalité (données fournies depuis 2008, représente environ 5 % de la mortalité totale).

Le Réseau OSCOUR[®], inclus dans SurSaUD[®], permet la collecte d'information quotidienne et automatique des données des services d'urgences des hôpitaux partenaires. Pour ces hôpitaux, il est possible de définir des indicateurs très précis, par causes d'admissions, par sexe et par classes d'âges. Pendant l'été, les indicateurs suivants, potentiellement en lien avec la chaleur, peuvent être suivis dans les régions où les données sont disponibles :

- nombre de passages aux urgences (totaux, <1an, >75 ans, hospitalisations) ;
- nombre de passages aux urgences pour hyperthermies ;
- nombre de passages aux urgences pour déshydratations ;
- nombre de passages aux urgences pour malaises ;
- nombre de passages aux urgences pour hyponatrémies ;
- nombre de passages aux urgences pour pathologies cardiaques ;
- nombre de passages aux urgences pour pathologies respiratoires.

Afin de traiter l'ensemble des informations disponibles dans SurSaUD[®], une application informatique nationale a été développée en 2010 et est en phase d'expansion.

L'augmentation progressive du nombre d'hôpitaux participants à OSCOUR[®] et le développement de l'application SurSaUD[®], ouvrent accès à un très grand nombre d'indicateurs qui pourraient être suivis pendant l'été. Après six ans d'opération du système, il est apparu intéressant de rediscuter du rôle des indicateurs sanitaires pendant et après l'alerte, afin d'optimiser la réactivité et l'efficacité du Sacs. Trois rôles ont été identifiés :

- identifier un impact sanitaire pendant une alerte, afin d'adapter si besoin les mesures de gestion ;
- identifier un risque de manière précoce, avant l'identification d'une canicule par les seuils météorologiques. Cette information pourrait servir d'argument supplémentaire lorsque les indicateurs météorologiques seuls sont dans une situation limite ;
- faire le bilan de l'impact des vagues de chaleur en fin de saison.

À partir d'une revue de la littérature et d'une consultation de partenaires du système d'alerte, nous proposons ici une sélection d'indicateurs et des méthodes d'interprétation permettant de remplir chacun de ces trois rôles.

Tableau 3 – Liste des indicateurs de mortalité et morbidité (IMM) analysés en cas d'alerte dans le cadre du Sacs sur la période 2004-2010

Source de données	Indicateurs/Définitions	Statut*
Services des états civils	Nombre de décès enregistrés à la date du décès	Obligatoire
Services d'accueil aux urgences	Nombre de décès hospitaliers enregistrés la veille	Facultatif
Mortalité/pompes funèbres	Activité des pompes funèbres	Facultatif
Samu	Nombre d'affaires traitées (nombre total de dossiers de régulation médicale)	Obligatoire
Services d'accueil aux urgences	Nombre total de primo-passages aux urgences Nombre de primo-passages aux urgences des enfants de moins d'1 an Nombre de primo-passages aux urgences des personnes de 75 ans et plus Nombre total d'hospitalisations après passage aux urgences (y compris en zone de surveillance de très courte durée –UHCD ou lits-porte- et transferts, quel qu'en soit le motif, vers un autre établissement)	Obligatoire
Services d'accueil aux urgences via OSCOUR®	Passages aux urgences par cause : - hyperthermies ; - déshydratations ; - malaises ; - hyponatrémies ; - pathologies cardiaques ; - pathologies respiratoires.	Facultatif
SOS médecins	Nombre d'appels quotidiens (tous motifs confondus) Nombre d'appels quotidiens pour coups de chaleur Nombre d'appels quotidiens pour déshydratations	Facultatif
Sorties Sdis	Nombre total d'interventions pour secours à victimes réalisées par les services d'incendie et de secours	Facultatif

*Obligatoire : suivis dans toutes les Cires.

Facultatif : suivis dans certaines Cires uniquement (i.e. quand les données sont disponibles et jugées de qualité suffisante).

2. L'utilisation des indicateurs sanitaires pendant l'alerte

Les indicateurs utilisés pendant l'alerte doivent être capables d'identifier rapidement un possible impact sanitaire, afin de proposer si besoin un renforcement des mesures de gestion, et d'aider à la décision pour le maintien ou la levée d'alerte. Il s'agit d'indicateurs d'aide à la décision recueillis et analysés en temps quasi-réels. Leur étude ne se substitue pas à des analyses postévenement plus approfondies qui permettraient de vérifier des hypothèses sur la dynamique de la relation chaleur-santé.

2.1. Méthode

Pour sélectionner des indicateurs pertinents, nous avons réalisé une revue des pratiques existantes à l'étranger, puis défini et renseigné à partir de la littérature des critères intrinsèques aux indicateurs, permettant de statuer sur leur pertinence. Des méthodes d'interprétation statistique de ces indicateurs ont ensuite été proposées, et à titre d'illustration appliquées à quelques vagues de chaleur passées.

2.1.1. Revue des pratiques existantes à l'étranger

Bien que des systèmes d'alerte canicule soient désormais utilisés dans plusieurs pays, il existe peu de publications sur leur fonctionnement, et en particulier sur l'utilisation des données sanitaires. Nous nous sommes appuyés sur les conclusions du projet Euroheat [7,8], avec des recherches complémentaires sur les sites des organismes opérant les systèmes d'alerte¹ ou directement auprès des opérateurs de ces systèmes.

2.1.2. Critères pour le choix des indicateurs de suivi et de levée d'alerte

Les indicateurs doivent posséder plusieurs qualités pour être utiles pour la gestion de l'alerte :

- avoir un lien documenté avec la chaleur, idéalement établi par des études épidémiologiques ;
- répondre très rapidement à la chaleur. Les alertes étant déclenchées sur la base des prédictions biométéorologiques sur 3 jours (de j à j+2), et les données sanitaires étant disponibles à partir de j+1, le délai entre l'exposition à la chaleur et l'apparition de l'effet sanitaire doit être court, entre 0 et 24h. Au-delà, l'indicateur ne serait plus utile à la décision pour le maintien ou la levée d'alerte ;
- être sensible et spécifique de la chaleur. L'indicateur doit être suffisamment sensible, dès le dépassement des seuils d'alerte météorologique ou en limite de seuils (dans le cas d'une chaleur prolongée), en particulier parce que - statistiquement parlant - il s'agit de s'assurer qu'il n'y a pas d'impact majeur pendant une vague de chaleur. L'indicateur doit être suffisamment spécifique de la chaleur pour pouvoir être interprété et permettre la mise en œuvre ou le renforcement de mesures de gestion appropriées. Ceci peut se traduire par deux notions : indicateurs qui permettraient de renforcer la prévention, en ciblant par exemple certains groupes vulnérables, et indicateurs qui permettraient d'identifier un besoin de régulation de l'activité de soin.

Nous avons recherché dans la littérature les indicateurs remplissant les conditions de précocité, sensibilité et spécificité (lien avec la chaleur) pendant une vague de chaleur. La recherche s'est effectuée sous Medline et au travers de la littérature grise.

¹Sites identifiés à partir de la plateforme Euroheat <http://www.Euroheat-project.org/dwd/hhws.php>, consulté le 15/12/2010.

2.1.3. Critères pour le choix des indicateurs d'aide à la décision en situation tangente de seuil

L'objectif de ces indicateurs est d'apporter une aide à la décision lorsque la situation météorologique est incertaine (probabilité moyenne de dépassement des seuils). Le cas type serait des températures élevées durant plusieurs jours, avec cependant un doute sur la nécessité de lancer une alerte sur la base des données météorologiques seules. Il n'y a pas lieu de penser que des indicateurs plus précoce que ceux sélectionnés pour le suivi de l'alerte existent. Les indicateurs retenus seront donc les mêmes que pour le suivi de l'alerte, et les méthodes d'interprétation similaires.

2.1.4. Méthode pour l'interprétation des indicateurs pendant l'alerte

Les données collectées doivent être validées puis interprétées. Cette interprétation se fait au sein des Cire, en lien avec les partenaires fournisseurs des données, qui disposent d'une grande expertise sur ces données. Nous avons recherché une méthode statistique qui pourrait être utilisée comme aide à l'interprétation.

Cette méthode doit permettre de détecter un impact, défini comme un excès de cas et calculé comme la différence entre le nombre de cas observé et le nombre attendu. Lorsqu'une augmentation anormale du nombre de cas est observée, une alarme statistique est déclenchée. Elle doit être confirmée par une analyse de la situation par un épidémiologiste.

Nous n'avons pas réalisé de revue des différentes méthodes existantes, ce travail étant réalisé par ailleurs par un groupe de travail interne à l'InVS, le groupe de travail « méthodes statistiques de détection des événements inhabituels ». Ce groupe a réalisé une revue de la littérature pour sélectionner plusieurs méthodes, puis a réalisé plusieurs simulations numériques pour comparer les performances de ces méthodes. Les simulations consistaient à détecter des augmentations fictives d'amplitudes variables, en travaillant sur des séries de données présentant des caractéristiques différentes (saisonnalité, effectifs...). Nous nous sommes appuyés sur les travaux de ce groupe pour sélectionner les méthodes d'analyses statistiques pertinentes pour nos objectifs.

Le choix de la méthode est en particulier conditionné par l'antériorité des données disponibles (l'historique, qui doit permettre de juger de la variabilité périodique annuelle, hebdomadaire, etc.). La méthode proposée doit être simple à mettre en œuvre, facilement automatisable et doit également reposer sur des hypothèses statistiques robustes pour analyser quotidiennement et à différents niveaux d'agrégation les différents indicateurs.

Pour couvrir les cas de figure avec et sans historique de données, nous avons sélectionné deux méthodes qui respectent les critères ci-dessus.

- « avec historique », la méthode des limites historiques, qui nécessite au moins deux ans d'historique ;
- « sans historique », une méthode basée sur une carte de contrôle adaptée des cartes Shewhart et Cusum [9], qui a l'avantage d'être utilisable avec seulement une à huit semaines d'historique.

D'autres méthodes peuvent également être utilisées en fonction des données, des outils, ou des historiques disponibles. Le choix de la méthode revient *in fine* aux épidémiologistes en région, qui ont la meilleure connaissance de leurs données et des contraintes associées.

La méthode des limites historiques

Cette méthode repose sur une hypothèse de distribution gaussienne des observations. Elle consiste à comparer la valeur observée à la date t de l'année n à la moyenne des valeurs observées aux temps $t-k, t-k+1, \dots, t-1, t, t+1, \dots, t+k$ des années $n-1$ à $n-q$. Un ratio est calculé en rapportant la valeur observée au temps t de l'année n à la moyenne de ces $q(1+k+k')$ observations. Une alerte statistique est déclenchée lorsque le ratio dépasse le seuil supérieur $1+2\sigma/\mu$ où μ est la moyenne et σ est l'écart type calculé à partir de ces $q(1+k+k')$ observations [10].

Cette méthode est utilisée en routine par les Centers for Diseases Control (CDC) pour l'analyse hebdomadaire des données de surveillance de certaines maladies infectieuses avec $q=5$ et $k=k'=1$ (soit 15 observations).

Pour notre objectif, la valeur observée le jour J de l'année n sera comparée à la moyenne des valeurs observées le jour identique de la semaine équivalente, de la semaine précédente et de la semaine suivante de chaque année de l'historique.

Pour un risque alpha de 1 % choisi *a priori* pour décider du déclenchement d'une alarme statistique. La borne supérieure de l'intervalle de confiance qui définit le seuil statistique de surveillance est donc :

$$IC = 1 + 2.576 \frac{\sigma_x}{\mu}$$

Cette méthode présente trois limites principales :

- elle ne n'intègre pas une éventuelle tendance à long terme dans les données ;
- elle fait l'hypothèse que les observations sont indépendantes ;
- elle est basée sur l'hypothèse d'une distribution des observations selon une loi normale, hypothèse pas toujours vérifiée lorsque les effectifs analysés sont faibles.

Une méthode basée sur le principe des cartes de contrôle

Nous proposons d'utiliser une méthode adaptée des cartes de Shewhart et Cusum [9]. Cette méthode est utilisable même si l'on dispose de peu de données historiques.

Elle est fondée sur une hypothèse de loi normale des observations et consiste à comparer la valeur observée au temps t à un seuil calculé à partir des données antérieures. Plusieurs méthodes sont proposées dans la littérature, avec des variations sur le choix du seuil et la période de référence.

Elle peut être utilisée dans certaines conditions listées plus bas, pour suivre des observations indépendantes et distribuées selon une loi de Poisson. La valeur observée au temps t est comparée à un seuil calculé à partir des données antérieures. Plusieurs méthodes sont proposées dans la littérature, avec des variations sur le choix du seuil et la période de référence.

Nous proposons de prendre comme période de référence un recul glissant de trois semaines en tenant compte du jour de la semaine. La méthode consiste alors à faire le calcul à l'instant t de la statistique C(t) telle que :

$$C(t) = \frac{Y(t) - \bar{Y}_j(t)}{S(t)}$$

$$\bar{Y}(t) = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 Y(t_{-7i})$$

$$S^2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 (Y(t_{-7i}) - \bar{Y}(t_{-7i}))^2$$

où $Y(t)$ est la valeur observée à l'instant t
 $\bar{Y}_j(t)$ est la moyenne des valeurs observées les jours identiques des 3 semaines précédentes
 S^2 est la variance des valeurs observées les jours identiques des 3 semaines précédentes
 $S(t)$ est l'écart-type

Une alarme statistique est déclenchée lorsque $C(t) > 3$. Le seuil est donc fixé ici à la moyenne plus trois écart-types. Cependant, pour suivre l'évolution d'un événement, il peut être intéressant d'utiliser des seuils différents à 1 ou 2 écart-types. L'objectif est alors de repérer une dérive avant que le seuil d'alerte ne soit atteint.

Cette méthode appelle cependant deux réserves :

- elle a été développée initialement pour suivre la reproductibilité d'un processus stable dans un contexte industriel, et suppose donc une bonne maîtrise de la série de données et l'indépendance des observations ;
- elle est basée sur une hypothèse de loi normale. Pour des effectifs faibles, distribués selon une loi de Poisson, cette méthode aura une bonne performance pour des signaux importants (fortement supérieurs au niveau de base) et lorsque le seuil est bien choisi pour éviter trop de faux positifs ;
- elle ne prend pas en compte une éventuelle tendance à long terme.

2.2. Sélection des indicateurs

2.2.1. Indicateurs utilisés à l'étranger

Le projet Euroheat est un projet international ayant pour objectif le partage de bonnes pratiques dans la prévention des vagues de chaleur en Europe. À ce titre, il a recensé cinq pays européens utilisant des données de surveillance sanitaire dans le cadre des plans canicule : la Hongrie le Portugal, l'Italie (Rome), l'Espagne, le Royaume-Uni et la France. Ces systèmes utilisent la mortalité toutes causes, les appels aux services d'urgences, les passages aux urgences, ou les consultations en médecine générale, selon les pays. Cependant, peu d'informations sont disponibles sur la manière dont ces systèmes sont utilisés pour modifier les décisions dans le cadre des plans [7]. Aux États-Unis, une surveillance syndromique est également utilisée pendant les vagues de chaleur, sans détail sur l'interprétation des indicateurs suivis (principalement décès liés à la chaleur) [11].

Des informations plus détaillées n'ont été retrouvées que pour l'Espagne et le Royaume-Uni.

Depuis 2010, l'Espagne travaille de manière plus approfondie sur la mortalité totale, afin d'éventuellement ajuster les actions de prévention et de gestion. Leur méthode consiste à comparer la mortalité quotidienne observée et la mortalité attendue, et à contrôler les variations de tendance de la mortalité, en utilisant une méthode statistique basée sur une somme cumulative (méthode Cusum). Ces analyses se font par âge (<65 ans, 65-74 ans, >74 ans) et par sexe, pour la somme des communes informatisées, chaque communauté autonome, chaque capitale de province, et sur des zones géographiques jugées homogènes du point de vue de la température². L'intérêt de ce système de suivi de la mortalité est discuté en Espagne, notamment à cause du délai d'obtention des données [12].

Au Royaume-Uni, le suivi sanitaire est réalisé au travers des appels au NHS direct (numéro d'appel mis en place par le National Health Service pour l'information et la prise en charge du public) et de consultations en médecine générale pour des causes liées à la chaleur. Les appels NHS directs font l'objet de rapports quotidiens, alors que les consultations en médecine généralistes sont analysées à l'échelle de la semaine. Cependant, les méthodes d'interprétation ne sont pas explicitées.

² <http://www.msc.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/planAltasTemp/2010/mortalidad.htm>, consulté le 15/12/2010.

Euroheat propose par ailleurs une liste d'indicateurs susceptibles d'être utilisés dans les systèmes d'alerte avec les limites et avantages de chacun, sans toutefois détailler les critères utilisés (représentativité, sensibilité, spécificité, coûts) ni justifier les choix. Les indicateurs listés sont [7] :

- le nombre d'appels aux ambulances, ventilé par âge, sexe, localisation, heure et date de l'appel, considéré comme ayant une grande représentativité spatio-temporelle et un faible coût ;
- le nombre de passages aux urgences ventilé par âge, sexe, motif, heure et date du passage, considéré comme sensible mais peu spécifique, et permettant de détecter des agrégats spatio-temporels ;
- le nombre d'hospitalisations, ventilé par âge, sexe, motif, heure et date, considéré comme sensible mais peu spécifique, et très coûteux ;
- une veille sur les sites Internet, considérée utile pour estimer le nombre de cas peu graves, mais difficile à interpréter ;
- le nombre d'appels aux numéros verts mis en place lors des vagues de chaleur, considéré comme peu coûteux, mais peu informatif.

2.2.2. Identification des indicateurs potentiels

L'objectif est d'identifier des indicateurs réagissant pendant une vague de chaleur, qui peut être définie comme une période de plusieurs jours consécutifs avec des températures largement au-dessus des normales saisonnières. Hors, il existe peu d'études sur l'impact des vagues de chaleur sur la morbidité, et quelques études se concentrant sur la mortalité. À l'inverse, il existe une littérature croissante sur la relation entre température et mortalité hors vague de chaleur, et dans une moindre mesure entre température et morbidité.

Pendant la vague de chaleur de 2003 en France, il a été montré que l'effet sur la mortalité était supérieur à celui associé à une exposition de courte durée à des températures chaudes [2]. À l'inverse, aux États-Unis, une étude a conclut que l'effet d'une vague de chaleur sur la mortalité était comparable à l'effet de journées chaudes isolées lorsque l'évènement durait moins de 4 jours [13]. Aussi, nous avons retenus dans la revue de la littérature les articles traitant de l'impact des vagues de chaleur, et des articles traitant de l'impact des températures hors vagues de chaleur, en sélectionnant les articles présentant des analyses pour l'été.

