



GIEC
LOCAL

*Scientifiques et experts
locaux sur l'évolution
du climat et ses
conséquences*

Les enjeux de santé publique dans un contexte de changement climatique à l'échelle de la Métropole Rouen Normandie

**COP
21**
JE M'ENGAGE!
POUR LE CLIMAT



métropole
ROUENORMANDIE

RÉFÉRENT GIEC LOCAL

Joël LADNER
Christophe LEGRAND

AUTEURS

Joël LADNER, Christophe LEGRAND,
Léo KAZMIERCZAK, Frédéric CHARRIER

EXPERTS SOLLICITÉS

Myriam BLANCHARD
(Santé Publique France)
Jérôme LE BOUARD
*(Agence Régionale de Santé
de Normandie)*

Sommaire

RÉSUMÉ	5
CONSTAT	6
LES IMPACTS DES TEMPÉRATURES SUR LA SANTÉ HUMAINE	8
RISQUES SANITAIRES LIÉS À L'ÉVOLUTION DE LA RESSOURCE EN EAU ET DU RISQUE INONDATION	9
LA PROLIFÉRATION D'ESPÈCE NUISIBLES À LA SANTÉ HUMAINE FAVORISÉE PAR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE	10
L'AGGRAVATION DES CONSÉQUENCES SANITAIRES DE LA DÉGRADATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR EN LIEN AVEC LE CHANGEMENT CLIMATIQUE	14
INÉGALITÉS SOCIALES DE SANTÉ ET CHANGEMENT CLIMATIQUE	16
CONCLUSION	17
RECOMMANDATIONS POUR L'AMÉLIORATION DES CONNAISSANCES	18
BIBLIOGRAPHIE	19
ANNEXE	22

Résumé

La variabilité des facteurs climatiques (température, précipitations, vent, évènements extrêmes, etc..) a une incidence directe sur la santé des êtres vivants, et notamment la santé humaine. Ces conditions climatiques, auxquelles s'ajoutent des facteurs anthropiques (mobilités humaines, commerce international, etc..), favorisent le développement ou l'expansion d'espèces nuisibles à la santé humaine (moustique tigre, chenilles processionnaires, tique). D'autres enjeux sanitaires sont également en relation avec l'évolution future de la ressource en eau et de la qualité de l'air. L'ensemble de ces facteurs se répercuteront sur les inégalités sociales de santé du territoire de la Métropole. Par ailleurs, les services et les établissements de santé sont directement concernés par les effets du changement climatique et les dégâts causés par les évènements extrêmes. C'est la raison pour laquelle des recommandations sont formulées pour améliorer la connaissance sur le sujet des professionnels du secteur et renforcer les coopérations pluridisciplinaires.



Constat

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) définit la santé d'un individu ou d'une population comme un « état de bien-être physique, mental et social complet, et ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité ». La santé dépend de plusieurs déterminants de la santé tels que les caractéristiques individuelles des individus, les systèmes de santé, les milieux de vie et notamment le climat.

Dans son cinquième rapport d'évaluation, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a confirmé que la santé humaine était sensible au changement climatique. Le climat agit sur la santé des populations, directement via les épisodes de canicules, de sécheresse, d'inondation, de tempêtes, etc. ; et indirectement suite à la modification des écosystèmes dans lesquels les individus évoluent (émergence de nouvelles maladies, mauvaises récoltes, etc...) (GIEC, 2014). La variabilité du climat peut également avoir une incidence sur d'autres déterminants sociaux de la santé (perte de revenus ou d'un habitat suite à une inondation par exemple) (Bélanger et al., 2019).

Selon l'OMS, le changement climatique entraînerait dans le monde près de 250 000 décès supplémentaires par an à l'horizon 2050 provoqués par plusieurs maladies (malnutrition, paludisme, diarrhée, etc...) et occasionnerait dès 2030 des coûts directs pour la santé entre 2 et 4 milliards de dollars (US\$) par an. Les zones n'ayant pas de bonnes infrastructures de santé, pour la plupart dans les pays en développement, seront les moins en mesure de se préparer et de faire face à la situation sans assistance. La France est concernée par des risques de décès liés aux épisodes météorologiques majeurs (canicules, tempêtes, etc...). Selon le Bureau des Nations Unies pour la réduction des risques de catastrophes (UNISDR), ces événements « extrêmes » ont causés environ 20 000 décès en France ces deux dernières décennies.

Cette synthèse étudie donc les risques sanitaires engendrés directement et indirectement par le changement climatique pour

lesquels la Métropole fait déjà ou fera l'objet dans les décennies futures.

Profil épidémiologie de la Métropole Rouen Normandie

Le territoire est classé comme « densément peuplé » par l'Insee (737,9 hab/km² en 2017) et compte environ 490 000 habitants. En 2018, le nombre de naissances domiciliés était de 6030 et le nombre de décès, de 4542⁽¹⁾. L'espérance de vie y est de 84,8 ans pour les femmes, et 77,5 ans pour les hommes⁽²⁾. Parmi les principales causes de décès dans le territoire pour la période 2009-2015, les tumeurs figurent en première position suivi des maladies circulatoires (cardio-vasculaires), des morts violentes ou d'accidents (accidents de transport, suicides, homicides, et autres causes externes de décès) et des maladies respiratoires (Figure 1). Néanmoins, en termes d'affections de longue durée (ALD) nécessitant un traitement thérapeutique long et coûteux, les maladies cardio-vasculaires arrivent en tête dans le territoire, suivi des tumeurs et des maladies endocriniennes pour la période 2008-2014⁽³⁾.

En termes d'accessibilité aux soins, l'accessibilité potentielle localisée (APL)⁽⁴⁾ représente en moyenne 4,6 consultations (pour un médecin généraliste) accessibles par an et par habitant. Cette valeur est supérieure à la moyenne régionale. Cependant, il existe des disparités entre les communes péri-urbaines de l'ouest où l'APL est beaucoup plus faible, en comparaison avec les communes plus urbaines du centre-est. La proportion de médecins généralistes, de pharmacies et d'hôpitaux y est également plus faible comparé aux zones urbaines (Figure 2).

¹. Source Insee, état civil en géographie au 1^{er} janvier 2019

². Source : Observatoire régional de la Santé et du Social de Normandie, Etat des lieux sanitaire de la Métropole Rouen Normandie, 2019, 32p.

³. Sources : CCMSA, Cnamts, CNRSI

⁴. L'APL mesure l'adéquation spatiale entre l'offre et la demande de soins de premier recours à une échelle communale et en lien avec les territoires limitrophes. Cet indicateur prend notamment en compte les disparités d'offre de soins à travers la densité de professionnels de santé et le temps nécessaire à un patient pour rejoindre son médecin. Pour plus d'informations, consulter Barlet, M., Coldefy, M., Collin, C., & Lucas-Gabrielli, V. (2012). L'accessibilité potentielle localisée (APL) : une nouvelle mesure de l'accessibilité aux médecins généralistes libéraux.

Figure 1 : Entre 2009 et 2015, la part des cancers est légèrement plus importante dans la Métropole (30%) par rapport à la région Normandie (26%) et le territoire national (28%). En revanche, les maladies cardiovasculaires y représentent une part plus faible (25%) par rapport à la Normandie (28%) et la France (26%). Les différences entre les autres causes de décès sont peu marquées.

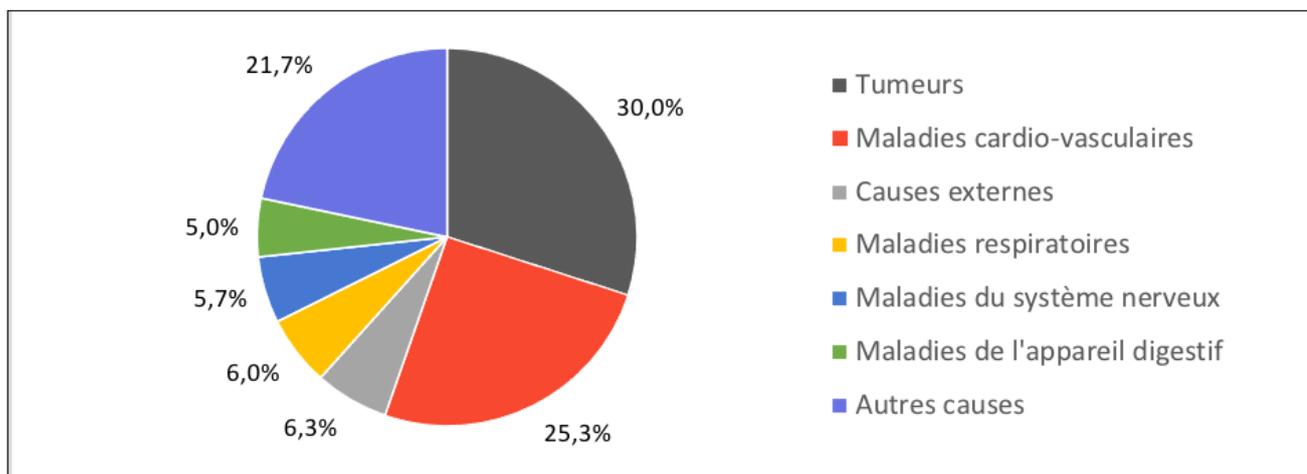


FIGURE 1 : Principales causes de décès dans la Métropole Rouen Normandie entre 2009 et 2015 – Source : Inserm cépiDc, État des lieux sanitaire de la Métropole Rouen Normandie, Observatoire régional de la Santé et du Social de Normandie (2019).

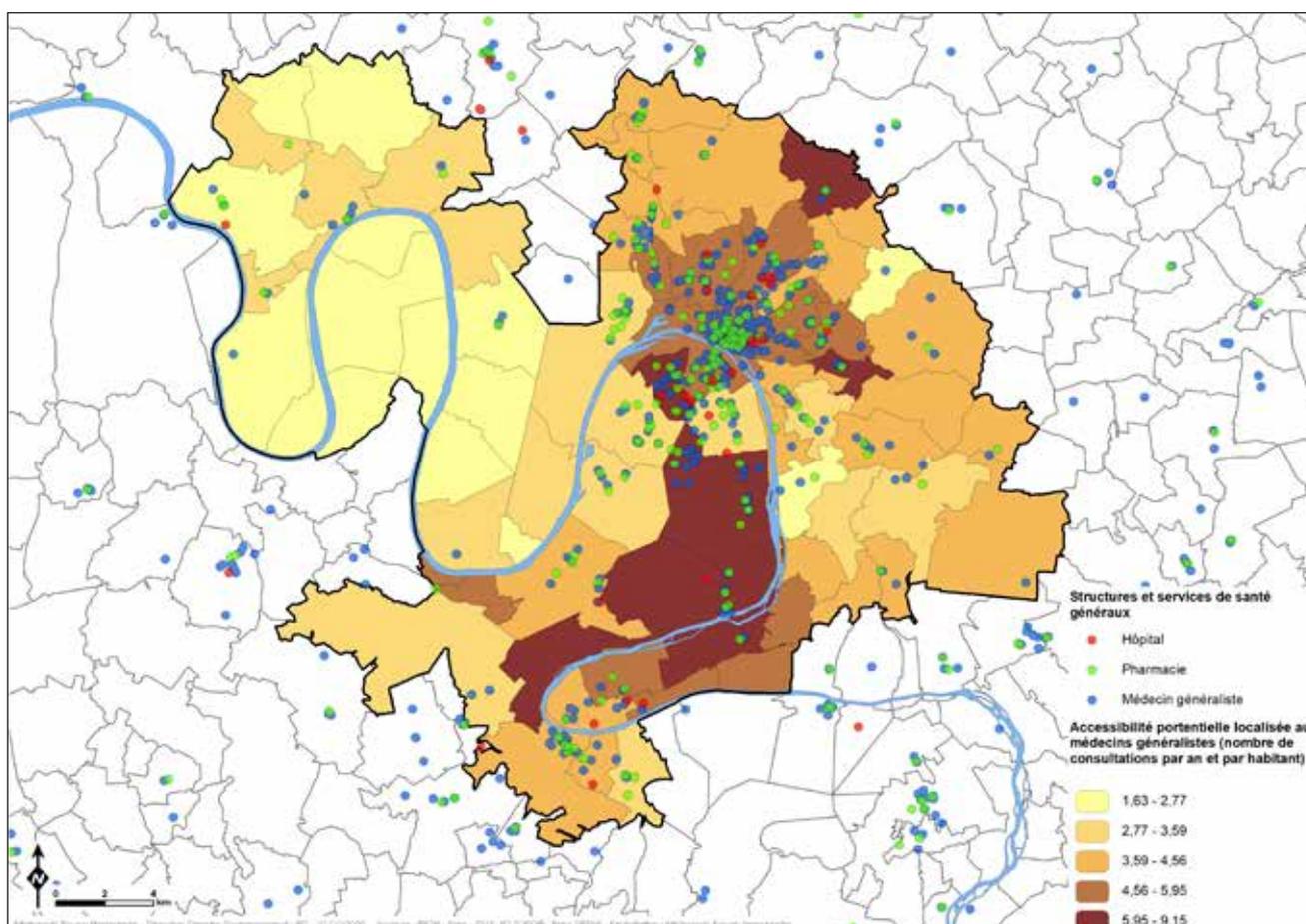


FIGURE 2 : Localisations de structures/services de soins généraux et accessibilité potentielle localisée aux médecins généralistes dans la Métropole Rouen Normandie et les communes limitrophes. Sources : SNIIR-AM 2018, EGB 2018, CNAM-TS ; populations par sexe et âge 2016, distancier METRIC, INSEE, DREES

