

Indices Bioclimatiques : Etude du cas de la Vague de Chaleur en Algérie, Dans la Perspective de l'Elaboration de Cartes de Vigilance : « Humidex » et « PET »

Salah SAHABI-ABED ^{1*}, Mehdi KERROUCHE ¹

Résumé

Nous essaierons de mettre en œuvre dans ce travail de recherche deux types d'indices bioclimatiques reconnus par les spécialistes comme des indices pertinents, mettant en évidence les conditions météorologiques extrêmes et leurs impacts probables sur la santé et le confort humains. Il s'agit en effet de la température équivalente physiologique (PET) et de l'indice Humidex (H) mis au point par les météorologistes canadiens. Nous présenterons ici, le cas d'étude de la canicule du mois de mars 2001 qui a sévi sur l'ensemble du territoire algérien. L'utilisation du (PET) est très reconnue dans le domaine de la santé et du tourisme, puisqu'il permet de localiser les zones offrant un confort propice pour le corps humain et pour des conditions météorologiques bien déterminées au cours de l'année. Il est même utilisé dans le domaine de l'architecture servant aux choix de la géométrie des espaces publics ouverts sur le microclimat afin d'assurer un meilleur confort [Kedissa and Outtas \(2010\)](#). Dans le domaine de la santé, beaucoup d'études ont montré que la surmortalité liée aux conditions climatiques extrêmes présente une bonne corrélation avec le PET [Urban and Kysely \(2014\)](#). Le second indice qui est l'indice Humidex, (H) est très utilisé par les services sanitaires, et les entreprises ayant un personnel exposé longuement au soleil (travaux à l'extérieur des abris). L'utilisation de cet indice dans beaucoup de pays (Canada particulièrement) permet grâce aux données prévues de température et d'humidité de déclencher le système d'alerte qui peut aller jusqu'à préconiser l'arrêt de travail dans de nombreux domaines. L'Humidex est actuellement élaboré par beaucoup de services météorologiques dans le monde (Canada, France, Europe ...). Nous présenterons ici les deux indices PET et Humidex, comme nous illustrons leurs évolutions pendant la période caniculaire du mois de mars 2001.

¹ Office National de la Météorologie, Dar El Beida, Alger

*Correspondant:

1. Introduction

Plusieurs indices et modèles ont été développés par de nombreux chercheurs afin d'évaluer l'impact du stress thermique dû aux effets combinés de plusieurs paramètres météorologiques sur le corps humain. Si on veut évaluer l'influence du climat sur l'organisme humain, il est nécessaire d'évaluer les effets non seulement d'un seul paramètre mais de toutes les composantes thermiques, ce qui nous conduit à la modélisation de l'équilibre de chaleur de l'homme [Buttner \(1938\)](#) [Matzarakis \(2007\)](#).

On notera l'existence d'un ensemble d'applications typiques sur le calcul d'indices de confort entre autres, la température effective standard (SET) la température perçue (PT) ainsi que la température équivalente physiologique (PET). Tous ces indices thermiques sont bien documentés et incluent des paramètres météorologiques et thermo-physiologiques importants [Matzarakis \(2007\)](#).

L'avantage de ces indices thermiques, c'est qu'ils nécessitent presque tous les mêmes paramètres de la composante météorologique du système comme la température de l'air, humidité de l'air ou la tension de vapeur, la vitesse du vent ainsi que ceux relatifs aux flux de rayonnement de courtes longueurs d'ondes.

Vers les années soixante [Thom \(1959\)](#) a mis en oeuvre l'indice de confort bioclimatique « THI » qui combine la température, l'humidité et le vent.

Fanger en 1970 a conçu le 1^{er} modèle de l'équilibre énergétique du corps humain, qui a ensuite été modifié

par Jendritzky ([Baltazar \(2014\)](#) [Höppe \(1997\)](#)) en incluant les paramètres évaluant le flux radiatif permettant ainsi son application dans l'environnement extérieur.

Parmi les modèles bioclimatiques et de flux de rayonnement développés récemment, on citera le modèle « RayMan » qui calcule les flux radiatifs déterminant ainsi la température équivalente physiologique (PET) [Matzarakis et al. \(2007\)](#) [Matzarakis et al. \(2010b\)](#). Le modèle Rayman développé suivant le guide 3787 de la société d'ingénierie allemande VDI (1998), calcule le flux de rayonnement dans un environnement simple et complexe sur la base de plusieurs paramètres, tels que la température de l'air, humidité de l'air, le degré de couverture nuageuse, heure du jour et année, l'albédo des surfaces environnantes [Gulyas and Matzarakis \(2009\)](#).

Le PET est un indice thermique universel s'exprimant en °C. Pour l'obtenir, il faut déterminer les paramètres atmosphériques influençant l'équilibre des échanges de chaleur du corps humain tels que le vent, l'humidité, la température de l'air et la température moyenne radiante de l'environnement [Matzarakis et al. \(2007\)](#).