Il faut également souligner que chaque article utilise des indicateurs météorologiques différents (température minimale, maximale, température apparente...) et une définition différente de la vague de chaleur, ce qui peut poser des problèmes de comparabilité des résultats [14]. Par ailleurs, nous n'avons trouvé pratiquement aucune information quantitative sur la sensibilité et la spécificité des indicateurs, hors des travaux produits par l'InVS. Ces critères n'ont donc pas pu être pris en compte dans la sélection des indicateurs listés dans la littérature scientifique.

Indicateurs de mortalité

Concernant la mortalité, plusieurs études rapportent un lien entre vague de chaleur et mortalité toutes causes ou pour différentes causes de décès et selon les cas tous âges confondus ou pour différentes classes d'âge [1,15-23]. Les décès hospitaliers augmentent également [19]. En règle générale, la courbe de la mortalité s'envole dès le début de la vague de chaleur, pour culminer 24 ou 48 heures après le premier pic de température. Elle décline ensuite plus ou moins vite, quelle que soit l'évolution thermique, et le retour à un temps « de saison » la ramène à un niveau lui aussi proche de la normale [24]. Un article de synthèse de l'impact de la vague de chaleur sur la mortalité concernant la France, l'Angleterre, le Pays de Galles, l'Italie et le Portugal a montré que l'impact de la vague de chaleur intervient après 1 à 2 jours ou lorsque la période de très forte chaleur se prolonge [25]. L'évolution de la mortalité pendant la canicule de 2003 à Paris est tout à fait typique de ce type de phénomène, avec 80 % de la surmortalité survenue en quelques jours après le 11 août 2003. Un schéma similaire a été observé pendant les vagues de chaleur les plus meurtrières, comme à Marseille en 1983 ou à Chicago en 1995 [26,27]. Cependant, il est possible qu'avec l'adaptation progressive de la population aux vagues de chaleur, les futures réponses en mortalité soient différentes.

En ce qui concerne les classes d'âge, on retrouve un lien plus fort pour les plus de 45 ans [28], et le plus souvent pour les plus de 65 ou 75 ans [29]. Certains auteurs n'observent pas de surmortalité chez les nourrissons ou les enfants de moins de 15 ans [3,29]. Concernant les différences entre sexes, une surmortalité féminine a pu être observée chez les personnes âgées [3], mais ce n'est pas toujours le cas, l'étude de Jones *et al.* aux États-Unis ne trouvant pas de différences pour les décès liés à la chaleur [29].

En ce qui concerne les causes de décès, les études trouvent un lien avec :

- les néoplasmes [30,31] ;
- les pathologies respiratoires [18,30,31] ;
- parfois les pathologies cardiovasculaires [18,21,31,32] ;
- les pathologies directement liées à la chaleur (hyperthermies, coup de chaleur, déshydratations) [29].

Ces éléments sont résumés dans le tableau 4.

Tableau 4 – Caractéristiques (lien avec la chaleur et délai exposition-effet) des indicateurs de mortalité

Indicateur	Lien documenté avec la chaleur	Délai exposition-effet
Nombre de décès	Oui	Pic 0 à 4 jours après le pic de chaleur
Nombre de décès >65 ans	Oui	Pic 0 à 4 jours après le pic de chaleur
Nombre de décès >75 ans	Oui	Pic 0 à 4 jours après le pic de chaleur
Nombre de décès >45 ans	Oui	Pic 0 à 4 jours après le pic de chaleur
Nombre de décès <15 ans	Non	
Décès chez les femmes âgées	Parfois	Pic 0 à 4 jours après le pic de chaleur
Décès hospitalier	Oui	Non précisé
Décès par néoplasmes	Oui	Non précisé
Décès par pathologies respiratoires	Oui	Jusqu'à 15 jours
Décès par pathologies cardiovasculaires	Oui	Jusqu'à 15 jours
Décès par pathologies liées à la chaleur	Oui	Pic 0 à 4 jours après le pic de chaleur

Indicateurs de morbidité

Les indicateurs utilisés dans la littérature peuvent être différents de ceux disponibles en France, et leur interprétation dépend de l'organisation du système de soins. On retrouve cependant classiquement les passages aux urgences, et les appels aux services d'urgences.

Le nombre de passages aux urgences toutes causes augmente avec la chaleur, et pour différents groupes d'âge : personnes âgées (plus de 75 ans [33], plus de 65 ans [34]), enfants et classes intermédiaires [34]. Des différences par sexe peuvent être observées. Par exemple, pendant la vague de chaleur de Chicago en 1995, le pic du nombre de visites aux services d'urgence (3 300) est survenu 24 h après le jour où la température apparente a été la plus élevée [35]. Cependant, ces augmentations sont souvent modérées [36,37].

L'analyse des causes de passages aux urgences peut fournir une information complémentaire précieuse. Les diagnostics les plus souvent mentionnés sont :

- les déshydratations, hyperthermies, coup de chaleur [33,34,38,39]. À noter que les déshydratations ne sont pas spécifiques de la chaleur, mais y sont très sensibles ;
- les malaises (sensibles mais peu spécifiques) ;
- les pathologies respiratoires ;
- le diabète, l'insuffisance rénale aiguë, un déséquilibre des électrolytes³, la néphrite [34,38] ;

³ Un déséquilibre des électrolytes est généralement provoqué lorsque le niveau d'eau dans le corps est altéré. Cela peut être causé par plusieurs facteurs : la déshydratation, une transpiration excessive, la diarrhée, la fièvre, des vomissements ou un trouble d'un organe ou d'une glande.

- les pathologies cardiovasculaires et cérébrovasculaires, l'infarctus [34], avec des effets observés jusqu'à trois semaines [40] ;
- les problèmes psychiatriques : une étude de Bulbena *et al.* [41] a montré une augmentation des diagnostics d'alcoolisme, d'abus de drogue ou de dangerosité envers autrui pendant les vagues de chaleur ;
- on peut également citer les hyponatrémies [33,39], qui pourraient traduire un effet négatif des mesures de prévention, lorsque les personnes, âgées en général, boivent trop d'eau.

L'étude de Bassil *et al.* en 2009 [42] a montré que les appels aux services d'urgences (911) pour des pathologies en lien avec la chaleur augmentaient au moment du pic de température, et parfois avant le déclenchement de l'alerte canicule. Au Royaume-Uni, l'étude de Johnson *et al.* a montré une augmentation des appels NHS direct et des consultations des médecins généralistes pendant les vagues de chaleur [43]. L'étude de l'InVS sur la canicule 2003 a également montré une augmentation de l'activité des Samu, sapeurs pompiers et SOS médecins dans les villes étudiées, en particulier Paris et Lyon, les sorties pour secours à personnes de plus de 80 ans étant des indicateurs très sensibles [19]. En France, une étude descriptive de l'impact de la vague de chaleur de juin 2005 a conclut à une augmentation modérée des indicateurs de passages aux urgences, Samu et activité Sdis [44].

Ces éléments sont résumés dans le tableau 5.

Tableau 5 – Caractéristiques (lien avec la chaleur et délai exposition-effet) des indicateurs de morbidité

Indicateur sanitaire	Lien documenté avec la chaleur	Délai exposition-effet
Appel aux services d'urgences	Oui	0-1 jours
Nombre total de primo-passages aux urgences	Oui	0-6 jours
Nombre de primo-passages aux urgences des enfants de moins de 1 an	Oui	0-1 jours
Nombre de primo-passages aux urgences des personnes de 75 ans et plus	Oui	0-1 jours
Passages aux urgences pour hyperthermies	Oui	0-1 jours
Passages aux urgences pour déshydratation	Oui	0-1 jours
Passages aux urgences pour malaise	Oui	0-1 jours
Passages aux urgences pour hyponatrémie	Oui	0-1 jours
Passage aux urgences pour pathologies cardiaques + respiratoires	Oui	Jusqu'à 3 semaines
Passages aux urgences pour pathologies rénales	Oui	Non précisé
Passages aux urgences pour alcoolisme, drogue, dangerosité envers autrui	Oui	Non précisé
Nombre total d'hospitalisations après passage aux urgences	Non précisé	Non précisé
Consultations médicales en urgences	Oui	0-1 jours
Nombre d'appels quotidiens (tous motifs confondus)	Non précisé	Non précisé

2.2.3. Choix des indicateurs

La revue de la littérature indique que de nombreux indicateurs pourraient être utilisés pendant l'alerte, mais l'intérêt de ces indicateurs à des fins d'alerte n'est pratiquement jamais évoqué dans les articles. En Espagne, une étude sur l'évolution des passages aux urgences dans la région de Murcia a conclut au non-intérêt de cet indicateur pour suivre l'impact des vagues de chaleur, leur augmentation étant faible et ne permettant pas d'identifier les groupes à risques [36]. En France, Claessens *et al.* ont proposé un indicateur composite combinant des données des services d'urgence, à savoir le nombre de patients de plus de 70 ans, le nombre de patients avec une température interne de plus de 39 °C, le nombre de passages aux urgences et le nombre de décès aux urgences. Cet indicateur augmente de manière très nette pendant la vague de chaleur de 2003. Cependant, il paraît peu opérationnel à suivre.

En pratique, la liste des indicateurs pertinents est contrainte par deux impératifs :

- la nécessité d'un accès aux données *via* un système rapide, fiable, et présentant une bonne représentativité géographique ;
- la nécessité de réduire le nombre d'indicateurs, compte tenu du faible temps disponible pendant l'alerte pour les valider et les interpréter.

Il s'agit donc de resserrer le nombre d'indicateurs en s'appuyant sur des sources de données permettant un recueil quotidien et automatisé avec une bonne qualité, une bonne réactivité et une bonne stabilité dans le temps. Une revue des systèmes existants a conduit à sélectionner les indicateurs ci-dessous.

Les décès totaux Insee

Les décès totaux sont disponibles *via* l'Insee pour les communes informatisées. Dans le cadre du Sacs, des communes sentinelles ont été identifiées dans chaque département, le plus souvent correspondant aux grandes agglomérations. Le nombre de communes couvertes par région est donc variable.

Ces décès ne constituent pas un bon indicateur pendant l'alerte, du fait du délai nécessaire d'obtention des données (délai de déclaration du décès auquel s'ajoute un délai de saisie et d'envoi à l'Insee par le service d'état civil, soit en moyenne 3 à 4 jours) et du délai de consolidation des données (7 jours en moyenne). Cependant, pendant la vague de chaleur de 2003, une grande partie des décès ont eu lieu au domicile des personnes. Il serait donc dangereux de ne suivre que des indicateurs de recours aux soins, qui pourraient rester stables alors que la situation dégénère par ailleurs. Nous avons donc décidé de conserver cet indicateur, tout en étant conscient des limites de l'interprétation.

On peut noter que les décès par cause ne sont pas encore exploitables en France, la certification électronique étant encore très peu développée dans la plupart des régions (elle représente 5 % des décès France entière).

Quant aux décès hospitaliers, qui représentent environ 70 % des décès, ils seraient plus réactifs et sont disponibles *via* OSCOUR® et *via* les serveurs ARH. Ils constituent un indicateur intéressant complémentaire des passages aux urgences, mais ne permettent pas d'appréhender la situation pour des personnes n'ayant pas eu accès aux soins. Cet indicateur n'est donc pas retenu pour faire l'objet d'analyses systématiques dans le cadre du Sacs, mais sera suivi dans le cadre de la surveillance syndromique.

Les recours à SOS médecin

La collaboration entre l'InVS et SOS Médecins France initiée en décembre 2005 met à la disposition de l'InVS, depuis juillet 2006, les données quotidiennes d'activité des associations SOS Médecins, lui permettant d'assurer une veille sanitaire réactive pour l'alerte. Ce système de surveillance permet de recueillir des données de consultation en médecine générale, en termes de motifs d'appel et, pour certaines zones géographiques, en termes de pathologies diagnostiquées par le médecin au décours de sa visite. Les données sont disponibles en volume d'activité par âge et par sexe. Des données pour motifs d'appels, diagnostics et provenances d'appel sont également disponibles. Elles sont codées selon trois thesaurus validés en 2009 par le conseil scientifique SOS Médecin/InVS.

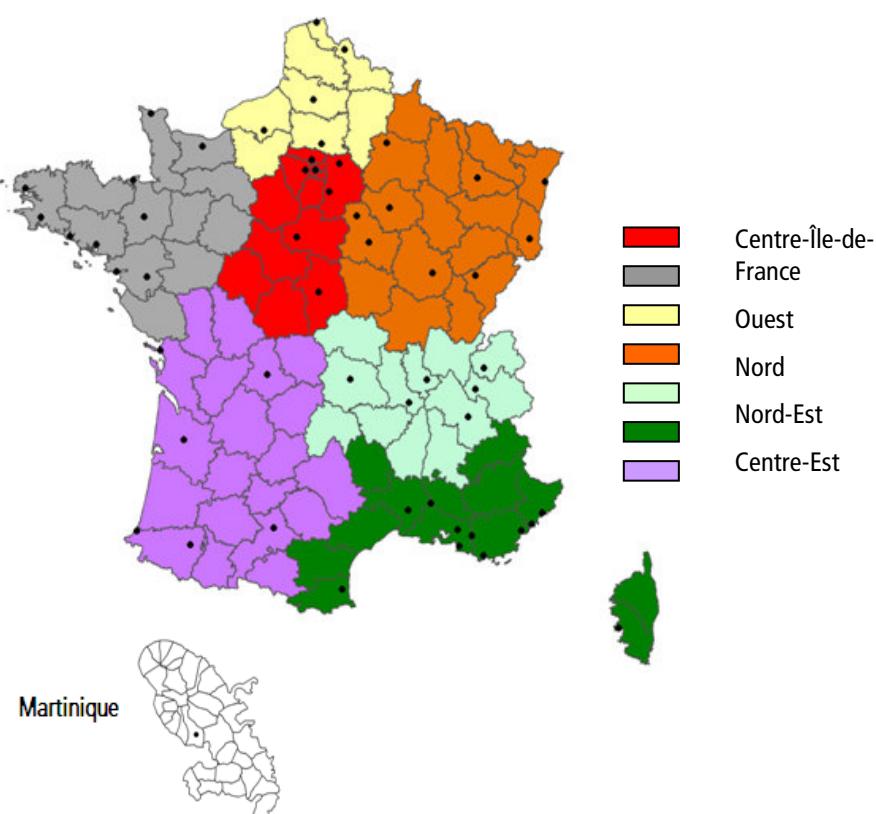
En France métropolitaine, les données sont disponibles pour 58 associations sur 62, inégalement réparties sur le territoire (figure 1). 31 associations participent depuis 2006, 10 depuis 2007, 11 depuis 2008 et 1 depuis 2010.

Pendant l'été, il est particulièrement intéressant de consulter le nombre total d'appels, mais également la répartition des appels par classe d'âge (≥ 75 ans). En 2011, 100 % des motifs d'appel sont codés.

Les diagnostics constituent également un élément d'information important. Cependant, cette information n'est pas toujours disponible. En 2011, 63 % des diagnostics sont codés conformément au thésaurus [45]. Cette information sera donc utilisée au cas par cas selon les données disponibles.

Les données des Samu sont disponibles en nombre total d'affaires traitées, et dans certaines régions en nombre d'affaires médicales traitées et en nombre d'interventions réalisées par le Sdis à la demande du Samu. Cependant, nous avons choisi de ne pas inclure les indicateurs relatifs au Samu et au Sdis de manière obligatoire dans le Sacs, en particulier du fait d'une définition différente de l'indicateur d'un département à l'autre, et du fait de différences de qualité et de complétude des données. Ils pourront être utilisés dans les Cires qui le jugent pertinent.

Figure 1 - Localisations des associations SOS médecins en France métropolitaine participant à SurSaUD® en juin 2011 - InVS – Dcar / SOS Médecins. Dans le cadre de la surveillance syndromique, les données sont regroupées selon les sept zones indiquées sur la carte.



Les passages aux urgences totaux, plus de 75 ans, et pour les pathologies liés à la chaleur

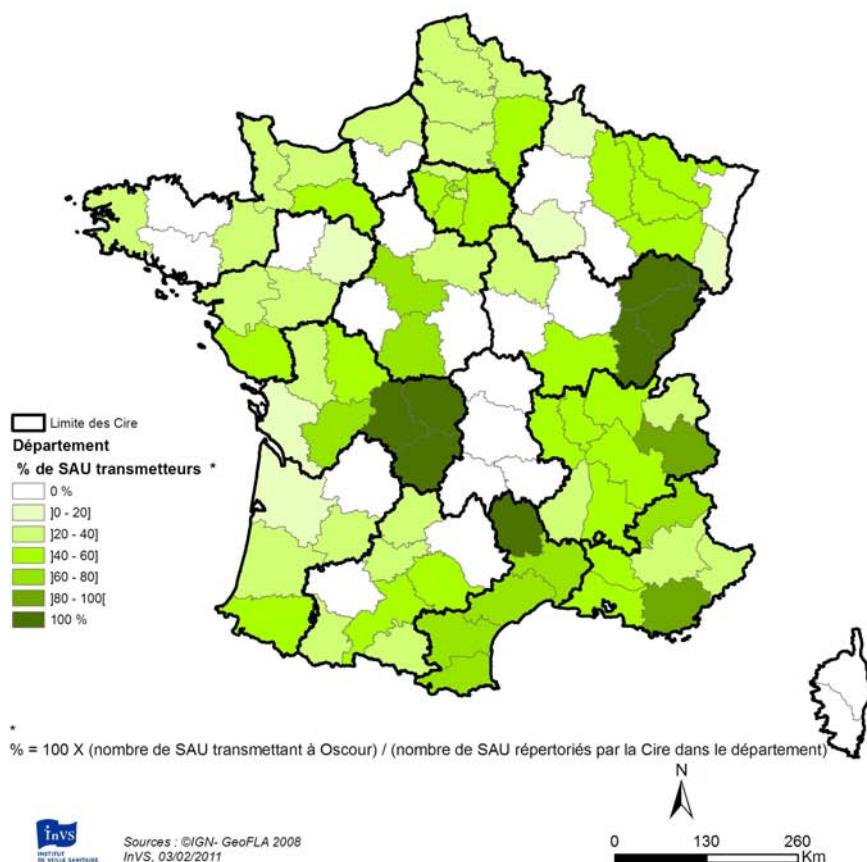
Les passages aux urgences totaux et par classe d'âge sont disponibles dans OSCOUR® ou par les serveurs régionaux de veille et d'alerte (SRVA) des ARH. Les diagnostics réalisés aux urgences sont disponibles dans les données du réseau OSCOUR®. À terme, OSCOUR® deviendrait la source unique de données pour les passages aux urgences. Cependant, certaines régions sont encore mal couvertes par le réseau OSCOUR® (figure2). Il est donc nécessaire de s'appuyer sur les données des SRVA des ARH lorsque les données OSCOUR® sont indisponibles ou insuffisantes.

