

Vulnérabilité de la santé humaine face au changement climatique en Alsace

Synthèse de l'état des lieux de connaissances

Julia TIMINA, Stagiaire Université de Strasbourg
Michaël BERTIN, maître de stage, DREAL Alsace

Sommaire

Introduction

1. Les enjeux sanitaires liés à une augmentation en fréquence et en intensité des événements climatiques extrêmes
 - 1.1. Pics de température et vagues de chaleur (canicules)
 - 1.2. Inondations
 - 1.3. Tempêtes
2. Les enjeux sanitaires liés à l'émergence ou la réémergence des maladies infectieuses
 - 2.1. Réduction de la durée d'enneigement et du nombre de jours de gelée: risque de prolifération des rongeurs porteurs des virus
 - 2.2. Augmentation des températures de l'air et de l'eau : risque de prolifération des microbes, virus et parasites
3. Les enjeux sanitaires liés aux modifications progressives de l'environnement et des modes de vie modifiant des expositions actuelles aux risques pour la santé
 - 3.1. Climat plus doux et plus humide en hiver : risque de prolifération des moisissures et des champignons
 - 3.2. Sécheresse : quel impact sur la transmission de maladies à vecteurs ?
 - 3.3. Concentration d'ozone (O₃) : les effets de la pollution photochimique
 - 3.4. Concentration des particules fines
 - 3.4.1. Les effets directs et indirects du pollen
 - 3.4.2. Particules ultrafines PM₁₀ et PM_{2,5}
 - 3.5. Politique énergétique en faveur des énergies renouvelables

Conclusion

Bibliographie

Annexes

Introduction

Selon la publication de l'InVS¹ « Impacts sanitaires du changement climatique en France – Quels enjeux pour l'InVS ? », le changement climatique ainsi que ses conséquences directes et indirectes, peuvent être considérés comme des « menaces pour la santé humaine ». Les processus liés au changement climatique modifient l'état de notre environnement naturel et des vecteurs de pathologies qui s'y trouvent, en créant de nouveaux risques d'expositions. Ces derniers agissent sur les comportements des populations et sont susceptibles de déclencher leurs mouvements. Enfin, dans la prise en compte de l'impact des changements globaux tel que le changement climatique, il ne faut pas oublier l'évolution démographique de la population aux différentes échelles : globale et régionale.

Dans les rapports nationaux de différents pays (France, Canada, Australie, USA) on retrouve les mêmes principaux types d'impacts sanitaires qui se résument ainsi :

- 1) Des conséquences d'une augmentation en fréquence et en intensité des événements climatiques extrêmes
- 2) L'émergence ou la réémergence des maladies infectieuses
- 3) Des conséquences de modifications progressives de l'environnement et des modes de vie en créant des nouvelles expositions aux risques sanitaires.

L'Institut de Veille Sanitaire reprend ces catégories d'impacts sur la santé susceptibles d'être causés par le changement climatique afin d'établir :

- Un état des lieux de connaissances dans les domaines concernés
- Une synthèse des risques attendus pour lesquels il existe un minimum d'information
- Une proposition en termes d'amélioration des systèmes de surveillance existants ainsi qu'une réflexion sur les besoins d'évolution de ces systèmes

Le présent rapport étudie les risques sanitaires susceptibles de menacer la santé des habitants de l'Alsace, selon les catégories utilisées par l'InVS.

¹ Institut de Veille Sanitaire

1. Les enjeux sanitaires liés à une augmentation en fréquence et en intensité des événements climatiques extrêmes

1.1. Pics de température et vagues de chaleur (canicules)

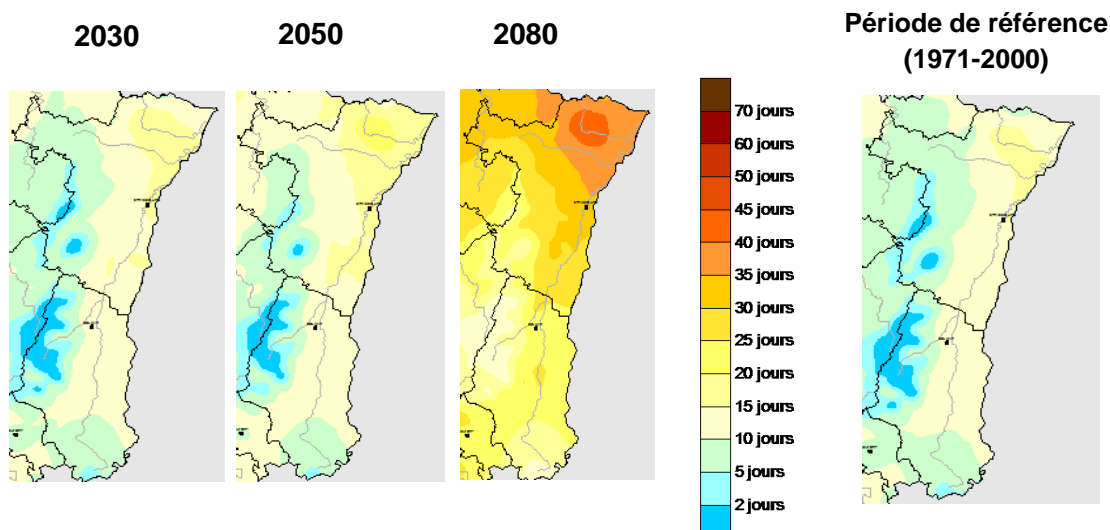
Conditions météorologiques d'une canicule

Selon les indices biométéorologiques de L'Institut de Veille Sanitaire et de Météo France, la période est considérée comme caniculaire si la température minimale moyenne est supérieure à 18°C et la température maximale moyenne est supérieure ou égale à 33.5°C sur une durée d'au moins trois jours consécutifs (rapport de Météo France en accompagnement des données de simulations du climat en France). A cette condition il est convenu d'ajouter un fort ensoleillement, une stabilité de l'atmosphère avec des vents souvent très faibles, ce qui favorise la stagnation de la pollution dans une masse d'air.

Projections de Météo France

Les projections de Météo France suggèrent une augmentation du nombre de jours avec la température supérieure à 30°C avec une variabilité selon les scénarios modélisés. Il est à noter que cette augmentation est accentuée à partir de la deuxième moitié du XXI^{ème} siècle (voir illustration 1) et se manifeste davantage dans les prévisions pour le scénario « pessimiste » (A2) que pour le scénario « optimiste » (B1) (voir annexe 1).

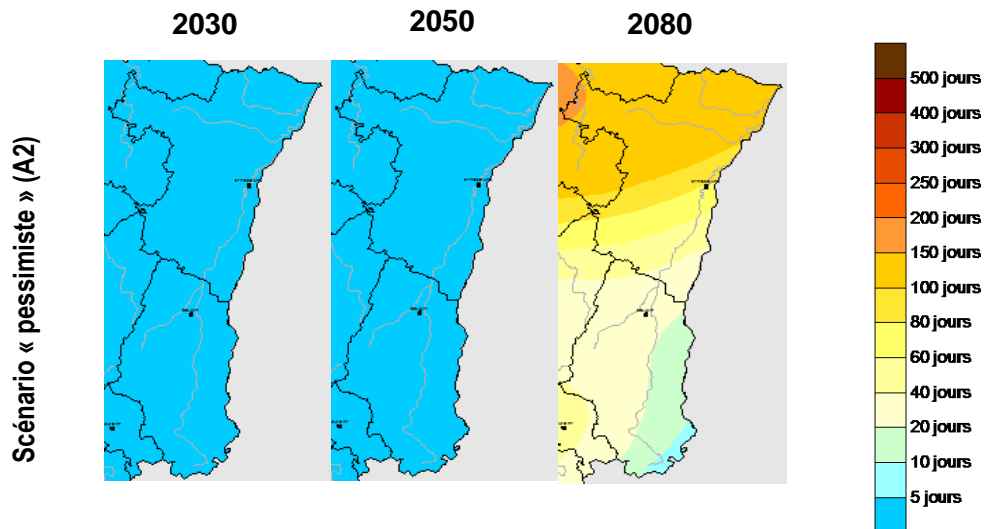
Illustration 1 : projection du nombre de jours avec la température supérieure à 30°C par an aux horizons 2030, 2050 et 2080 selon le scénario A2 (source : Météo France pour la DATAR)



Compte tenu du caractère exceptionnel d'un événement climatique tel qu'une canicule, les projections réalisées par Météo France concernent le nombre de jours cumulés sur 30 ans présentant un critère de canicule aux horizons 2030, 2050 et 2080 (voir annexe 2). De la même façon que pour les températures maximales extrêmes (supérieures à 30°C), l'augmentation du nombre de jours de canicule s'intensifie à partir de la deuxième moitié du

XXI^{ème} siècle pour les trois scénarios modélisés mais avec une variabilité spatiale non négligeable. Ainsi, pour le scénario « pessimiste » on note des changements radicaux à partir de 2050 et notamment à l'horizon 2080, où sur le Bas-Rhin le nombre de jours de canicule sur 30 ans passe de 5 en 2030-2050 à 200 au Nord du Bas-Rhin et entre 80 et 150 au niveau de Strasbourg (voir illustration 2). Il est à noter également que le Haut-Rhin serait touché dans une moindre mesure que le Bas-Rhin au cours de la deuxième moitié du XXI^{ème} siècle dans les trois scénarios modélisés.

Illustration 2 : projections du nombre de jours présentant un caractère de canicule, cumulé sur 30 ans, aux horizons 2030, 2050 et 2080 (source : Météo France pour la DATAR)



Afin de mieux représenter des impacts attendus des vagues de chaleur, il convient de ne pas oublier l'évolution démographique ainsi que la particularité des villes se traduisant par l'effet d'îlot de chaleur urbain. Ainsi, une forte densité de population des grandes agglomérations, un taux important de vieillissement des habitants et des conditions du microclimat urbain, sont des facteurs aggravant le risque sanitaire liés aux pics de chaleur dans les villes pendant les périodes estivales.

