

Évaluation des risques induits par le changement climatique sur la santé des travailleurs [Rapport d'expertise collective]

Murielle Lafaye, Ariane Adam-Poupart, Karine Chalvet-Monfray, Jean-Claude Cohen, Thierry Gauquelin, Colette Le Bâcle, Fabrice Michiels, Caroline Norrant, Serge Planton, Nicolas Viovy, et al.

► To cite this version:

Murielle Lafaye, Ariane Adam-Poupart, Karine Chalvet-Monfray, Jean-Claude Cohen, Thierry Gauquelin, et al.. Évaluation des risques induits par le changement climatique sur la santé des travailleurs [Rapport d'expertise collective]. [Rapport de recherche] 2013-SA-0216, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES). 2018. hal-01790561

HAL Id: hal-01790561

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01790561>

Submitted on 21 Oct 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

anses

agence nationale de sécurité sanitaire
alimentation, environnement, travail



Connaître, évaluer, protéger

Évaluation des risques induits par le changement climatique sur la santé des travailleurs

Avis de l'Anses
Rapport d'expertise collective

Janvier 2018

Édition scientifique



Évaluation des risques induits par le changement climatique sur la santé des travailleurs

Avis de l'Anses
Rapport d'expertise collective

Janvier 2018

Édition scientifique

Le directeur général

Maisons-Alfort, le 24 janvier 2018

AVIS **de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation,** **de l'environnement et du travail**

**relatif à « l'évaluation des risques induits par le changement climatique
sur la santé des travailleurs »**

L'Anses met en œuvre une expertise scientifique indépendante et pluraliste.

L'Anses contribue principalement à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation et à évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter.

Elle contribue également à assurer d'une part la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux et d'autre part à l'évaluation des propriétés nutritionnelles des aliments.

Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui scientifique technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion du risque (article L.1313-1 du code de la santé publique).

Ses avis sont publiés sur son site internet.

L'Anses a été saisie le 28 octobre 2013, par la Direction générale de la santé (DGS) et la Direction générale du travail (DGT), pour réaliser une expertise sur les impacts potentiels liés au changement climatique sur la santé et la sécurité des travailleurs. Cette saisine s'inscrit dans le cadre du renforcement de la gestion des risques professionnels induits par le changement climatique, action prévue par le 1^{er} Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC) présenté en juillet 2011.

1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE

Les changements climatiques, définis comme une variation de l'état du climat qui persiste pendant de longues périodes de temps¹, font partie du « changement global ». Ce dernier, parfois qualifié de « changement environnemental global », a été défini par le groupe de travail en charge de l'expertise comme l'ensemble des modifications environnementales et sociétales majeures à l'échelle planétaire, produites aussi bien par des activités anthropiques que par des facteurs naturels². Le changement climatique est notamment susceptible d'affecter la santé humaine, avec des effets spécifiques ou aggravés sur la santé de certains professionnels.

La loi de programmation n° 2009-967 du 3 août 2009 relative à la mise en œuvre du « Grenelle de l'environnement » prévoyait la préparation d'un PNACC dans le cadre de l'engagement de l'État

¹ Définition issue du 5^{ème} rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) sur les changements climatiques et leurs évolutions futures, 2013-14.

² Le « changement global » impacte les caractéristiques physico-chimiques et biologiques de divers types de compartiments environnementaux : atmosphère, hydrosphère, cryosphère, biosphère, sols, etc. Il englobe des changements environnementaux perceptibles aussi bien à l'échelle planétaire que locale, comme les changements d'usage des terres (déforestation, reforestation, urbanisation, surexploitation, déprise, introduction d'espèces, etc.) et des milieux aquatiques. Ces changements environnementaux affectent tous les niveaux de la biodiversité (biodiversité des gènes, des espèces, des habitats, des paysages) et tous les compartiments de la biosphère (pédosphère, hydrosphère et atmosphère).

pour l'adaptation du territoire national face au changement climatique³. Suite à une concertation élargie, la France s'est dotée, en 2011, d'un PNACC intersectoriel et interministériel regroupant des recommandations traduites en fiches-action pour une période de 5 ans. La fiche concernant les questions de santé comportait une action relative au développement de la prévention sanitaire prenant en compte les conséquences des événements extrêmes et l'adaptation des systèmes de vigilance et d'alerte. L'action 4, mesure 4.2, visait à renforcer la gestion des risques professionnels induits par le changement climatique.

Dans ce contexte, il a été demandé à l'Anses de mener une expertise scientifique permettant de :

- « dresser, à travers une revue de la littérature, les effets qualitatifs potentiels du changement climatique sur la santé en général ;
- identifier les aléas climatiques exceptionnels ou durables les plus susceptibles d'augmenter en fréquence et / ou en intensité pour étudier leurs effets en priorité, compte tenu notamment des nombreux effets potentiels et des incertitudes liées à la probabilité de leur réalisation ;
- à partir d'un panorama plus spécifique pour la santé et la sécurité des travailleurs, identifier les secteurs d'activité et / ou métiers exposés aux effets considérés ;
- évaluer et qualifier les risques et estimer les impacts potentiels chez les travailleurs exposés ;
- formuler des recommandations pour supprimer, réduire ou prévenir les risques identifiés ;
- et, le cas échéant, formuler des recommandations de recherche. »

Les deux premiers points font ou ont fait l'objet de travaux réalisés par d'autres organismes plus directement impliqués que l'Anses sur ces sujets. L'Agence a donc rapporté et synthétisé les conclusions de ces organismes dans le rapport d'expertise associé à cet avis, afin d'établir le contexte scientifique du changement climatique dans lequel se sont inscrits ses travaux.

Les travaux d'expertise visaient donc initialement, avant d'évaluer les risques, à identifier les activités professionnelles susceptibles d'être impactées par le changement climatique et à les prioriser. Cependant, compte tenu de l'extrême diversité des métiers et des différentes conditions d'expositions qui peuvent être associées à une même activité professionnelle, les objectifs de l'expertise ont été réorientés, en concertation avec les demandeurs, vers l'identification des risques professionnels susceptibles d'être impactés par le changement climatique.

2. ORGANISATION ET MÉTHODOLOGIE DE L'EXPERTISE

Organisation

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (Mai 2003) ».

L'Anses a confié la réalisation de cette expertise au groupe de travail (GT) intitulé « Effets sanitaires induits par le changement climatique sur la santé des travailleurs » placé sous l'égide du comité d'experts spécialisé (CES) « Évaluation des risques liés aux agents physiques, aux nouvelles technologies et aux grands aménagements ». Les travaux d'expertise ont été examinés

³ La Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique exprime le point de vue de l'État sur la manière d'aborder la question de l'adaptation au changement climatique. Cette stratégie a été élaborée dans le cadre d'une large concertation, menée par l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (Onerc), impliquant les différents secteurs d'activités et la société civile sous la responsabilité du délégué interministériel au développement durable. Elle a été validée par le Comité interministériel pour le développement durable réuni le 13 novembre 2006 par le Premier ministre.

par le CES tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques entre le 6 octobre 2014 et le 26 septembre 2017.

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise. Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet de l'Anses (www.anses.fr).

Méthodologie

Dans le cadre d'une démarche d'anticipation prospective, les travaux d'expertise ont porté sur les prochaines décennies jusqu'à l'horizon du milieu du vingt-et-unième siècle, au-delà duquel il semble difficile de prévoir l'évolution des métiers et des risques pour la santé associés. Ainsi, les effets sanitaires étudiés sont ceux liés aux changements climatiques prévisibles à 5 ans et en 2050.

L'exploitation de la littérature scientifique, notamment les travaux du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), a permis d'identifier d'une part les changements climatiques et environnementaux déjà observés, et d'autre part les scénarios d'évolution climatique les plus probables.

L'expertise collective s'est attachée à caractériser les interactions entre le climat, l'environnement et la santé au travail dans l'objectif d'identifier les risques professionnels potentiellement accrus par les changements climatiques.

Les travaux d'expertise et de recherche spécifiques aux liens entre changement climatique et santé des travailleurs sont peu nombreux. On peut toutefois citer les rapports institutionnels publiés par l'IRSST en 2012, l'Onerc et EPE en 2014 et l'ONU en 2016⁴. En conséquence, pour vérifier les projections et hypothèses retenues, le groupe de travail a réalisé une revue bibliographique étendue aux relations entre le changement climatique et la santé humaine.

Dans un premier temps, une analyse des différents référentiels et nomenclatures disponibles⁵ en matière d'organisation de la protection de la santé au travail a permis d'établir des catégories de risques professionnels.

Dans un second temps, afin de relier le changement climatique aux risques professionnels ainsi répertoriés, les connaissances sur les mécanismes d'impact du changement climatique sur la santé ont été rassemblées par le groupe de travail, par une analyse de la littérature scientifique disponible. L'impact du changement climatique sur les risques professionnels a été évalué en s'appuyant sur les connaissances concernant la santé au travail, le changement climatique et les changements environnementaux, ainsi que les mécanismes physiologiques d'adaptation à des conditions climatiques chaudes ou encore ceux liés à une exposition aux rayonnements ultra-violet et aux agents biologiques.

Enfin, des exemples de circonstances d'exposition professionnelle⁶ ont été associés à chaque risque professionnel potentiellement accru par les modifications climatiques.

⁴ Impacts des changements climatiques sur la santé et la sécurité du travail, IRSST, 2012.

Les entreprises et l'adaptation au changement climatique, ONERC, et EPE, 2014.

Climate change and labour: impact of heat in the workplace climate change, workplace environmental conditions, occupational health risks, and productivity – an emerging global challenge to decent work, sustainable development and social equity, Nations-Unies / programme des Nations-Unies pour le développement (UNDP), 2016.

⁵ La liste des éléments analysés est précisée dans le rapport d'expertise au chapitre 2.1.2.

⁶ Situation de travail conduisant à une ou des expositions.

3. ANALYSE ET CONCLUSIONS DU CES

Le CES « Évaluation des risques liés aux agents physiques, aux nouvelles technologies et aux grands aménagements » a adopté les travaux d'expertise collective lors de sa séance du 26 septembre 2017.

Principaux enseignements relatifs aux effets du changement climatique sur les travailleurs

Une certitude : un changement climatique en cours

Le changement climatique est aujourd'hui une réalité qui fait l'objet d'un large consensus dans la communauté scientifique. Du fait de l'inertie de leur réponse à l'augmentation des gaz à effet de serre, le réchauffement climatique et les autres modifications climatiques vont s'accélérer, quel que soit le scénario des émissions futures de ces gaz. Les effets sur l'environnement et les conséquences sur la santé humaine sont déjà perceptibles, notamment du fait de l'augmentation de la fréquence de certains extrêmes de température et de précipitation. Ces modifications climatiques agissent aussi sur d'autres organismes vivants (micro-organismes, végétaux et animaux) qui pourraient à leur tour impacter la santé humaine.

Un manque de données et peu d'études en cours sur le sujet

Les connaissances relatives à la climatologie permettent aujourd'hui de réaliser des projections sur le climat futur avec un niveau de confiance élevé. En revanche, des lacunes dans les connaissances concernant les processus d'impacts du changement climatique sur la santé des travailleurs ont été identifiées. Par exemple, les effets physiologiques directs de la chaleur sont relativement bien documentés, alors que ceux liés aux effets de la chaleur sur la vigilance, ou plus précisément sur les divers processus cognitifs, attentionnels ou motivationnels, le sont moins.

Certains effets indirects impliquent des conséquences en cascade : l'évolution d'un risque est liée à une modification environnementale elle-même conséquence, au moins en partie, du changement climatique. Il en est ainsi de la colonisation de certaines régions par des vecteurs de maladies infectieuses (moustiques du genre *Aedes* vecteurs du chikungunya, de la dengue, tiques *Ixodes ricinus* vecteur de la maladie de Lyme, etc.) suite à l'augmentation des températures. Il peut s'y ajouter de multiples facteurs contextuels complexes, comme la modification de l'utilisation des terres⁷ ou l'évolution des métiers due aux modifications technologiques et sociétales.

Les lacunes dans les connaissances entravent cependant la caractérisation des incertitudes associées à la quantification des effets sanitaires retenus.

Ainsi, ces constats confirment le manque et le besoin de données pour évaluer certaines conséquences des évolutions climatiques et environnementales sur la santé des travailleurs.

Une nécessaire approche par circonstances d'exposition

La saisine de l'Anses proposait d'identifier les secteurs d'activité et/ou métiers exposés aux effets du changement climatique. Cependant, des travailleurs exerçant un même métier peuvent être confrontés à des expositions très différentes. Ainsi, une approche alternative, dite par « circonstances d'exposition », qui permet de regrouper les professionnels en fonction de leurs expositions réelles et non pas en fonction de leur métier a été adoptée pour la réalisation des travaux d'expertise. Cette approche par circonstances d'exposition présente par ailleurs l'avantage de proposer des conclusions pertinentes pour l'ensemble des travailleurs (salariés du monde

⁷ Une modification de l'utilisation des terres peut être la conséquence du changement climatique, de la diminution des ressources en eau ou de modifications des pratiques culturelles.

agricole, commerçants, travailleurs indépendants, professions libérales, fonctionnaires, etc.) quels que soient leurs domaines d'activités.

Des risques professionnels augmentés

L'expertise a été structurée autour des risques professionnels accrus par le changement climatique, dans l'objectif d'identifier des circonstances d'exposition associées.

Si la plupart de ces risques professionnels sont affectés par le réchauffement climatique, certains sont aussi influencés par d'autres facteurs du changement climatique ou environnemental comme les aléas climatiques, les agents biologiques, la qualité de l'air ou celle des eaux.

À chaque risque professionnel considéré ont été associés les indicateurs climatiques impliqués, les mécanismes conduisant aux impacts sanitaires (processus), les facteurs aggravant le risque et les circonstances d'expositions professionnelles correspondantes. Considérant l'impossibilité de parvenir à une identification exhaustive de l'ensemble des circonstances d'exposition, particulièrement pour les circonstances aggravantes, des exemples ont été sélectionnés pour chaque risque étudié. Le tableau proposé en annexe permet de visualiser, pour chaque risque professionnel étudié, les évolutions des paramètres climatiques et environnementaux impactant le risque, les processus d'impact sanitaire associés et des exemples de circonstances d'exposition.

L'expertise a permis de mettre en exergue trois principales modifications climatiques et environnementales à l'origine des augmentations de risques professionnels identifiés :

- la hausse des températures ;
- l'évolution de l'environnement biologique et chimique ;
- la modification de la fréquence et de l'intensité de certains aléas climatiques.

Le réchauffement climatique projeté devrait être plus important en été qu'en hiver et un peu plus marqué dans le sud-est de la France métropolitaine. Les vagues de chaleur estivales deviendront à la fois plus fréquentes, plus longues et plus intenses, à l'inverse des vagues de froid. L'augmentation des extrêmes chauds sera à l'origine de perturbations physiologiques directes, particulièrement en période d'acclimatation, qui vont accentuer différents risques professionnels. Cette contrainte thermique peut aussi provoquer des troubles neuropsychologiques qualifiés de « baisse de la vigilance » chez les travailleurs, pouvant entraîner une augmentation de la fréquence de plusieurs types d'accidents professionnels. Enfin, l'augmentation de la température pourra aussi contribuer à l'exacerbation des risques psychosociaux.

Des changements environnementaux induits par le changement climatique tels que la modification des écosystèmes, de leurs fonctionnements ainsi que des populations d'organismes qui les constituent pourront contribuer à la modification des risques biologiques professionnels (immuno-allergiques, infectieux, toxiques ou toxiques). Par ailleurs, plusieurs hypothèses concourent à envisager une augmentation globale de l'exposition au risque chimique, cependant difficilement quantifiable.

Certains aléas climatiques, dont la fréquence ou l'intensité devraient augmenter avec le changement climatique (inondation, submersion, augmentation de la quantité de pluie, phases de sécheresse estivale, feux de forêt), pourront être à l'origine d'une augmentation des risques professionnels. Cependant, à l'exemple de ce qui a été observé au cours des dernières décennies, la prévision des épisodes de tempêtes ne montre pas de tendance notable à l'horizon 2050, qu'il s'agisse de leur fréquence ou de leur intensité. Pour compléter ce panorama des manifestations du changement climatique sur les événements météorologiques et climatiques extrêmes, il convient aussi d'évoquer le cas de phénomènes météorologiques peu étendus, non nécessairement extrêmes, mais potentiellement dangereux comme les orages, associés à de la grêle et à la foudre, ou encore les mini-tornades. En l'état actuel des connaissances, les

projections climatiques restent à une échelle trop grossière pour pouvoir considérer ce type de phénomène et aucune conclusion ne peut donc être tirée en ce qui les concerne.

Concernant la question du risque lié au rayonnement ultraviolet, l'analyse de la littérature ne met pas en évidence une tendance claire à la hausse du nombre de journées de plein soleil, ni actuellement, ni à l'horizon 2050. Cependant, une augmentation du risque lié à cette exposition ne peut être écartée, du fait par exemple de changements de pratiques d'activités (sports, loisirs, etc.) ou de modification du comportement vestimentaire en lien avec le changement climatique (hausse des températures,...).

De manière générale, en ce qui concerne les conséquences du changement climatique sur la santé des travailleurs, les conclusions de cette expertise rejoignent celles des auteurs des rapports et publications identifiés comme pertinents dans le panorama des travaux relatifs aux effets du changement climatique sur la santé humaine réalisé au cours de l'expertise. Le constat que le changement climatique entraîne une augmentation des risques professionnels connus, autant en matière de prévalence, de distribution que de gravité, semble faire consensus.

Propositions et recommandations du CES

Mettre en place :

- un observatoire des effets du changement climatique sur la santé des travailleurs (épidémiologie en santé au travail et bioclimatologie) :

pour cela, il est nécessaire que, lors de la survenue d'un accident du travail, les données météorologiques soient renseignées, en complément du lieu, de l'heure et des circonstances de survenue de cet accident. En ce qui concerne les maladies professionnelles, une première étape concrète serait l'identification des données pertinentes à partir des systèmes existants (par exemple RNV3P, Carsat, Comité régional de reconnaissance des maladies professionnelles (CRRMP), etc.). Une deuxième étape, à l'issue du recensement des jeux de données existants dans les différents organismes, consisterait à mener des rétro-analyses sur des cas passés afin de favoriser les travaux multidisciplinaires, de créer des liens inter-organismes et de valider une méthodologie de travail ;

- un programme de recherche :

il devrait être élaboré en concertation avec notamment la Cnamts, la MSA, l'INRS, l'Anact, l'ANR, l'Ineris, Météo France (CNRM) et l'Anses, et en cohérence avec les travaux sur les scénarios du climat futur en France et leurs conséquences environnementales. Ce programme devrait s'intéresser aux mécanismes des effets sanitaires d'une part, ainsi qu'aux scénarios d'évolution des risques dans le domaine de la santé au travail liés au changement climatique et les niveaux d'incertitude associés d'autre part. Ce programme de recherche pourrait intégrer des modes de recherche tels que la « recherche-action »⁸.

Les données issues de l'observatoire et du programme de recherche constitueraient un élément majeur pour les futurs travaux scientifiques sur les impacts du changement climatique sur la santé des travailleurs, en particulier pour réaliser des évaluations quantitatives des risques.

Sensibiliser et informer pour mieux prendre en compte les effets du changement climatique

Il apparaît cependant important, sans attendre la mise en place de ces deux recommandations, de renforcer l'information et la sensibilisation des professionnels aux impacts du changement climatique et à leurs conséquences potentielles sur la santé des travailleurs. Mieux informés, ils

⁸ Mode de recherche qui permet de tester des actions pilotes de gestion, par des investigations de leurs résultats avec l'appui de protocoles et d'équipes de recherche.

pourront adhérer aux évolutions de recueil d'informations qui leur seront demandées, notamment intégrer à toute évaluation et gestion des risques professionnels des critères d'exposition à des paramètres climatiques et environnementaux.

Intégrer, sans attendre, le changement climatique dans la prévention des risques liés à la chaleur

Par ailleurs, les effets majorants de la chaleur sur les risques professionnels, probablement accentués par le réchauffement climatique, apparaissent déjà comme avérés. Ainsi, le développement d'une culture de la prévention face aux ambiances climatiques chaudes semble aujourd'hui nécessaire pour l'ensemble des activités professionnelles. Ces mesures préventives devront concerner autant les aspects techniques et organisationnels que comportementaux, et faire l'objet d'une sensibilisation dès la formation initiale.

Des solutions novatrices doivent faire l'objet d'études et de mises au point dès maintenant afin de préserver la santé des travailleurs.

4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE

L'Anses endosse l'ensemble des conclusions et recommandations de son comité d'experts spécialisés « Agents physiques, nouvelles technologies et grands aménagements » rappelées au paragraphe 3 du présent avis.

Le changement climatique est une réalité qui fait l'objet d'un large consensus dans la communauté scientifique. En raison de l'inertie du système climatique, les modifications du climat liées aux activités anthropiques vont se poursuivre de nombreuses années, quelles que soient les mesures qui pourraient être prises aujourd'hui. La lutte contre le changement climatique, qui s'inscrit dans un changement environnemental plus global, est donc essentielle afin d'en limiter l'ampleur.

Les relations entre le changement climatique et la santé sont étudiées depuis plusieurs années. Dans un rapport publié en 2016⁹, l'OMS énonce par exemple que les effets sur la santé du changement climatique peuvent déjà être estimés en nombre de décès et années de vie perdues, et concernent toutes les catégories de la population. L'OMS recommande ainsi « de s'attaquer d'urgence aux impacts directs et indirects des risques émergents, tels que le changement climatique et la modification des écosystèmes, car ils représentent les défis les plus importants auxquels les populations vont devoir faire face dans les années à venir ».

Les connaissances relatives à la climatologie permettent aujourd'hui de réaliser des projections sur le climat futur avec un niveau de confiance élevé. Les mécanismes par lesquels les modifications climatiques affectent et pourront affecter la santé humaine, qu'il s'agisse de la population générale ou des travailleurs, sont cependant pour certains encore peu étudiés. Par ailleurs, la caractérisation des effets spécifiques du changement climatique sur la santé, qui s'inscrit dans un ensemble de modifications environnementales plus large, est source de complexité et d'incertitudes.

L'expertise met en évidence le fait que, à l'exception des risques liés au bruit et aux rayonnements artificiels, tous les risques professionnels sont et seront affectés par le changement climatique et les modifications environnementales.

Trois principales modifications climatiques et environnementales sont à l'origine des augmentations de risques professionnels identifiés :

- la hausse des températures ;
- l'évolution de l'environnement biologique et chimique ;
- la modification de la fréquence et de l'intensité de certains aléas climatiques.

⁹ *Preventing disease through healthy environments - A global assessment of the burden of disease from environmental risks* - A Prüss-Ustün, J Wolf, C Corvalán, R Bos and M Neira, OMS, 2016.

L'augmentation de la température a un impact direct sur les risques professionnels, mais aussi indirect, comme par exemple les risques accidentels liés à une altération de la vigilance, les risques liés à l'inhalation de substances chimiques ou encore les risques liés aux agents biologiques (maladies infectieuses, pollens, etc.).

Par ailleurs, l'augmentation des risques professionnels peut être liée, directement ou indirectement, à d'autres effets du changement climatique, comme par exemple les risques accidentels et psychosociaux liés à la modification de la fréquence et de l'intensité de certains aléas climatiques ou encore les risques liés à l'évolution de l'environnement biologique et chimique¹⁰ (maladies infectieuses, pollens, etc.).

L'Anses recommande de renforcer sans délai la mobilisation du monde du travail afin de promouvoir la sensibilisation aux effets du changement climatique sur la santé, par le biais de l'information (documentations spécifiques) et de la formation.

L'Agence recommande plus particulièrement d'inciter l'ensemble des acteurs de la santé au travail à intégrer, dès à présent, les impacts du changement climatique déjà perceptibles ou qui peuvent être anticipés dans leurs travaux d'évaluation des risques (recensement des personnes potentiellement impactées, évaluation spécifique de chaque poste de travail et des expositions réelles en fonction de la zone géographique concernée, etc.).

Faisant le constat que des démarches de prévention de ces risques sont déjà mises en place par certains organismes professionnels, l'Anses recommande d'intégrer les effets du changement climatique sur la santé dans les démarches de prévention des risques (par exemple par l'adaptation des environnements et de l'organisation de travail), par le biais d'outils méthodologiques dédiés qui devront être développés.

L'Anses recommande également, en cohérence avec les orientations des travaux de préparation du prochain plan national d'adaptation au changement climatique¹¹, et afin de faire progresser les connaissances, d'identifier des indicateurs pertinents liés à l'impact du changement climatique sur la santé, permettant de suivre et surveiller les effets du changement climatique sur les risques professionnels. Cette surveillance devrait inclure le regroupement et la conservation des données, la documentation des situations d'exposition professionnelle et des retours de « terrain » sur les événements climatiques et leurs conséquences pour la santé des travailleurs.

Enfin, en matière de recherche, l'Anses recommande, dans un contexte d'évolution des métiers, de renforcer l'étude des liens entre les paramètres climatiques et environnementaux et leurs effets sur la santé, (en prenant en compte leurs évolutions et leurs interactions mutuelles), afin d'anticiper l'évolution des risques professionnels.

Par ailleurs, il convient de poursuivre les efforts visant à renseigner les évolutions des indices climatiques, environnementaux et bioclimatiques, et à anticiper les événements extrêmes.

Au-delà, l'Agence souligne la nécessité d'intégrer de manière systématique, à l'avenir, la question du changement climatique et de ses impacts dans les travaux d'évaluation des risques sanitaires, aussi bien pour les travailleurs que pour la population générale.

¹⁰ Les changements environnementaux induits par le changement climatique tels que la modification des écosystèmes, de leurs fonctionnements ainsi que des populations d'organismes qui les constituent pourront contribuer à la modification des risques biologiques professionnels (immuno-allergiques, infectieux, toxiques ou toxiques). Par ailleurs, plusieurs hypothèses concourent à envisager une augmentation globale de l'exposition au risque chimique, difficilement quantifiable.

¹¹ En particulier issues des groupes de travail chargés des composantes « Filières économiques », en matière de « prospective socio-économique et sensibilisation des filières », et « Prévention et résilience ». (Groupes de travail de la concertation pour un nouveau Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC), réunis entre fin juin et fin mai 2016).

L'Anses observe enfin que dans le baromètre 2017 de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur la perception des risques et de la sécurité, 42 % des personnes interrogées en 2016 mentionnent le réchauffement climatique comme le problème d'environnement le plus préoccupant. En revanche, une personne sur huit cite les bouleversements climatiques comme le problème le plus préoccupant dans la société actuelle. L'Anses encourage donc vivement la poursuite des actions visant à informer et à renforcer la sensibilisation sur le changement climatique, en particulier par l'éducation et la formation.

Dr Roger Genet

MOTS-CLÉS

Effet sanitaire, santé travail, exposition professionnelle, risque professionnel, changement global, climat, changement climatique, réchauffement climatique, changement environnementaux, outil de priorisation.

Health effects, occupational health, occupational risk, global change, climate, climate change, global warming, environmental change, prioritization tool.

ANNEXE : SYNTHÈSE DES RISQUES PROFESSIONNELS SUSCEPTIBLES D'AUGMENTER EN FONCTION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET DE CIRCONSTANCES D'EXPOSITION

(L'entrée de lecture du tableau se fait par la colonne centrale)



Type de risques professionnels concernés				
Variables et indices modifiés par le changement climatique	Processus / mécanismes de l'impact sanitaire		Circonstances d'exposition nécessaires	Exemples de circonstances d'exposition secondaires, aggravantes, dont celles pouvant être limitées par des mesures de prévention dans l'entreprise
Variables et indices liés à la chaleur et ses effets sur les humains : ↑ fréquence, durée, intensité des vagues de chaleur ; ↑ températures extrêmes chaudes ; ↑ températures nocturnes élevées.	Conjonction d'une activité physique augmentant la production de chaleur corporelle et de conditions de travail empêchant l'évacuation de cette chaleur, pouvant provoquer : - crampes et malaises ; - déshydratation ; - coup de chaleur ; - mort. A ce mécanisme d'impact sanitaire s'ajoutent tous les paramètres susceptibles d'interférer avec la régulation thermique corporelle. Effets neuropsychologiques, via une baisse de vigilance.	Risques liés au travail en ambiances thermiques chaudes	Travail en ambiance thermique chaude	<i>Humidité de l'air élevée, faibles mouvements d'air</i> <i>Sources artificielles de chaleur</i> <i>Port de tenues de travail limitant les échanges thermiques</i> <i>Manque de boisson hydratante</i> <i>Efforts physiques intenses</i> Travailleurs résidant dans des ilots de chaleur urbains nocturnes / zones particulières
	Comme toute altération des conditions de travail, l'inconfort thermique est susceptible de créer ou d'aggraver une situation de tension : - avec l'encadrement ; - entre collègues ; - avec le public. Le déficit de récupération lié aux températures nocturnes élevées peut altérer la tolérance et l'adaptabilité des travailleurs. Les conséquences des variations climatiques sur l'organisation du travail (modification des horaires de travail par exemple) peuvent entraîner une insatisfaction professionnelle.	Risques liés à la charge physique de travail	Travail imposant des efforts physiques intenses, prolongés et/ou répétés, ou des postures inconfortables / contraignantes.	
		Risques psychosociaux	Tous milieux professionnels	<i>Facteurs de risques psychosociaux préexistants</i> Travailleurs résidant dans des ilots de chaleur urbains nocturnes / zones particulières <i>Interférences entre horaires de travail et vie privée</i>

Type de risques professionnels concernés				
Variables et indices modifiés par le changement climatique	Processus / mécanismes de l'impact sanitaire		Circonstances d'exposition nécessaires	Exemples de circonstances d'exposition secondaires, aggravantes, dont celles pouvant être limitées par des mesures de prévention dans l'entreprise
Variables et indices liés à la chaleur et ses effets sur les humains : ↑ fréquence, durée, intensité des vagues de chaleur ; ↑ températures extrêmes chaudes ; ↑ températures nocturnes élevées.	Augmentation des risques d'accident par effets neuropsychologiques, entraînant une altération de la vigilance. Effets physiologiques (ex : crampes et malaises). Répercussions attendues surtout pendant la phase d'acclimatement.	Risques de trébuchements, heurts ou autres perturbations du mouvement	Tous milieux professionnels	Travailleurs résidant dans des ilots de chaleur urbains nocturnes / zones particulières (sommeil de moins bonne qualité et absence de récupération nocturne) <i>Organisation du travail inadaptée à une évolution climatique (horaires de travail, tenues vestimentaires professionnelles, etc.)</i> Précipitations intense, éventuellement majorées par des aléas de type vent fort, ouragan ou tempête
		Risques liés aux chutes de hauteur	Travail en hauteur en extérieur et intérieur	
		Risques liés aux effondrements et aux chutes d'objet	Tout métier avec rangement / stockage en hauteur	
		Risques liés à la manutention mécanique		
		Risques routiers en mission	Travailleurs se déplaçant en véhicule	
		Risques liés aux circulations internes de véhicules	Tout travailleur si des véhicules se déplacent dans l'entreprise, en intérieur ou extérieur.	
		Accidents avec un produit chimique	Tout travail en présence de produits chimiques	
		Équipements de travail	Travail mettant en jeu l'action mécanique d'éléments de machines, d'outils, de pièces, de projection de matériaux	
		Risques liés à l'électricité	Tout type d'activité en présence d'électricité est concerné	

Type de risques professionnels concernés				
Variables et indices modifiés par le changement climatique	Processus / mécanismes de l'impact sanitaire		Circonstances d'exposition nécessaires	Exemples de circonstances d'exposition secondaires, aggravantes, dont celles pouvant être limitées par des mesures de prévention dans l'entreprise
Variables et indices liés à la chaleur et ses effets sur les produits chimiques : ↑ fréquence, durée, intensité des vagues de chaleur ; ↑ températures extrêmes chaudes ; ↑ phases de sécheresse estivale (région méditerranéenne) ; ↑ indice forêt météo.	Hausse des températures accentuant les phénomènes d'évaporation des substances chimiques volatiles : - Augmentation de pression dans des récipients fermés : risque d'éclatement - Risque d'atteinte de la limite inférieure d'explosivité et d'inflammabilité : risque d'explosion - Augmentation du risque d'inhalation par les salariés exposés	Risque d'incendie, explosion	Travail avec produits contenant des substances inflammables et/ou explosives.	<i>Exposition directe de la substance au rayonnement solaire</i> <i>Travail en milieu clos voire confiné</i>
		Risques liés aux substances chimiques et aux particules	Travail avec produits contenant des substances volatiles,	<i>Exposition directe de la substance au rayonnement solaire</i> <i>Travail en milieu clos voire confiné</i> <i>Travail physique induisant une hausse de la ventilation pulmonaire</i>
Index UV : pas de tendance actuellement et tendance à la baisse à l'horizon 2050 ; Pas de tendance connue sur le nombre de journées de plein soleil.	Exposition potentiellement accrue aux UV, au printemps et en été, ou en montagne, en raison des comportements d'adaptation aux températures plus douces.	Risques liés aux rayonnements UV	Activités pour lesquelles les travailleurs sont exposés au soleil	<i>Ambiance thermique de travail chaude.</i> <i>Port de tenues vestimentaires inadaptées vis-à-vis de la protection des UV</i> <i>Exposition à des produits photo sensibilisants au travail ou au soleil.</i>

Type de risques professionnels concernés				
Variables et indices modifiés par le changement climatique	Processus / mécanismes de l'impact sanitaire		Circonstances d'exposition nécessaires	Exemples de circonstances d'exposition secondaires, aggravantes, dont celles pouvant être limitées par des mesures de prévention dans l'entreprise
Variables et indices traduisant un changement climatique moyen favorable au développement des risques biologiques : ↑ température moyenne ; ↓ vagues de froid ; Allongement de la fenêtre d'exposition aux pollens, augmentation de leur production et modification de leurs zones de répartition.	↑ ou ↓ selon l'agent pathogène considéré ; ↑ des zones de répartition de certains vecteurs déjà présents et installation de nouveaux vecteurs : émergence ou réémergence ; Modification des risques actuels de zoonoses : migrations hivernales, ↑ des surfaces forestières et ↑ du gros gibier, abandon de NACs, ... ; Modification du risque suite à l'arrivée de migrants climatiques : tuberculose, choléra et parasitoses.	Risques liés aux agents biologiques Risques infectieux à transmission respiratoire, digestive ou cutanée	Exemples : Travail en contact avec des personnes et des animaux vivants ou morts ; Travail en laboratoire sur des microorganismes ou sur des produits ; Travail en milieu naturel et/ou métiers de l'environnement tels qu'agriculteurs ; Collecte et traitement des déchets et des eaux usées.	Déplacement de population. Introduction de nouvelles plantes, animaux et vecteurs. Les aléas climatiques (tempêtes, inondations, submersion, etc.) pourraient entraîner la diffusion de certains pathogènes hors des zones habituellement reconnues comme contaminées. <i>Travail physique soutenu augmentant l'inhalation des particules (toxiques ou allergisantes).</i>
	La migration de certains végétaux et l'introduction de nouvelles plantes pourraient provoquer des changements de production d'allergènes et des conséquences sanitaires qu'elles provoquent.	Risques liés aux agents biologiques Risques immunoallergiques et toxiques	Exemples : Travail en milieu naturel et/ou métiers de l'environnement ; Récolte, stockage, transport et transformation de céréales contaminées ; Récolte, stockage, transport et transformation des fibres végétales ; Travail en meunerie et boulangerie ; Travail en animalerie et laboratoires utilisant des animaux ; Travail dans le traitement et l'élimination des déchets.	Sécheresse agricole facilitant la dispersion des contaminants (poussières,...) ; Limitation de la production de pollens et, en période de récolte, ↓ le risque de rentrer des matières humides et de développement ultérieur de moisissures, donc d'exposition à un risque immunoallergique ou toxique lors des manipulations.
	Le risque, lié à la production d'endotoxines, pourrait être modifié (par des circonstances climatiques plus ou moins favorables à la sécrétion de ces toxines), même si les connaissances actuelles ne permettent pas de faire des projections sur ces modifications.	Risques toxiques (ou toxiques)		

Type de risques professionnels concernés				
Variables et indices modifiés par le changement climatique	Processus / mécanismes de l'impact sanitaire	Type de risques professionnels concernés	Circonstances d'exposition nécessaires	Exemples de circonstances d'exposition secondaires, aggravantes, dont celles pouvant être limitées par des mesures de prévention dans l'entreprise
Variables et indices caractérisant les aléas climatiques : Tendance générale à l'augmentation de la quantité de pluie tombant au cours des épisodes les plus extrêmes, même si les évolutions attendues sont très variables géographiquement ; Pas de tendance notable sur l'évolution du risque de vent ; ↑ du risque de submersion : des épisodes de précipitations intenses pourraient conduire à des débordements des cours d'eau ; ↑ des sécheresses agricoles ; ↑ de l'indice forêt météo et augmentation du risque incendie.	Risques d'interruption de la production, perte des outils de production, dévastation de l'entreprise ↑ chômage : perte d'emploi pour les travailleurs et souffrance morale avec répercussions sur l'état de santé général. Répétition dans le temps des épisodes et fatigue/épuiement physique et psychique pour tous ces personnels, avec une augmentation des risques accidentels. Répétition des épisodes d'aléas climatique, provoquant des fatigues, voire des épuisements physiques et psychiques des équipes de secours ou des équipes de remise en état, avec une augmentation des risques accidentels.	Risques liés aux aléas climatiques associés au changement climatique	Exemples : Activités de secours à la personne (professionnels, secouristes bénévoles, équipiers d'intervention internes en entreprise, etc.) ; Professionnels de la remise en état des réseaux (énergie, eau, surfaces routières etc.) ; Personnels des services incendie professionnels ou bénévoles ; Personnels des entreprises installées près d'une zone sensible au risque incendie.	<i>Urbanisation en zone inondable y compris le littoral, imperméabilisation des sols ;</i> Augmentation des surfaces forestières et celle de l'interfaces habitat-forêt peuvent rendre le contrôle de feu plus difficile ; <i>Aménagements « paysagers » des zones artisanales ou autour des entreprises ;</i> « Méditerranéisation » de la végétation près des entreprises (plus inflammable) ; <i>Dépérissement de la végétation (biomasse facilement inflammable) pouvant faciliter un départ de feu ou son extension rapide ;</i> Augmentation de l'inaccessibilité de certaines zones forestières rendant plus difficile le contrôle d'un départ de feu.

Effets sanitaires induits par le changement climatique sur la santé des travailleurs

Saisine n° « 2013-SA-0216 »

RAPPORT d'expertise collective

**Comité d'experts spécialisé : « Agents physiques, nouvelles technologies et
grands aménagements »**

**Groupe de travail « Effets sanitaires induits par le changement climatique sur
la santé des travailleurs »**

Septembre 2017

Mots clés

Effet sanitaire, santé travail, exposition professionnelle, risque professionnel, changement global, climat, changement climatique, réchauffement climatique, changement environnementaux, outil de priorisation.

Health effects, occupational health, occupational risk, global change, climate, climate change, global warming, environmental change, prioritization tool.

Présentation des intervenants

Préambule : les experts externes, membres de comités d'experts spécialisés, de groupes de travail ou désignés rapporteurs sont tous nommés à titre personnel, *intuitu personae*, et ne représentent pas leur organisme d'appartenance.

GROUPE DE TRAVAIL

Présidente

Murielle LAFAYE - Centre national d'études spatiales (CNES).

Membres

Ariane ADAM-POUPART - conseillère scientifique - Institut National de Santé Publique du Québec (INSPQ).

Karine CHALVET-MONFRAY - Vétérinaire épidémiologiste, Directrice adjointe de l'UMR épidémiologie des maladies animales et zoonotiques (INRA-VetAgro Sup).

Jean-Claude COHEN - Ingénieur divisionnaire, prévisionniste, coordinateur « météo et santé », Météo France.

Thierry GAUQUELIN - Professeur des Universités, Aix Marseille Université / Institut méditerranéen de biodiversité et d'écologie marine et continentale (IMBE).

Colette LE BÂCLE - Médecin du travail à la retraite, ex. Conseillère médicale en santé au travail à l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS).

Fabrice MICHIELS - médecin du travail, toxicologue, association interentreprises pour la santé au travail en Corrèze (AIST19).

Caroline NORRANT - Maître de Conférences à l'Université Lille 1, Géographe climatologue.

Serge PLANTON - Ingénieur-chercheur à Météo France, ancien responsable du groupe de recherche climatique.

Nicolas VIOVY - Ingénieur-chercheur, expert sénior, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA).

COMITÉ D'EXPERTS SPÉCIALISÉ

Les travaux, objets du présent rapport, ont été suivis et adoptés par les Comités d'experts spécialisés (CES) suivants :

Mandat 2011-2013**Présidente**

Martine HOURS – Médecin épidémiologiste, Directeur de recherche à l'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (Ifsttar).

Membres

Francine BEHAR-COHEN – Ophtalmologiste praticienne, Directeur de recherche à l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm).

Jean-Marc BERTHO – Chercheur / Expert en radiobiologie au laboratoire de radiotoxicologie expérimentale de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN).

Jean-Pierre CÉSARINI – Retraité (Directeur du laboratoire de recherche sur les tumeurs de la peau humaine, fondation A. de Rothschild et Inserm).

Frédéric COUTURIER – Ingénieur, responsable du département « Études » à l'Agence nationale des fréquences (ANFR).

Jean-François DORÉ – Directeur de recherche émérite à l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm).

Pierre DUCIMETIÈRE – Directeur de recherche honoraire à l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm).

Aïcha EL KHATIB – Chargée de mission à l'Assistance publique des hôpitaux de Paris - Hôpital Avicenne.

Nicolas FELTIN – Responsable de mission au Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE).

Emmanuel FLAHAUT – Directeur de recherche au Centre national de la recherche scientifique (CNRS).

Eric GAFFET – Directeur de recherche au Centre national de la recherche scientifique (CNRS).

Murielle LAFAYE – Ingénieur, Coordinatrice applications au Centre national d'études spatiales (CNES).

Philippe LEPOUTRE – Ingénieur acousticien, responsable du pôle technique de l'Autorité de contrôle des nuisances sonores aéroportuaires (Acnusa).

Christophe MARTINSONS – Docteur en physique, chef de pôle au Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB).

Catherine MOUNEYRAC – Directrice de l'Institut de biologie et d'écologie appliquée et professeur en écotoxicologie aquatique à l'Université catholique de l'ouest (UCO).

Alain MUZET – Retraité CNRS, médecin, spécialiste du sommeil et de la vigilance.

Yves SICARD – Maître de conférences à l'Université Josef Fourier, conseiller scientifique au Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA).

Alain SOYEZ – Responsable de laboratoires, ingénieur conseil, Caisse d'assurance retraite et de santé au travail Nord Picardie.

Esko TOPPILA – Professeur, directeur de recherche à l'Institut finlandais de santé au travail.

Catherine YARDIN – Professeur, chef de service, médecin biologiste à l'Hôpital Dupuytren, CHU de Limoges.

Mandat 2014-2017

Présidente

Martine HOURS – Médecin épidémiologiste, Directeur de recherche à l'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (Ifsttar).

Membres

Alexandre BOUNOUH – Chef de Département / Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies renouvelables (CEA).

Brigitte DEBUIRE – Professeur des universités émérite.

Jean-François DORÉ – Directeur de recherche émérite à l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm).

Thierry DOUKI – Chef de laboratoire / ingénieur docteur en chimie, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA).

Pierre DUCIMETIÈRE – Directeur de recherche honoraire à l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm).

Nicolas FELTIN – Responsable de mission au Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE).

Emmanuel FLAHAUT – Directeur de recherche au Centre national de la recherche scientifique (CNRS).

Eric GAFFET – Directeur de recherche au Centre national de la recherche scientifique (CNRS).

Murielle LAFAYE – Ingénieur, coordinatrice applications au Centre national d'études spatiales (Cnes).

Joël LELONG – Directeur adjoint de laboratoire / docteur en physique, Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (Ifsttar).

Christophe MARTINSONS – Docteur en physique, chef de pôle au Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB).

Frédérique MOATI – Maître de conférences en biophysique et médecine nucléaire, Université Paris Sud XI / praticien hospitalier / radiopharmacienne / biologiste, AP-HP Hôpital Bicêtre.

Catherine MOUNEYRAC – Directrice de l'Institut de biologie et d'écologie appliquée et professeur en écotoxicologie aquatique à l'Université catholique de l'ouest (UCO).

Fabien NDAGIJIMANA – Professeur des universités, Université Joseph Fourier, Grenoble.

Alain SOYEZ – Responsable de laboratoires, ingénieur conseil, Caisse d'assurance retraite et de santé au travail Nord Picardie.

Esko TOPPILA – Professeur émérite, directeur de recherche à l'Institut finlandais de santé au travail.

Catherine YARDIN – Professeur, chef de service, médecin biologiste à l'Hôpital Dupuytren, CHU de Limoges.

PARTICIPATION ANSES

Coordination scientifique

Rémi POIRIER – Chef de projets scientifiques – Unité d'évaluation des risques liés aux agents physiques, nouvelles technologies et grands aménagements – Anses.

Contribution scientifique

Anthony CADENE – Chef de projets scientifiques – Unité d'évaluation des risques liés aux agents physiques, nouvelles technologies et grands aménagements – Anses.

Clémence FOURNEAU – Chargée de projets scientifiques – Unité d'évaluation des risques liés à l'air – Anses.

Aurélie NIAUDET – Adjointe au chef de l'unité d'évaluation des risques liés aux agents physiques, nouvelles technologies et grands aménagements – Anses.

Olivier MERCKEL – Chef de l'unité d'évaluation des risques liés aux agents physiques, nouvelles technologies et grands aménagements – Anses.