2. Intérêt des indices (PET) et l'Humidex dans les secteurs du tourisme et de la santé

Urban et Kysely [Urban and Kysely \(2014\)](#) ont étudié la relation du nouvel Indice « UTCI » (Universal Thermal Climate Index) et l'ont comparé avec l'indice «(PET) » dans l'analyse des effets de la chaleur et du Froid sur

la mortalité cardio-vasculaire en deux régions différentes (urbaine et rurale) en République Tchèque pendant seize (16) années (1994–2009). Ces deux chercheurs ont conclu que le PET se montre un prédicteur plus universel dans la relation de la mortalité avec la chaleur et le froid que l'indice UTCI et pour les deux environnements urbain et rural, d'où son intérêt pour les services sanitaires, notamment les urgences médicales.

Dans beaucoup d'études, on a pu montrer également l'utilité de l'utilisation du PET dans le domaine du tourisme. En effet, lorsque les touristes sont exposés à une condition thermique extérieure qui provoque le stress thermique, c'est-à-dire les températures extrêmement élevées ou basses, leur santé pourrait être négativement affectée. A l'inverse, lorsque les touristes se retrouvent dans des conditions thermiques qui sont proches de leurs zones de confort thermique, le nombre de touristes qui visitent les stations balnéaires à titre d'exemple ou bien les sites touristiques exposés en plein air peut augmenter [Lin \(2009\)](#), d'où l'intérêt économique. Comme un indice thermique issu de l'équilibre de l'énergie humaine, la température équivalente physiologique (PET) demeure par conséquent bien adaptée à l'évaluation de la composante thermique dans les différentes situations climatologiques.

L'Humidex est un indice qui combine à la fois la température réelle et le niveau d'hygrométrie (ou taux d'humidité) de l'air, il reflète en quelque sorte la température ressentie. Ces deux paramètres météorologiques sont déterminants pour le confort humain pendant la saison estivale particulièrement. Le corps humain a en effet tendance à davantage ressentir la chaleur lorsque l'air est plus humide. Sous certaines conditions de travail, l'Humidex pourrait servir en tant qu'indice de l'inconfort dû à une exposition prolongée à la chaleur. Dans le monde, cet indice est destiné au grand public.

Les spécialistes en biométéorologie et les médecins spécialisés confirment que puisque Le corps tente de se maintenir à une température interne constante de $37^{\circ}C$, il cherchera à s'adapter à la canicule, pour cela, il met en action des mécanismes de régulation thermique par transpiration et respiration éliminant ainsi la chaleur via l'eau et la vapeur d'eau rejetées.

L'évaporation s'arrête même complètement lorsque l'humidité relative atteint environ 90%. Dans ce cas, la température du corps augmente et il y a risque de maladie.

Plus loin encore, l'intérêt que revêt cet indice ne se limite pas uniquement à ces deux secteurs. En effet, et en date du 20 Juin 2016, la Fédération Québécoise de Soccer-Football (FSQ) avait adressé un communiqué intitulé « Canicule $30^{\circ}C$ et plus avec un facteur Humidex : Pause d'Eau Supplémentaire ». Dans ce communiqué, la fédération avait demandé aux arbitres d'être permissifs quant à l'attribution de pauses d'eau dans toutes les catégories et au milieu de chaque mi-temps sans toutefois dépasser les deux minutes.

3. L'indice PET : Définition

La température équivalente physiologique (PET) utilise le modèle d'équilibre énergétique de Munich pour les individus (MEMI) (figure 1), qui est un modèle d'équilibre de chaleur thermo-physiologique. Cet équilibre est défini par l'équation [Taleghani et al. \(2016\)](#) :

$$S + W + R + M + C + E_{re} + ED + E_{sw} = 0 \quad (1)$$

Où :

S	Stockage de la chaleur du corps
W	Travail physique dégagé
R	Rayonnement net du corps
M	Taux du métabolisme (production énergétique interne par le corps)
C	Flux de la chaleur convective
E_{re}	Tous les flux de réchauffement et d'humidification de l'air inspiré.
ED	Flux de chaleur latente pour l'évaporation de l'eau diffusée à travers la peau du corps
E_{sw}	Flux de chaleur latente due à l'évaporation de la sueur

Pour calculer le PET, il est nécessaire de déterminer toutes les variables météorologiques qui sont importantes pour l'équilibre de l'énergie humaine à une hauteur biométéorologique significative.

L'indice utilise quatre paramètres météorologiques et deux paramètres thermo-physiologiques, il s'agit de : la température de l'air ($^{\circ}C$), la température moyenne radiante ($^{\circ}C$), l'humidité relative (%), la force du vent (m/s), la résistance thermique de l'habillement ($Clo = 0.155K.m^2.W^{-1}$) et le niveau d'activité de l'homme (W).