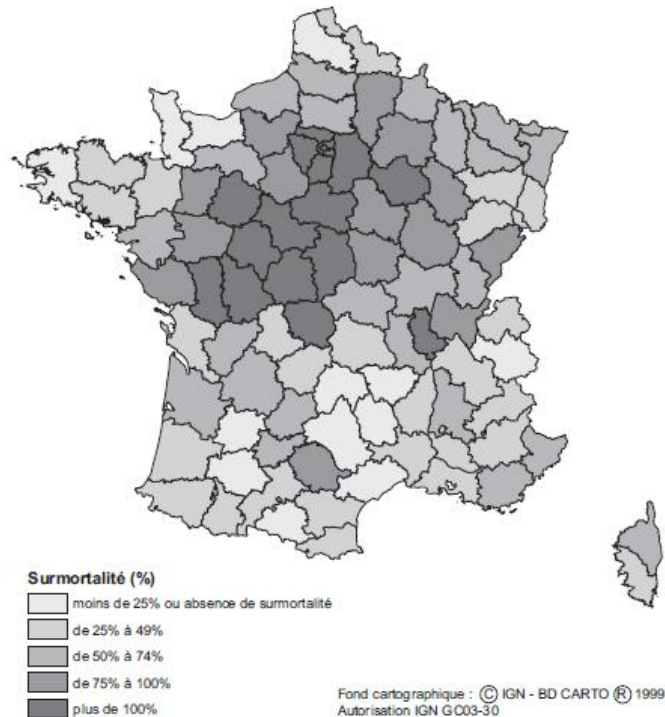
Surmortalité liée aux pics de chaleur

Le premier bilan de l'impact sanitaire de la canicule de 2003 réalisé par l'InVS illustre les résultats de plusieurs enquêtes menées pendant la période de la vague de chaleur de l'été de 2003 et des mois qui l'ont suivi (M. LEDRANS, H. ISNARD et *al.*, 2003). L'une d'entre elles porte sur les statistiques des décès par coup de chaleur dans les établissements de santé en France entre le 8 août et le 19 août 2003. Au niveau national, la majorité des décès (81%), enregistrés dans les 1637 établissements ayant répondu à l'enquête, est survenue chez des personnes âgées de 75 ans et plus, et 65% des décès sont survenus chez des femmes. Parmi les personnes décédées à l'âge de moins de 60 ans (156 décès signalés), l'étude a démontré que 41% d'entre elles souffraient des pathologies mentales, 20% de l'alcoolisme, 17% de l'obésité.

Sur l'ensemble du territoire français et d'après les déclarations parvenues à l'InVS à la date de 26 août 2003, le nombre total de décès du mois d'août s'élevait à 32065, soit 55% de surmortalité globale par rapport à la même période de l'année en 2000, 2001 et 2002.

Selon l'analyse de la surmortalité par département en France entre le 1^{er} et le 20 août 2003 (voir illustration 3), la région d'Alsace se situe dans la classe de 50% à 74% de surmortalité pour le département du Bas-Rhin et de 25% à 49% pour le département du Haut-Rhin.

Illustration 3 : répartition des taux de surmortalité observés en août 2003 dans les départements de France par rapport à la moyenne des décès de la même période des années de 2000 à 2002 (source : InVS, octobre 2003)



Parmi les principaux résultats de l'étude de l'InVS sur les effets conjoints de la chaleur et de l'ozone sur la mortalité au cours de l'été 2003 figure le constat suivant :

« il semble que les plus grands excès de mortalité observés pendant la vague de chaleur soient spécifiquement liés à la température » (S. CASSADOU *et al.*). Dans l'échantillon des neuf villes françaises, Strasbourg présente la particularité d'avoir une part des décès liée à l'ozone plus importante que celle attribuable à la chaleur. Dans les villes comme Paris et Lyon, la part de la température était largement prédominante et explique les différentiels de mortalité de ces deux villes étant les plus élevés de tout l'échantillon (voir illustrations 4 et 5) sans exclure une part liée à l'ozone qui ressort à Strasbourg du fait d'une meilleure gestion de la température élevée.

Vulnérabilité du secteur de la santé publique face au changement climatique en Alsace

Illustration 4 : excès de risque (en %) liés à l'ozone et à la température et représentation des parts relatives de chaque facteur pour la population tous âge pour la période du 3 au 17 août 2003 (source : InVS)

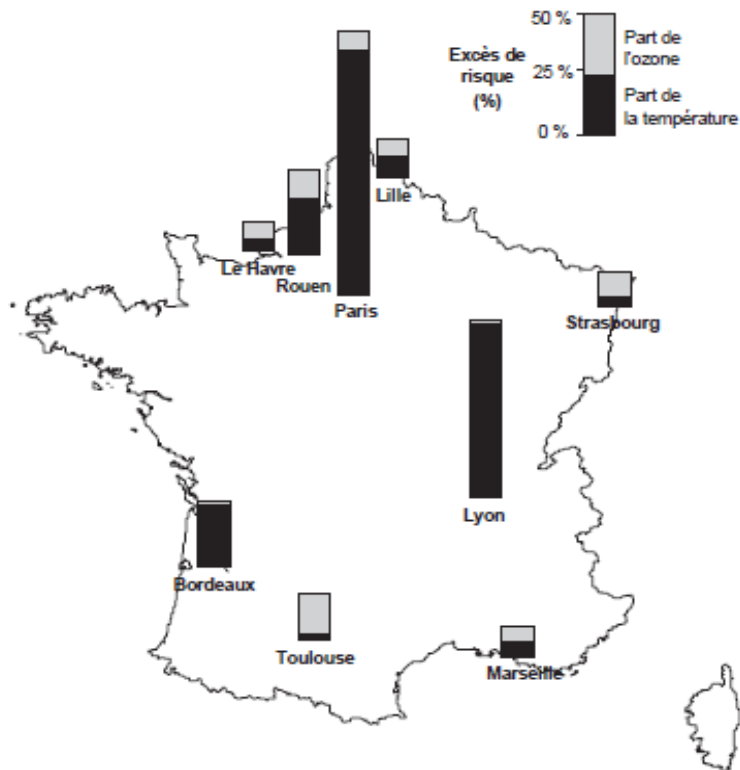


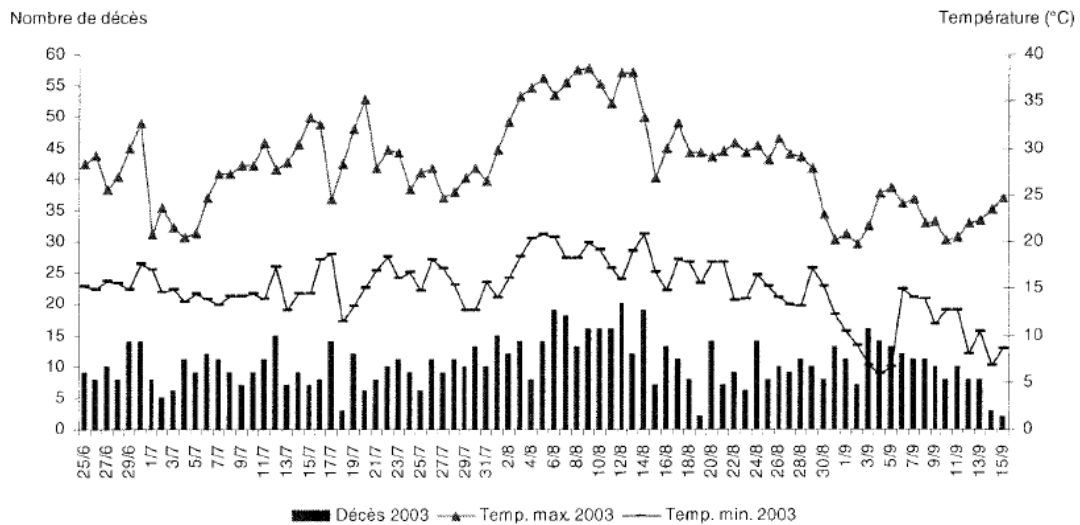
Illustration 5 : différentiel de mortalité calculé sur le période du 1^{er} au 20 août 2003 par rapport aux trois années précédentes dans sept grandes villes françaises (source : InVS)

Ville	Nombre de décès en 2003	Différentiel de mortalité (%)
Bordeaux	328	43
Lille	211	4
Lyon	456	80
Marseille	590	25
Paris	1895	142
Strasbourg	267	51
Toulouse	329	36

Source : Impact sanitaire de la vague de chaleur d'août 2003 en France [6]

A Strasbourg, comme dans toutes les autres villes évoquées dans l'étude de l'InVS, le pic de mortalité a été accompagné par le pic de températures (voir illustration 6). Il est à noter que d'un côté, en Alsace les concentrations d'ozone étaient parmi les plus importantes de la France. D'un autre côté, les écarts aux températures moyennes des maximas journaliers étaient moins importants que dans d'autres villes.

Illustration 6: répartition du nombre de décès journalier à Strasbourg et des températures minimale et maximale entre le 25 juin et le 15 septembre 2003 (source : InVS)



A Strasbourg, le pic de mortalité est survenu à la date de 12 août avec au total 20 cas de décès enregistrés ce jour-là. Toutefois, le rapport de l'InVS note les effets des maxima de la température n'étaient pas très marqués par rapport aux autres villes plus fortement touchées par la vague de chaleur en termes de mortalité.

Les risques sanitaires associés à une vague de chaleur

Le risque de l'hyperthermie grave² peut résulter d'un effort musculaire intense en condition de chaleur, ou chez les individus vulnérables tels que les enfants et des personnes âgées, d'une simple exposition à une forte chaleur (Larousse).

La déshydratation touche en premier lieu deux catégories de la population : les nourrissons et les personnes âgées. Si les nouveau-nés ne sont pas capables de répondre à ses propres besoins pour des raisons simples et logiques, les personnes âgées ont besoin également d'être surveillées à cause du fonctionnement défectueux des mécanismes régulateurs de leur organisme. Ainsi, elles ne perçoivent pas très bien la sensation de soif. De ce fait, un manque d'eau pendant les périodes de grande chaleur représente un danger important pour ces catégories de population.

Le rapport ministériel de 2003 portant sur l'estimation de la surmortalité et principales caractéristiques épidémiologiques (D. HEMON, E. JOUGLA, 2003) mentionne des pathologies suivantes, susceptibles de s'aggraver en raison d'une forte chaleur :

- Maladies de l'appareil génito-urinaire
- Maladies de l'appareil respiratoire.