Secrétariat administratif

Sophia SADDOKI – Assistante de l'unité d'évaluation des risques liés aux agents physiques, nouvelles technologies et grands aménagements – Anses.

SOMMAIRE

Présentation des intervenants.....	3
SOMMAIRE	7
Sigles et abréviations	11
Glossaire.....	14
Liste des tableaux.....	18
Liste des figures	19
1 Contexte, objet et modalités de traitement de la saisine.....	21
1.1 Contexte.....	21
1.2 Objet de la saisine.....	21
1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation	22
1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts	23
2 Éléments de connaissances nécessaires.....	24
2.1 Santé Travail.....	24
2.1.1 Définitions	24
2.1.2 Identifications des principaux risques professionnels.....	25
2.2 Changements climatiques.....	28
2.2.1 Contexte.....	28
2.2.2 Le changement climatique récent.....	28
2.2.2.1 Échelle planétaire.....	28
2.2.2.2 En France.....	31
2.2.3 Scénarios du changement climatique futur.....	33
2.2.3.1 Les futurs possibles.....	33
2.2.3.2 Les changements climatiques futurs en France	35
2.2.4 Effets directs attendus en France des changements climatiques futurs	37
2.3 Changements environnementaux	40
2.3.1 Contexte.....	40
2.3.2 Différents niveaux d'appréhension	40
2.3.2.1 Changements peu liés au changement climatique	41
2.3.2.2 Changements partiellement liés au changement climatique	44
2.3.2.3 Changements directement liés au changement climatique	49
3 Démarche d'identification des relations entre changement climatique et santé des travailleurs.....	59
3.1 Interactions à prendre en compte	59
3.2 Sélection des données « métiers, climat, environnement »	61
3.2.1 Dans le champ de la santé au travail.....	61
3.2.2 Dans le champ de la climatologie et de l'environnement	66
3.2.2.1 Les variables météo-climatiques et environnementales	66
3.2.2.2 Les indices biométéorologiques ou bioclimatiques.....	67
3.2.2.3 Autres indices associés à un risque sanitaire.....	68

3.2.2.4	Liste d'indices à retenir.....	69
3.3	Démarche d'identification des impacts du changement climatique sur les risques professionnels.....	73
4	État de l'art relatif aux effets du changement climatique sur la santé humaine.....	75
4.1	Panorama des travaux de synthèse relatifs aux effets du changement climatique sur la santé humaine	75
4.1.1	Rapports institutionnels.....	75
4.1.1.1	Méthode de recherche bibliographique	75
4.1.1.2	IRSST : impacts des changements climatiques sur la santé et la sécurité des travailleurs (2012)	76
4.1.1.3	ONU : <i>Climate change and labour impacts of heat in the workplace</i> (2016)	80
4.1.1.4.1	<i>Changements climatiques et risques sanitaires en France</i> (2007).....	83
4.1.1.4.2	<i>Les outre-mer face au défi du changement climatique</i> (2012)	84
4.1.1.4.3	<i>Les entreprises et l'adaptation au changement climatique</i> (2014).....	86
4.1.1.5	Rapports interministériels	89
4.1.1.5.1	<i>Les effets qualitatifs du changement climatique sur la santé en France</i> (2008)	89
4.1.1.5.2	<i>Évaluation du coût des impacts du changement climatique et de l'adaptation en France</i> (2009)	92
4.1.1.6	HCSP : Impacts sanitaires de la stratégie d'adaptation au changement climatique (2015).....	94
4.1.1.7	EEA : <i>Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016</i>	96
4.1.2	Revue de la littérature scientifique	101
4.1.2.1	Méthode de recherche bibliographique	101
4.1.2.2	Sélection des publications à analyser	102
4.1.2.3	Adam-Poupard et al., (2013), <i>Climate change and occupational health and safety in a temperate climate: Potential impacts and research priorities in Quebec, Canada</i>	103
4.1.2.4	Applebaum K.M. et al., (2016), <i>An overview of occupational risks from climate change</i>	103
4.1.2.5	Kjellstrom et al., (2009), <i>The 'hothaps' programme for assessing climate change impacts on occupational health and productivity: An invitation to carry out field studies</i>	108
4.1.2.6	Kjellstrom et al., (2014), <i>Climate change and occupational health: A South African perspective</i>	109
4.1.2.7	Langkulsen et al., (2010). <i>Health impact of climate change on occupational health and productivity in Thailand</i>	110
4.1.2.8	Schulte, P. A. et H. Chun (2009). <i>Climate change and occupational safety and health: establishing a preliminary framework</i>	112
4.1.2.9	Shulte et al., (2016), <i>Advancing the framework for considering the effects of climate change on worker safety and health</i>	116
4.1.2.10	Autres travaux : ISS (Marchetti 2016) : <i>Climate change impact on microclimate of work environment related to occupational health and productivity</i>	121
4.2	Liens entre changements climatiques, environnementaux et santé	123
4.2.1	Effets sur l'organisme humain de l'exposition aux conditions climatiques chaudes.....	123
4.2.1.1	Réponse physiologique à la contrainte thermique.....	123
4.2.1.1.1	<i>Le bilan thermique</i>	123
4.2.1.1.2	<i>Facteurs influençant le bilan thermique</i>	125
4.2.1.1.3	<i>Évaluation de l'ambiance thermique en milieu professionnel</i>	127
4.2.1.1.4	<i>Mécanismes physiologiques d'adaptation à la chaleur</i>	128
4.2.1.2.1	<i>Morbi-mortalité liée aux contraintes thermiques</i>	129
4.2.1.2.2	<i>Phénomènes neuropsychologiques</i>	130
4.2.1.2.3	<i>Données épidémiologiques en milieu professionnel</i>	132
4.2.2	Effets sanitaires des expositions aux rayonnements ultraviolets	136
4.2.2.1	Effets cutanés.....	137
4.2.2.2	Effets oculaires.....	137
4.2.2.3	Changement climatique et évolution de l'intensité des rayonnements UV	138
4.2.3	Effets des agents biologiques rencontrés en milieux professionnels	138
4.2.3.1	Risques infectieux	140
4.2.3.2	Risques immuno-allergiques	141
4.2.3.3	Risques toxiques ou toxiques	141

5	Circonstances d'expositions professionnelles pouvant induire des risques sanitaires accrus, dans le contexte du changement climatique	143
5.1	Risques professionnels liés à la chaleur uniquement	150
5.1.1	Risques accidentels	150
5.1.3	Risque d'intoxication ou allergie après exposition à des nuisances chimiques (risques liés aux produits, aux émissions et aux déchets)	151
5.2	Risques professionnels liés à plusieurs indices climatiques et environnementaux dont la température	153
5.2.1	Chaleur, sécheresse agricole et risques respiratoires liés aux particules	153
5.2.2.1	Risques infectieux	153
5.2.2.2	Risques immuno-allergiques	154
5.2.2.3	Risques toxiques	154
5.2.4	Chaleur, aléas climatiques et risques d'effondrement de structures et de chutes d'objet	156
5.3	Risques liés aux rayonnements ultraviolets solaires	157
5.4	Risques professionnels liés aux aléas climatiques	158
5.5	Spécificités des risques professionnels dans les territoires de l'outre-mer	160
5.5.1	Le changement climatique futur outre-mer	160
5.5.3	La santé au travail outre-mer	161
5.5.4	Une prise en compte nécessairement au cas par cas des territoires d'outre-mer	162
6	Discussion	163
6.1	Effets du changement climatique sur la santé des travailleurs	163
6.1.1	Principales modifications du climat et de l'environnement ayant un impact sur la santé au travail	163
6.1.1.1	Hausse des températures	163
6.1.1.3	Modification de la fréquence et de l'intensité d'aléas climatiques	164
6.1.2	Comparaison des résultats et projections retenues par le groupe de travail avec ceux de la littérature	165
6.1.2.1	Quelques divergences en matière de projections climatiques	165
6.1.2.2	Des effets du changement climatique sur la santé des travailleurs qui font consensus	165
6.2.1	En lien avec le réchauffement	167
6.2.2	En lien avec les modifications des risques biologiques et chimiques	167
6.2.3	En lien avec les aléas climatiques	168
6.3	Domaines de connaissances à renforcer et / ou à suivre	169
6.3.1	Manque de données robustes	169
6.3.2	Outre-mer	169
6.3.3	Recherche d'analogues climatiques	170
6.3.4	Perspectives	170
6.3.4.1	Métiers futurs	170
6.3.4.2	Adaptation au changement climatique	172
6.3.4.3	Évolution de l'état de santé global des populations face au changement climatique	172
6.4	Propositions	173
6.4.1	Observatoire et programmes de recherche	173
6.4.2	Tentative d'élaboration d'un outil de priorisation des risques professionnels à évaluer au regard du changement climatique	174
6.4.3	Grandes orientations nationales	174
6.4.4	Étapes suivantes de l'expertise	175
7	Conclusions du groupe de travail	177

8	Références Bibliographiques	179
	ANNEXES	188
	Annexe 1 : Lettre de saisine	189
	Annexe 2 : Fiches des risques professionnels liés aux conditions climatiques en fonction des changements climatiques attendus	191
	Annexe 3 : Accident du travail et maladie professionnelle	226
	Annexe 4 : Éléments d'organisation de la santé au travail en France	228
	Annexe 5 : Risques biologiques et tableaux des maladies professionnelles dans le régime général et le régime agricole de l'assurance maladie	234
	Annexe 6 : Quatre exercices de prospective pour essayer de dégager des tendances sur les métiers à venir	236
	Annexe 7 : Outils destiné à hiérarchiser les risques professionnels impactés par le changement climatique, en fonction des effectifs de professionnels concernés	238

Sigles et abréviations

ACGIH :	<i>American Conference of Governmental Industrial Hygienists</i> , pour Association d'hygiénistes du travail professionnels américaine
ALARA :	<i>As Low As Reasonably Achievable</i> pour Aussi bas que raisonnablement possible
Anact :	Agence nationale pour l'amélioration des conditions de travail
Anses :	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
BTP :	Bâtiment et travaux publics
Carsat :	Caisse d'assurance retraite et de la santé au travail
CAT / MP :	Commission des accidents du travail / Maladies professionnelles
CEA :	Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
CES :	Comités d'experts spécialisés
CGSS :	Caisses générales de sécurité sociale
CHSCT :	Comité hygiène, sécurité et conditions de travail
CIRC :	Centre international de recherche sur le cancer.
CMIP :	<i>Coupled Model Intercomparison Project</i> , pour Projet d'intercomparaison des modèles couplés
CNAMTS :	Caisse nationale de l'assurance maladie des travailleurs salariés
CNES :	Centre national d'études spatiales
CNRACL :	Caisse nationale de retraites des agents des collectivités locales
CNRS :	Centre national de la recherche scientifique
COCT :	Conseil d'orientation des conditions de travail
COG :	Convention d'objectifs et de gestion
COM :	Collectivités d'outre-mer
COV :	Composés organiques volatils
CPOM :	Contrats pluriannuels d'objectifs et de moyens
CSTB :	Centre scientifique et technique du bâtiment
CTN :	Comités techniques nationaux
Dares :	Direction de l'animation de la recherche, des études et des statistiques
DGS :	Direction générale de la santé
DGT :	Direction générale du travail
DIRECCTE :	Direction régionale des entreprises, de la concurrence, de la consommation, du travail et de l'emploi
DOM :	Départements d'outre-mer

DU :	Document unique
DUER :	Document unique d'évaluation des risques
DUERP :	Document unique d'évaluation des risques professionnels
DUS :	Document unique de sécurité
EDCH :	Eau destinée à la consommation humaine
EEA :	<i>European Environment Agency</i> , pour Agence européenne pour l'environnement
EGE :	Embrasement généralisé éclair
ENSO :	<i>El Niño-Southern Oscillation</i> pour El niño – oscillation australe
EPE :	Entreprises pour l'environnement (association)
EPI :	Équipement de protection individuelle
ETI :	Entreprises de taille intermédiaire
Giec :	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GT :	Groupe de travail
HCSP :	Haut conseil de la santé publique
IARC :	<i>International Agency for Research on Cancer</i> pour Agence internationale pour la recherche contre le cancer.
IFM :	Indice forêt météo
IMBE :	Institut méditerranéen de biodiversité et d'écologie marine et continentale
IGN :	Institut national de l'information géographique et forestière
INMA :	Institut national de médecine agricole
Ineris :	Institut national de l'environnement industriel et des risques
INRS :	Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles
INSPQ :	Institut national de santé publique du Québec
Inserm :	Institut national de la santé et de la recherche médicale
IPRP :	Intervenant(s) en prévention des risques professionnels
IRSN :	Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire
IRSST :	Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail
LED :	<i>Light-Emitting Diode</i> pour Diode électroluminescente
LIA :	<i>Little Ice Age</i> pour Petit âge glaciaire
LNE :	Laboratoire national de métrologie et d'essais
MCA :	<i>Medieval Climate Anomaly</i> pour Anomalie climatique médiévale
MSA :	Mutualité sociale agricole
NAC :	Nouveaux animaux de compagnies
NAF :	Nomenclature d'activités française

NIOSH :	<i>National Institute of Occupational Safety and Health</i> (États-Unis), pour Institut national pour la sécurité et la santé au travail
NOx :	Oxydes nitreux
Onerc :	Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique
ONG :	Organisation non gouvernementale
Onisep :	Office national d'information sur les enseignements et les professions
ONU :	Organisation des nations unies
OPPBTP :	Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux publics
PCS :	Professions et catégories socioprofessionnelles
PM :	<i>Particulate Matter</i> pour Matières particulaires
PME :	Petites et moyennes entreprises
PNACC :	Plan national d'adaptation au changement climatique
PST :	Plan santé au travail
RCP :	<i>Representative Concentration Pathway</i> pour Profils représentatifs d'évolution de concentration (de gaz à effet de serre)
ROME :	Répertoire opérationnel des métiers et des emplois
SPF :	Santé publique France
SST :	Services de santé au travail
TPE :	Très petites entreprises
UCO :	Université catholique de l'ouest
UE :	Unités endotoxine
UICN :	Union internationale pour la conservation de la nature
UNDP :	<i>United Nations Development Programme</i> , pour Programme des nations-unies pour le développement
US EPA :	<i>United States Environmental Protection Agency</i> , pour Agence de protection de l'environnement américaine
UV :	Rayonnement ultraviolet
WBGT :	<i>Wet-Bulb Globe Temperature</i> , pour Température au thermomètre-globe mouillé

Glossaire

Accident du travail : selon le Code de la Sécurité sociale, « est considéré comme accident du travail, quelle qu'en soit la cause, l'accident survenu par le fait ou à l'occasion du travail, à toute personne salariée ou travaillant à quelque titre que ce soit, pour un ou plusieurs employeurs ou chefs d'entreprise » [article L 411-1 du Code de la Sécurité sociale].

Acclimatation : action ayant pour finalité l'adaptation individuelle d'un organisme humain, animal ou végétal à un autre climat que celui de son lieu d'origine ou des modifications météorologiques ponctuelles dans un même lieu (vagues de chaleur, de froid...).

Acclimatement : adaptation individuelle d'un organisme humain, animal ou végétal à un autre climat que celui de son lieu d'origine. L'acclimatement est le résultat de l'acclimatation.

Agroforesterie : un mode d'exploitation des terres agricoles associant des plantations d'arbres dans des cultures ou des pâturages.

Anomalie climatique médiévale (ou **MCA** pour « *Medieval Climate Anomaly* » ou « Optimum climatique médiéval ») : période durant laquelle l'Europe a connu un climat relativement chaud couvrant environ 600 ans entre les IX^e et XIV^e siècles. La période la plus chaude à l'échelle de l'hémisphère nord se situerait entre les années 950 et 1250.

Artificialisation : changement complet et souvent irréversible de l'utilisation des terres, pouvant par exemple conduire à une imperméabilisation totale ou partielle de celles-ci.

Baisse de la vigilance : afin de simplifier la lecture et par analogie avec les autres publications parues sur le sujet, l'ensemble des troubles neuropsychiques (cognitifs, attentionnels et motivationnels) sont regroupés dans ce rapport sous l'intitulé « baisse de vigilance ».

Biométéorologie : branche appliquée de la science météorologique qui traite de l'influence des conditions atmosphériques sur la santé des personnes et sur la santé publique. Les grands dossiers de la biométéorologie sont : les températures extrêmes, la qualité de l'air (pollens et pollution), les rayonnements UV solaires, les maladies météo-sensibles et les risques liés aux phénomènes extrêmes, et l'impact du changement climatique sur la santé publique et les risques sanitaires. On parle aussi parfois de **bioclimatologie** pour décrire l'influence des climats sur la santé.

Changement climatique : modification du climat (moyennes et autres caractéristiques statistiques) qui persiste pendant de longues périodes de temps, typiquement des dizaines d'années ou davantage.

Changement d'utilisation des terres : changement apporté par l'Homme dans l'utilisation ou la gestion des surfaces terrestres (agriculture en particulier) qui peut entraîner la modification de la couverture végétale. Il s'ensuit des modifications des paramètres physiques et biochimiques des surfaces pouvant influencer le climat local.

Changements environnementaux : changements dans l'environnement physique, biologique, social et économique. Dus à des causes naturelles ou anthropiques, ils se produisent à des échelles de temps très variables.

Changement global : l'ensemble des changements d'échelle planétaire qui font évoluer notamment les conditions de vie humaine. Il englobe en particulier le changement climatique et les changements environnementaux, y compris ceux d'origine anthropique, ainsi que les changements sociétaux (progression démographique, des niveaux de vie et des comportements, par exemple).

Climatologie : domaine scientifique consacré à l'étude des climats. Les observations météorologiques archivées sur le plus grand nombre possible de sites géographiques (en surface

et en altitude), et sur le plus grand nombre possible d'années pour chaque site, constituent le matériel grâce auquel la climatologie caractérise statistiquement et étudie les climats à la surface de la Terre sur des périodes de temps dépassant plusieurs semaines. Dans une définition plus large, la climatologie concerne aussi l'étude de l'ensemble du système complexe (océans, glaces, surfaces continentales, ...) qui détermine les évolutions climatiques.

Pour comparaison : la **météorologie** étudie l'état de l'atmosphère et la prévision du temps à l'échelle de quelques jours. C'est donc l'échelle temporelle et le domaine d'étude qui distinguent la météorologie de la climatologie.

Conchyliculture : élevage de coquillages.

Danger : un danger est une propriété intrinsèque d'un objet, d'une substance, d'une situation donnée qui peut compromettre la sécurité ou l'existence de quelqu'un ou quelque chose.

Dégradation des sols : changement dans l'état de santé du sol qui entraîne une diminution de la capacité de l'écosystème à fournir des biens et services pour ses bénéficiaires.

Document unique : le décret n° 2001-1016 du 5 novembre 2001 le définit comme un document mis en place par l'employeur ou le chef d'entreprise où sont consignés les résultats de l'évaluation des risques propres à l'entreprise, ainsi que la démarche de prévention arrêtée par le chef d'entreprise pour combattre ces risques. Il doit être régulièrement mis à jour (au moins une fois par an) et chaque fois qu'une unité de travail a été modifiée. Il est appelé document unique (DU), document unique de sécurité (DUS), document unique d'évaluation des risques (DUER) ou document unique d'évaluation des risques professionnels (DUERP).

Enherbement : un moyen de protéger les sols de l'érosion et des effets délétères d'une exposition directe à la pluie, au gel et aux UV solaires.

Espèce exotique envahissante : selon l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), une espèce exotique envahissante est définie comme « une espèce allochtone (i.e. étrangère), dont l'introduction par l'Homme (volontaire ou fortuite), l'implantation et la propagation menacent les écosystèmes, les habitats ou les espèces indigènes avec des conséquences écologiques, économiques ou sanitaires négatives »).

Eutrophisation : enrichissement des eaux par des nutriments, se traduisant par une prolifération des végétaux aquatiques ou des cyanobactéries conduisant à une diminution de la teneur en oxygène des eaux profondes.

Extrêmes météorologiques ou climatiques : événements météorologiques (jusqu'à une échelle de quelques semaines) ou climatiques (au-delà de quelques semaines) rares (typiquement dans les 10 % les plus extrêmes (valeurs hautes ou basses) d'une distribution statistique). On parle aussi parfois d'« aléas climatiques ».

Forêt (selon l'IGN, anciennement Inventaire forestier national) : est classé en forêt tout territoire occupant une superficie d'au moins 50 ares avec des arbres capables d'atteindre une hauteur supérieure à 5 m à maturité *in situ*, un couvert arboré de plus de 10 % et une largeur moyenne d'au moins 20 mètres.

Fragmentation : tout phénomène artificiel de morcellement de l'espace, susceptible d'empêcher des espèces animales ou végétales de se déplacer.

Gaz à effet de serre : composés gazeux qui absorbent le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre puis le réémettent. Une partie du rayonnement infrarouge est réémise vers la surface de la Terre contribuant ainsi à la réchauffer.

GIEC : groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Créé en 1988 à l'initiative des Nations unies, il a pour vocation de fournir des évaluations détaillées de l'état des connaissances scientifiques, techniques et socio-économiques sur les changements climatiques, leurs causes, leurs répercussions potentielles et les stratégies d'adaptation. Il a produit 5 rapports

composés de 3 volets (volet 1 : les éléments scientifiques ; volet 2 : incidence, adaptation et vulnérabilité ; volet 3 : atténuation) et d'une synthèse.

Indicateurs (ou « *proxys* ») **paléoclimatiques** : données indirectes (e.g., glaciologiques, sédimentologiques, paléontologiques, etc.) influencées par les conditions climatiques permettant ainsi de reconstituer des variations survenues dans les climats du passé, en particulier en l'absence de mesures instrumentales.

Irradiance solaire : quantité d'énergie radiative provenant du soleil reçue par une surface de 1 m² au sommet de l'atmosphère. L'irradiance solaire totale varie à toutes les échelles de temps, mais oscille en moyenne autour de 1 361 W/m² environ.

Label bio de l'Union européenne : label certifiant que le produit visé est conforme au règlement sur l'agriculture biologique de l'Union européenne, fondé sur l'interdiction des engrais et pesticides de synthèse.

Littoralisation : tendance à la concentration de la population humaine et de ses activités le long d'une bande côtière de 50 à 100 km de large à l'intérieur des terres, et allant jusqu'à 12 milles nautiques (22 km) en mer.

Maladies professionnelles : contrairement à l'accident de travail et à l'accident de trajet, les maladies professionnelles ne font pas l'objet d'une définition légale générale. Une maladie contractée par un salarié peut être considérée comme d'origine professionnelle lorsqu'elle est contractée en lien avec son activité professionnelle. La maladie peut être d'origine professionnelle si elle figure ou non au tableau des maladies professionnelles. Une maladie non désignée dans un tableau de maladies professionnelles peut être également reconnue d'origine professionnelle si elle remplit les conditions suivantes: i. la maladie est essentiellement et directement causée par le travail habituel de la victime, ii. et elle entraîne soit le décès du salarié, soit une incapacité permanente d'au moins 25%.

Malaise : céphalées, nausées, troubles du comportement pouvant aller jusqu'à la perte de connaissance transitoire, en général par réduction brutale de l'afflux sanguin cérébral suite à une baisse des pressions hydrostatiques (syncope).

Méditerranéisation : fait de rendre plus méditerranéen.

Modélisation climatique : modélisation mathématique du climat dans une zone géographique donnée, à l'échelle d'une région (comme l'Europe) ou à l'échelle planétaire. Ces modèles basés sur les équations fondamentales de la physique permettent de simuler l'évolution des différentes composantes du système climatique (atmosphère, océan et surface continentale) et leurs interactions.

Noyau (ou noyau central) : en physiologie, terme représentant la partie du corps productrice de chaleur (muscles squelettiques, viscères abdominaux et organes thoraciques et système nerveux central). La peau et le tissu sous-cutané constituent l'enveloppe.

Paramètres orbitaux : l'excentricité de l'orbite terrestre, l'obliquité de l'axe de rotation propre de la Terre et la longitude du périhélie (point de l'orbite où la Terre est au plus proche du soleil) varient au cours du temps. Leurs variations engendrent des variations de l'irradiance solaire et de la part reçue par la Terre selon les latitudes et les saisons, entraînant des modifications du climat.

Période industrielle : on fixe généralement le début de cette période à la deuxième partie du XVIII^e siècle qui correspond au début du développement de l'industrie et de l'usage massif de combustibles fossiles et ainsi au début de l'accroissement de la concentration en CO₂ atmosphérique.

Petit âge glaciaire (ou **LIA** pour « *Little Ice Age* ») : période où l'hémisphère nord a connu un refroidissement relatif et dont les phases les plus froides se situeraient entre les années 1450 et

1850. L'écart moyen de température entre l'anomalie climatique médiévale et le petit âge glaciaire est d'environ 0,5 °C.

Phénologie : ensemble des apparitions d'événements périodiques du cycle de développement d'un être vivant qui est déterminé par les variations saisonnières du climat.

Prévalence : mesure de l'état de santé d'une population en dénombrant le nombre de cas de maladies à un instant donné ou sur une période donnée.

Réservoir : en matière de risques infectieux, le réservoir est l'endroit où les agents infectieux vont vivre et proliférer. Ce réservoir peut être tout ou partie d'un être vivant, humain ou animal, ou être inanimé, ce peut être le sol, l'eau ou un objet contaminé.

Risque : en matière de santé humaine, un risque peut se définir comme l'éventualité d'une rencontre entre un homme ou une femme et un danger auquel il/elle peut être exposé(e).

Risque professionnel : le risque devient un risque professionnel si la rencontre entre un homme ou une femme et un danger a lieu dans le cadre de son activité professionnelle.

Scénarios d'émission : scénarios décrivant les évolutions plausibles des émissions de gaz à effet de serre liés aux activités humaines, en fonction de différentes hypothèses cohérentes en particulier sur l'évolution des systèmes socio-économiques et de la démographie. Les scénarios d'émission cités dans ce rapport sont le plus souvent les scénarios du dernier rapport du GIEC de 2013-2014 (RCP8.5, RCP6, RCP4.5 ou RCP2.6), mais certaines études mentionnées font aussi référence à des scénarios d'émission des précédents rapports (A2, A1B et B2).

Thermogenèse : production de chaleur par l'organisme de l'Homme et des animaux du fait de l'augmentation du métabolisme cellulaire.

Thermolyse : mécanismes de dissipation ou d'exportation de la chaleur produite en excès ou emmagasinée par l'organisme de l'Homme et des animaux.

Variabilité climatique : variations de l'état moyen et d'autres variables statistiques (extrêmes, etc.) du climat à toutes les échelles d'espace et de temps au-delà de la variabilité propre à des phénomènes météorologiques particuliers.

Liste des tableaux

Tableau 1 : les différents types de risques professionnels selon les définitions de l'INRS (INRS 2013)	26
Tableau 2 : valeurs de référence et changement d'indices climatiques moyennés à l'échelle de la France métropolitaine pour l'année et les saisons d'hiver (décembre, janvier et février) et d'été (juin, juillet et août).....	36
Tableau 3 : arborescence des grandes catégories d'activités professionnelles selon les différentes institutions	62
Tableau 4 : tableau de synthèse des circonstances de décès au travail pendant la canicule de 2006 (Buisson 2009).....	64
Tableau 5 : indices météo-climatiques, environnementaux, bioclimatiques et autres indices associés à un risque sanitaire, potentiellement calculables à partir de résultats de scénarios du climat futur.....	70
Tableau 6 : prévisions de pertes de productivité liées aux effets de la température dans un contexte de changement climatique, par pays (prévisions RCP8.5 et pour un travail modéré de 300 W).....	82
Tableau 7 : risques liés au changement climatique pour les entreprises, identifiés par secteur d'activité (ONERC et EPE 2014)	87
Tableau 8 : liste des impacts liés au changement climatique quantifiés par le groupe interministériel (Ministère de l'Ecologie de l'Energie du Développement Durable et de la Mer 2009).....	93
Tableau 9 : liens démontrables entre variables climatiques et pathogènes (EEA 2016).....	98
Tableau 10 : Synthèse des modifications climatiques et de leurs impacts en Europe (EEA 2016).....	99
Tableau 11 : requêtes bibliographiques générales sur le changement climatique et la santé travail	101
Tableau 12 : publications scientifiques d'intérêt identifiées via les requêtes bibliographiques.....	102
Tableau 13 : effets potentiels du changement climatique sur les secteurs professionnels par source d'exposition (Applebaum <i>et al.</i> 2016).....	103
Tableau 14 : risques potentiels pour la santé des travailleurs liés au changement climatique induisant des conditions plus chaudes et plus tempérées dans la plupart des pays du monde	109
Tableau 15 : catégories de dangers en fonction de l'indice de chaleur	111
Tableau 16 : données de mesures du WBGT dans cinq lieux de travail (en Thaïlande), pendant le mois d'octobre 2009	111
Tableau 17 : indices de chaleur pour cinq lieux de travail (en Thaïlande)	111
Tableau 18 : facteurs individuels pouvant augmenter la susceptibilité des travailleurs vis-à-vis des risques liés au changement climatique (traduction du tableau de Schulte et Chun, 2009)	115
Tableau 19 : déclinaison des priorités d'action par type de danger professionnel lié au changement climatique	120
Tableau 20 : extrait de la « Mise au point sur le bon usage des médicaments en cas de vague de chaleur » (Anses 2016).....	126
Tableau 21 : seuils recommandés de l'indice WBGT en fonction du niveau d'activité physique et de l'état d'acclimatation de l'individu.	127
Tableau 22 : valeurs déclenchant l'action (VA) et valeurs limites d'exposition (VLE) de l'indice WBGT en fonction du temps d'activité d'un travailleur (inspiré de ACGIH 2006). L'indice WBGT considéré ici est l'indice WBGT effectif = indice mesuré corrigé du facteur d'ajustement vestimentaire.....	128
Tableau 23 : débits sanguins cutanés en fonction de l'activité physique et des conditions climatiques	129

Tableau 24 : différences entre coup de chaleur d'exercice et coup de chaleur classique (Brinquin et Borne 2004).....	130
Tableau 25 : risques biologiques et tableaux des maladies professionnelles dans le régime général et le régime agricole de l'assurance maladie*.....	139
Tableau 26 : synthèse des risques professionnels susceptibles d'augmenter en fonction du changement climatique et de circonstances d'exposition (Lecture du tableau à commencer par la colonne centrale).....	145
Tableau 27 : rappel des 9 principes généraux de prévention des risques professionnels	231
Tableau 28 : les catégories d'entreprises en France en 2011 (d'après Insee focus N°4 – avril 2014).....	232
Tableau 29 : rôle des SST et leurs actions en milieu de travail	233
Tableau 30 : risques biologiques et tableaux des maladies professionnelles dans le régime général et le régime agricole de l'assurance maladie*	235
Tableau 31 : exemple d'outil d'analyse des risques professionnelles par secteur d'activité	239

Liste des figures

Figure 1 : évolution de la température moyenne de l'hémisphère nord sur le dernier millénaire en degré Celsius.	29
Figure 2 : évolution de la température moyenne mondiale sur la période 1901-2016 en degré Celsius.....	29
Figure 3 : variations de la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone (CO ₂) en ppm, de 1750 à 2012.	30
Figure 4 : Evolution de la température moyenne mondiale observée et simulée sur la période 1860-2010 en degrés Celsius.	31
Figure 5 : évolution de la température moyenne en France métropolitaine sur la période 1901-2016 en degré Celsius.	32
Figure 6 : émissions annuelles de dioxyde de carbone (CO ₂) dues à la combustion des combustibles fossiles et à la production de ciment exprimées en milliards de tonnes (Gt).	34
Figure 7 : évolution de la température moyenne en France métropolitaine par rapport à la période de référence 1976-2005 exprimés en degré Celsius.....	35
Figure 8 : taux d'accroissement annuel moyen de la superficie forestière en France entre 1908 et 1981 et entre 1981 et 2009 (http://inventaire-forestier.ign.fr/spip/).....	42
Figure 9 : évolution de la concentration en pollen d'ambroisie en cumul annuel (grain/m ³ /an) à gauche pour la période actuelle, à droite en 2050.....	48
Figure 10 : pourcentage de la population affectée par le pollen (gauche) actuellement (droite) en 2050	48
Figure 11 : date de début de saison de production du pollen de bouleau en fonction (A) de l'année, (B) de la température moyenne, entre le 16 février et le 15 mars (Frei et Gassner 2008).	51
Figure 12 : production annuelle de pollen du bouleau en fonction de l'année (Frei et Gassner 2008) en nombre de particules piégées sur un filtre situé sur un immeuble en Suisse.	52
Figure 13 : cartes de présence du moustique tigre (<i>Aedes albopictus</i>) en France métropolitaine (cartes issues du Ministère des Affaires Sociales et de la Santé).....	53
Figure 14 : carte de pertinence climatique pour <i>Aedes Albopictus</i> (Caminade et al. 2012)	54

Figure 15 : modélisation de l'expansion des tiques <i>Ixodes scapularis</i> au Canada entre aujourd'hui (en utilisant les moyennes de températures entre 1971 et 2000) et 2080 (en utilisant les conditions de températures prédites par le modèle climatique CGCM2 sous le scénario d'émissions A2, proche du scénario RCP8.5) (Ogden <i>et al.</i> 2008).	55
Figure 16 : distribution géographique des municipalités d'origine des tiques <i>Ixodes scapularis</i> infectées (rouge) et non-infectées (bleu) ayant piqué des humains au Québec en a) 2009-2010, b) 2011-2012, c) 2013-2014 et d) 2008-2014.	56
Figure 17 : comparaison de la vitesse maximale de migration des espèces à travers les paysages.....	57
Figure 18 : schéma des interactions à appréhender entre le climat, l'environnement et la santé des travailleurs, pour identifier les circonstances d'exposition professionnelles susceptibles d'induire un excès de risques sanitaires parmi les travailleurs exposés dans un contexte de changement climatique.	60
Figure 19 : démarche suivie pour déterminer les circonstances d'exposition aux risques professionnels induits ou accrus par le changement climatique.....	73
Figure 20 : cadre d'analyse des impacts potentiels des changements climatiques sur la santé et la sécurité des travailleurs au Québec (d'après IRSST 2012).....	78
Figure 21 : chaîne des impacts sur la santé à attendre du changement climatique dans le contexte particulier des outre-mer (Magnan 2012)	86
Figure 22 : voies par lesquelles le changement climatique affecte la santé humaine (HCSP 2015).....	95
Figure 23 : schéma conceptuel des liens entre le changement climatique et la santé/sécurité au travail (Schulte et Chun 2009).....	113
Figure 24 : bilan thermique d'un organisme homéotherme.....	124
Figure 25 : les rayonnements ultraviolets dans le spectre électromagnétique. Source : (Afsset 2005)	137
Figure 26 : le système français de prévention des risques professionnels du régime général.....	229

1 Contexte, objet et modalités de traitement de la saisine

1.1 Contexte

Le changement global, parfois qualifié de « changement environnemental global », concerne l'ensemble des modifications majeures perceptibles à l'échelle mondiale, produites aussi bien par les facteurs naturels que par les activités anthropiques. Le terme changement global fait référence à la fois à l'échelle planétaire des changements et à la dimension sociale des activités humaines au sein des composantes physico-chimiques et biologiques de l'environnement (atmosphère, hydrosphère, cryosphère, biosphère, sols...). Il englobe des changements environnementaux perceptibles à une échelle plus locale, comme les changements d'usage des terres¹ et des milieux aquatiques. Ces changements environnementaux affectent tous les niveaux de la biodiversité (biodiversité des gènes, des espèces, des habitats, des paysages) et tous les compartiments de la biosphère (pédosphère, hydrosphère et atmosphère).

Le changement climatique, qui se définit par une modification du climat qui persiste pendant de longues périodes de temps (moyennes et autres caractéristiques statistiques), fait partie du « changement global ».

La loi de programmation n° 2009-967 du 3 août 2009 relative à la mise en œuvre du « Grenelle de l'environnement » prévoyait la préparation d'un plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC) dans le cadre de l'engagement de l'État pour l'adaptation du territoire national face à ce changement.

La fiche-action du PNACC concernant les questions de santé comporte une action relative au développement d'actions de prévention sanitaire prenant en compte les conséquences des événements extrêmes et l'adaptation des systèmes de vigilance et d'alerte. Dans ce cadre, une mesure spécifique visant au renforcement de la gestion des risques professionnels induits par le changement climatique (action 4, mesure 4.2) est prévue.

Dans ce contexte, la Direction générale de la santé (DGS) et la Direction générale du travail (DGT) ont chargé l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses), par saisine du 28 octobre 2013, de conduire une expertise relative à l'évaluation des risques induits par le changement climatique sur la santé des travailleurs dans le cadre du renforcement de la gestion des risques professionnels induits par le changement climatique prévue dans le cadre du plan national d'adaptation au changement climatique (saisine n° 2013-SA-0216).

1.2 Objet de la saisine

Il était demandé à l'Anses de mener une expertise scientifique permettant d'identifier les impacts potentiels liés au changement climatique sur la santé et la sécurité des travailleurs, en vue de formuler des recommandations pour éviter, réduire et prévenir les risques identifiés.

La saisine initiale comportait plusieurs demandes :

¹ Il s'agit de l'intensification des usages (ex : déforestation, urbanisation, surexploitation, introduction d'espèces, etc) ou de l'abandon des usages (ex : déprise, reforestation, etc.).

- dresser, à travers une revue de la littérature, les effets qualitatifs potentiels du changement climatique sur la santé en général ;
- identifier les aléas climatiques exceptionnels ou durables les plus susceptibles d'augmenter en fréquence et / ou en intensité pour étudier leurs effets en priorité, compte tenu notamment des nombreux effets potentiels et des incertitudes liées à la probabilité de leur réalisation ;
- à partir d'un panorama plus spécifique pour la santé et la sécurité des travailleurs, identifier les secteurs d'activité et / ou métiers exposés aux effets considérés ;
- évaluer et qualifier les risques et estimer les impacts potentiels chez les travailleurs exposés ;
- formuler des recommandations pour supprimer, réduire ou prévenir les risques identifiés ;
- et, le cas échéant, formuler des recommandations de recherche.

Les deux premières demandes font ou ont fait l'objet de travaux réalisés par d'autres organismes plus directement impliqués que l'Anses sur ces sujets. Aussi, il n'apparaissait pas pertinent que l'Anses réalise elle-même une mise à jour de ces travaux, de surcroît récents pour la plupart. En revanche, l'Agence rapporte et synthétise les conclusions de ces organismes dans ce rapport, afin d'établir le contexte scientifique du changement climatique dans lequel s'inscriront ses propres travaux sur les effets sanitaires.

1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation

La mise en œuvre d'une expertise sur le sujet nécessitait, l'identification préalable des activités professionnelles susceptibles d'être impactées par le changement climatique et leur priorisation. Sur cette base, il devenait possible de planifier le déroulement d'évaluations des risques et l'élaboration de recommandations qui en découleraient.

Il a donc été convenu avec la DGS et la DGT que l'expertise serait réalisée en 3 phases :

Phase 1 : identification des activités professionnelles concernées à l'aide d'un groupe de travail composé d'experts externes.

Phase 2 : restitution de la première phase de la saisine aux demandeurs et élaboration concertée de la liste des activités professionnelles prioritaires devant faire l'objet d'une évaluation des risques liés au changement climatique.

Phase 3 : évaluation des risques associés aux activités professionnelles prioritaires et formulation de recommandations spécifiques. Les modalités d'exécution de cette phase (domaine d'expertise, planification) dépendraient des résultats des phases 1 et 2.

L'Anses a ainsi confié au groupe de travail (GT) « Effets sanitaires induits par le changement climatique sur la santé des travailleurs », rattaché au comité d'experts spécialisé (CES) « Évaluation des risques liés aux agents physiques, aux nouvelles technologies et aux grands aménagements » l'instruction de la première phase d'expertise, objet du présent rapport. Ces travaux sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires.

Les travaux d'expertise du GT ont été soumis régulièrement au CES, tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques. Le rapport produit par le groupe de travail tient compte des observations et éléments complémentaires transmis par les membres du CES.

Après réflexion, le groupe de travail a décidé d'orienter l'expertise autour des « circonstances d'expositions² » plutôt que de la notion « d'activités professionnelles » identifiée dans le texte de la saisine, car plus pertinentes au regard de la diversité des métiers et des circonstances d'expositions qui peuvent être associées à une même activité professionnelle (cf. chapitre 5).

Le groupe de travail étant composé d'experts d'origines professionnelles très variées, il est très vite apparu nécessaire de clarifier le sens de certains éléments de langage, afin d'éviter toute confusion avec le vocabulaire spécialisé employé aussi bien dans les domaines de la santé au travail, du climat que de l'environnement. Le chapitre 2 a cette vocation. La complexité des interactions à prendre en compte pour appréhender le sujet a ensuite conduit le groupe de travail à élaborer une méthode de description des circonstances d'exposition des travailleurs potentiellement impactées par le changement climatique. Elle est décrite dans le chapitre 3. Le chapitre 4 est consacré à l'état de l'art relatif aux effets du changement climatique sur la santé humaine, nécessaire pour établir le contexte scientifique de l'expertise. Les résultats, discussions et conclusions du groupe de travail font respectivement l'objet des chapitres 5, 6 et 7.

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – prescriptions générales de compétence pour une expertise (Mai 2003) »

1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont rendues publiques via le site internet de l'Anses (www.anses.fr).

² Situation de travail conduisant à une ou des expositions.

2 Éléments de connaissances nécessaires

Étant donné la technicité des domaines de la climatologie, des changements environnementaux et de la santé au travail, croisés dans le cadre de ce travail d'expertise, les principaux termes en usage, de même que les éléments de connaissance nécessaires à la bonne compréhension du sujet sont définis et synthétisés dans ce deuxième chapitre.

2.1 Santé Travail

L'organisation de la protection de la santé des hommes et des femmes vis-à-vis de risques professionnels en France est une démarche interdisciplinaire complexe. L'annexe 4 donne les grandes lignes de l'organisation de la santé au travail du régime général auquel sont rattachés les travailleurs salariés qui constituent aujourd'hui la majeure partie des actifs en France. Moyennant parfois quelques adaptations, ces dispositions s'appliquent aux autres secteurs d'activités, par exemple le secteur agricole ou la fonction publique.

Cependant, les questions de risques professionnels tels qu'abordés dans ce rapport incluent tout travailleur indépendamment du régime d'assurance social de protection des risques professionnels auquel il est rattaché ou a souscrit de manière volontaire (ex. indépendants ou professions libérales).

2.1.1 Définitions

Dans le cadre de la présente expertise, afin de s'appuyer sur des termes d'usage dans le milieu de la santé au travail, il est apparu nécessaire de préciser le sens de certaines expressions couramment utilisées en santé au travail (risque professionnel, accident du travail, maladie professionnelle...).

Danger : un danger est une propriété intrinsèque d'un objet, d'une substance, d'une situation donnée qui peut compromettre la sécurité ou l'existence de quelqu'un ou quelque chose.

Risque : en matière de santé humaine, un risque peut se définir comme l'éventualité d'une rencontre entre un homme ou une femme et un danger auquel il/elle peut être exposé(e).

Risque professionnel : le risque devient un risque professionnel si la rencontre entre un homme ou une femme et un danger a lieu dans le cadre de son activité professionnelle. Un risque professionnel peut conduire à des lésions d'apparition soudaine (accident du travail) ou d'apparition progressive ou différée. Pour les salariés, ces lésions peuvent faire l'objet d'une reconnaissance en accident du travail ou maladie professionnelle et ouvrir droit à réparation.

Accident du travail : « est considéré comme accident du travail, quelle qu'en soit la cause, l'accident survenu par le fait ou à l'occasion du travail, à toute personne salariée ou travaillant à quelque titre que ce soit, pour un ou plusieurs employeurs ou chefs d'entreprise » [article L 411-1 du Code de la Sécurité sociale]. (cf. annexe 3).

Maladies professionnelles : contrairement à l'accident de travail et à l'accident de trajet, les maladies professionnelles ne font pas l'objet d'une définition légale générale. Une maladie contractée par un salarié peut être considérée comme d'origine professionnelle lorsqu'elle est contractée en lien avec son activité professionnelle. La maladie peut être d'origine professionnelle si elle figure ou non au tableau des maladies professionnelles (cf. annexe 3). Une maladie non

désignée dans un tableau de maladies professionnelles³ peut être également reconnue d'origine professionnelle si elle remplit les conditions suivantes : *i.* la maladie est essentiellement et directement causée par le travail habituel de la victime, *ii.* elle entraîne soit le décès du salarié, soit une incapacité permanente d'au moins 25 %.

Dans la fonction publique, on parle d'accidents de service et de maladies contractées en service ou dans l'exercice de la fonction. Ces distinctions peuvent avoir une conséquence pour ce qui concerne la prise en charge et l'indemnisation liée à l'accident ou la maladie.

2.1.2 Identifications des principaux risques professionnels

L'étude des effets possibles du changement climatique sur les risques professionnels doit bien prendre en compte la notion de « risque professionnel », à distinguer de celle de « risque communautaire » qui concernent la population générale. Un risque ne devient un risque professionnel que si l'exposition au danger a lieu dans le cadre d'une activité professionnelle. Si la victime (d'un accident ou d'une maladie professionnelle) ou ses ayants droit peuvent apporter la preuve de l'exposition professionnelle, la plupart des maladies professionnelles bénéficient déjà de la présomption d'origine quand elles sont l'objet d'un tableau de maladie professionnelle. Mais il est parfois difficile de distinguer l'origine spécifiquement professionnelle d'une maladie quand le risque concerne la population générale (risque professionnel *versus* risque communautaire). Il en est ainsi par exemple des atteintes rhumatologiques (lombalgies...) ou des pathologies cancéreuses qui peuvent se prêter plus souvent à des difficultés de reconnaissance et d'indemnisation que des pathologies plus spécifiques comme l'hygroma du genou chez un carreur ou une silicose chez un mineur.