Les impacts des températures sur la santé humaine

Entre 2000 et 2010, les jours froids et chauds ont été à l'origine d'environ 60 000 décès⁵ dans 18 villes françaises, dont Rouen (Corso, Pascal et Wagner, 2017 ; Pascal et al., 2017). La température a eu aussi une influence plus forte dans les villes avec une densité de population importante. Santé Publique France souligne que l'impact de la température sur l'organisme est désormais prouvé par l'épidémiologie et la physiologie. Cet impact peut se traduire par un recours aux soins, par divers symptômes affectant par exemple la santé mentale ou périnatale, par la survenue de maladies infectieuses résultant de l'affaiblissement du système immunitaire, et dans les cas les plus graves, par le décès des individus. Ces effets augmentent dès lors que les températures deviennent anormales, aussi bien vers la chaleur que vers le froid. À titre d'exemple, une étude portant sur plusieurs pays (hors France) a notamment montré une fraction de la mortalité de 7,7% attribuable à la température, effet des jours chauds et froids cumulés, et ne prenant pas en compte les canicules (Gasparrini et al., 2015).

Évolution récente

La hausse des températures atmosphériques est déjà observable à l'échelle de la Métropole Rouen Normandie avec une augmentation moyenne annuelle comprise entre +1,2 et +1,9°C sur la période de 1970 à 2017, et avec un nombre de jours de canicule inférieur à 10 jours chaque année (Laignel et Nouaceur, 2018). Les températures extrêmes peuvent rapidement dégrader l'état de santé des populations les plus fragiles, et provoquer des décès prématurés. Une surmortalité est d'ailleurs systématiquement observée durant les épisodes de canicules et les vagues de froid (Hales et al., 2014 ; INVS, 2015 ; Bélanger et al., 2019). La canicule de l'été 2003 est un exemple emblématique de la nocivité des fortes chaleurs sur la santé : plus de 70 000 décès supplémentaires ont été observés en Europe dont environ 15 000 en France. Le retour d'expérience de cet épisode exceptionnel témoigne d'un effet d'îlot de chaleur accru en milieu urbain : +3°C avait été observé à Rouen par rapport à la moyenne

des étés précédents (1996-2002). Cette vague de chaleur avait alors provoqué une surmortalité plus marquée à Rouen (35%), comparée aux villes de Toulouse (18%) ou de Strasbourg (12%) qui présentent une « culture de la chaleur » (comportements face à la chaleur, conception thermique des bâtiments, ...) (INVS, 2003 ; INVS, 2004 ; Besancenot, 2004). Plus récemment, une surmortalité relative de + 9.6% et +27,8% a été observée respectivement lors des canicules de 2019 et 2020 pour les départements ayant été concernés par les dépassements des seuils d'alerte (dont la Seine-Maritime pour les deux années)⁶. La chaleur a également des effets sur la qualité de l'air en favorisant notamment la formation d'ozone troposphérique et de particules secondaires, ainsi que les concentrations en pollens et autres aéro-allergènes, néfastes pour l'appareil respiratoire et pouvant engendrer une augmentation des mortalités et des maladies respiratoires (Rey et al., 2008 ; Bouchama et al., 2007 ; Takaro et al., 2013 ; Besancenot, 2015 ; Tairou, Bélanger et Gosselin, 2010 ; Ye et al., 2012 ; Patz et al., 2014 ; Gerardi et Kellerman, 2014 ; Cheng et al., 2014, Conlon et al., 2011 ; Bélanger et al., 2019). Au-delà des maladies respiratoires, cette combinaison de facteurs favorise voire aggrave des maladies cardiovasculaires et du système nerveux (Pascal, 2014). De même, l'exposition aux rayons UV du Soleil en été accroît le risque de maladies cutanées. L'Agence Régionale de santé (ARS) de Normandie a notamment relevé une augmentation de +5% des cas de mélanomes cutanés entre 1978 et 2000 à l'échelle de la Normandie. L'impact sanitaire des températures peut toutefois être atténué selon l'acclimatation des populations et la mise en œuvre de mesures d'adaptation comme le Plan Canicule élaboré après la canicule de 2003 (Medina-Ramon et Schwartz, 2007 ; Hajat et Kosatky, 2010 ; Corso et al., 2017 ; Kinney et al., 2012).

Projections

À l'horizon 2100, les projections climatiques indiquent une augmentation des températures moyennes annuelles de l'air entre +1 à +6°C, ainsi qu'une accentuation des canicules de 10 à 30 jours selon les scénarios en Normandie (Laignel et Nouaceur, 2018). Selon les projections du *Multi-country Multi-City Collaborative Research Review*⁷, la mortalité liée à la chaleur devrait s'accroître selon tous les scénarios RCP en Europe centrale et du sud, zones géographiques où la France a été classée⁸ (Gaspar-

rini et al., 2017 ; Gasparrini, 2018). **Des étés particulièrement mortifères comme ce fut le cas pour l'été 2003 pourraient donc se reproduire plus fréquemment dans les prochaines décennies si le réchauffement venait à s'amplifier (Soubeyroux et al., 2016).** Les effets systémiques de la chaleur sur l'organisme pourraient s'aggraver si ces projections se confirment et notamment du fait du vieillissement de la population et de l'augmentation du nombre d'individus atteints des pathologies chroniques (diabète, obésité...). De même, l'ARS de Normandie prévoit une augmentation des maladies cutanées, en particulier chez les sujets de plus de 65 ans. En l'absence de mesures d'adaptation, le phénomène d'îlot de chaleur urbain se renforcerait aussi dans les villes et accentuerait les effets néfastes de ces vagues de chaleur sur la santé. Les citoyens feraient ainsi face à des « nuits étouffantes » qui réduiraient la durée et de la qualité de la récupération physiologique. **Sachant que le risque sanitaire est important même lors de courts épisodes de canicules, il s'accroîtrait avec des épisodes plus longs comme les projections l'envisagent (INVS, 2003 ; Besancenot, 2004 ; Cantat, 2010, Laignel et Nouaceur, 2018).** Ce phénomène d'îlot de chaleur sera davantage abordé dans la synthèse du GIEC local en lien avec l'urbanisme.

Enfin, quant aux conséquences du réchauffement du climat sur les mortalités hivernales dans la Métropole Rouen Normandie, la tendance n'est pas claire. D'un côté, les projections montrent qu'un climat plus chaud pourrait induire un radoucissement des hivers sur le long terme en France et une mortalité légèrement moins élevée durant cette saison (Gasparrini et al., 2017). Cependant, cette hypothèse est débattue car le lien entre mortalité hivernale avec les températures froides et le nombre de jours froids n'est pas établi (Ebi et Mills, 2013 ; Staddon, Montgomery et Depledge, 2014). Le climat local et d'autres facteurs socio-économiques permettraient aussi d'expliquer l'évolution des niveaux de mortalité hivernaux (qualité du chauffage et du confort thermique des logements, vaccination antigrippale, meilleur niveau de vie) (Besancenot, 2015). Enfin, les conclusions de la littérature scientifique peuvent également suggérer que les niveaux de mortalité hivernaux dans un climat plus chaud seraient comparables à ceux observés actuellement (Kinney et al., 2012).

⁵. 46256 (38005-54043) pour les jours froids et 13855 (-/+ 13338-14403) pour les jours chauds.

⁶. Bulletin de Santé Publique France sur les étés 2019 et 2020 en Normandie.

⁷. Réseau de recherche collaboratif multi-pays multi-ville.

⁸. 18 agglomérations françaises ont été prises en compte dans cette étude, dont celle de Rouen.

Risques sanitaires liés à l'évolution de la ressource en eau et du risque inondation

Évolution récente

Les premières synthèses du GIEC local n'ont pas montré de tendances statistiquement significatives ces dernières décennies sur l'évolution du cumul annuel des précipitations, ainsi que sur le niveau de l'aquifère de la craie où est puisée l'eau potable du territoire (Ducharne et al., 2009 ; Laignel, 2012 ; Laignel et Nouaceur, 2018 ; Kazmierczak, Laignel et Charrier, 2019). En revanche, selon l'ARS de Normandie, les ressources pour l'alimentation en eau potable sont très vulnérables au risque d'inondation par ruissellement provoqué par des événements pluvieux intenses. **Il en résulte notamment une plus importante turbidité, et probablement le ruissellement des polluants d'origine agricole et industrielle. Les eaux contaminées peuvent alors engendrer des maladies si des restrictions d'usage ne sont pas imposées.**

À l'échelle de la Métropole, le risque inondation est le principal risque naturel auquel le territoire est confronté et peut prendre plusieurs formes (débordement de cours d'eau, inondation par ruissellement résultant de pluies orageuses, inondation par remontée de la nappe phréatique). À une échelle presque similaire, le Territoire à Risque important d'inondation (TRI) Rouen-Louviers-Austreberthe estime qu'environ 160 000 habitants et 130 000 emplois en moyenne sont exposés au risque inondation. Bien que ces chiffres permettent d'avoir un aperçu des enjeux socio-économiques de ce risque, il reste difficile de définir plus précisément des chiffres pour le territoire de la Métropole pour toutes les formes d'inondation. En

plus des dégâts matériels sur les logements et des infrastructures clefs (routes, ponts, etc...), les inondations peuvent engendrer des blessures ou encore des décès comme ce fut le cas lors des inondations de 1997 à Saint-Martin-de-Boscherville. Des conséquences sur la santé mentale (stress post-traumatique, dépression, troubles du sommeil...) peuvent également survenir après l'évènement (Delavrière et Guégan, 2008 ; Goldmann et al., 2014 ; Paxson et al., 2012 ; Besancenot, 2015). À titre d'exemple, le coût monétaire des impacts psychologiques des inondations au Royaume-Uni a été estimé entre 1 et 9 millions de livres sterling par an (Hames DV, 2012).

Projections

Les projections du GIEC local ont montré une légère baisse des précipitations annuelles pour les scénarios médian (RCP 4,5) et pessimiste (RCP 8,5). Cette diminution s'accompagnerait d'un caractère de plus en plus aléatoire du régime des précipitations. La recharge et le niveau piézométrique de la nappe de la craie dans laquelle est puisée l'eau potable pour les usages domestiques et assimilés seraient en forte diminution (Ducharne et al., 2009 ; Stollsteiner, 2012 ; Kazmierczak, Laignel et Charrier, 2019). Cette perspective impliquerait deux conséquences principales sur la ressource en eau et la santé (Besancenot, 2015 ; Delavrière et Guégan, 2008 ; Laignel et Nouaceur, 2018 ; Laignel et al., 2019) :

- une baisse de la ressource (*via* les débits des cours d'eau et la nappe de l'aquifère de la

craie) pouvant entraîner des éventuels conflits d'usage qui risquent de s'accroître sur le territoire en raison d'un risque de restrictions en eau plus important.