² Une élévation rapide de la température corporelle au-dessus de 40°C

1.2. Inondations

Le changement climatique serait à l'origine de l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des inondations. Dans la région Alsace, ce sont les crues des cours d'eau qui seront responsables de ces événements. En associant le risque d'inondation à la santé humaine, l'InVS identifie les risques sanitaires suivants :

- Risques infectieux, par contamination de l'eau potable, par contact des personnes avec des eaux troubles ou par détérioration des conditions de vie avec la prolifération des moisissures, champignons etc.
- Troubles mentaux et somatiques dus à l'impact psychosocial causé par des pertes matérielles et par la dégradation des conditions de vie qui en découlent
- Risques environnementaux suite aux transferts de produits polluants par des eaux de débordement. Le cas particulier du dérèglement du système d'assainissement causé par un apport d'eau pluviale mal maîtrisé devra être pris en compte.

1.3. Tempêtes

Les scientifiques émettent une hypothèse de l'augmentation en fréquence et en intensité des phénomènes extrêmes liés à la circulation atmosphérique. Malgré sa situation géographique étant à l'abri des événements extrêmes de type cyclone ou tempête, la région d'Alsace a déjà connu des épisodes de rafales de vent exceptionnels. La tempête de décembre 1999 a causé des coupures de courant, provoqué l'obstruction de routes, des accidents sur les axes routiers et des perturbations dans le fonctionnement de plusieurs activités (la logistique, le transport etc.). Les impacts sur la santé humaine peuvent varier selon le degré d'exposition et l'état initial de fragilité de la santé, à commencer par des troubles psychosomatiques jusqu'au décès suite à un accident.

2. Enjeux sanitaires liés à l'émergence ou la réémergence des maladies infectieuses

Malgré l'état actuel insuffisant de connaissances sur l'évolution possible des micro-organismes et des virus face au changement climatique, certains rapports se contentent d'extrapoler des situations connues et observées depuis des années en prenant en compte des changements dans les conditions climatiques susceptibles d'engendrer des modifications au niveau comportemental des organismes-vecteurs.

Les chercheurs britanniques ont trouvé que la température est un des facteurs principaux limitant la diffusion des maladies d'origine intertropicale (G. DUVALLET, 2006). Le climat plus doux en hiver et plus chaud en été favorisera certainement une émergence ou une réémergence des maladies infectieuses transmises par des parasites et des virus encore très mal connus en Europe.

Cependant, le phénomène du réchauffement climatique n'est pas l'unique responsable d'une propagation de nouvelles maladies. La mondialisation et la multiplication des échanges entre les pays, que ce soit de nature touristique, économique ou politique, favorisent les transferts des parasites capables de s'adapter aux nouvelles conditions de l'environnement extérieur.

2.1. Réduction de la durée d'enneigement et du nombre de jours de gel : risque de prolifération des rongeurs porteurs des virus

La diminution du nombre de jours avec de la neige au sol sera susceptible de rendre certains habitats favorables à des rongeurs porteurs de l'Hantavirus *Puumala* qui est à l'origine de la fièvre hémorragique avec syndrome rénal (FHRS). En France, ce virus a des foyers épidémiques à l'est et nord-est du pays, notamment à proximité des frontières belge et luxembourgeoise (M. DELAVRIERE et J.-F. GUEGAN, rapport 2008 ; Circulaire aux médecins : foyers d'infections à Hantavirus type Puumala au Luxembourg, 2005). En Alsace le foyer épidémique a été localisé au pied du ballon d'Alsace (B. LE GUENNO).

La réduction de la couverture neigeuse ainsi que la diminution du nombre de jours de gel pourront être dans certaines zones du relief à l'origine du développement des eaux stagnantes propices à la prolifération des larves d'insectes pouvant être des vecteurs de maladies parasitaires.

2.2. Augmentation des températures de l'air et de l'eau : risque de prolifération des microbes, virus et parasites

Une température variable d'une valeur modérée à élevée est favorable à la prolifération des germes pathogènes. Selon des études menées dans ce domaine, il a été démontré une bonne corrélation entre certaines maladies d'origine alimentaire et la saisonnalité du climat. L'Institut de Veille Sanitaire estime que la première cause des infections alimentaires serait liée à la bactérie *Salmonella*, avec 30000-40000 cas par an dont la majorité est signalée lors des périodes estivales. En 2003, on a observé une recrudescence des cas, survenue quelques jours après les pics de chaleur, amplifiée par les habitudes alimentaires telles que la consommation des aliments crus ou peu cuits, les repas en plein air etc.

Le cas particulier des rejets thermiques des centrales nucléaires provoquant l'augmentation de la température de l'eau en aval : cette hausse peut provoquer la prolifération d'amibes dont l'espèce *Naegleria fowleri* étant particulièrement dangereuse. Elle est responsable de la méningo-encéphalite amibienne primitive (MEAP) qui à 97% de chance de causer la mort chez l'Homme. Selon le rapport de M. DELAVRIERE et J.-F. GUEGAN, 11 centrales françaises sont équipées de circuits de refroidissement semi-fermés afin de limiter les rejets thermique. Il est à noter que la centrale de Fessenheim ne figure pas parmi elles.

L'élévation de la température de l'eau et la pollution agricole et industrielle favorisent la prolifération de cyanobactéries dans certains plans d'eau. Cette contamination a des effets cutanés directs auprès des baigneurs causés pas les cyanotoxines, mais également des effets indirects en cas de consommation d'eau et de poissons contaminés

L'augmentation de la température dans les circuits d'eau froide à l'intérieur d'immeubles est, par ailleurs, propice à la prolifération des bactéries du genre *Legionella* (M. DELAVRIERE et J.-F. GUEGAN, rapport 2008).

Le virus de la fièvre du Nil (West Nile Virus) occidental transmis par une dizaine d'espèce de moustiques est largement répandu en Afrique, Europe du Sud, Russie, Moyen-Orient, Inde, Australie et en Amérique du Nord depuis une vingtaine d'années. En premier lieu ce sont des oiseaux sauvages qui se trouvent contaminés par des moustiques et se transforment en « réservoir » de la pathologie. Ensuite, le virus peut être transmis par d'autres moustiques, à travers le sang, aux mammifères et le plus souvent aux chevaux (G. DUVALLET, 2006). En

France, la présence de ce virus n'a pas été détectée depuis 1965 alors qu'il s'est manifesté en 2000 provoquant des cas de décès parmi les chevaux. En 2003 sept cas humains et quatre cas équins ont été signalés dans le Var (M. DELAVRIERE et J.-F. GUEGAN, rapport 2008). Depuis le virus circule à nouveau dans le bassin méditerranéen.

Dans l'hypothèse de la remontée du climat vers le Nord, il serait probable de voir l'aire de distribution des moustiques, vecteurs de ce virus, atteindre les limites septentrionales de l'Europe et notamment le Nord de la France. Par conséquent, l'Alsace pourrait être touchée par la prolifération des cas d'encéphalite. De plus, l'allongement des périodes de résidence sur notre territoire des oiseaux migratoires, conditionné par le réchauffement climatique, pourrait favoriser la propagation du virus.

Les tiques peuvent transmettre des maladies telles que la maladie de Lyme et les encéphalites virales. Les chercheurs ont démontré que la propagation des cas d'encéphalites virales est étroitement liée aux conditions climatiques. Un déplacement des foyers des vecteurs pathogènes est déjà observé depuis quelques années à partir du Sud de l'Europe en directions du Nord (G. DUVALLET, 2006). Les hivers doux seront favorables à la longévité des tiques et de leurs hôtes ainsi qu'à une augmentation de la durée de leur activité durant l'année (A. K. GITHEKO et *al.*, 2001). Parallèlement aux modifications du climat propices au développement des nouveaux foyers parasites, des comportements émergents de la population étant à la recherche de loisirs de plus en plus diversifiés comme par exemple le tourisme de nature, mettent en danger la santé humaine face au risque potentiel de la contamination.

3. Les enjeux sanitaires liés aux modifications progressives de l'environnement et des modes de vie modifiant des expositions actuelles aux risques pour la santé

3.1. Climat plus doux et plus humide en hiver : risque de prolifération des moisissures et des champignons

L'augmentation de l'humidité suite à la hausse des précipitations annoncée pour les parties Nord et Nord-est de la France, qui s'ajoutera au redoux général du climat, se traduira par la propagation des champignons et de bactéries.

Les moisissures dans l'air extérieur et intérieur

Les moisissures produisent des spores qui se retrouvent à concentration variable dans notre atmosphère selon des conditions environnementales. Cette concentration peut être importante lorsque le climat est chaud et humide. Mais les spores survivent également dans des conditions d'extrême froid ou de sécheresse. Donc en cas de réchauffement de notre climat il est tout à fait envisageable de voir la progression croissante du développement des moisissures.

En premier lieu ce sont tous les types de bâtiments qui sont concernés par la contamination par les moisissures. Leur danger pour la santé humaine se trouve dans la libération par les moisissures des particules (particules organiques volatiles, mycotoxines, spores etc.)

responsables de pathologies irritatives et immunologiques (M. DELAVRIERE et J.-F. GUEGAN, rapport 2008).

En Alsace, les caves inondables par les remontées de la nappe sont les premiers foyers de la prolifération des moisissures. Dans l'hypothèse d'avoir des hivers plus doux et plus humides, des problèmes liés aux champignons de ce type pourraient être généralisés sur tout le parc immobilier, privé ou public, de logements ou du secteur tertiaire.

Les champignons peuvent dégrader la qualité des aliments en les pourrissant. Certains d'entre eux produisent même des substances toxiques (mycotoxines) dont la présence est hautement dangereuse au moment de récolte car cette contamination peut affecter tout le stock. L'augmentation de l'humidité dans l'air tout au long de période de stockage des produits secs comme les céréales, favorise la prolifération des champignons et la contamination par mycotoxines (M. DELAVRIERE et J.-F. GUEGAN, rapport 2008).