Les indicateurs retenus sont : le nombre de passages totaux, et le nombre de passages des plus de 75 ans qui sont les personnes les plus vulnérables à la chaleur, disponibles dans l'ensemble des départements *via* OSCOUR® ou *via* les serveurs ARH (dans le cas des serveurs ARH il s'agit du nombre de primo-passages).

Les passages aux urgences pour les moins d'1 an ne sont pas retenus comme aide à la décision pendant l'alerte, compte tenu du faible impact observé en 2003 et 2006 sur cette population, et du faible impact rapporté dans la littérature. Cet indicateur ne sera donc pas analysé systématiquement, mais sera suivi dans le cadre de la surveillance syndromique.

Concernant les passages par cause disponibles dans les établissements participant à OSCOUR®, il a été décidé de se concentrer sur les pathologies spécifiques des vagues de chaleur (hyperthermies, déshydratations et hyponatrémies), en les sommant pour obtenir des effectifs plus importants. Il faut souligner que les données OSCOUR® sont par ailleurs analysées par le Département de la coordination des alertes et des régions (Dcar) dans le cadre de la surveillance syndromique, avec un périmètre plus large que Sacs, et qu'il est possible d'étendre l'analyse à d'autres regroupements de diagnostics si des remontées d'informations indiquent un possible problème.

Figure 2 – Disponibilités des données dans OSCOUR® en 2011 : pourcentage d'établissements transmettant les données dans le département (situation au 1^{er} février 2011).



2.2.3. Interprétation des indicateurs

Pendant une vague de chaleur, ces indicateurs seront analysés selon les méthodes statistiques décrites précédemment : méthode des limites historiques quand l'antécédent des données est suffisant, méthode basée sur une carte de contrôle quand on ne dispose pas d'historique. Une alarme statistique sur un indicateur doit initier une investigation par la Cire afin de vérifier le signal. L'information validée sera transmise *via* la fiche d'alerte, afin de moduler les mesures mises en place, et éventuellement de prolonger le Miga au-delà de l'alerte météorologique. De même, après plusieurs jours de chaleur ne remplies pas les critères du Sacs, une alarme statistique validée sur un indicateur d'un point de vue épidémiologique peut conduire à proposer une alerte.

Il est également intéressant d'identifier des situations où l'indicateur a une tendance à la hausse, sur plusieurs jours consécutifs, sans toutefois dépasser le seuil d'alarme, c'est-à-dire de prendre en compte des seuils intermédiaires.

Enfin, des signaux simultanés (alarme ou tendance) sur plusieurs indicateurs ou plusieurs jours consécutifs peuvent indiquer une évolution négative de la situation et doivent faire l'objet d'une attention particulière.

Cette procédure est soumise à plusieurs ajustements dépendant des caractéristiques locales. Ainsi, le niveau d'analyse géographique peut-être modulé par des considérations de représentativité géographique. Par exemple, pour un même département, les établissements situés sur le littoral peuvent être impactés différemment des établissements situés dans l'arrière-pays, du fait d'une chaleur plus intense. Les données de fréquentations aux urgences et de recours aux soins peuvent également être soumises à des variations liées à une modification de l'offre de soin pendant les vacances, à des jours fériés, ou à des évènements touristiques. Certaines périodes peuvent être considérées comme exceptionnelles et retirées de l'analyse (par exemple, en Ile-de-France, ne pas utiliser les données de 2009 dans les périodes de référence, car elles sont impactées par la gestion de l'épidémie de grippe A(H1N1)). L'appréciation de l'ensemble de ces éléments est du ressort de l'épidémiologiste en Cire.

2.3. Illustration sur les vagues de chaleurs passées

2.3.1. La vague de chaleur de 2009

En 2009, une période de chaleur a été identifiée à partir du 16 août, avec passage en Miga du département du Rhône (69). Les départements de la Drôme (26), de l'Ardèche (07), de la Haute-Garonne (31), du Tarn (81) et du Tarn-et-Garonne (82) ont été définis en Vigie le 16 août (proximités des seuils d'alerte). À partir du 18 août, des Miga ont été déclenchés dans l'Ardèche (07), la Drôme (26), le Vaucluse (84), le Tarn (81), la Haute-Garonne (31) et le Tarn-et-Garonne (82). Plusieurs départements voisins étaient en Vigie (figure 3). Toutes les alertes ont été levées le 20 août 2009, sauf pour le Vaucluse (84), maintenu en Vigie pour 24h supplémentaires, en raison de températures restant élevées.

Nous avons repris cet évènement *a posteriori* pour tester nos indicateurs et les méthodes statistiques proposées. En 2009, on disposait de suffisamment d'historique pour utiliser la méthode des limites historiques pour les passages aux urgences totaux, passages aux urgences des plus de 75 ans et décès Insee pour la majorité des départements étudiés. En complément, la méthode des cartes de contrôle a été utilisée pour le Rhône, le Vaucluse et la Haute-Garonne, afin de comparer les résultats obtenus par les deux méthodes.

Dans le Rhône, selon la méthode des limites historiques, aucune alarme statistique pouvant être reliée à la chaleur n'a été observée sur les indicateurs pendant le mois d'août 2009.

En Ardèche, dans le Tarn, le Tarn-et-Garonne et dans la Drôme, des alarmes isolées sont observées sur certains indicateurs, sur des jours où les températures ne sont pas inhabituellement élevées. Ces alarmes peuvent donc s'expliquer par les variations aléatoires ou par une autre cause que la chaleur.

Dans le Tarn et le Tarn-et-Garonne, des alarmes sont observées les 21 ou 22 août, soit un à deux jours après la levée de l'alerte, alors que les températures ont déjà diminué.

Dans le Vaucluse, plusieurs alarmes statistiques ont été identifiées sur l'indicateur de passages aux urgences, pendant le mois d'août, pendant des périodes où les températures minimales sont relativement élevées. Des alarmes ont été observées sur l'indicateur de passages aux urgences des plus de 75 ans et sur l'indicateur de décès le 18 août uniquement. Sur la base des IBMmin élevés, des IBMmax proches des seuils et des éléments sur l'indicateur de passages aux urgences (figure 4), le Miga aurait put être déclenché à partir du 12 ou du 15 août.

Les conclusions obtenues avec les deux méthodes statistiques (cartes de contrôles et limites historiques) sont globalement cohérentes, mais l'absence de signaux forts pendant cette vague de chaleur ne permet pas une comparaison formelle des résultats.

Ainsi, en 2009, les indicateurs suivis n'identifient pas d'impact net pendant la période d'alerte, ce qui ne signifie pas par ailleurs que l'alerte a été inutile.

Figure 3 - Propositions de Miga et de Vigie le 18 août 2009 (issues de l'analyse des dépassements de seuils biométéorologiques)

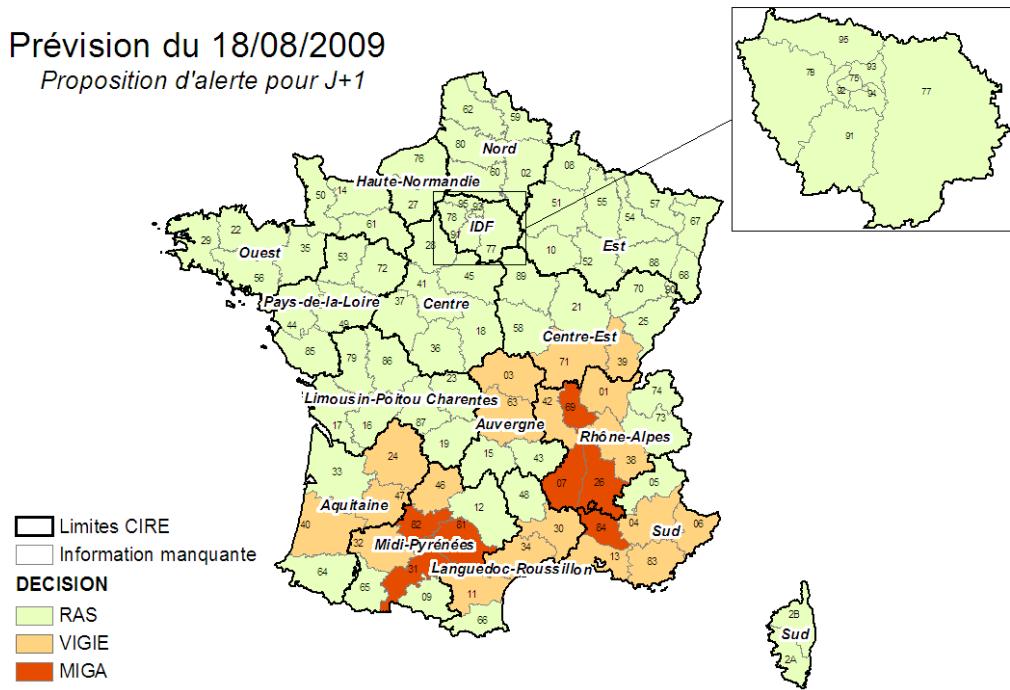
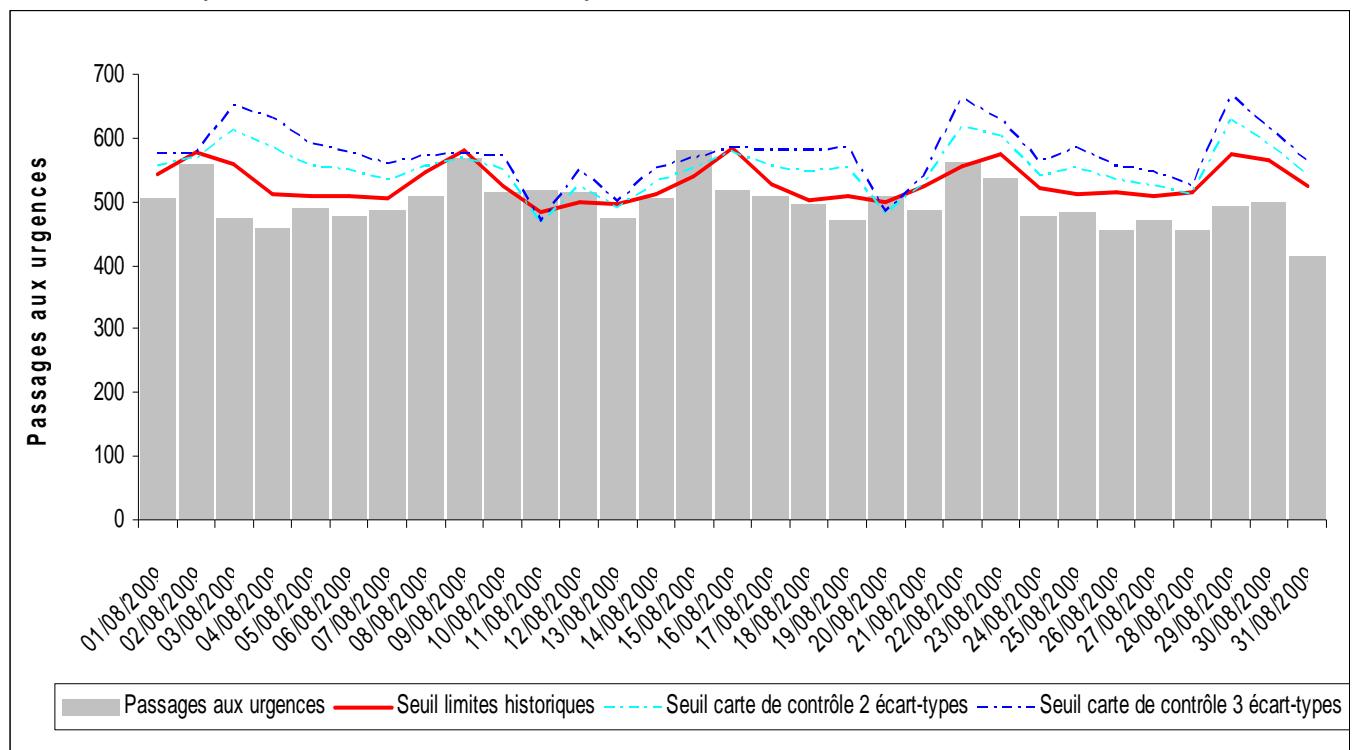


Figure 4 - Évolution des passages aux urgences dans le Vaucluse (84) entre le 1^{er} et le 31 août 2009, et seuils d'alarme calculés par la méthode des limites historiques et des cartes de contrôle



2.3.2. La vague de chaleur de 2006

En juillet, 2006, une vague de chaleur a frappé l'ensemble du pays. Plusieurs départements ont été placés en Miga, pour des durées parfois très longues (>20 jours) (figure 5). Afin de comparer avec 2009, nous nous sommes concentrés sur les départements de l'Indre-et-Loire (37), du Rhône (69), du Vaucluse (84), de Paris (75), de la Haute-Garonne (31), de l'Hérault (34) et des Bouches-du-Rhône (13).

Plusieurs alarmes statistiques ont été déclenchées pendant les périodes de Miga. Compte tenu de la durée de l'événement, des Miga avaient été volontairement prolongés pour faire le pont entre deux épisodes de chaleur. Il est donc difficile d'estimer comment ces alarmes statistiques auraient été interprétées en opérationnel pendant l'alerte.

Ainsi, dans les Bouches-du-Rhône, plusieurs alarmes coïncidant avec des épisodes de températures tangentes aux seuils ont été observées pour les passages aux urgences totaux (figure 7), les passages aux urgences des plus de 75 ans (figure 8) et les décès (figure 9). Toutes ces alarmes correspondent à des périodes où le Miga était en place. Les effectifs des différents indicateurs restent modérés, mais l'existence d'alarmes sur les trois indicateurs simultanément indique un impact possible de la chaleur. Une situation similaire est observée dans l'Hérault et dans le Rhône, avec des alarmes statistiques sur plusieurs indicateurs pendant les périodes de Miga. Dans le Rhône, des alarmes sont observées sur l'indicateur de passages aux urgences des plus de 75 ans pendant 5 jours consécutifs entre le 22 et le 27 juillet, au plus fort de la vague de chaleur (figure 10). Une situation similaire est observée en Indre-et-Loire et dans une moindre mesure (3 jours consécutifs) en Ile-de-France. L'indicateur de passages aux urgences pour motifs liés à la chaleur n'était disponible que pour Paris. Il déclenche plusieurs alarmes consécutives pendant les périodes d'alerte, avec toutefois des effectifs faibles (de 0 à 12 cas par jour, à comparer aux 1 200 passages totaux en moyenne), pour lesquels les méthodes statistiques ne sont pas pertinentes (figures 11 et 12).

En Haute-Garonne, quelques alarmes sont observées, soit hors période de températures élevées, soit pendant les périodes de Miga.

On voit également sur ces exemples que les seuils définis par les cartes de contrôles sont globalement plus élevés que ceux définis par les limites historiques, avec une capacité moindre à détecter de faibles signaux. Ainsi, les alarmes sur l'indicateur de passages aux urgences des plus de 75 ans n'auraient pas été détectées aussi souvent avec la méthode des cartes de contrôle.

En conclusion, plusieurs alarmes statistiques ont été déclenchées pendant cette vague de chaleur, considérée comme la plus intense après celle de 2003. Elles correspondaient pour la plupart à des périodes de Miga, et n'auraient donc pas servi à modifier les propositions d'alertes. Elles auraient par contre pu être utiles pour argumenter les fiches d'alerte.

Figure 5 - Départements en Miga pendant le mois de juillet 2006

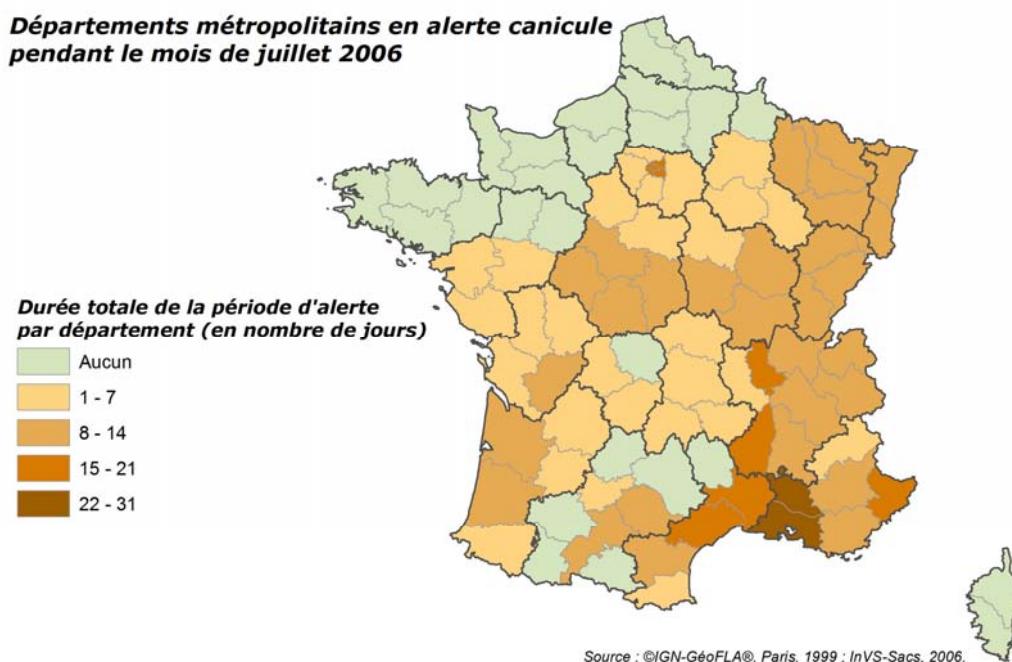


Figure 6 - IBMmin et IBMmax observés dans les Bouches-du-Rhône (13) entre le 1^{er} et le 29 août 2009