Le métabolisme dépend également des attributs personnels tels que la taille, le poids, l'âge et le sexe. L'isolation des vêtements (exprimée en unité de Clo) dépend de l'échange de chaleur entre le corps humain avec son environnement, elle prend la valeur 0 pour une personne nue et 1,5 pour une personne portant des vêtements d'hiver lourds. Quant à l'activité de l'homme, elle varie entre $40W$ (personne endormie) à $410 - 505W$ au moment d'une activité de lutte par exemple (exercice de sport...) ([Daneshvar et al. \(2013\)](#)).

Les paramètres humains influençant le PET sont habituellement normalisés dans le modèle MEMI car l'accent est mis non pas sur les caractéristiques individuelles de l'homme, mais sur les conditions climatiques à différents endroits [Matzarakis et al. \(2010a\)](#). Afin de quantifier la perception des ambiances thermiques par des humains, des valeurs seuils du PET ont été développés, indiquant les différents niveaux de stress thermique sous la forme d'un index gradué (tableau 1). Dans ce tableau, les valeurs seuils du PET pour différentes perceptions thermiques et des niveaux de stress thermiques, associés à un taux métabolique de $80W$ (marche à pied) et une résistance de transfert de chaleur d'habillement $0,9Clo$ (habillement d'été) sont indiquées. Les hypothèses suivantes ont été faites pour le climat intérieur de référence dans le calcul du PET.

La température moyenne radiante équivalente à la température de l'air ($T_{mrt} = Ta$), la vitesse de l'air fixée à $0,1m/s$, la tension de vapeur d'eau à $12hPa$ (équivalente à un taux d'humidité relative de 50% à $Ta = 20^{\circ}C$), [Mayer and Höppe \(1987\)](#) [Höppe \(1999\)](#).

Les valeurs calculées du PET utilisées dans notre étude, sont basées sur des conditions standards relatives à une personne exposée au soleil ayant les caractéristiques suivantes :

— taille = 1,75 m

- poids = 75 kg
- sexe = mâle
- âge = 35 ans

Ces valeurs sont rendues constantes dans le calcul du PET afin de définir un index indépendant des comportements individuels (Tableau 1).

Lorsque le PET s'élève à $29^{\circ}C$ et plus, le stress thermique devient préoccupant pour la santé, ce stress deviendra dangereux à partir d'un PET équivalent à $35^{\circ}C$.

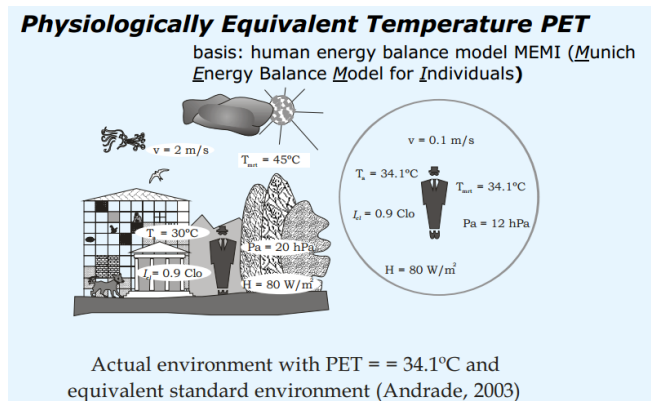


Figure 1. Composantes du Modèle MEMI servant à la détermination de l'indice PET Matzarakis (2007)

4. Calcul de l'Indice PET pour le cas de la canicule du mois de Mars 2001 en Algérie

Nous nous sommes intéressés à la détermination du PET durant la période caniculaire qui a sévi en Algérie entre le 21 et le 25 mars Sahabi-Abed and Kerrouche (2017).

L'objectif principal étant de procéder à l'élaboration de la carte PET (carte de vigilance) qui revêt d'une importance capitale pour différents secteurs, notamment celui du tourisme et de la santé.

Données utilisées

Les données météorologiques utilisées sont celles relevées à 12h00 TU (13h00 locale). Le choix de cet horaire est dicté par le fait, qu'à cette heure, les conditions extrêmes de température et d'humidité, qui risquent d'influencer fortement le corps humain et par conséquent la sensation thermique provoquant le stress physiologique maximal défavorable, ont de forte chance d'être enregistrées. Les données quotidiennes relevées à 12h00TU en provenance de 41 stations synoptiques du réseau de l'Office National de la Météorologie (O.N.M) des 41 wilayas couvrant le territoire national ont été utilisées. Pour des raisons liées à cette étude, et pour des raisons de non disponibilité de stations dans les chefs lieux des wilayas, la station de Dellys Afir a servi pour représenter la wilaya de Boumerdes, et celle de BeniSaf, la wilaya d'Ain-Témouchent (choisies pour leur proximité). Les données quotidiennes utilisées sont : la température moyenne, l'humidité relative, la vitesse du vent et la nébulosité.

Nous avons utilisé le modèle « RayMan version 1.2 » de l'institut Météorologique de l'université de Freiburg d'Allemagne pour le calcul de la PET. Le modèle "Ray-Man" calcule les flux radiatifs et les effets des nuages sur les flux radiatifs de courtes longueurs d'ondes, à l'issu des

quels il déterminera la température radiante nécessaire dans l'équation d'équilibre énergétique du corps humain.