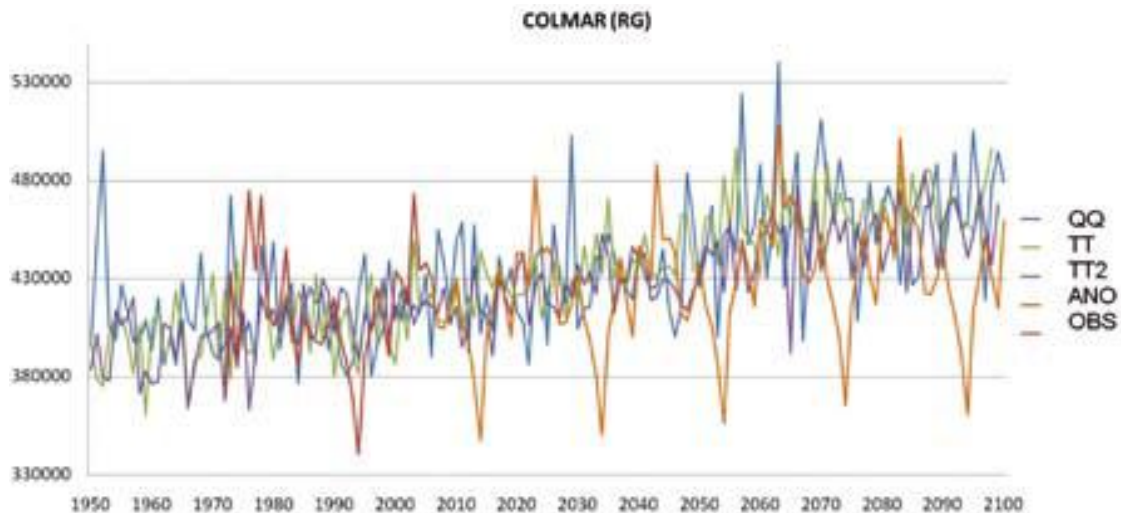
3.2. Sécheresse : quel impact sur la transmission de maladies à vecteurs ?

Malgré le manque d'informations précises permettant de confirmer des liens entre le climat sec et le développement des parasites, il est à noter qu'à *priori* les zones très sèches ne représentent pas des foyers du développement des agents pathogènes et de leurs hôtes. Néanmoins il existe des exemples des cas contraires comme l'épidémie de leishmaniose cutanée dans les zones désertiques (M. DELAVRIERE et J.-F. GUEGAN, rapport 2008) qui confirmerait l'hypothèse de l'adaptation très rapides des espèces vecteurs des maladies aux nouvelles conditions de leur environnement. En France, un vaste foyer de leishmaniose canine susceptible d'être transmise à l'homme, subsiste dans le sud entre Andorre, Nice et Lyon (G. DUVALLET, 2006). En tenant compte de nombreux échanges du reste de pays avec cette région notamment lors des périodes estivales, le risque de propagation se révèle assez important. Donc en même temps qu'il convient de prendre en compte la tendance à la baisse des cas de contamination, des épisodes épidémiques sporadiques ne seront pas exclus.

3.3. Augmentation de l'ensoleillement : risques plus élevés liés à l'exposition au rayonnement solaire

Le projet CLIMATOR dans le domaine des recherches sur l'agriculture, suggère une projection de l'évolution du rayonnement solaire en hausse progressive pour le site de Colmar (voir illustration). La hausse de ce paramètre en un siècle serait de l'ordre de 130 J/cm²/jour en moyenne.

Illustration : évolution du cumul annuel du rayonnement global (J/m²/an) de 1950 à 2100 à Colmar selon le scénario A1B (méthodes de régionalisation sont ANO, TT, QQ, TT2, sur une base d'observations sur la période de référence). Source : Livre vert de CLIMATOR, partie D : Régions, p. 273



L'augmentation du nombre de jours ensoleillés au cours de l'année influencera les comportements des personnes voulant rester plus longtemps exposées au soleil. L'action cancérigène des rayons UV-B est connue depuis longtemps tandis que le danger réel des UV-A pour la cellule de la peau humaine a été démontré depuis moins de 10 ans (M. DELAVRIERE et J.-F. GUEGAN, rapport 2008). Selon les études concernant l'évolution des cancers cutanés en Europe, la première catégorie touchée regroupe des personnes âgées. Un autre danger des rayons UV sur la santé humaine se trouve dans leurs effets sur l'œil comme cataracte par exemple.

3.4. Concentration d'ozone (O₃)³ : les effets de la pollution photochimique

L'ozone (O₃) est l'indicateur principal de la pollution photochimique estivale et n'est qu'une partie observée parmi d'autres polluants dits photo-oxydants. Il est produit dans l'atmosphère sous l'effet du rayonnement solaire à travers des réactions entre les oxydes d'azote (NO_x) et les composés organiques volatils (COV) dont les sources sont majoritairement d'origine anthropique (Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement). Le rapport du projet INTERREG III met en évidence l'efficacité de la réduction des émissions en NO_x et COV pendant les pics de pollution à l'ozone dans les agglomérations urbaines du fossé rhénan, mais également en zone d'altitude. La même étude a démontré le rôle important de l'ozone « extérieur » et de ces précurseurs dans le taux de la pollution locale. Ainsi, des actions entreprises à l'échelle de la vallée du Rhin supérieur, permettraient d'agir sur les concentrations locales. Par ailleurs, il a été déterminé que les émissions de COV d'origine biotique augmentent avec le rayonnement et la température en s'intensifiant en période caniculaire. Néanmoins, il est à noter que la production de l'ozone n'est possible qu'en présence de deux familles de polluants simultanément, les NO_x et les COV. Or, si les émissions de COV sont un mixte, d'origine biotique et anthropique, les NO_x, quant à eux, sont essentiellement des émissions des activités humaines.

³ Le présent rapport s'intéresse aux problèmes de la pollution photochimique causés par l'ozone troposphérique

De nombreuses études ont démontré la corrélation entre les variations des niveaux d'ozone dans le temps avec celle de la température. La part relative à l'ozone dans les effets de la canicule sur la santé humaine, a été prouvée par des travaux récemment menés en France et en Europe (InVS) après les épisodes de surmortalité de l'été 2003. En effet, l'ozone agit sur un organisme vivant comme un oxydant. L'exposition à ce polluant et son absorption en grande concentration par l'Homme provoquent des troubles respiratoires, des irritations oculaires et des muqueuses ainsi que des aggravations des maladies cardio-vasculaires.

La hausse de la mortalité.

Grâce aux observations et notamment après l'été 2003, la relation entre la concentration de l'ozone et la mortalité est assez bien connue : l'étude de S.CASSADOU et *al.* de l'InVS a estimé qu'une augmentation journalière de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de concentration d'ozone est associée à une hausse de 0.2-0.3% de mortalité. Une autre étude, celle du PSAS-9⁴, publiée en 2002, a estimé qu'une telle augmentation de concentration donne une évolution de 1.2% de la mortalité pour les causes respiratoires et de 1.1% pour les causes cardiovasculaires. Pendant le mois d'août 2003, le seuil d'alerte de 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (S.CASSADOU et *al.*) en moyenne horaire sur les neuf villes a été dépassé durant 16 jours consécutifs tandis que la directive européenne 92/72/CEE définit le seuil d'information de la population à 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Selon S.CASSADOU et *al.*, Strasbourg a connu une hausse de la mortalité estivale de l'ordre de 51% pendant la canicule de 2003 (voir illustration 5). Grâce aux connaissances de la relation entre la pollution, la température et la mortalité, les parts respectives de deux causalités (la pollution photochimique et la chaleur intense) ont pu être identifiées dans le taux de surmortalités des neuf villes françaises (voir illustration 4).

Dérèglement de la fonction respiratoire

Selon S.CASSADOU et *al.*, lorsque la concentration d'ozone augmente, il a été observé une réduction de la fonction respiratoire chez les adultes et les enfants. Ce fait a été constaté autant chez les personnes étant déjà touchées par ce type de problèmes que chez les sujets n'ayant jamais eu de symptômes d'insuffisance respiratoire. Toutefois de nombreux travaux ont pu mettre en évidence la fréquence plus élevée de crises d'asthme lors des pics de concentration d'ozone. De ce fait, l'hypothèse d'aggravation de la pathologie de type asthmatique avec l'exposition importante à l'ozone est largement soutenue par les chercheurs dans ce domaine (S.CASSADOU et *al.*).

Ainsi il est possible d'identifier les quatre catégories de population les plus vulnérables à la pollution photochimique :

- ✓ Les enfants en bas âge et les nouveau-nés en raison de leur fragilité des voies respiratoires et des défenses immunitaires ;
- ✓ Les personnes âgées en raison du vieillissement de leurs systèmes respiratoires et de la diminution des défenses immunitaires ;
- ✓ Les personnes avec des pathologies chroniques cardiovasculaires et/ou respiratoires ;
- ✓ Les personnes pratiquant des activités sportives en raison de l'augmentation de la ventilation lors de l'activité physique.

⁴ Programme de Surveillance Air et Santé 9 villes de l'INVS

Les prévisions pour l'évolution de l'ozone

Le problème de la concentration d'ozone troposphérique commence à être pris au sérieux depuis quelques décennies, d'autant plus que les chercheurs mettent davantage de preuves de lien direct entre l'évolution de la température et celle de l'ozone pendant les périodes estivales. De ce fait, il a été logique de réaliser des projections de l'évolution de la concentration d'ozone en fonction des changements de la température qui est annoncé par la communauté scientifique. Le présent rapport recense un certain nombre de recherches menées dans ce domaine afin de modéliser des modifications futures de la couche d'ozone et la quantité totale de ce gaz.

D'après J.-F. ROYER et *al.* (2002), les simulations de l'évolution de la concentration de l'ozone selon le scénario d'émissions SRES-B2 du GIEC⁵ montrent une augmentation de la quantité d'ozone totale comme conséquence directe de la baisse de la température dans la haute atmosphère suite à la destruction progressive de la couche d'ozone stratosphérique au cours de la première moitié du XXI^{ème} siècle. La couche d'ozone stratosphérique qui nous protège des rayonnements UV très nocifs pour les êtres vivants, se réduit graduellement depuis le début de l'ère industrielle sous l'effet du chlore rejeté par les industries. Ainsi, le rayonnement solaire atteint la surface terrestre en plus grande quantité et favorise la formation de l'ozone troposphérique. La prise de conscience récente en matière des émissions de GES⁶ et leur réduction permettent de ralentir ce processus. Néanmoins, l'ozone est un gaz avec un temps de résidence très long, ce qui constitue un fond de pollution à long terme. En raison de son évolution très rapide dans le passé, les effets seront présents pendant encore longtemps, en même temps que d'autres facteurs aggravant la pollution par l'ozone deviendront prédominants, tel que les pics de forte température et l'absence des vents par exemple.