- une dégradation de la qualité de l'eau du fait de la réduction de la ressource, du réchauffement des cours d'eau qui conditionne l'activité microbienne, et des épisodes pluvieux intenses qui accentuent la turbidité et le ruissellement de produits toxiques (pesticides). Ces nouvelles conditions pourraient favoriser le développement de certains pathogènes (bactéries, virus, micro-algues toxiques...), de maladies à transmission hydrique (légiellose) et de toxi-infections alimentaires collectives (TIAC).

Quant au risque inondation, l'élévation du niveau marin et une plus grande fréquence des phénomènes pluvieux extrêmes constitueraient des facteurs aggravants, bien que l'aménagement du territoire aura également un rôle important (Laignel et Nouaceur, 2018 ; Kazmierczak, Laignel et Charrier, 2019 ; Besancenot, 2015). **L'ARS de Normandie souligne que les zones exposées au risque pourraient s'étendre, impliquant une plus grande vulnérabilité des habitants et des activités économiques, ainsi que des dégâts matériels proportionnellement plus importants sur le bâti : logements, entreprises, ou encore les établissements de santé.** Cette perspective sera davantage développée dans une prochaine étude du GIEC local consacrée à l'urbanisme.

Commune de La Bouille, en bord de Seine



La prolifération d'espèces nuisibles à la santé humaine favorisée par le changement climatique

En Normandie, l'apparition ou la prolifération de plusieurs espèces animales (frelon asiatique, moustique tigre, ragondin, etc...) et végétales (ambroisie) nuisibles à la santé humaine représente un enjeu sanitaire à surveiller avec attention. Dans la plupart des cas, les activités humaines sont à l'origine de leur introduction dans les territoires (commerce international, croissance démographique, mobilités humaines, changements d'usage des sols, lutte anti-vectorielle, etc...) (Besancenot, 2015). Le changement climatique intervient en facilitant leur installation pérenne dans une région donnée, en satisfaisant notamment les exigences écologiques de ces

espèces, comme c'est le cas pour le moustique tigre (*Aedes albopictus*). Les fluctuations de températures et d'humidité jouent également un rôle dans l'abondance des populations et leur expansion dans le temps et l'espace, car elles influencent directement leur cycle de vie et leur comportement. À titre d'exemple, une hausse de la température dans un endroit donné peut à la fois favoriser la transmission d'un agent infectieux mais aussi réduire la durée de vie de ces espèces. Néanmoins, l'abondance de ces espèces dans un milieu donné ne signifie pas forcément une recrudescence des maladies véhiculées chez l'être humain (Besancenot,

2015). L'ARS de Normandie indique que la Métropole est déjà ou pourrait être confrontée à plusieurs maladies ou effets sanitaires en lien avec la présence d'un vecteur ou d'un agent causal dont la présence est imputable ou peut être favorisé par le changement climatique (Tableau 1).

Trois exemples ont été choisis afin d'illustrer les risques posés par certaines espèces à l'échelle de la Métropole Rouen Normandie : la tique du genre *Ixodes ricinus*, le moustique tigre (*Aedes albopictus*) et la chenille processionnaire du pin et du chêne (*Thaumetopoea pityocampa*).

Tableau 1 : Maladie(s) ou effet(s) véhiculé(s) par les espèces nuisibles actuellement présentes ou qui pourraient l'être dans un futur proche dans le territoire de la Métropole Rouen Normandie

	Maladie(s) ou effet(s) véhiculé(s)	Vecteurs ou agents en cause
RISQUES SANITAIRES ACTUELS	Borréliose de Lyme	Tique (<i>Ixodida</i>)
	Leptospirose	Rongeurs aquatiques (ragondin, rat musqué)
	Brûlures	Berce du Caucase (<i>Heracleum mantegazzianum</i>)
	Allergies	Ambroisie (<i>Ambrosia artemisiifolia</i>)
	Intoxications	Datura
	Dermatite du baigneur	Oiseaux sauvages (canards, oies, cygnes)
	Réactions allergiques	Chenille processionnaire du chêne (<i>Thaumetopoea processionea</i>)
RISQUES SANITAIRES PROBABLES À VENIR	Dengue, Chikungunya, Zika, Paludisme, Virus du Nil occidental	Moustique tigre (<i>Aedes albopictus</i>) Moustique commun (<i>Culex pipiens</i>)
	Réactions allergiques	Chenille processionnaire du pin (<i>Thaumetopoea pityocampa</i>)

LA MALADIE DE LYME

Agent infectieux

Bactéries, *Borrelia burgdorferi* et autres arbovirus

Vecteur de transmission

Tiques *Ixodes ricinus*

Risque sanitaire

Maladie de Lyme

La maladie de Lyme est la maladie vectorielle la plus répandue en Europe (Vayssier-Taussat et al., 2015 ; Klopfenstein et al., 2019 ; Cosson, 2019). Il n'existe pas de vaccins pour cette maladie car elle présente une grande diversité (génétique, épidémiologique, clinique et diagnostique) et peut affecter plusieurs organes avec des manifestations cliniques prenant plusieurs formes (cutané, rhumatologique, neurologique). Le risque pour l'être humain dépend de l'abondance des tiques infectées par les borrelies, de son exposition aux piqûres, mais aussi de facteurs génétiques et immunitaires (Cosson, 2019).

Évolution récente

Les tiques du genre *Ixodes ricinus* sont déjà présentes sur le territoire de la Métropole. Elles se développent dans les régions humides et tempérées (entre 10 et 25°C) et dans les forêts caduques ou mixtes (Tomkins et al., 2014 ; Rizzoli, 2014 ; Klopfenstein et al., 2019).

Un allongement de leur période d'activité est constaté dans certaines régions où les hivers sont de moins en moins rigoureux et pour lesquels le réchauffement climatique serait en cause (Klopfenstein et al., 2019). Le rôle du climat sur l'expansion des tiques a notamment été établi en Suède et au Canada (Jaenson et al. 2012; Simon et al. 2014 ; Goldstein, 2017). Cependant, même si une augmentation de la température moyenne depuis les dernières décennies a été observée sur le territoire de la Métropole et en Normandie (Laignel et Nouaceur, 2018), **il n'y a actuellement pas de tendance à l'augmentation du nombre de cas de maladie de Lyme observées à l'échelle de la Haute-Normandie, contrairement à l'échelle nationale** (Figure 3). Outre le facteur climatique et les conditions d'humidité, l'augmentation du nombre de cas en France peut résulter de plusieurs autres facteurs : conditions environnementales favorables pour les tiques,



présence d'hôtes et d'un réservoir animal suffisamment important, comportements à risque favorisant l'exposition aux tiques infectées, meilleure sensibilisation des médecins au diagnostic et à la nécessité du recensement. Par ailleurs, le nombre de cas recensés n'illustre pas forcément le nombre réel de cas (Besancenot, 2015 ; Klopfenstein et al., 2019 ; Cosson, 2019).

Il n'existe pas de données sur le coût annuel des maladies transmises par les tiques et de la maladie de Lyme en France ; il est cependant estimé à environ 20 millions d'euros pour les Pays-Bas et 80 millions d'euros pour l'Allemagne (Cees, Van den et al., 2017 ; Lohr, 2015 ; Cosson, 2019).

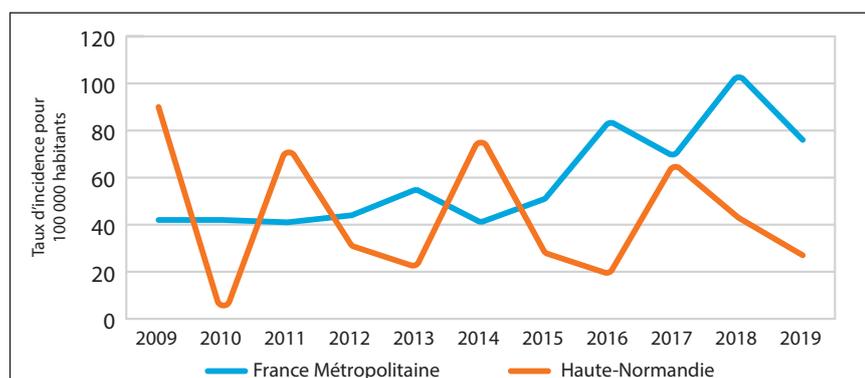


FIGURE 3 : Taux d'incidence de la borréliose de Lyme pour 100 000 habitants en France métropolitaine et Haute-Normandie entre 2009 et 2018.
Source : réseau Sentinelles, INSERM/Sorbonne Université, <https://www.sentiweb.fr/>

Projections

Dans les prochaines décennies, la plupart des scénarios prévoient un élargissement de l'aire de répartition des tiques de l'ordre de 5% en Europe, ce qui s'accompagnerait d'une augmentation du risque de maladie de Lyme (Semenza et Suk, 2018 ; Ostfeld et Brunner, 2015 ; Cosson, 2019). Ces projections présentent toutefois des incertitudes importantes en lien avec la mise en place de

mesures préventives, la sensibilisation du public, ou encore l'évolution du réservoir animal (Randolph, 2011 ; Cosson, 2019).

En ce qui concerne la Métropole Rouen Normandie, le territoire est composé à environ deux tiers de surfaces forestières et agricoles, sans compter les espaces verts des villes, où les tiques peuvent proliférer (Mulder et al., 2013). Toutefois, les projec-

tions climatiques ont montré une augmentation des jours de chaleur et de sécheresse pour la Normandie et la Métropole qui pourraient avoir une incidence sur leur survie. À partir de ces données, il paraît difficile de prévoir une tendance claire sur l'évolution future des tiques infectées et du nombre de cas de maladie de Lyme pour le territoire de la Métropole. Néanmoins, ce risque sanitaire reste préoccupant.

CAS DU MOUSTIQUE TIGRE (*Aedes albopictus*)

Agent infectieux :
Arbovirus (chikungunya, dengue, zika, virus du Nil occidental, etc...)

Vecteur de transmission :
Moustique tigre (Aedes albopictus)

Risques sanitaires :
Chikungunya, dengue, zika et autres virus



Évolution récente

Originaire d'Asie et implanté depuis de nombreuses années dans les départements d'Outre-Mer français situés dans l'Océan Indien, le moustique a été repéré pour la première fois en France métropolitaine en 2004. Depuis, il n'a cessé de progresser dans plusieurs départements français (58 départements métropolitains en 2019, Figure 3) et a atteint Paris en 2014. Selon le Ministère des Solidarités et de la Santé, 674 cas de dengue, 57 cas de chikungunya et 6 cas de zika ont été importés en France métropolitaine en 2019. De

plus, une douzaine de cas autochtones (9 cas de dengue et 3 de zika) ont été déclarés. **Le moustique tigre n'a pas encore été repéré en Seine-Maritime mais a été détecté sporadiquement dans des départements proches en 2018 : l'Oise et les Yvelines.** Les mobilités et les échanges commerciaux constituent les causes les plus crédibles de son expansion rapide. Le changement climatique n'interviendrait qu'en second lieu en facilitant son installation avec des conditions de température et d'humidité favorables (Besancenot, 2015).