Il faudra également distinguer les risques à effets immédiats des risques à effets différés. Les effets aigus ou immédiats font suite à un accident (par exemple une surdité après explosion, des manifestations respiratoires après dégagement accidentel d'un gaz...) alors que les effets sanitaires différés ou retardés font suite le plus souvent à une exposition de longue durée ou répétée (par exemple bruit et surdité, silice et développement d'une insuffisance respiratoire chronique ou emploi d'une substance cancérogène et constatation d'un cancer...).

Il n'existe pas de classement officiel des risques professionnels en grandes catégories. Le code du travail lui-même ne traite de façon spécifique que quelques-uns de ces grands types de risques. L'identification des risques professionnels est le résultat d'une longue analyse des situations de travail et de l'exploitation des données de sinistralité. Après exploration *via* Internet de différents classements⁴, le groupe de travail a choisi de se référer au classement en 17 grands types utilisé

³ Les tableaux des maladies professionnelles sont disponibles sur le site de l'INRS (<http://www.inrs.fr/publications/bdd/mp.html>)

⁴ La recherche a été effectuée *via* un moteur de recherche internet à partir de 3 requêtes « risques professionnels », « définition des risques professionnels », « prévention des risques professionnels ». Les principaux sites internet identifiés dans le cadre de cette recherche ont été :

<http://www.acms.asso.fr/?q=taxonomy/term/387>
http://www.officiel-prevention.com/formation/formation-continue-a-la-securite/detail_dossier_CHSCT.php?rub=89&ssrub=139&dossid=453
<http://travail-emploi.gouv.fr/sante-au-travail/prevention-des-risques/autres-dangers-et-risques>
<https://www.carsat-normandie.fr/entreprises/prevenir-vos-risques-professionnels/vos-risques-professionnels.html>
https://fr.wikipedia.org/wiki/Risque_professionnel
<http://www.efficience-santeautravail.org/risques-professionnels.html>
<https://www.evarisk.com/ressources/fiches-risques-professionnels>
<http://www.bossons-fute.fr/>
http://www.st72.org/internet/uploads/article/guide_evaluation_generique.pdf
http://www.ast74.fr/upload/referentiel_livret_v4%202_02_2012.pdf

Suite des notes de bas de page sur la page suivante.

par l'INRS⁵ (cf. Tableau 1) dans une brochure d'aide à l'évaluation des risques en vue de la rédaction du document unique⁶ faisant état des risques existant dans l'entreprise et des mesures de prévention prises ou programmées (cf. chapitre 3).

Tableau 1 : les différents types de risques professionnels selon les définitions de l'INRS (INRS 2013)

	Type de risques professionnels (Éléments de définition selon l'INRS)
1	Risques de trébuchement, heurt ou autre perturbation du mouvement La personne glisse, heurte, trébuche, se tord ou se coince le pied, le genou, un doigt... ou pose le pied sur une pointe, un clou... ou l'élément sur lequel elle s'appuyait s'affaisse, cède... du fait des forces exercées.
2	Risques de chute de hauteur Perte d'équilibre au droit d'une dénivellation et chute dans le vide, en milieu naturel ou à l'intérieur d'une construction, parfois en utilisant un moyen d'accès (échelle, escalier non protégé, nacelle...).
3	Risques liés aux circulations internes de véhicules Heurt d'une personne par un véhicule (vélo, moto, camion, charriot de manutention...) ou collision de véhicules entre eux ou contre un obstacle au sein de l'entreprise.
4	Risques routiers en mission Accident sur la route lors d'un déplacement dans le cadre d'une mission professionnelle avec utilisation d'un véhicule (voiture, véhicule utilitaire, moto, poids-lourds...).
5	Risques liés à la charge physique de travail Efforts physiques intenses, prolongés, répétés, ou dans des postures inconfortables ou contraignantes entraînant fatigue, douleurs, gêne fonctionnelle / lésions aiguës ou chroniques de l'appareil locomoteur le plus souvent mais aussi de l'appareil cardio-vasculaire, respiratoire...
6	Risques liés à la manutention mécanique Risques d'accident (heurts, chute, renversement) dus à la charge manutentionnée, au moyen de manutention (rupture, défaillance) et aussi à la circulation des engins de manutention.
7	Risques liés aux produits, aux émissions et aux déchets Risques d'intoxication, d'allergie, de brûlures... par inhalation, ingestion ou contact cutané avec des produits mis en œuvre ou émis sous forme de gaz, de particules solides ou liquides.

Après la consultation par des spécialistes de santé au travail des principaux sites identifiés et compte tenu de la saisine, la classification de l'INRS a été retenue comme la plus pertinente pour la poursuite des travaux du GT.

⁵ Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.

⁶ Le document unique (décret 2001-1016 du 5 novembre 2001) est un document mis en place par l'employeur ou le chef d'entreprise où sont consignés les résultats de l'évaluation des risques propres à l'entreprise, ainsi que la démarche de prévention arrêtée par le chef d'entreprise pour combattre ces risques. Il doit être régulièrement mis à jour (au moins une fois par an) et chaque fois qu'une unité de travail a été modifiée. Il est appelé document unique (DU), document unique de sécurité (DUS), document unique d'évaluation des risques (DUER) ou document unique d'évaluation des risques professionnels (DUEP).

	Type de risques professionnels (Éléments de définition selon l'INRS)
8	Risques liés aux agents biologiques Risques d'infection, d'allergie ou d'intoxication liés à la présence de microorganismes (bactéries, virus, moisissures...) ou leurs produits (endotoxines, mycotoxines...) présents sur les lieux de travail
9	Risques liés aux équipements de travail Risques de blessures (écrasement, coupure, perforations...) liés à l'action mécanique de machines, outils, charges, projections...
10	Risques liés aux effondrements et aux chutes d'objet Risques d'accident du fait d'une chute d'objets stockés en hauteur ou de l'effondrement de matériaux (travaux effectués dans des tranchées, des puits, des galeries non ou mal étayées).
11	Risques et nuisances liés au bruit Risque de maladie professionnelle dans le cas d'une exposition excessive au bruit mais aussi risque d'accident du fait de la non perception d'un signal avertisseur ou d'une mise en garde orale.
12	Risques liés aux ambiances thermiques Plaintes pour inconfort (insatisfaction, malaise...) ou atteinte à la santé (malaise, dermatoses, gelures, hyperthermie, coup de chaleur...).
13	Risques d'incendie, d'explosion Risques d'accident (avec brûlures, blessures, intoxication...) consécutifs à un incendie ou une explosion.
14	Risques liés à l'électricité Accidents (brûlures, électrisation, électrocution) consécutifs à un contact avec un conducteur électrique ou une partie métallique sous tension ou avec deux conducteurs avec des potentiels différents.
15	Risques liés aux ambiances lumineuses L'éclairage naturel et l'éclairage artificiel sont des éléments essentiels de bien-être et de réduction des risques au travail. L'éclairage ne doit pas être générateur d'éblouissements gênants, de contrastes de luminance fatigants, voire de reflets ou d'ombres portées, lesquels sont susceptibles de renforcer la survenue de troubles musculo-squelettiques.
16	Risques liés aux rayonnements Risques d'accidents ou d'atteinte à la santé par des rayonnements artificiels ou naturels, émis par certains appareils ou certains matériaux. Rayonnements artificiels ; ionisants (sources radioactives, générateurs de rayons X...), optiques (UV, laser, halogènes, LED...), électromagnétiques (réseaux électriques, radiocommunications, machines utilisant les basses ou les hautes fréquences, (micro-ondes, presses à souder...). Rayonnements d'origine naturelle ; rayonnement solaire, matières radioactives, en particulier le radon.
17	Risques psychosociaux Situations de travail à risques de stress, de violences internes (dont le harcèlement moral et sexuel) et externes (agression, conflits, tension avec le public ou la clientèle).

2.2 Changements climatiques

2.2.1 Contexte

Le climat varie à des échelles de temps allant de la saison à des milliers voire des millions d'années, mais la section qui suit se concentre sur le temps de quelques générations humaines.

Cette section résume les principales caractéristiques des changements climatiques à l'échelle planétaire et à l'échelle de la France métropolitaine et d'outre-mer. Il met l'accent sur les changements attribuables aux activités humaines replacés dans le contexte des changements attribuables à la variabilité climatique naturelle. Les activités humaines considérées ici sont celles qui influencent le climat au travers de la modification de la composition chimique de l'atmosphère (gaz à effet de serre, particules en suspension). La période principale d'intérêt est celle des 60 à 70 dernières années, même si les évolutions climatiques sont replacées dans des évolutions de plus long terme.

Le choix des indicateurs climatiques présentés est guidé par les liens directs pouvant être établis entre le climat et la santé humaine (coups de chaleur, maladies respiratoires et cardiovasculaires, etc.). Cela conduit à privilégier les données se rapportant notamment à la température, à l'humidité et aux événements météorologiques et climatiques extrêmes (voir section 3.3.2). Les changements climatiques couplés à des changements environnementaux ayant des effets indirects sur la santé humaine (maladies à vecteurs, affections liées à la pollution de l'air et de l'eau ...) sont présentés dans la section 2.3.

Pour la période future, en conformité avec les objectifs généraux de ce rapport, ce chapitre se focalise sur les prochaines décennies jusqu'à l'horizon du milieu du vingt-et-unième siècle, au-delà duquel il semble difficile de prévoir l'évolution des métiers et des risques associés. Jusqu'à cette échéance, la variabilité des scénarios d'émissions de gaz à effet de serre n'a que peu d'influence sur le changement climatique attendu. L'inertie de la réponse climatique à ces scénarios est en effet de l'ordre de trente à quarante ans, ce qui ne conduit à une claire différenciation des climats associés qu'au-delà de 2050.

2.2.2 Le changement climatique récent

2.2.2.1 Échelle planétaire

Le climat varie à différentes échelles de temps en fonction de facteurs naturels. Les variations des paramètres orbitaux de la terre expliquent une variabilité climatique à des échelles de temps allant de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de milliers d'années. La périodicité de la fluctuation de la forme de l'orbite de la terre, d'environ 100 000 ans, est ainsi à l'origine de l'alternance entre des périodes froides (glaciaires) et chaudes (interglaciaires). La dernière période glaciaire a culminé il y a environ 21 000 ans. La température moyenne à la surface de la terre était alors environ 5°C plus froide qu'actuellement (entre 3 et 8°C plus froide selon le dernier rapport du GIEC, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) et le niveau des océans était 130 m plus bas. Le climat s'est ensuite réchauffé en 10 000 ans environ puis est resté relativement stable jusqu'au début du XX^e siècle.

À plus petite échelle, le climat du dernier millénaire est illustré sur la Figure 1 représentant les reconstructions de la température de l'hémisphère nord à partir d'indicateurs paléoclimatiques (cernes d'arbres, coraux, etc.). Une des conclusions déduite de ces reconstructions est que, à l'échelle de l'hémisphère Nord, la période 1983-2012 est probablement la période de 30 ans la plus chaude depuis 1400 ans (Masson-Delmotte *et al.* 2013).

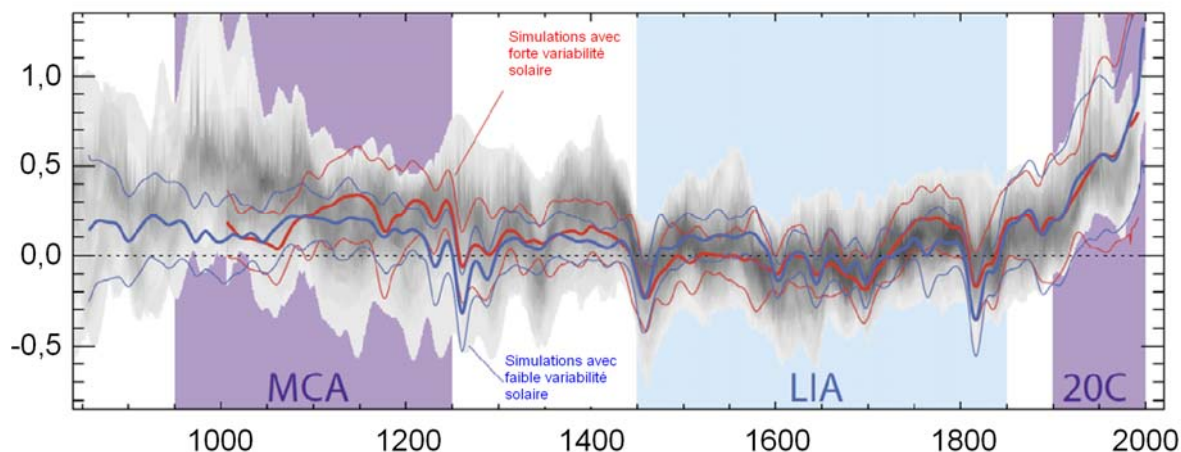


Figure 1 : évolution de la température moyenne de l'hémisphère nord sur le dernier millénaire en degré Celcius.

Note : les traits de couleur représentent des simulations (moyenne et dispersion pour plusieurs modèles en rouge/bleu selon l'utilisation d'une variabilité solaire estimée forte/faible) et la zone grisée une superposition de différentes reconstructions de la température à partir d'indicateurs paléo-climatiques. Les périodes de l'anomalie climatique médiévale (« MCA » 950-1250) et du petit âge glaciaire (« LIA » 1450-1850) sont repérées sur fonds violet et bleu. Toutes les valeurs reproduites sont des écarts à la moyenne de 1500-1850 (Masson-Delmotte *et al.* 2013).

Cette figure illustre donc la singularité de la période la plus récente avec un réchauffement très rapide depuis une centaine d'années. Ce réchauffement n'a cependant pas été régulier comme le montre la Figure 2 qui représente la température moyenne mondiale de 1901 à 2016. Après une phase de réchauffement au cours de la première moitié du siècle, la température est restée relativement stable jusqu'au milieu des années 1970 avant de ré-augmenter.

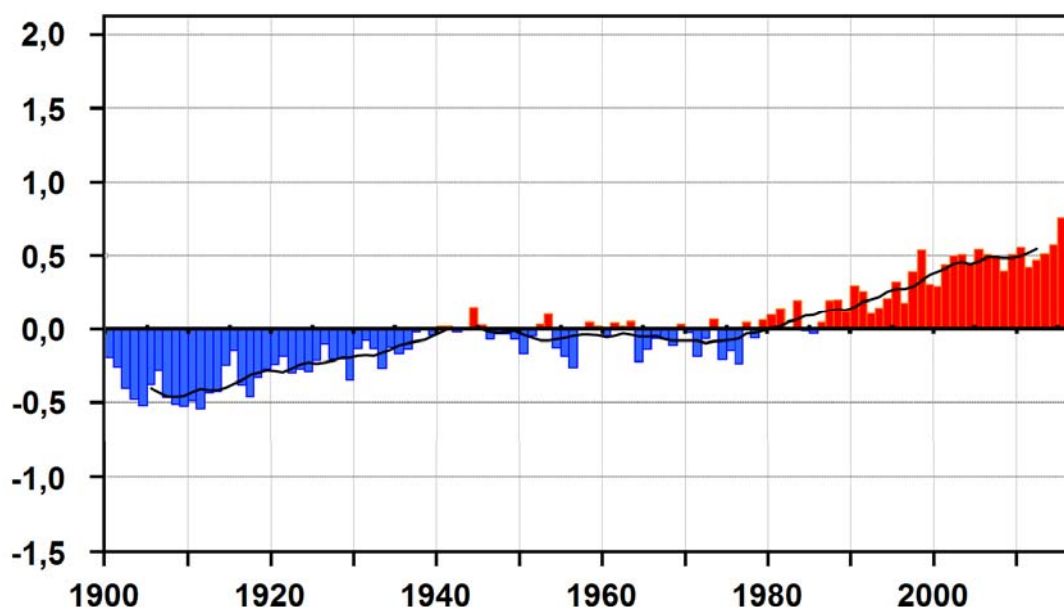


Figure 2 : évolution de la température moyenne mondiale sur la période 1901-2016 en degré Celcius.

Les valeurs annuelles reproduites sont des écarts à la moyenne de 1961-1990 calculés à partir des données de l'Université d'East Anglia (Grande-Bretagne). Le trait continu noir représente l'évolution des moyennes sur des périodes glissantes de 10 ans.

Sur la même période, l'augmentation du volume des océans due à leur réchauffement, la fonte des glaciers continentaux et plus récemment celle des calottes polaires, expliquent une augmentation du niveau moyen de la mer de l'ordre d'une vingtaine de centimètres (Cazenave *et al.* 2015). Combinant l'ensemble des observations acquises, les experts du GIEC concluent à « un réchauffement climatique sans équivoque » et au fait que « depuis les années 1950, beaucoup des changements observés sont sans précédent depuis des décennies jusqu'à des millénaires » (GIEC 2013).

Jusqu'au début du siècle dernier, les évolutions climatiques du dernier millénaire sont essentiellement expliquées par des facteurs naturels (Khodri *et al.* 2015). A cette échelle de temps, les effets sur le climat des variations des paramètres orbitaux de la terre sont faibles. Par contre, la variation de l'irradiance solaire⁷, la variabilité volcanique et la variabilité interne du climat expliquent l'essentiel des évolutions de la température observées sans qu'il soit possible d'évaluer avec précision chacune des contributions. Les simulations réalisées au moyen de modèles climatiques qui prennent en compte ces facteurs naturels permettent, comme on le voit sur la Figure 4, de reproduire le passage de la période de l'anomalie climatique médiévale à celle du petit âge glaciaire ou l'effet de refroidissement lié aux éruptions volcaniques comme celle du Tambora (Indonésie) en avril 1815.

Par contre, ces facteurs naturels ne peuvent pas expliquer le réchauffement climatique depuis 1950, qui a notamment coïncidé avec une relative stabilité de l'irradiance solaire. Il faut en chercher l'origine dans les activités humaines au travers de l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre liée à l'utilisation des combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel) et aux changements d'utilisation des terres (déforestation, etc.) (GIEC 2013) (Figure 3).

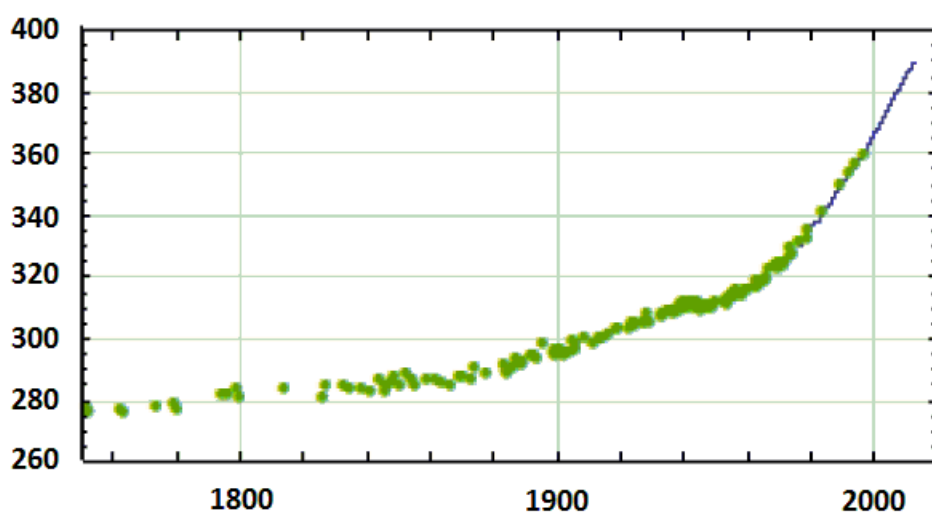


Figure 3 : variations de la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone (CO₂) en ppm, de 1750 à 2012.

Elle sont déduites de l'analyse des carottes de glace (en vert) et d'observations atmosphériques directes (en bleu) (Ciais *et al.* 2013).

Les concentrations atmosphériques du dioxyde de carbone (CO₂), du méthane (CH₄) et de l'oxyde nitreux (N₂O) ont augmenté pour atteindre des niveaux sans précédent depuis au moins

⁷ Quantité d'énergie radiative provenant du soleil reçue par une surface de 1 m² au sommet de l'atmosphère. L'irradiance solaire totale varie à toutes les échelles de temps, mais oscille en moyenne autour de 1 361 W/m² environ.

800 000 ans (GIEC 2013). La Figure 3 illustre cette augmentation pour le CO₂ dont la concentration a augmenté de plus de 40 % depuis le début de la période industrielle.

Les preuves d'un lien de cause à effet entre l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère et le réchauffement climatique récent sont apportées par la modélisation climatique. Le rôle des activités humaines sur les changements climatiques récents a ainsi pu être évalué (Planton *et al.* 2015-a). À titre d'illustration, la Figure 4 montre que les simulations climatiques ne prenant en compte que les facteurs naturels climatiques ne permettent pas de reproduire l'observation du réchauffement mondial après 1950, au contraire des simulations prenant aussi en compte l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre et les particules en suspension d'origine humaine. En faisant la synthèse de l'ensemble des études existantes, les experts du GIEC concluent que « l'influence humaine sur le système climatique est claire ». Ils concluent aussi qu'« il est extrêmement probable que l'influence humaine a été la cause dominante du réchauffement observé depuis le milieu du XX^e siècle » (GIEC 2013). À ce jour, il est aussi possible d'affirmer que le réchauffement climatique a changé la fréquence de certains extrêmes de température (canicules de 2003 en France, de 2010 en Russie, etc.). C'est aussi probablement le cas pour l'intensité des précipitations extrêmes dans certaines régions. En revanche, on ne peut rien affirmer à ce jour pour le nombre ou l'intensité des cyclones ou des tempêtes.

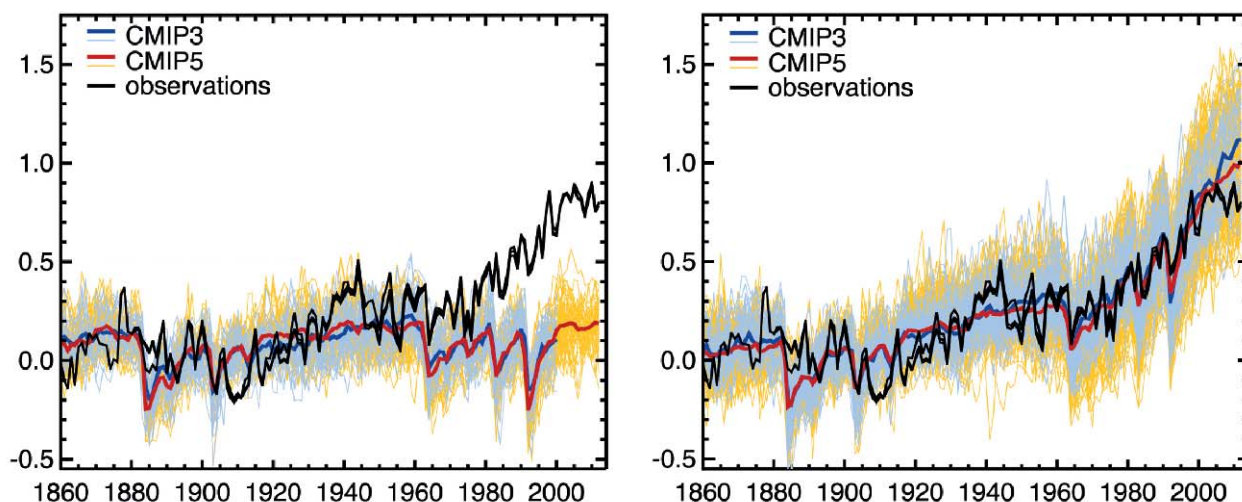


Figure 4 : Evolution de la température moyenne mondiale observée et simulée sur la période 1860-2010 en degrés Celcius.

Les valeurs annuelles reproduites sont des écarts à la moyenne de 1880-1919. Les observations (3 estimations) sont en noir. Les courbes de couleurs correspondent à deux ensembles de simulations (CMIP3 et CMIP5)⁸ avec facteurs naturels seulement à gauche, avec facteurs naturels et d'origine humaine à droite (Bindoff *et al.* 2013).

2.2.2.2 En France

Le réchauffement climatique en France métropolitaine est illustré sur la Figure 5. Par comparaison avec la Figure 4, l'évolution montre une plus grande variabilité de la température d'une année à l'autre et d'une décennie à l'autre. Cependant, la même évolution est observable à l'échelle d'une cinquantaine d'années avec une tendance de 1901 à 2015 de +1,4°C à comparer à la tendance de +0,9°C pour la température moyenne mondiale sur la même période. Le réchauffement est aussi significatif dans les territoires d'outre-mer, même si la période de couverture des observations ne permet en général de ne couvrir que les dernières décennies. Comme à l'échelle mondiale, en

⁸ Coupled Model Intercomparison Project (CMIP), pour projet d'intercomparaison des modèles couplés.

France, le nombre de jours chauds a augmenté et le nombre de jours froids a diminué au cours de la deuxième moitié du XX^e siècle.

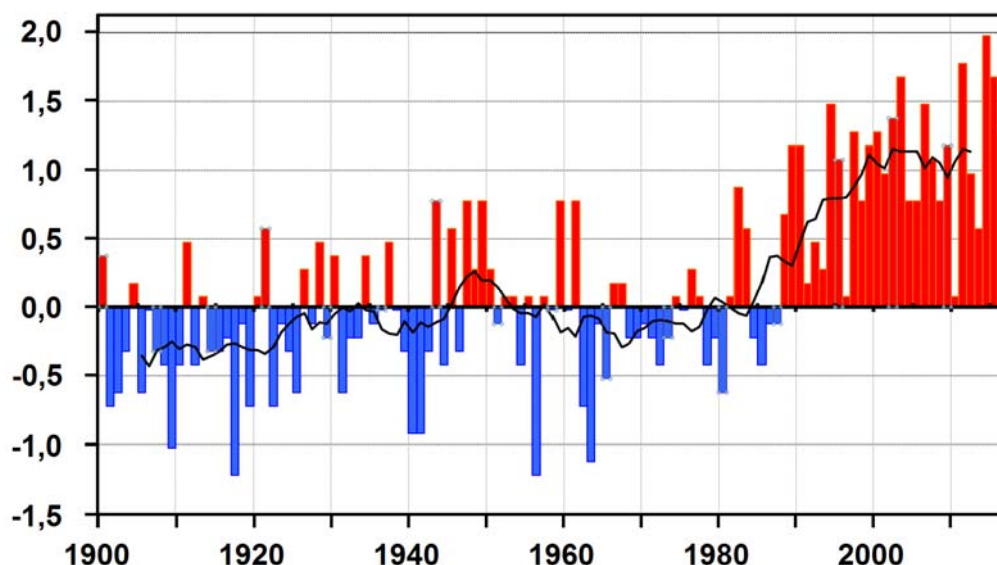


Figure 5 : évolution de la température moyenne en France métropolitaine sur la période 1901-2016 en degré Celcius.

Les valeurs annuelles reproduites sont des écarts à la moyenne de 1961-1990 calculés à partir des données de Météo-France. Le trait continu noir représente l'évolution des moyennes sur des périodes glissantes de 10 ans.

Une analyse récente des précipitations sur la période 1959-2009 (Dubuisson, B., Météo France, communication personnelle) ne montre pas de tendance très marquée même si l'analyse indique généralement une augmentation des précipitations annuelles sur la moitié nord du pays, et une diminution sur les régions méridionales. Ce contraste entre augmentation au nord et diminution au sud se retrouve en été et surtout en hiver. Les précipitations les plus intenses ne montrent pas non plus de tendances très marquées mais une étude récente révèle que le risque de précipitations d'intensité égale ou supérieure aux plus fortes pluies de l'automne 2014 dans les Cévennes pourrait avoir triplé en moyenne depuis 1950 (Vautard *et al.* 2015). Les sécheresses des sols ont par ailleurs sensiblement augmenté en fréquence et en intensité depuis la fin des années 1980 (Planton *et al.* 2015-a).

Enfin, en France métropolitaine, le nombre ou l'intensité des tempêtes varient d'une année à l'autre et d'une décennie à l'autre, mais aucune tendance nette à l'augmentation ou à la diminution ne se dégage depuis les années 1950. On peut donc conclure à l'absence de tendance marquée sur les vents forts en France métropolitaine sur les cinquante dernières années.

Le réchauffement est aussi une réalité outre-mer, même s'il n'est pas toujours possible de l'évaluer avec précision faute de disposer de séries de données homogènes et de longue durée. Le réchauffement est ainsi évalué à environ 1,2°C entre 1965 et 2009 en Martinique, de l'ordre de 0,3°C entre 1969 et 2014 à la Réunion, et d'environ 1,1°C entre 1970 et 2009 en Nouvelle Calédonie. Aucune série homogène ne montre de tendance significative sur les précipitations observées des 40 à 50 dernières années, mais elles présentent une variabilité aux échelles interannuelle et décennale. Par ailleurs, si l'on a observé une augmentation de la fréquence des cyclones les plus intenses depuis 1995 dans les Antilles, aucun constat du même type n'a été fait pour les autres territoires d'outre-mer. Les causes possibles de cette augmentation de fréquence dans les Antilles, et plus généralement de la tendance à l'intensification des cyclones dans l'Atlantique nord tropical depuis les années 1970, sont multiples : variabilité climatique naturelle, réchauffement de la surface océanique dans la région de développement des cyclones (le lien avec l'augmentation des gaz à effet de serre est débattu), variation de la concentration des

particules d'aérosols. L'analyse bibliographique du dernier rapport du GIEC ne fait pas ressortir de cause principale.

Les changements climatiques en France vont donc dans le même sens que les tendances moyennes planétaires, même si quelques spécificités sont notables en ce qui concerne les extrêmes climatiques.

2.2.3 Scénarios du changement climatique futur

2.2.3.1 Les futurs possibles

Deux horizons temporels futurs sont considérés dans ce rapport. Le premier correspond à un horizon de 5 ans que l'on qualifiera de futur proche, et le second à l'horizon 2050 que l'on qualifiera de futur lointain.

Le futur proche

Pour le futur proche, l'évolution du climat moyen n'est pas prévisible au-delà d'une saison à l'avance. La prévisibilité à cette échéance des moyennes saisonnières de températures et de précipitations est meilleure sous les tropiques, en particulier dans les régions d'influence du phénomène de l'ENSO (« *El Niño-Southern Oscillation* ») dont la prévision peut permettre de prévenir des conséquences sanitaires dans les régions d'outre-mer affectées par l'occurrence de ses phases dites positives (*El Niño*) ou négatives (*La Niña*).

Par contre, pour ce qui concerne la France métropolitaine, les études menées sur les étés caniculaires comme celui de 2003 n'ont pas révélé à ce jour un potentiel de prévisibilité de ce type d'événement marquant à une échéance supérieure à quelques jours, c'est-à-dire à l'échelle de temps de la prévision météorologique.

La prévision climatique saisonnière (moyennes sur 3 mois des températures et des précipitations ou prévision d'événements marquants) n'est donc que peu informative pour la France métropolitaine et il en est de même des impacts sanitaires associés à des « anomalies climatiques ». Les progrès de la prévision aux échéances intermédiaires entre la prévision météorologique (quelques jours) et la prévision climatique saisonnière (quelques semaines) laissent cependant entrevoir une amélioration des capacités de prévision jusqu'à deux semaines pour des anomalies climatiques à fort impact potentiel (durée d'une canicule notamment).

Par ailleurs, le climat à l'horizon de 5 ans est peu déterminé par les effets des activités humaines sur le climat. Indépendamment des scénarios d'émission de gaz à effet de serre qui seront explicités par la suite (voir la sous-section sur le futur lointain), la réponse climatique est en effet dominée par la variabilité naturelle du climat.

Le futur lointain

Nous définissons aussi une période de temps d'une trentaine d'année pour rendre compte des caractéristiques de la variabilité climatique à l'horizon 2050. Nous convenons que cette période couvrira les années 2021-2050. Comme précisé dans le contexte de cette section, le choix du scénario d'émissions de gaz à effet de serre anthropiques n'a que peu d'influence sur les futurs climatiques de cette période (voir section suivante). Cependant, afin de mieux prendre en compte les incertitudes des projections climatiques, le climat de cette période sera caractérisé à partir de l'ensemble des scénarios d'émissions disponibles pour cet horizon temporel.

Les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre anthropiques pour le XXI^e siècle sont ceux qui ont été choisis par les experts du GIEC, notamment dans leur dernier rapport (GIEC 2013). Ils comprennent les émissions et concentrations associées dans l'atmosphère de l'ensemble des gaz émis par les activités humaines ayant un effet significatif sur le climat, donc en particulier de

dioxyde de carbone (CO_2), de méthane (CH_4) et d'oxyde nitreux (N_2O). Ils sont aussi accompagnés de scénarios de concentrations de particules en suspension dans l'atmosphère associées à la pollution atmosphérique (sulfatée et carbonée). Enfin, ils prennent en compte les changements d'utilisation des terres associés en particulier à l'activité agricole. La Figure 6 illustre les évolutions des émissions de CO_2 pour ces différents scénarios. Leur nomenclature évoque la modification du bilan énergétique du système terrestre induite par les émissions à la fin du siècle. Le scénario RCP⁹8.5 correspond ainsi à une modification du bilan énergétique de $8,5 \text{ W/m}^2$ en 2100 et le scénario RCP2.6 à une modification de $2,6 \text{ W/m}^2$ (après un pic d'environ 3 W/m^2 atteint autour de 2040). Les changements de température probables (2 chances sur 3) à la fin du siècle par rapport à la moyenne de la période 1850-1900 ont été calculés à partir de 30 à 40 modèles climatiques simulant la réponse du climat aux changements de concentration des gaz à effet de serre et des particules dans l'atmosphère et, éventuellement, aux changements d'utilisation des terres. Le réchauffement moyen planétaire en 2100 serait ainsi de l'ordre de 4°C avec le scénario d'émissions RCP8.5, soit un écart comparable à celui qui sépare une période glaciaire d'une période interglaciaire (voir section 2.2.2.). Par contre, le réchauffement moyen planétaire avec le scénario RCP2.6 serait probablement inférieur à 2°C (GIEC 2013).

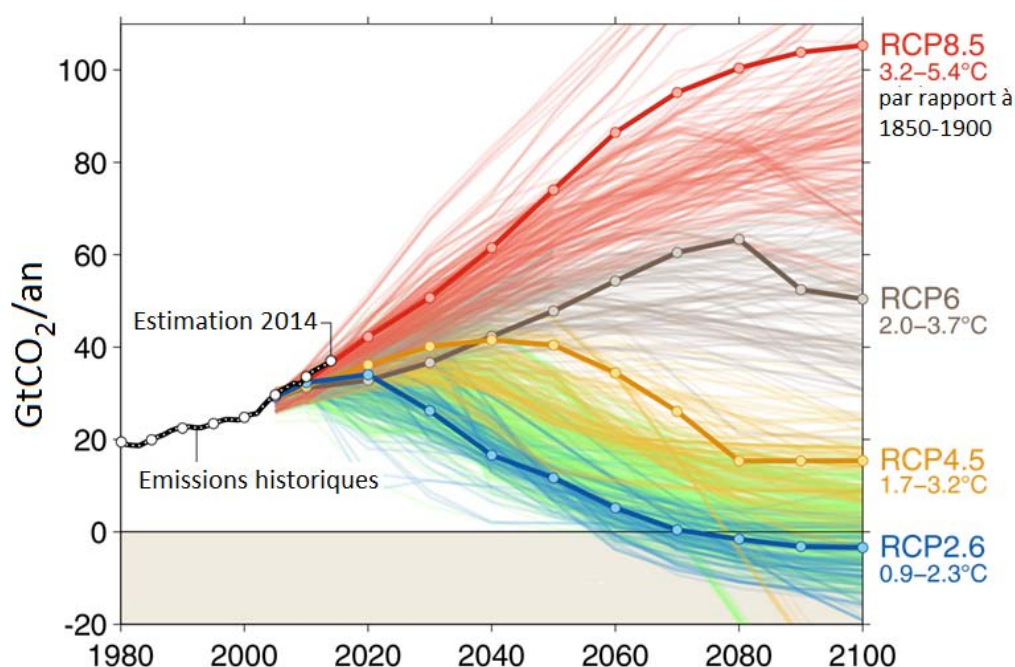


Figure 6 : émissions annuelles de dioxyde de carbone (CO_2) dues à la combustion des combustibles fossiles et à la production de ciment exprimées en milliards de tonnes (Gt).

Les émissions historiques sont déduites d'observations et la dernière valeur pour l'année 2014 n'est encore qu'une estimation. Les courbes de couleur correspondent à différents scénarios d'émissions dont les 4 retenus par les experts du GIEC en traits plus épais (RCP8.5, RCP6, RCP4.5 et RCP2.6). Les intervalles de température mentionnés en degrés Celsius correspondent au réchauffement planétaire probable attendu en 2100 pour chacun de ces scénarios par rapport à la température moyenne de la période 1850-1900.

Les conséquences climatiques sur le globe terrestre de ces différents scénarios sont détaillées dans le dernier rapport du GIEC et dans de nombreux articles, en particulier celui de Boucher (Boucher *et al.* 2015). Dans ce rapport, l'analyse se concentre sur les changements climatiques en France entre la période de référence choisie (1976-2005) et l'horizon 2020-2050.

⁹ Representative Concentration Pathway pour Évolutions représentatives des concentrations (en CO_2).

2.2.3.2 Les changements climatiques futurs en France

Les changements climatiques futurs en France sont précisés grâce à l'utilisation de simulations réalisées à partir de modèles climatiques dits « régionaux ». Ces modèles ont la particularité de couvrir un domaine limité (en l'occurrence l'Europe) avec une plus grande précision (typiquement sur une grille dont la maille est d'environ 12 km de côté) que les modèles climatiques globaux utilisés pour les simulations climatiques du dernier rapport du GIEC (typiquement avec une maille de 150 km).

Des simulations du changement climatique en France métropolitaine ont été récemment réalisées avec une dizaine de modèles climatiques régionaux mis en œuvre par la communauté climatique européenne pour deux des quatre scénarios d'émissions définis par le GIEC (RCP4.5 et RCP8.5). Par ailleurs, un modèle climatique régional français mis en œuvre à Météo-France (Aladin-Climat) a été utilisé pour évaluer le changement climatique pour le scénario correspondant au réchauffement probablement limité à 2°C à l'échelle planétaire (RCP2.6 ; voir section 2.2.3.1). Ce même modèle a aussi été utilisé dans quelques simulations des changements climatiques futurs dans les territoires d'outre-mer. Les résultats des simulations sont présentés dans un rapport de l'Observatoire national des effets du réchauffement climatique (Onerc) dans le cadre de la mission « Jouzel » (Ouzeau *et al.* 2014) et sont mis à disposition sur le portail de service climatique national Drias (www.drias-climat.fr). Nous en présentons ici une synthèse.

Les moyennes climatiques en métropole

La Figure 7 reproduit le changement de température moyenne par rapport à la période de référence choisie. Les projections montrent clairement la différence de réchauffement selon les scénarios. Il apparaît notamment que ces différences ne deviennent sensibles que sur la deuxième moitié du siècle, contrairement aux scénarios d'émissions qui divergent bien plus tôt (Figure 6).

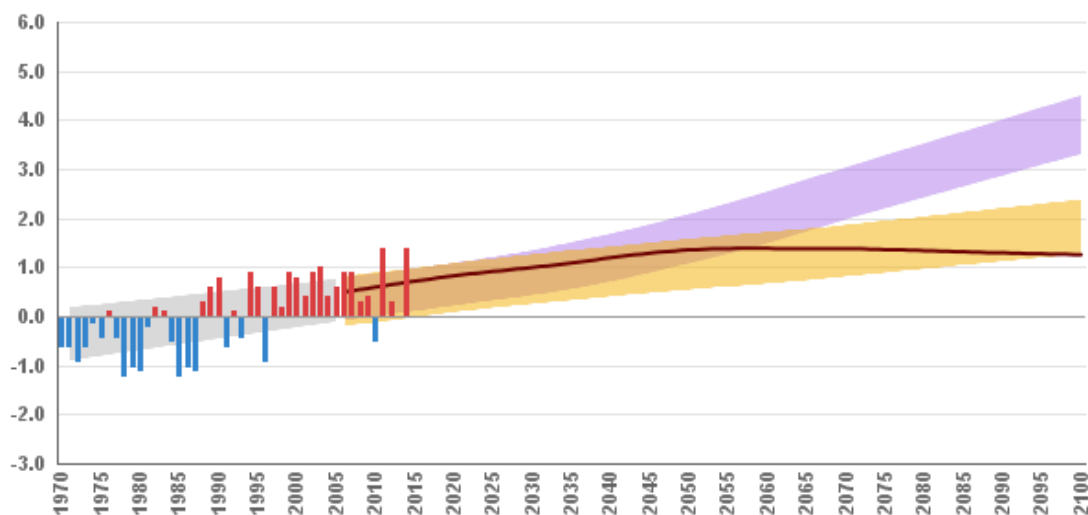


Figure 7 : évolution de la température moyenne en France métropolitaine par rapport à la période de référence 1976-2005 exprimés en degré Celsius.

Les écarts à la référence pour les observations, en bleu/rouge pour les valeurs négatives/positives, sont des moyennes annuelles. Les écarts à la référence simulés, en gris pour la période 1971-2005, en violet pour le scénario RCP8.5, en beige pour le scénario RCP4.5 et en marron pour le scénario RCP2.6, sont « lissés » dans le temps. Les plages colorées correspondent à une combinaison de simulations réalisées à partir d'une dizaine de modèles climatiques régionaux et comprennent 67 % des estimations. Le trait marron ne correspond qu'à un seul modèle (Aladin-Climat).

Cela s'explique par l'inertie de la réponse climatique à l'augmentation des gaz à effet de serre déjà évoquée. Ce rapport se limitant aux conséquences sanitaires des changements climatiques à

l'horizon 2050, il ne sera pas nécessaire de différencier les conclusions selon les scénarios d'émissions futures. De plus, bien que non reproduit sur la figure qui montre des projections moyennes et lissées dans le temps, le climat futur continuera à présenter une variabilité interannuelle et d'une décennie à l'autre comme le climat passé également reproduit sur cette figure (voir aussi la Figure 5).

Tableau 2 : valeurs de référence et changement d'indices climatiques moyennés à l'échelle de la France métropolitaine pour l'année et les saisons d'hiver (décembre, janvier et février) et d'été (juin, juillet et août).

Les valeurs de référence sont des moyennes sur la période 1976-2005. Les changements sont les écarts à ces valeurs de référence pour la période 2021-2050 combinant l'ensemble des simulations de scénarios disponibles¹⁰.

		Année	Hiver	Été
Températures	Référence	10,6	3,9	17,9
Moyennes (°C)	Changement	de +0,9 à +1,4	de +0,7 à +1,5	de +0,9 à +1,6
Précipitations	Référence	2,5	2,8	2,1
Moyennes (mm/jour)	Changement	de 0 à +0,1	de -0,1 à +0,3	de -0,2 à +0,1

Le Tableau 2 montre qu'à l'échéance qui nous intéresse ici (2021-2050), le réchauffement par rapport à la période de référence (1976-2005) serait du même ordre de grandeur que le réchauffement observé sur la période 1901-2015 (de 0,9°C à 1,4°C comparé à 1,4°C). Le réchauffement s'accélère donc en ce début de XXI^e siècle. Ce tableau montre aussi que le réchauffement serait un peu plus important en été qu'en hiver. Le réchauffement devrait être aussi plus marqué dans le Sud-Est de la France (Ouzeau *et al.* 2014).

Ce même tableau met en évidence que les précipitations moyennes varient peu en restant typiquement dans un intervalle de plus ou moins 10 % par rapport à la valeur moyenne du climat de référence. Les changements les plus notables se produisent en fait au-delà de 2050, avec le scénario d'émission le plus sévère et principalement en été (diminution des précipitations non montrée). Cette stabilité des précipitations moyennes ne signifie cependant pas que l'effet du changement climatique sur l'hydrologie est négligeable en France à l'horizon auquel on se place. Nous allons en effet voir que les extrêmes hydrologiques sont affectés par le changement climatique.

Les extrêmes météorologiques et climatiques en métropole

À l'horizon 2020-2050, par rapport à la période 1976-2050, les vagues de chaleur estivales deviendront à la fois plus fréquentes, plus longues et plus intenses avec le changement climatique. Les pics de chaleur pourront atteindre des niveaux plus élevés. On s'attend ainsi à ce qu'il y ait de l'ordre de deux fois plus de jours de vagues de chaleur, tous scénarios confondus. Le quart Sud-Est de la France devrait connaître des évolutions plus marquées que les autres régions avec un nombre de jours de vagues de chaleur annuel pouvant augmenter de 5 à 10 en moyenne là où la moyenne de la période de référence est de l'ordre de 1 à 3 jours (Ouzeau *et al.* 2014). Un épisode tel que celui de l'année 2003, qui a touché l'ensemble de la France métropolitaine, pourrait se produire mais il resterait exceptionnel à cet horizon temporel (au contraire de ce qui pourrait se passer vers la fin du siècle avec le scénario RCP8.5) (Ouzeau *et al.* 2016).

¹⁰ Les intervalles incluent la moitié des valeurs calculées à partir de l'ensemble des simulations des 10 modèles disponibles pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5, ainsi que les valeurs calculées à partir des simulations du seul modèle disponible pour le scénario RCP2.6.

À l'inverse, le changement climatique s'accompagnera d'une moindre sévérité des extrêmes froids (Peings, Cattiaux, et Douville 2013). Les périodes de vagues de froid seront moins fréquentes, moins longues et moins intenses. Le nombre de jours particulièrement froids, de l'ordre d'une dizaine en moyenne hivernale sur la plupart des régions, pour la période 1976-2005, se trouverait ainsi réduit de 2 à 4 jours voire de 6 jours sur le Nord-Est du pays (Ouzeau *et al.* 2014).