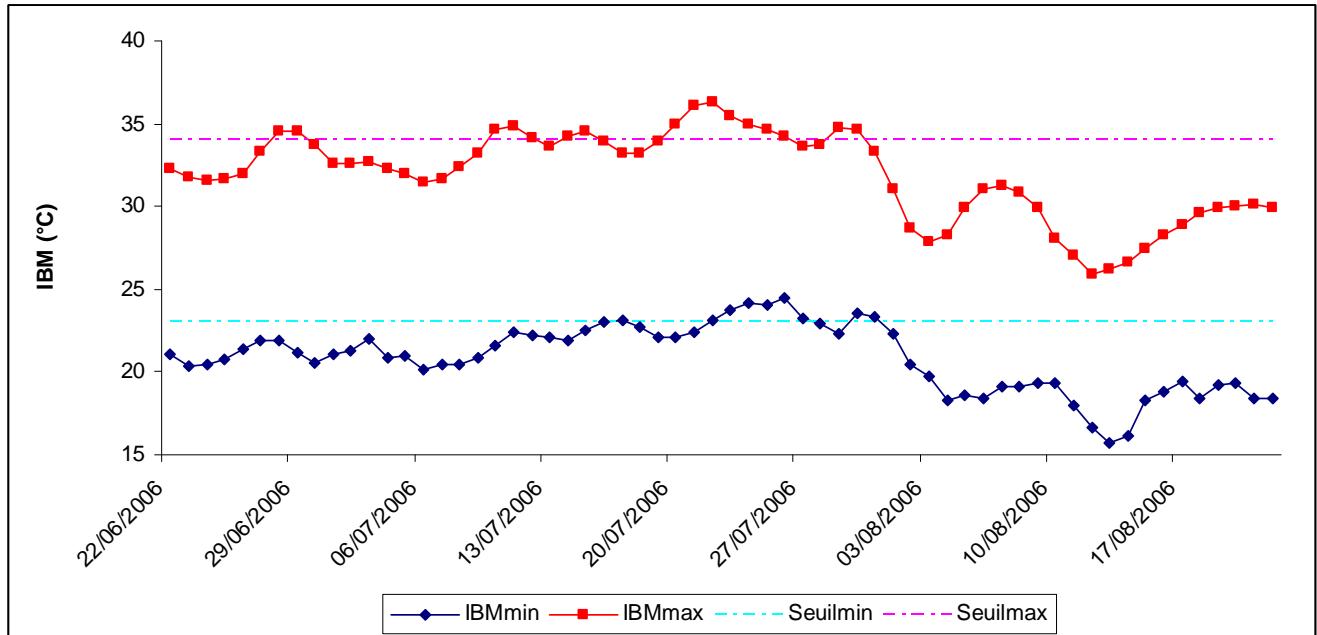


Figure 7 - Évolution des passages aux urgences dans les Bouches-du-Rhône (13) entre le 22 juin et le 22 août 2006, et seuils d'alarme calculés par la méthode des limites historiques et des cartes de contrôle

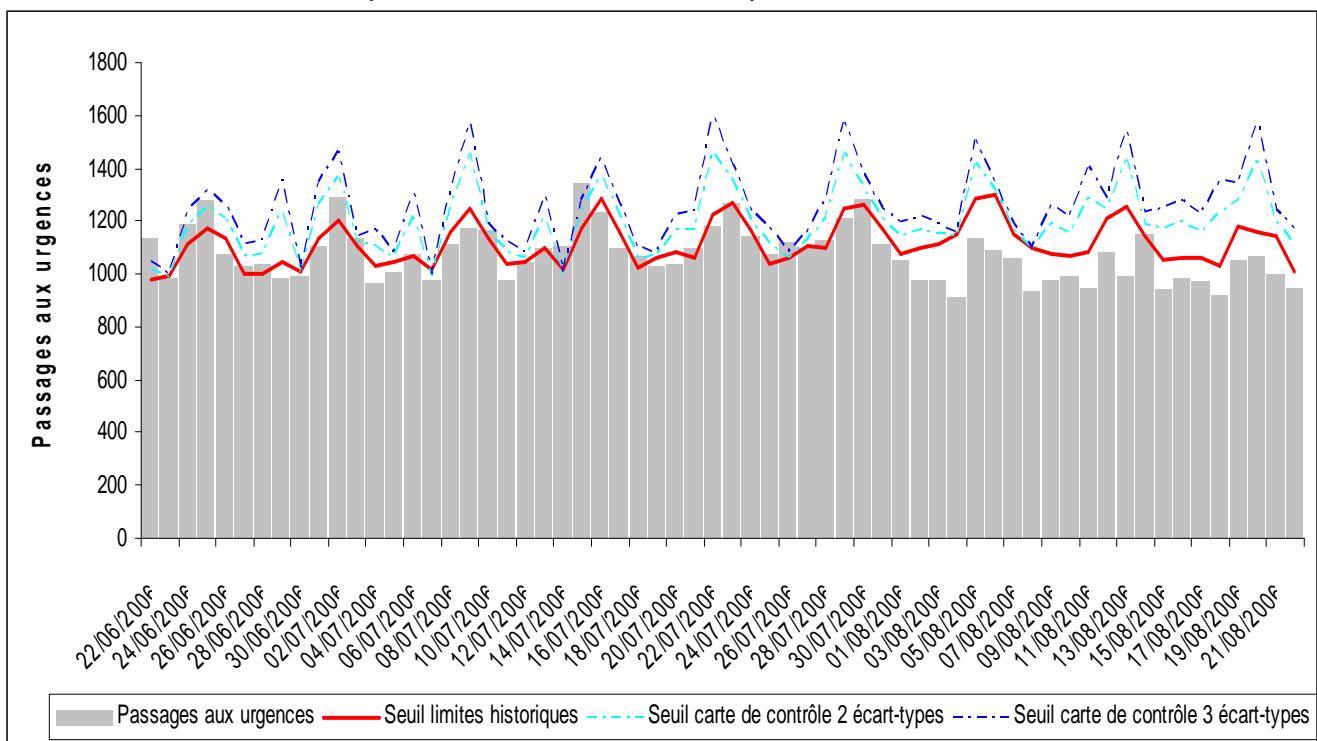


Figure 8 - Évolution des passages aux urgences des plus de 75 ans dans les Bouches-du-Rhône (13) entre le 22 juin et le 22 août 2006, et seuils d'alarme calculés par la méthode des limites historiques et des cartes de contrôle

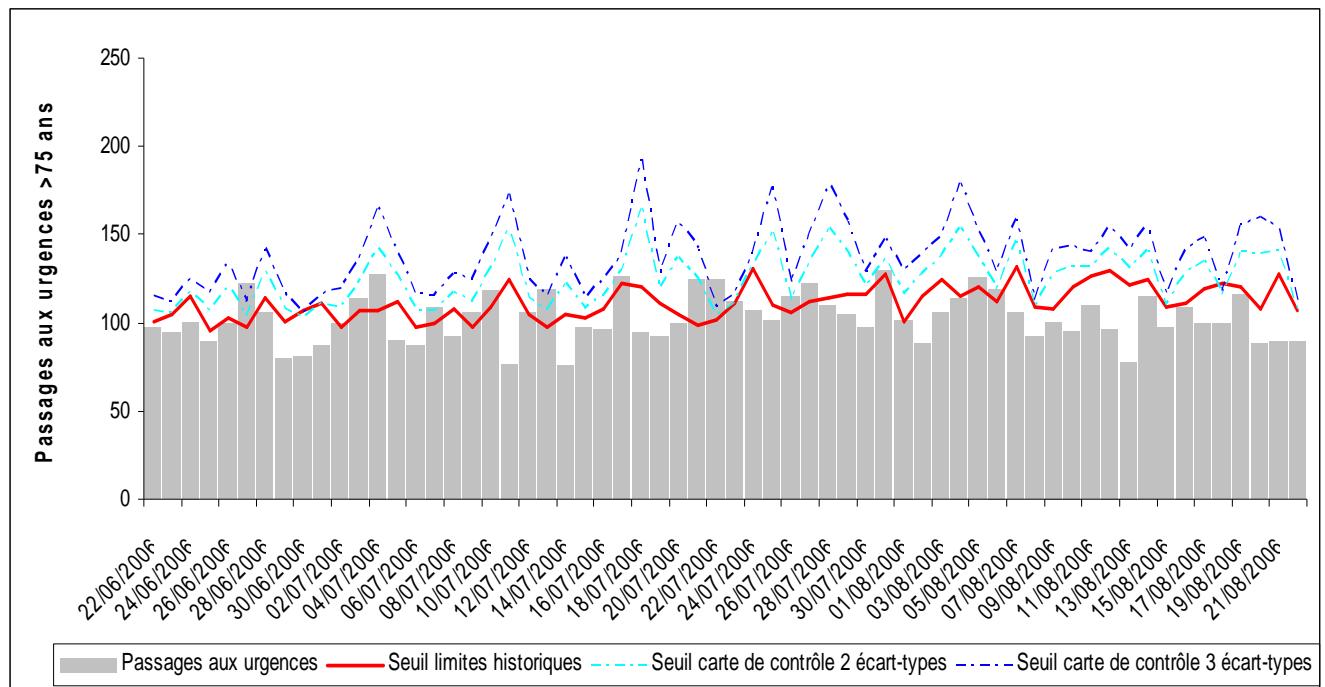


Figure 9 - Évolution des décès dans les Bouches-du-Rhône (13) entre le 22 juin et le 22 août 2006, et seuils d'alarme calculés par la méthode des limites historiques et des cartes de contrôle

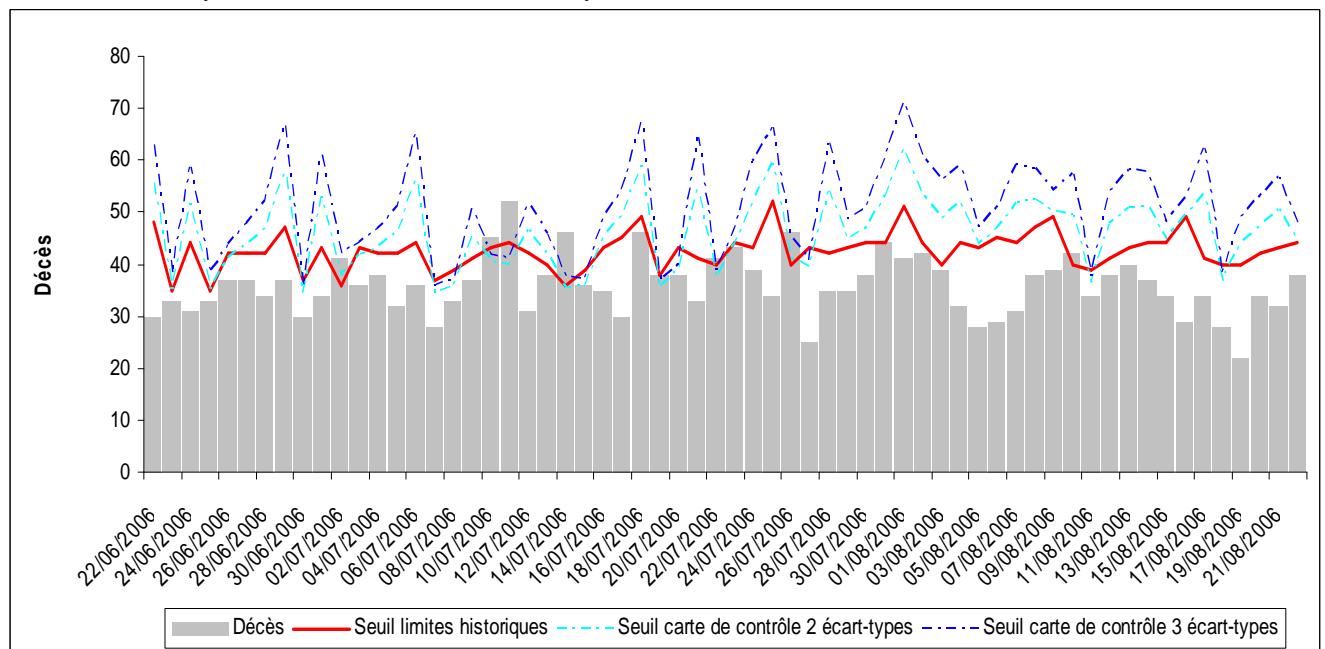


Figure 10 - Évolution des passages aux urgences de plus de 75 ans dans le Rhône (69) entre le 22 juin et le 22 août 2006, et seuils d'alarme calculés par la méthode des limites historiques et des cartes de contrôle

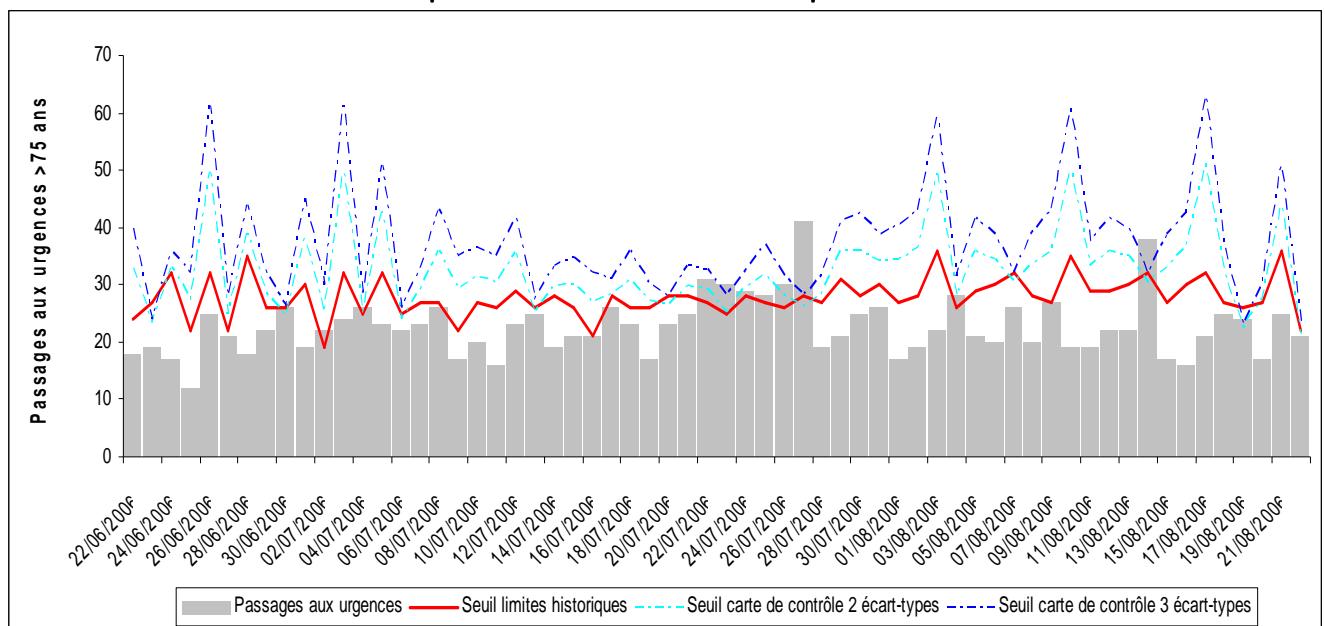


Figure 11 - Évolution des passages aux urgences à Paris (75) entre le 22 juin et le 22 août 2006, et seuils d'alarme calculés par la méthode des limites historiques et des cartes de contrôle

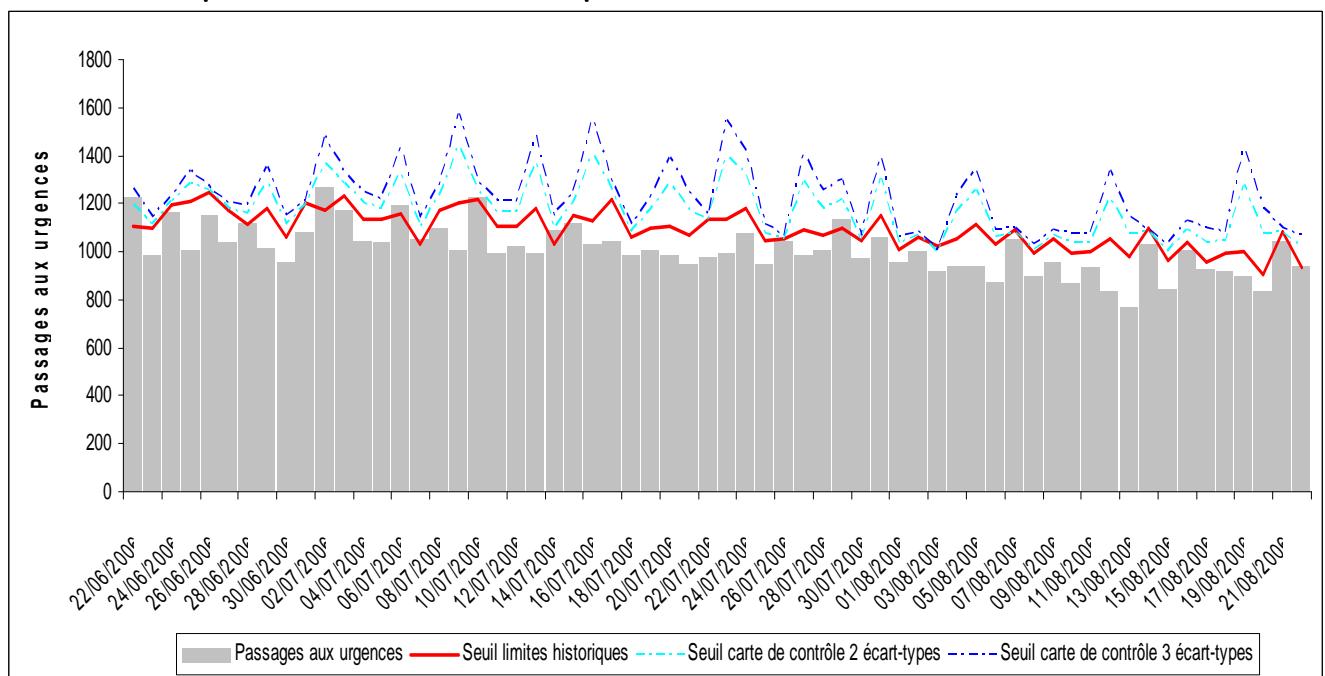
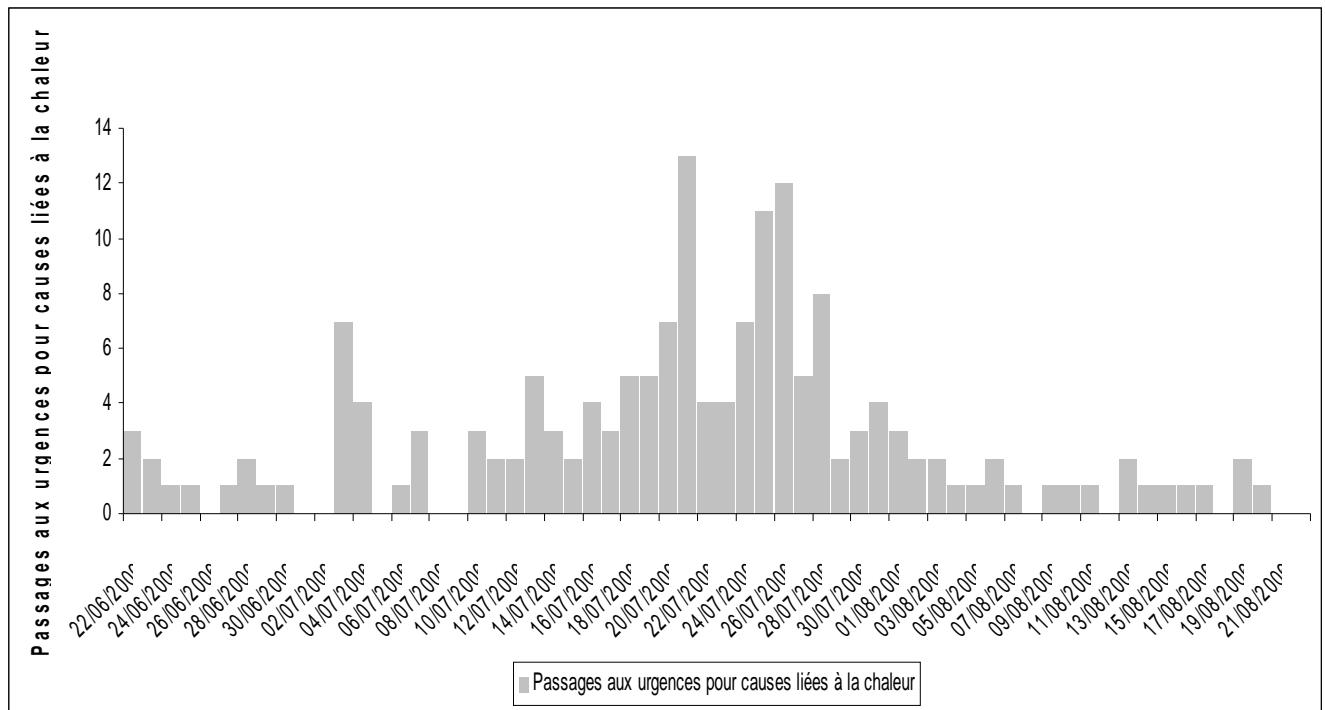