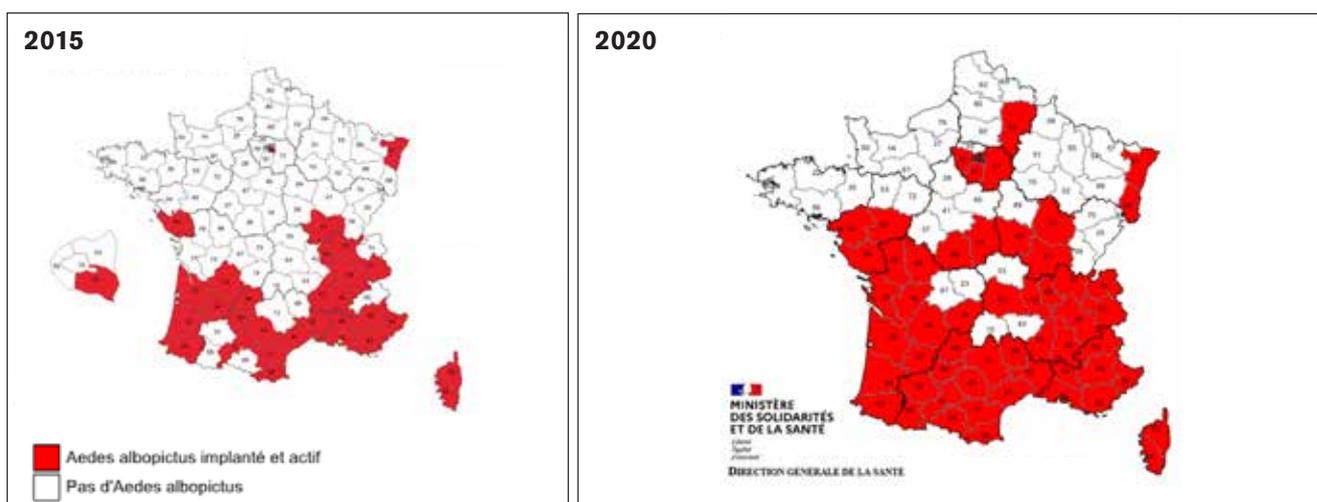


FIGURE 3 : Evolution de la présence du moustique tigre en France métropolitaine en 2015 et en 2020 – Source : Ministère des Solidarités et de la Santé, Direction Générale de la Santé.

Afin de contrer cette nouvelle menace, un plan national anti-dissémination du chikungunya et de la dengue a été élaboré par le ministère de la Santé en 2006 et prévoit, de façon progressive selon le niveau de risque (DGS, 2015) :

- la mise en place d'une surveillance entomologique et épidémiologique pour prévenir et évaluer les risques de dissémination ;
- le renforcement de la lutte contre les moustiques vecteurs ;
- l'information et la mobilisation de la population et des professionnels de santé ;
- le développement de la recherche et des connaissances ;

Les modalités d'organisation de la prise en charge des patients par les acteurs du système de santé relève du schéma relatif à l'organisation du système de santé en situation sanitaire exceptionnelle (ORSAN). Cette réglementation et l'organisation sous-jacente ont été ajustées en 2019 (DGS, 2019). Ainsi, depuis le début de l'année 2020, les missions de surveillance entomologiques et d'intervention autour des cas humains d'arboviroses (virus transmis par les moustiques) sont désormais confiées aux agences régionales de santé et en concertation avec le préfet sur leur mise en oeuvre. Les conseils départementaux, qui assuraient auparavant ces missions, sont recentrés sur les missions de démoustication. Étant garant de l'hygiène et la salubrité publiques, le maire a également un rôle essentiel pour endiguer la prolifération des moustiques sur son territoire.

Projections

Un climat plus doux pourrait entraîner un allongement de la période d'activité des moustiques et une diminution de la période d'incubation, renforçant le risque d'exposition des populations aux maladies véhiculées par le moustique tigre (Besancenot, 2015). Selon l'ARS de Normandie, au vue de la proximité de la Métropole avec la capitale parisienne qui est déjà impactée par le moustique tigre, il paraît fort probable que le territoire de la Métropole soit concerné par ce risque dans un futur proche.

CAS DE LA PROCESSIONNAIRE DU PIN (*Thaumetopoea pityocampa*)

Vecteur de transmission :
processionnaire du pin
(*Thaumetopoea pityocampa*)
Risques sanitaires :
réactions allergiques, maladies
urticantes et respiratoires



Évolution récente

Cette espèce a été utilisée ces dernières décennies comme un bio-indicateur du changement climatique car sa progression vers le Nord de la France était liée à de nouvelles conditions climatiques plus douces (Roques et Negeisen, 2007 ; Figure 4). Cependant, selon l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE), le climat actuel lui permettrait de

progresser dans n'importe quelle partie de France Métropolitaine (Figure 5). Ses poils urticants provoquent des réactions allergiques aux mains, au cou et au visage, et peuvent affecter les yeux et les voies respiratoires. Elle n'est actuellement pas présente sur le territoire de la Métropole, mais un autre type de chenille processionnaire qui présente les mêmes risques sanitaires, celle du chêne, y est déjà observée (Figure 6).

Projections

Au vu de la propagation de la chenille processionnaire du Pin et de l'évolution du climat, il semble fort probable que le territoire de la Métropole sera concerné par les effets sanitaires engendrés par ses poils urticants à l'avenir (Besancenot, 2015 ; ARS Normandie, 2016).

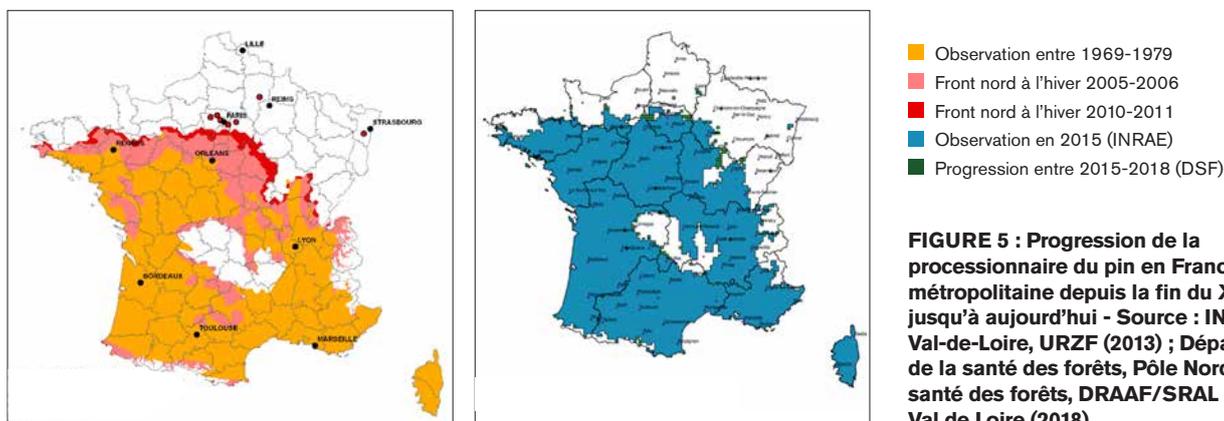


FIGURE 5 : Progression de la processionnaire du pin en France métropolitaine depuis la fin du XX^e siècle jusqu'à aujourd'hui - Source : INRAE Val-de-Loire, URZF (2013) ; Département de la santé des forêts, Pôle Nord-Ouest santé des forêts, DRAAF/SRAL Centre Val de Loire (2018)

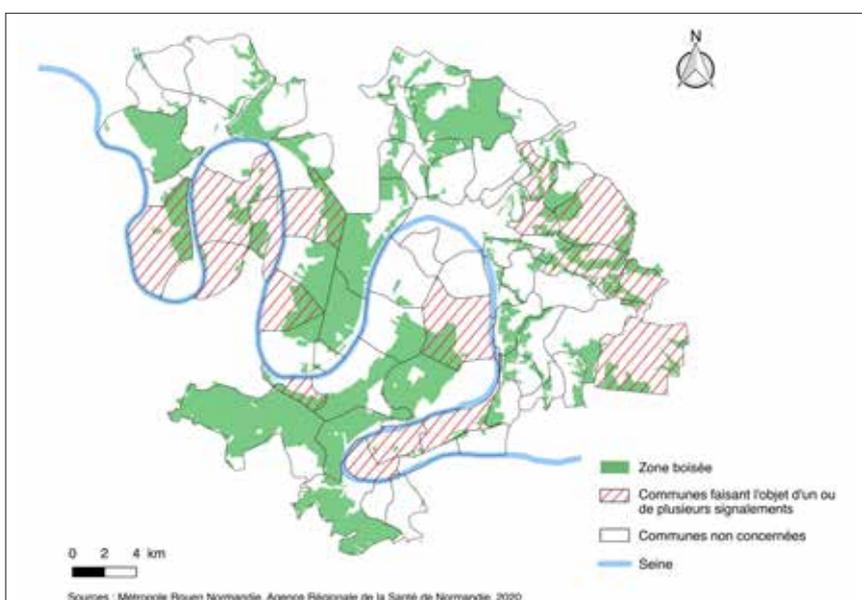


FIGURE 6 : Recensement des lieux des chenilles urticantes sur le territoire de la Métropole entre 2018 et 2020

L'aggravation des conséquences sanitaires de la dégradation de la qualité de l'air en lien avec le changement climatique

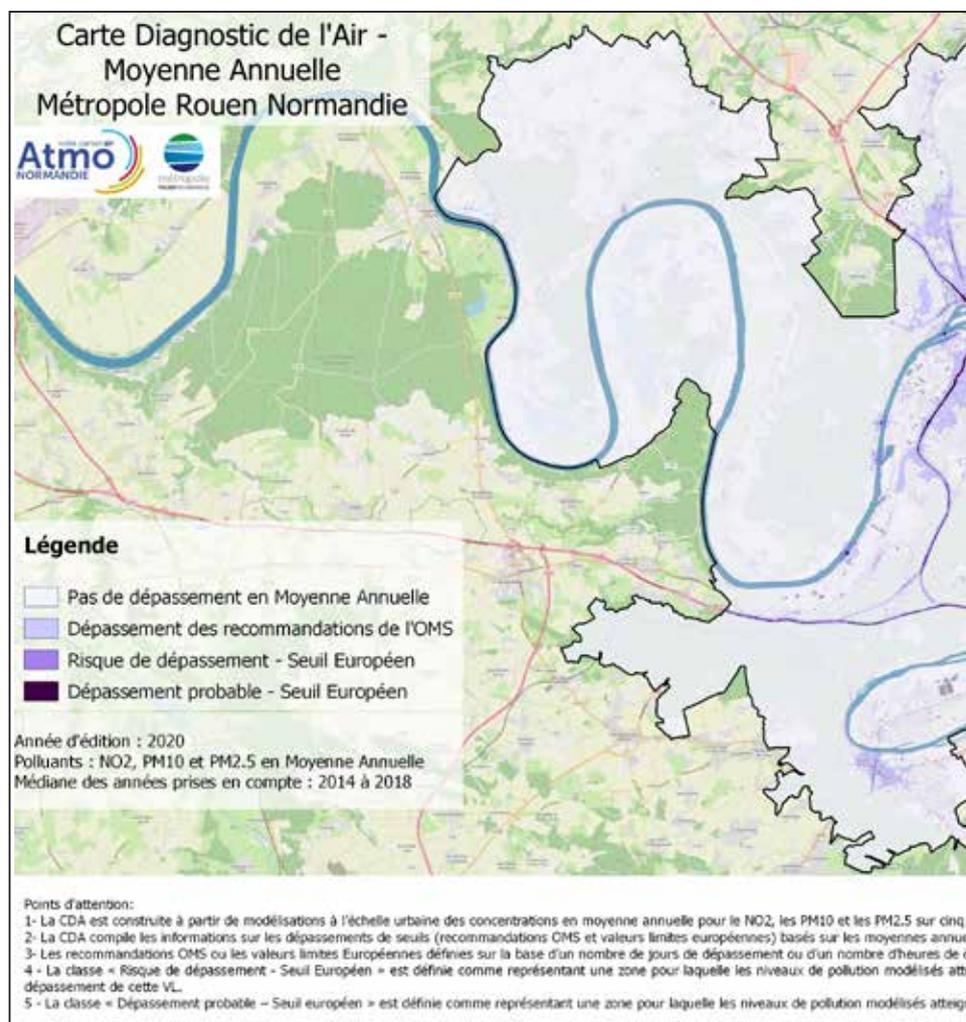
La pollution de l'air est considérée par l'OMS comme le principal risque environnemental dans le monde (OMS, 2016). Selon Santé Publique France, la pollution de l'air d'origine anthropique est responsable de la mort de 48 000 personnes en France, soit 9% de la mortalité totale chaque année. De plus, le coût sanitaire engendré par cette pollution se situe entre 71 et 100 milliards d'euros par an en France (Aïchi et Husson, 2016)⁹. L'amélioration de la qualité de l'air est bénéfique pour la santé humaine et la lutte contre le changement climatique. Toutefois, des réactions chimiques antagonistes peuvent renforcer le réchauffement du climat (GIEC, 2014). La synthèse du GIEC local sur la qualité de l'air explore davantage cet aspect.