Une autre évolution notable attendue est celle des sécheresses agricoles (définies par un déficit d'humidité du sol superficiel) qui devraient être plus longues et plus intenses. Une sécheresse exceptionnelle similaire par exemple à celle de l'année 1990 pourrait être fréquemment dépassée (Soubeyroux *et al.* 2012). Ce constat ne s'explique pas par une augmentation de la fréquence des épisodes de sécheresse météorologique (définie par un déficit de précipitations), mais principalement par une augmentation de l'évapotranspiration¹¹ en surface liée au réchauffement.

Les évolutions attendues pour les pluies extrêmes sont quant à elles très variables géographiquement. Une tendance générale se dessine cependant avec une augmentation de la variabilité des pluies se traduisant par une augmentation de la quantité de pluie tombant au cours des épisodes les plus extrêmes (Ouzeau *et al.* 2014).

À l'exemple de ce qui a été observé au cours des dernières décennies, les épisodes de tempêtes ne montrent pas, quant à eux, de tendance notable à l'horizon 2050, qu'il s'agisse de leur fréquence ou de leur intensité (Boucher *et al.* 2015). Pour compléter ce panorama des manifestations du changement climatique sur les événements météorologiques et climatiques extrêmes, il convient aussi d'évoquer le cas de phénomènes météorologiques peu étendus, non nécessairement extrêmes, mais potentiellement dangereux comme les orages, associés à de la grêle et à la foudre, ou encore les mini-tornades. En l'état actuel des connaissances, les projections climatiques restent à une échelle trop grossière pour pouvoir traiter ce type de phénomène et aucune conclusion ne peut donc être tirée en ce qui les concerne.

Le changement climatique futur outre-mer

Le réchauffement simulé en 2021-2050 par rapport à la période de référence de 1976-2005, mais sur la base d'un seul modèle climatique, serait de l'ordre de 0,7°C aux Antilles, 0,9°C à la Réunion, 0,7°C à Tahiti et 0,7°C en Nouvelle Calédonie (Ouzeau *et al.* 2014). Il est donc du même ordre que celui qui a été observé au cours des dernières décennies, là où ces observations ont pu être analysées. Les changements de précipitations sont plus incertains, même si une légère tendance à l'assèchement (en période sèche) se dessine en fin de période.

Les études actuelles ne permettent pas de préciser quelle sera l'évolution des événements extrêmes au-delà de l'augmentation attendue des extrêmes chauds qui accompagne toujours un réchauffement climatique moyen. Concernant les cyclones, la dernière synthèse des experts du GIEC conclut qu'un faible degré de confiance peut être accordé à l'évolution des fréquences d'occurrence des cyclones tropicaux à l'horizon temporel qui nous intéresse ici. Quelques études citées dans le rapport concluent cependant à une augmentation de l'intensité des cyclones dans le bassin Nord-Atlantique, qui pourrait donc concerner les Antilles.

2.2.4 Effets directs attendus en France des changements climatiques futurs

Seuls sont traités ici des effets (désignés aussi par le terme « impacts ») directs des changements climatiques susceptibles d'affecter la santé humaine et plus particulièrement des travailleurs exposés. Il s'agit d'événements extrêmes ou soudains de nature non climatique mais influencés par les évolutions climatiques.

¹¹ Quantité d'eau transférée vers l'atmosphère, par l'évaporation au niveau du sol et par la transpiration des plantes.

L'une des conséquences directes du réchauffement climatique global est l'augmentation du niveau de la mer (environ 20 cm depuis 1900). Les effets de certaines tempêtes pourraient ainsi être accentués dans les régions côtières en raison de l'augmentation du risque de submersion (Cazenave *et al.* 2015, Planton *et al.* 2015-b). Il convient toutefois de relativiser l'augmentation de ce risque à l'horizon 2050, puisque l'élévation globale du niveau de la mer attendue à cette échéance est d'une vingtaine de centimètres supplémentaires. Cet ordre de grandeur devrait être sensiblement le même sur nos côtes. Cette augmentation reste donc limitée par comparaison à la surcote produite par un événement du type de la tempête Xynthia qui a pu atteindre localement 1,5 m ajouté à une marée de l'ordre de 6,5 m.

L'augmentation de la variabilité des pluies mentionnée plus haut laisse supposer qu'il pourrait s'ensuivre une augmentation du risque de crues éclair associées aux épisodes de pluies diluviennes des régions méditerranéennes. Ce risque reste toutefois à préciser. À noter que d'après l'étude "Explore 2070, l'intensité des crues pourrait augmenter dans les Cévennes, et dans le Nord-est de la France mais diminuer ou ne pas présenter d'évolution significative sur le reste du territoire (Chazot *et al.* 2012).

Un autre exemple d'impact direct du changement climatique en France est l'accroissement des avalanches de neige humide dans les massifs alpins. En effet, dans le contexte du changement climatique, il est prédit que la neige naturelle va se raréfier mais que l'humidification du manteau neigeux augmentera en fréquence et en altitude. Ces effets pourront entraîner une augmentation de la période à risque d'avalanches de neige humide. Ces avalanches, qui se produisaient essentiellement au printemps, surviendraient à terme pendant toute la période hivernale sous l'influence du réchauffement climatique (Castebrunet *et al.* 2014).

Dans les Alpes, une étude montre que la fréquence des coulées de débris (sortes de coulées de boues) se produisant de mai à octobre, a doublé sur la période 1970-2005 en lien avec le réchauffement et l'augmentation du nombre de jours de pluies intenses (Pavlova *et al.* 2014). Cependant, une étude de Jomelli, portant sur le massif des Écrins à l'horizon de la fin de ce siècle, semble indiquer que cette tendance ne devrait pas se maintenir en toute région ni en toute période, notamment du fait de la sensibilité de la fréquence des événements aux conditions de gel et au retrait des glaciers (Jomelli *et al.* 2009).

La question de l'influence des changements climatiques sur les feux de forêts est quant à elle abordée dans la section 2.3.

À retenir

Le changement climatique planétaire est sans équivoque et il est extrêmement probable que l'influence humaine a été la cause dominante du réchauffement observé depuis le milieu du XX^e siècle.

Au cours des 40 à 50 dernières années :

en France métropolitaine et outre-mer, le réchauffement climatique est aussi avéré mais les précipitations moyennes ne montrent pas de tendances très marquées. Le nombre de jours chauds et les sécheresses des sols ont augmenté et le nombre de jours froids a diminué, mais aucune tendance n'est observable pour les tempêtes ou les cyclones à l'exception de l'Atlantique nord, où une légère augmentation de l'intensité est envisagée dans certaines études.

À l'horizon 2050 :

du fait de l'inertie de la réponse du climat à l'augmentation des gaz à effet de serre, le réchauffement attendu en France ne dépend pas des scénarios d'émissions futurs. Ce réchauffement est du même ordre que le réchauffement observé au cours des 115 dernières années et est un peu plus accentué en été et dans le sud-est de la métropole. Les précipitations moyennes varieront peu.

Les vagues de chaleur estivales deviendront à la fois plus fréquentes, plus longues et plus intenses. À l'inverse, les périodes de vagues de froids seront moins fréquentes, moins longues et moins intenses. Les sécheresses des sols devraient être plus longues et plus intenses. Les évolutions attendues pour les pluies extrêmes sont très variables géographiquement. Cependant, une tendance générale se dessine avec une augmentation de la quantité de pluie tombant au cours des épisodes les plus extrêmes. Les études actuelles ne permettent pas de mettre en évidence une tendance notable sur l'évolution du risque de vent violent lié aux tempêtes ou aux cyclones. En l'état des connaissances actuelles, on ne peut pas non plus tirer de conclusion sur l'évolution de certains épisodes météorologiques potentiellement dangereux comme les orages ou les mini-tornades.

Parmi les événements soudains ou extrêmes directement influencés par les changements climatiques, l'augmentation du risque de submersion est attendue mais reste limitée à l'horizon 2050. Une augmentation des avalanches de neige humide est aussi attendue, mais la fréquence des événements de coulées de débris ne présente pas de tendance marquée. Il en est de même pour l'évolution du risque de crues, même si celui des crues éclair des régions méditerranéennes, qui pourrait augmenter, doit être précisé..

2.3 Changements environnementaux

2.3.1 Contexte

Les changements environnementaux sur notre planète ont des causes et conséquences multiples : croissance démographique, urbanisation, érosion de la biodiversité marine ou continentale, dégradation des sols¹², usage intensif des ressources hydriques, raréfaction des ressources énergétiques, pollution chimique de l'air et de l'eau, et changement climatique. Bien qu'il existe des incertitudes sur l'évolution temporelle de ces changements et notamment à l'horizon 2050, il est tout de même reconnu qu'ils vont majoritairement en s'accroissant (on parle de « *Great Acceleration in human activity since 1950* »). Ils sont ainsi perceptibles à l'échelle globale malgré les efforts importants réalisés ces dernières décennies, notamment en France, pour améliorer un certain nombre de situations, diminuer les sources de pollution (par exemple, baisse importante en 20 ans du dioxyde de soufre (ADEME 2016)), voire restaurer certains paramètres environnementaux ou écosystèmes (par exemple, la restauration écologique autour des terrains miniers en Nouvelle Calédonie) (Dutoit, Buisson, et Mesleard 2014).

Le changement climatique, les changements environnementaux et leurs éventuelles interactions, agissent d'une manière positive ou négative sur la santé des populations humaines. Ils peuvent aussi agir sur d'autres organismes vivants (micro-organismes, végétaux et animaux) qui pourront à leur tour influencer la santé humaine.

Les changements globaux, dont font partie les changements environnementaux, peuvent trouver une expression locale liée d'une part aux spécificités géographiques, climatiques et écologiques du territoire, et d'autre part aux spécificités socio-économiques et sociétales. La France métropolitaine présente à ce niveau des particularités qu'il est fondamental d'identifier pour appréhender les risques sanitaires. Ces particularités sont les suivantes :

- une forte diversité des conditions environnementales liées à la grande hétérogénéité des climats sur le territoire : climats méditerranéen à continental, milieux de plaine et de montagne, diversité des écosystèmes qui en découlent, etc. ;
- un linéaire côtier considérable (plus de 5 000 km de côtes) ;
- une urbanisation importante notamment au niveau du littoral ;
- une dynamique forestière très active, liée à la déprise agricole et pastorale¹³.

Outre-mer, la France présente des situations extrêmement variées, mais où l'urbanisation littorale et l'importance du linéaire côtier sont des éléments essentiels (Moisan *et al.* 2013). Ce point est développé dans le chapitre 5.5.

2.3.2 Différents niveaux d'appréhension

Les 3 sous-chapitres suivants vont s'attacher à présenter les différents types de changements environnementaux observés et/ou attendus.

¹² La dégradation des sols est définie comme un changement dans l'état de santé du sol qui entraîne une diminution de la capacité de l'écosystème à fournir des biens et services pour ses bénéficiaires. (<http://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/fr/>)

¹³ Abandon des terres par l'agriculture et l'élevage extensif.

Ces changements environnementaux peuvent être distingués en fonction de leur niveau de dépendance au changement climatique.

2.3.2.1 Changements peu liés au changement climatique

Trois changements environnementaux majeurs « relativement » indépendants du changement climatique peuvent être identifiés en France :

- (i) l'augmentation des surfaces forestières ;
- (ii) la fragmentation des paysages ;
- (iii) la littoralisation/urbanisation.

Ces changements aboutissent à une augmentation des contacts entre le milieu urbain ou péri-urbain et le milieu forestier, pouvant être à l'origine d'enjeux pour la santé des populations, par exemple de maladies zoonotiques¹⁴.

Augmentation des surfaces forestières

Comme déjà évoqué, l'augmentation des superficies des forêts¹⁵ et des friches liées à la déprise agricole et pastorale est une tendance lourde en métropole. Depuis 1980, l'augmentation des surfaces forestières est de l'ordre de 0,6 % par an, ce qui correspond à plus de 60 000 hectares (ha) de plus chaque année d'après l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN). La superficie forestière en France métropolitaine atteint aujourd'hui 16,7 millions d'hectares soit 30 % du territoire. Ceci est lié principalement à des causes socio-économiques (terres délaissées par l'agriculture et le pastoralisme) mais est sans doute renforcé par l'augmentation de la concentration en CO₂ de l'atmosphère susceptible d'augmenter les performances forestières (Ainsworth et Long 2005). Ainsi, les paysages se modifient rapidement avec cette reforestation. De plus, la structure des forêts elle-même évolue en raison d'un abandon des pratiques sylvicoles et de l'exploitation des forêts, notamment dans le sud de la France (Figure 8).

¹⁴ Les maladies zoonotiques sont des maladies et des infections dont les agents se transmettent naturellement des animaux vertébrés à l'homme, et vice-versa. Ces maladies sont d'autant plus importantes avec l'accroissement de l'interface entre le milieu urbain et le milieu forestier.

¹⁵ Définition d'une forêt selon l'IGN, (anciennement Inventaire forestier national) : est classé en forêt tout territoire occupant une superficie d'au moins 0,5 hectare (50 ares) avec des arbres capables d'atteindre une hauteur supérieure à 5 m à maturité *in situ*, un couvert arboré de plus de 10 % et une largeur moyenne d'au moins 20 mètres.

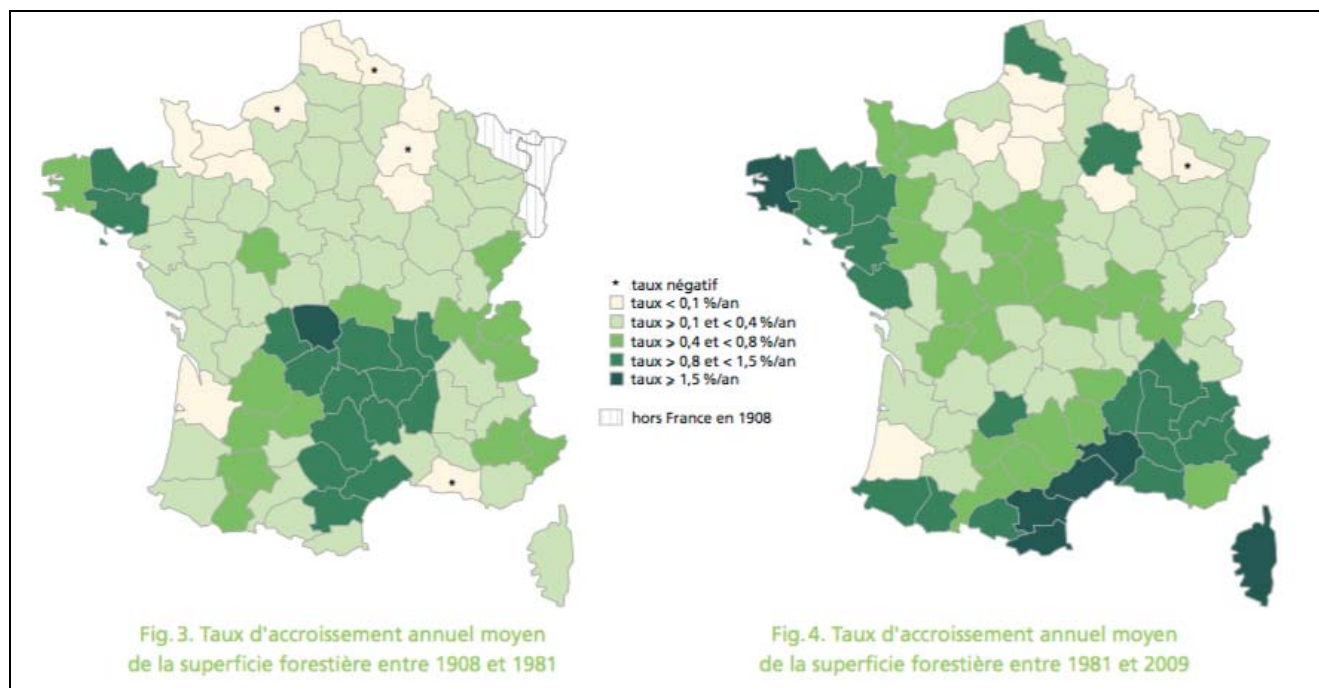


Figure 8 : taux d'accroissement annuel moyen de la superficie forestière en France entre 1908 et 1981 et entre 1981 et 2009 (<http://inventaire-forestier.ign.fr/spip/>).

Fragmentation¹⁶ des paysages

En France métropolitaine, la fragmentation des espaces semi-naturels augmente régulièrement, tandis que la surface totale des milieux naturels terrestres diminue. Les régions de montagne et les grands ensembles forestiers apparaissent comme les moins fragmentés, à l'opposé des régions d'agriculture intensive et des grandes vallées (Chéry et Deshayes 2010). La fragmentation des milieux naturels peut être défavorable à de nombreuses espèces, d'une part à cause de la faiblesse des surfaces accessibles, et d'autre part par l'isolement et le cloisonnement des différents espaces naturels.

Littoralisation et urbanisation

Le littoral français a connu d'importants changements environnementaux. On y retrouve aujourd'hui une densité de population humaine élevée (2,5 fois supérieure à la densité nationale) et une forte pression d'urbanisation. Cette urbanisation se traduit par d'importantes constructions de logements (2,5 fois plus élevée dans les communes littorales) mais également par l'artificialisation¹⁷ des sols (3 fois plus forte dans les communes littorales). Les sols artificialisés s'étendent au dépend principalement des surfaces agricoles, avec 490 000 hectares gagnés entre 2006 et 2014 (Primeur 2015).

¹⁶ Tout phénomène artificiel de morcellement de l'espace, susceptible d'empêcher des espèces animales ou végétales de se déplacer.

¹⁷ Changement complet et souvent irréversible de l'utilisation des terres, pouvant par exemple conduire à une imperméabilisation totale ou partielle de ceux-ci.

Le phénomène de littoralisation¹⁸, cette tendance à la concentration de la population humaine le long d'une bande côtière, engendre une destruction et une fragmentation accélérées des milieux littoraux (Affre *et al.* 2015). Il est par exemple aujourd'hui possible d'observer, dans le Var et les Alpes maritimes, une bande côtière (entre 0 et 1 km) artificialisée à plus de 50 %. De plus, l'élévation en cours du niveau de la mer¹⁹ (*cf.* Chapitre 2.2.) attendue d'ici 2050, qui est associée aux changements climatiques, combinée à l'érosion côtière et à la littoralisation, modifiera le trait de côte (Le Cozannet, Amraoui, et Baills 2015).

L'urbanisation peut également entraîner d'autres changements environnementaux. Tout d'abord, l'urbanisation peut favoriser la création de zones intra-urbaines où la température de l'air est plus élevée qu'aux alentours. Ce phénomène se nomme « îlot de chaleur urbain ». Il est causé par la rétention de chaleur dans le bâti urbain et se traduit par des modifications sensibles du climat local (« topo-climat »), qui impactent sensiblement la température, l'humidité relative ou encore les vents. Les îlots de chaleur urbains sont présents dans les milieux urbains densément bâtis, mais ils affectent aussi toute une zone autour des villes, dont peuvent faire partie les banlieues. Bien qu'indépendants du changement climatique, ils en accentuent les effets par l'amplification des vagues de chaleur dans ces zones urbaines. Le phénomène d'îlots de chaleur peut également être amplifié par les rejets de chaleur provenant des systèmes de climatisation. En effet, des modèles de simulations de températures réalisées sur le territoire de Paris ont mis en évidence que les variations locales de températures qui résultaient des îlots de chaleur étaient proportionnelles à la chaleur sensible rejetée localement (« *sensible heat rejected locally* ») par les systèmes de climatisation (Tremeac *et al.* 2012) et que les rejets de ces systèmes pouvaient augmenter les températures de l'air des rues (« *street air temperature* ») à l'échelle de Paris (de Munck *et al.* 2013).

Une autre conséquence environnementale que l'on peut attribuer à l'urbanisation est l'introduction de nouvelles espèces de plantes allergisantes ou toxiques, dans le contexte de végétalisation des villes (Conseil Economique et Social 2007, Gaston *et al.* 2005, Marco *et al.* 2008) ou encore, de nouvelles espèces animales, particulièrement les NAC (nouveaux animaux de compagnie) dont les risques zoonotiques sont avérés. En effet, les NAC, dont certains sont exotiques, se caractérisent par une proximité élevée avec l'Homme, par une présence à l'intérieur des habitations et la possibilité d'héberger des pathogènes qui ne sont généralement pas rencontrés dans la faune endogène. Cela n'enlève rien aux risques liés à la faune endogène, mais induit des risques liés à des pathogènes nouveaux à l'échelle de cette faune endogène. Cette nouveauté implique d'importantes incertitudes quant à la capacité d'adaptation et de résistances à ces pathogènes exogènes. Ainsi, il a été identifié un certain nombre de zoonoses pouvant être transmises par diverses espèces de NAC, en particulier les zoonoses parasitaires (la cryptosporidiose, les ectoparasitoses (teignes, gales, puces, etc.), la giardiose, l'oxyurose), les zoonoses bactériennes (la salmonellose, la tuberculose, l'ornitho-psittacose) et les zoonoses virales (l'Influenza aviaire, la rage et les fièvres hémorragiques (hantavirus)) (Praud, Dufour, et Moutou 2009). La prolifération de populations de NAC dans les grandes agglomérations européennes (Londres, Bruxelles, Barcelone, etc.) et dans leur périphérie peut engendrer des risques de maladie pour l'Homme (Sa *et al.* 2014). C'est par exemple le cas avec l'écureuil de Corée, présent dans la forêt de Sénart en banlieue parisienne (Marsot *et al.* 2013) qui est un réservoir potentiel du pathogène responsable de la maladie de Lyme.

¹⁸ La littoralisation est la tendance à la concentration de la population humaine et de ses activités le long d'une bande côtière de 50 à 100 km de large à l'intérieur des terres, et allant jusqu'à 12 milles nautiques (22 km) en mer.

¹⁹ À l'échelle mondiale : 20 cm depuis 1900, 20 cm supplémentaires (par rapport à 2000) prévus à l'horizon 2050 (GIEC 2013).

2.3.2.2 Changements partiellement liés au changement climatique

Les changements environnementaux partiellement liés au changement climatique sont des changements générés par les activités humaines, amplifiés par le changement climatique. Ils recouvrent plusieurs grands thèmes :

- (i) l'évolution de la qualité de l'eau ;
- (ii) l'évolution de la qualité de l'air ;
- (iii) l'évolution des pratiques agricoles (de l'artificialisation et l'érosion du sol à l'agriculture biologique et l'agro-écologie²⁰) ;
- (iiii) la modification de la biodiversité : l'introduction d'espèces, l'extension d'espèces et l'extinction d'espèces.

Disponibilité et qualité de l'eau

Le changement climatique va modifier les caractéristiques des précipitations (quantité, fréquence, intensité) mais surtout augmenter l'évapotranspiration en surface et réduire de ce fait, de façon significative, les quantités d'eaux de surface, du sol superficiel sur la profondeur d'enracinement des végétaux, voire des nappes souterraines plus profondes, selon les configurations hydrogéologiques. Ceci va avoir un effet sur les pratiques d'exploitation, sur les usages et sur la qualité des eaux brutes, entraînant une augmentation des risques pour la production et la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine (ECDH) obtenue par des traitements conventionnels.

Les sécheresses agricoles vont s'intensifier sur l'ensemble de la métropole, risquant d'entraîner une restriction de l'accès à l'eau dans certaines régions, qui s'accompagnera vraisemblablement des conflits d'usage. Cela devrait induire des conséquences en agriculture (le principal consommateur d'eau), mais aussi dans l'industrie agroalimentaire (lavage et transformation des produits, lavage des locaux et des matériels, hygiène des personnels, etc.), pour la production d'énergie électrique (barrages, refroidissement des réacteurs nucléaires, etc.) et pour les transports fluviaux.

Pour les lacs et retenues de barrage, les changements prévisibles sont une eutrophisation²¹ plus intense et une prolifération d'algues et de cyanobactéries du fait de températures plus élevées et d'une charge en nutriments (engrais, matière organique, etc.) augmentée après les pluies intenses qui provoquent un ruissellement important. L'augmentation de la matière organique dans l'eau altère la qualité de l'eau traitée par des procédés conventionnels.

Eutrophisation et prolifération d'algues et de cyanobactéries pourraient également concerner les estuaires des petites et moyennes rivières et retentir sur les ressources de la pêche et de la conchyliculture (Anses 2012).

Les systèmes hydrogéologiques côtiers sont caractérisés par une interface eau douce / eau salée. La montée du niveau de la mer, associée à la diminution de la recharge des nappes par augmentation des prélèvements d'eau souterraine et de l'évapotranspiration, sont susceptibles de

²⁰ L'agro-écologie est une façon de concevoir des systèmes de production qui s'appuient sur les fonctionnalités offertes par les écosystèmes, permettant d'assurer une production alimentaire et agricole de manière durable.

²¹ L'eutrophisation est l'enrichissement des eaux par des nutriments, se traduisant par une prolifération des végétaux aquatiques ou des cyanobactéries conduisant à une diminution de la teneur en oxygène des eaux profondes.

provoquer une augmentation de la salinité des eaux douces environnementales, dans certaines configurations hydrogéologiques. Ce phénomène devrait cependant être limité selon le Système d'information pour la gestion des eaux souterraines en Aquitaine²².

En complément des changements climatiques, le futur de l'eau disponible à la consommation va être fortement affecté par des changements démographiques, socio-économiques et technologiques, y compris par des changements de modes de vie (urbanisation, concentration urbaine, demande accrue). Ces changements dans l'utilisation et l'occupation des sols vont fortement influencer les ressources en eau aussi bien sur le plan qualitatif que quantitatif. Dans ce domaine, l'impact des usages agricoles est significatif, avec notamment la pratique croissante de l'irrigation qui modifie les disponibilités des volumes d'eaux (Jiménez Cisneros *et al.* 2014).

Évolution de la qualité de l'air

La pollution atmosphérique induit un risque sanitaire qui concerne l'ensemble de la population, et particulièrement les travailleurs en milieu extérieur. Cette pollution, liée aux activités humaines, est aussi influencée par le changement climatique qui en modifie les conditions d'accumulation dans l'atmosphère et perturbe la chimie de l'atmosphère.

Certaines particules polluantes, identifiées sous le nom de « particules fines » (taille inférieure à 10 µm, qui peuvent ainsi atteindre les bronches), sont regroupées par classes de diamètre (e.g PM10 : moins de 10 µm, PM2.5 : moins de 2,5 µm, PM1 : moins de 1 µm)²³. Elles ont peu d'interactions avec la chimie de l'atmosphère, mais leur accumulation et leur transport dépendent des conditions météorologiques. C'est l'évolution des émissions qui reste le facteur prépondérant sur l'évolution des concentrations. La mise en place de politiques plus strictes devrait alors favoriser leur diminution. Le rôle du changement climatique semble plus limité et pourrait également favoriser la diminution des concentrations en PM10 et PM2.5 par un changement des régimes de précipitation. Cependant, le facteur précipitation restant incertain, il n'y a pas de consensus sur l'impact positif ou négatif du changement climatique qui, dans tous les cas, reste faible (Colette *et al.* 2013, Markakis *et al.* 2016).

Un autre polluant important est l'ozone. Ce dernier n'est pas directement émis mais produit chimiquement dans l'atmosphère (espèce secondaire). C'est une espèce relativement stable, son temps de vie chimique étant typiquement de l'ordre de la semaine. Il est produit essentiellement par réaction photochimique entre les oxydes nitreux (NOx), produits par les activités humaines, et les composés organiques volatils (COV) en présence de chaleur et d'ensoleillement. Les COV, sont à la fois d'origine anthropique et d'origine biogénique, produits par les écosystèmes naturels et agrosystèmes. Les différentes études réalisées sur le sujet concluent que le changement climatique attendu en France, à l'horizon 2050 devrait favoriser la production d'ozone troposphérique en été, en raison de l'augmentation des températures et de la fréquence des vagues de chaleur (Watson *et al.* 2016). De même, même si ce facteur reste très incertain, on s'attend à une production accrue de COV par la végétation au moins jusqu'à l'horizon 2050 et donc à une augmentation du niveau d'ozone. *A contrario*, la législation de plus en plus stricte devrait tendre à réduire les émissions de NOx (Colette *et al.* 2012, Watson *et al.* 2016). En conclusion, le niveau d'ozone devrait, à l'horizon 2050, diminuer en France si une législation stricte sur la pollution de l'air est mise en place. Alors qu'au contraire elle devrait légèrement augmenter en été dans le cas d'une législation plus souple. Les tendances régionales peuvent diverger sans qu'il y ait un accord sur les régions les plus impactées (Glottfelty *et al.* 2016, Lacressonnière *et al.* 2014, Markakis *et al.* 2016). L'évolution de la concentration en ozone en France dépendra aussi des politiques mises en place dans le reste de l'Europe et même au-delà (Chine et États-Unis par

²² <http://sigesaqi.brgm.fr/Impact-du-changement-climatique-sur-les-ressources-en-eau.html>

²³ PM : Particulate Matter pour matières particulaires

exemple). La durée de vie de l'ozone est en effet suffisamment longue pour permettre son transport à longue distance vers la France et venir ainsi s'ajouter à la production locale (Colette et al. 2012).

Pratiques agricoles

La dégradation physique (érosion) et biologique (perte de biodiversité et de fonctionnalité) actuelle des sols, liée à différentes pratiques agricoles (labours, pesticides, etc.) et combinée à des sécheresses récurrentes ou à l'occurrence d'événements extrêmes (orages violents), est encore très prégnante. Elle peut se traduire par une augmentation des poussières minérales dans les secteurs les plus arides, par une aggravation des effets des fortes pluies, telles que des coulées de boue, ou encore par des crues dévastatrices qui sont intensifiées par l'artificialisation des terres et l'urbanisation. Dans ces exemples, la composante socio-économique peut agir en synergie avec le changement climatique pour augmenter les risques environnementaux.

Cependant, les modifications émergentes de l'usage des terres et des pratiques agricoles (label Bio²⁴, agroforesterie²⁵, enherbement²⁶, etc.), dictées à la fois par un respect accru de l'environnement et par la prise en compte de la contribution du sol au cycle du carbone (voir programme « 4/1000 » proposé par le Ministère de l'Agriculture²⁷), devraient entraîner à terme une diminution des impacts négatifs.

Modifications de la biodiversité

Les invasions biologiques, par une espèce exotique envahissante²⁸, sont considérées par de nombreux organismes internationaux, dont l'Union internationale de conservation de la nature (UICN)²⁹, comme la deuxième cause d'appauvrissement de la biodiversité au niveau international, juste après la destruction des habitats.

Les échanges et introductions d'espèces ont existé de tout temps mais se sont accélérés en même temps que l'intensification des flux d'échanges entre les continents et plus généralement la mondialisation. Ces échanges et introductions d'espèces se sont aussi renforcés et consolidés du

²⁴ Le label bio de l'Union européenne est un label certifiant que le produit visé est conforme au règlement sur l'agriculture biologique de l'Union européenne, fondé sur l'interdiction des engrais et pesticides de synthèse.

²⁵ L'agroforesterie est un mode d'exploitation des terres agricoles associant des plantations d'arbres dans des cultures ou des pâturages.

²⁶ L'enherbement est un moyen de protéger les sols de l'érosion et des effets délétères d'une exposition directe à la pluie, au gel et aux UV solaires.

²⁷ Le programme de recherche international « 4 pour 1 000 » a pour objectif d'améliorer les stocks de matière organique des sols de 4 pour 1000 par an. Une augmentation relative de 4 pour mille par an des stocks de matière organique des sols suffirait à compenser l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre de la planète.

²⁸ L'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) définit une espèce exotique envahissante comme « une espèce allochtone (étrangère, ndr), dont l'introduction par l'Homme (volontaire ou fortuite), l'implantation et la propagation menacent les écosystèmes, les habitats ou les espèces indigènes avec des conséquences écologiques, économiques ou sanitaires négatives ».

²⁹ L'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) est une ONG dont les membres sont des gouvernements et des organisations de la société civile. Elle a pour but affiché d'offrir aux organisations publiques, privées et non-gouvernementales les connaissances et les outils nécessaires pour que le progrès humain, le développement économique et la conservation de la nature se réalisent en harmonie.

fait du changement climatique, qui procure des conditions plus propices au maintien ou à l'extension des nouvelles espèces.

Ces nouvelles espèces participent à une modification profonde de la biodiversité mais elles peuvent aussi constituer de nouveaux vecteurs de maladies. Les exemples sont nombreux :

- en Méditerranée, des espèces tropicales en provenance de l'océan Indien ou de l'Atlantique s'introduisent graduellement dans l'ouest du bassin. C'est notamment le cas de *Rhopilema nomadica*, une méduse qui peut causer d'importantes brûlures, et qui vient de s'introduire dans la Méditerranée nord-occidentale ;
- originaire d'Asie, *Aedes albopictus* ou « moustique tigre », un moustique qui peut transmettre de nombreuses maladies virales, a colonisé d'autres continents à partir des années 1980 et a été introduit en Europe (Italie) à partir du début des années 1990. Il est maintenant installé sur le territoire français (dans le sud du pays principalement) depuis 2004 (voir encadré *Aedes Albopictus*). Le risque de contracter la dengue ou le chikungunya, actuellement très limité en Métropole, est donc surveillé de près dès à présent, car ces infections peuvent être transmises par ce moustique.

Ces modifications de la biodiversité peuvent entraîner un affaiblissement chronique d'espèces, voire déboucher sur l'extinction et la disparition totale d'une espèce à la surface de la terre.

Le fonctionnement harmonieux des écosystèmes est lié au maintien d'une biodiversité. Des pertes significatives de biodiversité causées par les activités humaines (destruction des habitats, pollution, eutrophisation, développement des espèces exotiques envahissantes, changement climatique, etc.) peuvent modifier les équilibres écologiques. Par exemple, les pressions qui s'exercent sur les insectes pollinisateurs constituent un risque important à la fois de dégradation de notre environnement mais aussi pour l'alimentation humaine. De manière identique, ces déséquilibres écologiques peuvent favoriser certaines espèces potentiellement nuisibles (allergisante, urticante,...), comme présenté dans l'encadré sur l'ambrosie.

Ambroisie et santé humaine

L'ambroisie est une plante originaire d'Amérique du nord dont le pollen a un pouvoir allergisant particulièrement fort. Cette plante, introduite au milieu du XIX^e siècle, se développe fortement dans le centre de l'Europe mais également en France, actuellement dans le couloir rhodanien. Il s'agit d'un bon exemple d'espèce introduite par l'Homme qui pose un problème de santé publique et profite à la fois du changement climatique et du changement d'utilisation des terres. Elle aime les milieux ouverts et se développe donc préférentiellement sur les terres agricoles. L'accroissement des températures devrait permettre à la plante de s'étendre plus au nord. Dans le même temps, l'accroissement de température devrait permettre, dans les zones où la plante est établie, d'allonger la durée de la saison pollinique ainsi que les quantités de pollens émis. Mais ce point pourrait être partiellement compensé par un accroissement de l'aridité estivale. De façon similaire, l'effet de fertilisation du CO₂ devrait également conduire à une augmentation de la production de pollen par plante. Laguel *et al* 2015 ont ainsi montré qu'à l'horizon 2050 la concentration en pollens d'ambroisie devrait quadrupler (avec une incertitude allant d'un facteur 2 à un facteur 10). La Figure 9 montre le cumul annuel de pollen d'ambroisie dans l'atmosphère aujourd'hui et en 2050 pour un scénario climatique médian (RCP4.5) et une vitesse de dispersion moyenne.

L'étude estime que le changement de concentration est dû pour un tiers à l'invasion de la plante et au changement d'usage des terres, pour un tiers au changement climatique et pour un troisième tiers à l'effet de fertilisation du CO₂. À partir de ces résultats, il a été possible d'estimer l'accroissement de la population européenne qui serait affectée par l'allergie au pollen d'ambroisie, qui passerait de 33 millions à 77 millions en 2050, avec un accroissement relatif plus important dans les zones actuellement peu affectées (cf. Figure 10).

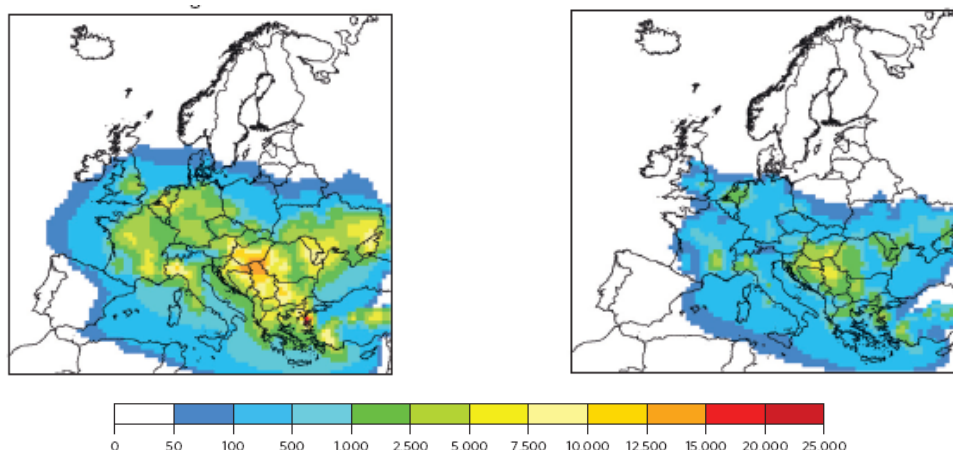


Figure 9 : évolution de la concentration en pollen d'ambroisie en cumul annuel (grain/m3/an) à gauche pour la période actuelle, à droite en 2050

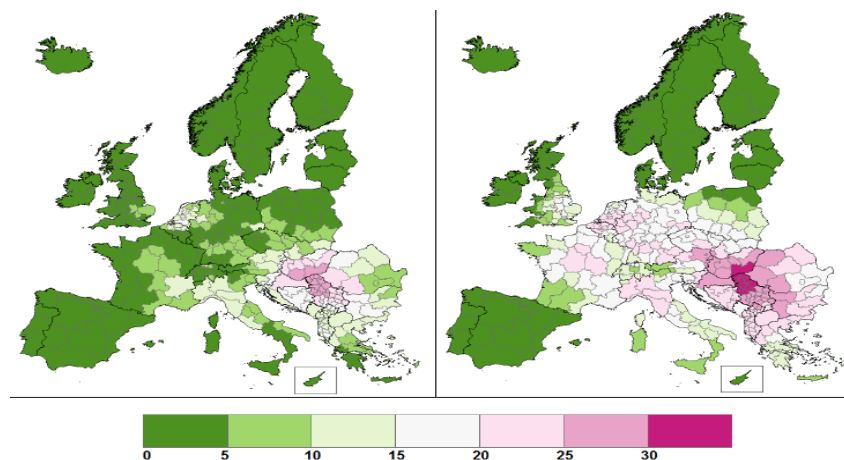


Figure 10 : pourcentage de la population affectée par le pollen (gauche) actuellement (droite) en 2050

2.3.2.3 Changements directement liés au changement climatique

Le changement climatique influence d'ores et déjà de manière directe les écosystèmes, leurs fonctionnements ainsi que les organismes qui les constituent. Cette influence est susceptible de s'accroître à l'horizon 2050.

Un exemple d'effets du changement climatique sur un écosystème est l'élévation du niveau de la mer, dont les conséquences sur la submersion, le trait de côte et la salinisation des nappes des régions côtières ont été abordées précédemment (respectivement dans les sections 2.2.4, 2.3.2.1 et 2.3.2.2).

Par ailleurs, les risques d'incendie de forêt pourraient aussi augmenter du fait du changement climatique. En effet, l'augmentation attendue des zones forestières et des friches et la diminution de leur entretien, combinées à l'augmentation de fortes chaleurs et du risque de sécheresse pourraient entraîner l'augmentation des feux de forêts. Une étude réalisée à partir d'un scénario d'émissions comparable au scénario RCP4.5 a montré que les surfaces forestières les plus sensibles au risque de feu, actuellement localisées dans le Sud-Est de la France, pourraient s'étendre de 30 % à l'horizon 2040 et couvrir une part importante de la forêt des Landes (Chatry *et al.* 2010, Cloppet et Regimbeau 2009). Pour la Corse notamment, ce risque sera accru du fait du développement des zones d'interface forêt-habitat en raison de l'étalement urbain, la population la plus exposée aux incendies de forêts passant de 189 000 personnes à 246 000 (Garbolino, Sanseverino-Godfrin, et Hinojos-Mendoza 2017) à l'horizon 2100.

Les COV, dégagés lors des incendies, accroissent sensiblement les risques pour les pompiers en intervention par un phénomène dit d'embrasement généralisé éclair (EGE) (Annexe 2 – Fiche « Risques d'incendie, d'explosion ») (Courty 2012). L'augmentation de la chaleur et des sécheresses attendues dans le contexte des changements climatiques pourraient aussi engendrer des incendies de récoltes comme ceux vécus en 2003 dans l'Aveyron³⁰ et en 2015 dans l'Eure-et-Loir et la Marne ³¹.

Le changement climatique est aussi susceptible de modifier le fonctionnement des écosystèmes et des organismes qui les constituent, en influençant les relations entre les différents niveaux de la chaîne trophique, et en entraînant des conséquences sur les services écosystémiques. Face à ces perturbations, les organismes végétaux et animaux n'ont que trois possibilités : (i) s'adapter génétiquement ou modifier leurs comportements et leur fonctionnement (accommodation), (ii) modifier leur aire de répartition en fonction de leurs exigences climatiques ou à défaut, (iii) disparaître.

³⁰ D'après la Préfecture de l'Aveyron (26 juin 2003), en quelques jours, la canicule a été à l'origine de plusieurs incendies sur des champs agricoles de moissons. Quarante ha de terres ont été incendiés sur divers sites du département : St Affrique, Naucelle, Requista, Cassagnes-Begonhes. Les conditions de sécheresse excessive, la chaleur des moteurs, la grande combustibilité des chaumes sont autant de conditions qui font des champs de céréales, actuellement en récolte, autant de poudrières (Redac.info est un portail de diffusion d'information ouvert à destination de la presse, des journalistes : <http://www.redac.info/?communiquer=13770>).

³¹ Dans le département d'Eure-et-Loir, 131 départs de feux et 520 hectares de cultures sur pied ou de chaumes ont été détruits entre le 26 juin et le 2 juillet 2015. Les incendies se sont également multipliés dans la Marne. Un phénomène provoqué par la combinaison des fortes chaleurs et une grande sécheresse. La plupart des feux proviennent d'engins agricoles en surchauffe ou du frottement d'une coupe de moissonneuse avec un silex, provoquant une étincelle (Le site « www.pleinchamp.com » s'adresse prioritairement aux agriculteurs : <http://www.pleinchamp.com/actualites-generales/actualites/moisson-attention-aux-departs-de-feu>).

Modifications comportementales et fonctionnelles

Globalement, les phénomènes d'adaptation génétique (transmissible) ou d'accommodation (individuelle) des organismes vivants aboutissent soit à des changements phénologiques soit à d'autres modifications fonctionnelles.

- Changements phénologiques

Une des modifications fonctionnelles des organismes qui est particulièrement visible, concerne leur phénologie (ensemble des apparitions d'événements périodiques du cycle de développement d'un être vivant qui est déterminé par les variations saisonnières du climat).

Ces modifications phénologiques peuvent être dues, par exemple, à une acclimatation liée à la plasticité phénotypique importante des individus (accommodation), comme chez les arbres qui doivent faire face à de nombreuses variations environnementales au cours de leur vie. Dans le cas des organismes à durée de vie courte, ce changement phénologique peut correspondre à une adaptation génétique.

Il existe plusieurs exemples de changements phénologiques actuellement observés en France et en Europe.

Parmi ceux-ci, on note :

- o la période et la durée de la pollinisation de certaines espèces allergènes (Frei et Gassner 2008). Ce point est détaillé dans l'encadré « Phénologie et production du pollen en fonction du changement climatique » ;
- o le changement de la période d'activité de la chenille processionnaire du pin en montant vers les zones froides. En effet, la période d'activité est l'hiver (saison favorable) dans les zones chaudes du sud et dans des zones plus froides (latitude et altitude plus élevée) cette même période est devenue l'été (Santos *et al.* 2011).

- Autres modifications fonctionnelles

D'autres modifications fonctionnelles peuvent aussi survenir chez les organismes vivants suite aux phénomènes d'adaptation ou d'accommodation au changement climatique. Parmi ceux-ci, on retrouve une augmentation de la production de pollen (Frei et Gassner 2008) ou une augmentation de l'allergénicité de ces pollens (Anses 2014, Beggs 2004).

Phénologie et production du pollen en fonction du changement climatique

À partir d'une base de données de pollen de Bouleau collecté à Bâle (Suisse) de 1969 à 2006, Frei et Gassner ont pu mettre en évidence une avancée significative de la date de début de saison de pollen du bouleau en fonction du temps et de la température moyenne, entre le 16 février et le 15 mars (Figure 11).