Les valeurs calculées du PET utilisées dans notre étude, sont basées sur des conditions standards (par défaut) relatives à une personne exposée au soleil avec une légère activité liée à la marche (80W) ayant les caractéristiques suivantes (figure 1) :

- taille = 1,75 m
- poids = 75 kg
- sexe = male
- âge = 35 ans

Les résultats de l'indice PET relatif à chaque station et pour chaque journée couvrant la période caniculaire sont reproduits sur des cartes (figures 2-6).

Traçage des cartes PET

Nous avons élaboré des cartes d'indice PET pour toute la période couverte par la canicule ayant fait l'objet d'une étude antérieure Sahabi-Abed and Kerrouche (2017) et ayant couvert l'Algérie du 21 au 25 mars 2001. Nous viserons à travers ceci, la réalisation d'une carte de vigilance mettant en exergue le degré du stress thermique pouvant être généré par les conditions météorologiques extrêmes ayant été enregistrées pendant ces journées caniculaires. Le suivi de l'indice PET du 21 au 25 mars 2001 montre bien l'évolution du stress de chaleur en fonction de l'évolution des conditions météorologiques.

En date du 21 mars 2001, quatre wilayas ont observé un stress de chaleur fort à extrême, il s'agit de Tlemcen et Béchar ayant enregistré un PET de $43^{\circ}C$, Ain-Temouchent de $40^{\circ}C$ et Illizi de $37^{\circ}C$. Le reste des wilayas ont observé une situation de confort ou bien de stress de chaleur léger ou modéré (figure 2). Dans la journée du 22 mars, le stress de chaleur extrême s'est répandu sur l'ensemble des wilayas de l'ouest et le centre du Sahara ainsi que quelques villes au centre et l'est. Six wilayas de l'ouest du pays ont connu un PET supérieur à $41^{\circ}C$, comme à Béchar et Tlemcen où le maximum a été observé avec $49^{\circ}C$ au même moment, Tizi-Ouzou et Bouira avaient relevé respectivement $42^{\circ}C$ et $43^{\circ}C$. Dans cette même journée, Neuf (09) autres villes ont enregistré des PET supérieures à $35^{\circ}C$, se trouvant ainsi dans une situation de stress fort (figure 3).

La canicule qui semble avoir couvert l'ensemble du territoire le 23 mars 2001 a mis en évidence des PET assez élevés dans la plupart des villes. Trente-cinq (35) wilayas du pays ont connu des PET supérieurs à $29^{\circ}C$ c'est-à-dire allant d'un degré de stress de chaleur modéré à extrême. Parmi ces wilayas, onze (11) ont enregistré un niveau de stress physiologique extrême, le record étant enregistré à Alger avec plus de $54^{\circ}C$ (figure 4). En date du 24 mars 2001, le stress de chaleur extrême s'est maintenu particulièrement dans les régions sahariennes. Seize (16) wilayas avaient enregistré des indices PET supérieurs à $35^{\circ}C$ dont (06) sont restées dans la classe d'un stress de chaleur extrême, le record étant observé à Ouargla avec $55^{\circ}C$ (figure 5). Vers le 25 mars, six (06) wilayas sont restées sous un stress de chaleur fort à extrême (maximum observé à Ouargla avec $45^{\circ}C$) et huit sous un stress de chaleur modéré (figure 6).

Table 1. Seuils et degrés de sensation relatifs à l'indice PET

PET (° C)	Sensation Thermique	Niveau du Stress Physiologique
< 4	Très froid	Stress de froid extrême
4 – 8	Froid	Fort stress de froid
8 – 13	Frais	Stress de froid modéré
13 – 18	Légèrement frais	Stress de froid léger
18 – 23	Confortable	Pas de stress thermique
23 – 29	Légèrement chaud	Stress de chaleur léger
29 – 35	Chaud	Stress de chaleur modéré
35 – 41	Très Chaud	Stress de chaleur fort
> 41	Extrêmement chaud	Stress de chaleur extrême

5. l'Indice Humidex (H) : Définition

L'Humidex fut crée par les météorologistes canadiens en 1965. Il indique de quelle manière le temps chaud et humide est perçu par une personne moyenne. La relation entre l'Humidex et le bien-être reste toute fois subjective. Elle varie largement selon les individus. L'Humidex tient de l'effet combiné de la température et de l'humidité pour mesurer le confort et la sensation d'une personne. C'est un nombre qui décrit l'intensité de chaleur ressentie par les personnes, tout comme le facteur de refroidissement éolien qui décrit l'intensité du froid ressenti par les gens. Cet indice mesure par conséquent le degré de la chaleur perçue résultant de l'effet combiné de l'humidité excessive et d'une température élevée.