Le modèle de chimie-aérosol INCA⁷ couplé au modèle de circulation général LMDz du Laboratoire de Météorologie Dynamique (<http://www-lscience cea.fr/>), a permis les projections de l'évolution de l'ozone dans dix régions du monde et selon le scénario d'émission A2 du GIEC. Les augmentations les plus importantes ont été estimées pour les régions de l'Asie du Sud, et Sud-est, du Moyen-Orient et de l'Amérique Latine (K.L. EBI et G. MCGREGOR, 2008). Ainsi, lorsqu'en Europe les mesures de plus en plus strictes, prises pour la réduction des émissions de GES, favoriseront l'amélioration de la qualité globale de l'air, la pollution atmosphérique pourrait venir des grandes villes des pays en voie de développement. Selon une autre expérience de modélisation de FORKEL et KNOCHE (2006), en prenant en compte le scénario IS92a⁸, la concentration de l'ozone en Allemagne durant les

⁵ La famille de scénarios B2 décrit un développement mondial où les solutions locales en matière de variabilité économique, sociale et environnementale sont privilégiées. L'accroissement de la population mondiale est régulier mais à un rythme plus lent que pour les scénarios A2. Le développement économique est projeté au niveau intermédiaire qui est caractérisé par un progrès technologique moins rapide mais également plus divers que pour les autres scénarios. La priorité est donnée à la protection de l'environnement et à l'équité sociale, ainsi qu'à une approche locale et régionale (source : GRID-Arendal : Environmental Knowledge for Climate Change)

⁶ Gaz à effet de serre

⁷ Interaction Chimie - Aérosols

⁸ IS92a : scénario moyen fondé sur une croissance de la population jusqu'à 11,3 milliards d'individus en 2100, une croissance économique moyenne de 2,3% par an entre 1990 et 2100 et une utilisation mixte de source d'énergie conventionnelle et renouvelable. Le groupe des scénarios IS92 a été le

années 2030 augmenterait de 6 à 10% par rapport à la situation de 1990 (une augmentation de 2 à 6 ppb⁹ pour le maximum journalier), et dépasserait le seuil de 90 ppb de maximum journalier pendant 384 jours au lieu de 99 jours pour les années 1990 (K.L. EBI et G. McGREGOR, 2008). En faisant les mêmes prévisions, un certain nombre d'études réalisées depuis une dizaine d'années prévoit une augmentation progressive de la concentration de l'ozone sur toutes les régions du globe, avec une variabilité non négligeable selon les pays (en fonction de leur taux de croissance démographique, de politique énergétique, du taux d'urbanisation etc.).

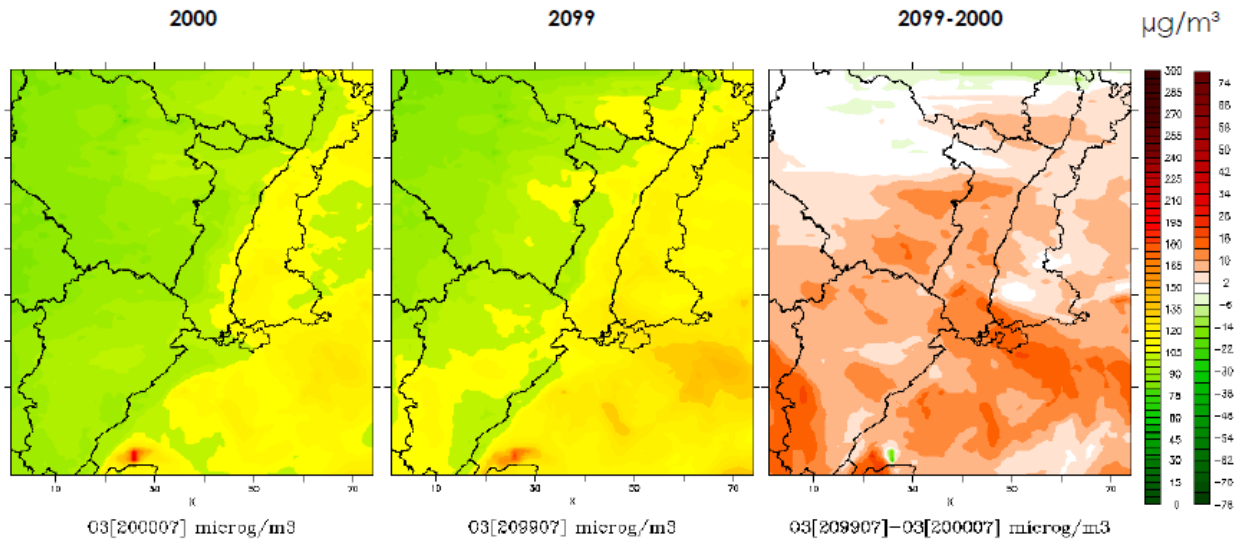
Concernant la région Alsace, les résultats obtenus par la modélisation au sein du CNRS sous la direction de R. VAUTARD, suggèrent que l'Alsace serait une des régions les plus touchées par l'augmentation des concentrations d'ozone (S. PIGNET et V. ROUX-GOEKEN, 2009). Cependant, les résultats de la modélisation des maxima d'ozone à l'horizon de 2099 par l'ASPA¹⁰, obtenus en 2009 avec la prise en compte du scénario A1B du GIEC (ASPA-09081 401-ID), a révélé des zones susceptibles d'être touchée par l'augmentation de la concentration d'ozone d'ici 2099. Elles ont été localisées sur la plaine et concernent les agglomérations (une hausse de l'ordre de 18 μm^3 en 2099 pour le maxima journalier en juillet par rapport à la même période en 2000). Le rapport de l'ASPA, de cet exercice, bien qu'exploratoire, souligne qu'aucune zone avec une tendance à la baisse n'a pas été retrouvée. A l'exception de l'Alsace Bossue et des Vosges, étant sans variation notable des maxima d'ozone journaliers, une augmentation de l'ordre de 2 à 14 μm^3 a été attribuée à l'ensemble de la région, avec un gradient nord-sud (voir illustration 7).

premier à être établi en 1992, avant les scénarios du GIEC (http://gsite.univ-provence.fr/gsite/Local/geographie/dir/user-232/L3%20-%20GEOF02%20changement%20climatique%20contemporains/f02_5_1.pdf)

⁹ Parts par milliard

¹⁰ ASPA : Association pour la Surveillance et l'Etude de la Pollution Atmosphérique en Alsace

Illustration 7: maxima d'ozone avec une météorologie moyenne de mois de juillet en 2000 et 2099, et différence entre 2099 et 2000 à la résolution de 4 km (source : ASPA-09081 401-ID)



3.5. Concentration des particules fines

3.5.1. Les effets directs et indirects du pollen

En France on compte de 20 à 25% de la population souffrant de réactions allergiques au pollen des arbres, des plantes, des herbacées et graminées que l'on appelle pollinose (M. DELAVRIERE et J.-F. GUEGAN, rapport 2008). Selon M. LAAIDI (Université de Bourgogne), ce pourcentage aurait doublé en 20 ans.

Pour que le pollen devienne une cause de problèmes de santé, des conditions météorologiques doivent être présentes telles que (K. LAAIDI et al., 1997) :

- ✓ Absence de pluie
- ✓ Beau temps anticyclonique avec une pression atmosphérique élevée
- ✓ Temps ensoleillé et chaud, avec des amplitudes thermiques diurnes notables

Lorsque le pollen tombe immédiatement par gravité au pied d'une plante ou sur une feuille à côté, il ne présente aucun effet pathogène. De ce fait, c'est le vent qui assure le rôle de la dispersion du pollen comme vecteur pathogène. Les particules de pollen peuvent parfois parcourir des milliers de kilomètres. On note également que les pollens les plus fins sont les plus allergéniques du fait de leur taille extrêmement petite leur permettant de pénétrer profondément dans le système respiratoire (K. LAAIDI et al., 1997).

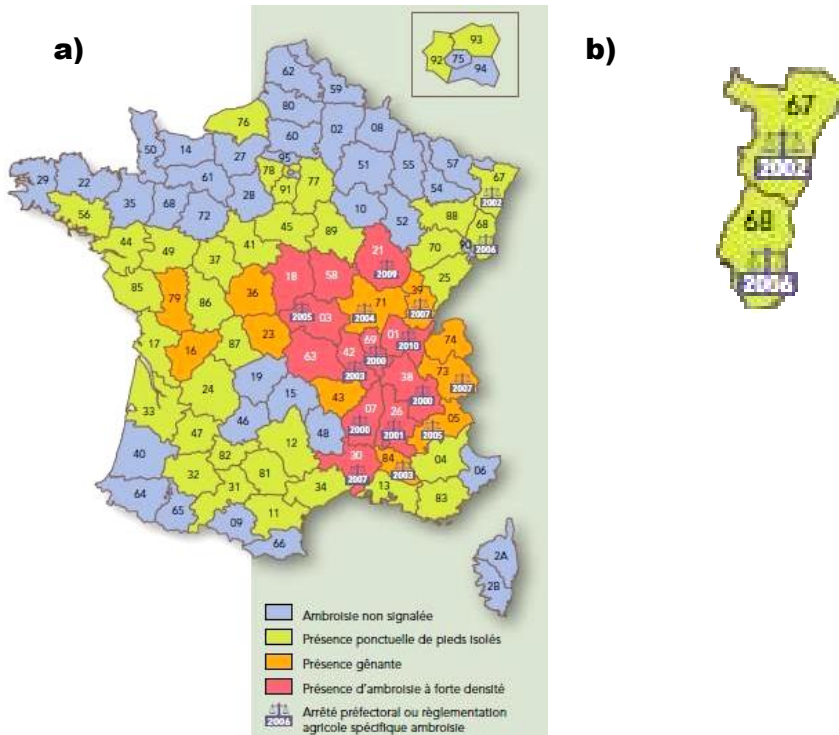
La durée de pollinisation en montagne est plus courte qu'en plaine mais également la quantité de pollen libérée y est nettement moindre. Néanmoins, avec le réchauffement du climat le début de printemps prolongera les stades de floraison et pollinisation et par conséquent la période de vulnérabilité accrue des personnes sensibles au pollen.