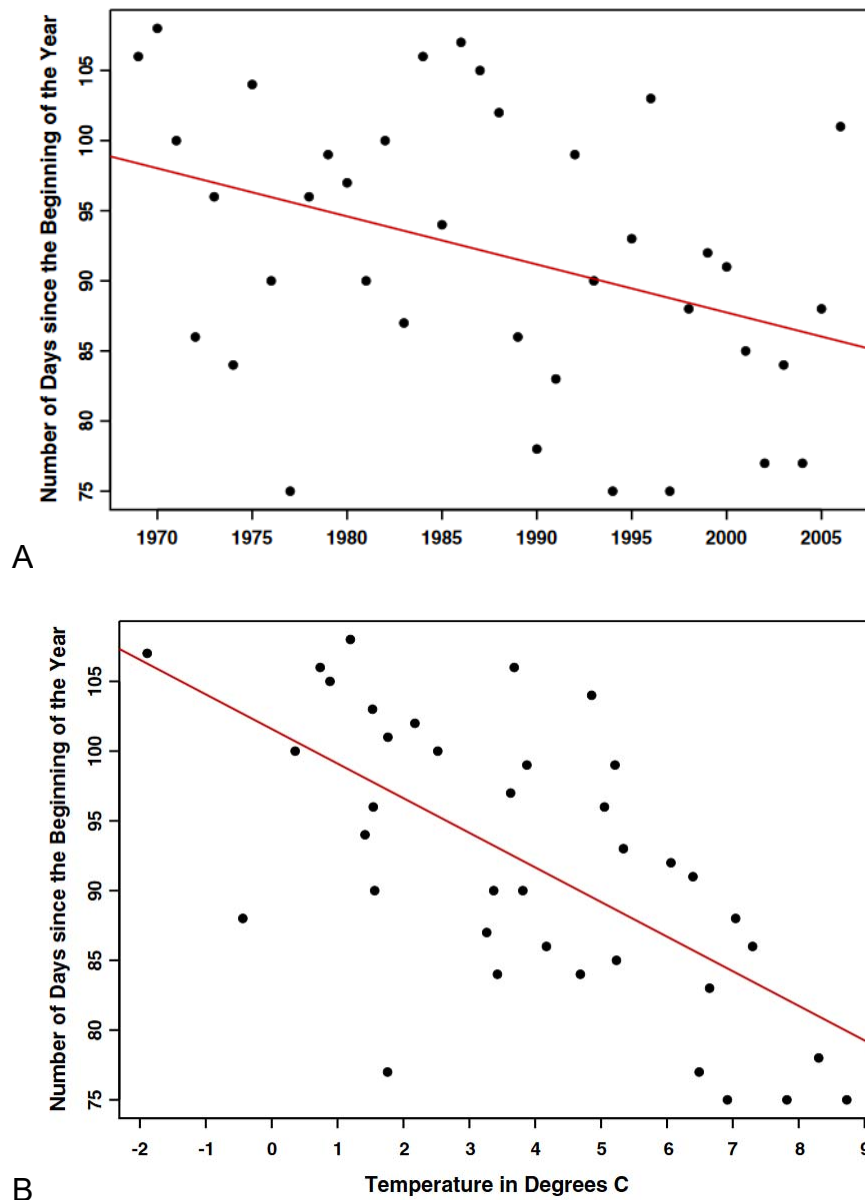


Figure 11 : date de début de saison de production du pollen de bouleau en fonction (A) de l'année, (B) de la température moyenne, entre le 16 février et le 15 mars (Frei et Gassner 2008).

Phénologie et production du pollen en fonction du changement climatique (suite) : une augmentation significative de la production annuelle de pollen de bouleau au cours des dernières années a également pu être mise en évidence (Figure 12).

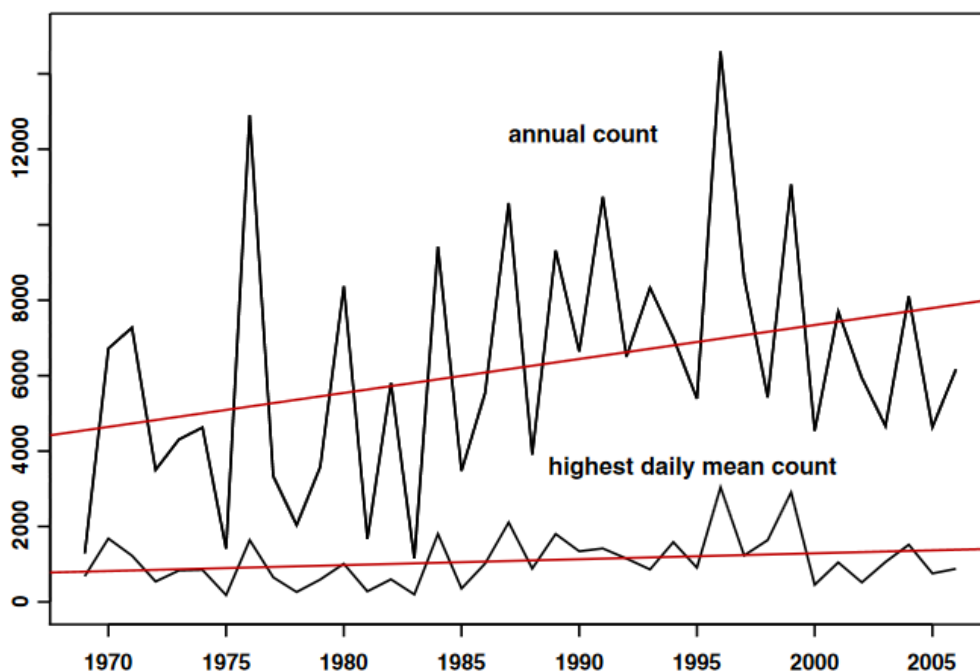


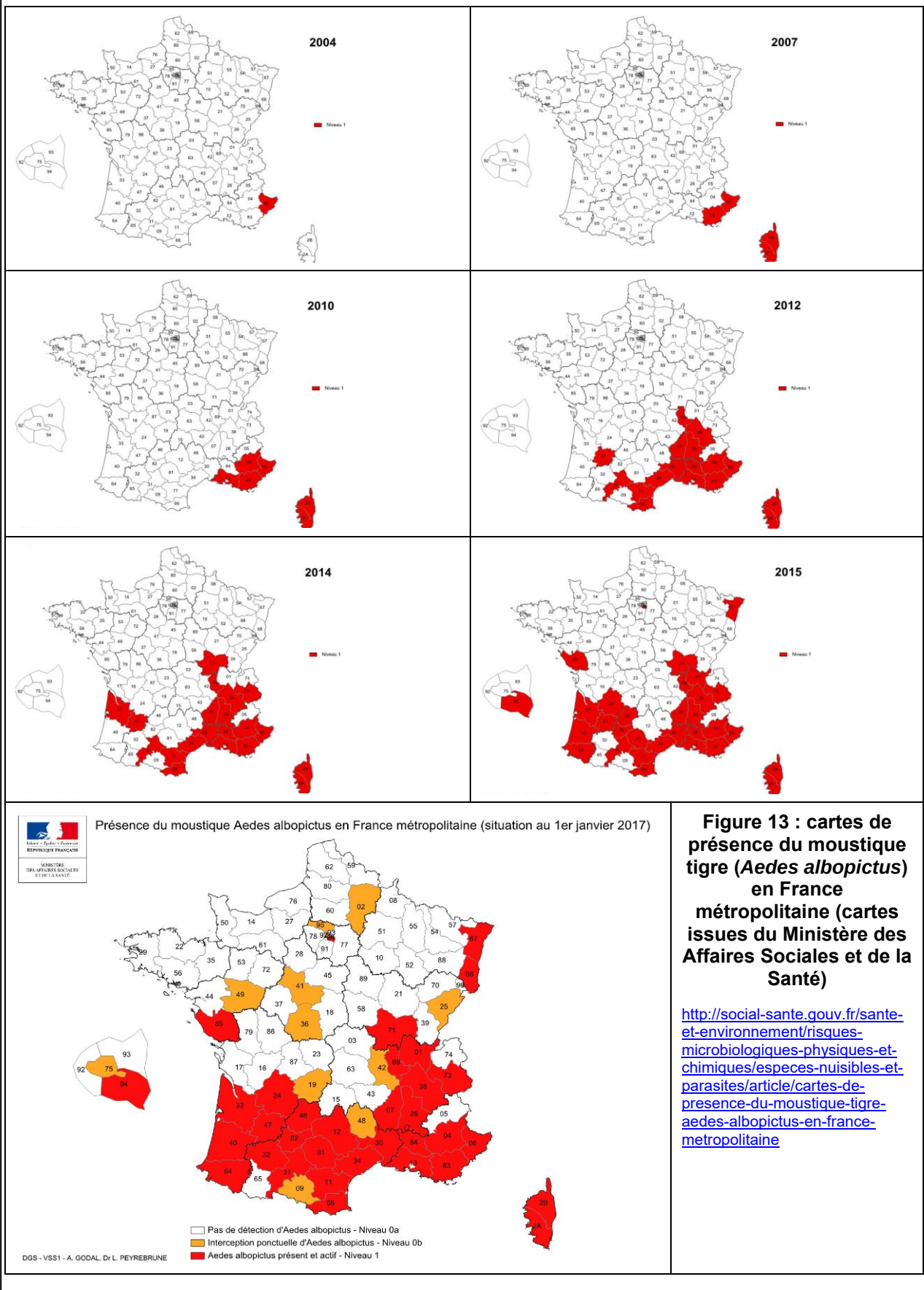
Figure 12 : production annuelle de pollen du bouleau en fonction de l'année (Frei et Gassner 2008) en nombre de particules piégées sur un filtre situé sur un immeuble en Suisse.

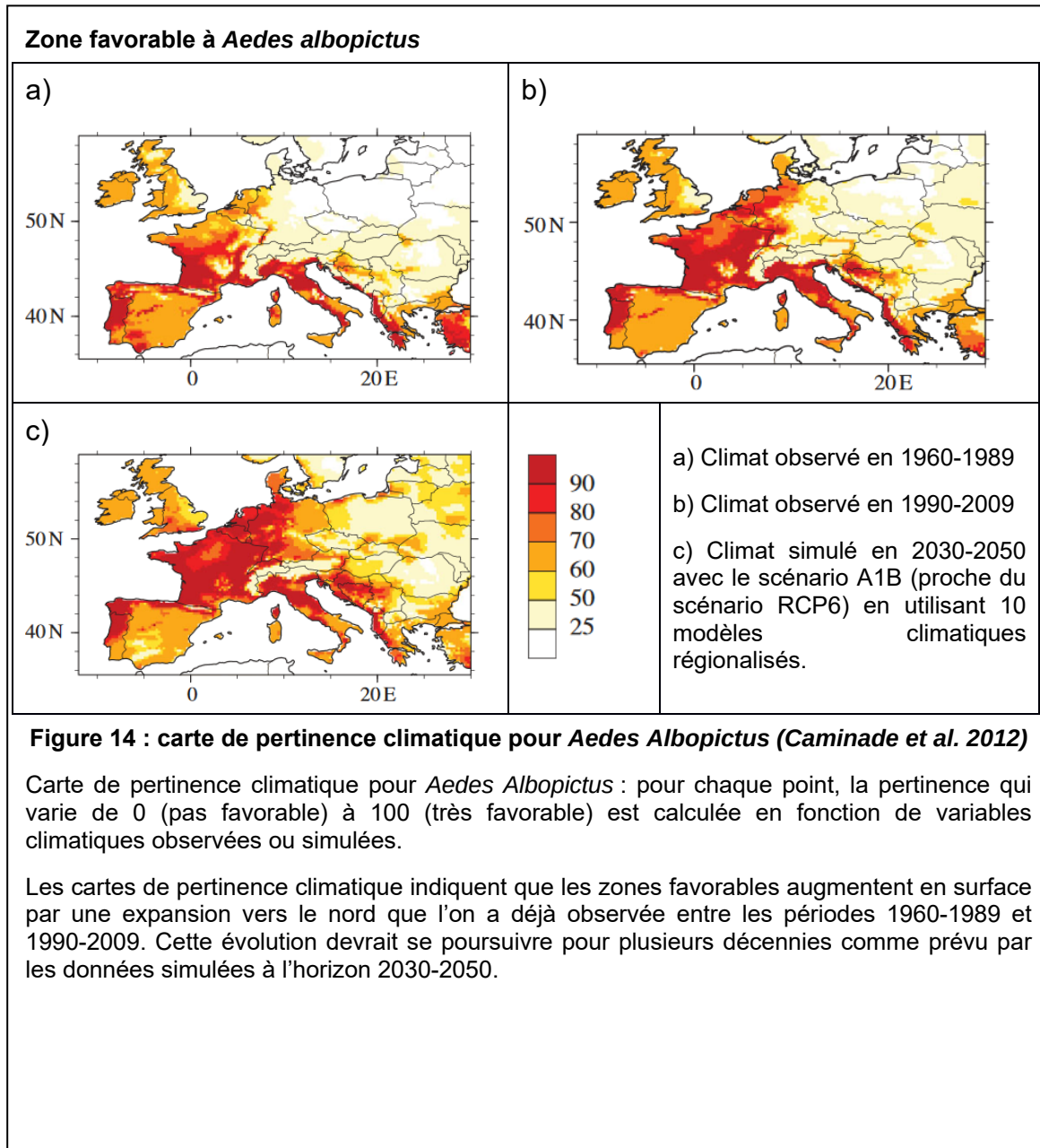
Modification des aires de répartition (colonisation/expansion/migration)

Face aux perturbations climatiques et environnementales, les organismes vivants peuvent modifier, dans la mesure du possible, leurs aires de répartition en fonction de leurs exigences climatiques. Des migrations d'organismes vivants colonisant des contrées qui correspondent à leurs exigences climatiques ont déjà pu être observées chez plusieurs vecteurs de maladie, comme le moustique *Aedes Albopictus* (responsable de la transmission de maladies vectorielles, dengue, chikungunya,...) et la tique *Ixodes ricinus* (responsable de la transmission de la maladie de Lyme) ; (voir l'encadré « Établissement de la tique responsable de la maladie de Lyme au Québec » qui illustre le phénomène de migration de cette tique).

Ainsi, *Aedes Albopictus* conquiert petit à petit l'Europe : l'Albanie à partir de 1979, l'Italie à partir de 1990, la France à partir de 1999. En 2004, ce moustique est bien installé dans les Alpes Maritimes (Medlock *et al.* 2012). La progression en France continue encore aujourd'hui (voir l'encadré « Progression en France d'*Aedes Albopictus* depuis 2004 » et la Figure 13). Elle est favorisée par les voies de communication, par exemple les autoroutes, mais elle est aussi limitée par les climats trop froids (Medlock *et al.* 2012). De plus, compte tenu du changement climatique, les zones favorables augmentent en surface avec une expansion vers le nord déjà observée, et qui devrait se poursuivre (voir l'encadré « Zone favorable à *Aedes albopictus* » et la Figure 14). Par ailleurs, concomitamment au réchauffement climatique, il existe une acclimatation au froid d'*Aedes albopictus* (Romi, Severini, et Toma 2006).

Progression en France d'*Aedes Albopictus* depuis 2004.





Établissement de la tique responsable de la maladie de Lyme au Québec

La maladie de Lyme a été identifiée dans la ville de Lyme (Connecticut) aux États-Unis en 1978. Elle est causée par la bactérie *Borrelia burgdorferi* qui peut être transmise par une tique. En Amérique du Nord, le principal vecteur de cette infection est la tique *Ixodes scapularis*. Cette tique est répandue dans l'est et le centre nord des États-Unis. Dans ce pays, plus de 30 000 cas de maladie de Lyme sont confirmés annuellement (Leighton *et al.* 2012, Ogden *et al.* 2008). Au début des années 1990, une seule population de tiques *Ixodes scapularis* était connue au Canada. Toutefois, l'*Ixodes scapularis* a élargi son territoire à travers le temps pour s'établir graduellement dans plusieurs autres régions du Canada, dont le sud du Québec. Ces tiques sont importées par des animaux comme le cerf de Virginie ou encore par des oiseaux migrateurs, et elles s'établissent dans les régions qui présentent un environnement et un climat propices (Leighton *et al.* 2012).

Il est anticipé que les changements climatiques accéléreront l'expansion géographique de ces tiques en offrant des conditions et des habitats propices aux tiques mais également à leurs hôtes. Des chercheurs canadiens (Ogden *et al.* 2008) ont d'ailleurs modélisé l'évolution de la distribution des *Ixodes scapularis* en considérant l'effet des changements climatiques projetés entre aujourd'hui et 2080 (Figure 15). Les modélisations ont été réalisées sous un scénario lent et un scénario rapide d'établissement des tiques et l'importante expansion des tiques *Ixodes scapularis* a été mise en évidence dans les deux situations.

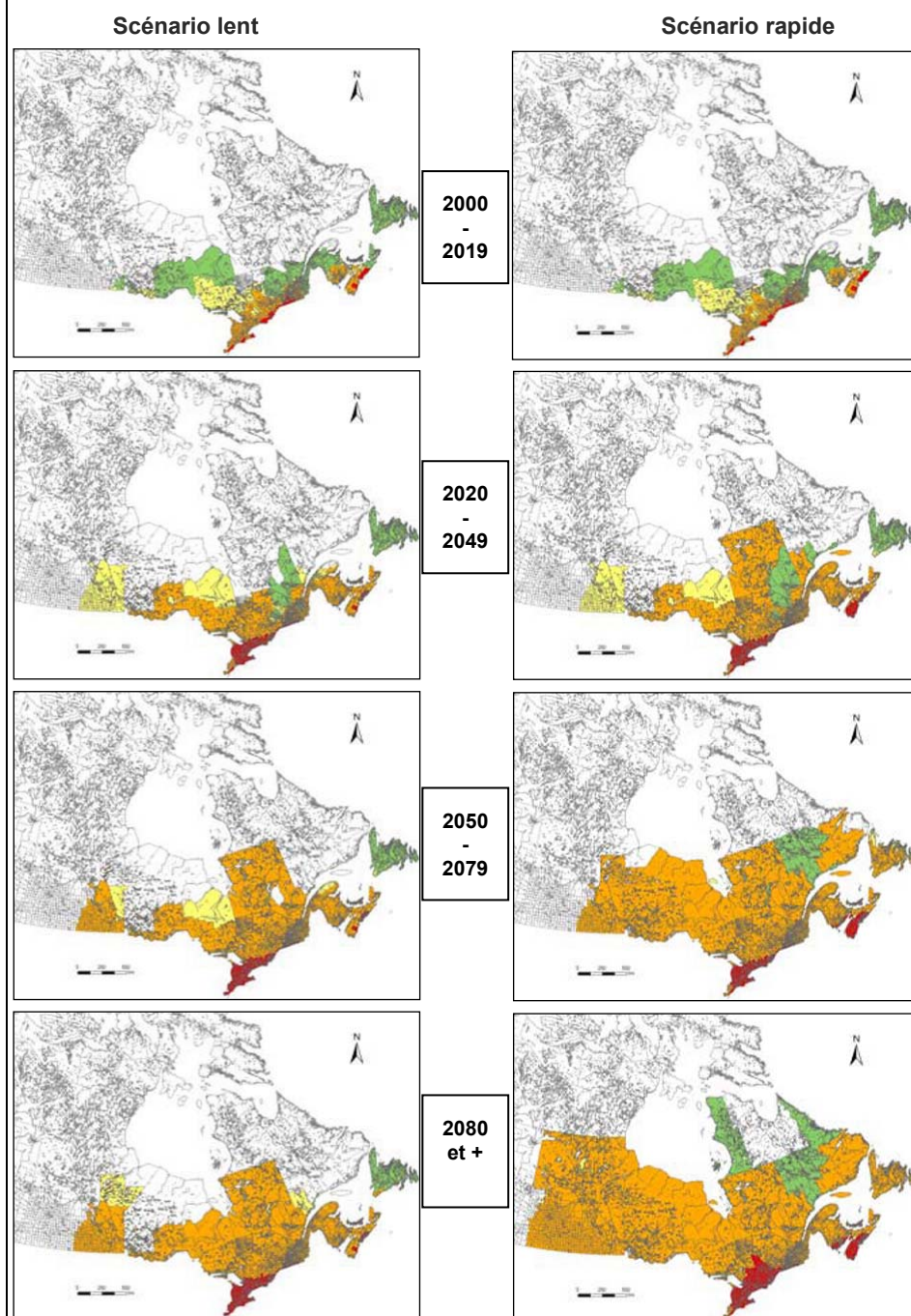


Figure 15 :
modélisation de
l'expansion des
tiques *Ixodes*
scapularis au Canada
entre aujourd'hui (en
utilisant les
moyennes de
températures entre
1971 et 2000) et 2080
(en utilisant les
conditions de
températures prédites
par le modèle
climatique CGCM2
sous le scénario
d'émissions A2,
proche du scénario
RCP8.5) (Ogden *et al.*
2008).

Dans cette figure, les régions à haut risque d'établissement des tiques *Ixodes scapularis* sont en rouge, les régions où le risque d'établissement est modéré sont en orange, les régions où le risque d'établissement est faible sont en jaune, celles où les tiques seront dispersées par les oiseaux migrateurs mais sans risque sont en vert et les régions sans risque prédit sont en blanc.

L'établissement graduel des tiques dans le sud du Québec a aussi récemment été mis en évidence par des chercheurs québécois (Gasmi *et al.* 2016) qui ont évalué le nombre de tiques *Ixodes scapularis* ayant piqué des humains au Québec entre 2009 et 2014 (Figure 16). Dans cette étude, les chercheurs ont non seulement rapporté que le nombre d'*Ixodes scapularis* ayant piqué des humains avait quadruplé en 5 ans, mais ils ont aussi précisé que la prévalence de *Borrelia burgdorferi* au sein de ces mêmes tiques avait triplé sur la même période d'étude, pour atteindre plus de 20 % d'infection dans une région du Québec.

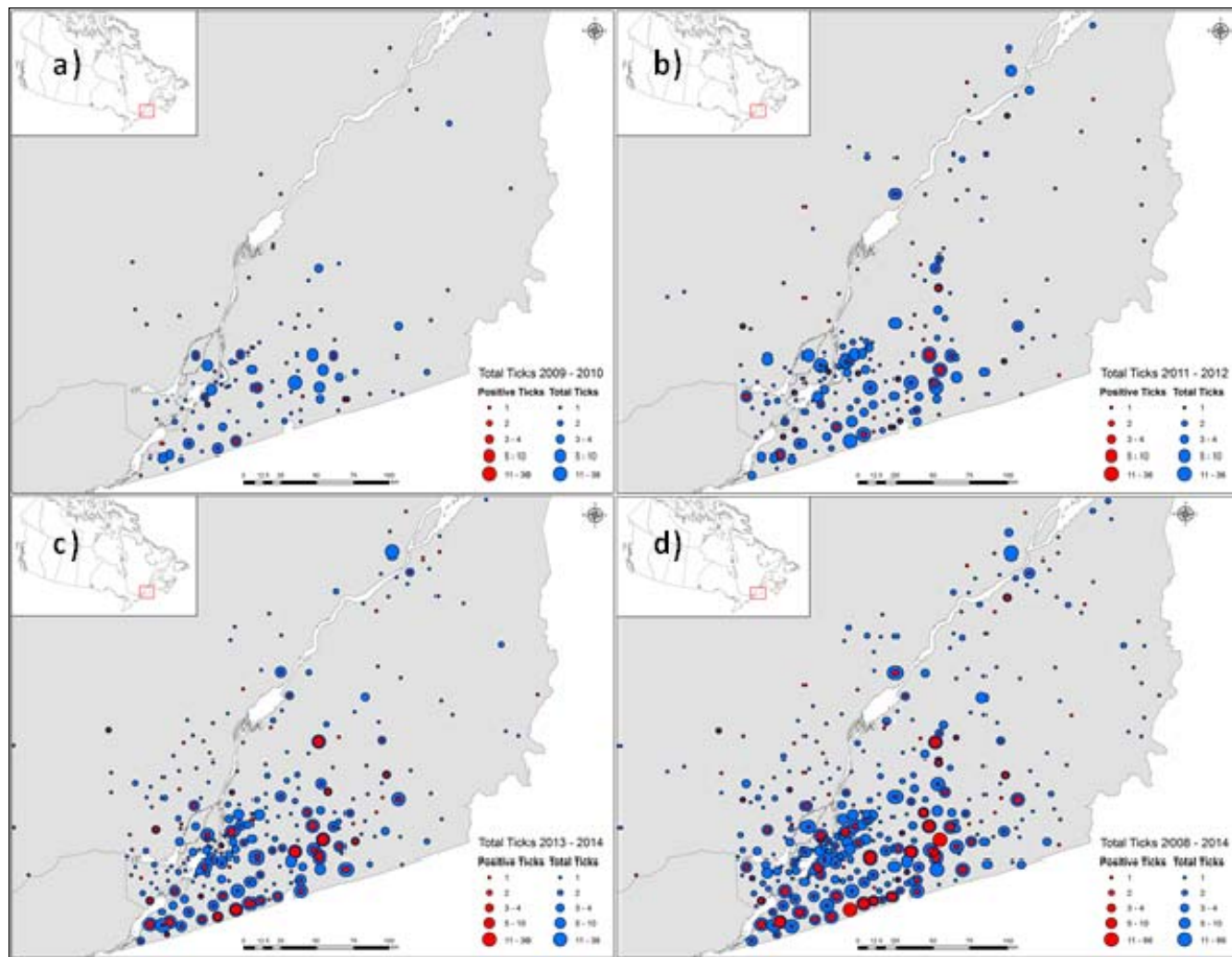


Figure 16 : distribution géographique des municipalités d'origine des tiques *Ixodes scapularis* infectées (rouge) et non-infectées (bleu) ayant piqué des humains au Québec en a) 2009-2010, b) 2011-2012, c) 2013-2014 et d) 2008-2014.

Du côté des organismes végétaux, il est aussi possible d'envisager un remplacement d'espèces si les espèces en place ne peuvent pas s'adapter aux perturbations climatiques et environnementales (Roman-Amat 2007). Un exemple est l'extension vers le nord des espèces sclérophylles (telle que le Chêne vert) et des conifères, traduisant une certaine « méditerranéisation³² » des écosystèmes et des paysages (Ruiz-Labourdette *et al.* 2012).

³² Fait de rendre plus méditerranéen

Diminution des populations animales et végétales et disparition des espèces

Finalement, les modifications climatiques et environnementales peuvent aussi entraîner une diminution des populations et faire disparaître certaines espèces.

Pour illustrer ces situations, le GIEC a estimé des vitesses moyennes de déplacement des climats selon les différents scénarios RCP (voir section 2.2) et les reliefs des territoires et les a comparées aux vitesses maximales de migration de différentes espèces animales et végétales (Figure 17). Cette comparaison a pu mettre en évidence que les vitesses de migration, qui dépendent des caractéristiques intrinsèques d'une espèce, ne seront pas toujours suffisantes pour permettre la survie des espèces face au réchauffement climatique, à défaut d'une intervention humaine.

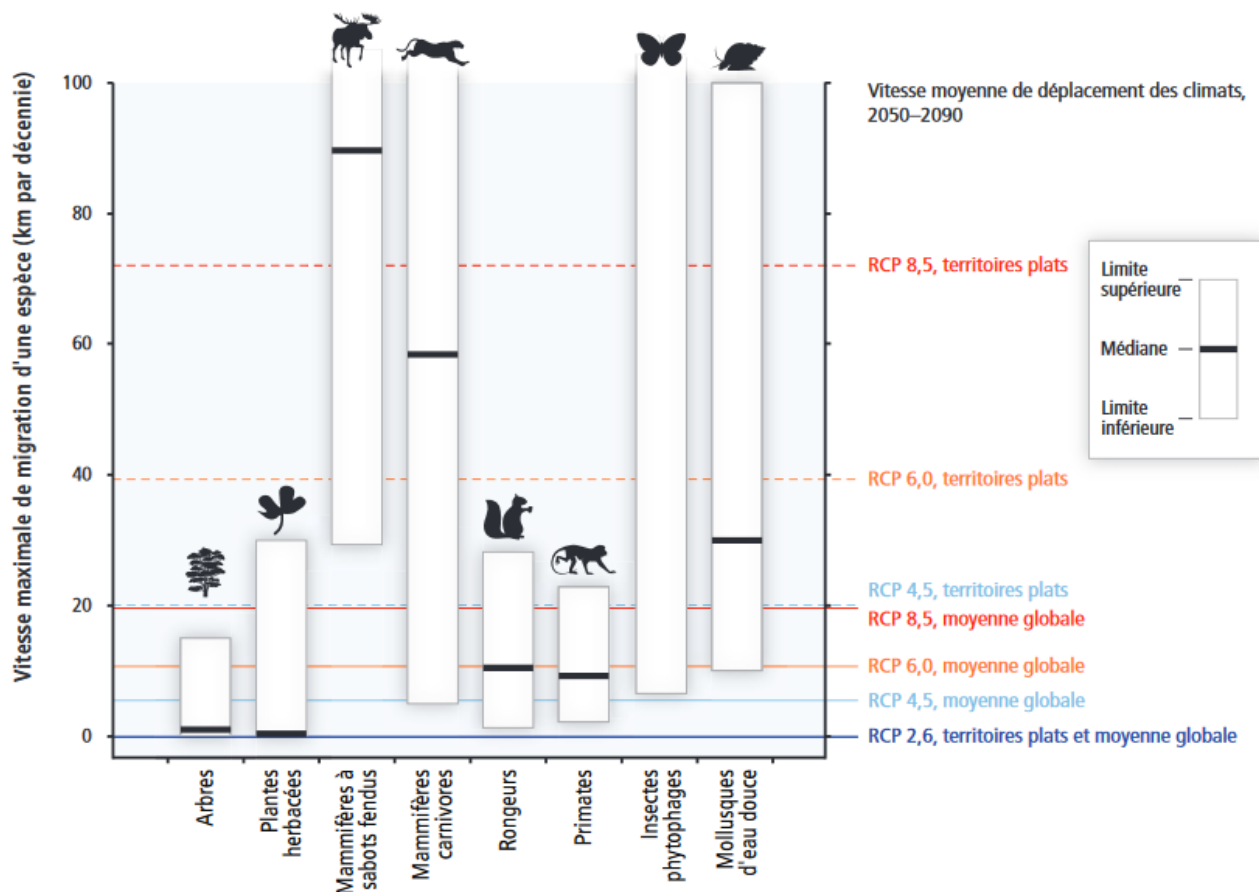


Figure 17 : comparaison de la vitesse maximale de migration des espèces à travers les paysages

Comparaison fondée sur des données d'observation et de modélisation (axe vertical de gauche) et de vitesse d'évolution projetée des conditions de température, vitesse à laquelle on prévoit que les isothermes se déplaceront (axe vertical de droite).

Les interventions humaines, par exemple les transports ou la fragmentation de l'habitat, peuvent considérablement accélérer ou ralentir la migration d'espèces. Les rectangles blancs traversés d'un trait noir indiquent les fourchettes et les médianes des vitesses de déplacement maximales pour les arbres, les plantes, les mammifères, les insectes phytophages (médiane non estimée) et les mollusques d'eau douce. S'agissant des scénarios RCP 2.6, 4.5, 6.0 et 8.5 pour la période 2050–2090, les lignes horizontales indiquent la vitesse moyenne de déplacement des climats sur les terres émergées du globe, et la vitesse de ces déplacements sur les territoires plats. Les espèces dont la vitesse maximale prévue de migration est inférieure aux seuils indiqués ne devraient pas être en mesure de survivre au réchauffement, à défaut d'une intervention humaine (GIEC 2014).

En effet, la rapidité des changements environnementaux en cours va probablement excéder dans certains cas les capacités actuelles d'adaptation des organismes. Il faut donc envisager une augmentation de la fréquence de la mortalité de masse des animaux et des végétaux, liée aux événements extrêmes et à des pollutions diverses accidentelles, des disparitions plus insidieuses au niveau de la biodiversité, y compris celles des plantes et des animaux de zones fraîches, des milieux alpins, etc. La disparition de la dernière population d'une espèce aboutira *de facto* à l'extinction de cette espèce.

À retenir

Le changement climatique, les changements environnementaux et leurs éventuelles interactions, agissent d'une manière positive ou négative sur la santé des populations humaines. Ils peuvent aussi agir sur d'autres organismes vivants (micro-organismes, végétaux et animaux) qui pourront à leur tour influencer la santé humaine.

Les changements environnementaux ont des causes et conséquences multiples : croissance démographique, urbanisation, érosion de la biodiversité marine ou continentale, dégradation des sols, usage intensif des ressources hydriques, raréfaction des ressources énergétiques, pollution chimique de l'air et de l'eau, et changement climatique.

En France métropolitaine, ces changements s'expriment plus ou moins intensément en raison de plusieurs facteurs :

- une forte diversité des conditions environnementales liée à la grande hétérogénéité des climats sur le territoire ;
- un linéaire côtier considérable (plus de 5 000 km de côtes) ;
- une urbanisation importante notamment au niveau du littoral ;
- une dynamique forestière très active, liée à la déprise agricole et pastorale.

Ces changements environnementaux peuvent aussi être distingués en fonction de leur niveau de dépendance au changement climatique.

On peut ainsi distinguer :

1. des changements environnementaux relativement indépendants du changement climatique, tels que l'augmentation des surfaces forestières, la fragmentation des paysages et la littoralisation/urbanisation.

2. des changements environnementaux partiellement liés au changement climatique tels que l'évolution de la qualité de l'eau, l'évolution de la qualité de l'air, l'évolution des pratiques agricoles et la modification de la biodiversité (introduction, extension et extinction d'espèces).

3. des changements environnementaux directement liés au changement climatique : ceux-ci peuvent trouver leur expression au niveau des écosystèmes comme le risque d'incendie ou encore au niveau des organismes qui doivent s'adapter génétiquement ou modifier leurs comportements et leur fonctionnement (accommodation), modifier leur aire de répartition en fonction de leurs exigences climatiques ou à défaut, disparaître.

3 Démarche d'identification des relations entre changement climatique et santé des travailleurs

Ce chapitre décrit la démarche adoptée par le groupe de travail afin d'évaluer l'impact du changement climatique sur la santé des travailleurs. Dans un premier temps, le groupe de travail a recherché les données pertinentes en matière de risques professionnels et de paramètres climatiques et environnementaux (cf. chapitre 2) dans l'objectif d'intégrer l'ensemble des effets du changement climatique sur les travailleurs.

Le préalable à cette démarche a été d'identifier les interactions et les liens entre un risque ou une exposition professionnelle et les conditions climatiques ou environnementales (cf. 3.1). Par la suite, la sélection des données pertinentes a été réalisée en considérant les modifications des variables climatiques attendues à 5 ans ou d'ici 2050 (cf. 3.2). Après avoir ainsi identifié les risques professionnels potentiellement accrus par les changements climatiques et environnementaux, le groupe de travail, en analysant risque par risque les processus d'impact sanitaire, et en dégagant les circonstances d'expositions professionnelles associées, a pu estimer qualitativement l'évolution de ces risques en fonction des projections climatiques disponibles (cf. 3.3).

3.1 Interactions à prendre en compte

L'objectif final de ce travail d'expertise consiste en l'identification des impacts potentiels du changement climatique sur la santé et la sécurité des travailleurs.

L'une des premières questions soulevées par le groupe de travail concerne le caractère plus ou moins direct du lien entre le changement climatique et la survenue d'un effet sanitaire chez le travailleur. En effet, certains paramètres climatiques vont avoir une influence directe sur la santé des travailleurs (température, variation de température, etc.). Les changements environnementaux, qu'ils soient directement ou en partie liés au changement climatique, peuvent également avoir une influence sur la santé des travailleurs. Enfin, des paramètres climatiques ou environnementaux vont pouvoir amplifier certains risques professionnels (gel et précipitations pour les accidents de la circulation, vent pour les chutes, etc.) déjà existants.

La complexité des interactions à prendre en compte a conduit le groupe de travail à les schématiser sous la forme suivante (cf. Figure 18) :

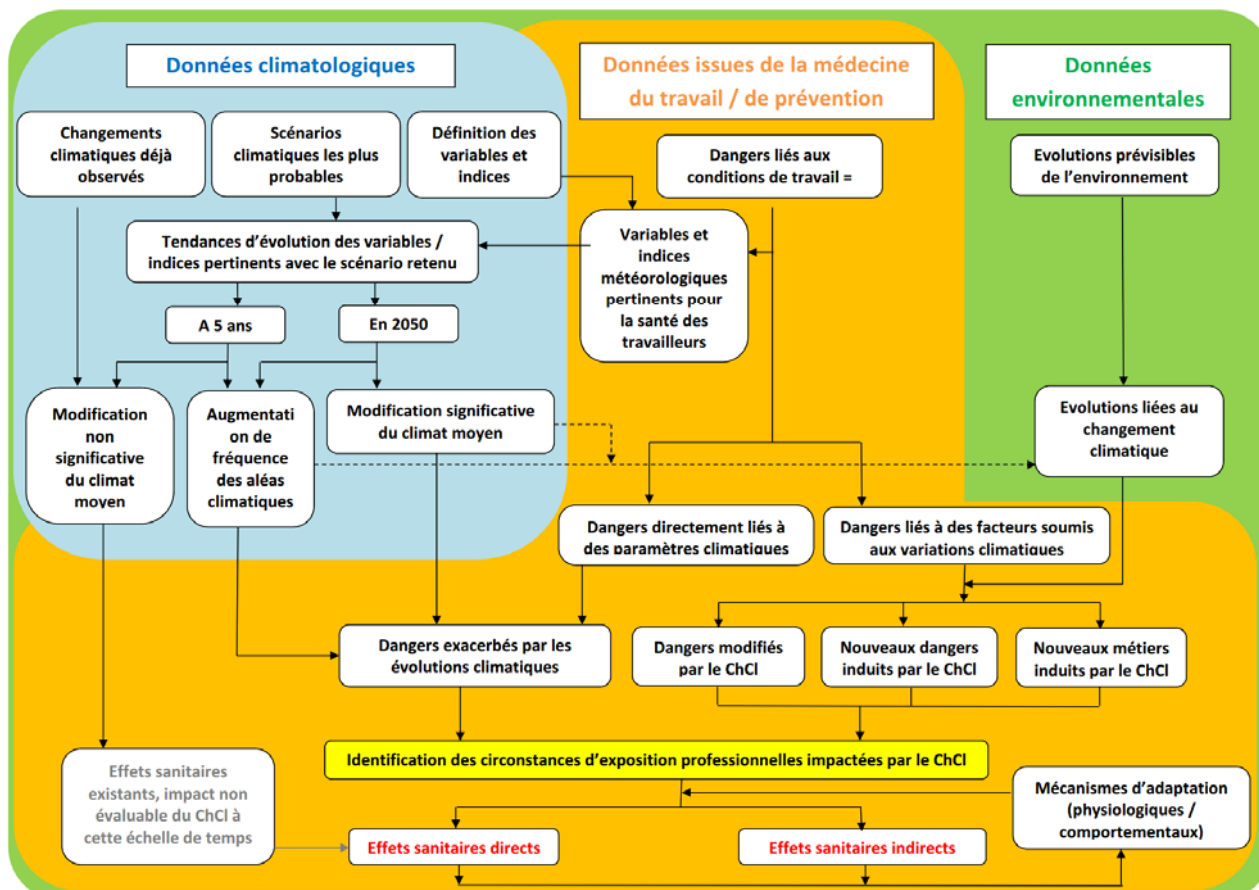


Figure 18 : schéma des interactions à appréhender entre le climat, l'environnement et la santé des travailleurs, pour identifier les circonstances d'exposition professionnelles susceptibles d'induire un excès de risques sanitaires parmi les travailleurs exposés dans un contexte de changement climatique.

Ce schéma permet de mettre en évidence que les éléments à intégrer afin de répondre à la demande sont de trois natures différentes :

- des données climatologiques : les changements climatiques déjà observés, les scénarios climatiques les plus probables et les variables et indices existants pour suivre le changement climatique ;
- des données environnementales : les évolutions prévisibles de l'environnement et les évolutions directement liées au changement climatique ;
- des données de santé au travail : les dangers liés aux conditions de travail avec des dangers directement liés à des paramètres climatiques et des dangers liés à des facteurs soumis aux variations climatiques.

Au regard des objectifs de l'expertise et compte tenu de la complexité des interactions, une sélection des informations les plus pertinentes a été nécessaire. La méthode et les résultats de cette sélection sont détaillés ci-après.

3.2 Sélection des données « métiers, climat, environnement »

3.2.1 Dans le champ de la santé au travail

Les différents répertoires de métiers et secteurs professionnels

Établir la liste des principaux métiers exposés aux conséquences sanitaires du changement climatique, comme la saisine le demande, suppose de resituer les impacts attendus de ce changement climatique dans les diverses activités professionnelles en France. La discussion spontanée entre experts a permis de faire rapidement ressortir certains secteurs d'activités (bâtiments et travaux publics, agriculture, transports, secours et sécurité civile, etc.) comme étant notablement impactés par des risques directs ou indirects induits par les modifications climatiques. Mais très vite également, il est apparu d'une part, qu'il était complexe d'en établir une liste exhaustive, et que d'autre part, l'activité de ces différents secteurs correspondait à des métiers très différents les uns des autres.

Voici deux exemples illustrant la difficulté d'étudier les risques professionnels sur la base de classifications par métiers ou catégories professionnelles :

Un exemple dans le secteur « bâtiment et travaux publics » (BTP) :

Les 1 205 045 salariés du BTP (chiffre de 2014 ³³) sont répartis de la façon suivante : production (68 %), administratif et commercial (18 %), technique et encadrement de chantier (14 %). Les dix métiers les plus représentés sont : divers production (17 %), administratif (15 %), maçon (12 %), technicien (5 %), peintre (5 %), menuisier (5 %), électricien (4 %), conducteur d'engins (3 %), couvreur (3 %) chef de chantier (3 %). Le métier pour lequel le pourcentage d'employés est le plus élevé, « divers production », est un amalgame hétéroclite du point de vue de l'analyse des risques professionnels, puisqu'il comprend divers métiers comme : les autres métiers ouvrier TP³⁴, conducteur de poids lourds, conducteur de véhicules, monteur d'échafaudage, dépanneur, opérateur de centrale, agenceur, storiste, mineur... Une telle hétérogénéité de métiers, donc d'expositions professionnelles, au sein d'un même « sous-secteur » d'activité prouve que cette approche sectorielle est trop simpliste pour répondre à la question posée.

Autre exemple, parmi les métiers de l'agriculture :

La fiche agriculteur/agricultrice de l'Onisep (Office national d'information sur les enseignements et professions) évoque la diversité des métiers existants dans ce secteur : le travail de la terre (pour la production de céréales, de légumes, de fruits, etc.), ou les techniques d'élevage (pour la production de lait ou de viande). Cette fiche ne fait pas de distinction entre le grand producteur céréalier sur quelques centaines d'hectares de la Beauce, la polyactivité d'une exploitation agricole de type familial sur quelques dizaines d'hectares ou encore le maraîchage.

Elle ne fait pas non plus de distinction entre la production de type industriel et les pratiques de l'agriculture biologique. Là aussi, sous le même libellé « agriculteur », le travailleur peut se retrouver dans des modes d'exercices conduisant à des conditions d'exposition très différentes les unes des autres, en particulier pour ce qui est de l'exposition au climat et ses effets directs et indirects (température extérieure, intempéries, pollens...).

Les deux types d'approche « par grands secteurs d'activités » et « par métiers » ont donc été successivement explorés. Constatant leurs limites par rapport à l'objectif visé, le groupe de travail

³³<http://www.orientation-pour-tous.fr/metiers-16/les-etudes-sur-les-metiers-les-remunerations-les-emplois/article/les-metiers-du-batiment-et-des-travaux-publics> consulté le 13 mars 2017

³⁴Tavaux publics

a choisi d'adopter une troisième approche dite « par circonstances d'exposition ». Ces différentes approches sont décrites ci-dessous.

Approche par grand secteur d'activité

L'établissement des liens entre les expositions professionnelles et les conditions climatiques et environnementales a été abordée dans un premier temps en considérant les grands secteurs d'activité. Ces secteurs ont été recensés grâce aux sites des différentes institutions françaises s'intéressant à l'activité économique du pays (Insee³⁵, Pôle emploi, Dares³⁶...). Chacune de ces institutions adaptant son arborescence à la finalité de ses missions, les nomenclatures ou répertoires en découlant ne sont pas homogènes, que ce soit le code NAF (Nomenclature d'activités française) de l'Insee pour les entreprises, qui a dû être harmonisé avec le classement européen, le classement en professions et catégories socioprofessionnelles (PCS) de l'Insee, le ROME (Répertoire opérationnel des métiers et des emplois) ou la classification de la Dares (Tableau 3). Le groupe de travail a ainsi estimé que l'utilisation de ces nomenclatures ou répertoires n'était pas adaptée aux objectifs poursuivis dans le cadre de cette saisine.

Tableau 3 : arborescence des grandes catégories d'activités professionnelles selon les différentes institutions

Code NAF de l'Insee	PCS de l'Insee	Code ROME de Pôle emploi	Dares
21 sections	8 en niveau 1	22 domaines	22 domaines
88 divisions	24 en niveau 2	86 familles professionnelles agrégées	87 familles professionnelles agrégées
575 classes 1 342 catégories 3 142 sous- catégories	42 en niveau 3 497 en niveau 4	237 familles professionnelles détaillées	225 familles professionnelles détaillées

Approche par métiers

L'approche par grands secteurs d'activité ne donnant pas satisfaction, une vision par métiers a été tentée en recherchant une liste des différents métiers existant en France *via* des ressources accessibles en ligne. Cette approche a permis d'identifier plusieurs listes existantes, parfois très longues, et qu'il s'avérait difficile d'analyser. Ainsi, le « Guide des métiers »³⁷ affiche 3 000 fiches

³⁵ Insee : Institut national de la statistique et des études économiques.

³⁶ Dares : Direction de l'animation de la recherche, des études et statistiques rattachée au ministère en charge du travail.

³⁷ leguidedesmetiers.com et un site d'information sur les métiers et les formations qui y préparent (www.leguidedesmetiers.com/metiers).

métiers, l'Onisep³⁸ en liste 733, le ROME affiche 531 fiches pour plus de 11 000 lignes emploi/métier³⁹.

À titre d'exemple, la fiche « serveur » de ROME a été rapidement analysée par le groupe de travail. L'intitulé « serveur » pour « café, bar, brasserie », correspond à 20 appellations différentes. Cette fiche rappelle que l'activité de cet emploi/métier s'exerce :

- au sein de différents établissements (cafés, bars, brasseries, hôtels, établissements de nuit ou de jeux), en contact avec la clientèle et les fournisseurs ;
- selon différents horaires en fonction du type d'établissement (horaires fractionnés, fins de semaine, jours fériés ou la nuit) ;
- avec un rythme de travail qui doit être adapté à la charge de travail momentanée (pics d'activité selon l'horaire).