Un taux d'humidité élevé donne l'impression de faire plus chaud que durant une journée plus sèche. Par temps chaud, l'organisme produit de la sueur pour rafraîchir le corps par évaporation. La transpiration qui sert à abaisser notre température corporelle ne peut s'évaporer aussi facilement dans l'air très humide. L'évaporation s'arrête même complètement lorsque quand l'air renferme un taux d'humidité trop élevé ou devient complètement saturé, ce qui fait augmenter la température du corps provoquant ainsi des maladies dangereuses.

L'humidex fut modifié par Masterton and Richardson (1979). Il permet alors de décrire la chaleur et l'humidité ressentie et s'utilise essentiellement en milieux chauds. Il regroupe la température de l'air (T) et la Tension de la vapeur d'air (« e » en hPa); il est sans dimension. Le degré de confort associé aux valeurs de l'humidex est présenté dans le tableau 2 et tableau 3.

La formule de l'humidex utilisée au Canada est :

$$H = (0.5555) \times (e - 10.0) \quad (2)$$

Avec e la pression partielle de vapeur (hPa) donnée par :

$$e = 6,11 \times \exp \left[5417,7530 \times \left(\frac{1}{273.16} - \frac{1}{T_d} \right) \right] \quad (3)$$

Avec :

- T_d : Température du point de rosée (K)
- 5417,7530 : Constante arrondie basée sur le poids moléculaire de l'eau, sur la chaleur latente d'évaporation et sur la constante des gaz parfaits.

Ainsi, on peut écrire :

$$Humidex = t_{air} +$$

$$0.5555 \times \left[6.11 \exp \left[5417.7530 \left(\frac{1}{273.16} - \frac{1}{T_d} \right) \right] - 10 \right] \quad (4)$$

Table 2. Calcul de l'indice humidex en fonction de la température et de l'humidité relative.

		Relative Humidity (%)																
		100%	95%	90%	85%	80%	75%	70%	65%	60%	55%	50%	45%	40%	35%	30%	25%	20%
Temperature (°C)	21°C	29	29	28	27	27	26	26	24	24	23	23	22					
	22°C	31	29	29	28	28	27	26	26	24	24	23	23					
	23°C	33	32	32	31	30	29	28	27	27	26	25	24	23				
	24°C	35	34	33	33	32	31	30	29	28	28	27	26	26	25			
	25°C	37	36	35	34	33	33	32	31	30	29	28	27	27	26			
	26°C	39	38	37	36	35	34	33	32	31	31	29	28	28	27			
	27°C	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	28		
	28°C	43	42	41	41	39	38	37	36	35	34	33	32	31	29	28		
	29°C	46	45	44	43	42	41	39	38	37	36	34	33	32	31	30		
	30°C	48	47	46	44	43	42	41	40	38	37	36	35	34	33	31	31	
	31°C	50	49	48	46	45	44	43	41	40	39	38	36	35	34	33	31	
	32°C	52	51	50	49	47	46	45	43	42	41	39	38	37	36	34	33	
	33°C	55	54	52	51	50	48	47	46	44	43	42	40	38	37	36	34	
	34°C	58	57	55	53	52	51	49	48	47	45	43	42	41	39	37	36	
	35°C		58	57	56	54	52	51	49	48	47	45	43	42	41	38	37	
	36°C			58	57	56	54	53	51	50	48	47	45	43	42	40	38	
37°C					58	57	55	53	51	50	49	47	45	43	42	40		
38°C							57	56	54	52	51	49	47	46	43	42	40	
39°C									56	54	53	51	49	47	45	43	41	
40°C										57	54	52	51	49	47	44	43	

Humidex	Degree of Discomfort
20 - 29	No discomfort
30 - 39	Some discomfort
40 - 45	Great discomfort, avoid exertion
46 +	Dangerous, possible heat stroke

6. Calcul de l'Humidex : Cas de la canicule de mars 2001 en Algérie

Les données quotidiennes de température et d'humidité relative relevées à 12h00 TU (13h00 heure locale) et en provenance des mêmes stations synoptiques du réseau de l'Office National de la Météorologie ayant servi à calculer l'indice de température équivalente physiologique ont été utilisées pour le calcul de l'indice Humidex pendant la période caniculaire qui a touché le pays du 21 au 25 mars 2001. Nous visons à travers ceci, l'élaboration de la carte Humidex relative à cette situation, ce qui permettra par la suite de voir quelles auraient été les conditions de confort qui régnaient sous ces conditions météorologiques si le service météorologique avait à l'époque procéder à son élaboration. Cette démarche permettra également de comparer si l'Humidex fera ressortir des degrés de confort comparables à ceux dégagés par l'indice PET déterminés précédemment.

D'après l'analyse des cartes, il semblerait que l'Humidex suivait de près l'allure du PET à compter du 22 mars 2001. Dans la journée du 21 mars, l'Humidex était

Table 3. Valeurs de l'indice Humidex et degrés de confort associés.