Figure 12 - Évolution des passages aux urgences pour causes liées à la chaleur à Paris (75) entre le 22 juin et le 22 août 2006



2.3.3. La vague de chaleur de 2005

En 2005, les niveaux du PNC étaient différents, le niveau le plus élevé étant le niveau 3 (équivalent au Miga actuel). Plusieurs départements ont été placés en niveau 3 entre le 20 et le 30 juin 2005. Les températures enregistrées étaient exceptionnelles pour un mois de juin, sans toutefois atteindre les seuils du Sacs, en particulier dans la région Rhône-Alpes. Une analyse de l'impact de la vague de chaleur dans ces départements n'avait pas mis en évidence d'augmentation nette de la mortalité. Les indicateurs de morbidité (passages aux urgences, appels Samu et activité Sdis avaient augmenté de façon modérée pendant la vague de chaleur dans certains départements (figure 13) [44].

À titre d'illustration, nous avons choisi de nous concentrer sur le Vaucluse. Ce département a été placé en niveau 2 (prévision de dépassement des seuils dans les 3 jours à venir) du 22 au 28 juin 2005. Nous avons repris les indicateurs disponibles dans le Vaucluse pour juin 2005, qui n'ont pu être analysés qu'avec la méthode des cartes de contrôle, compte tenu du manque de recul historique disponible. L'indicateur met en évidence le déclenchement de quelques alarmes statistiques pendant cette période (figure 14).

En 2005, les données étaient collectées du 1^{er} juin au 31 août. Les cartes de contrôle nécessitant trois semaines d'antériorité, elles ne peuvent être appliquées qu'à partir du 22 juin. On ne dispose donc d'aucune information dans les jours précédant le début de la période de chaleur. Deux alarmes statistiques ont été déclenchées pendant la période de niveau 3 sur l'indicateur de passages aux urgences, et une pour l'indicateur de passages aux urgences des plus de 75 ans. Ces alarmes sont déclenchées au début de l'épisode.

Figure 13 - Impact de la vague de chaleur de 2005 sur la morbidité dans les départements étudiés [44]

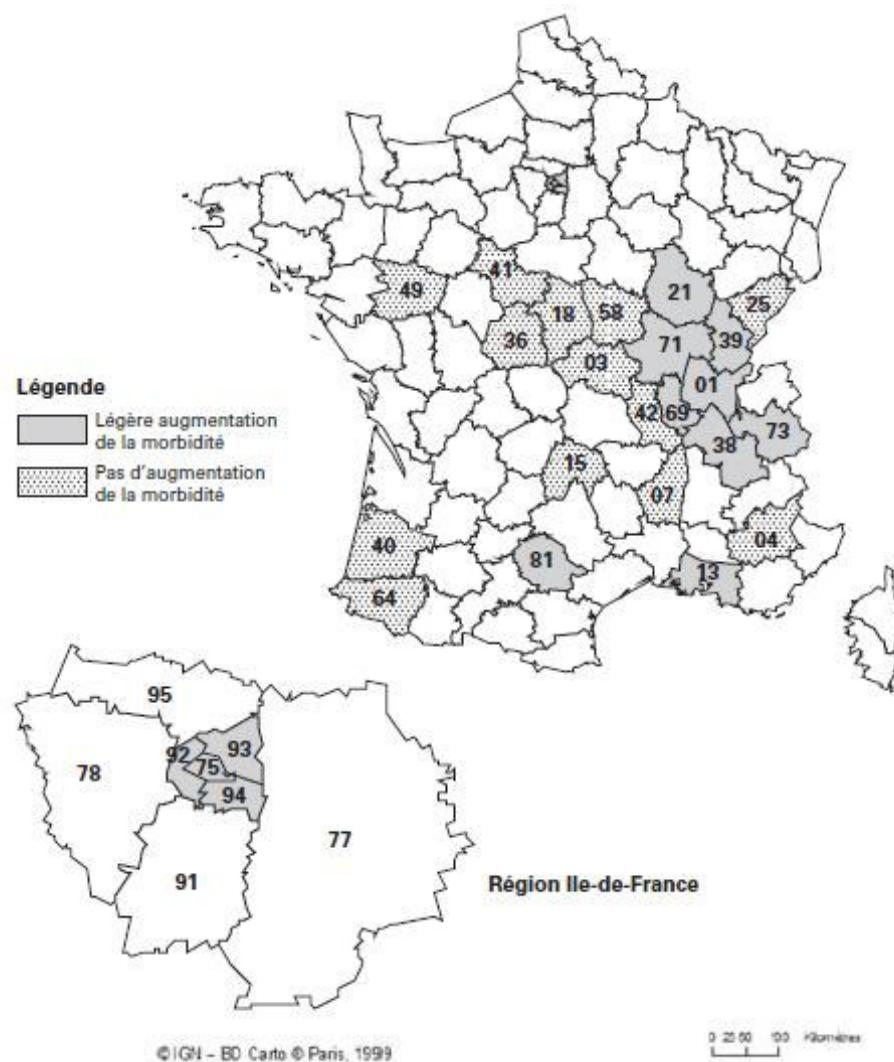
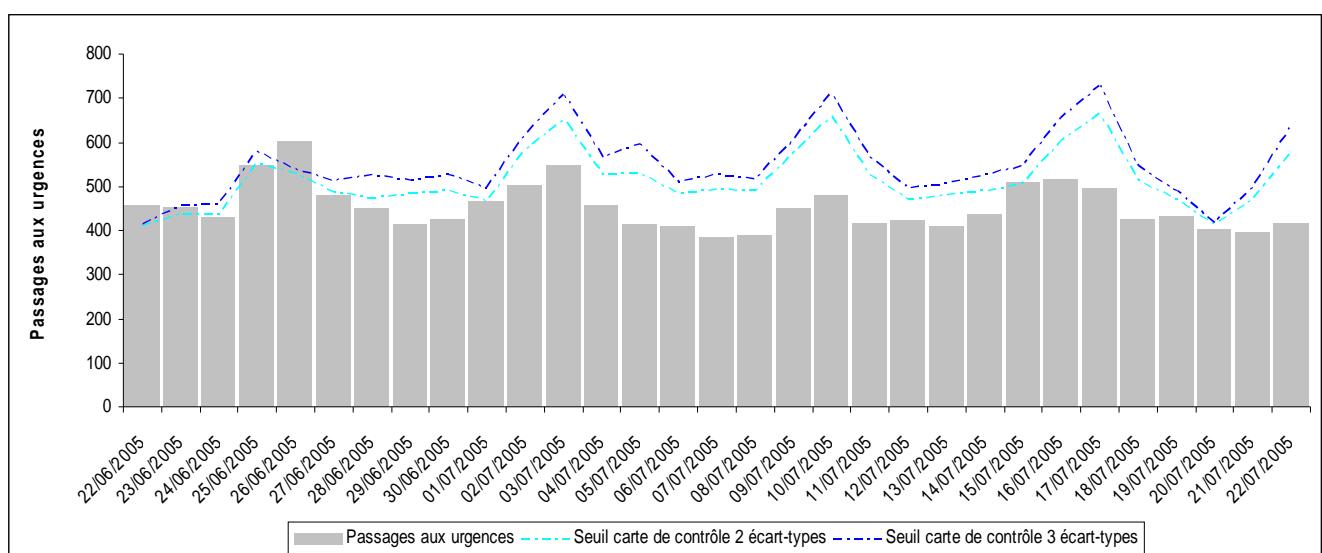


Figure 14 - Évolution des passages aux urgences dans le Vaucluse (84) entre le 22 juin et le 22 juillet 2005, et seuils d'alarme calculés par la méthode des cartes de contrôle



2.4. Synthèse sur l'apport de l'analyse des indicateurs sanitaires pendant l'alerte

Le système d'alerte canicule et santé s'appuie sur les indicateurs météorologiques, analysés selon des règles prédéfinies entre Météo-France et l'InVS. Ce système d'alerte météorologique permet d'anticiper les vagues de chaleur et de proposer des mesures de gestion avec en moyenne 24 à 72h d'avance. Les seuils d'alerte ont été choisis de manière à identifier les évènements les plus graves, pour lesquelles le déploiement de moyens conséquents est nécessaire. La carte de vigilance de Météo-France sert de relais pour informer le public sur les situations de gravité moindre (durée courte ou vague de chaleur peu intense), mais qui nécessitent des comportements adaptés (niveau jaune de la carte de vigilance). Le système d'alerte est également organisé de manière flexible, avec de nombreux espaces de dialogues entre l'InVS et Météo-France, afin de pouvoir s'adapter à des situations météorologiques ou sanitaires inhabituelles.

Il est peu probable qu'une vague de chaleur posant un risque pour la santé ne soit pas détectée par ce système d'alerte météorologique. Depuis 2004, l'analyse des indicateurs sanitaires n'a jamais conduit à une modification de la réponse engagée.

Dans ce cadre, les indicateurs sanitaires sont utiles pour identifier un impact sanitaire pendant une vague de chaleur, afin d'adapter si besoin les mesures de gestion, et pour aider à la décision pour maintenir ou lever une alerte. Ils doivent être compris comme des indicateurs d'aide à la décision recueillis et analysés en temps quasi-réel. Cette rapidité d'analyse impose des limites à leur interprétation, les données pouvant parfois demander plusieurs jours pour être consolidées. Leur étude ne se substitue pas non plus à des analyses postévenement plus approfondies qui permettraient de vérifier des hypothèses sur la dynamique de la relation chaleur-santé.

Ainsi, nous avons choisi de restreindre le nombre des indicateurs à suivre pendant l'alerte, en favorisant les indicateurs les plus faciles à recueillir, pour lesquels la qualité des données a été jugée satisfaisante, et qui présentent autant que possible des effectifs importants. Il s'agit des décès totaux Insee, des recours à SOS médecins, et des passages aux urgences totaux, plus de 75 ans, et pour les pathologies liées à la chaleur.

En cas d'alerte, ces indicateurs seront analysés par les Cire, en prenant en compte les caractéristiques géographiques, populationnelles et contextuelles pertinentes aux niveaux départemental et régional. Afin d'aider à l'analyse, nous proposons deux méthodes statistiques pour la détection d'évènements inhabituels :

- la méthode des limites historiques, si les données nécessaires pour le calcul sont disponibles (environ 2 ans) ;
- une méthode basée sur le principe des cartes de contrôle, lorsqu'on n'a pas l'historique nécessaire.

Ces méthodes ont pour objectif le déclenchement « d'une alarme statistique » traduisant pour un jour ou une période donnée, une modification de l'amplitude de l'indicateur analysé. L'alarme statistique peut être due à la qualité de la donnée ou à un réel évènement sanitaire. Pendant un niveau Miga, en l'absence d'alarme statistique sur l'ensemble des indicateurs surveillés, l'alerte sera levée lorsque les températures indiqueront la fin de l'épisode de chaleur (les indicateurs biométéorologiques repassent sous les seuils d'alerte). Si une alarme statistique est observée sur au moins un indicateur parmi ceux analysés, elle devra être validée auprès des sources de données afin d'exclure l'effet d'une donnée erronée, et une discussion aura lieu pour juger de la nécessité de maintenir l'alerte au-delà de l'épisode de chaleur, et éventuellement de renforcer les mesures du PNC.

Enfin, hors niveau Miga, en cas de doute sur la nécessité de lancer une alerte, si la chaleur dure depuis déjà plusieurs jours et qu'une alarme statistique est observée sur les indicateurs, une discussion aura lieu pour juger de la nécessité de proposer l'alerte.

Il est par ailleurs important d'avoir une vision large de la surveillance afin de pouvoir identifier des signaux inattendus, hors procédure, mais qui pourraient être liés aux vagues de chaleur et nécessiteraient une investigation rapide. Des liens forts sont donc établis avec le système de surveillance syndromique, la veille internationale, et l'ensemble des partenaires de l'InVS.

3. L'estimation de l'impact sanitaire après l'alerte

Au-delà du suivi de l'impact en temps réel, il est important de quantifier l'impact de la vague de chaleur une fois l'alerte terminée, en travaillant sur des données stabilisées. La littérature indique que les vagues de chaleur ont un impact significatif sur la mortalité, alors que peu d'études se sont intéressées à la morbidité. La surmortalité totale est considérée comme un bon indicateur de l'impact des vagues de chaleur, les pathologies spécifiquement liées à la chaleur (hyperthermie, déshydratation) ne constituant qu'une part de l'impact total, et étant par ailleurs souvent sous-déclarées [23].

Dans un premier temps, il paraît pertinent de mettre en place un indicateur simple et standardisé de suivi de l'impact des vagues de chaleur telles que définies par le Sacs. Cet indicateur ne se substituerait pas à des études épidémiologiques, mais permettrait :

- de faire un premier bilan rapide d'une vague de chaleur après l'été ;
- d'identifier les évènements pouvant faire l'objet d'études plus approfondies ;
- de comparer l'impact des vagues de chaleur au cours du temps, et d'en tirer des hypothèses pour des études plus approfondies.

Pour cela, nous proposons une méthode simple et rapide à mettre en œuvre, que nous avons appliquée à titre d'exemple à différentes vagues de chaleur identifiées dans plusieurs villes françaises.

Concernant la morbidité, au-delà des analyses descriptives qui peuvent être faites à partir des indicateurs précédents, il nous paraît important de développer une meilleure compréhension de la relation morbidité – température. Ainsi, avant de développer un indicateur standardisé d'impact, il sera nécessaire de conduire des analyses en séries temporelles, dès que les données seront disponibles en quantité et en qualité suffisante.

3.1. Méthode

3.1.1. Zones et période d'étude

L'échelle urbaine a été choisie dans un premier temps, la littérature montrant un impact plus important dans les zones urbaines. Il est donc proposé d'utiliser les données de mortalité non accidentelle à l'échelle de la commune. Cependant, la méthode présentée ici peut également s'appliquer à une échelle géographique départementale.

Le pic de mortalité apparaît habituellement entre un et trois jours après le pic de température [18,23,46]. Des effets à plus long terme peuvent apparaître, en particulier pour la mortalité cardiovasculaire (jusqu'à six jours) et respiratoire (jusqu'à 14 jours) [47]. Un effet moisson peut également être observé [47,48]. Cependant, pour faciliter l'interprétation et la comparaison entre villes, il a été décidé de se concentrer sur l'impact à court terme. La période d'étude est donc définie comme une vague de chaleur +3 jours, la vague de chaleur elle-même étant définie selon les critères du Sacs (dépassement simultané des seuils d'alerte pour les IBM minimaux et maximaux), en utilisant des données météorologiques observées afin de s'affranchir des erreurs de prévision.

3.1.2. Calcul de la surmortalité

- Méthode rapide d'estimation de la surmortalité

La surmortalité pendant la période d'étude est définie comme la différence entre la mortalité observée et une mortalité de référence, calculées sur les N années précédentes.

Pour une vague de chaleur l'année n, s'étendant des jours j à j+k, la surmortalité est définie comme :

$$S_{nN} = \sum_{i=j}^{j+k+3} Y_{in} - \frac{1}{N} \sum_{a=n-N}^{n-1} \sum_{i=j}^{j+k+3} Y_{ia}$$

Où S_{nN} est la surmortalité associée à la vague de chaleur

N est le nombre d'années utilisées pour le calcul de la mortalité de référence

K est la durée de la vague de chaleur en jour

Y_{in} est la mortalité observée le jour i de l'année n

Si des vagues de chaleur sont identifiées dans la période de référence, elles sont exclues du calcul de la mortalité de référence.

La mortalité variant peu selon le jour de la semaine, il n'est pas nécessaire d'ajuster ces calculs sur le jour de la semaine.

Nous proposons de calculer S pour différentes valeurs de N, entre 1 et 5, ce qui permet de fournir une fourchette de l'impact (minimum et au maximum des valeurs obtenues), et sa moyenne :

$$\text{Moyenne}(S_{n1}, S_{n2}, S_{n3}, S_{n4}, S_{n5}) [\text{Min}(S_{n1}, S_{n2}, S_{n3}, S_{n4}, S_{n5}) ; \text{Max}(S_{n1}, S_{n2}, S_{n3}, S_{n4}, S_{n5})]$$

Cette méthode est supposée donner une estimation rapide de l'impact d'une vague de chaleur.