La fiche renvoie donc à différents exercices d'un même métier selon des conditions de travail très différentes. Concernant les effets du changement climatique, les conditions de travail d'un serveur travaillant la nuit dans une discothèque seront moins influencées par un pic de température en journée, *a fortiori* si la discothèque est climatisée. Par contre, un serveur en terrasse dans une brasserie pourra être exposé à une température élevée aux heures chaudes de la journée, alors même que sa charge de travail pourra être importante.

Approche par conditions de travail ou « circonstances d'exposition »

Comme détaillé précédemment, la notion de conditions de travail ou de « circonstances d'exposition » est prépondérante lorsque sont abordés les effets attendus du changement climatique pour un métier ou un secteur professionnel. Ainsi, il est apparu plus pertinent de considérer l'approche selon l'exposition professionnelle que de tenter de constituer une liste de secteurs d'activité ou de métiers concernés par le changement climatique :

- d'une part, et essentiellement, parce qu'elle correspond à ce qui est recommandé dans l'analyse des risques en milieu de travail, en particulier pour la rédaction du document unique,
- d'autre part, afin de ne pas oublier des professions pour lesquelles l'influence du changement climatique n'apparaît pas évidente en première approche mais pourrait être bien réelle dans certaines circonstances. En reprenant la publication de Santé publique France analysant les circonstances de décès au travail pendant la canicule de 2006 (Buisson 2009), on peut constater qu'il y a parfois une situation d'exposition à la chaleur évidente, après lecture de ce qui est rapporté, alors que l'intitulé de la profession (le métier) ne laissait pas présager une exposition « à risque ». C'est le cas par exemple pour les métiers suivants : rippeur, déménageur, électricien, vachère, batelier... (Tableau 4).

³⁸ L'Office national d'information sur les enseignements et les professions (Onisep) est un établissement public sous tutelle du Ministère de l'éducation nationale, qui élabore et diffuse toute l'information sur les formations et les métiers auprès des élèves, des parents et des équipes éducatives (www.onisep.fr).

³⁹ (<http://www.pole-emploi.fr/candidat/les-fiches-metiers-@/index.jsp?id=681>)

Tableau 4 : tableau de synthèse des circonstances de décès au travail pendant la canicule de 2006 (Buisson 2009)

Niveau canicule	Sexe	Age	Déclaration AT	Métier déclaré Statut	Tâche exposante	Diagnostic rapporté (Morbidity préalable)
1	H	60	Non salarié	Couvreur charpentier Travailleur indépendant	Activité physique intense au soleil	Coup de chaleur et hyperthermie maligne
2	H	53	AT	Conducteur de tractopelle Intérimaire	Travail « au soleil avec un vêtement de protection »	Coup de chaleur
1	H	49	AT	Rippeur Intérimaire	Activité intense dans les heures précédant le décès (vers 10h)	Malaise cardiaque supposé
2	H	33	NR	Faisant fonction de déménageur Entreprise du secteur « autres formes d'action sociale »	Activité intense dans les heures précédentes, située dans un local clos	Décès brutal au travail vers 17h (antécédents médicaux signalés mais sans précision)
1	H	52	NR	Cuisinier dans un restaurant NR	NR	Hyperthermie, pneumopathie (obésité)
2	H	43	NR	Déménageur Contrat journalier	Malaise évanouissement en cours de travail	Coup de chaleur (HTA + embolie pulmonaire)
2	H	40	AT	Manœuvre Intérimaire	Activité physique intense au soleil sur un chantier de terrassement	Malaise cardiaque
1	F	59	AT	Vachère en élevage bovin Entreprise > 10 salariés	Activité intense dans les heures précédant le décès dont une partie en local clos	Arrêt cardiorespiratoire constaté à 10h30
2	H	45	IND	Chauffeur livreur NR	NR	Hyperthermie maligne (ex SDF)
1	H	53	IND	Ouvrier Intérimaire	A travaillé tout l'après-midi à la chaleur	Découvert inanimé, hyperthermie maligne

Niveau canicule	Sexe	Age	Déclaration AT	Métier déclaré Statut	Tâche exposante	Diagnostic rapporté (Morbidity préalable)
1	H	44	IND	Electricien Sous-traitant	Intervention dans une entreprise de sidérurgie près d'un laminoir à chaud	Crise cardiaque
2	H	43	IND	Charpentier NR	Était sur un toit, a fait un malaise, est tombé	Décès rapporté au traumatisme
2	H	63	IND	Batelier NR	Travaillait à la perche donc efforts musculaires intenses. Température extérieure 38°C	Hospitalisé pour un coup de chaleur, décès suite hypertension intracrânienne et CIVD
1	H	42	IND	Employé de la voirie NR	Balayait la voirie. Très exposé à la chaleur.	NR (déficience intellectuelle et traitement psychotrope)

NR : information non renseignée

IND : information non disponible (non prévue dans la fiche de renseignements)

CIVD : coagulation intravasculaire disséminée

Les circonstances d'expositions résultent donc de la prise en compte des caractéristiques géographiques, techniques et organisationnelles d'un poste de travail observé en situation réelle :

- lieu de travail et implantation du poste de travail en ce lieu ;
- tâches à accomplir ;
- organisation du travail (horaires, temps de travail, pauses, co-activité et sous-traitance, rythme de travail, travail en situation isolée, travail programmé ou dans l'urgence, etc.) ;
- repérage des éventuelles contraintes et nuisances liées aux produits ou matériaux manipulés, aux différents publics concernés par le travail, etc.;
- moyens techniques mis à disposition (machines, outils et équipements, etc.) tant pour les tâches à accomplir que pour la prévention collective et individuelle complémentaire (si nécessaire).

Ainsi, pour mener à bien le travail d'identification de circonstances d'exposition d'intérêts, le groupe de travail a décidé de partir, pour les données relatives à la santé au travail, non pas d'une liste de secteurs d'activités ou de métiers, mais d'une liste de type de risques professionnels pouvant être influencés par le changement climatique. Ce choix évite ainsi la redondance qu'aurait entraînée une approche par secteur ou métier, puisque de nombreux risques sont communs à différents métiers ou secteurs.

Après exploration de différents classements, le groupe de travail a choisi de se référer au classement en 17 grands types de risques utilisé par l'INRS dans une brochure d'aide à l'évaluation des risques en vue de la rédaction du document unique faisant état des risques existant dans l'entreprise et des mesures de prévention prises ou programmées (cf. chapitre 2.1.2).

3.2.2 Dans le champ de la climatologie et de l'environnement

L'influence sur la santé publique des conditions météorologiques et climatiques liées au changement climatique en cours est une des branches de la biométéorologie. Cette branche connaît des développements et avancées notables sur le plan de la recherche scientifique depuis un peu plus de vingt ans. Cela permet de disposer d'indices bioclimatiques déjà testés sur la population générale. Au-delà de ces indices qui prennent en compte des effets biologiques, il est possible d'en étendre la liste à d'autres indices construits à partir des variables météo-climatiques, et éventuellement environnementales, définissant des conditions pour lesquelles un lien avec les risques sanitaires peut être établi. C'est notamment le cas pour les indices permettant de caractériser l'occurrence ou l'intensité d'événements météorologiques ou climatiques extrêmes (canicules, vagues de froid, etc.) ou encore des indices permettant d'identifier des situations météorologiques à risque de pics de pollution.

Trois catégories de variables ou indices d'intérêt ont été considérées pour les travaux du groupe d'experts :

- les variables météo-climatiques et environnementales (mesurées ou calculées en routine à partir de variables mesurées et servant de base aux calculs des indices, cf. § 3.2.2.1);
- les indices biométéorologiques et bioclimatiques spécifiques, souvent dénommés « indices de confort » dans le domaine de la biométéorologie appliquée (cf. § 3.2.2.2) ;
- d'autres indices construits à partir des variables météo-climatiques et/ou environnementales et associés à des risques sanitaires mais n'appartenant pas à la catégorie précédente (cf. § 3.2.2.3).

3.2.2.1 Les variables météo-climatiques et environnementales

On peut convenir d'un ensemble de base de variables intéressantes parmi la longue liste des variables mesurées de manière régulière :

- la température minimale quotidienne **Tmin** et la température maximale quotidienne **Tmax** ;
- les précipitations liquides ou solides (neige, grêle, etc. ...) cumulées **PRECIP** ;
- l'humidité « relative »⁴⁰ **Hu** et l'humidité spécifique⁴¹ **q** ;
- la pression atmosphérique ramenée au niveau de la mer **Pmer** ;
- le vent mesuré au sol (à 10 m en général) défini par sa direction **DD** et sa vitesse **FF** ;
- le rayonnement solaire en surface **Rs** notamment dans le domaine ultraviolet (en général les mesures ne distinguent pas les bandes UVA et UVB, les UVC quant à eux n'atteignent pas le sol) ;
- le niveau de la mer **h** ;
- le débit des fleuves **D** ;
- les concentrations de polluants comme les oxydes d'azote **NO_x**, le dioxyde de soufre **SO₂**, l'ozone **O₃**, les composés organiques volatils **COV**, les particules fines **PM₁₀** ou **PM_{2.5}**, etc. ;
- les concentrations de **pollens allergisants** (graminées, bouleau, ambroisie, etc.) ;

⁴⁰ rapport de la pression partielle de vapeur d'eau présente à la pression de vapeur saturante (maximum de vapeur d'eau contenue pour une température et une pression données).

⁴¹ rapport entre la masse d'eau (sous toutes ses formes) et la masse d'air totale (humide).

3.2.2.2 Les indices biométéorologiques ou bioclimatiques

Ils sont en général construits par rapport à des objectifs de recherches spécifiques en biométéorologie, mais aussi parfois dans des domaines environnementaux susceptibles de concerner ce travail :

- **les IBM⁴²** (min et max) : il s'agit de moyennes glissantes quotidiennes sur trois jours de la température (minimale et maximale quotidienne en un point – observée ou prévue selon l'objectif d'utilisation). Cet indice a été développé en France (Météo France et Santé publique France) pour faire ressortir des corrélations optimales entre chaleur persistante caniculaire et surmortalité supérieure à 50 ou 100 % par rapport à la moyenne saisonnière attendue ; cet indice biométéorologique est utilisé en opérationnel pour le déclenchement des mises en « vigilance canicule » en collaboration par Météo France / Santé publique France dans le cadre du Plan National Canicule du Ministère de la Santé (mis en place depuis 2004) ;
- **la température ressentie** (ou *windchill* selon le terme canadien d'origine) : il s'agit d'un indice de confort combinant la température et le vent et rendant compte de la sensation de froid sur la peau accentuée par le vent ; cet indice de confort est utile dans le cadre d'un climat froid. Il est peu utilisé en climat tempéré, sauf occasionnellement en situations hivernales particulières. Cet indice biométéorologique est utilisé en opérationnel depuis 2001 pour la mise en place de l'aide aux sans-abris. Depuis 2004, il est prévu en routine pour le déclenchement des mises en « vigilance Grands froids » (collaboration Météo France / Ministère des Affaires Sociales et préfectures) dans le cadre de la « Circulaire Grand Froid » du Ministère de la Santé (2002) ;
- **l'humidex** : voir encadré ;
- **WBGT** : voir encadré ;
- **la température du thermomètre mouillé** combinant température et humidité et en particulier sa valeur maximale quotidienne T_{wmax} ; cette température est utilisée dans certaines études comme un indice bioclimatique ;
- **d'autres indices de confort** thermique existent en nombre dans la littérature scientifique. Ils sont en général complexes et, au mieux, adaptés à des objectifs de recherche (donc difficilement applicables en opérationnel) ; par exemple l'indice utilisé par le service météorologique allemand (pour les prévisions de températures extrêmes associées à une mortalité accrue) présente plutôt un caractère « universel » - adapté à toute la gamme des combinaisons de températures / vents / humidité (cependant il est d'usage plus limité dans un contexte opérationnel) ;
- **l'index UV** (dont le maximum journalier) qui rend compte du risque d'érythème induit par le rayonnement ultraviolet chez l'être humain.

⁴² IBM : Indice biométéorologique.

Encadré : deux indices utilisés en santé au travail en situation de fortes chaleur

L'humidex et la température au thermomètre-globe mouillé (*Wet-bulb globe temperature*, WBGT) sont des indices qui expriment l'inconfort physique ressenti en situation de forte chaleur, lorsque cet effet est aggravé par d'autres facteurs, comme une forte humidité.

L'humidex est un indice de confort appliqué en conditions d'exposition extérieure, alors que le WBGT est construit pour rendre compte d'une exposition sur un site de travail, en conditions intérieures (par exemple à l'intérieur d'une usine) ou extérieures.

Voici leurs définitions :

L'humidex est une température (exprimée en °C) prenant en compte la température du thermomètre sous abri et l'humidité relative de l'air (exprimée en %) en milieu extérieur à un instant et en un lieu donnés. Cet indice, mis au point au Canada en 1979, est utile pour mieux rendre compte de la sensation ressentie (impression physiologique de chaud). Il est particulièrement adapté à des climats chauds et humides, par exemple en zone équatoriale, mais souvent également sous d'autres climats en situation estivale lors d'une période chaude et humide, comme lors des étés canadiens.

(http://www.cchst.ca/oshanswers/phys_agents/humidex.html).

Le WBGT est l'indice de stress thermique le plus couramment utilisé dans le monde en santé au travail (Parsons 2013). Il est étroitement lié à la réponse physiologique du corps humain face à la chaleur, car il intègre l'humidité, la température et la vitesse de l'air ainsi que le rayonnement solaire. Cet indice est aussi exprimé en degré Celsius et il peut être mesuré par un personnel qualifié à l'aide de thermomètres à lecture directe WBGT, aussi appelés « indicateurs de stress thermique ». Ainsi, des mesures de WBGT prises sur un site de travail peuvent être mises en relation avec l'effort physique des travailleurs.

L'*American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH) recommande d'ailleurs des valeurs limites d'exposition pour le travail à la chaleur qui sont fondées sur le WBGT. Ces limites expriment la répartition du travail dans un cycle travail/repos selon le type d'activité (léger, modéré, lourd, très lourd) et la température WBGT.

En somme, l'humidex et le WBGT sont conçus pour des usages bien différents et leurs mesures ne peuvent donc être comparées directement.

3.2.2.3 Autres indices associés à un risque sanitaire

Il existe de nombreux indices associés à un même type de risque. Nous ne donnerons ici que quelques exemples :

- indices de **températures extrêmes chaudes**, comme l'extrême chaud de la température maximale défini comme une valeur de température maximale quotidienne qui n'est dépassée que pendant 10 % du temps d'une période donnée ;
- indices de **vague de chaleur**, comme le nombre de jours pour lesquels la température maximale quotidienne dépasse de plus de 5°C une valeur climatologique de référence d'un lieu donné, mais en ne comptant que les jours appartenant à une série de plus de cinq jours chauds consécutifs ; un autre indice combinant les températures maximales et minimales quotidiennes vient d'être défini (Ouzeau *et al.* 2016) ;
- indices de **températures extrêmes froides**, comme l'extrême froid de la température minimale ou encore le nombre de jours sans dégel ;
- indices de **vague de froid**, comme le nombre de jours de vagues de froid défini de manière analogue au nombre de jours de vague de chaleur, mais à partir de la température

minimale quotidienne, ou d'autres indices combinant durée et intensité (Peings, Cattiaux, et Douville 2013) ;

- indices de **précipitations intenses**, comme le pourcentage des précipitations intenses calculé comme la fraction des pluies totales tombant pendant les 10 % des jours les plus pluvieux d'une période donnée ;
- indices de sécheresse, comme le nombre de jours secs consécutifs pour les **sécheresses météorologiques**, ou comme la fraction du territoire métropolitain affecté par une **sécheresse agricole**, c'est-à-dire une forte diminution du contenu en eau des sols évaluée à partir du « *Soil Wetness Index* » (SWI, indice d'humidité du sol) ;
- indices caractérisant l'**occurrence** ou l'**intensité** des **tempêtes** ou des **cyclones** ;
- indices caractérisant l'occurrence de phénomènes météorologiques non extrêmes mais potentiellement dangereux (brouillard, orages et foudre, verglas ou glace au sol, etc. ...) ;
- indices caractérisant la fréquence d'événements de **submersion marine** ; ces indices ne sont pas calculés à ce jour (faute de projection précise de l'augmentation du niveau de la mer à l'échelle des côtes françaises), mais leur tendance future à l'augmentation est connue (modélisation) ;
- indices caractérisant le risque d'**inondations** comme le débit journalier de crue décennale ;
- indices caractérisant le **niveau d'étiage** des fleuves comme le débit minimum mensuel quinquennal ;
- indices de risque d'**avalanche** en montagne ;
- indices caractérisant les **coulées de débris** en montagne, comme le nombre d'occurrence des coulées par année et massif ;
- **régimes de temps** caractérisant par exemple des situations météorologiques favorables ou défavorables à la dispersion ou à l'accumulation de polluants et leur persistance. Il n'y a pas de définition univoque de ces régimes ;
- **Indice Forêt Météo (IFM)**, qui caractérise un risque d'occurrence de feux de forêt dépendant de l'humidité de l'air, de la température, des précipitations et de la vitesse du vent ;
- **indices phénologiques** qui caractérisent l'apparition d'événements périodiques dans la vie des êtres vivants, déterminés par les variations saisonnières du climat ;
- **cartes et indices polliniques**, qui caractérisent le contenu de l'air en pollens et en moisissures, associés à des données cliniques ;
- carte de **migration ou d'extension d'aire d'espèces animales et végétales**.

3.2.2.4 Liste d'indices à retenir

Toutes ces variables et ces indices sont susceptibles de présenter des variations dans le cadre du changement climatique en cours. Ils sont soit déjà opérationnels dans un contexte de prévision météorologique (souvent depuis plusieurs années ou décennies comme les IBM ou les indices de qualité dispersive de l'atmosphère), soit pré-opérationnels (comme le cas des prévisions d'UV en haute montagne). Cependant ils ne sont pas pour autant faciles d'utilisation dans un contexte d'analyse des effets des changements climatiques.

Parmi ces indices disponibles, on retiendra ceux qui sont ou peuvent être calculés à partir de résultats de simulations climatiques et d'impacts environnementaux, couvrant les périodes d'intérêt

pour ce rapport. Le Tableau 5 présente pour cette sélection les sources disponibles (bases de données) pour des études ultérieures et donne quelques références d'analyses publiées concernant les tendances actuelles observées et les tendances attendues à l'horizon 2050 en raison des changements climatiques.

Tableau 5 : indices météo-climatiques, environnementaux, bioclimatiques et autres indices associés à un risque sanitaire, potentiellement calculables à partir de résultats de scénarios du climat futur

Le signe des tendances actuelles et futures est précisé de la manière suivante : -- : forte diminution ; - : diminution ; ~0 : tendance nulle ; + : augmentation ; ++ : forte augmentation, indéterminée : des projections existent mais avec des résultats ne faisant pas ressortir de tendance claire.

Variables et Indices	Sources de données et d'analyses	Tendances actuelles ⁴³	Tendances à l'horizon 2050
Tmin et Tmax	Base de données DRIAS ^(a) Base de données Euro-Cordex ^(b)	+	++
PRECIP (précipitations liquides ou solides cumulées)	Base de données DRIAS ^(a) Base de données Euro-Cordex ^(b)	~0	~0
Q (humidité spécifique)	Base de données Euro-Cordex ^(b)	+	++
FF ⁴⁴	Base de données Euro-Cordex ^(b)	~0	~0
WBGT (simplifié)	(Willet et Sherwood 2012)	+	++
Indices biométéorologiques et bioclimatiques	Pas de données ni d'analyses disponibles à l'exception de l'index UV	Indéterminé	Indéterminé
Index UV	UNEP, 2015 (Williamson <i>et al.</i> 2014)	~0	-
Températures extrêmes chaudes	Base de données DRIAS ^(a)	+	++
Vagues de chaleur	Base de données DRIAS ^(a) (Ouzeau <i>et al.</i> 2016)	+	++
T _{wmax}	(Dunne, Stouffer, et John 2013) (Pal et Eltahir 2016) ^(c)	+	++
Températures extrêmes froides	Base de données DRIAS ^(a)	-	--
Vagues de froid	Base de données DRIAS ^(a) (Peings, Cattiaux, et Douville 2013)	-	--
Précipitations intenses	Base de données DRIAS ^(a)	Variable selon les régions	Variable selon les régions

⁴³ Selon la disponibilité des données d'indices, les tendances actuelles sont calculées sur des périodes d'environ 30 à 50 ans qui s'étendent jusqu'à ces dernières années.

⁴⁴ Vitesse du vent au sol (« à 10 m » du sol en général) calculable dans le futur.

Variables et Indices	Sources de données et d'analyses	Tendances actuelles ⁴³	Tendances à l'horizon 2050
Sécheresse météorologique	Base de données DRIAS ^(a)	~0	~0
Sécheresse agricole	(Soubeyroux <i>et al.</i> 2012) ^(d) .	+	++
Occurrence des tempêtes	(Boucher <i>et al.</i> 2015)	~0	~0
Intensité des tempêtes	(Boucher <i>et al.</i> 2015)	~0	~0
Occurrence des cyclones	(GIEC 2013)	~0	~0
Intensité des cyclones	(GIEC 2013)	+ Atlantique Nord depuis 1970	Indéterminé
Phénomènes météorologiques extrêmes non	(Boucher <i>et al.</i> 2015)	Indéterminé	Indéterminé
Submersion	(Planton <i>et al.</i> 2015-b) (Le Cozannet, Amraoui, et Baills 2015)	~0	+
Crues	(Chazot <i>et al.</i> 2012) ^(d)	Indéterminé	- (plupart des bassins) + (quelques bassins)
Débits d'étiage	(Chazot <i>et al.</i> 2012) ^(d)	Indéterminé	--
Avalanche	(Castebrunet <i>et al.</i> 2014)	~0	- (sèche) + (humide)
Coulées de débris	(Jomelli <i>et al.</i> 2009) ^(e) (Pavlova <i>et al.</i> 2014) ^(f)	+	- (horizon 2100)
Régimes de temps	Base de données Euro-Cordex ^(b) (GIEC 2013)	~0	Indéterminé
O ₃	(Colette <i>et al.</i> 2012) (Lacressonnière <i>et al.</i> 2014) (Silva <i>et al.</i> 2013), 2013-2015 ^(g) (Glottfelty <i>et al.</i> 2016) (Markakis <i>et al.</i> 2016) (Watson <i>et al.</i> 2016) ^(g)	Indéterminé	-
PM _{2.5}	(Silva <i>et al.</i> 2013), 2013-2015 ^(g) (Lecoeur <i>et al.</i> 2014) ^(h)	Indéterminé	- / + (printemps, automne) ~0 (hiver, été)
Indice Forêt Météo	(Cloppet et Regimbeau 2009) (Chatry <i>et al.</i> 2010) ⁽ⁱ⁾	+	++
Pollens allergisants	(Beggs 2010)	+	++

Variables et Indices	Sources de données et d'analyses	Tendances actuelles ⁴³	Tendances à l'horizon 2050
Carte de Migration ou d'extension d'aire d'espèces animales et végétales. Ex. forêt	http://www.meteofrance.fr/actualites/206622-nouveau-climat-nouvelles-forets (Badeau <i>et al.</i> 2004)	Variables selon les espèces	Variables selon les espèces (– hêtre, ++ chêne vert)
Indices phénologiques	Bases de données Observatoire des saisons http://www.obs-saisons.fr Indice d'activité de Tique (<i>Ixodes ricinus</i>) (Cat <i>et al.</i> 2017)	Variables selon les espèces et la météo	Pas de projection

^{a)} www.drias-climat.fr ; base de données de résultats de simulations d'une dizaine de modèles couvrant la France métropolitaine pour les périodes 1976-2005 et 2021-2050 (scénarios RCP du GIEC 2013) ; des données de température et précipitations moyennes sont aussi disponibles pour les outre-mer.

^{b)} <http://euro-cordex.net/index.php.en> : base de données de résultats de simulations de modèles couvrant la France métropolitaine pour les périodes 1976-2021 et 2021-2050 (scénarios RCP du GIEC 2013).

^{c)} Étude limitée au Sud-est de l'Asie.

^{d)} Utilisation de scénarios du GIEC 2007.

^{e)} Utilisation d'un scénario du GIEC 2007 pour une projection de la probabilité d'occurrence à la fin du XXI^e siècle et dans le massif des Écrins.

^{f)} Analyse des données sur les 35 dernières années.

^{g)} Incluant les scénarios d'évolution de la législation sur la qualité de l'air ; scénarios du GIEC 2007 et ensemble de 14 modèles du projet international ACCMIP.

^{h)} Utilisation des scénarios du GIEC 2007 mais un seul modèle ; calcul à partir d'une classification en régimes de temps.

ⁱ⁾ Croisant les résultats de Cloppet *et al.* 2009 sur l'IFM avec la vulnérabilité aux feux de forêts des principaux peuplements forestiers.

3.3 Démarche d'identification des impacts du changement climatique sur les risques professionnels

Une fois les données pertinentes sélectionnées, en matière de santé au travail (liste des grandes catégories de risques professionnels), de climat et environnement (indices à retenir), le groupe de travail a cherché un moyen d'identifier et de décrire les risques professionnels impactés par le changement climatique et des circonstances d'expositions professionnelles associées.

Le groupe de travail a souhaité procéder en utilisant une méthode reproductible, globale, la plus exhaustive possible et sans *a priori*, notamment pour ne pas limiter ses investigations aux effets sanitaires dont le processus de survenue est évident (chaleur amenant à une hyperthermie), et souvent déjà largement étudié. La Figure 19 illustre la démarche suivie.

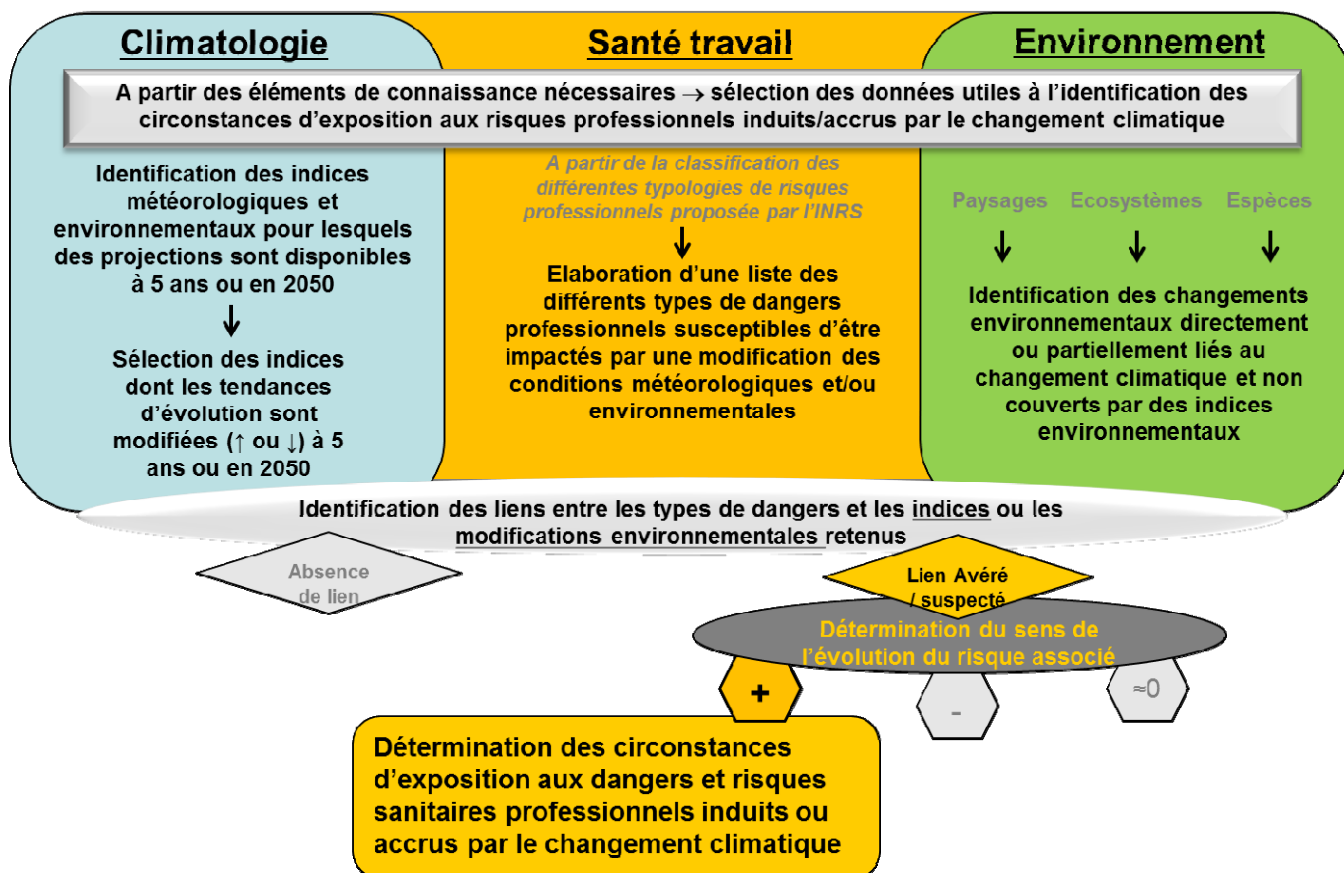


Figure 19 : démarche suivie pour déterminer les circonstances d'exposition aux risques professionnels induits ou accrus par le changement climatique

Le travail a consisté à identifier, parmi les 17 grands types de risques professionnels (classification de l'INRS, cf. 2.1.2.), ceux impactés par le climat et plus particulièrement par la modification des indices climatiques et environnementaux sélectionnés. Pour cela, les travaux se sont basés sur des hypothèses de processus/mécanismes expliquant l'impact sanitaire et pouvant conduire à un risque, en les documentant également par l'analyse de la littérature scientifique. De cette manière, les liens envisagés ont été estimés et qualifiés comme suit : « absence de lien » ou « lien suspecté/avéré ».

En fonction des projections disponibles concernant l'évolution des indices climatiques et environnementaux retenus, le sens de l'évolution de chaque risque considéré comme impacté par le climat a été déterminé.

Les efforts de description des processus d'impacts sanitaires et de circonstances d'expositions professionnelles associées se sont ensuite concentrés sur les risques professionnels potentiellement accrus par les modifications climatiques attendues à 5 ans et pour 2050.

Pour chaque risque professionnel estimé comme potentiellement impacté par le climat, une fiche a été élaborée (cf. Annexe 2). Ces fiches contiennent les informations suivantes :

- la définition du risque considéré ;
- les variables et indices climatiques et environnementaux modifiés par le changement climatique ;
- les indices météorologiques et environnementaux associés au risque considéré et leurs tendances ;
- la description du ou des processus / mécanismes de l'impact sanitaire ;
- les circonstances d'exposition nécessaires ;
- des exemples de circonstances d'exposition secondaires aggravantes.

Les risques considérés par le groupe de travail comme sans lien avec les indices climatiques susceptibles d'évoluer du fait du changement climatique, ni directement, ni indirectement, n'ont pas fait l'objet de descriptions détaillées.

4 État de l'art relatif aux effets du changement climatique sur la santé humaine

4.1 Panorama des travaux de synthèse relatifs aux effets du changement climatique sur la santé humaine

Dans le but d'établir un panorama des travaux de revue existants et de faire ressortir les principaux résultats en lien avec les effets du changement climatique sur la santé humaine, ce chapitre compile les descriptions synthétiques d'une sélection de revues de la littérature scientifique. Ces résumés s'articulent individuellement en trois parties successives : les finalités et contextes associés aux travaux, la méthode de travail adoptée par les auteurs et, enfin, les résultats, tels qu'exprimés par leurs auteurs..

En raison des particularités liées aux méthodes d'identification, de sélection et à la portée des résultats des différents éléments bibliographiques, les rapports institutionnels et articles scientifiques de revues sont traités séparément.

S'agissant de résumés de travaux, les éléments rapportés dans ce chapitre se veulent fidèles aux propos de leurs auteurs respectifs afin d'exposer le plus objectivement possible les conclusions énoncées dans ces travaux. Ces éléments rapportés ne constituent donc en aucun cas l'expression de l'opinion du groupe de travail.

4.1.1 Rapports institutionnels

Les effets du changement climatique sont l'objet de nombreux rapports publiés par une forte diversité d'acteurs institutionnels.

Parmi les rapports institutionnels relatifs au sujet très général du changement climatique, très peu portent précisément sur les conséquences sanitaires sur les travailleurs (IRSST 2012, ONERC et EPE 2014, ONU 2016). Néanmoins, bien qu'en dehors de ce périmètre d'étude restreint, certains documents abordant des sujets connexes (EEA 2016, HCSP 2015, Ministère de l'Ecologie de l'Energie du Développement Durable et de la Mer 2009, ONERC 2007, 2012, ONERC et Direction des Etudes Economiques et de l'Evaluation Environnementale 2008) présentent un fort intérêt au regard du sujet de cette saisine (modifications environnementales attendues spécifiquement en France, quantification des conséquences sanitaires pour la population générale en France, modifications socioéconomiques par secteurs d'activité industrielle, analyse des spécificités géographiques de l'outremer face au changement climatique, etc.). Il est à noter que du fait des dates de publication de ces différents rapports, plusieurs d'entre eux s'adossent à des données climatiques issues de publications du GIEC désormais obsolètes puisque mises à jour (versions antérieures à celle sur laquelle repose les présents travaux d'expertise).

4.1.1.1 Méthode de recherche bibliographique

Peu accessibles *via* les outils de recherche bibliographique classiques, l'identification de ces documents a été effectuée par la combinaison d'une recherche bibliographique par mots clés sur

un moteur de recherche adapté à la « littérature grise »⁴⁵ avec une recherche sur les sites internet des organismes nationaux et internationaux les plus reconnus sur les sujets des risques professionnels et du changement climatique⁴⁶, complétée par les connaissances individuelles des experts du groupe de travail.

Cette revue a été étendue de façon à incorporer les documents signalés par les membres du groupe de travail et a été conduite de manière à éviter les redondances (travaux du GIEC et analyse de ces mêmes travaux par l'Onerc par exemple).

4.1.1.2 IRSST : impacts des changements climatiques sur la santé et la sécurité des travailleurs (2012)

Objectifs de l'étude

L'Institut de recherche canadien Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST, Québec) a publié en 2012 un rapport explorant les connaissances relatives aux impacts négatifs des changements climatiques sur la santé et la sécurité des travailleurs dans le contexte québécois. Les objectifs fixés pour cette étude étaient (IRSST 2012) :

- dresser un panorama général (cadre d'analyse) des liens entre les changements climatiques et leurs effets potentiellement néfastes sur la santé et sécurité au travail au Québec ;
- structurer une démarche favorisant la concertation et la réflexion nationales et internationales ;
- dégager les pistes de recherche prioritaires au Québec en matière d'acquisition de connaissances.

Pour ce travail exploratoire, le rapport ne vise pas de période temporelle particulière.

Méthode de travail

Afin de réaliser ces travaux, un groupe de travail a réalisé dans un premier temps une revue de littérature, en veillant à la cohérence des données recueillies avec les réalités climatiques et socio-économiques des pays industrialisés à climat tempéré. Les dangers / expositions associés aux changements climatiques, les effets sur la santé et la sécurité au travail et les types d'industries potentiellement affectées par les changements climatiques ont été identifiés dans les articles et documents retenus.

Dans un second temps, ce travail de revue a été présenté à un groupe de 7 experts internationaux lors d'un premier atelier et de représentants de 9 secteurs d'activité⁴⁷ au cours d'un second atelier afin de le compléter et de formuler des pistes de recherche⁴⁸.

⁴⁵ Moteur de recherche : *google scholar*. Mots clés : [climate change] AND [occupational health , occupational safety].

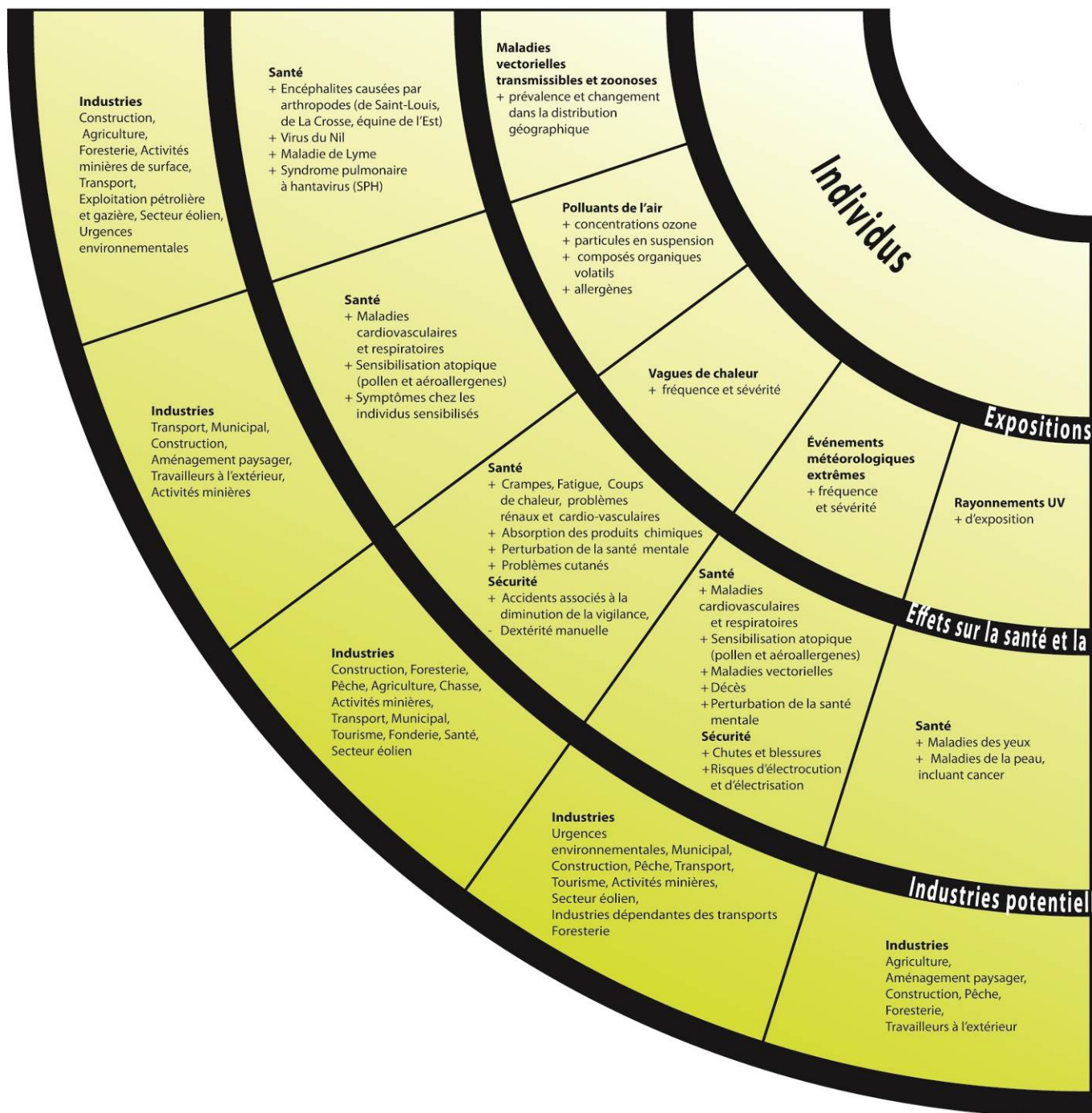
⁴⁶ Organismes nationaux consultés : INRS, Ineris, Onerc, HCSP.

Organismes internationaux consultés : GIEC, EEA, US-EPA, NIOSH, IRSST, Santé Canada.

⁴⁷ Agriculture, construction, activité forestière, mines, secteur municipal, transports, pêches, recherche en énergie éolienne et santé publique.

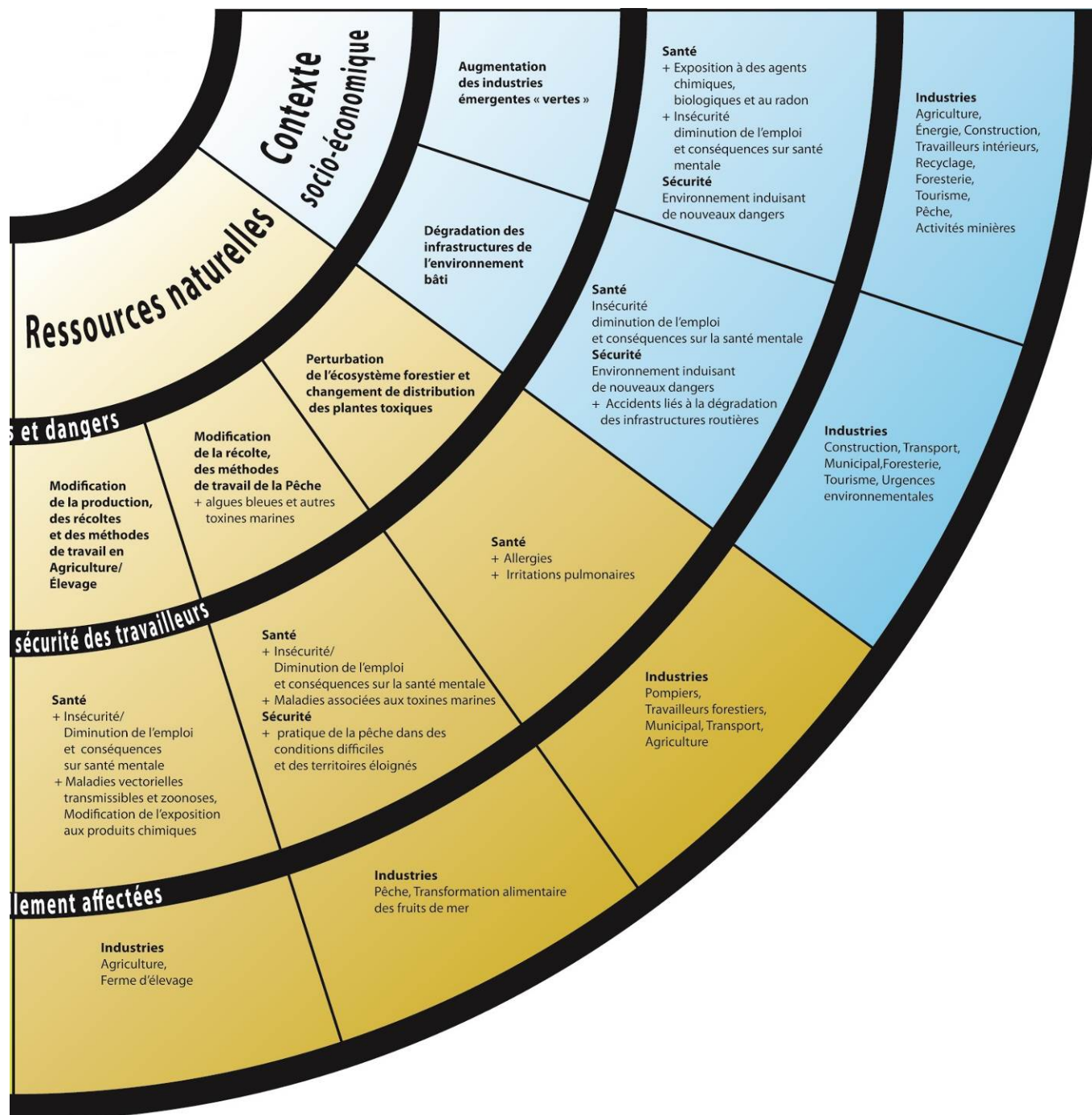
Résumé des résultats

Les impacts potentiels du changement climatique sur la santé et la sécurité au travail ont été classés par les auteurs en distinguant le type de conséquences : celles sur les individus, sur les ressources naturelles et celles sur le contexte socio-économique. Pour chaque danger / exposition considéré, les effets sanitaires attendus et les secteurs professionnels jugés les plus affectés ont été identifiés (cf. résumé en Figure 20).



⁴⁸ Ce travail d'identification de pistes de recherche a été effectué via l'application d'une version modifiée de l'approche *Delphi*, consistant en une série de consultations visant à dégager un consensus par un processus d'ordonnancement d'énoncés.

Figure 20 : cadre d'analyse des impacts potentiels des changements climatiques sur la santé et la sécurité des travailleurs au Québec (d'après IRSST 2012)



Conséquences sur les individus :

- vagues de chaleur : les projections climatiques suggérant une augmentation de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur et épisodes de chaleur extrême permettent de présager des effets directs et indirects :
 - o des effets directs (augmentation de la fréquence des crampes, fatigue, coups de chaleur, symptômes de maladies cardiovasculaires et rénales, décès) ;
 - o des effets indirects (baisse de vigilance et augmentation de la fréquence des accidents, augmentation de l'absorption de produits chimiques, etc.) ;
- polluants de l'air :
 - o polluants atmosphériques : dans le contexte québécois, l'augmentation des températures pourrait favoriser l'accroissement des concentrations ambiantes de plusieurs polluants, dont l'ozone troposphérique et les particules (*via* l'augmentation probable de la fréquence des feux de forêts), et augmenter les durées de dépassement de normes d'exposition. Ces modifications pourraient se traduire par une augmentation de l'incidence et l'exacerbation des symptômes des maladies respiratoires ;
 - o pollens et autres allergènes : les changements climatiques pourraient affecter les distributions (allongement des saisons polliniques et modification des aires de distribution) et augmenter les concentrations des pollens et autres allergènes dans l'atmosphère (moisissures, spores, etc.). Ces modifications pourraient entraîner un accroissement de l'incidence des maladies respiratoires (asthme et rhinites allergiques), une augmentation du risque de sensibilisation et une aggravation des symptômes chez les individus déjà sensibilisés ;
- rayonnements ultraviolets : selon les auteurs, l'augmentation prévue des rayonnements UV pourrait induire une augmentation des maladies oculaires (conjonctivites, cataractes, photokératites) et des cancers cutané ;
- événements météorologiques extrêmes : selon les auteurs, l'accentuation de la fréquence et de la sévérité de certains phénomènes météorologiques extrêmes spécifiques aux zones étudiées (orages violents, tempêtes, inondations et sécheresses) pourraient entraîner diverses conséquences sanitaires (augmentation des problèmes cardiaques, propagation de maladies vectorielles transmissibles, risque accru d'accidents). Ces événements pourraient également avoir des répercussions sur la santé mentale des travailleurs (notamment *via* des chocs post-traumatiques) et des modifications accidentogènes de l'organisation du travail ;
- maladies vectorielles transmissibles et zoonoses : une augmentation de l'incidence des maladies infectieuses et l'apparition de nouvelles maladies à transmission vectorielle sont attendues (ex : encéphalite de Saint-Louis, encéphalite de La Crosse, encéphalite équine de l'Est, fièvre du Nil occidental, syndrome pulmonaire à hantavirus). Il est par exemple attendu que la maladie de Lyme, zoonose émergente au Canada, se propage dans plusieurs des régions de l'est du Canada, dont au Québec d'ici 10 à 20 ans. L'adaptation à ces modifications environnementales pourrait conduire à un recours accru aux pesticides, par conséquent à une augmentation possible des expositions à ces produits et une augmentation des risques sanitaires associés.