Certaines plantes peuvent représenter un danger particulièrement important en termes de production du pollen. C'est le cas de l'ambroisie (*Ambrosia artemisiifolia*) qui est actuellement en prolifération dans la région lyonnaise sur des terres abandonnées en friche ou en jachère (voir illustration 8). Dans l'hypothèse de Météo France dans le cadre de l'étude des analogues des climats (voir annexe 3), selon laquelle à l'horizon 2030 et pour le

Vulnérabilité du secteur de la santé publique face au changement climatique en Alsace

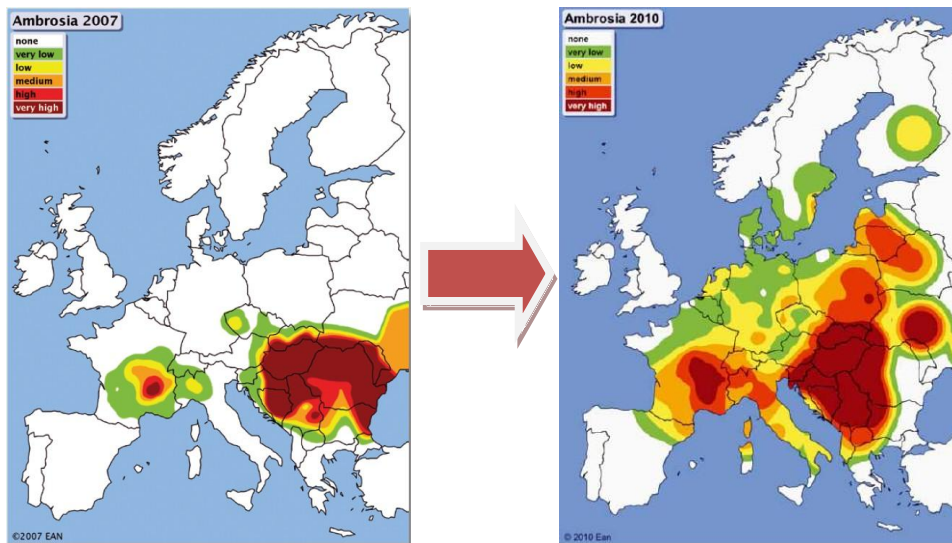
scénario « médian » (A1B) l'Alsace aurait le climat actuel de Lyon (T. MADEC, 2010), le risque d'apparition de cette plante dans la région augmentera la vulnérabilité des personnes sensibles au pollen d'autant plus que sa progression vers le nord est déjà engagée (voir illustration 9).

Illustration 8 : carte de la répartition du signal de présence de l'Ambroisie sur le territoire de la France en 2010 (a) et carte de zoom sur la région Alsace (b) (source : rapport du RNSA¹¹ Ambroisie 2010)



¹¹ Réseau National de Surveillance Aérobiologique

Illustration 9 : cartes d'émissions du pollen d'Ambrosie sur l'Europe en 2007 et 2010 (source : rapport du RNSA Ambrosie 2007 et 2010)



Néanmoins, il a été déterminé que la durée du jour est un des facteurs majeurs influençant la durée de la période de pollinisation (P. COMTOIS, 2010). Au-delà d'un certain seuil, les plantes d'Ambrosie ne fleurissent pas et donc le danger est plus limité. De ce fait, la répartition géographique de cette espèce vers les hautes latitudes ne serait pas généralisée : il semblerait qu'au-delà de la latitude de 45°, le pouvoir invasif des ambrosies faiblit considérablement (P. COMTOIS, 2010).

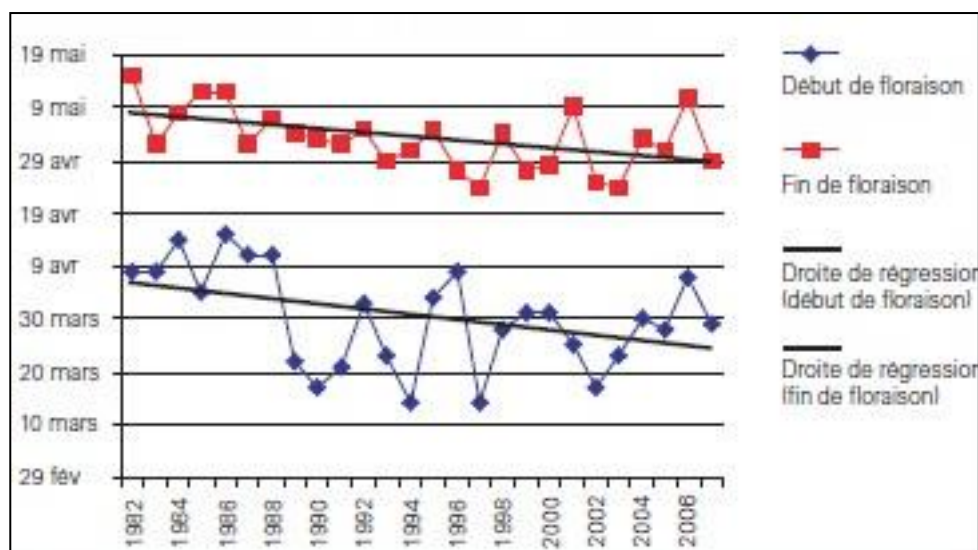
Compte tenu de la position géographique de la région d'Alsace entre les latitudes de 47°27' au Sud et 49° au Nord, le risque d'aggravation des allergies causé par l'invasion des ambrosies, serait diminué.

L'ambrosie au début de la floraison
(source : C. DURR et al., 2008)

Les allergies au pollen de bouleau, charme et aulne (de mars à avril) sont fréquentes dans le quart Nord-est de la France. Actuellement, la particularité des épisodes d'allergies au pollen se trouve dans l'anticipation du début de floraison de la majorité des plantes. Par exemple, la saison du pollen de bouleau dans le secteur de Bâle, est à nos jours, plus précoce qu'il y a 25 ans (voir illustration 10) : le début de la floraison est avancé ainsi d'environ 13 jours tandis que la fin ne survient que 9 jours plus tôt qu'en 1982. De ce fait, la durée de la période de floraison et donc de la pollinisation, est plus importante qu'au siècle dernier.



Illustration 10 : évolution des dates du début et de la fin de floraison de bouleau à Bâle sur la période de 1982 à 2007 (source : C. DURR et *al.*, 2008)



Il existe des liens d'interaction entre le pollen et la pollution (K. LAAIDI et *al.*, 1997). D'abord, la pollution agit directement sur certains pollens, en renforçant leur pouvoir allergisant. Ensuite, la pollution affecte la muqueuse des personnes touchées en augmentant la réactivité et en les rendant plus sensibles à l'action des allergènes. Selon K. LAAIDI et *al.*, l'ozone semble avoir des effets majeurs dans cette interaction entre le pollen et la pollution atmosphérique.

3.5.2. Particules ultrafines PM_{10} et $PM_{2,5}$ ¹²

Une étude trilatérale PRIMEQUAL/PREDIT sur l'exposition à la pollution atmosphérique, menée en Autriche, en France et en Suisse, a présenté le chiffre de plus de 30 000 morts prématurés, chaque année, en France, liées à la pollution par des particules fines. Les particules $PM_{2,5}$ seraient responsables d'une baisse d'espérance de vie de 9,3 mois en moyenne en France. Le rapport de l'étude APHEIS (2004) a estimé qu'une moyenne annuelle de la pollution aux $PM_{2,5}$ qui n'excéderait pas $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (la Valeur Cible applicable depuis 2010 suite à la loi du Grenelle de l'environnement du 3 août 2009 – article 40), se traduirait par un gain de 2 à 13 mois d'espérance de vie pour une personne de 30 ans.

En Alsace, les statistiques de l'année 2010 (source : ASPA 11010601-TD) montrent une situation tantôt stable tantôt en légère baisse concernant le nombre de jours de dépassement du seuil de recommandation ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ / 24h glissantes) de la norme pour les PM_{10} au cours des dix dernières années. La pollution en $PM_{2,5}$ a été relativement stable jusqu'à 2009 (aucune station n'a pas enregistré le dépassement de norme entre 2000 et 2009). En 2010, et suite à la mise en place d'une nouvelle méthode de mesure, des dépassements de la valeur-cible pour la moyenne annuelle ont été enregistrés ($19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la station de Strasbourg Est et $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la station de Mulhouse Sud 2). Il est

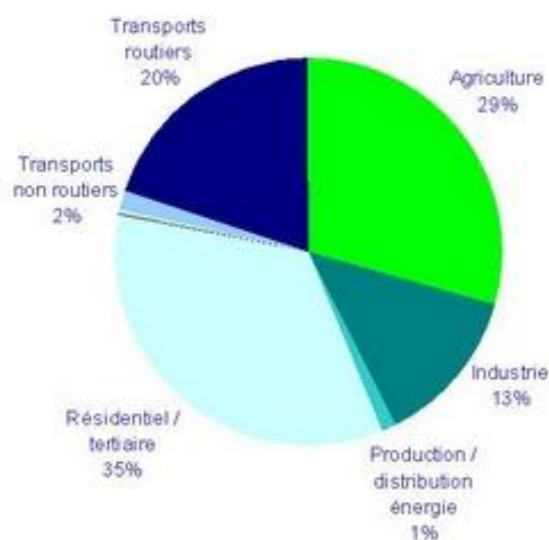
¹² PM_{10} : particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à $10 \mu\text{m}$;

$PM_{2,5}$: particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à $2,5 \mu\text{m}$ (source : ASPA)

également à noter qu'à partir de 2009, les mesures de $PM_{2,5}$ prennent en compte la fraction volatile des particules en suspension.

En Alsace en 2006, selon l'ASPA, le principal émetteur de PM_{10} (35% des émissions totales) est le secteur résidentiel-tertiaire, essentiellement à cause de la combustion du bois comme moyen de chauffage, suivi par l'agriculture (29%) et le transport routier (20%). Les émissions de PM_{10} du secteur d'industrie, soumises aux réglementations et contrôles, comme pour les autres polluants atmosphériques, sont à la baisse et se trouvent en 4^{ème} position avec 13% des émissions totales (voir illustration 8). Les données mensuelles sur les $PM_{2,5}$ de l'année 2010 mettent en évidence l'augmentation de la concentration des particules au cours de la période froide (décembre-mars). Cette tendance peut être imputable aux pratiques du chauffage.