- Méthode d'estimation de la surmortalité utilisant un modèle additif généralisé (GAM)

À titre de comparaison, nous proposons de prendre en compte les évènements temporels (tendance et saisonnalité) comme facteurs de confusion dans le calcul de la surmortalité, à l'aide d'une méthode basée sur l'analyse de séries temporelles. Ces analyses ont été conduites sur Paris, Marseille, Lyon, Nantes, Strasbourg et Limoges. Pour chacune des six villes étudiées, un modèle de prédiction a été construit. Ce modèle prédit le nombre de décès journaliers à partir des paramètres météorologiques et permet d'estimer la surmortalité journalière liée aux conditions météorologiques. La vague de chaleur de 2003 a été exclue des données pour la construction des modèles.

Il faut souligner qu'il ne s'agit pas d'un modèle de référence, mais d'une estimation supplémentaire de la surmortalité pendant la vague de chaleur.

La modélisation du nombre journaliers de décès à partir des températures se base sur un modèle additif généralisé (GAM) avec une distribution poissonienne de la mortalité. Le compte journalier de décès a été régressé sur les températures, en contrôlant la tendance à long terme, les variations saisonnières et un effet « jour de la semaine ». Nous avons introduit dans le modèle les températures minimales et maximales sur plusieurs décalages simultanément (température du jour, mais aussi des jours précédents). Les variations saisonnières et les températures ont été modélisées à l'aide de fonctions splines pénalisées. Les données de pollution atmosphérique n'étant pas disponibles sur l'ensemble de la période, elles n'ont pas été prises en compte dans le modèle.

La surmortalité journalière estivale liée aux températures, a été estimée en comparant l'effectif des décès prédits à partir des températures observées le jour même et les jours précédents, à l'effectif des décès « attendu » si les températures étaient égales aux moyennes des températures observées pendant les périodes estivales de 1973 à 2006.

3.2. Comparaison des surmortalités estimées par la méthode d'estimation rapide et par le modèle GAM

Les surmortalités estimées par les modèles et par la simple comparaison avec les années précédentes sont présentées dans le tableau 6 pour les vagues de chaleur observées entre 1973 et 2006. On note dans l'ensemble une bonne cohérence entre les résultats estimés par les deux méthodes, avec généralement une estimation de la surmortalité plus élevée avec la comparaison des moyennes qu'avec le GAM. Les plus grandes discordances concernent plutôt des vagues de chaleur courtes et peu intenses. En 2003, les modèles GAM sous-estiment systématiquement l'impact de la vague de chaleur. Ceci s'explique par le fait que la vague de chaleur de 2003 a été exclue de la construction des modèles. La vague de chaleur était caractérisée par un emballement de la mortalité, qu'il aurait fallu modéliser avec un terme supplémentaire, permettant d'ajouter un « effet vague de chaleur » à l'effet de la température [49]. De même, les différences observées en 2006 peuvent traduire une modification de la réponse après 2003, qui se traduirait par une moins bonne adéquation du modèle sur cette période. La méthode proposée permet donc *a priori* d'obtenir un ordre de grandeur réaliste de l'impact d'une vague de chaleur, et d'identifier rapidement les épisodes pour lesquelles une investigation plus poussée serait nécessaire.

3.3. Application aux vagues de chaleur entre 1973 et 2007

L'indicateur proposé (différence entre la mortalité observée et une mortalité de référence, calculées sur les N années précédentes) a été appliquée à 19 villes françaises entre 1973 et 2007. Au total, 411 jours de vague de chaleur ont été identifiés sur ces villes, répartis sur 16 années, correspondants à 69 vagues de chaleur. Les vagues de chaleur les plus intenses sont concentrées sur les années 1975, 1976, 1983, 1987, 1989, 1990, 1991, 2003 et 2006. Le nombre de jours de vague de chaleur varie de 3 à Montpellier à 74 à Lyon. Les vagues de chaleur durent le plus souvent une semaine, les plus longues étant observées à Paris en 1976 et Lyon en 1983 (tableau 7).

Au total, sur les 19 villes, les 69 vagues de chaleur sont associées à une surmortalité de 3 464 décès (nombre moyen prenant en compte l'ensemble des périodes de références). 24 (35 %) ont été associées à une surmortalité supérieure à 50 %. Les vagues de chaleur associées aux plus forts impacts sont décrites dans le tableau 8. Cette surmortalité est observée dans toutes les villes.

En 2006, 10 villes ont été touchées par une vague de chaleur, mais les surmortalités sont restées modérées par rapport à celles observées en 2003. On observe cependant un impact non négligeable, par exemple à Lyon (28,5 %) et à Bordeaux (49,8 %).

Nantes, Lyon, Dijon, Nice et Nîmes ont été touchées par plusieurs vagues de chaleur dans une même année (tableau 9). Dans ce cas, on note que la surmortalité la plus élevée peut être observée lors des premiers, deuxièmes ou derniers épisodes d'une même année. Ceci ne semble pas en faveur de l'hypothèse retrouvée dans la littérature, selon laquelle les vagues de chaleur les plus précoce sont plus dangereuses car la population serait moins bien adaptée, et le nombre de personnes vulnérables plus élevé [50,51]. Il semble que la durée et l'intensité soient les paramètres principaux, quelque soit la période de l'été et le nombre de vagues de chaleur observées précédemment.

Tableau 6 – Comparaison entre la surmortalité estimée par les modèles GAM et par la méthode d'estimation rapide

Ville	Période	Nombre de décès	Nombre de décès estimés (méthode d'estimation rapide)
		estimés (modèle GAM)	moyenne [min:max]
Paris	2/8 au 11/8/75	182	209 [196;226]
	24/6 au 11/7/76	621	635 [613;647]
	10/7 au 15/7/83	65	21 [-36;46]
	27/6 au 3/7/86	78	77 [73;82]
	1/8 au 8/8/90	102	85 [77;94]
	31/7 au 6/8/95	67	22 [11;30]
	22/8 au 28/8/97	49	26 [11;50]
	10/8 au 15/8/98	35	29 [9;39]
	3/8 au 17/8/03	388	1127 [1116;1137]
	19/7 au 30/7/06	107	12 [-11;34]
Marseille	25/7 au 1/8/83	122	244 [241;250]
	6/8 au 12/8/03	77	69 [61;81]
Lyon	18/7 au 4/8/83	53	58 [53;63]
	21/7 au 26/7/89	11	16 [14;19]
	20/7 au 25/7/95	10	13 [11;14]
	10/8 au 15/8/98	12	-4 [-9;1]
	10/6 au 17/6/03	16	27 [26;29]
	21/6 au 29/6/03	18	2 [-6;5]
	13/7 au 19/7/03	13	20 [18;24]
	3/8 au 18/8/03	57	187 [181;198]
	26/6 au 2/7/05	10	12 [8;17]
	14/7 au 20/7/05	9	8 [3;15]
	26/7 au 31/7/05	8	5 [1;7]
	18/7 au 31/7/06	29	28 [23;31]
	24/6 au 4/7/76	26	59 [56;62]
Nantes	10/7 au 16/7/83	11	16 [15;18]
	21/7 au 26/7/90	8	-1 [-2;0]
	1/8 au 7/8/90	12	18 [16;19]
	2/8 au 14/8/03	26	48 [45;51]
	3/8 au 13/8/03	8	46 [43;47]
Strasbourg	24/7 au 30/7/06	3	5 [2;7]
	2/8 au 7/8/90	2	8 [8;8]
	9/8 au 14/8/98	2	6 [4;8]
Limoges	2/8 au 16/8/03	8	28 [26;31]

Tableau 7 – Températures minimales et maximales moyennes, seuils associés, nombre total de jours de vague de chaleur, et mortalité journalière moyenne pendant l’été

Ville	Tmin (moy.) (°C)	Tmax (moy.) (°C)	Seuil min (°C)	Seuil max (°C)	N° de jours de vagues de chaleur	N° de vagues de chaleur	Mortalité journalière pendant l’été (moy.)	Population
Lyon	14,4	25,3	20	34	74	12	9.6	472 330
Paris	14,4	23,2	21	31	64	10	47.7	2 193 030
Nice	18,6	25,7	24	31	31	5	10.4	348 721
Dijon	13	23,9	19	34	30	5	2.7	151 543
Tours	12,6	23,7	19	35	30	5	2.7	136 578
Nantes	13,1	23,6	20	34	28	5	4.8	283 025
Bordeaux	14,3	25,4	21	35	20	2	5.2	235 178
Limoges	13,2	22,1	20	34	18	3	3.1	138 882
Rouen	11,5	21,1	19	33	17	3	4.5	138 882
Nîmes	16,7	28,3	23	36	17	4	3	143 468
Albi	14,1	26,5	21	36	15	2	1.2	48 889
Strasbourg	12,8	23,7	19	34	15	3	5.1	272 123
Toulouse	14,8	26,2	21	36	15	2	6.9	439 453
Lille	12,3	21,6	18	33	13	2	4.3	225 789
Avignon	16,4	28,9	21	36	9	1	1.8	91 283
Marseille	17,5	27,9	24	35	9	2	20	852 395
Montélimar	15,4	27	21	36	8	2	1.3	34 636
Montpellier	16,7	27,2	22	35	3	1	3.7	253 712
Grenoble	13,7	26,5	19	34	0	0	2.6	156 793

Tableau 8 – Caractéristiques des vagues de chaleur ayant eu une surmortalité notable

Année	Ville	Durée (jours)	IBM min	IBM max	Surmortalité cumulée sur la période	Surmortalité (%)
1975	Tours	6	18,5 [17,4;19,0]	34,8 [33,6;36,0]	21 [19 ;22]	215,9
1976	Paris	18	22,2 [17,8;23,4]	33,1 [27,0;34,9]	635 [613;647]	56,9
1976	Tours	12	20,0 [17,6;22,0]	35,2 [33,8;36,1]	30 [27;33]	87,5
1976	Nantes	11	21,0 [18,4;22,8]	35,2 [33,1;36,1]	59 [56;60]	105,2
1983	Marseille	8	24,3 [22,8;25,7]	36,7 [35,5;38,3]	244 [241;250]	142,4
1983	Nîmes	7	23 [21,9,2;24,0]	35,0 [32,4;36,4]	20 [17;25]	126,1
1987	Toulouse	6	20,9 [20,4;21,2]	34,0 [31,0;37,8]	24 [22;28]	56,5
2003	Lyon	16	21,8 [20,3;22,7]	37,2 [30,3;40,0]	189 [183;198]	147,2
2003	Dijon	16	20,6 [18,9;22,6]	36,7 [29,0;38,7]	52 [48;56]	142,1
2003	Paris	15	22,6 [18,6;24,8]	36,0 [28,4;39,2]	979 [1 127;1 166]	216,2
2003	Bordeaux	15	22,0 [21,0;22,7]	36,5 [28,0;39,6]	52 [50;54]	85,3
2003	Toulouse	15	22,0, [21,0;23,0]	37,7 [30,6;40,0]	76 [75;79]	83,1
2003	Limoges	15	22,3 [20,2;23,5]	35,5 [29,5;37,0]	23 [26;31]	80,3
2003	Tours	14	21,2 [20,0;22,2]	37,2 [30,7;39,0]	103 [100;107]	318
2003	Nice	13	25,5 [24,2;27,4]	32,7 [30,4;34,0]	81 [74;96]	67,4
2003	Nantes	12	20,3 [18,5;21,6]	35,7 [32,0;38,3]	48 [45;51]	98,3
2003	Strasbourg	11	19,1 [17,4;20,5]	37,0 [36,4;38,0]	45,5 [42;47]	96,1
2003	Marseille	7	23,9 [22,9;24,6]	36,0 [35,5;36,3]	69 [60;81]	62,5

Tableau 9– Caractéristiques des vagues de chaleur successives dans une même année

Année	Ville	Période [durée jours]	IBM min	IBM max	Surmortalité (%)
1990	Nantes	21-26/07 [6]	20,8 [20,5;21,2]	32,8 [31,0;34,7]	-4,2
		01-07/08 [7]	19,8 [17,3;21,0]	34,5 [31,0;36,7]	58,2
2003	Lyon	10-17/06 [8]	21,0 [20,0;21,5]	34,6 [33,0;35,8]	34,3
		21-29/06 [9]	21,5 [20,0;23,1]	34,2 [30,3;36,4]	0,1
		13-19/07 [7]	20,5 [19,0;21,2]	33,0 [30,0;36,0]	37
		03-18/08 [16]	21,8 [20,3;22,7]	37,2 [30,3;40,0]	147,2
2003	Dijon	23-28/06 [6]	18,9 [17,9;19,4]	32,4 [30,5;34,4]	5,1
		02-17/08 [16]	20,6 [18,9;22,6]	36,7 [29,0;38,7]	142,1
2005	Lyon	26/06-02/07 [7]	20,1 [18,1;21,6]	32,0 [26,7;35,8]	26,2
		14-20/07 [7]	21,2 [19,7;22,1]	33,0 [29,8;35,3]	22,3
		26-31/07 [6]	20,6 [19,6;21,2]	33,0 [30,8;34,4]	8,8
2006	Nice	11-20/07 [10]	24,2 [23,6;25,0]	31,1 [29,9;31,8]	7,2
		24-29/07 [6]	23,7 [23,2;24,0]	30,9 [30,6;31,1]	5,3
2006	Nîmes	11-17/07 [7]	21,8 [19,8;23,2]	36,7 [36,2;37,0]	55,3
		22-29/07 [8]	23,2 [22,4;24,0]	37,0 [35,7;38,2]	-13,4

3.4. Synthèse sur l'estimation de l'impact des vagues de chaleur sur la mortalité

La comparaison de la mortalité observée pendant une vague de chaleur à la mortalité observée les années précédentes pendant la même période donne une estimation rapide de l'impact de cette vague de chaleur sur la mortalité. L'indicateur d'impact proposé sera calculé pour les départements et les villes touchées par des vagues de chaleur, afin de suivre les impacts au cours du temps. Ceci permettra d'identifier les évènements sur lesquels des études complémentaires pourraient être pertinentes.

4. Synthèse et perspectives

Le système d'alerte canicule et santé repose pour le déclenchement des alertes sur les prévisions de températures transmises par Météo-France (observations et prévisions, indicateurs spécifiques, expertise). Ces données permettent d'anticiper les évènements dangereux afin de proposer la mise en place rapide d'actions de prévention dans le cadre du Plan national canicule. Ce système mis en place dès 2004 a été à plusieurs titres une innovation pour l'InVS :

- sur le plan conceptuel, le système s'appuie sur des prévisions météorologiques pour anticiper un impact sanitaire. L'alerte peut ainsi être donnée avec un à trois jours d'avance, permettant la mise en place de mesures de gestion. Le Sacs présente ainsi une caractéristique particulière dans le domaine des systèmes d'alertes sanitaires, qui est de prévoir l'évènement dangereux avant qu'il ne se produise, et avant qu'un impact sanitaire soit observable. Les données sanitaires recueillies avec un délai par rapport à l'évènement ne servent plus à l'alerte, mais sont un argument d'aide à la décision pour la mise en place des mesures de gestion. Il serait contreproductif d'atteindre un signal sanitaire pour déclencher une alerte ;
- sur le plan des partenariats, une convention a été signée entre l'InVS et Météo-France ;
- sur le plan organisationnel, le système d'alerte InVS – Météo-France fonctionne quotidiennement du 1^{er} juin au 31 août tous les ans.

Des évaluations et des améliorations régulières permettent à ce système de s'adapter afin de fournir les alertes les plus précises possibles.

À l'heure actuelle, ce système fondé sur les prévisions météorologiques est capable d'anticiper des vagues de chaleur justifiant la mise en place de mesures spécifiques de prévention et de gestion. Le risque lié à la chaleur n'étant pas « sans seuil », il est également indispensable que des comportements appropriés soient adoptés lors d'épisodes de chaleur ne se traduisant pas par une alerte. Ceci sera possible par la diffusion de messages de prévention pendant tout l'été, et par la communication de Météo-France pendant les épisodes chauds (vigilance jaune sur la carte de vigilance).

Dans ce cadre, les indicateurs sanitaires constituent des éléments d'aide à la décision qui doivent cependant être utilisés avec précaution :

- l'interprétation en temps quasi-réel est compliquée par les délais de transmission des données, et par de possibles problèmes de qualité sur des données non vérifiées. Les alarmes statistiques constituent ainsi un signal qui doit être validé par un épidémiologiste ;
- la capacité à détecter un signal dépend de l'effectif disponible et de la méthode statistique utilisée. Sur les exemples testés, la méthode des limites historiques est globalement plus sensible que la méthode des cartes de contrôle, mais nécessite des données qui ne sont pas toujours disponibles ;
- l'absence d'alarme sur les indicateurs ne signifie pas obligatoirement que la vague de chaleur n'a pas des impacts particuliers, non identifiables par les indicateurs sanitaires suivis ou du fait qu'on les suit au jour le jour (un impact pourrait ne pas être détecté en tant qu'évènement inhabituel un jour donné, mais être constaté ultérieurement sur l'ensemble de la vague de chaleur). C'est pourquoi il est indispensable de s'appuyer sur le réseau de l'InVS qui permet de remonter des signaux inhabituels qui peuvent être rapidement validés ou infirmés ;
- l'absence d'alarme ne signifie pas que l'alerte était injustifiée, ou que les vagues de chaleur sont désormais un risque sous contrôle. Il est au contraire probable qu'un faible impact ou que l'absence d'impact résulte de la mise en place de l'ensemble des mesures prises depuis 2004, et renforcées grâce à l'alerte ;
- une même vague de chaleur peut avoir des impacts différents selon la population qu'elle frappe, (fonction de la vulnérabilité de cette population, de la perception du risque chaleur, des mesures prises), ou de l'existence de cofacteurs de risques (e.g. pollution de l'air). Des bilans postévènement sont donc nécessaires pour améliorer les connaissances sur les vagues de chaleur, et à terme améliorer la prévention.