Conséquences sur les ressources naturelles :

les modifications environnementales consécutives aux modifications climatiques devraient en réaction engendrer des modifications des activités et pratiques du secteur agricole, des modifications dans l'industrie de la pêche et des perturbations des écosystèmes forestiers ;

l'insécurité professionnelle résultante pourrait accroître les problématiques associées (insatisfaction au travail, stress et problèmes de santé physique et mentale).

Conséquences sur le contexte socio-économique :

- dégradation de l'environnement bâti : les impacts du changement climatique sur les infrastructures (les auteurs évoquent l'efficacité, la durée de vie, la modification des normes de sécurité) entraîneront une augmentation de l'exposition et de la vulnérabilité des travailleurs à de nouveaux environnements de travail ou de nouveaux dangers ;
- industries émergentes : le développement de nouveaux secteurs industriels en réponse aux impacts du changement climatique (les auteurs évoquent les énergies renouvelables, l'énergie solaire, l'énergie photovoltaïque, les cellules à combustible, les applications de capture et de stockage de CO₂, les nouvelles technologies de transport) s'accompagnera de l'émergence de nouveaux risques associés (les auteurs évoquent l'exposition à de nouveaux environnements de travail, la modification des risques chimiques ou biologiques, les conséquences sanitaires liées à l'insécurité de l'emploi).

Au terme de cette étude, plusieurs pistes prioritaires de recherche ont été identifiées et regroupées par problématiques :

- acquisition de connaissances sur les dangers et populations cibles (étude des événements climatiques extrêmes déjà survenus, étude et évaluation des nouveaux dangers professionnels liés aux changements climatiques extrêmes et leurs impacts sur les infrastructures, étude de l'augmentation de la toxicité et des effets de certains agents biologiques lors d'un aléa climatique, évaluation des risques actuels et futurs liés aux aéroallergènes et zoonoses, étude des contraintes thermiques et hydriques associées au port de vêtement et d'équipement de protection individuelle (EPI) lors d'épisodes de forte chaleur ;
- surveillance épidémiologique (définition d'indicateurs de suivi des impacts sanitaires du changement climatique) ;
- développement de méthodes d'adaptation (recensement et évaluation des méthodes d'adaptation existantes, d'outils de formation aux conséquences potentielles des changements climatiques à destination des travailleurs du secteur de la santé, de vêtements de travail et EPI adaptés, exploration de méthodes d'adaptation *via* l'organisation du travail, développement de méthodes de sensibilisation et information des travailleurs aux risques associés aux changements climatiques).

4.1.1.3 ONU : Climate change and labour impacts of heat in the workplace (2016)

Objectifs de l'étude

Le programme des Nations-Unies pour le développement (UNDP) a publié en 2016 un rapport relatif aux répercussions économiques, sanitaires et sociales liées aux modifications de l'environnement thermique au travail engendrées par le changement climatique⁴⁹. La finalité de ce travail consiste à fournir des prévisions relatives au changement climatique et guider la formulation des politiques publiques des États membres en conséquence (ONU 2016).

⁴⁹

<http://www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/climate-and-disaster-resilience/tackling-challenges-of-climate-change-and-workplace-heat-for-dev.html>

Méthode de travail

Le groupe d'experts académiques et institutionnels auteur de ce rapport s'est basé sur les scénarios de prévision de température du GIEC aux horizons 2025, 2055 et 2085. Les diverses conséquences estimées parmi celles retenues (sanitaires, sociales et économiques) sont agrégées et exprimées par pays en matière de perte de productivité nationale.

La méthode de calcul utilisée repose sur l'emploi de projections climatiques (GFDL et HadGEM2) du GIEC modélisées sur une grille de 67 000 cellules pour chacune desquelles sont calculées les durées d'exposition à la chaleur (exprimé en WBGT). La relation exposition-réponse permettant d'exprimer une perte de productivité (en pourcentage) à partir de ces données d'exposition est celle proposée par Sahu (Sahu, Sett, et Kjellstrom 2013). Ces données, obtenues pour chaque cellule, sont pondérées par la population active présente et sommées par pays.

Résumé des résultats

Les auteurs rappellent qu'une température de travail élevée réduit les capacités mentales et physiques à effectuer des tâches professionnelles et qu'une chaleur extrême accroît également le risque de survenue d'accidents, exposant les travailleurs à de graves conséquences sanitaires (coup de chaleur, déshydratation sévère, épuisement voire décès par hyperthermie). Considérant les mesures de protection des travailleurs au regard de ces risques (diminution des rythmes de travail et aménagement des horaires), ils soulignent que les conséquences prévisibles du changement climatique induiront un conflit entre santé au travail et productivité (cf. Tableau 6).

De fortes disparités régionales sont attendues en raison non seulement des inégalités géographiques relatives aux effets du changement climatique mais également des disparités socioéconomiques déjà existantes. Les régions tropicales et subtropicales seraient donc particulièrement affectées. Ainsi, le pourcentage annuel estimé d'heures de travail perdues liées aux conséquences du changement climatique se situe entre 0,01 et 0,29 % en France suivant les scénarios de réchauffement retenus, ces estimations s'élevant jusqu'à près de 19 % pour des pays situés sur la zone intertropicale (tableau non présenté). Les auteurs précisent que ces résultats peuvent s'interpréter de deux manières :

- en pourcentage d'heures de travail perdues liées à l'adaptation du rythme de travail (ralentissement des cadences de travail, aménagement de pauses) ;
- en pourcentage d'heures de travail présentant de forts risques sanitaires si les travailleurs tentaient malgré tout de garder un rythme de travail équivalent.

Plusieurs types de mesures de prévention du risque lié à la chaleur au travail sont proposés par les auteurs, parmi lesquelles :

- des mesures dites directes : solutions techniques telles que le refroidissement des environnements de travail (air conditionné), l'isolation thermique des bâtiments, la mise à disposition de points d'eau pour les travailleurs et de vêtements de protection adaptés, la mise en place de campagnes de sensibilisation à ces risques et de formation aux bonnes pratiques au travail à adopter en réponse à ces situations, des programmes de surveillance sanitaire, un renforcement des institutions professionnelles, la mise en place de lignes directrices et normes adaptées ;
- des mesures indirectes : des interventions *via* des leviers fiscaux et réglementaires visant à accélérer des réorientations économiques vers des activités industrielles ne requérant pas (ou peu) de travail en extérieur, la mise en place de mécanismes de compensation des pertes économiques *via* l'utilisation des technologies de l'information et de la communication ou par la modernisation des technologies agricoles. Considérant inévitable le recours massif aux systèmes de climatisation pour les régions les plus chaudes, les auteurs soulignent que les politiques énergétiques et programmes de développement d'énergies renouvelables doivent constituer une priorité afin d'éviter que ces solutions

techniques de prévention des risques des travailleurs ne viennent aggraver le changement climatique.

Enfin, les auteurs relèvent la nécessité urgente de réaliser des études et recherches approfondies sur ces problématiques.

Tableau 6 : prévisions de pertes de productivité liées aux effets de la température dans un contexte de changement climatique, par pays (prévisions RCP8.5 et pour un travail modéré de 300 W)

Pays		Population active (millions, en 2015)	Temps de travail potentiellement perdu (%)				
			1995	2015	2025	2055	2085
Asie et Pacifique	Bengladesh	96,65	1,06	1,4 - 2,0	2,53	4,61	8,56
	Cambodge	9,51	1,82	2,2 - 3,4	4,24	6,54	10,93
	Chine	892,11	0,32	0,33 - 0,56	0,68	1,12	2,12
	Inde	817,16	2,04	2,6 - 3,1	3,61	5,22	7,98
	Indonésie	164,23	0,33	0,42 - 0,93	1,23	2,56	5,45
	Kiribati	0,06	0,59	0,75 - 1,5	1,95	4,31	8,66
	Maldives	0,12	0,42	0,59 - 1,4	1,90	4,52	9,17
	Népal	19,7	0,61	0,88 - 1,1	1,27	1,98	3,38
	Pakistan	109,88	3,73	4,1 - 4,7	5,22	7,00	9,97
	Philippines	61,92	0,32	0,78 - 0,79	1,03	2,07	4,41
	Vietnam	60,55	0,80	0,78 - 1,7	2,08	3,44	6,31
Afrique	Burkina Faso	10,25	1,90	2,8 - 3,0	3,56	5,59	9,17
	Éthiopie	51,55	0,14	0,19 - 0,24	0,28	0,43	0,72
	Ghana	17,34	0,64	1,1 - 1,4	1,71	3,49	6,75
	Kenya	29,57	0,05	0,09 - 0,13	0,17	0,32	0,63
	Maroc	21,02	0,01	0,03 - 0,03	0,04	0,08	0,22
	Niger	109,4	0,96	1,6 - 1,8	2,18	3,86	6,69
	Tanzanie	33,57	0,04	0,08 - 0,11	0,15	0,35	0,83
	Tunisie	6,89	0,29	0,65 - 0,56	0,69	1,14	2,15
Amériques	Barbade	0,18	0,05	0,13 - 0,25	0,34	0,78	2,96
	Colombie	30,48	0,21	0,32 - 0,49	0,63	1,22	2,41
	Costa Rica	3,14	0,28	0,33 - 0,53	0,65	1,19	2,23
	Honduras	5,3	0,07	0,11 - 0,24	0,32	0,67	1,51
	Mexique	74,94	0,33	0,50 - 0,57	0,69	1,15	2,03
	USA	208,12	0,15	0,26 - 0,34	0,43	0,73	1,38
Europe	Allemagne	52,17	0,00	0,00 - 0,00	0,00	0,00	0,02
	Espagne	30,69	0,01	0,03 - 0,03	0,04	0,08	0,25

Pays	Population active (millions, en 2015)	Temps de travail potentiellement perdu (%)				
		1995	2015	2025	2055	2085
France	40,56	0,00	0,00 – 0,00	0,00	0,01	0,04
Grèce	7,38	0,00	0,02 – 0,02	0,02	0,06	0,24
Suisse	3,56	0,00	0,00 – 0,00	0,00	0,00	0,01

4.1.1.4 Onerc

L'observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (Onerc) a été créé en France en 2001 afin de :

- collecter et diffuser les informations sur les risques liés au réchauffement climatique ;
- formuler des recommandations sur les mesures d'adaptation à envisager pour limiter les impacts du changement climatique ;
- être le point focal du GIEC en France.

De par ses missions, cet observatoire a produit de nombreuses publications dans le cadre des effets sanitaires du changement climatique en France (état des connaissances et recommandations), parmi lesquelles :

- un rapport abordant la thématique des risques sanitaires liés au changement climatique pour la population générale en France, intitulé « Changements climatiques et risques sanitaires en France » (ONERC 2007) ;
- un rapport spécifique aux problématiques du changement climatique pour les outre-mer, intitulé « Les outre-mer face au défi du changement climatique » (ONERC 2012) ;
- un rapport co-produit avec l'association française des entreprises pour l'environnement (EPE) embrassant l'ensemble des problématiques liées à l'adaptation des entreprises au changement climatique, intitulé « Les entreprises et l'adaptation au changement climatique » (ONERC et EPE 2014).

4.1.1.4.1 Changements climatiques et risques sanitaires en France (2007)

Objectifs de l'étude

Ces travaux avaient pour but de :

- déterminer les maladies humaines susceptibles d'être influencées par le changement climatique pour la population générale en France métropolitaine et dans l'outre-mer à différents termes ;
- discuter des systèmes de surveillance et d'alerte relatifs aux maladies identifiées ;
- déterminer les principales actions (scientifiques ou opérationnelles) qui devraient permettre une meilleure adaptation au changement climatique.

Compte-tenu de l'orientation « population générale » de ces travaux, seule une description sommaire est proposée dans ce chapitre.

Méthode de travail

Le rapport compile une série d'articles indépendants rédigés par des experts nationaux abordant notamment les sujets suivants :

- canicules et allergies ;

- émergences de maladies animales et humaines en France métropolitaine ;
- maladies à vecteurs ;
- maladies infectieuses en outre-mer ;
- réseau de surveillance et veille des maladies infectieuses sur le plan national.

Résumé des résultats

Parmi les nombreuses informations contenues dans ce rapport, plusieurs points d'intérêts particuliers sont relevés.

En considération des fortes interactions entre santé animale et santé humaine, L'Onerc rapporte les travaux de l'Afssa qui avait identifié, en 2005, les six maladies animales les plus susceptibles d'être affectées par les modifications et changements climatiques (la fièvre du Nil occidental, la fièvre catarrhale ovine, la fièvre de la vallée du Rift, la peste équine, la leishmaniose viscérale et la leptospirose).

À propos de la prévision de l'évolution des maladies vectorielles, il est rappelé que le raisonnement selon lequel une augmentation de la température devrait « favoriser » le vecteur, donc la diffusion de maladies, est trop simpliste. Une approche naturaliste plus complexe, c'est-à-dire ne dissociant pas les composantes climat, biodiversité, et transmission des maladies par les vecteurs s'avèrerait nécessaire.

L'augmentation du risque de certaines maladies infectieuses avec l'augmentation de la fréquence d'événements climatiques extrêmes liée au changement climatique semble étayée par certaines observations. Ainsi, en Guyane, une corrélation entre la dengue et les déficits pluviométriques semble établie. Toutefois, l'observation de l'extension des régions affectées par cette maladie en Amérique latine montre que d'autres facteurs que le changement climatique interviennent également (efficacité de la prévention de ce risque, modifications anthropiques de l'environnement, etc.).

4.1.1.4.2 Les outre-mer face au défi du changement climatique (2012)

Objectifs de l'étude

Ces travaux proposent un panorama très large des enjeux du changement climatique (sociaux, environnementaux, économiques, suivant une approche sectorielle, sanitaires, etc.) dans le contexte particulier des outre-mer français.

Une partie de ce document propose un éclairage sur les impacts potentiels du changement climatique sur la santé pour la population générale.

Méthode de travail

Cette synthèse des connaissances disponibles a été réalisée par un groupe d'experts coordonné par l'Onerc.

Résumé des résultats

Plusieurs spécificités des outre-mer face aux risques sanitaires liés au changement climatique sont identifiées (cf. Figure 21) :

- l'extension potentielle de maladies vectorielles (chikungunya, fièvre jaune, dengue, paludisme et fièvre du Nil occidental) : les auteurs soulignent la vulnérabilité des territoires de Mayotte et de la Guyane à ces maladies, du fait notamment des flux importants de migrants et, pour la Guyane, de la présence de populations autochtones isolées dans des communes intérieures constituant, selon les auteurs, un facteur de risque épidémique ;

- le développement de maladies tropicales alimentaires et/ou liées à l'eau : l'augmentation de la température des eaux devrait entraîner une augmentation des épisodes de prolifération de microalgues benthiques productrices de toxines et donc, des risques d'intoxication alimentaire *via* la consommation de poissons ayant concentré ces toxines (ciguatera). Ce risque connu de longue date en Polynésie a été récemment documenté à Mayotte, qui a connu un épisode de prolifération de ces algues. D'autres amplifications de risques de maladies liées à l'eau sont évoquées en raison de divers facteurs climatiques (baisse des débits de certains cours d'eau, hausse de la température des eaux, extension des zones basses inondées du fait de l'élévation du niveau de la mer et salinisation des nappes) qui réduiront l'accès à l'eau potable ;
- l'augmentation des maladies liées aux pics thermiques : la possible apparition d'algues toxiques induirait des effets sanitaires associés à ces algues. De plus, la fréquence de problèmes respiratoires telles que les allergies pourrait augmenter ;
- une exposition grandissante aux événements extrêmes et à leurs conséquences sanitaires et psychosociales : les auteurs rappellent que les conséquences sanitaires des situations d'urgence liées à ces effets climatiques s'étendent au-delà de la durée de ces événements, notamment pour ce qui concerne ce que les auteurs désignent sous le terme de traumatismes psychologiques ;
- une perturbation plus fréquente des services de soins et d'urgence : la survenue d'épidémies, possiblement conjuguées à la dégradation des infrastructures, pourraient impacter le fonctionnement des services de santé (saturation) et donc, par effet indirect, réduire l'accès aux soins. Une vulnérabilité particulière est notée pour la Guyane et Mayotte ;
- la multiplication des espèces dangereuses pour l'Homme : le réchauffement des eaux devrait favoriser dans certaines régions le développement d'espèces telles que les méduses ou les poissons venimeux.

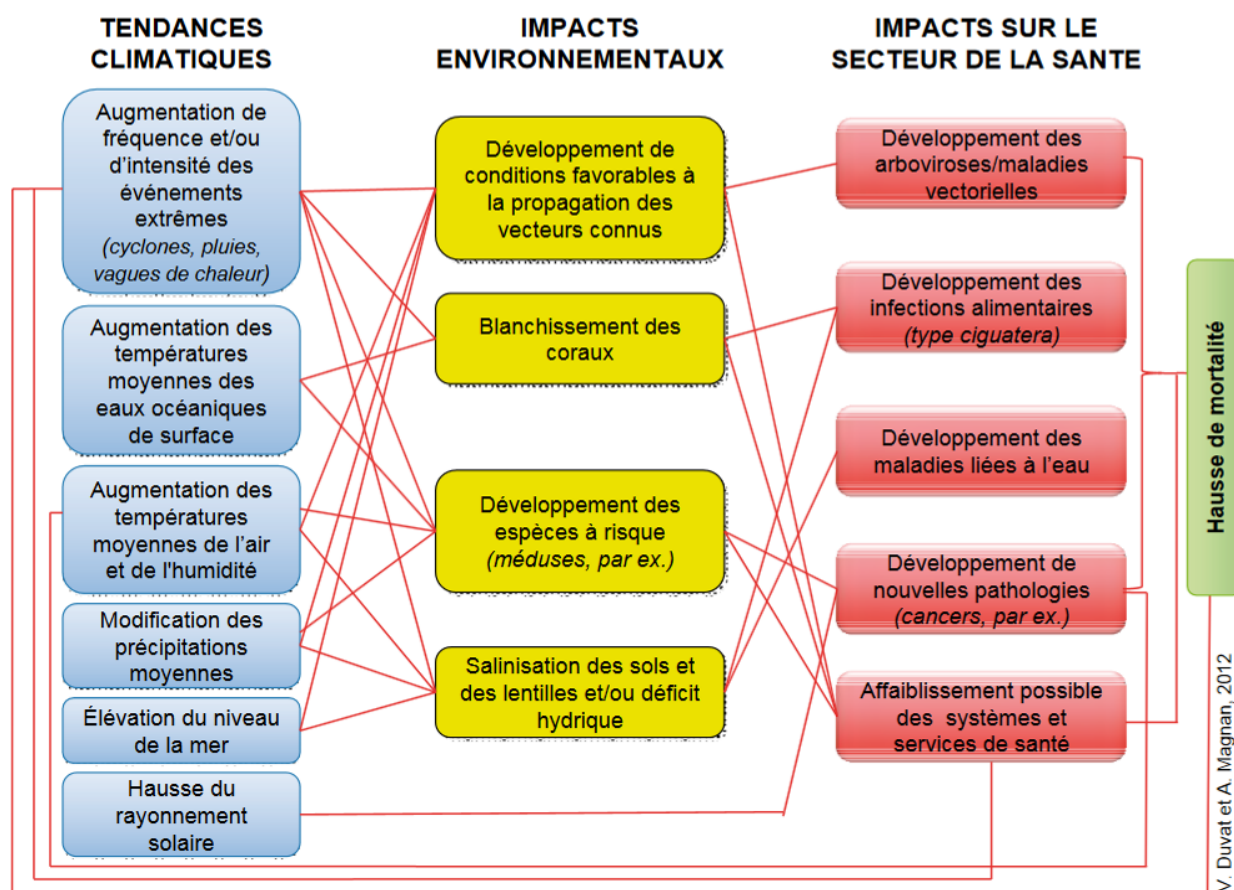


Figure 21 : chaîne des impacts sur la santé à attendre du changement climatique dans le contexte particulier des outre-mer (Magnan 2012)

Les auteurs ont également listé les contraintes actuelles à l'adaptation au changement climatique pour ce qui concerne ces effets sanitaires :

- les fortes mobilités humaines : selon les auteurs, la plupart des outre-mer sont des zones touristiques, favorisant les épidémies. Une autre forme de mobilité concerne la migration de populations d'espaces plus pauvres vers les outre-mer français, comme c'est notamment le cas à Mayotte ou en Guyane ;
- la résistance des vecteurs aux insecticides ;
- des systèmes de santé « en mauvaise santé » : l'accès aux soins est jugé relativement déficient dans certains outre-mer, comme la Guyane, Mayotte et la Polynésie française. La flexibilité des plans régionaux de santé publique est également interrogée ;
- le manque de sensibilisation : les campagnes de sensibilisation, le plus souvent élaborées au niveau national et, par conséquent, plus destinées à un public métropolitain et tiennent peu compte des spécificités culturelles, sociales et géographiques locales ;
- le manque de connaissances scientifiques sur les chaînes d'impacts.

4.1.1.4.3 Les entreprises et l'adaptation au changement climatique (2014)

Objectifs de l'étude

Fruit de la collaboration entre les experts de l'ONERC et les gestionnaires des questions environnementales des entreprises (association française des entreprises pour l'environnement - EPE), cette publication constitue un guide destiné aux entreprises en vue de leur permettre de développer leurs propres stratégies d'adaptation au changement climatique.

Cette publication est sectionnée en 3 parties : elle comporte un état des connaissances relatives au changement climatique, brosse une revue de l'ensemble des problématiques et conséquences liées au changement climatique et enfin propose un guide support à l'établissement de stratégies d'adaptation.

Méthode de travail

S'agissant d'un guide, la rédaction de cette publication repose sur l'expertise et les expériences de ses auteurs, aucune méthode de travail n'est précisée.

Résumé des résultats

Plusieurs exemples de conséquences concrètes et de solutions apportées par des entreprises sont illustrés.

En fin de document, les auteurs proposent des fiches sectorielles résumant les risques identifiés, les recommandations de politiques nationales, les mesures que peuvent adopter librement les entreprises et les opportunités identifiées. Les risques sanitaires identifiés sont notamment issus du rapport de l'Onerc de 2007 analysé ci-dessus :

- vagues de chaleur plus fréquentes, intensité des rayonnements UV, etc. ;
- pollution atmosphérique ;
- extension de pathologies vectorielles (maladie de Lyme) et des allergies aux pollens ;
- exposition aux moisissures et aux toxines issues de micro-organismes ;
- toxico-infections alimentaires (chaîne du froid) ;
- traumatismes liés aux événements extrêmes ;
- perte de productivité des collaborateurs.

Les risques identifiés dans ce document pour chaque secteur d'activité abordé (cf. Tableau 7), bien que plus éloignés des risques sanitaires, revêtent un intérêt quant à leurs impacts indirects potentiels sur la santé et sécurité des travailleurs (retentissement sur les conditions de travail, sur la qualité de la production, son maintien ou non, sur les risques pour le maintien de l'emploi).

Tableau 7 : risques liés au changement climatique pour les entreprises, identifiés par secteur d'activité (ONERC et EPE 2014)

Secteur	Risques identifiés
Agriculture	• tension accrue sur l'utilisation de l'eau entre les différents utilisateurs, y compris irrigation UV, etc. ; • vulnérabilité face aux canicules et aux sécheresses ; • vulnérabilité face aux tempêtes (outre-mer) et aux incendies (toute la France) ; • allergies aux pollens ; • augmentation du prix des facteurs de production ; • développement soutenu de certaines pathologies végétales ou animales ; • problèmes de transport des flux ; • variabilité interannuelle accrue ; • exposition accrue des travailleurs à de fortes chaleurs ; • perte de qualité des produits (céréales, raisins, etc.) ; • modification des lieux de production agricole.

Secteur	Risques identifiés
Forêts	• vulnérabilité de certaines essences face aux sécheresses ; • vulnérabilité des forêts face aux incendies et rupture des réseaux ; • hausse de productivité des arbres avant 2050 puis baisse après 2050 ; • déplacements géographiques importants des aires propices aux essences ayant une vocation de production ; • développement de maladies des arbres et attaques parasitaires sur les arbres fragilisés ; • perte de services écosystémiques dont protection civile en montagne et stockage de carbone.
Littoral, pêche et aquaculture	• hausse du niveau de la mer ; • hausse des températures de la mer ; • acidification des océans ; • modification des aires de répartition de certaines espèces ; • diminution des stocks de certaines espèces et risque d'extinction pour d'autres ; • submersions côtières ; • érosion du trait de côte ; • risque de salinisation des terres arables.
Energie et industrie	• réduction de la ressource en eau ; • vulnérabilité des infrastructures de production et de transport électrique ; • interruption de l'activité en raison de problèmes d'approvisionnement ; • incapacité de répondre aux pics de demande ; • modification de la productivité des installations ; • augmentation des prix des ressources et matières premières ; • augmentation des prix de l'énergie ; • changement de comportement des consommateurs.
Infrastructures de transport	• événements extrêmes ; • hausse du niveau de la mer ; • augmentation des cycles de gel et dégel ; • modification des précipitations et de l'humidité ; • modification de la demande de transport ; • baisse des vitesses d'exploitation ; • augmentation de la maintenance et du suivi des structures ; • hausse de consommation énergétique des matériels en période chaude ; • détérioration du confort des voyageurs en période chaude ; • surchauffe des véhicules et détérioration des pneus.
Urbanisme et cadre bâti	• dégradation du confort thermique en raison de la hausse des températures ; • amplification des risques d'inondation et de crues urbaines en zones côtières ; • faible humidité et hausse importante de la chaleur nocturne ; • glissements de terrain et retrait / gonflement des argiles ; • changement des codes et réglementations de construction ; • productivité des travailleurs réduite en cas de fortes chaleurs ; • perturbation des livraisons de matériaux.

Secteur	Risques identifiés
Tourisme	• modification des conditions de confort, de santé et de sécurité ; • événements extrêmes côtiers (inondations, submersions) ; • hausse du niveau de la mer ; • dégradation des plages et pertes d'habitats en raison de la hausse du niveau de la mer ; • vulnérabilité à davantage de maladies tropicales ; • incendies de forêts ; • réduction de la ressource en eau et conflits d'usages probables ; • réduction de l'enneigement pour le tourisme de montagne ; • modification des comportements touristiques ; • vulnérabilité accrue des installations matérielles ; • perte d'attractivité de certaines activités touristiques ; • tourisme de ville sensible aux fortes températures.
Financement et assurance	• récession économique causée par des événements climatiques impacterait les volumes de transaction ; • exposition à des risques indirects sur les investissements de portfolio ; • augmentation des réclamations de remboursement ; • certains biens et certains risques pourraient ne plus être assurables contre les catastrophes naturelles ; • pertes matérielles accrues rendant les assurances plus volatiles (difficulté de fixer un prix pour l'assuré) ; • perte de pertinence des données historiques pour anticiper l'avenir.

4.1.1.5 Rapports interministériels

Un groupe interministériel dénommé « Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés en France » a été constitué en mars 2007 par le Ministère français chargé de l'environnement afin d'évaluer les impacts du changement climatique en France et de dégager des mesures en vue d'en limiter les coûts.

Ces travaux se sont articulés en deux phases consécutives, chacune associée à un rapport :

- la première phase visait à fournir les premiers éléments d'une évaluation qualitative des impacts du changement climatique par secteur et à la définition d'un cadre méthodologique commun (ONERC et Direction des Etudes Economiques et de l'Evaluation Environnementale 2008) ;
- la deuxième phase visait l'évaluation quantifiée du coût des impacts du changement climatique et des mesures d'adaptation associées (Ministère de l'Ecologie de l'Energie du Développement Durable et de la Mer 2009).

Ce groupe interministériel était constitué d'un groupe plénier et de dix groupes thématiques, pilotés chacun par les Ministères et directions concernés. Parmi ceux-ci, le groupe Santé, piloté par la Direction générale de la santé, a publié en 2008 un rapport spécifiquement dédié aux effets sanitaires associés au changement climatique en France (santé. 2008).

4.1.1.5.1 Les effets qualitatifs du changement climatique sur la santé en France (2008)

Objectifs de l'étude

Ces travaux visaient à fournir un premier panorama des effets probables attendus du changement climatique sur la santé en France (métropole et outre-mer) pour la population générale, sans rechercher l'exhaustivité.

La période temporelle étudiée n'est pas clairement précisée, cependant les projections sur le climat, utilisées comme base de ce travail, correspondent à celles du GIEC à l'horizon 2050.

Méthode de travail

La réalisation de ce document a nécessité la contribution de 30 membres du groupe interministériel, réunis au cours de 4 réunions de travail. La démarche générale d'évaluation des impacts indirects du changement climatique sur la santé, a consisté à :

- lister les événements climatiques et aléas ;
- caractériser pour chacun les dangers par rapport à :
 - o la qualité de l'eau ;
 - o la qualité des aliments ;
 - o la qualité de l'air ;
 - o la qualité des sols et sédiments ;
 - o l'habitat ;
 - o les vecteurs et la microbiologie ;
 - o la sécurité ;
- quantifier la relation dose – réponse pour chaque danger identifié ;
- identifier les caractéristiques géographiques ;
- estimer l'exposition de la population par zone géographique et par danger.

Ces résultats sont mis au regard d'effets indirects sur l'exposition de la population (vieillesse, précarité, économie, déplacements des populations vers des lieux plus favorables, qualité des structures de soins / établissements médico-sociaux).

Enfin, au-delà de ces évaluations d'impacts potentiels non encore réalisées, une partie du rapport est consacrée aux retours d'expérience acquis conséquemment aux épisodes de canicules en France de 2003 et de 2006.

Résumé des résultats

Pour chaque modification climatique considérée, les modifications environnementales d'intérêt liées sont identifiées et leurs conséquences sanitaires redoutées sont discutées au regard de l'état des connaissances disponibles. Les effets ainsi listés ne doivent pas être considérés comme des conséquences certaines : ils constituent pour certains des conséquences probables et pour d'autres, des sujets demeurant à interroger quant à leur plausibilité.

Augmentation de la fréquence des journées et nuits chaudes :

- augmentation de la température des cours d'eau, des lacs et de la température de la surface de la mer : modifications possibles des répartitions géographiques de certains vecteurs biologiques (moustiques), proliférations bactériennes et d'algues ;
- augmentation de l'ensoleillement estival : modification des comportements entraînant des expositions plus longues aux rayonnements UV ;
- réduction de la durée d'enneigement, rendant des habitats favorables à certains vecteurs biologiques, comme les rongeurs réservoirs de l'hantavirus *Puumala* ;
- hiver doux et printemps précoce : modification des saisons polliniques ;
- diminution des gelées et de la survenue des vagues de froid : baisse probable de la mortalité hivernale mais de possibles épisodes de surmortalité lors de la survenue de vagues de froid exceptionnelles (vulnérabilité accrue lors de ces épisodes) et modifications probables des épisodes épidémiques pour les norovirus et rotavirus ;

- dans le cas de vents faibles ou nuls sur de longues périodes : augmentation des épisodes de pollution ;
- climat plus doux, hivers plus humides et activités microbiennes et vecteurs : développement de moisissures dans l'air extérieur et intérieur, transmission accrue des agents pathogènes ou parasitaires, altération de la qualité des aliments (développement de champignons et prolifération bactérienne) ;
- acidification des mers : sélection conduisant à des souches bactériennes plus résitantes aux conditions environnementales.

Vagues de chaleur et sécheresse :

- sécheresse de la végétation : effets indéterminés sur les maladies vectorielles ;
- feux de forêt : augmentation des intoxications respiratoires par les fumées d'incendies, augmentation de la pollution aux polychlorodibenzodioxines et furanes, recrudescence de maladies vectorielles (déplacements massifs d'animaux réservoirs) ;
- assèchement de mares ou de cours d'eau : diminution de l'incidence de certaines maladies vectorielles ;
- baisse du niveau des rivières : diminution de la qualité des eaux ;
- diminution du niveau des nappes phréatiques : diminution des conditions d'hygiène générale liée à des restrictions d'eau ;
- mouvement du sol et conséquences sur les bâtiments (argiles gonflantes) : atteintes psychiques consécutives aux dégradations des bâtis ;
- vagues de chaleur : excès de mortalité ;
- vague de chaleur et effets directs ou indirects sur les activités microbiennes : augmentation de la fréquence des zoonoses pouvant entraîner des contaminations humaines, risques accrus d'intoxication alimentaire liée à la prolifération accrue de germes, effets indirects entraînant une augmentation des maladies vectorielles ;
- vague de chaleur et altération de la qualité de l'air : augmentation locale de la pollution à l'ozone troposphérique.

Évènements de fortes précipitations :

- inondations : dommages corporels immédiats, augmentation de la fréquence des effets sanitaires liés à la contamination alimentaire *via* la pollution des eaux de consommation humaine et la contamination des aliments au stade de la production primaire (production maraîchère par exemple), augmentation de la fréquence des infections respiratoires consécutives à la dégradation de la qualité des habitats (humidité dans les habitats et prolifération de champignons et de moisissures), conséquences psychiques ;
- coulée de boue, glissement de terrain : dommages corporels immédiats et conséquences psychiques ;
- humidité et chaleur : augmentation des risques de maladies vectorielles et maladies à transmission hydrique, augmentation des risques liés aux moisissures liée à une utilisation accrue de systèmes de ventilation, augmentation des risques de contamination fongique des aliments ;

Augmentation de l'activité des tempêtes et cyclones (outre-mer) :

- dommages corporels immédiats, conséquences psychiques, dégradation des systèmes de soin, augmentation du risque de maladies vectorielles et maladies à transmission hydrique, blessures liées aux activités de réhabilitation des zones endommagées, augmentation de la fréquence des effets sanitaires liés à la contamination alimentaire *via* la pollution des eaux de consommation humaine et la contamination des sols destinés à l'agriculture ;

Augmentation de la fréquence d'élévation du niveau de la mer :



- conséquences psychiques liées aux abandons de domiciles, effets incertains du reflux d'eaux côtières dans les estuaires sur les risques biologiques.

4.1.1.5.2 *Évaluation du coût des impacts du changement climatique et de l'adaptation en France (2009)*

Objectifs de l'étude

Le périmètre d'étude de cette évaluation sectorielle des coûts économiques liés au changement climatique en France, aux horizons 2030, 2050 et 2100, exclut :

- les DOM-COM (Départements et Collectivités d'outre-mer) et la Nouvelle-Calédonie ;
- les impacts de propagation spatiale (impacts venant de l'extérieur des frontières nationales) ;
- la prise en compte des mesures d'atténuations.

Méthode de travail

Les évaluations économiques ont été réalisées pour chaque secteur d'activité considéré par des groupes de travail distincts et suivant une méthode de travail harmonisée.

Ces travaux reposent sur les scénarios A2 et B2 climatiques du GIEC (le premier considéré pessimiste et le second optimiste), exploités finement pour le cas français à l'aide du modèle Arpège-climat de Météo-France.

Enfin, les évaluations sectorielles des impacts du changement climatique ont été effectuées sur la base des impacts potentiels pré-identifiés lors de la première phase (ONERC et Direction des Etudes Economiques et de l'Evaluation Environnementale 2008). Cette étape s'est appuyée sur une démarche consistant à analyser les points suivants pour chacun des secteurs d'activité étudiés :

- sensibilité et vulnérabilité actuelle par rapport au climat (analyse de retours d'expériences et observations des impacts déjà constatés) ;
- vulnérabilité potentielle face au changement climatique (propres aux différents secteurs ou régions). Les facteurs-clés de vulnérabilité sont soulignés :
 - o pour les secteurs d'activité :
 - secteurs directement exposés (énergie, agriculture, tourisme, etc.) ;
 - secteurs liés aux besoins fondamentaux (eau potable, alimentation) ;
 - secteurs déjà à la limite de rentabilité (économie forestière) ;
 - secteurs à faible capacité d'adaptation ou à forte inertie (infrastructures) ;
 - secteurs dont le capital a une durée de vie longue (habitat, gestion de l'eau, infrastructures portuaires, production d'électricité, tourisme).
 - o Pour les secteurs géographiques :
 - régions fortement dépendantes d'un seul secteur d'activité exposé (régions touristiques, régions agricoles) ;
 - régions dont les besoins fondamentaux risquent d'être affectés (disponibilité en eau, températures estivales) ;

- régions à faible activité et à faible capacité d'adaptation (montagnes).
- impacts futurs potentiels en fonction des scénarios climatiques retenus ;
- actions d'adaptation (distinction entre adaptation spontanée et planifiée, identification des seuils d'irréversibilité).

Cette analyse s'accompagne d'un examen des incertitudes.

Afin d'éviter d'introduire de nouvelles incertitudes et de simplifier l'étude et l'interprétation de ces résultats, les évaluations quantitatives, lorsqu'elles sont réalisables, se réfèrent à la situation socio-économique française actuelle, considérée inchangée aux différents horizons temporels.

Deux scénarios d'adaptation (spontanée ou planifiée) sont considérés afin de permettre la comparaison des coûts de projets de planification de l'adaptation au changement climatique à ceux engendrés par une inaction de cette planification.

Résumé des résultats

Parmi les nombreux types d'impacts étudiés au cours de cette étude, peu se rapportent directement à des effets sanitaires (*cf.* Tableau 8). Cependant, comme souligné dans ce rapport, les effets économiques négatifs et certaines mesures d'adaptation pourraient potentiellement générer des effets psychiques chez les populations et travailleurs concernés.

Tableau 8 : liste des impacts liés au changement climatique quantifiés par le groupe interministériel (Ministère de l'Ecologie de l'Energie du Développement Durable et de la Mer 2009)

Secteur	Impact étudié	Paramètre climatique considéré	Quantifications réalisées
Agriculture	Impact des évolutions graduelles du climat sur les grandes cultures	Température, précipitations	Gains/pertes de rendement agricole
	Impact des évolutions graduelles du climat sur la viticulture	Températures, Précipitations	
	Impact des évolutions graduelles du climat sur les prairies	Températures, Précipitations	
	Impact des canicules sur les grandes cultures	Canicule (fréquence)	
Forêt	Impact des évolutions graduelles sur la productivité des forêts (sans prise en compte du risque incendie)	Températures, précipitations	Gains/pertes de production de bois
Santé	(voir section précédente)		
Energie	Impacts du changement climatique sur les consommations d'électricité, de gaz naturel, de fioul domestique, d'essence dans les véhicules particuliers	Températures (degrés-jour)	Variations de consommation énergétique liées aux modifications de la demande en chauffage et en climatisation
	Impact de l'évolution de la ressource en eau sur la production d'électricité	Canicule (fréquence) Précipitations	Extrapolation du coût de la canicule de 2003 (manque à produire, sans adaptation) Perte de production hydroélectrique

Secteur	Impact étudié	Paramètre climatique considéré	Quantifications réalisées
Tourisme	Impact des évolutions graduelles du climat sur « l'attractivité climatique » estivale d'une destination	Températures, précipitations	Chiffre d'affaires touristique estival risquant d'être affecté par le changement climatique
Infrastructures	Impacts d'une canicule sur le patrimoine routier national non concédé	Canicule (fréquence)	Estimation des surcoûts pour l'entretien et la reconstruction des routes
	Impacts d'une remontée d'ensemble du niveau de la mer sur le patrimoine routier national non concédé	Elévation du niveau de la mer	Estimation de la valeur patrimoniale des infrastructures concernées
Risques naturels et assurances	Impact des sécheresses sur l'aléa retrait-gonflement des argiles (logements individuels)	Canicule (fréquence)	Coût des dommages aux logements / établissements concernés
	Impact du changement climatique sur les crues dans 5 bassins versants (logements, établissements publics et privés)	Débit maximum (crue)	
	Impacts du changement climatique sur les risques côtiers en Languedoc-Roussillon (logements)	Elévation de niveau de la mer	Coût des dommages aux logements / établissements concernés
	Impact du changement climatique sur les aléas gravitaires	Tous	Evaluation hors de portée.
Biodiversité	Coût de la disparition des écosystèmes coralliens (fonctions de régulation : protection des côtes, fixation de carbone)	-	Estimation de la valeur des services concernés
	Coût des pertes de services non-marchands, dont fixation de carbone, de la forêt métropolitaine : fixation de carbone	Températures, précipitations	
Eau	Déficit en eau pour satisfaire les besoins actuels en eau potable, en eau industrielle, et en irrigation	Températures, précipitations	Estimation du déficit annuel et coût d'accès à l'eau en conséquence

4.1.1.6 HCSP : Impacts sanitaires de la stratégie d'adaptation au changement climatique (2015)

Objectifs de l'étude

Désigné dans le cadre du PNACC pour définir « une méthode d'évaluation des choix et stratégies de remédiation / adaptation au changement climatique et des nouvelles technologies associées au regard de la santé des individus, des populations et des cadres de vie », le Haut conseil de la santé publique (HCSP) a été officiellement saisi le 19 décembre 2012 par la Direction générale de la santé afin de réaliser ces travaux.

Dans le cadre très large de cette mission, le HCSP a préalablement identifié les risques sanitaires concernés par cette étude.

Méthode de travail

Ce document a été réalisé par un groupe de travail en s'adossant sur les éléments de stratégie du PNACC (HCSP 2015).

Résumé des résultats

Le HCSP distingue trois grandes catégories de risques sanitaires en fonction de la nature de la causalité en jeu (effets directs, indirects *via* des intermédiaires environnementaux ou diffus *via* des impacts socio-économiques, cf. Figure 22).

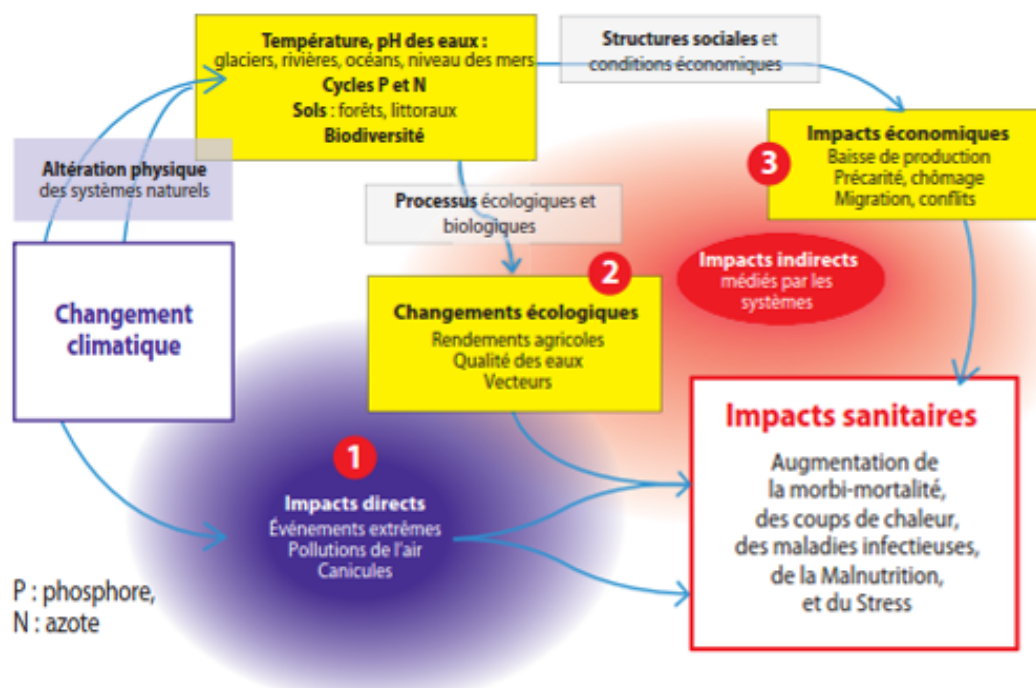


Figure 22 : voies par lesquelles le changement climatique affecte la santé humaine (HCSP 2015)

Certaines voies sont directes, voire immédiates (1). Beaucoup sont, et deviendront de plus en plus indirectes (2, 3) et médies par des ruptures des cycles biophysiques, écologiques, sociaux, économiques et géopolitiques.

Conséquences sanitaires directes des paramètres climatiques (risques primaires) :

- conséquences liées à la température (coups de chaleur, effets moisson, modifications de la mortalité hivernale) ;
- conséquences des événements climatiques extrêmes (cyclones, inondations, vagues de froid : manque d'accès à l'eau, risques psychiques, stress post-traumatique, etc.) ;
- conséquences liées aux UV (cancers de la peau) ;
- dispersion et diffusion de polluants et d'agents infectieux pathogènes sous l'effet de la température (ou de certains événements climatiques extrêmes) ;
- amplification par les modes de vie et de construction (imperméabilisation des sols) et d'exposition (exposition solaire par exemple) ;
- amplification dans les populations les plus vulnérables, en particulier chez les personnes âgées et les populations précaires ;

- effets biologiques directs des changements climatiques (vernalisation, effets phénologiques, effets de nature génétique ou épigénétique).