Illustration 8 : répartition sectorielle des émissions de PM_{10} en Alsace en 2006 (source : ASPA <http://atmo-alsace.net/ste/PM10-60.html>)



Les individus les plus vulnérables à ce type de pollution, sont des personnes âgées de 65 ans et plus ainsi que des personnes atteintes des maladies respiratoires et cardiovasculaires (PSAS-9).

3.6. Politique énergétique en faveur des énergies renouvelables

Le bois-énergie

Dans le cas de la gestion de la filière bois, si le traitement des émissions provenant de la combustion n'est pas pris en compte, cette source énergétique actuellement encouragée en raison de son bilan carbone favorable, ne peut pas être considérée comme propre. Les polluants émis lors de la combustion du bois sont principalement des particules fines, les NO_x et les HAPs¹³ (InVS). L'association pour la surveillance de la qualité de l'air en Ile-de-France AirParif a estimé qu'une augmentation de la consommation du bois de chauffage d'une fois et demie par rapport aux chiffres de 2005, dans les mêmes conditions d'utilisation

¹³ Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

Vulnérabilité du secteur de la santé publique face au changement climatique en Alsace

(le climat actuel), et dans le but de réduire les émissions de GES de l'ordre de 2%, conduirait à une augmentation de :

- ✓ 40% des émissions de particules PM₁₀ et PM_{2,5}
- ✓ 45% du CO
- ✓ 50% de COV¹⁴

En Alsace selon l'ASPA, le bois-énergie est le premier responsable d'émissions en PM₁₀ et HAPs (voir le tableau 1).

Tableau 1 : émissions en HAP et PM₁₀ par type de combustible en Alsace, année 2007 (source : ASPA 10042102-ID)

Combustibles	Emissions en HAP (en %)	Emission en PM₁₀ (en %)
Bois et déchets assimilés	94.0	48.3
Gazole	3.9	16.5
Gazole/Essence/GPL	0.0	15.1
Essence	0.4	5.9
Fioul lourd	0.0	2.3
Fioul domestique	0.6	10.3

Si l'utilisation de cette source d'énergie pour le chauffage des maisons individuelles émet unitairement bien moins que les chaufferies collectives, ce sont ces installations individuelles, plus nombreuses et souvent anciennes et mal entretenues qui représentent un danger pour la qualité de l'air en période hivernale. Actuellement plus de 200 chaufferies collectives produisent de la chaleur en Alsace. Selon le programme ENERGIVIE, on estime un nombre total de 600 installations en 2013 (ASPA 10042102-ID).

¹⁴ Composés Organiques Volatiles

Conclusion

En guise de conclusion, et selon l'InVS, la vulnérabilité des individus est susceptible de s'accroître avec une exposition plus fréquente aux événements extrêmes ainsi qu'à la pollution atmosphérique. Parallèlement, la société sera d'autant plus vulnérable en matière de santé que des changements comportementaux face au changement climatique seront importants.

Selon l'InVS la stratégie d'adaptation du secteur de santé doit nécessairement inclure trois axes prioritaires qui sont (InVS, Note de position, 2010) :

- Renforcement des systèmes de surveillance en assurant la qualité des données, leur accessibilité
- Une meilleure mise en cohérence des systèmes de surveillance environnementaux et sanitaire dans une approche intégrée des risques
- Surveillance de l'évolution des comportements face aux risques d'exposition concernant par exemple le bronzage et les risques liés aux rayonnement solaire, les baignades et les risques liés à la qualité des eaux et aux noyades, l'approvisionnement en eau de boisson par des puits privés et les risques liés à la contamination des eaux des nappes etc.

Bibliographie :

ASPAs, 2009. Note sur un exercice exploratoire de simulation d'un épisode d'ozone en 2000 et 2009 avec prise en compte du réchauffement climatique dans la météorologie. Réf : ASPA-09081 401-ID

ASPAs, 2010. Statistiques des données de qualité de l'air en Alsace. Particules en suspension PM₁₀ et PM_{2,5}. Réf : ASPA 11010601-TD

ASPAs, 2010. Bilan de qualité de l'air en Alsace. Période 2000 à 2009. Réf : ASPA 10083002-ID

ASPAs, 2010. Note exploratoire sur la surveillance des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant autour de chaufferies bois en Alsace. Réf : ASPA 100042102-ID

BELPOMME D. Les conséquences sanitaires du changement climatique : synthèse médicale. Rapport de l'ONERC *Changement climatique et risques sanitaires en France* disponible sur <http://lesrapports.ladocumentationfrancaise.fr/BRP/074000568/0000.pdf>

BESANCENOT J.-P., 2007. Notre santé à l'épreuve du changement climatique. Delanchaux et Niestlé, Paris

CASSADOU S. et al.. Vague de chaleur de l'été 2003 : relation entre températures, pollution atmosphérique et mortalité dans neuf villes françaises. Rapport d'étude. L'Institut de Veille Sanitaire

COMTOIS P., 2010. « Géographie des ambrosies ». Editorial du rapport du RNSA « Ambrosie France 2010 », édité en novembre 2010. Disponible (en ligne) sur http://www.pollens.fr/Ambroisi_2010.pdf

DELAVRIERE M. et GUEGAN J.-F., 2008. Les effets qualitatifs du changement climatique sur la santé en France. Rapport de groupe interministériel, disponible sur http://www.sante.gouv.fr/IMG/pdf/rapport_changt_climatique_et_sante_France.pdf

DURR C. et al., 2008. Allergie aux pollens : aspects cliniques. Première partie. Réf : 2008 ;8(14) :253-257, Forum Suisse Med, disponible (en ligne) sur <http://www.medicalforum.ch/>

DUVALLET G., 2006. Parasites, vecteurs de pathogènes et changements climatiques. Hydroécologie Appliquée, Tome 15, pp. 87-96 www.hydroecologie.org

EBI K.L. et MCGREGOR G., 2008. "Climate change, air pollution, and health impacts". Revue *Environmental Health Perspectives*, disponible (en ligne) en version française sur <http://www.scribd.com/doc/27011271/Changement-climatique-ozone-tropospherique-et-particules-atmospherique-et-leur-impact-sur-la-sante>

GITHEKO A.K. et al., 2001. Changement climatique et maladies à transmission vectorielle : une analyse régionale. Bulletin de l'Organisation mondiale de Santé, recueil d'articles N°4, 2001, réf. 00-0737. http://libdoc.who.int/recueil_articles/2001/RA_2001_4_62-72_fre.pdf

GUENNO Le B.. Fièvres hémorragiques virales. Encyclopédie médico-chirurgicale, article 8-063-A-10 <http://emc.42t.com/>

HEMON D. et JOUGLA E., 2003. Estimation de la surmortalité et principales caractéristiques épidémiologiques. Rapport au Ministre de la Santé, des Affaires Sociale et des Personnes Handicapées. www.ladocumentationfrancaise.fr/rapport-publics/034000581/index.shtml

Vulnérabilité du secteur de la santé publique face au changement climatique en Alsace

LAAIDI K. et *al.*, 1997. Pollens, pollinoses et météorologie. Revue *La Météorologie*, 8^e série, N°20, décembre 1997. <http://france.meteofrance.com/content/2008/5/4841-48.pdf>

LEDRENS M., ISNARD H. et *al.*, 2003. Impact sanitaire de la vague de chaleur d'août 2003 en France. Bilan et perspective. Publication de l'InVS sur www.invs.sante.fr

MADEC T., 2010. Fourniture d'indicateurs pour caractériser le changement climatique. Détermination d'analogues climatiques. Etude de Météo France pour la DATAR

PASCAL M., 2010. Impacts sanitaires du changement climatique en France: quels enjeux pour l'InVS? Rapport de l'Institut de Veille Sanitaire, Département Santé Environnement, mise en ligne le 8 avril 2010 sur http://www.invs.sante.fr/display/?doc=presse/2010/communiqués/cp_changement_climatique_070410/index.html

PIGNET S. et ROUX-GOEKEN V., 2009. Quel air respirerons-nous en 2060 ? Article du *Journal de l'Environnement* disponible sur <http://www.journaldelenvironnement.net/article/quel-air-respirerons-nous-en-2060>

RODHAIN F., 2000. Impact sur la santé : le cas des maladies à vecteurs. http://www.clean-auto.com/IMG/article_PDF/article_451.pdf

THOMMEN O., 2005. Conséquences directes et indirectes du changement climatique sur la santé. Synthèse des résultats des analyses de l'IMSP de l'Université de Bâle

http://www.bafu.admin.ch/klima/00509/00514/index.html?lang=fr#sprungmarke1_25

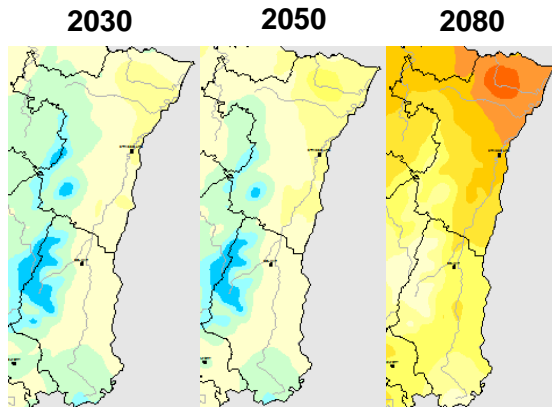
Impacts sanitaires du changement climatique en France : quels enjeux pour l'InVS ? Note de positions de l'InVS, 2010. http://www.invs.sante.fr/surveillance/changement_climatique/default.htm

Episodes de pollution par l'ozone, Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement. www.developpement-durable.gouv.fr

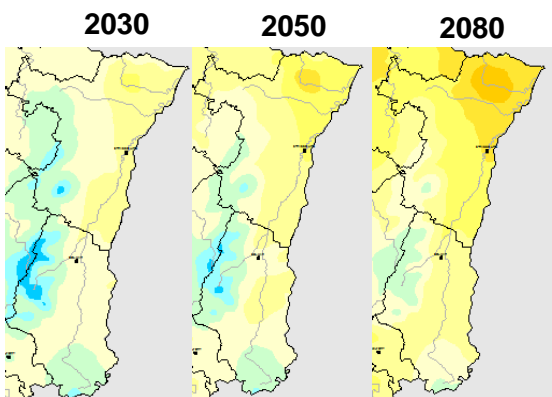
Rapport du projet INTERREG III A Rhin Supérieur : Système commun d'évaluation et d'information sur la qualité de l'air dans l'espace du Rhin supérieur. UM-MUF-DRIRE Alsace-Région Alsace-Regierungspräsidium Freiburg-LFUG-LHA-LUBW-ASPA. Disponible sur http://www.atmo-alsace.net/medias/produits/Rapport_INTERREG-III.pdf