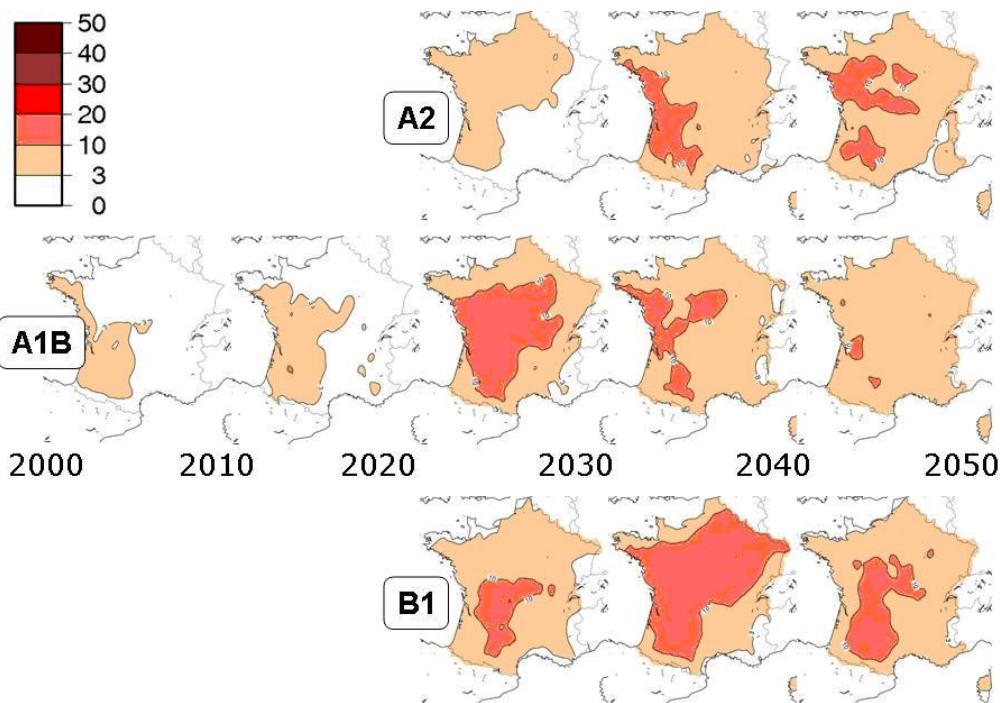
Enfin, malgré la mise en place du PNC et du système d'alerte, plusieurs facteurs concourent à aggraver la vulnérabilité de la population à la chaleur dans les années à venir :

- l'évolution des températures dans un contexte de changement climatique devrait se traduire par des vagues de chaleur plus fréquentes et plus intenses (figure 15) [52] ;
- l'évolution démographique se traduit par un vieillissement marqué de la population, et donc un accroissement de la proportion de personnes vulnérables ;
- l'urbanisation accroît la sensibilité à la chaleur (phénomène d'îlots de chaleur urbains) ;
- un faible niveau socio-économique constitue un facteur de risque supplémentaire pendant les vagues de chaleur [6,29].

Compte tenu de ces évolutions climatiques, économiques et sociales, il est nécessaire d'avoir une démarche réflexive sur la réponse aux vagues de chaleur, afin d'adapter le Sacs et le PNC aux changements observés. Concernant le Sacs, ces adaptations peuvent porter sur les indicateurs météorologiques, les seuils météorologiques, les indicateurs sanitaires suivis, et l'organisation globale du système.

Figure 15 – Évolution du nombre de jour de canicule estivale en France entre 2000 et 2100 selon les scénarios A2, A1B et B1.

Une canicule est définie comme une période au cours de laquelle la température dépasse les normales quotidiennes (c'est-à-dire les moyennes de la période 1960-1989) de plus de 5 °C pendant au moins six jours consécutifs (source Météo-France)



4.1. Les évolutions possibles du système d'alerte

Le choix des indicateurs météorologiques et des seuils est un élément clef du système d'alerte. Des indicateurs et des seuils mal choisis se traduiraient en effet par des alertes injustifiées, et une perte de temps et de moyens. Il n'existe pas à l'heure actuelle de méthode standard pour développer un système d'alerte pour les vagues de chaleur, ni même de meilleur indicateur météorologique identifié par la littérature.

Depuis 2004, les vagues de chaleur sont anticipées sur la base des prédictions de températures fournies par Météo-France. Une alerte est lancée lorsque deux indicateurs calculés comme la moyenne des températures minimales et maximales sur trois jours, notés IBMmin et IBMmax, ont une probabilité élevée de dépasser des seuils.

Les seuils ont été définis pour 96 villes en France métropolitaine, en utilisant une méthode rapide et très simple sur le plan statistique :

- dans quatorze villes pilotes (Bordeaux, Dijon, Grenoble, Le Havre, Lille, Limoges, Lyon, Marseille, Nantes, Nice, Paris, Strasbourg, Toulouse et Tours) régulièrement espacées sur l'ensemble du territoire et représentatives de ses différents climats, on a recherché les seuils météorologiques permettant d'anticiper une surmortalité de plus de 50 % pour Paris, Lyon et Marseille, 100 % pour les autres villes. La surmortalité était calculée en comparant la mortalité observée à la mortalité moyenne des trois années précédentes. Les seuils météorologiques ont été choisis sur leur sensibilité (la probabilité d'être au-dessus des seuils un jour de mortalité élevée), leur spécificité (la probabilité d'être sous les seuils un jour de mortalité faible), en tenant compte de l'expertise de Météo-France pour ajuster les seuils aux caractéristiques climatiques locales ;

- dans les autres villes, les seuils sont définis à partir des percentiles 99,5 de la distribution des IBM. Ce percentile a été choisi comme étant proche de la majorité des seuils retrouvés dans les villes pilotes. En complément, l'expertise de Météo-France a permis des ajustements locaux dans certaines stations afin de prendre en compte des spécificités météorologiques locales [53]. En 2005, une évaluation a conduit à remplacer les seuils calculés dans l'étude pilote par les percentiles 99,5 pour les villes de Bordeaux, Toulouse, Nice, Grenoble, Lille, Limoges, Dijon, Strasbourg, Tours et Nantes [54].

Cette méthode était simple à appliquer sur plusieurs villes, mais ne prenait en compte aucun facteur de confusion dans le calcul de la surmortalité. Une étude a été menée sur six villes, Paris, Marseille, Lyon, Limoges, Nantes et Strasbourg, afin de vérifier si la prise en compte de la tendance, de la saisonnalité et du jour de la semaine dans le calcul de la surmortalité conduisait à sélectionner des seuils similaires à ceux développés en 2004. Cette étude a confirmé la validité des seuils actuels et par ailleurs l'utilisation des percentiles dans les villes pour lesquels aucune étude température-mortalité n'avait été menée.

Il faut souligner que lorsque le Sacs a été développé, il existait peu de connaissance sur les systèmes d'alerte canicule. Depuis, les différents systèmes existants en Europe ont été recensés par le projet Euroheat [7], avec la conclusion qu'il n'existe pas de « méthode de référence » pour la conception de tels systèmes. Un exercice de comparaison sur les mêmes jeux de données (Chicago, Montréal, Madrid et Londres) de quatre types de systèmes d'alerte (synoptique (États-Unis), moyennes de températures (France), température perçue (Allemagne), Humidex (Canada)) a montré qu'il y avait peu de cohérence entre les jours considérés à risque par les différents systèmes, et que globalement le Sacs donnait de bons résultats [55]. Cette étude ne constitue pas une évaluation, mais confirme que les indicateurs du Sacs sont performants dans l'identification de jours associés à une surmortalité importante.

4.1.1. Évolution des indicateurs météorologiques utilisés dans le Sacs

L'efficacité d'un système d'alerte reposant sur son acceptabilité, et il ne paraît pas pertinent de chercher de nouveaux indicateurs météorologiques pour remplacer les indicateurs du Sacs qui sont désormais bien compris par les différents acteurs du système. Par ailleurs, la littérature ne permet pas de conclure à l'existence d'un indicateur météorologique plus sensible que la température pour caractériser l'impact d'une vague de chaleur sur la santé. En particulier, l'introduction de l'humidité dans les modèles températures – mortalité n'apporte pas de bénéfices particuliers, que ce soit sous la forme d'un terme indépendant, ou sous la forme d'un indicateur mixte température humidité comme la température apparente par exemple [56]. Ceci pourra cependant être réévalué si les vagues de chaleur en France devenaient humides, ce qui n'est pas le cas actuellement.

4.1.2. Adaptation des seuils à l'augmentation des températures

L'augmentation des températures pose la question de la nécessité d'augmenter les seuils, ce qui revient à s'interroger sur la possibilité que la population s'adapte progressivement à l'augmentation des températures. Cette adaptation pourrait être physiologique, sociale (exemple : PNC) et technologique (exemple : extension de la climatisation, réduction de l'îlot de chaleur urbain).

L'adaptation physiologique est *a priori* limitée. Les études de thermophysiology concernent principalement des sujets en bonne santé (athlètes, travailleurs, militaires). Elles montrent qu'une adaptation à court terme est possible *via* des entraînements [57]. Cependant, ces entraînements ne fonctionnent pas pour les sujets les plus âgés [58]. Ainsi, il est peu probable qu'une adaptation physiologique spontanée soit observée, en particulier chez les personnes les plus vulnérables à la chaleur.

Concernant l'adaptation technologique, l'impact de la température sur la mortalité semble diminuer avec l'amélioration des conditions de vie. Par exemple, aux États-Unis, la mortalité liée à la chaleur a diminué de manière significative entre 1964 et 1988 dans 19 villes. Dans les années 1960 et 1970, presque toutes les villes avaient une surmortalité importante les jours de forte chaleur. Dans les années 1980, plusieurs villes du Sud ne

montraient plus d'augmentation de la mortalité. Dans les années 1990, cet effet s'est étendu aux villes du Nord et du Centre. Les auteurs expliquent ces modifications par des adaptations technologiques, structurelles et biologiques [59], sans toutefois les détailler. De même, une comparaison de la mortalité au Royaume-Uni entre 1990 et 1996 a trouvé une diminution de la mortalité liée à la chaleur [60]. Des résultats similaires ont été observés en Allemagne [61]. Ces résultats sont en faveur d'une diminution de la vulnérabilité à la chaleur associée à l'amélioration des conditions de vie. Cependant, des vagues de chaleur très meurtrières continuent de se produire, et une étude récente sur 50 villes aux États-Unis a montré que les températures extrêmes avaient toujours un impact sur la mortalité, celui-ci étant plus important pour les villes avec un climat tempéré et une densité de population élevée [62]. Des résultats similaires ont été trouvés en Europe [63]. Il semble ainsi que l'adaptation acquise entre les années 1950 et 1990 ne soit pas optimale dans les villes avec des températures moyennes douces mais pouvant présenter de fortes variations d'un jour à l'autre [62]. De plus, dès les années 1970, les mises en garde contre les impacts tragiques des vagues de chaleur en cas de panne de courant (plus de climatisation) [64] se sont vues justifiées par l'impact de la vague de chaleur de 2006 en Californie [34]. Ceci indiquerait que l'adaptation est avant tout soumise à la technologie aux États-Unis. En Europe où la climatisation est moins répandue, on peut penser que les aspects liés aux modes de vie et à l'urbanisation jouent un rôle important. Cette hypothèse devrait cependant être investiguée. Plusieurs initiatives sont actuellement menées pour réduire les îlots de chaleur en ville, et il serait intéressant d'étudier l'impact de telles mesures sur les futures vagues de chaleur, à la fois en terme d'exposition et d'impact.

Concernant le rôle du PNC, les études sur la vague de chaleur de 2006 montrent une réduction de la mortalité observée par rapport à la mortalité attendue, et la disparition de l'emballement de la mortalité observée en 2003 [1]. De même, le suivi des indicateurs du système de surveillance syndromique pendant l'opération du Sacs (par exemple en été 2009) montre un impact réduit des épisodes de chaleur. Cependant, il est impossible de déterminer quelle part de cette réduction est due au déclenchement du PNC, à la prise de conscience des dangers de la chaleur suite à la canicule de 2003, ou à d'autres facteurs non connus. À l'heure actuelle, on dispose de peu d'éléments sur les différents types d'actions mises en place pendant les alertes dans le cadre du PNC et sur les modifications de comportements observables dans la population. Une des seules études disponibles est une enquête de l'Inpes sur les modifications des comportements pendant la canicule de 2006. Soixante-quatorze pour cent des personnes de plus de 15 ans avaient entendu ou lu des messages de prévention sur la canicule. Soixante-trois pour cent déclaraient avoir pris des mesures pour se protéger, et 73 % pour protéger leurs parents âgés [65].

Enfin, il ne faut pas négliger le fait que les capacités d'adaptation peuvent être fragiles, et inégalement réparties dans la population, les groupes les plus vulnérables ayant probablement un accès moindre à la prévention.

Ainsi, la question de l'adaptation de la population ne peut se résoudre simplement, et nécessitera plusieurs études pour documenter les actions mises en place, et leur impact sur la relation température-mortalité.

En parallèle, des études multicentriques en séries temporelles pourraient être réalisées régulièrement pour mettre en évidence une éventuelle modification de la réponse en mortalité ou en morbidité à la chaleur (pendant et hors vague de chaleur), et pourraient orienter l'évolution des seuils à moyen terme. L'étude des relations entre température et mortalité est complexe du fait du caractère saisonnier très marqué de la température, de la nature non linéaire de la relation, ou encore de la difficulté à caractériser l'exposition. La littérature récente propose cependant plusieurs solutions pour atténuer ces difficultés [66,67].

4.1.3. Évaluation

Un système d'alerte ne peut rester efficace que s'il s'adapte continuellement aux nouvelles connaissances et aux nouveaux outils disponibles. Dans les années à venir, il sera important de définir des indicateurs permettant de juger de l'efficacité du système (en terme de délai, de qualité des informations fournies, d'acceptabilité auprès des décideurs), afin de proposer les évolutions les plus pertinentes. Si le suivi des indicateurs sanitaires existe depuis 2004, la formalisation de ce suivi proposée dans ce rapport sera effective à partir de l'été 2011. Il sera important d'évaluer dans les années à venir l'efficacité de cette surveillance, et notamment sa valeur ajoutée pour les décideurs pendant l'alerte.

4.2. Vers une surveillance des vulnérabilités ?

Au-delà de l'alerte, il serait pertinent de s'orienter vers un suivi d'indicateurs permettant de caractériser la vulnérabilité des personnes pendant les vagues de chaleur. Ces indicateurs permettraient d'orienter les mesures du PNC. M. Bungener propose de distinguer trois types de vulnérabilités [68] : la vulnérabilité sociale, liée à la notion d'isolement, la vulnérabilité environnementale liée aux conditions de logement et de vie, et la vulnérabilité sanitaire.

La vulnérabilité sociale a été longuement discutée à la suite de 2003, en mettant en avant un risque accru chez les personnes vivant seules. Les études épidémiologiques montrent cependant un tableau plus contrasté, où vivre seul est un facteur de risque parmi d'autres. La vie sociale peut par ailleurs être décrite de plusieurs manières, et les indicateurs retenus dans les études épidémiologiques ne sont pas forcément les plus pertinents. Cependant, à des fins d'intervention, il peut être utile de considérer l'isolement comme un facteur de risque nécessitant un traitement particulier. En Californie, ce critère est suivi par une cartographie du nombre de personnes de 65 ans et plus vivant seules.

Un travail sur la perception du risque et la réponse dans différentes populations vulnérables serait également utile pour orienter les messages de prévention. Par exemple, une étude anglaise a examiné le rôle des réseaux sociaux dans la réponse aux risques de vague de chaleur en Angleterre, concluant qu'il pouvait y avoir des effets négatifs [69]. Le risque est que des personnes bien socialisées sous-estiment leur vulnérabilité à la chaleur. Ainsi, dans cette étude, des personnes âgées de plus de 75 ans vivant seules, autonomes et en bonne santé indiquaient en majorité ne pas se sentir concernées par le problème de la chaleur. Elles indiquaient avoir recours à leur réseau social non pour anticiper l'impact de la chaleur, mais lorsque des impacts négatifs s'étaient déjà fait sentir, et qu'ils n'arrivaient plus à les gérer seuls.

La vulnérabilité environnementale est liée à la qualité du logement et des environs. L'étude de l'InVS sur les facteurs de risque de décès à domicile pendant la vague de chaleur de 2003 a mis en évidence le rôle important joué par certaines caractéristiques du logement et par les îlots de chaleur urbains [70]. Les îlots de chaleur urbains peuvent être cartographiés, par télédétection par exemple. La vulnérabilité environnementale peut également être rattachée à des difficultés économiques. De manière très pratique, aux États-Unis, des cartographies d'indicateurs correspondant à la vulnérabilité sociale et environnementale sont réalisées dans le cadre de l'*Environmental Health Tracking Programme*, en particulier le nombre de personnes de 65 ans vivant seules ou le nombre de personnes vivant au-dessous du seuil de pauvreté. Ces cartographies ont pour objectif d'aider les services locaux à cibler les actions de prévention pendant les alertes [71].

La vulnérabilité sanitaire pourra être appréhendée *via* des études épidémiologiques. Le suivi d'indicateurs sanitaire pour le Sacs permet de constituer des bases de données qui seront bientôt assez longues pour autoriser des analyses de l'impact de la température sur la morbidité, avec des méthodes similaires à celles utilisées pour la mortalité. En France, en 2003, plusieurs personnes sont décédées à leur domicile, sans atteindre l'hôpital. Une situation similaire a été observée en Angleterre [20]. À l'inverse, aux États-Unis ou en Australie, pays où les vagues de chaleur sont plus communes, la mortalité est plus faible, et on observe une

réponse plus importante de la morbidité. Pendant la vague de chaleur de Chicago en 1995, la surmortalité était relativement faible, alors que les admissions hospitalières ont augmenté de 11 %, principalement pour déshydratation, coup de chaleur et hyperthermie [72]. En Australie, pendant les vagues de chaleur, les admissions hospitalières augmentent légèrement alors que la mortalité reste stable [73]⁴. Une meilleure compréhension de la dynamique mortalité – morbidité pendant les vagues de chaleur permettra de mieux orienter les mesures de gestion.

Ainsi, si les grands groupes vulnérables sont bien identifiés et font l'objet d'une prévention ciblée, on manque encore de connaissances sur l'efficacité des différentes mesures proposées, sur l'existence de populations vulnérables mal connues, voire sur l'émergence de nouvelles formes de vulnérabilité. Il est donc essentiel de ne pas limiter l'effort sur les vagues de chaleur à la mise en place du Sacs et du PNC, mais d'encourager la réalisation d'études sur ce sujet, qui peuvent prendre la forme d'études épidémiologiques mais également sociologiques, d'urbanisme ou autres, et peuvent relever de l'InVS comme d'autres partenaires.

⁴ On peut par ailleurs souligner que malgré une mortalité plus faible qu'en Europe, les États-Unis disposent de systèmes d'alerte et de plans de prévention. De tels systèmes sont également en discussion en Australie, sous l'argument qu'une mortalité importante pourrait être observée lors d'une vague de chaleur future prenant en considération le changement climatique.