L'impact du changement climatique sur la pollution physico-chimique et ses conséquences sur la santé

La sévérité des effets de la pollution de l'air diffère entre les individus selon plusieurs facteurs : durée d'exposition, sensibilité individuelle, concentration des polluants, ventilation pulmonaire. Les études épidémiologiques montrent toutefois qu'il n'existe pas de seuil de concentration de polluants atmosphériques en deçà duquel il n'y aura pas d'effet sur la santé (Roussel, 2013). Selon l'OMS, l'exposition à la pollution atmosphérique peut engendrer plusieurs conséquences sur la santé humaine aussi bien à court-terme (toux, rhinite, asthme, conjonctivite, risques cardiaques), qu'à long-terme (cancers, infertilité, BPCO, maladies cardio-vasculaires et neurologiques, etc.).

Évolution récente

À l'échelle de la Normandie, la pollution de l'air est responsable d'environ 2 600 décès prématurés soit 9% de la mortalité comme à l'échelle nationale. L'étude APHEKOM démontre que si la valeur guide recommandée par l'OMS pour les PM 2,5 (10 µg/m³) était respectée sur le territoire de la Métropole, l'espérance de vie à 30 ans augmenterait de 4 mois (Declercq et al., 2012). Plus récemment, une évaluation



quantitative des impacts sanitaires réalisée par Santé Publique France démontre qu'entre 414 et 648 décès annuels¹⁰ pourraient être évités sur le territoire de la Métropole Rouen Normandie si les niveaux de PM_{2,5} étaient inférieurs à 5 µg/m³ (Pascal et al., 2016)..

La qualité de l'air du territoire s'est améliorée ces dernières années même si elle reste dégradée 1 jour sur 10. Lors de ces épisodes, la qualité de l'air est médiocre voir très mauvaise¹¹. La concentration globale de polluants a diminué en particulier du fait de la réduction des concentrations en dioxyde de soufre (SO₂) de 70% depuis 2005. Cependant, des dépassements récurrents des seuils réglementaires

à proximité du trafic persistent pour le dioxyde d'azote (NO₂) et les particules fines (PM₁₀). Ces dépassements se situent généralement en zone urbaine, notamment le long des axes routiers structurants, comme le montre la carte diagnostic de l'air d'ATMO Normandie pour la Métropole Rouen Normandie (Figure 7). En 2019, 24 épisodes de pollution ont été enregistrés en Seine-Maritime en raison des concentrations de particules fines (PM₁₀), de dioxyde de soufre (SO₂) et d'ozone (O₃) dépassant les seuils d'alerte ou d'information/recommandation¹². Les pics de pollution à l'ozone se produisent notamment lors de journées chaudes et ensoleillées comme ce fut le

⁹. Un coût sanitaire tangible de 3 milliards d'euros par an et un coût sanitaire intangible entre 68 et 97 milliards d'euros.

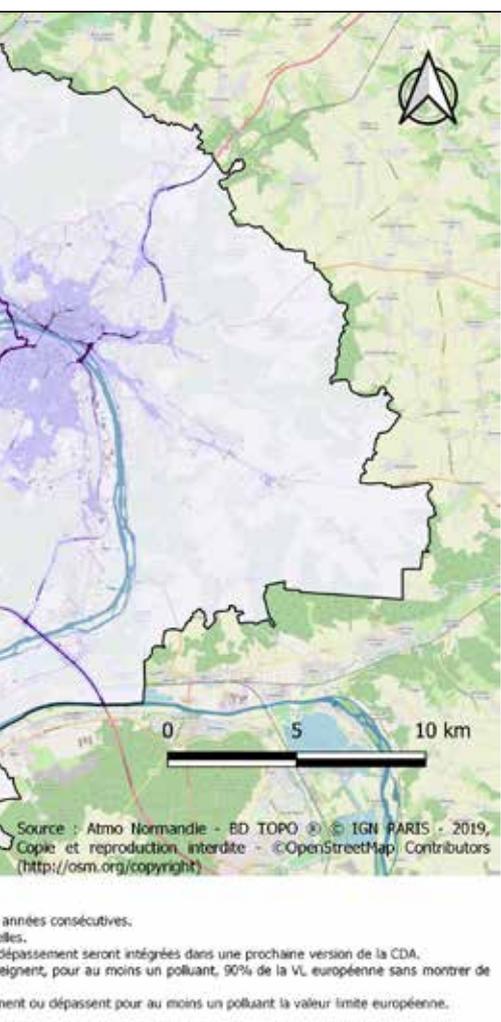
¹⁰. Ces chiffres ont été obtenus selon la méthode d'estimation d'exposition via un modèle national (648 décès), et via les stations de mesure (414 décès).

¹¹. Il s'agit du constat au moment où nous écrivons ces lignes. Le 1^{er} janvier 2021, l'indice ATMO prendra en compte les PM_{2,5}. La qualité de cet indice va donc vraisemblablement se détériorer.

¹². Bilan d'activités d'Atmo Normandie, 2019.

¹³. www.santepubliquefrance.fr

FIGURE 7 : Carte Diagnostic de l'Air de la Métropole Rouen Normandie.
Source : ATMO Normandie, 2020



cas lors des canicules de juin et juillet 2019. Néanmoins, ces pics diminuent depuis 2005, à l'inverse de la concentration globale en ozone qui s'accroît tous les ans. Ce type de polluant secondaire résultent de la réaction chimique des émissions du trafic routier notamment (NO_x ou NO₂), ou via d'autres gaz précurseurs (COV, méthane et monoxyde de carbone), avec le rayonnement solaire et la chaleur⁽¹³⁾.

Projections

Les résultats du projet européen FP7 IMPACT2C, ainsi que de l'étude française IMPACT3C qui l'a suivie, semblent montrer une augmentation des concentrations en ozone résultant de l'augmentation de la concentration en méthane dans l'atmosphère selon un réchauffement du climat de +2°C et +3°C, notamment sous un

scénario pessimiste (RCP 8,5). En revanche, les concentrations hivernales de particules fines diminueraient dans le nord de la France (Fortems-Cheiney et al., 2016 ; Fortems-Cheiney et al., 2017). Des incertitudes persistent à propos des concentrations de particules fines au printemps. En effet, les modèles semblent indiquer une baisse des concentrations mais cette saison est aussi propice à la volatilité des nitrates d'ammonium issus du travail des sols agricoles et du trafic routier avec la chaleur. Un réchauffement du climat pourrait donc aussi favoriser ces concentrations. Santé Publique France souligne que les études épidémiologiques identifient une probable synergie entre pollution et température, conduisant à une augmentation de la concentration des polluants avec la chaleur. Ainsi, les impacts sur la santé pourraient se maintenir, voire s'accroître si cette hypothèse est confirmée. Enfin, la période estivale pourrait être propice à des feux de forêts qui favoriseraient une dégradation ponctuelle de la qualité de l'air (Pierrefixe et Guégan, 2015 ; Kazmierczak, Aubert et Charrier, 2020).

Ces études ont aussi mis en avant le rôle des politiques de réduction des émissions de polluants en Europe pour l'amélioration de la qualité de l'air et la nécessité de renforcer ces politiques à l'échelle mondiale, notamment en ce qui concerne le méthane. **Sans réduction des émissions, une hausse des températures pourrait donc entraîner une aggravation de la pollution de l'air, notamment en zones urbaines (GIEC, 2014 ; Besancenot, 2015).** Ces projections corroborent les observations récentes des concentrations d'ozone et de particules fines à l'échelle de la Métropole Rouen Normandie. Il est donc fort probable que le territoire soit concerné par ces projections, ainsi que par une plus grande fréquence, voire une aggravation des maladies qui en découleraient.

L'impact du changement climatique sur la production de pollens et les allergies

Considérée par l'OMS comme la quatrième pathologie chronique à la surface du globe, l'allergie liée au pollen résulte d'interactions complexes avec le climat et la pollution, et se manifeste dans l'organisme par une réaction excessive du système immunitaire à un allergène (D'amato, 2002 ; Fontana et Wüthrich, 2019 ; Bélanger et al., 2019). Les allergies se manifestent chez les personnes sensibles au niveau des voies respiratoires (rhinite, asthme), des yeux (conjonctivite) ou la peau (eczéma, urticaire) (Beggs, 2010 ; Thibaudon et Besancenot, 2019). Plusieurs facteurs météorologiques (ensoleillement, température, précipitations,

vent...) ainsi qu'un niveau de CO₂ élevé favorisent la libération de pollens et d'autres allergènes dans l'air (Bélanger et al., 2019 ; Sheffield et Landrigan, 2011 ; GIEC, 2014). La pollution de l'air engendre aussi un fractionnement des pollens et renforce leur pouvoir allergisant (Schäppi et al., 1997 ; Schäppi et al., 1999 ; Fontana et Wüthrich, 2019).

Évolution récente

Selon l'ANSES (2014), les études épidémiologiques menées entre 1994 et 2006 semblent montrer une prévalence de la rhinite allergique au plus à :

- 7% chez les enfants de 6 à 7 ans,
- 20% chez les enfants de 9 à 11 ans,
- 18% chez les adolescents,
- 31 à 34% chez les adultes.

Cette prévalence varie selon les régions en raison des différences de végétation et de l'intensité des saisons polliniques. À l'échelle de la Métropole, la saison à risque pour les personnes sensibles aux pollens varie entre la fin de l'hiver et la fin du printemps. Les bouleaux et les graminées y sont principalement responsables de la pollution aux pollens. Plusieurs pics polliniques sont observés sur le territoire au printemps de chaque année. En 2018, la concentration en pollens de bouleaux atteignait son maximum fin avril/début mai, soit bien plus tard que 2017 où cela s'était produit fin mars. Selon un rapport national⁽¹⁴⁾, la pollinisation fut l'une des plus abondantes enregistrées depuis ces vingt dernières années. L'implantation d'espèces fortement allergisantes comme l'ambrosie, ou herbe à poux, est également à surveiller avec attention. Depuis juin 2011, un observatoire des ambrosies évalue sa dispersion en France métropolitaine⁽¹⁵⁾. Plusieurs signalements ont notamment déjà été effectués dans des communes de la Métropole Rouen Normandie : Rouen, Grand-Couronne, Sotteville-lès-Rouen et Saint-Étienne-du-Rouvray.

Projections

Des conditions plus chaudes associées à un accroissement du CO₂ pourront favoriser la production et la libéralisation d'allergènes dans l'air et renforcer les allergies (GIEC, 2014 ; Bélanger et al., 2019 ; Fontana et Wüthrich, 2019). Le changement climatique pourrait aussi grandement participer à l'augmentation de la concentration dans l'air de pollens d'ambrosie dans les prochaines années et à son expansion en France (Pierrefixe, 2015 ; Bélanger et al., 2019). Ces nouvelles conditions renforceront vraisemblablement les risques d'allergies (GIEC, 2014 ; Bélanger et al., 2019).

¹⁴. Surveillance des pollens et des moisissures dans l'air ambiant 2018, APSF, RNSA, ATMO France, mars 2019

¹⁵. <https://solidarites-sante.gouv.fr/sante-et-environnement/risques-microbiologiques-physiques-et-chimiques/especes-nuisibles-et-parasites/ambrosie-info/l-observatoire-des-ambrosies>

Inégalités sociales de santé et changement climatique

Les individus et les groupes sociaux ne subissent pas de la même manière les effets du changement climatique et ne disposent pas des mêmes capacités pour s'y adapter (Bélanger et al., 2019). Tenir compte de ces inégalités sociales face à la santé est essentiel pour connaître les populations les plus à risque du territoire et savoir comment et à quel point le changement climatique pourrait les affecter. Plusieurs critères permettent d'identifier les inégalités et les vulnérabilités en termes de santé publique : le sexe, l'âge, l'état de santé initial, la catégorie socio-professionnelle, l'exposition aux risques (le lieu de résidence, le travail en extérieur ou non), et l'accès aux soins (INVS, 2015 ; ANSES, 2018). L'accès, la compréhension et l'appropriation d'un message de santé publique (littératie en santé) sont également des critères importants en vue de protéger ou d'améliorer sa santé et celle des autres.