Valeur de l'Humidex	Degré de confort
< 15	Sensation de frais ou de froid
15 → 19	Peu de gens sont incommodes
20 → 29	Sensation de bien-être
30 → 34	Sensation de malaise plus ou moins grande
35 → 39	Sensation de malaise assez grande. Prudence : ralentir certaines activités en plein air.
40 → 45	Sensation de malaise généralisée. Danger : éviter les efforts.
46 → 53	Danger extrême : Arrêt de travail dans de nombreux domaines.
> 54	Coup de chaleur imminent Danger de mort

globalement inférieur à 30 (figure 7). Par contre, dans le reste des journées, on a observé des indices d'Humidex supérieurs à 30. En date du 22 mars 2001, dix (10) wilayas ont vu leurs indices équivalents ou supérieurs à 30 et se trouvaient par conséquent dans une situation de sensation de malaise plus ou moins grande, le maximum étant observé à Ouargla avec une valeur de 33 (figure 8). Dans la journée du 23 mars, vingt-trois (23) villes étaient au niveau supérieur à 30, notamment au centre et à l'Est où l'Humidex a dépassé le seuil de 35 pour atteindre la valeur 37 à Alger et 35 à Annaba, Skikda et Oran (figure 9). L'Humidex de la journée du 24 mars 2001 semble se renforcer dans l'Est du pays, plus particulièrement dans la région du littoral où l'on a observé cette fois-ci un Humidex de 40 à Jijel, ce qui montre que l'on se trouvait dans une situation de malaise généralisée et de danger (Figure 10). En cette journée, avec de telles valeurs prévues de température et d'humidité, l'Humidex nous aurait permis de lancer un appel au grand public et d'alerter les services concernés (sanitaire notamment) afin de prendre les dispositions nécessaires.

Neuf (09) wilayas majoritairement du Sud ont enregistré des valeurs d'indice Humidex supérieures à 30 le 25 mars, c'est-à-dire se trouvaient dans une situation de sensation de malaise plus ou moins grande à assez grande. On notera cependant à leur tête la ville de Ouargla avec une valeur de 36 (figure 11).

7. Conclusion

Nous avons pu mettre en exergue la possibilité de l'élaboration de cartes de vigilance relatives à la sensation thermique et au confort humain ainsi que les effets négatifs probables qui peuvent y être engendrés par suite des conditions météorologiques extrêmes. Des cartes de ce type prévues et élaborées sur la base de données météorologiques prédites pourraient à l'avenir sans doute servir à lancer une alerte précoce que ce soit au grand public (par des bulletins simples comme pour l'Humidex) ou bien aux différents usagers spécifiques par le biais de cartes PET et Humidex. Comme, on a pu montrer que ces indices biométéorologiques ou physiologiques deviennent de plus en plus des outils incontournables dans la prise de décision dans le monde, et ce, que ce soit dans le secteur du travail, le tourisme ou même dans les activités sportives.

On a pu également montrer que certains secteurs dans le monde s'appuient sur des indices de type Humidex (H) ou bien la température équivalente physiologique pour l'élaboration de leurs plans d'alerte et de vigilance sanitaire, voire même lancer des communiqués et des aver-

tissements. Ces indices biométéorologiques de confort se montrent de plus en plus pertinents dans la lutte contre le déclenchement soudain de plusieurs types de maladies liées notamment à la chaleur ou le froid, entre autres, les maladies cardio-vasculaires et respiratoires. Comme l'Humidex associe l'effet combiné de la température avec l'humidité, ce dernier demeure un indicateur potentiel notamment aux sujets vulnérables (personnes âgées, malades chroniques, enfants,...).

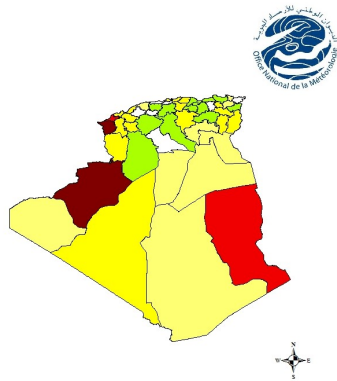
Nous recommandons enfin d'introduire ce type de cartes dans le proche avenir en opérationnel dans le service de prévision météorologique de l'Office National de la Météorologie après une coordination avec les utilisateurs concernés.

Références

- Baltazar, S. (2014). New bioclimatic maps of Lisbon. Spatial modelling of physiological equivalent temperature. *Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia*, pages 81 – 94.
- Buttner, K. (1938). *Physikalische bioklimatologie*. Akademische, Verlagsgesellschaft Leipzig.
- Daneshvar, M. R. M., Bagherzadeh, A., and Tavousi, T. (2013). Assessment of bioclimatic comfort conditions based on physiologically equivalent temperature (pet) using the rayman model in iran. *Central European Journal of Geosciences*, 5(1) :53–60.
- Gulyas, A. and Matzarakis, A. (2009). Seasonal and spatial distribution of physiologically equivalent temperature (pet) index in hungary. *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*.
- Höppe, P. (1997). Aspects of human biometeorology in past, present and future. *International Journal of Biometeorology*, 40(1) :19–23.
- Höppe, P. (1999). The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, 43(2) :71–75.
- Kedissa, C. and Outtas, S. (2010). Strategies pour un refroidissement passif des espaces extérieurs. In *5eme congrès international sur les énergies renouvelables et l'environnement, communication personnelle, Sousse, Tunisie*.
- Lin, T.-P. (2009). Thermal perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid regions. *Building and Environment*, 44(10) :2017 – 2026.
- Masterton, J. and Richardson, F. (1979). *Humidex : a method of quantifying human discomfort due to exces-*