Références bibliographiques

- [1] Fouillet A, Rey G, Wagner V, Laaidi K, Empereur-Bissonnet P, Le Tertre A *et al.* Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave. *Int J Epidemiol* 2008;37(2):309-17.
- [2] Le Tertre A, Lefranc A, Eilstein D, Declercq C, Medina S, Blanchard M *et al.* Impact of the 2003 heatwave on all-cause mortality in 9 French cities. *Epidemiology* 2006;17(1):75-9.
- [3] Ledrans M. Impact sanitaire de la vague de chaleur de l'été 2003 : synthèse des études disponibles en août 2005. *Bull Épidémiol Hebd* 2006;(19-20):130-7.
- [4] Le Tertre A, Laaidi K, Josseran L, Wagner V, Jouglé E, Empereur-Bissonnet P *et al.* Première estimation de l'impact de la vague de chaleur sur la mortalité durant l'été 2006, France. *Bull Épidémiol Hebd* 2007;(22-23):190-2.
- [5] Rey G, Fouillet A, Bessemoulin P, Frayssinet P, Dufour A, Jouglé *et al.* Heat exposure and socio-economic vulnerability as synergistic factors in heat-wave-related mortality. *Eur J Epidemiol* 2009;24(9):495-502.
- [6] Vandendorren S, Bretin P, Zeghnoun A, Mandereau-Bruno L, Croisier A, Cochet C *et al.* August 2003 heat wave in France: risk factors for death of elderly people living at home. *Eur J Public Health* 2006;16(6):583-91.
- [7] WHO Regional Office for Europe. Improving public health responses to extreme weather/heat-waves – EuroHEAT. 2009. 70 p.
- [8] Matthies F, Menne B. Prevention and management of health hazards related to heatwaves. *Int J Circumpolar Health* 2009;68(1):8-22.
- [9] Fricker RD, Hegler BL, Dunfee DA. Comparing syndromic surveillance detection methods: EARS versus a CUSUM-based methodology. *Stat Med* 2008;27(17):3407-29.
- [10] Stroup DF, Williamson GD, Herndon JL, Karon JM. Detection of aberrations in the occurrence of notifiable diseases surveillance data. *Stat Med* 1989;8(3):323-9.
- [11] Centers for Disease Control and Prevention. Syndromic Surveillance, Reports from a National Conference, 2003. *Morbidity and Mortality Weekly Report - Supplement* 2004; 53.
- [12] Ballester F. El impact del calor extremo en la salud; nuevo retos para la epidemiología y la salud pública. *Rev Esp Salud Pública* 2008;2(82):147-51.
- [13] Gasparrini A, Armstrong B. The impact of heat waves on mortality. *Epidemiology* 2011;22(1):68-73.
- [14] Tong S, Wang XY, Barnett AG. Assessment of heat-related health impacts in Brisbane, Australia: comparison of different heatwave definitions. *PloS One* 2010;5(8).
- [15] Hajat S, Kosatsky T. Heat-related mortality: a review and exploration of heterogeneity. *J Epidemiol Community Health* 2009;64(9):753-60.
- [16] Johnson H, Kovats RS, McGregor G, Stedman J, Gibbs M, Walton H. The impact of the 2003 heat wave on daily mortality in England and Wales and the use of rapid weekly mortality estimates. *Euro Surveill* 2005;10(7):168-71.

- [17] Fouillet A, Rey G, Bessemoulin P, Frayssinet P, Jougl E, Hémon D. Comparaison de la surmortalité observée en juillet 2006 à celle estimée à partir des étés 1975-2003, France. Bull Épidémiol Hebd 2007;(22-23):192-4.
- [18] Ishigami A, Hajat S, Kovats RS, Bisanti L, Rognoni M, Russo A *et al.* An ecological time-series study of heat-related mortality in three European cities. Environ Health 2008;7:5.
- [19] Institut de veille sanitaire. Impact sanitaire de la vague de chaleur en France survenue en août 2003. Rapport d'étape. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire; 2003. 75p. Disponible à partir de l'URL:<http://www.invs.sante.fr>.
- [20] Kovats RS, Hajat S, Wilkinson P. Contrasting patterns of mortality and hospital admissions during hot weather and heat waves in Greater London, UK. Occup Environ Med 2004;61(11):893-8.
- [21] Kysely J. Mortality and displaced mortality during heat waves in the Czech Republic. Int J Biometeorol 2004;49(2):91-7.
- [22] Metzger KB, Ito K, Matte TD. Summer heat and mortality in New York City: how hot is too hot? Environ Health Perspect 2010;118(1):80-6.
- [23] Ostro BD, Roth LA, Green RS, Basu R. Estimating the mortality effect of the July 2006 California heat wave. Environ Res 2009;109(5):614-9.
- [24] Besancenot JP. Vagues de chaleur et mortalité dans les grandes agglomérations urbaines. Environnement, Risques et Santé 2002;1(4):229-40.
- [25] Kosatsky T. The 2003 European heat waves. Euro Surveill 2005;10(7):148-9.
- [26] Benbow N. Chaleur et mortalité à Chicago en juillet 1995. Climat et Santé 1997 ; 18 :61-70.
- [27] Ravault C, Isnard H, Ledrans M. Impact sanitaire de la vague de chaleur d'août 2003 en France. Bilan et perspectives. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire; 2003. 120p. Disponible à partir de l'URL:<http://www.invs.sante.fr>.
- [28] Hémon D, Jougl E. Surmortalité liée à la canicule d'août 2003 - rapport d'étape. Estimation de la surmortalité et principales caractéristiques épidémiologiques. Paris : Ministère de la santé, de la famille et des personnes handicapées ; 2003. 29 p. Disponible à partir de l'URL:<http://www.ladocumentationfrancaise.fr>
- [29] Jones TS, Liang AP, Kilbourne EM, Griffin MR, Patriarca PA, Wassilak SG *et al.* Morbidity and mortality associated with the July 1980 heat wave in St Louis and Kansas City, Mo. JAMA 1982;247(24):3327-31.
- [30] Hertel S, Le Tertre A, Jockel KH, Hoffmann B. Quantification of the heat wave effect on cause-specific mortality in Essen, Germany. Eur J Epidemiol 2009;24(8):407-14.
- [31] Huynen MM, Martens P, Schram D, Weijenberg MP, Kunst AE. The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population. Environ Health Perspect 2001;109(5):463-70.
- [32] Gerber Y, Jacobsen SJ, Killian JM, Weston SA, Roger VL. Seasonality and daily weather conditions in relation to myocardial infarction and sudden cardiac death in Olmsted County, Minnesota, 1979 to 2002. J Am Coll Cardiol 2006;48(2):287-92.
- [33] Josseran L, Fouillet A, Caillere N, Brun-Ney D, Illef D, Brucker G *et al.* Assessment of a Syndromic Surveillance System Based on Morbidity Data: Results from the Oscour(R) Network during a Heat Wave. PloS One 2010;5(8).

- [34] Knowlton K, Rotkin-Ellman M, King G, Margolis HG, Smith D, Solomon G *et al.* The 2006 California heat wave: impacts on hospitalizations and emergency department visits. *Environ Health Perspect* 2009;117(1):61-7.
- [35] Dematte JE, O'Mara K, Buescher J, Whitney CG, Forsythe S, McNamee T *et al.* Near-fatal heat stroke during the 1995 heat wave in Chicago. *Ann Intern Med* 1998;129(3):173-81.
- [36] Garcia-Pina R, Tobias A, Sanz J, Navarro C, Garcia-Fulgueiras A. Efecto del calor sobre el numero de urgencias hospitalarias en la region de Murcia durante los veranos del periodo 2000-2005 y su uso en la vigilancia epidemiologica. *Rev Esp Salud Publica* 2008;2(82):153-66.
- [37] Claessens YE, Taupin P, Kierzek G, Pourriat JL, Baud M, Ginsburg C *et al.* How emergency departments might alert for prehospital heat-related excess mortality? *Crit Care* 2006;10(6):R156.
- [38] Green RS, Basu R, Malig B, Broadwin R, Kim JJ, Ostro B. The effect of temperature on hospital admissions in nine California counties. *Int J Public Health* 2010;55(2):113-21.
- [39] Josseran L, Brun-Ney D, Caillere N, Baujouan L, Filleul L, Illef D, *et al.* Évaluation de la qualité d'un système de surveillance syndromique dans un contexte de vague de chaleur en Ile-de-France en été 2006. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire; 2008. 13p. Disponible à partir de l'URL:<http://www.invs.sante.fr>.
- [40] Schwartz J, Samet JM, Patz JA. Hospital admissions for heart disease: the effects of temperature and humidity. *Epidemiology* 2004;15(6):755-61.
- [41] Bulbena A, Sperry L, Garcia RC, Merino A, Mateu G, Torrens M *et al.* [Impact of the summer 2003 heat wave on the activity of two psychiatric emergency departments]. *Actas Esp Psiquiatr* 2009;37(3):158-65.
- [42] Bassil KL, Cole DC, Moineddin R, Craig AM, Lou WY, Schwartz B *et al.* Temporal and spatial variation of heat-related illness using 911 medical dispatch data. *Environ Res* 2009;109(5):600-6.
- [43] Johnson S, Bickler G. Evaluation of the Department of Health National Heatwave Plan. 2007. 16 p.
- [44] Etchevers A, Sarter H, Laaidi K, Empereur-Bissonnet P. Impact sanitaire de la vague de chaleur du mois de juin 2005. *Bull Épidémiol Hebd* 2006;19-20:38-40.
- [45] Fournet N. Bilan du réseau de surveillance. SOS Médecins / InVS après 5 ans de fonctionnement. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire; 2011. 21p. Disponible à partir de l'URL:<http://www.invs.sante.fr>.
- [46] Schifano P, Cappai G, De SM, Michelozzi P, Marino C, Bargagli AM *et al.* Susceptibility to heat wave-related mortality: a follow-up study of a cohort of elderly in Rome. *Environ Health* 2009;850.
- [47] Ballester F, Corella D, Perez-Hoyos S, Saez M, Hervas A. Mortality as a function of temperature. A study in Valencia, Spain, 1991-1993. *Int J Epidemiol* 1997;26(3):551-61.
- [48] Muggeo VM, Hajat S. Modelling the non-linear multiple-lag effects of ambient temperature on mortality in Santiago and Palermo: a constrained segmented distributed lag approach. *Occup Environ Med* 2009;66(9):584-91.
- [49] Le Tertre A, Lefranc A, Eilstein D, Declercq C, Medina S, Blanchard M *et al.* Impact of the 2003 heatwave on all-cause mortality in 9 French cities. *Epidemiology* 2006;17(1):75-9.

- [50] Michelozzi P, de' Donato FK, Bargagli AM, D'Ippoliti D, De SM, Marino C *et al.* Surveillance of summer mortality and preparedness to reduce the health impact of heat waves in Italy. *Int J Environ Res Public Health* 2010;7(5):2256-73.
- [51] Pascal M. Impacts sanitaires du changement climatique en France. Quels enjeux pour l'InVS ? Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire;2010. 54p. Disponible à partir de l'URL:<http://www.invs.sante.fr>.
- [52] Meehl G, Tebaldi C. More Intense, More Frequent, and Longer Lasting Heat Waves in the 21st Century. *Science* 2004;305:994-7.
- [53] Laaidi K, Ledrans M, Pascal M, Empereur Bissonnet P, Le Tertre A *et al.* Système d'alerte canicule et santé 2004. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire; 2004. 34p. Disponible à partir de l'URL:<http://www.invs.sante.fr>.
- [54] Pascal M, Laaidi K, Ledrans M, Baffert E, Casério-Schönemann C, Le Tertre A. France's heat health watch warning system. *Int J Biometeorol* 50, 144-153. 2006.
- [55] Hajat S, Sheridan SC, Allen MJ, Pascal M, Laaidi K, Yagouti A *et al.* Which days of hot weather are identified as dangerous by Heat-Health Warning Systems? A comparison of the predictive capacity of different approaches. *American Journal of Public Health* 2010;100(6):1137-44.
- [56] Barnett AG, Tong S, Clements AC. What measure of temperature is the best predictor of mortality? *Environ Res* 2010;110(6):604-11.
- [57] Robinson S. Training, acclimatization and heat tolerance. *Can Med Assoc J* 1967;96(12):795-800.
- [58] Takamata A, Ito T, Yaegashi K, Takamiya H, Maegawa Y, Itoh T *et al.* Effect of an exercise-heat acclimation program on body fluid regulatory responses to dehydration in older men. *Am J Physiol* 1999;277(4 Pt 2):R1041-R1050.
- [59] Davis RE, Knappenberger PC, Novicoff WM, Michaels PJ. Decadal changes in summer mortality in U.S. cities. *Int J Biometeorol* 2003;47(3):166-75.
- [60] Carson C, Hajat S, Armstrong B, Wilkinson P. Declining vulnerability to temperature-related mortality in London over the 20th century. *Am J Epidemiol* 2006;164(1):77-84.
- [61] Lerchl A. Changes in the seasonality of mortality in Germany from 1946 to 1995: the role of temperature. *Int J Biometeorol* 1998;42(2):84-8.
- [62] Medina-Ramon M, Schwartz JD. Temperature, Temperature Extremes, and Mortality: A Study of Acclimatization and Effect Modification in 50 United States Cities. *Occup Environ Med* 2007.
- [63] Baccini M, Biggeri A, Accetta G, Kosatsky T, Katsouyanni K, Analitis A *et al.* Heat effects on mortality in 15 European cities. *Epidemiology* 2008;19(5):711-9.
- [64] Ellis FP, Nelson F, Pincus L. Mortality during heat waves in New York City July, 1972 and August and September, 1973. *Environ Res* 1975;10(1):1-13.
- [65] Léon C, Girard D, Arwidson P, Guilbert P. Comportements préventifs des Français et impact des campagnes de prévention durant la canicule 2006. *Evolutions* 2007;(7):2-6.
- [66] Gasparrini A, Armstrong B. Time series analysis on the health effects of temperature: advancements and limitations. *Environ Res* 2010;110(6):633-8.

- [67] Barnett AG, Tong S, Clements AC. Reply to commentary "Time series analysis on the health effects of temperature: two areas for future research" by Gasparrini and Armstrong. *Environ Res* 2010;110(6):639.
- [68] Bungener M. Canicule estivale : la triple vulnérabilité des personnes âgées. *Mouvements* 2004;3275-82.
- [69] Wolf J, Adger WN, Lorenzoni I, Abrahamson V, Raine R. Social capital, individual responses to heat waves and climate change adaptation: An empirical study of two UK cities. *Global Environmental Change* 2010;20(1):44-52.
- [70] Bretin P. Etude des facteurs de risque de décès des personnes âgées résidant à domicile durant la vague de chaleur d'août 2003. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire; 2004. 116p. Disponible à partir de l'URL:<http://www.invs.sante.fr>.
- [71] California Department of Public Health. Public Health Impacts of Climate Change in California: Community Vulnerability Assessments and Adaptation Strategies. 2011. 49 p.
- [72] Semenza JC, McCullough JE, Flanders WD, McGeehin MA, Lumpkin JR. Excess hospital admissions during the July 1995 heat wave in Chicago. *Am J Prev Med* 1999;16(4):269-77.
- [73] Nitschke M, Tucker G, Bi P. Morbidity and mortality during heatwaves in metropolitan Adelaide. *Med J Aust* 2007;187:62-5.

Méthodes d'analyse de l'impact sanitaire des vagues de chaleur : suivi en temps réel, estimation *a posteriori*

Depuis 2004, la France a mis en place le Plan national canicule afin de prévenir les conséquences sanitaires d'une vague de chaleur. Dans ce dispositif, l'Institut de veille sanitaire est chargé de proposer des alertes et de surveiller l'impact sanitaire des vagues de chaleur. Les propositions d'alerte se fondent sur les prévisions météorologiques fournies par Météo-France, selon les règles définies par le système d'alerte canicule et santé. Une description de la situation sanitaire dans les départements concernés par l'alerte peut être utile pour l'aide à la décision, notamment lorsqu'il s'agit de définir la graduation des mesures à prendre, ou de prononcer la fin d'une alerte.

En s'appuyant sur l'expérience acquise depuis 2004 et sur une revue de la littérature, la liste des indicateurs sanitaires à suivre pendant les vagues de chaleur a été redéfinie, en se concentrant sur la mortalité, les passages aux urgences et les motifs de recours à SOS médecins. Ces indicateurs sont suivis pendant l'été dans chaque département métropolitain. Deux méthodes statistiques de détection d'événements inhabituels, une méthode basée sur une carte de contrôle et la méthode des limites historiques, sont proposées pour aider à l'interprétation de ces indicateurs.

Nous proposons également une méthode permettant d'obtenir une estimation rapide de l'impact sur la mortalité après une vague de chaleur. Cet indicateur permettra de comparer l'impact des vagues de chaleur au cours du temps, et d'en tirer des hypothèses pour orienter des études plus approfondies.

Ces travaux permettront d'améliorer l'efficacité du système d'alerte canicule et santé, qui se doit d'être réactif et robuste, dans un contexte de vulnérabilité croissante aux vagues de chaleur.

Mots clés : canicule, système alerte, alerte sanitaire, impact sanitaire, indicateur morbidité, indicateur mortalité, température, météorologie, méthodologie

Methods to analyse the health impacts of heat waves; real-time follow up and a *a posteriori* estimations

Since 2004, France has implemented a National Heat wave Plan in order to prevent health consequences of a heat wave. In this system, the French Institute for Public Health Surveillance is responsible for alert proposal and for the surveillance of the health impacts. Alert proposals are based on the meteorological forecasts provided by the National Weather Service (Météo-France), according to rules defined by the alert system for heat waves. It can be useful to have a description of the health situation in the affected departments, in order to help decision. This is particularly important to define the level of appropriate measures, or to decide the end of an alert.

Based on our experience since 2004 and on a literature review, we defined a new list of health indicators to monitor during heat waves. We focused on mortality, emergency visits and reasons for emergency calls. These indicators are collected during summer in each metropolitan department. We proposed two statistical methods to help interpreting these indicators: one based on control charts, and the historical limits method.

We also proposed a method to quickly estimate the impact on mortality after a heat wave. This indicator will enable to compare the impact of heat waves along time, and to make hypotheses to orientate more detailed studies.

These works will enable to improve the efficiency of the heat warning system, which must be responsive and robust, in a context of increasing vulnerability to heat waves.

Citation suggérée :
Pascal M, Laaidi K, Ung A, Beaudeau P. Méthodes d'analyse de l'impact sanitaire des vagues de chaleur : suivi en temps réel, estimation *a posteriori*. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire; 2011. 48 p. Disponible à partir de l'URL: <http://www.invs.sante.fr>

INSTITUT DE VEILLE SANITAIRE

12 rue du Val d'Osne

94415 Saint-Maurice Cedex France

Tél. : 33 (0)1 41 79 67 00

Fax : 33 (0)1 41 79 67 67

www.invs.sante.fr

ISSN : 1958-9719
ISBN NET : 978-2-11-128479-1