Ainsi, il existe plusieurs types de population à risque dont la vulnérabilité pourrait s'aggraver avec le changement climatique suivant les risques sanitaires exposés précédemment : les personnes âgées (75 ans et plus), les enfants, les femmes enceintes, des personnes atteintes de pathologies chroniques, les personnes travaillant en extérieur, ou encore les personnes les plus modestes et sans domicile fixe (Besancenot, 2015). Par exemple, selon le bulletin de Santé Publique

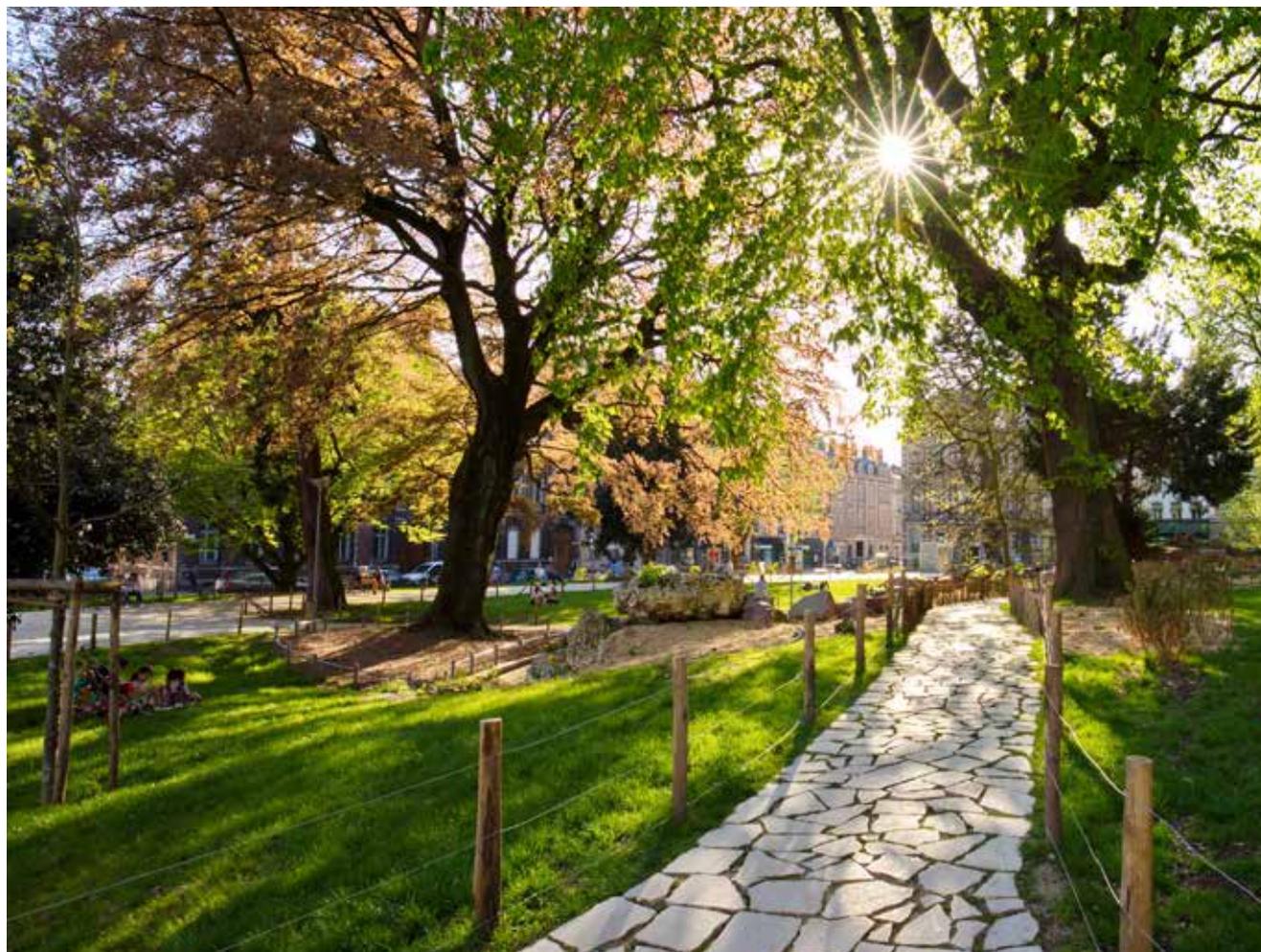
France pour l'été 2019, les personnes âgées de 75 ans et plus ont été les plus affectées (42 décès) lors des canicules de cette année, même si toutes les classes d'âges ont été concernées par les pathologies en lien avec la chaleur et leur complications (passages aux urgences et hospitalisation). Les canicules peuvent également renforcer les maladies respiratoires pour les jeunes enfants (Laadi et al., 2015 ; Xu, et al., 2014).

Les facteurs socio-économiques constituent parmi les principaux facteurs contribuant à la vulnérabilité des populations aux risques sanitaires en relation avec le climat (INVS, 2015).

Par exemple, un accès limité aux espaces verts ou la pauvreté augmentent les risques de décès liés à la chaleur et au froid (Zanobetti et al., 2013 ; INVS, 2015). Une étude réalisée au Royaume-Uni a également montré que les écarts de mortalité selon le revenu diminuaient lorsque les populations avaient davantage accès à des espaces verts (Mitchell et Popham, 2008 ; INVS, 2015).

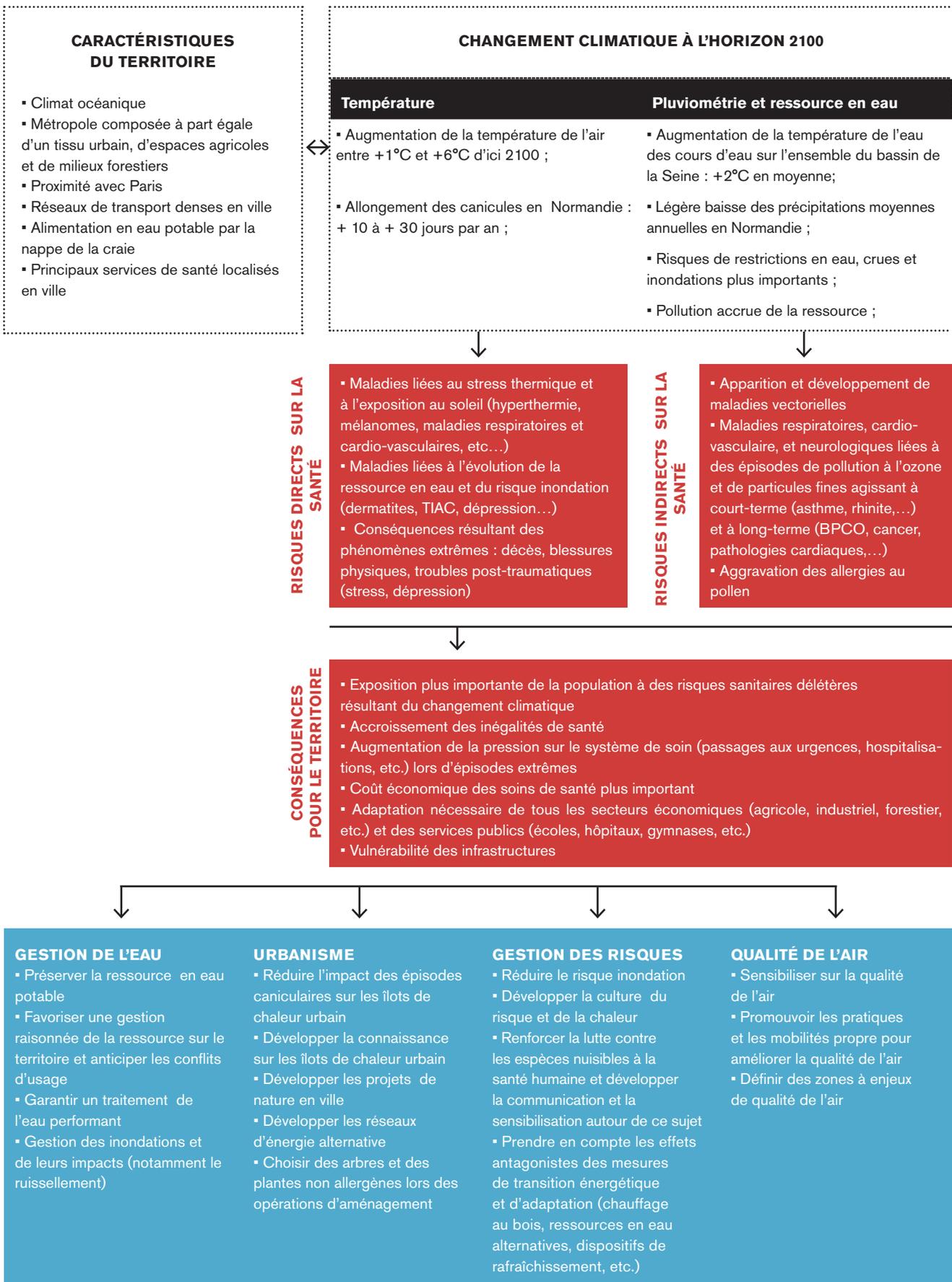
Enfin, il paraît aussi très probable que les îlots de chaleur urbain s'accroissent dans la Métropole avec le changement climatique (Laignel et Nouaceur, 2018). Les citoyens seraient ainsi plus exposés aux effets délétères des chaleurs extrêmes et aux risques sanitaires qui en résultent (Besancenot, 2015).

Le Square Verdrel à Rouen



Conclusion

Les voies d'impact du changement climatique sur la santé



Recommandations pour l'amélioration des connaissances

1 La compréhension des effets du changement climatique sur la santé et les études épidémiologiques doivent être approfondies, sachant que le chapitre « santé » est l'un des moins documenté dans les rapports du GIEC (INVS, 2015). Dans cet optique, les effets sociaux, économiques et sociétaux du changement climatique (l'incapacité physique, la productivité, l'absentéisme scolaire) nécessiteraient d'être aussi mieux connus. Plusieurs indicateurs ont été développés dans ce sens par la collaboration Lancet Countdown (voir Annexe), et le seront prochainement à l'échelle nationale par une étude de Santé Publique France.

2 La formation des professionnels de santé et la recherche-action à propos des impacts du changement climatique sur la santé est incontournable. Les cursus de formation en santé publique devraient inclure des cours sur l'écologie de la santé, la santé environnementale, l'impact du changement climatique sur la santé des populations, ou encore sur la place de la promotion de la santé en rapport avec le changement climatique. De plus, la coopération entre plusieurs partenaires de différents domaines (services météorologiques, urbanistes, ONG, entreprises, élus locaux...) permettrait de rendre la question des impacts sanitaire du changement climatique pluridisciplinaire et de créer une masse critique de professionnels sur ce sujet. Des budgets de recherche spécifiques pourraient être élaborés afin d'améliorer la connaissance sur ces enjeux à des échelles plus fines (régionales, voire locales) (INVS, 2015).

3 Les services sociaux et les services de santé ne seront pas épargnés par les effets du changement climatique. De plus, les événements extrêmes peuvent affecter plusieurs composantes des établissements de santé : structurelles (toits, murs), non structurelles (ventilation, climatisation, système électromécanique des bâtiments et de communication) et de planification (besoins en personnels supplémentaires pour les urgences) (Guenther et Balbus, 2014 ; Bélanger et al., 2019). La compréhension de la résilience des services sociaux et de santé, ainsi que sur les établissements majeurs de santé (le CHU de Rouen par exemple) au changement climatique et aux événements extrêmes apparait également nécessaire.