- sive heat and humidity*. Downsview, Ont. : Atmospheric Environment.
- Matzarakis, A. (2007). Assessment method for climate and tourism based on daily data. *Developments in tourism climatology*, (12).
- Matzarakis, A., Rudel, E., Zygmuntowski, M., and Koch, E. (2010a). Bioclimatic maps for tourism purposes. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 35(1-2) :57 – 62. Bio-, Agro, and Urban Climatology.
- Matzarakis, A., Rutz, F., and Mayer, H. (2007). Modelling radiation fluxes in simple and complex environments—application of the rayman model. *International Journal of Biometeorology*, 51(4) :323–334.
- Matzarakis, A., Rutz, F., and Mayer, H. (2010b). Modelling radiation fluxes in simple and complex environments : basics of the rayman model. *International Journal of Biometeorology*, 54(2) :131–139.
- Mayer, H. and Höppe, P. (1987). Thermal comfort of man in different urban environments. *Theoretical and Applied Climatology*, 38(1) :43–49.
- Sahabi-Abed, S. and Kerrouche, M. (2017). Canicule et vague de chaleur en algerie : Definition — seuils — caracteristiques. *Journal Algerien de Meteorologie Appliquee*.
- Taleghani, M., Sailor, D., and Ban-Weiss, G. A. (2016). Micrometeorological simulations to predict the impacts of heat mitigation strategies on pedestrian thermal comfort in a los angeles neighborhood. *Environmental Research Letters*, 11(2) :024003.
- Thom, E. C. (1959). The discomfort index. *Weatherwise*, 12(2) :57–61.
- Urban, A. and Kysely, J. (2014). Comparison of utci with other thermal indices in the assessment of heat and cold effects on cardiovascular mortality in the czech republic. *J. Environ. Res. Public Health*.
- VDI (1998). Methods for the human-biometeorological assessment of climate and air hygiene for urban and regional planning. *Climate. VDI Guidline 3787. Beuth, Berlin*.

Température Equivalente Physiologique (PET)
Date: 21 Mars 2001

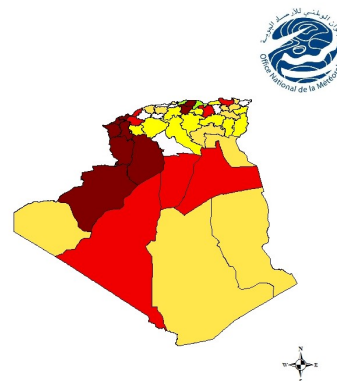


Température Equivalente Physiologique en °C

- Pas d'Observation
- 18 - 23: Pas de Stress thermique
- 23 - 29: Stress de Chaleur Léger
- 29 - 35: Stress de Chaleur Modéré
- 35 - 41: Stress de Chaleur Fort
- >41: Stress de Chaleur Extrême

Figure 2

Température Equivalente Physiologique (PET)
Date: 22 Mars 2001

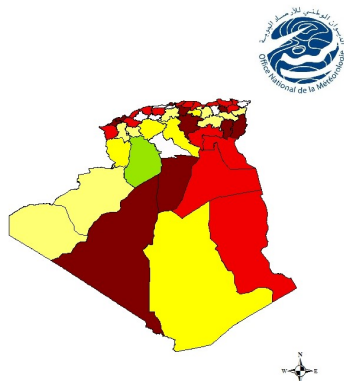


Température Equivalente Physiologique en °C

- Pas d'Observation
- 18 - 23: Pas de Stress Thermique
- 23 - 29: Stress de Chaleur Léger
- 29 - 35: Stress de Chaleur Modéré
- 35 - 41: Stress de Chaleur Fort
- >41: Stress de Chaleur Extrême

Figure 3

Température Equivalente Physiologique (PET)
Date: 23 Mars 2001

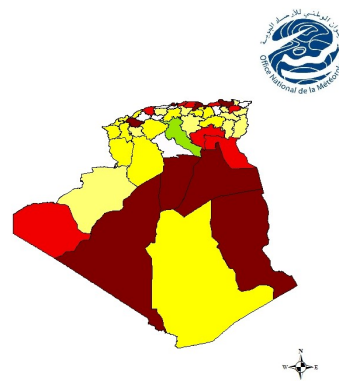


Température Equivalente Physiologique en °C

- Pas d'Observation
- 18 - 23: Pas de Stress Thermique
- 23 - 29: Stress de Chaleur Léger
- 29 - 35: Stress de Chaleur Modéré
- 35 - 41: Stress de Chaleur Fort
- >41: Stress de Chaleur Extrême