**Annexe 1 : Projections de Météo France :
nombre de jours avec la température
supérieure à 30°C par an aux horizons 2030,
2050, 2080**

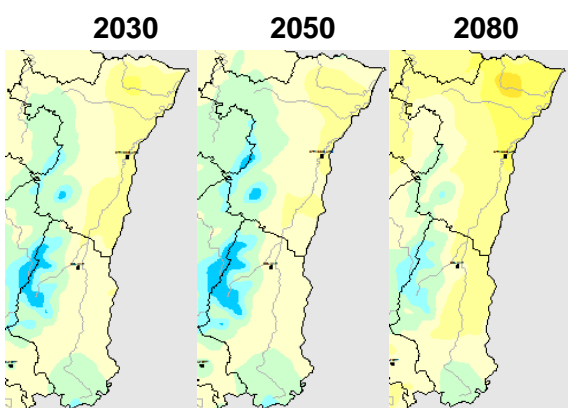
Scénario « pessimiste » (A2)



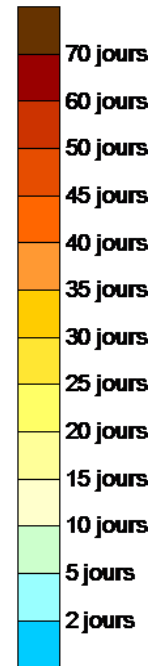
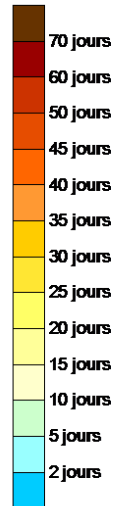
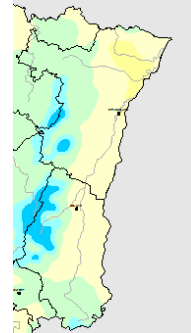
Scénario « médian » (A1B)



Scénario « optimiste » (B1)

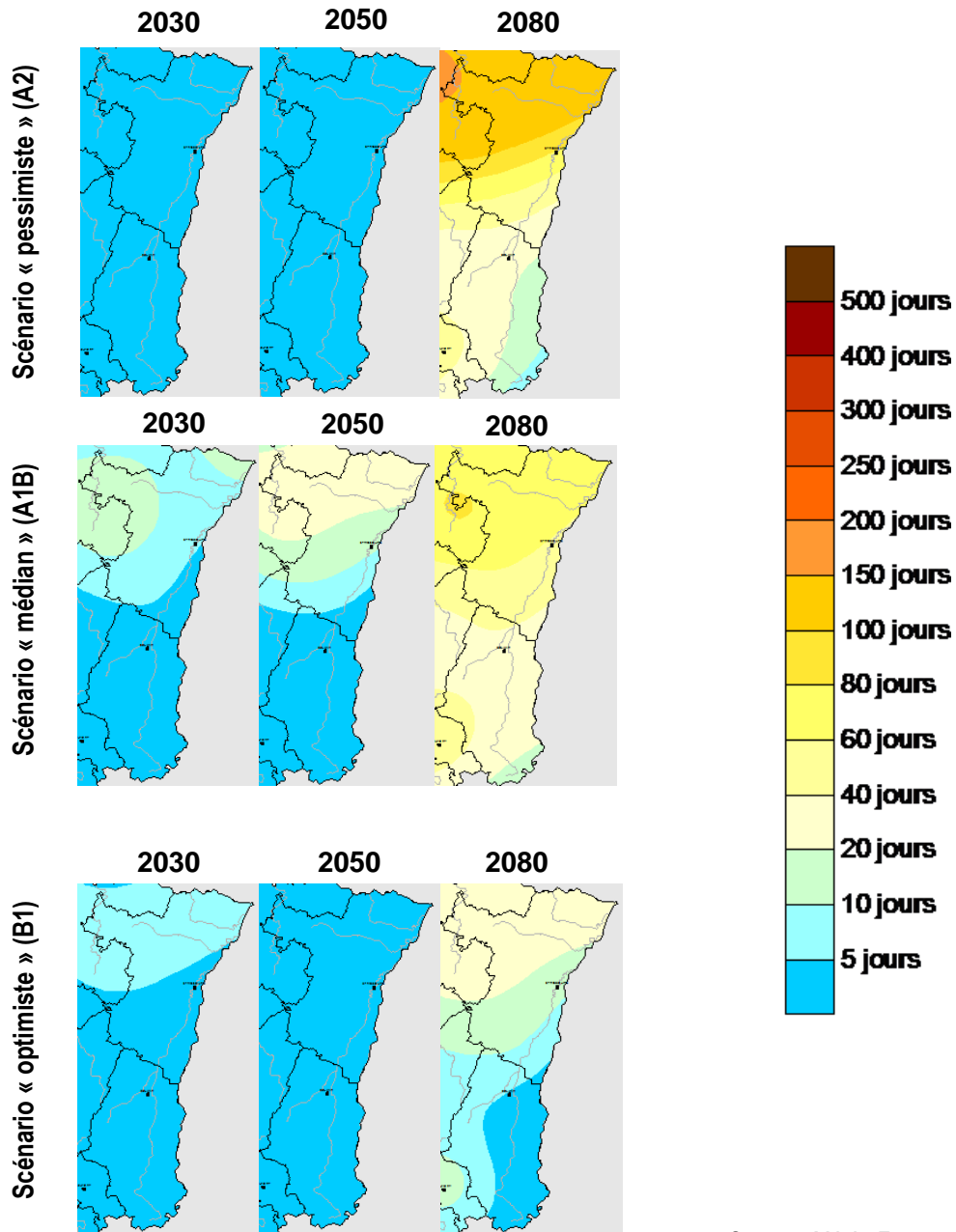


Période de
référence



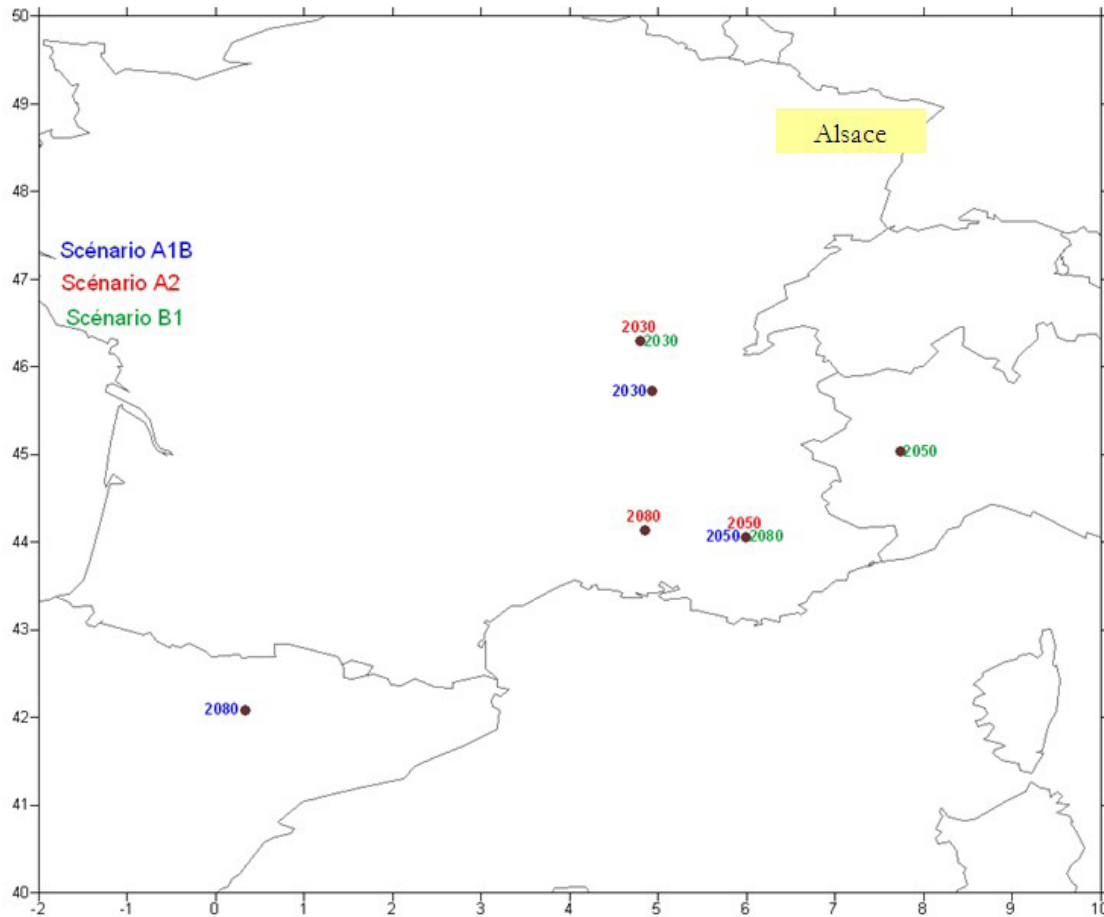
Source : Météo France pour la DATAR

Annexe 2 : Projections de Météo France : nombre de jours présentant un caractère de canicule cumulé sur 30 ans aux horizons 2030, 2050, 2080



Source : Météo France pour la DATAR

Annexe 3 : Analogues climatiques pour l'Alsace. Source : MADEC T., 2010. Fourniture d'indicateurs pour caractériser le changement climatique. Détermination d'analogues climatiques. Etude de Météo France pour la DATAR



Scénarios

	A1B		A2		B1	
Horizon	Ville-Analogue	Qualité d'évaluation	Ville-Analogue	Qualité d'évaluation	Ville-Analogue	Qualité d'évaluation
2030	Lyon	Bon	Macon	Bon	Macon	Bon
2050	St-Auban ¹⁵	Mauvais	St-Auban	Bon	Turin	Médiocre
2080	Huesca ¹⁶	Mauvais	Orange	Mauvais	St-Auban	Mauvais

¹⁵ Alpes Maritimes

¹⁶ Espagne