4 L'étude des perceptions des risques et des bénéfices sanitaires liés aux activités en plein air (balades en forêts, jeux d'eaux en ville, bassin de baignades...) et aux événements extrêmes (canicule, sécheresse, inondation, tempête) devrait être approfondie afin de guider les politiques publiques (Vayssier-Taussat et al., 2015 ; Cosson, 2019). Dans le cas de la biodiversité, Santé Publique France souligne qu'elle est certes vecteur de risque, mais offre aussi des opportunités d'adaptation très importantes et positives pour la santé. Une coopération entre les professionnels de santé, de l'environnement et de l'urbanisme, permettrait ainsi de maximiser les bénéfices tout en réduisant les risques. À titre d'exemple, dans les politiques de végétalisation pour réduire l'îlot de chaleur, la limitation du risque de maladie à transmission vectorielle et d'allergie pourrait être prévue dès la conception des opérations d'aménagement.

Bibliographie

- Adalsteinsson SA, et al. Multiflora rose invasion amplifies prevalence of Lyme disease pathogen, but not necessarily Lyme disease risk. *Parasites & Vectors*, 2018;11:54. doi: 10.1186/s13071-018-2623-0.
- Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES), Etat des connaissances sur l'impact sanitaire lié à l'exposition de la population générale aux pollens présents dans l'air ambiant, 2014, 236p.
- Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, Avis et Rapport relatif à l'évaluation des risques induits par le changement climatique sur la santé des travailleurs, 2018, 262p.
- Aïchi L, Husson JF, Commission d'enquête sur le coût économique et financier de la pollution de l'air - rapport n°610 du Sénat, 2016 - Disponible à partir de l'URL : http://www.senat.fr/commission/enquete/cout_economique_et_financier_de_la_pollution_de_lair.html
- Beggs, P.J., 2010: Adaptation to impacts of climate change on aeroallergens and allergic respiratory diseases. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7(8), 3006-3021
- Bélangier D., Gosselin P., Bustinza R., Campagna C., Changements climatiques et Santé Publique : Prévenir, Soigner et s'adapter, Presses de l'Université Laval, 2019, 236 p.
- Besancenot J.-P., 2004. Une vague de chaleur meurtrière : les enseignements de l'été 2003 en France, *Géoconfluences – DESCO - ENS LSH*, Brève, 6. <http://www.ens-lsh.fr/geoconfluence/doc/breves/2004/6.htm>
- Besancenot, J.-P. (2015). « Changement climatique et santé », *Environnement, risques et santé*, vol. 14, n° 5, p. 394-414.
- Bouchama, A., M. Dehbi, G. Mohamed, F. Matthies, M. Shoukri et B. Menne (2007). « Prognostic factors in heat wave related deaths : a meta-analysis », *Archives of Internal Medicine*, vol. 167, n° 20, p. 2170-2176.
- Cantat O., 2010 : Les types de temps à risque climatique à Paris. Compte rendu de la Réunion du GDR 2663 CNRS RICLIM, « Risques climatiques urbains », *Archivio di Stato / Archives d'État (TURIN)*, 4-5.
- Cees C, Van den, et al. The cost of Lyme borreliosis. *European Journal of Public Health*. 2017;27(3):538-47. doi:10.1093/eurpub/ckw269.
- Cheng, J., Z. Xu, R. Zhu, X. Wang, L. Jin, J. Song et H. Su (2014). « Impact of diurnal temperature range on human health : a systematic review », *International Journal of Biometeorology*, vol. 58, n° 9, p. 2011-2024.
- Conlon, K. C., N. B. Rajkovich, J. L. White-Newsome, L. Larsen et M. S. O'Neill (2011). « Preventing cold-related morbidity and mortality in a changing climate », *Maturitas*, vol. 69, n° 3, p. 197-202.
- Corso M, Pascal M, Wagner V. Impacts de la chaleur et du froid sur la mortalité totale en France entre 2000 et 2010. *Bull Epidémiol Hebd.* 2017;(31):634-40. http://invs.santepubliquefrance.fr/beh/2017/31/2017_31_1.html
- Cosson, J. (2019). Écologie de la maladie de Lyme. *Santé Publique*, s1(HS), 73-87. doi:10.3917/spub.190.0073.
- D'amato, G. (2002). Outdoor air pollution, climate and allergic respiratory diseases: evidence of a link. *Clinical & Experimental Allergy*, 32(10), 1391-1393.
- Declercq C, Pascal M, Chanel O, Corso M, Ung A et al. Impact sanitaire de la pollution atmosphérique dans neuf villes françaises. Résultats du projet Aphekom. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire ; 2012. 33 p. Disponible à partir de l'URL : <http://www.invs.sante.fr>
- Delaviere M., Guégan J-F., 2008. Les effets qualitatifs du changement climatique sur la santé en France. Rapport de groupe interministériel, 42p.
- Direction Générale de la Santé (DGS), INSTRUCTION N° DGS/R1/2015/125 du 16 avril 2015 mettant à jour le guide relatif aux modalités de mise en œuvre du plan anti-dissémination du chikungunya et de la dengue en métropole. Rapport du Ministère des affaires sociales, de la santé et des droits des femmes.
- Direction Générale de la Santé (DGS), INSTRUCTION N° DGS/VSS1/2019/258 du 12 décembre 2019 relative à la prévention des arboviroses. Rapport du Ministère des affaires sociales, de la santé et des droits des femmes.
- Ducharne, A., Habets, F., Déqué, M., Evaux L, Hachour A, Lepaillier A, Lepelletier T, Martin E, Oudin L, Pagé C., Ribstein P., Sauquet E., Thiéry D., Terray L., Viennot P., Boé J., Bourqui M., Crespi O., Gascoin S., Rieu J.. Impact du changement climatique sur les Ressources en eau et les Extrêmes Hydrologiques dans les bassins de la Seine et la Somme. Rapport final du projet REXHySS, 2009.
- Ebi KL, Mills D. Winter mortality in a warming climate: a reassessment. *Wiley Interdiscipl Rev Clim Change* 2013 ; 4 : 203-12. doi: 10.1002/wcc.211
- Fontana, M., & Wüthrich, B. (2019, August). Pollution atmosphérique, climat et allergies. In *Forum Médical Suisse* (Vol. 19, No. 3536, pp. 580-583). EMH Media.
- Fortems-Cheiney, A., G. Foret, G. Siour, R. Vautard, S. Szopa, G. Dufour, A. Colette, G. Lacressonniere, and M. Beekmann : A 3°C global warming annihilates the benefit of European emission reductions on air quality, article en préparation pour *Nature Climate Change*, 2016.
- Fortems-Cheiney A., Foret G., Siour G., Vautard R., Szopa S., Dufour G., Colette A., Lacressonniere G., and Beekmann M. : A 3°C global RCP8.5 emission trajectory cancels benefits of European emission reductions on air quality, *Nature Communications*, June 2017.
- Gasparrini A, Guo Y, Hashizume M, Lavigne E, Zanobetti A, Schwartz J, et al. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *Lancet*. 2015;386(9991):369-75.
- Gasparrini, A., Guo, Y., Sera, F., Vicedo-Cabrera, A. M., Huber, V., Tong, S., ... & Ortega, N. V. (2017). Projections of temperature-related excess mortality under climate change scenarios. *The Lancet Planetary Health*, 1(9), e360-e367.
- Gasparrini A. Comment mieux appréhender les impacts sanitaires du changement climatique : l'intérêt des collaborations multicentriques internationales. *Bull Epidémiol Hebd.* 2018; (16-17):340-4. http://invs.santepubliquefrance.fr/beh/2018/16-17/2018_16-17_4.html

- Gerardi DA, Kellerman RA. Climate change and respiratory health. *J Occup Environ Med* 2014 ; 56 (Suppl 10) : S49-54. doi:10.1097/JOM.0000000000000292 GIEC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2013. Changements climatiques 2013. Les éléments scientifiques. Résumé à l'intention des décideurs. 34 p.
- GIEC Working Group II Report, chapter 11 « Human Health : Impacts, Adaptation, and Co-Benefits. ». 2014. <https://ipcc-wg2.gov/AR5/report>
- GIEC, 2014: Changements climatiques 2014: Incidences, adaptation et vulnérabilité Résumés, foire aux questions et encarts thématiques. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Publié sous la direction de Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White].
- Goldmann E, Galea S. Mental health consequences of disasters. *Annu Rev Public Health* 2014 ; 35 : 169-83. doi: 10.1146/annurev-publhealth-032013-182435
- Goldstein V. Epidémiologie vectorielle de la borréliose de Lyme en France [Thèse de doctorat]. Université de Strasbourg; 2017. 216 p.
- Guenther, R., et J. Balbus (2014). Primary protection : enhancing health care resilience for a changing climate, US Department of Health and Human Services, « A best practices document under the HHS sustainable and climate resilient health care facilities initiative », 86 p.
- Hajat S, Kosatky T. Heat-related mortality: A review and exploration of heterogeneity. *J Epidemiol Community Health*. 2010;64(9):753-60.
- Hales S., Kovats S., Lloyd S., Campbell-Lendrum D., eds. Quantitative risk assessment of the effects of climate change on selected causes of death, 2030s and 2050s. Geneva : WHO, 2014.
- Hames DV, S. Climate change risk assessment for the health sector. London, United Kingeom: 2012.
- INVS, 2003. Impact sanitaire de la vague de chaleur en France survenue en août 2003 Website : http://www.invs.sante.fr/publications/2003/chaleur_aout_2003/index.html INVS, juin 2015. Atelier scientifique climat et santé.
- INVS, Vagues de chaleur de l'été 2003 : relations entre températures, pollution atmosphériques et mortalité dans neufs villes françaises. Rapport d'études. 2004, 44p. INVS, novembre 2015. Changement climatique et santé : nouveaux défis pour l'épidémiologie et la santé publique.
- Jaenson, TGT, Jaenson, DGE, Eisen, L, et al. (2012). Changes in the geographical distribution and abundance of the tick *Ixodes ricinus* during the past 30 years in Sweden. *Parasit Vectors* 5: 8.
- Kazmierczak L., Laignel B., Charrier F., 2019. La ressource en eau et le risque inondation dans la Métropole rouennaise : constat et analyse prospective dans un contexte de changement climatique. Rapport du GIEC local pour la Métropole Rouen Normandie, 24 p.
- Kazmierczak L., Aubert M., Charrier F., et al. (2020). Les forêts de la Métropole Rouen Normandie face au changement climatique. Rapport du GIEC local pour la Métropole Rouen Normandie, 40 p.
- Klopfenstein, T., Jaulhac, B., Blanchon, T., Hansmann, Y. & Chirouze, C. (2019). Épidémiologie de la borréliose de Lyme en France : entre incertitudes et certitudes. *Santé Publique*, s1(HS), 51-63. doi:10.3917/spub.190.0051.
- Laaidi K, Ung A, Pascal M, Beaudeau P. Vulnérabilité à la chaleur : actualisation des connaissances sur les facteurs de risque. *Bull Epidemiol Hebd* 2015 ; 5 : 76-82. http://www.invs.sante.fr/beh/2015/5/2015_5_1.html
- Laignel B., 2012. Enregistrement et effets du climat sur les stocks d'eau de l'échelle globale à régional (bassin de la Seine). *Bulletin des Sciences Géographiques*, Alger, 27, 2-22.
- Laignel B., Nouaceur Z., 2018. Évolution du climat à l'échelle de la Métropole Rouen Normandie. Rapport du GIEC local pour la Métropole Rouen Normandie, 24 p.
- Liu, C., Z. Yavar et Q. Sun (2015). « Cardiovascular response to thermoregulatory challenges », *American Journal of Physiology – Heart and Circulatory Physiology*, vol. 309, n° 11, p. H1793-H1812.
- Lohr IB. Epidemiology and cost of hospital care for Lyme borreliosis in Germany: Lessons from a health care utilization database analysis. *Ticks and Tick-borne Diseases*. 2015;6(1):56-62. doi: 10.1016/j.ttbdis.2014.09.004.
- Medina-Ramon M, Schwartz J. Temperature, temperature extremes, and mortality: A study of acclimatisation and effect modification in 50 US cities. *Occup Environ Med*. 2007;64(12):827-33.
- Mitchell R, Popham F. Effect of exposure to naturel environment on health inequalities : an observational population study. *Lancet*. 2015.
- Mulder S, et al. High Risk of Tick Bites in Dutch Gardens. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*. 2013;13:12. doi: 10.1089/vbz.2012.1194. OMS (2016). « Qualité de l'air ambiant et santé », Organisation mondiale de la santé, <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/fr/>
- Ostfeld RS, Brunner JL. Climate change and Ixodes tick-borne diseases of humans *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2015. doi: 10.1098/rstb.2014.0051.
- Pascal M, Viso AC, Medina S, Delmas MC, Beaudeau P. How can a climate change perspective be integrated into public health surveillance? *Public Health*. 2012;126(8):660-7.
- Pascal M, Falq G, Wagner V, Chatignoux E, Corso M, Blanchard M, et al. Short-term impacts of particulate matter (PM10, PM10-2.5, PM2.5) on mortality in nine French cities. *AtmosEnvir*. 2014 ;95:175-84.
- Pascal M, Wagner V, Corso M. Impacts de la température sur la mortalité dans dix-huit zones urbaines françaises entre 2000 et 2010. *Saint-Maurice : Santé publique France*, 2017. 61 p. Disponible à partir de l'URL : www.santepubliquefrance.fr
- Pascal M., de Crouy Chanel P., Corso M., Medina S., Wagner V., Gorla S., et al. Impacts de l'exposition chronique aux particules fines sur la mortalité en France continentale et analyse des gains en santé de plusieurs scénarios de réduction de la pollution atmosphérique. *Saint-Maurice : Santé publique France ; 2016*. 158 p. Disponible à partir de l'URL : <http://invs.santepubliquefrance.fr/Dossiers-thematiques/Environnement-et-sante/Air-et-sante/Publications>
- Patz, J. A., H. Frumkin, T. Holloway, D. J. Vimont et A. Haines (2014). « Climate change : challenges and opportunities for global health », *JAMA*, vol. 312, n° 15, p. 1565-1580.