Figure 4

Température Equivalente Physiologique (PET)
Date: 24 Mars 2001

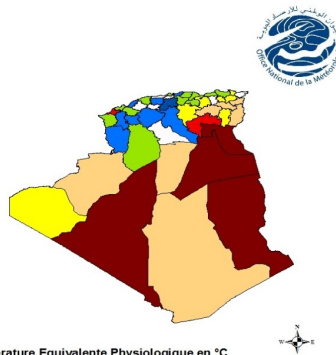


Température Equivalente Physiologique en °C

- Pas d'Observation
- 18 - 23: Pas de Stress Thermique
- 23 - 29: Stress de Chaleur Léger
- 29 - 35: Stress de Chaleur Modéré
- 35 - 41: Stress de Chaleur Fort
- >41: Stress de Chaleur Extrême

Figure 5

Température Equivalente Physiologique (PET)
Date: 25 Mars 2001



Température Equivalente Physiologique en °C

- Pas d'Observation
- 06 - 13: Stress de Froid Modéré
- 13 - 18: Stress de Froid Léger
- 18 - 23: Pas de Stress Thermique
- 23 - 29: Stress de Chaleur Léger
- 29 - 35: Stress de Chaleur Modéré
- 35 - 41: Stress de Chaleur Fort
- >41: Stress de Chaleur Extrême

Figure 6

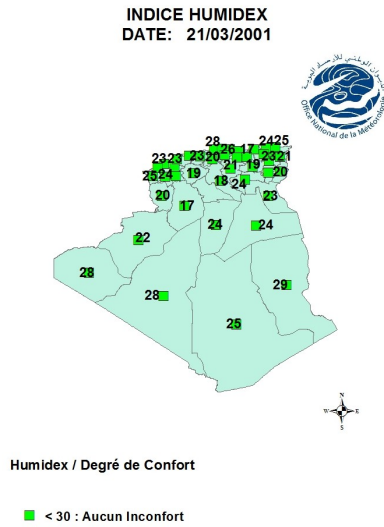


Figure 7

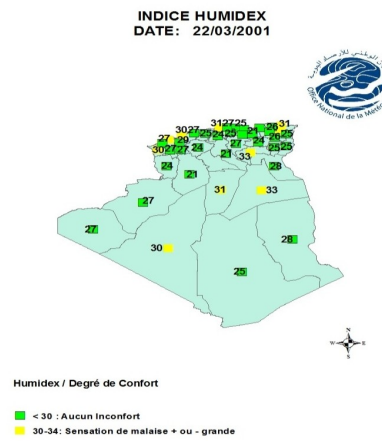


Figure 8

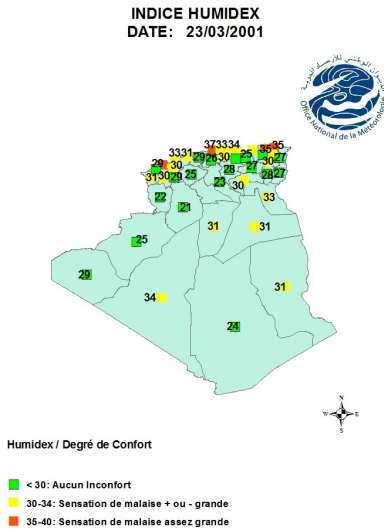


Figure 9

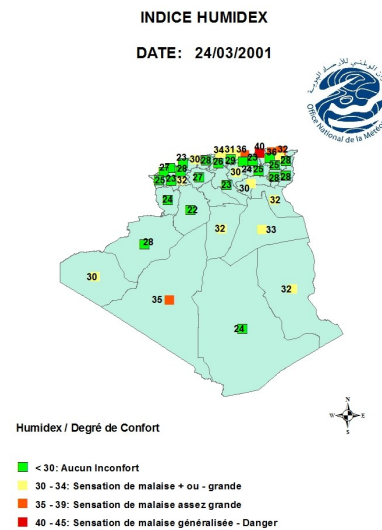


Figure 10

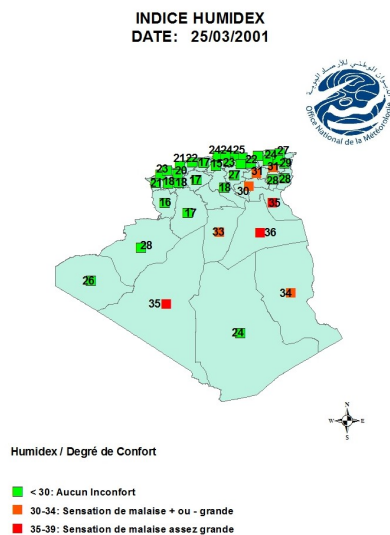


Figure 11