- Paxson C, Fussell E, Rhodes J, Waters M. Five years later: recovery from post traumatic stress and psychological distress among low-income mothers affected by Hurricane Katrina. *Soc Sci Med* 2012 ; 74 : 150-7. doi: 10.1016/j.socscimed. 2011.10.004
- Pierrefixe S., & Guégan J.F. « Changement climatique : menaces sur notre santé », *Science & santé*, no 28, p. 20-35.
- Randolph SE. To what extent has climate change contributed to the recent epidemiology of tick-borne diseases? *Veterinary Parasitology*. 2011;167(2-4):92-4. doi: 10.1016/j.vepar.2009.09.011.
- Rey, G., A. Fouillet, É. Jouglu et D. Hémon (2008). « Vagues de chaleur, fluctuations ordinaires des températures et mortalité en France depuis 1971 », *Population*, vol. 62, n° 3, p. 533-563.
- Rizzoli A, Silaghi C, Obiegala A, Rudolf I, Hubálek Z, Földvári G, et al. Ixodes ricinus and its transmitted pathogens in urban and periurban areas in Europe: New Hazards and Relevance for Public Health. *Front Public Health*. 2014;2:251.
- Roques A., Negeilsen L.M., « Impact du réchauffement global sur les populations d'insectes forestiers », *Rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série n° 3*, « Forêts et milieux naturels face aux changements climatiques », 2007, pp. 40-46
- Roussel, I. (2014). La qualité de l'air et ses enjeux. *Pollution atmosphérique*, n°220, 2268-3798.
- Schäppi, G. F., Taylor, P. E., Staff, I. A., Suphioglu, C., & Knox, R. B. (1997). Source of Bet v 1 loaded inhalable particles from birch revealed. *Sexual Plant Reproduction*, 10(6), 315-323.
- Schäppi, G. F., Taylor, P. E., Staff, I. A., Roland, J. M., & Suphioglu, C. (1999). Immunologic significance of respirable atmospheric starch granules containing major birch allergen Bet v 1. *Allergy*, 54(5), 478-483.
- Semenza JC, Suk JE. Vector-borne diseases and climate change: a European perspective, *FEMS Microbiology Letters*. 2018;365:2. doi: 10.1093/femsle/fnx244.
- Shi L., Kloog I., Zanobetti A., Liu P., Schwartz JD.. Impacts of temperature and its variability on mortality in New England. *Nature Climate Change*. 2015 ;5(11) :988-91.
- Simon, JA, Marrotte, RR, Desrosiers, N, et al. (2014). Climate change and habitat fragmentation drive the occurrence of *Borrelia burgdorferi*, the agent of Lyme disease, at the northeastern limit of its distribution. *Evol Appl* 7: 750 – 64.
- Sheffield, P. E., et P. J. Landrigan (2011). « Global climate change and children's health : threats and strategies for prevention », *Environmental Health Perspectives*, vol. 119, n° 3, p. 291-298.
- Soubeyroux JM, Ouzeau G, Schneider M, Cabanes O, Kounkou-Arnaud R. Les vagues de chaleur en France : analyse de l'été 2015 et évolutions attendues en climat futur. *La Météorologie*. 2016;(94):45-51.
- Staddon PL., Montgomery HE, Depledge MH. Climate warming will not decrease winter mortality. *Nature Climate Change*, 2014 ; 4 : 190-4. Doi: 10.1038/nclimate2121
- Stanek G, Fingerle V, Hunfeld K-P, Jaulhac B, Kaiser R, Krause A, et al. Lyme borreliosis: Clinical case definitions for diagnosis and management in Europe. *Clin Microbiol Infect*. 2011;17:69-79.
- Stollsteiner P., 2012. Changement climatique EXPLORE 2070. BRGM/RP – 61483 – FR – Vol 1.
- Takaro TK, Knowlton K, Balmes JR. Climate change and respiratory health: current evidence and knowledge gaps. *Expert Rev Res Med* 2013 ; 7 : 349-61. doi: 10.1586/17476348.2013.814367
- Tairou, F. O., D. Bélanger et P. Gosselin (2010). Proposition d' indicateurs aux fins de vigie et de surveillance des troubles de la santé liés à la chaleur, Institut national de santé publique du Québec, Québec, Canada, 55 p.
- Thibaudon, M. & Besancenot, J. (2019). Forêts et allergies. *Santé Publique*, s1(HS), 35-42. doi:10.3917/spub.190.0035.
- Tomkins JL, Aungier J, Hazel W, Gilbert L. Towards an evolutionary understanding of questing behaviour in the tick *Ixodes ricinus*. *PLoS One*. 2014;9(10):e110028.
- Vayssier-Taussat M, et al. How a multidisciplinary "One Health" approach can combat the tick-borne pathogen threat in Europe. *Future Microbiology*. 2015;10:809-18. doi: 10.2217/fmb.15.15.
- Xu Z, Sheffield PE, Su H, Wang X, Bi Y, Tong S. The impact of heat waves on children's health: a systematic review. *Int J Biometeorol* 2014 ; 58 : 239-47. doi: 10.1007/s00484-013-0655-x
- Ye, X., R. Wolff, W. Yu, P. Vaneckova, X. Pan et S. Tong (2012). « Ambient Temperature and Morbidity : A Review of Epidemiological Evidence », *Environmental Health Perspectives*, vol. 120, n° 1, p. 19-28.
- Zanobetti A., O'Neill MS., Gronlund CJ., Schwartz JD.. Susceptibility to mortality in weather extremes : effect modification by personal and small-area characteristics. *Epidemiology (Cambridge, Mass)*. 2013 ; 24(6) :809-19.

Annexe

Les indicateurs définis par un groupe d'experts pour suivre et mesurer l'impact du changement climatique sur la santé (Lancet Countdown, 13 novembre 2019)

1. Impacts du changement climatique, expositions, et vulnérabilité
<p>1.1 Santé et chaleur</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vulnérabilité à la chaleur extrême • Santé et exposition à la chaleur • Exposition de la population vulnérable aux vagues de chaleurs • Changement dans la productivité de travail <p>1.2 Santé et événements météorologiques extrêmes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Feux de forêts • Inondation et sécheresse • Létalité des catastrophes en relation avec la météo <p>1.3 Tendances sanitaires mondiales des maladies sensibles au climat</p> <p>1.4 Maladies infectieuses sensibles au climat</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adéquation du climat pour la transmission de maladies infectieuses • Vulnérabilité aux maladies transmises par le moustique <p>1.5 Sécurité alimentaire et sous-nutrition</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sécurité alimentaire terrestre et sous-nutrition • Sécurité alimentaire marine et sous-nutrition
2. Adaptation, prévention et résilience pour la santé
<p>2.1 Planification de l'adaptation et évaluation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Plan national d'adaptation pour la santé • Évaluation à l'échelle nationale des impacts du changement climatique, de la vulnérabilité, et de l'adaptation pour la santé • Évaluation des risques du changement climatique à l'échelle des villes <p>2.2 Les services d'information sur le climat pour le secteur de la santé</p> <p>2.3 Mise en œuvre de l'adaptation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Surveillance, détection, préparation initiale et capacité de réponse aux urgences sanitaires • Air conditionné : bénéfices et préjudices <p>2.4 Dépenses pour l'adaptation et les activités liées à la santé</p>
3. Actions d'atténuation et co-bénéfices sur la santé
<p>3.1 Système énergétique et santé</p> <ul style="list-style-type: none"> • Intensité carbone du système d'énergie • Élimination progressive du charbon • Émission bas-carbone de l'électricité <p>3.2 Accès et utilisation d'énergie propre</p> <p>3.3 Pollution de l'air, énergie et transport</p> <ul style="list-style-type: none"> • Exposition à la pollution de l'air dans les villes • Mortalité prématurée causée par la pollution de l'air ambiante par secteur <p>3.4 Un transport sain et soutenable</p> <p>3.5 Nourriture, agriculture et santé</p> <p>3.6 Atténuation dans le secteur de la santé</p>
4. Économie et finance
<p>4.1 Pertes économiques causées par les événements extrêmes liés au climat</p> <p>4.2 Coûts économiques de la pollution de l'air</p> <p>4.3 Investir dans une économie bas-carbone</p> <ul style="list-style-type: none"> • Investissements dans une nouvelle capacité de charbon • Investissements dans une énergie bas-carbone et l'efficacité énergétique • État de l'emploi des industries faiblement et fortement émettrices de carbone • Fonds désinvesti des combustibles fossiles <p>4.4 Tarification des émissions de gaz à effet de serre provenant des combustibles fossiles</p> <ul style="list-style-type: none"> • Subventions aux énergies fossiles • Couverture et solidité du prix du carbone • Utilisations des revenus du prix du carbone
5. Implication du public et du monde politique
<p>5.1 Couverture médiatique de la santé et du changement climatique</p> <p>5.2 Implication individuelle dans la santé et le changement climatique</p> <p>5.3 Implication de l'Assemblée Générale des Nations Unies dans la santé et le changement climatique</p> <p>5.4 Implication du monde de l'entreprise dans la santé et le changement climatique</p>

En cas d'utilisation de données ou d'éléments de ce rapport, il doit être cité selon la forme suivante :

Ladner J., Legrand C., Kazmierczak L., Charrier F. et al., 2020. Les enjeux de santé publique dans un contexte de changement climatique à l'échelle de la Métropole Rouen Normandie. Rapport du GIEC local pour la Métropole Rouen Normandie, p. 24.

Le GIEC local ne serait en aucune façon responsable des interprétations, productions intellectuelles, et publications diverses résultant des résultats de leurs travaux et pour lesquelles il n'aurait pas donné d'accord préalable.

Le GIEC local est un groupe d'experts créé dans le cadre de la COP21 Rouen Normandie et financé par la Métropole Rouen Normandie. Les experts proviennent des structures suivantes :



CONTACT

Frédéric CHARRIER - Responsable de projet PCAET/Qualité de l'air
frederic.charrier@metropole-rouen-normandie.fr
Tél : 02 32 12 23 57