Risques médiés par des changements de nature biophysique ou écologique (risques secondaires) :

- modification des rendements agricoles, des réserves halieutiques et des flux d'eau ;
- vagues de pollution urbaine (ozone de surface, PM_{2,5}, nanoparticules) majorées par la chaleur, diffusion de molécules toxiques, augmentation des allergènes ;
- modification du compartiment microbiologique : biodiversité des eucaryotes (prolifération de pathogènes, diffusion des vecteurs) ou des procaryotes (microbiotes), modification de virulence, mutations et sélections d'origine thérapeutique ;
- impact sur la faune avec déplacement des réservoirs connus de pathogènes (maladie de Lyme), modification de répartition des vecteurs (*aedes*, etc.) ;
- risques liés aux impacts sur les infrastructures (risque d'incendie, risque sur les infrastructures de transport avec augmentation de la fréquence des accidents, défaut de refroidissement dans l'industrie, notamment énergétique, etc.) ;
- dysrégulations des systèmes immunitaires.

Effets plus diffus (risques tertiaires) :

- conflits armés (guerres climatiques, conflits de reconquête, guerres de la faim) ou tensions dues à la réduction de l'eau, de la nourriture ou de l'espace ;
- problèmes mentaux dus aux déplacements de groupes ;
- problèmes spécifiques liés aux minorités réfugiées ;
- impacts socioéconomiques : modification des organisations sociétales pouvant augmenter les inégalités, la pauvreté, l'économie et les facteurs sociaux de la santé.

4.1.1.7 EEA : *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016*

Objectifs de l'étude

En collaboration avec différents organismes européens⁵⁰, l'agence européenne pour l'environnement (*European Environment Agency* – EEA) a produit en 2016 un quatrième rapport sur le changement climatique, ses incidences et la vulnérabilité en Europe. Ces travaux constituent une évaluation des indicateurs des changements climatiques passés et futurs ainsi que de leurs incidences sur les écosystèmes et la société. L'agence examine également la vulnérabilité de la société face à ces impacts, et élabore des politiques adaptatives (EEA 2016).

Parmi les nombreux aspects analysés dans ce document se retrouvent les effets sur la santé pour la population générale à différents horizons.

⁵⁰ Centre commun de recherche de la Commission européenne, Centre européen de prévention et de contrôle des maladies, Office régional pour l'Europe de l'Organisation mondiale de la santé, et trois Centres thématiques européens : ETC-CCA (incidences du changement climatique, vulnérabilité et adaptation), ETC-BD (diversité biologique), et ETC-ICM (eaux intérieures, côtières et marines).

Méthode de travail

Les indicateurs d'effets et autres projections quantitatives utilisés dans ces travaux s'adosent pour la plupart sur les scénarios du GIEC. Les impacts du changement climatique sur l'environnement, observés et/ou à venir, sont abordés par système environnemental, à savoir :

- milieux marins ou océaniques ;
- zones côtières ;
- eaux douces ;
- écosystèmes terrestres, sols et forêts ;
- écosystèmes et leurs services.

Ces considérations sont ensuite examinées au regard des différentes zones biogéographiques distinguées (arctiques, atlantiques, montagneuses, côtières, boréales, continentales et méditerranéennes) et des sources d'incertitude identifiées.

Concernant les aspects sanitaires, 4 types de risques sont étudiés à l'aide d'indicateurs dédiés (inondations, températures extrêmes, maladies vectorielles, maladies hydriques et liées aux aliments) et les risques liés aux événements climatiques extrêmes sont succinctement abordés.

Résumé des résultats

Une synthèse des conclusions du rapport relatives aux modifications climatiques, environnementales et leurs conséquences est donnée dans le Tableau 10 (les impacts sanitaires sont abordés au point 5.2 de ce même tableau).

Inondations

Les phénomènes d'inondations peuvent être à la source d'effets immédiats (noyades, blessures) et d'effets pouvant perdurer à la suite de ces événements (déplacements de population, pénuries d'eau potable, perturbations de services essentiels et pertes économiques). L'observation de la mortalité liée aux inondations indique qu'environ deux tiers de ces décès sont imputables aux noyades, le tiers restant étant dû à diverses conséquences des inondations (blessures, accidents cardiaques, électrocution, intoxication au monoxyde de carbone, feux et maladies vectorielles).

Hors décès, les auteurs soulignent que le stress chez les victimes d'inondations est susceptible d'affecter leur santé mentale, ces effets pouvant persister longtemps après la survenue de ces événements. Les atteintes aux diverses infrastructures existantes (centres de soins, infrastructures de transport, services d'assainissement, etc.) doivent être considérées comme un facteur majeur de vulnérabilité sanitaire de la zone touchée.

Les projections à l'horizon 2080 semblent indiquer une augmentation de ces événements, plus particulièrement pour les zones côtières.

Températures extrêmes

Les effets liés aux vagues de chaleur peuvent être directement liés à la chaleur (coup de chaleur, fatigue et stress thermique) et également aggraver des états de santé déjà détériorés (problèmes respiratoires, cardiovasculaires, rénaux, etc.). Compte-tenu des effets synergiques de chaleur et de pollution atmosphérique observés au cours des récentes vagues de chaleur, les espaces urbains sont particulièrement vulnérables à ces effets. De plus, les longues périodes combinant chaleur et faible humidité sont particulièrement propices aux feux de forêts, dont les répercussions sur la santé sont connues.

En raison de l'accroissement en fréquence et en intensité des vagues de chaleur et en l'absence de toutes mesures, les modèles utilisés quantifient une augmentation de la mortalité due à la chaleur comprise entre 60 000 et 150 000 décès supplémentaires par an en Europe.

Maladies vectorielles

Les cycles de transmission de maladies vectorielles sont effectivement sensibles aux facteurs climatiques mais également à d'autres facteurs d'importance tels que, par exemple, l'utilisation des sols, la lutte antivectorielle, les mouvements de population et les capacités des systèmes de santé publique en place.

Les incertitudes relatives aux effets du changement climatique varient suivant le type de maladie vectorielle considérée. Ainsi, si les modifications climatiques sont considérées comme le facteur principal expliquant le déplacement de l'espèce de tique *Ixodes ricinus* (vecteur de la maladie de Lyme), leur intervention dans l'expansion géographique de divers autres vecteurs (moustique tigre, *Aedes albopictus*, par exemple) n'est que fortement supposée.

Maladies hydriques et maladies liées aux aliments

Les connaissances actuelles relatives aux facteurs, notamment climatiques, influençant la prolifération de 6 pathogènes (*Campylobacter*, *Salmonella*, *Listeria*, *Vibrio*, *Cryptosporidium* et *norovirus*) sont résumées dans le Tableau 9.

Tableau 9 : liens démontrables entre variables climatiques et pathogènes (EEA 2016)

	Campylobacter	Salmonella	Listeria	Vibrio	Cryptosporidium	Norovirus
Temperature	↔	↔	?	↔	↔	↔
Extreme temperature	↔	?	?	↔	↔	?
Temperature threshold	↔	↔	?	↔	↔	?
Precipitation	↔	↔	?	↔	↔	?
Precipitation pattern (*)	↔	?	?	?	↔	↔
Extreme precipitation	↔	?	?	↔	↔	↔
Humidity	↔	↔	↔	?	?	?
UV light	↔	↔	↔	↔	↔	?
Seasonality	↔	↔	?	↔	↔	↔
Salinity	O	O	O	↔	O	O
Floods	↔	↔	?	↔	↔	↔
Drought	↔	?	?	O	↔	?
Storms	?	?	?	↔	?	?
Irrigation (°)	?	↔	?	O	↔	?
Recreational activities	↔	↔	?	↔	↔	↔
Shellfish production	↔	↔	↔	↔	?	↔
Consumption habits	↔	↔	↔	↔	↔	↔

Note: (*) For example, seasonality of rain events.

(°) Water.

↔ = impact; O = no impact; ? = impact unknown.

Source: Semenza et al., 2012.

Le Tableau 10 présente une synthèse des modifications climatiques et de leurs impacts en Europe selon l'EEA.

Tableau 10 : Synthèse des modifications climatiques et de leurs impacts en Europe (EEA 2016)

Direction of observed and projected climate change and impacts for the main regions in Europe											
Section	Indicator/impact domain	Variable	Sensitivity to adaptation policy	Northern		Temperate		Southern		European average	
				Boreal and Arctic		Atlantic		Continental			
				Obs	Proj	Obs	Proj	Obs	Proj	Obs	Proj
3	Changes in the climate system										
3.2	Atmosphere										
3.2.2	Global and European temperature	Temperature	No	↗		↗		↗		↗	
3.2.3	Heat extremes	Frequency of warm days/heat wave magnitude index	No	↗		↗		↗		↗	
3.2.4	Mean precipitation	Annual precipitation	No	↗		↖		↖		↖	
3.2.5	Heavy precipitation	Intensity	No	↗		↖		↖		↖	
3.2.6	Wind storms	Maximum wind speed	No	↗		↖		↖		↖	
3.2.7	Hail	Potential hail index	No	↗		↖		↖		↖	
3.3	Cryosphere										
3.3.2	Arctic and Baltic sea ice	See end of table									
3.3.3	Greenland and Antarctic ice sheets	Mass	No	↘							
3.3.4	Glaciers	Mass	No	↖		↘		↘			
3.3.5	Snow cover	Duration/amount	No							↘	
4	Climate change impacts on environmental systems										
4.1	Oceans and marine environment (see end of table)										
4.2	Coastal zones										
4.2.2	Global and European sea level	Absolute sea level	No	↗		↗		↗		↗	
Relative sea level		No	↗		↗		↗		↗		
Coastal flooding frequency		Variable	↗		↗		↗		↗		
4.3	Freshwater systems										
4.3.2	River flows	Mean flow (near-natural rivers)	Domain	↗		↖		↖		↘	
4.3.3	River floods	Frequency and magnitude	Trend	↗		↖		↖		↗	
4.3.4	Meteorological and hydrological droughts	Frequency and severity of meteorological droughts	Domain	↖		↖		↖		↖	
		Minimum river flow	Domain	↗		↖		↖		↖	
4.3.5	Water temperature	Lake and river temperature	No	↗		↗		↗		↗	
4.4	Terrestrial ecosystems, soil and forests										
4.4.2	Soil moisture	Summer soil moisture	No	↖		↖		↖		↖	
4.4.3	Phenology of plant and animal species	Day of spring events	No							↘	
4.4.4	Distribution shifts of plant and animal species	Latitude and altitude	Domain	↗		↗		↖		↖	
4.4.5	Forest composition and distribution	Latitude and altitude	Domain							↖*	
4.4.6	Forest fires	Area burnt	Trend					↗		↗	
		Forest fire risk index	Domain	↖		↖		↖		↖	
4.4.7	Forest pests and diseases	Occurrence of insect pests	Domain	↖		↖		↖		↖*	
5	Climate change impacts on society										
5.1	Impacts of climate-related extremes										
5.1.3	Economic losses from climate-related extremes	Costs	Trend							↗	
5.2	Human health										
5.2.3	Floods and health	Mortality and morbidity	Variable			↗				↗	
5.2.4	Extreme temperatures and health	Heat-related mortality	Trend			↗		↗		↗	
		Cold-related mortality	Variable							↘	
5.2.5	Vector-borne diseases	People infected	Trend							↗*	
5.2.6	Water- and food-borne diseases	People infected (vibriosis)	Trend							↗*	

Direction of observed and projected climate change and impacts for the main regions in Europe												
Section	Indicator/impact domain	Variable	Sensitivity to adaptation policy	Northern		Temperate		Southern		European average		
				Boreal and Arctic		Atlantic		Continental			Mediterranean	
				Obs	Proj	Obs	Proj	Obs	Proj		Obs	Proj
5.3	Agriculture											
5.3.2	Growing season for agricultural crops	Duration	No									
5.3.3	Agrophenology	Day of spring events	Domain									
5.3.4	Water-limited crop yield	Average yield	Variable									
		Adverse climatic conditions	Domain									
5.3.5	Crop water demand	Water deficit	Domain									
5.4	Energy											
5.4.2	Heating and cooling degree days	Heating degree days	No									
		Cooling degree days	No									
5.4.4	Electricity production	Production potential	Domain									
5.5	Transport											
5.5.2	Impacts of climate and weather extremes	Costs of adverse weather events	Domain									
5.6	Tourism											
5.6.2	Summer and beach tourism	Attractivity (summer season)	Domain									
5.6.3	Winter and mountain tourism	Winter sport potential	Domain									
6	Multi-sectoral vulnerability and risks											
6.3	Projected economic impacts	Welfare	Variable									
				Arctic Ocean	Atlantic and North Sea	Baltic Sea	Mediterranean and Black Sea	European seas average				
3.3.2	Arctic and Baltic sea ice	Extent	No									
4.1	Oceans and marine environment											
4.1.2	Ocean acidification	Acidity	No									
4.1.3	Ocean heat content	Heat content	No									
4.1.4	Sea surface temperature	Temperature	No									
4.1.5	Range shifts of marine species	Latitude (migration and immigration)	No									
4.1.5	Fisheries	Catch potential	Domain									
4.1.6	Ocean oxygen content	Number of dead zones	Trend									

Legend:

↗	Increase throughout most of a region	Dominating trend in at least two-thirds, opposing trend in less than 10 %	Beneficial change
↘	Decrease throughout most of a region		
↔	Increase in substantial parts of a region	Trend in between one-thirds and two-thirds, opposing trend in less than 10 %	Adverse change
↔	Decrease in substantial parts of a region		
↔	Increases as well as decreases in a region	Trends in both directions in at least 10 %	Change classified as neither adverse nor beneficial/small change
→	Only small changes		
* The direction of change (European average) differs depending on the forest species, insect pest, disease and transport mode			

4.1.2 Revues de la littérature scientifique

Les effets du changement climatique font également l'objet d'une littérature scientifique abondante. Les articles portant sur la santé des travailleurs sont en revanche beaucoup moins nombreux.

4.1.2.1 Méthode de recherche bibliographique

Afin d'identifier, par le biais de requêtes bibliographiques, les revues récentes publiées dans la littérature et se rapportant spécifiquement aux impacts du changement climatique sur la santé des travailleurs, les mots clés ci-après ont été sélectionnés.

- Changement climatique : *climate change, changing climate* ;
- Santé des travailleurs : *occupational health, occupational safety, occupational exposure, occupational risk** ; [*occupation*, work, labor*] couplé avec [*health, safety, illness, injury, death, effect*, risk*, hazard**].

En croisant les mots clés retenus, plusieurs requêtes bibliographiques ont été construites sur 3 moteurs de recherche différents : *Scopus, PubMed et Google Scholar*.

Le détail des requêtes, par moteur de recherche, ainsi que les résultats obtenus en nombre de publications sont présentés dans le Tableau 11.

Tableau 11 : requêtes bibliographiques générales sur le changement climatique et la santé travail

Moteur de recherche	Requête	Nombre de publications	Date de la requête
Scopus	(TITLE-ABS-KEY ("occupational health") AND TITLE-ABS-KEY ("climate change"))	83	16/03/2016
Scopus	((TITLE(occupation*) OR TITLE(work*) OR TITLE(labor*)) AND (TITLE(health) OR TITLE(safety) OR TITLE(pathologies) OR TITLE(illness*) OR TITLE(disease*) OR TITLE(injury) OR TITLE(death*) OR TITLE(effects) OR TITLE(effect) OR TITLE(risk) OR TITLE(risks) OR TITLE(hazard) OR TITLE(hazards) OR TITLE(impact) OR TITLE(impacts)) AND (TITLE("climate change") OR TITLE("changing climate")))	58	16/03/2016
Scopus	((TITLE-ABS-KEY("occupational health*") OR TITLE-ABS-KEY("occupational safety") OR TITLE-ABS-KEY("occupational exposure") OR TITLE-ABS-KEY("occupational risk*")) AND (TITLE-ABS-KEY ("climate change") OR TITLE-ABS-KEY("changing climate")))	192	16/03/2016
Google Scholar	"climate change" AND "occupational health"	36	10/03/2016
Pubmed	("climate change"[All Fields] OR "changing climate"[All Fields]) AND ("occupational health*"[All Fields] OR "occupational safety"[All Fields] OR "occupational exposure"[All Fields] OR "occupational risk*"[All Fields])	85	04/04/2016

Au total, en croisant les résultats des différentes requêtes et après suppression des doublons, le nombre total de publications identifiées s'élève à 290.

4.1.2.2 Sélection des publications à analyser

Ces 290 publications ont été triées sur la base de leur titre et de leur résumé afin d'identifier celles qui traitaient spécifiquement des impacts du changement climatique sur la santé des travailleurs. À l'issue de ce premier tri, 6 publications répondant aux critères ont été retenues ; leurs caractéristiques sont rapportées dans le Tableau 12.

Tableau 12 : publications scientifiques d'intérêt identifiées via les requêtes bibliographiques

Référence (auteur - année - titre)	Effet(s) ou danger(s) étudié(s) - thématique	Paramètre(s) climatique(s)	Site(s) géographique(s) étudié(s)	Type de travaux / Catégorie de publication
Adam-Poupart, A., et al. (2013), <i>Climate change and occupational health and safety in a temperate climate: Potential impacts and research priorities in Quebec, Canada</i> , Industrial Health 51(1): 68-78.	Effets sanitaires	Chaleur, polluants atmosphériques, UV, événements climatiques extrêmes, maladies vectorielles	Pays nordiques industrialisés avec climat tempéré	Synthèse d'expertise collective
Applebaum, K. M., et al. (2016), <i>An Overview of Occupational Risks From Climate Change</i> , Current Environmental Health Reports: 1-10.	Effets sanitaires et productivité	Chaleur ozone HAPs Vecteurs Violence Feux de forêt	États-Unis	Revue
Kjellstrom, T., et al. (2009), <i>The 'hothaps' programme for assessing climate change impacts on occupational health and productivity: An invitation to carry out field studies</i> , Global Health Action 2(1).	Effets sanitaires et productivité	Changement climatique de manière globale avec focus sur chaleur	International	Présentation du programme d'études Hothaps
Kjellstrom, T., et al. (2014). <i>Climate change and occupational health: A South African perspective</i> , South African Medical Journal 104(8): 586.	Effets sanitaires	Changement climatique de manière globale avec focus sur chaleur	Afrique du Sud	Article descriptif
Langkulsén, U., et al. (2010), <i>Health impact of climate change on occupational health and productivity in Thailand</i> , Global Health Action 3.	Effets sanitaires et productivité	Changement climatique de manière globale	Thaïlande	Article source : étude épidémiologique
Schulte, P. A. and H. Chun (2009), <i>Climate change and occupational safety and health: establishing a preliminary framework</i> , Journal of occupational and environmental hygiene 6(9): 542-554.	Effets sanitaires	Changement climatique de manière globale	International	Revue

L'article de Schulte et Chun (2009) « *Climate change and occupational safety and health: establishing a preliminary framework* » a fait l'objet d'une actualisation par ses auteurs en 2016 : ce 7^{ème} article intitulé « *Advancing the framework for considering the effects of climate change on worker safety and health* » est également décrit dans ce chapitre.

Par ailleurs, l'analyse des références des 7 premiers articles sélectionnés a permis d'identifier un 8^{ème} article d'intérêt, de Marchetti, Capone et Freda (2016) : « *Climate change impact on microclimate of work environment related to occupational health and productivity* ».

Le contenu de ces différentes publications, les méthodes de travail mises en œuvre par les auteurs et les principaux résultats sont présentés ci-après.

4.1.2.3 Adam-Poupart *et al.*, (2013), *Climate change and occupational health and safety in a temperate climate: Potential impacts and research priorities in Quebec, Canada*

Cette publication se rapporte aux travaux conduits par l'Institut de recherche canadien Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST, Québec) explorant les connaissances relatives aux impacts négatifs des changements climatiques sur la santé et la sécurité des travailleurs dans le contexte québécois. Les résultats de ces travaux publiés en 2012 sont décrits en amont dans la section 4.1.1.1 et ne seront donc pas développés ici (Adam-Poupart *et al.* 2013).

4.1.2.4 Applebaum K.M. *et al.*, (2016), *An overview of occupational risks from climate change*

Objectifs de l'étude

L'objectif de cette revue de synthèse est de déterminer quelles expositions professionnelles spécifiques sont susceptibles d'augmenter en raison du changement climatique, quels secteurs d'activité seront les plus vulnérables aux impacts du changement climatique et quelles actions de recherches sont nécessaires pour protéger les travailleurs des effets sanitaires attendus liés au changement climatique (Applebaum *et al.* 2016).

Méthode de travail

La base de réflexion des auteurs est le Tableau 13⁵¹ suivant qui présente les effets potentiels du changement climatique sur les secteurs professionnels par source d'exposition.

Tableau 13 : effets potentiels du changement climatique sur les secteurs professionnels par source d'exposition (Applebaum *et al.* 2016)

Source d'exposition / Type de contaminant	Secteurs professionnels susceptibles d'être affectés	Voie d'exposition	Effet sanitaire	Niveau de preuve	Suspecté d'augmenter car...
Pesticides	Agriculture, paysage	Cutanée, inhalation, ingestion	Nombreux	Non conclusif	Augmentation des maladies des plantes
Médicaments vétérinaires	Vétérinaire, agriculture	Cutanée, inhalation	Résistance antimicrobienne	Limité	Intensification de la production de bétail

⁵¹ Tableau traduit d'après l'article d'Applebaum *et al.*, 2016, initialement adapté de Balbus *et al.*, 2013 : *Implications of global climate change for the assessment and management of human health risks of chemicals in the natural environment. A careful review of environmental health impacts of climate change.*

Source d'exposition / Type de contaminant	Secteurs professionnels susceptibles d'être affectés	Voie d'exposition	Effet sanitaire	Niveau de preuve	Suspecté d'augmenter car...
Ozone	Construction, transport, énergie, agriculture	Inhalation	Asthme, BPCO, cardio-pulmonaires	Non conclusif	Augmentation de la température
HAPs		Inhalation	Cardio-pulmonaires, cancérogènes	Non conclusif	Augmentation de la poussière, des feux de forêt
Micro-organismes pathogènes	Pêche, agriculture, hygiène publique	Cutanée, inhalation, ingestion	Maladies infectieuses	Non conclusif	Augmentation des inondations et de la contamination des sols et de l'eau
Infections à transmission vectorielle	Elevages, la plupart des travaux en plein air	Cutanée	Maladies infectieuses	Limité	Augmentation de l'aire de répartition des vecteurs
Poussière du sol	Agriculture, la plupart des travaux en plein air	Inhalation, ingestion	Non renseigné	Non renseigné	Conditions plus sèches
Produits chimiques utilisés dans les procédés industriels	Industries chimiques, services d'intervention d'urgence	Cutanée, inhalation, ingestion	Nombreux	Non conclusif	Inondations/feux de forêt
Fumée des feux de forêt	Pompiers	Inhalation	Respiratoires	Non conclusif	Conditions plus sèches

Les auteurs se sont attaché à décrire les différentes sources d'exposition relevées grâce à une revue de la littérature, en se focalisant sur les données relatives aux travailleurs américains. Les détails concernant la méthode de recherche bibliographique ne sont pas précisés.

Les auteurs se sont intéressés à différents paramètres d'exposition directement ou partiellement liés au changement climatique et susceptibles d'affecter la santé des travailleurs : la chaleur, l'ozone (et la température), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs), d'autres substances chimiques (pesticides et biocides notamment), les microorganismes pathogènes, les agents responsables d'infections vectorielles, les feux de forêt mais également les violences au travail. Ce dernier point a été étudié par les auteurs de l'étude en plus des paramètres d'exposition listés dans le Tableau 13.

Résumé des résultats

Cette publication propose une vue d'ensemble des paramètres d'expositions liés au changement climatique et des secteurs professionnels les plus susceptibles d'être affectés.

Chaleur

Les informations les plus complètes concernent la chaleur qui constitue, selon les auteurs, le plus grand risque posé par le changement climatique pour les travailleurs, qu'il s'agisse des travailleurs en extérieur ou à l'intérieur (industries variées, des travailleurs d'usine à ceux chargés de nettoyer les déversements de pétrole). Les auteurs rappellent que si les risques de morbidité et de mortalité liés à la chaleur sont évidents dans l'agriculture, de nombreux autres secteurs professionnels dont

les activités se déroulent en extérieur sont également à risque, notamment la construction, le transport, l'aménagement paysager, la lutte contre les incendies et autres interventions d'urgence.

Les auteurs indiquent que l'OSHA⁵² a identifié les opérations les plus susceptibles de causer des effets liés à la chaleur comme celles impliquant des températures élevées de l'air, des sources de chaleur radiante, une humidité élevée, un contact physique direct avec des objets chauds, et des activités physiques intenses. Plusieurs lieux de travail en intérieur, où les conditions d'exposition aux risques de maladies liées à la chaleur sont souvent réunies, sont cités : fonderies de fer et d'acier, fonderies de métaux non ferreux, usines de briquetage et de céramique, usines de produits en verre, usines de produits en caoutchouc, services publics d'électricité, boulangeries, confiseries, cuisines commerciales, blanchisseries, conserveries alimentaires, usines chimiques, sites miniers, fonderies et tunnels du réseau de chaleur. Plusieurs facteurs viennent aggraver les effets potentiels de la chaleur : accès limité ou pas d'accès à une ventilation adaptée, pas de climatisation ou une mauvaise climatisation. Les lieux de travail en extérieur exposant le plus les salariés aux risques de maladies liées à la chaleur sont : le travail agricole, la construction, les opérations de puits de pétrole et de gaz, l'enlèvement de l'amiante, l'aménagement paysager, les interventions d'urgence et les activités liées aux sites de déchets dangereux.

Les auteurs précisent que la chaleur affecte négativement la santé par 2 mécanismes principaux :

- un mécanisme direct : une élévation extrême de la température entraînant un coup de chaleur ;
- un mécanisme indirect : la diminution de la qualité de l'air causée par des températures plus élevées augmente le dysfonctionnement cardiopulmonaire et les maladies respiratoires.

Les auteurs mentionnent également le fait que chez les travailleurs en intérieur, la fatigue et d'autres symptômes auto-rapportés ainsi que le stress psychologique et physique sont susceptibles d'augmenter avec l'exposition à la chaleur et que ce type d'effets peut entraîner une diminution de la sécurité des travailleurs. Ils rappellent que les équipements de protection individuelle peuvent augmenter la température corporelle et exacerber les risques pour la santé des travailleurs. Ils citent également le fait que bien qu'il existe des preuves montrant les effets cognitifs de la chaleur sur les travailleurs, les seuils d'effet et les types de tâches les plus touchés ne sont pas clairement déterminés. Il a par ailleurs été démontré que la chaleur augmente les conflits dans certains milieux de travail. Les auteurs mentionnent en outre le fait que chez les travailleurs agricoles, la chaleur pourrait jouer un rôle dans le développement de maladies chroniques. Ils citent l'exemple de l'Amérique centrale, où il a été relevé que la répétition de l'exposition à des événements liés à la chaleur serait associée à une prévalence élevée de maladie rénale chronique chez les travailleurs de la canne à sucre. D'autres affections à long terme liées à l'exposition à la chaleur ont été évoquées, notamment la santé mentale ainsi que des problèmes cutanés et respiratoires.

Qualité de l'air

Les auteurs développent la question de la qualité de l'air, qui devrait également être affectée par le changement climatique et plus précisément par les augmentations de températures, avec des impacts particuliers sur l'ozone. Les travailleurs, dont tout ou partie des activités ont lieu en extérieur, sont susceptibles d'être plus exposés à l'ozone que la population générale, puisqu'ils passent plus de temps à l'extérieur, mais également par l'élévation de leur taux de ventilation dans le cas d'un travail physique. Les auteurs rappellent que les effets de l'ozone sur la santé à court terme sont le développement de symptômes respiratoires et oculaires (toux, respiration sifflante,

⁵² *Occupational Safety and Health Administration* pour Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail

irritation de la gorge et difficulté à respirer, irritation des yeux et crises d'asthme). En cas d'exposition chronique à des concentrations élevées d'ozone, les personnes exposées présentent un risque accru de mortalité due à des maladies respiratoires telles que la pneumonie et la broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO). Selon les auteurs, le changement climatique pourrait accroître le risque d'effets respiratoires pour les travailleurs en extérieur par rapport à la situation actuelle. Les auteurs indiquent que les secteurs professionnels exposés à une augmentation des concentrations d'ozone due au changement climatique seront les travailleurs agricoles, les travailleurs de la construction, de la pêche, de la foresterie, des exploitations minières, de l'extraction de pétrole et de gaz, des transports et de l'aménagement paysager.

Hydrocarbures aromatiques polycycliques

L'impact du changement climatique sur les expositions aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), formés lors de la combustion de matériaux contenant du carbone, est également évoqué et contrairement aux autres polluants discutés, il semble que cet impact soit variable. Il est probable que l'exposition des travailleurs aux HAP sera plus directement impactée par les sources locales, les émissions à la source demeurant le facteur prépondérant dans la détermination des concentrations futures de ces substances. Les travailleurs en extérieur qui présentent les plus fortes expositions aux HAP travaillent généralement à proximité de sources de combustion, il s'agit des agents de circulation, des travailleurs de la construction de tunnels, des garagistes, des chauffeurs de taxi (en particulier ceux qui gardent leurs fenêtres baissées) et des pompiers intervenant en forêt. Les pompiers sont susceptibles d'avoir une exposition accrue aux HAP en raison d'une augmentation prévue de la fréquence des incendies de forêt.

Substances chimiques environnementales

Les auteurs mentionnent le fait que le changement climatique est susceptible d'augmenter les expositions aux substances chimiques environnementales, notamment par l'augmentation de l'utilisation des pesticides et des biocides, l'augmentation des concentrations de poussières entraînant une augmentation de l'exposition aux particules et aux substances chimiques qu'elles véhiculent, l'augmentation de la dispersion chimique par les eaux de ruissellement et l'augmentation des déversements de substances chimiques causés par les inondations et les incendies. L'augmentation de la libération de polluants dans l'environnement combinée à une augmentation de la température représentent un double risque pour les travailleurs de divers secteurs professionnels, notamment l'agriculture, l'énergie, la construction, la gestion des déchets dangereux et les services d'intervention d'urgence.

Microorganismes pathogènes

La possibilité d'une exposition accrue des travailleurs à des microorganismes pathogènes est également développée par les auteurs. Les travailleurs les plus susceptibles d'être exposés seront ceux dont les activités entraînent un contact étroit avec les milieux naturels ou avec les sols, l'eau, les animaux ou des infrastructures contaminés. L'augmentation des épisodes de pluies extrêmes pourrait entraîner une exposition accrue des travailleurs qui exploitent et entretiennent les réseaux d'égouts ou les fosses septiques (susceptibles d'être inondés) aux agents pathogènes d'origine humaine présents dans les eaux usées. Ce phénomène pourrait être particulièrement important dans les zones côtières, où les réseaux d'assainissement sont particulièrement vulnérables à l'élévation du niveau de la mer. L'augmentation des épisodes de pluie extrême pourrait également favoriser l'exposition des travailleurs aux moustiques dans des zones où le drainage des eaux est insuffisant et donc augmenter le risque de transmission chez ces travailleurs des pathologies véhiculées par ces insectes. Les maladies à transmission vectorielle incluant la fièvre de la vallée du Rift, la fièvre jaune, le paludisme, la dengue et le chikungunya, sont sensibles aux changements climatiques et les recherches suggèrent que plusieurs de ces maladies vont étendre leur aire de répartition géographique, augmentant leur impact sur la santé humaine.

Conflits entre les personnes

Les liens entre la chaleur et les conflits entre les personnes, notamment les risques de violences (interne ou externe) sont également développés. Ces risques de conflits constituent une menace pour l'intégrité physique de plusieurs catégories de travailleurs, notamment les forces de l'ordre, les acteurs de la gestion de crises, la médecine d'urgence... Les auteurs évoquent la question des réfugiés climatiques fuyant leur pays en quête de nouvelles ressources. Ce contexte comporte des risques spécifiques pour les personnels de l'aide humanitaire, les forces de l'ordre et les travailleurs médicaux.

Feux de forêt

Les auteurs rapportent que les modifications induites par le changement climatique en matière de profils de vent, de température et de niveaux d'humidité vont modifier la probabilité et l'ampleur des feux de forêt d'origine naturelle (liés par exemple aux impacts de foudre) ou humaine. La lutte professionnelle contre les incendies de forêts peut entraîner de graves lésions voire la mort. L'exposition par voie inhalée aux particules et à la chaleur augmente également les risques de pathologies respiratoires. L'augmentation du nombre ou de l'ampleur des feux de forêt entraînera donc une augmentation concomitante de la vulnérabilité des pompiers vis-à-vis de ces effets.

Conclusions et recommandations

Les auteurs formulent finalement des recommandations visant à anticiper au mieux l'impact du changement climatique sur les travailleurs américains :

- mise en place de programmes de surveillance pour les travailleurs agricoles (suivi des changements dans les expositions professionnelles, les profils de blessures et de maladies en lien avec les changements climatiques) ;
- modélisation de scénarios ciblés sur les impacts professionnels des événements climatiques extrêmes, notamment les inondations, les feux de forêts et les déversements de produits chimiques ;
- établissement d'un programme national de recherche ciblé sur le contrôle et la diminution de la vulnérabilité aux changements climatiques.

Les auteurs concluent que, compte tenu des augmentations de température attendues en lien avec le changement climatique ainsi que des effets atmosphériques qui en résultent, il est nécessaire d'améliorer la protection des travailleurs vis-à-vis des expositions à la chaleur, à l'ozone, aux HAP et d'autres produits chimiques, aux agents pathogènes, aux feux de forêt ainsi qu'à la violence au travail. Ils précisent qu'il est également nécessaire de parvenir à une meilleure caractérisation des populations de travailleurs à risque vis-à-vis des effets du changement climatique dans les différents secteurs professionnels en considérant la nature et l'environnement de travail selon les zones géographiques.

Les auteurs proposent plusieurs stratégies de protection des travailleurs : modification des horaires de travail (réduction de l'exposition aux risques à forte composante temporelle), augmentation de la fréquence et de la durée des pauses, développement de méthodes pour inciter les travailleurs à prendre leurs pauses. Les emplois nécessitant le port d'équipements de protection individuelle nécessitent une attention particulière (risque de lésion ou d'infection et d'hyperthermie dues à la chaleur).

4.1.2.5 Kjellstrom et al., (2009), *The 'hothaps' programme for assessing climate change impacts on occupational health and productivity: An invitation to carry out field studies*

Objectifs de l'étude

Les changements climatiques au niveau mondial vont entraîner une augmentation de la charge thermique des populations dans les environnements intérieurs et extérieurs et sont susceptibles de nuire à la santé et à la productivité des travailleurs à l'échelle du globe. Cette étude décrit les effets physiologiques liés à la chaleur, les modélisations climatiques, les lignes directrices sur le climat permettant d'assurer la sécurité des environnements de travail ainsi que la répartition mondiale des populations de travailleurs, dans l'objectif d'estimer l'impact de 2 scénarios climatiques sur la productivité future des travailleurs (T. Kjellstrom et al. 2009).

Méthode de travail

Les auteurs ont utilisé les données issues des modèles climatiques mondiaux pour différentes régions du monde combinées avec les relations entre l'indice WBGT et la capacité de travail afin de calculer le changement relatif de la capacité de travail de la population à différentes échelles de temps et pour différents scénarios climatiques.

L'analyse s'est déroulée en 5 étapes :

1. Classement des populations selon la région du monde et le type de climat et sélection des points climatiques représentatifs.
2. Obtention des données quotidiennes du modèle de simulation climatique pour chaque point sélectionné, représentant une zone climatique sous-régionale dans laquelle vivent au moins 5 % de la population régionale.
3. Calcul des distributions actuelles et futures du WBGT quotidien (« work WBGT ») pour chaque zone climatique sous-régionale suivie de la génération d'une série régionale de « work WBGT » utilisant une moyenne pondérée sur la population.
4. Estimation de la capacité de travail relative actuelle et future, afin d'estimer les pertes potentielles de productivité dues au changement climatique global pour chaque grand secteur d'activité (agricole, industriel, service).
5. Combinaison des estimations spécifiques aux différents secteurs afin d'obtenir une seule estimation régionale en utilisant la répartition variable des populations de travailleurs entre les secteurs.

Résumé des résultats

Dans la plupart des régions, le changement climatique va entraîner une diminution de la productivité du travail, sous l'hypothèse simple d'aucune adaptation spécifique.

Dans les années 2080, les plus fortes pertes de main-d'œuvre (de 11 % à 27 % en valeur absolue, selon la population) se retrouvent pour le scénario A2 en Asie du Sud-Est, en Amérique andine, en Amérique centrale et dans les Caraïbes.

L'augmentation de l'exposition professionnelle à la chaleur induite par le changement climatique peut avoir un impact significatif sur la productivité et les coûts du travail, à moins que des mesures préventives ne soient mises en œuvre.

4.1.2.6 Kjellstrom *et al.*, (2014), *Climate change and occupational health: A South African perspective*

Objectifs de l'étude

Cette publication s'intéresse à la situation de l'Afrique de Sud face aux impacts des changements climatiques sur les populations de travailleurs (Kjellstrom *et al.* 2014).

Méthode de travail

Plusieurs axes sont développés dans cette publication :

- les paramètres climatiques particulièrement importants pour la santé au travail ;
- la quantification des impacts sanitaires du changement climatique ;
- les projections futures en matière d'impacts pour l'Afrique du Sud ;
- la prévention et le contrôle.

Le mode de collecte des données rapportées dans cette publication n'est pas précisé.

Résumé des résultats

Plusieurs paramètres météorologiques tels que la chaleur, le froid, les précipitations, le vent et la couverture nuageuse peuvent impacter directement ou indirectement la santé humaine. Les changements climatiques attendus (augmentation des températures, modifications des régimes de précipitations et augmentation de la fréquence des événements météorologiques extrêmes) seront à l'origine de risques professionnels accrus dans de nombreux secteurs d'activité. Les auteurs attirent plus particulièrement l'attention sur les risques liés aux effets du stress thermique, les risques de blessures causées par les événements météorologiques extrêmes, les risques de maladies à transmission vectorielle, les risques liés à une exposition accrue aux produits chimiques, et les risques liés à la sous-alimentation (Tableau 14).

Tableau 14 : risques potentiels pour la santé des travailleurs liés au changement climatique induisant des conditions plus chaudes et plus tempérées dans la plupart des pays du monde

Type de danger	Exemples de groupes de travailleurs vulnérables	Taille potentielle des groupes vulnérables
Chaleur excessive au travail	Travailleurs dans les zones tropicales et subtropicales; travailleurs de plein air dans des emplois physiquement exigeants (agriculture, construction, carrières, nettoyeurs extérieurs, collecteurs d'ordures, construction et réparation de routes); les travailleurs à l'intérieur des usines ou des ateliers sans climatisation ou d'autres systèmes de refroidissement (problèmes de chaleur communs dans de nombreux pays chauds); travailleurs à l'intérieur des bureaux sans climatisation (le stress thermique affecte la précision et la productivité)	Plusieurs milliards de personnes dans les pays tropicaux et subtropicaux à faible et moyen revenu
Froid excessif au travail	Les travailleurs de plein air dans l'Arctique ou les zones à très haute altitude (en raison de la variabilité climatique croissante, la survenue de vagues de froids graves peut augmenter localement même si la température moyenne annuelle augmente)	Quelques millions de personnes dans les zones froides (pour la plupart d'entre elles, le froid sera cependant moins intense)
Conditions météorologiques extrêmes	Les travailleurs d'urgence souffrant de symptômes d'origine thermique (augmente le besoin de travailleurs lors d'un événement spécifique); les travailleurs dans divers emplois dans les zones inondées ou ravagées par orages; les pauvres dans l'industrie artisanale à petite échelle ou l'agriculture; les gens perdent tous leurs revenus ou forcés de migrer (problèmes de santé mentale)	Quelques millions chaque année
Maladies à transmission	Travailleurs agricoles dans les zones endémiques du paludisme ou de la	De nombreux millions dans les

vectorielle	dengue	zones à faible revenu
Expositions chimiques additionnelles	Travailleurs dans l'industrie dans les endroits où les colles et les solvants sont largement utilisés; travailleurs agricoles pulvérisant des pesticides	De nombreux millions dans les pays à revenu faible ou intermédiaire
Manque de nourriture	Les travailleurs de agriculture vivrière (et leurs familles) dans les zones où la production agricole est considérablement réduite par le changement climatique	De nombreux millions dans les pays à revenu faible ou intermédiaire

En Afrique du Sud comme dans les régions du monde qui connaissent une saison chaude chaque année, les effets du stress thermique peuvent avoir un plus grand retentissement sur les populations professionnelles des activités minières, les travailleurs agricoles, les métiers de la construction et de l'exploitation des carrières.

La chaleur des usines et des ateliers constituera également un problème croissant dans les nombreux lieux de travail sans systèmes de refroidissement adaptés.

L'Afrique du Sud a fait l'objet de recherches approfondies concernant les effets de la chaleur sur le travail dans les mines dans les années 1950 et 1960, et l'avenir apportera de nouveaux défis non seulement pour les mines, mais aussi pour de nombreux autres lieux de travail.

Les projections climatiques pour ce siècle indiquent que l'exposition à la chaleur pourrait augmenter de 2 à 4°C pendant les mois les plus chauds, ce qui ferait basculer la chaleur professionnelle d'une situation de « faible risque » à un « risque modéré ou élevé » dans une grande partie de l'Afrique du Sud.

4.1.2.7 Langkulsen *et al.*, (2010). *Health impact of climate change on occupational health and productivity in Thailand*

Objectifs de l'étude

Les auteurs de cette étude transversale se sont intéressés à la relation entre les conditions climatiques et l'état de santé ainsi que la productivité des travailleurs dans 2 grands types d'environnements professionnels impliquant une exposition à la chaleur (1) générée par les procédés industriels ou (2) naturellement présente en lien avec un environnement particulier (Langkulsen, Vichit-Vadkan, et Taptagaporn 2010).

Méthode de travail

Cette étude transversale menée en Thaïlande comprenait 4 sites industriels (une industrie potière, une centrale électrique, une fabrique industrielle de couteaux et un chantier de construction) et un site agricole dans les provinces de Pathum Thani et d'Ayutthaya. Les données d'exposition étaient constituées de données météorologiques et de données d'exposition à la chaleur incluant l'humidité relative (HR), mesurée par l'indice de température au thermomètre-globe mouillé (WBGT). L'indice de chaleur (HI pour *Heat Index*) a été calculé afin de mesurer les effets de l'exposition à la chaleur sur la population de l'étude, composée de 21 travailleurs répartis sur 5 lieux de travail différents. Un questionnaire a également été utilisé afin de recueillir des données sur les travailleurs. Les données ont été collectées entre septembre et octobre 2009, au cours de la saison des pluies en Thaïlande, au moment où les températures ne sont pas dans la gamme de températures la plus élevée.

Le Tableau 15 présente les différentes catégories de dangers en fonction de l'indice de chaleur HI ainsi que les effets sanitaires potentiellement associés.

Tableau 15 : catégories de dangers en fonction de l'indice de chaleur

Catégories	Indice de chaleur	Troubles thermiques possibles pour les personnes dans des groupes à haut risque
Danger extrême	130°F ou supérieur (54°C ou supérieur)	Le coup de chaleur ou l'insolation est probable
Danger	105 à 129°F (41 à 54°C)	Les coups de soleil, les crampes musculaires et / ou l'épuisement par la chaleur sont susceptibles de survenir Coup de chaleur possible en cas d'exposition prolongée et / ou d'activité physique
Mise en garde extrême	90 à 105°F (32 à 41°C)	Des coups de soleil, des crampes musculaires et / ou un épuisement thermique sont possibles en cas d'exposition prolongée et / ou d'activité physique
Mise en garde	80 à 90°F (27 à 32°C)	Fatigue possible en cas d'exposition prolongée et / ou d'activité physique

Source: Service météorologique national de l'Administration nationale de l'océan et de l'atmosphère, Unites States, Département du commerce (2009).

Résumé des résultats

Les auteurs indiquent que l'élévation des températures induite par le changement climatique va entraîner une augmentation des expositions à la chaleur et des effets sanitaires associés. Les effets néfastes liés à l'exposition à la chaleur peuvent se manifester par des éruptions cutanées légères, l'aggravation de maladies chroniques (notamment cardiovasculaires et respiratoires) ou encore aller jusqu'au coup de chaleur mortel.

Les Tableaux 17 et 18 présentent les résultats d'exposition (WBGT et HI) par site d'étude : site 1 (industrie potière), site 2 (culture de légumes), site 3 (chantier de construction), site 4 (centrale électrique) et site 5 (fabrique industrielle de couteaux).

Tableau 16 : données de mesures du WBGT dans cinq lieux de travail (en Thaïlande), pendant le mois d'octobre 2009

	WBGT (°C)
Industrie de la poterie à Sam Khok	25.6 à 32.5
Champ de légumes à Sam Khok	25.2 à 34.6
Construction bâtiment à Ratchasuda	26.4 à 28.3
Centrale électrique de Wang Noi	28.7 à 30.5
Industrie à Aranyik knife	25.5 à 29.6

Tableau 17 : indices de chaleur pour cinq lieux de travail (en Thaïlande)

	Température (Celsius)	Humidité relative (%)	Index de chaleur (Celsius)
Industrie de la poterie à Sam Khok	31	72	38.4
Champ de légumes à Sam Khok	31	65	36.6
Construction bâtiment à Ratchasuda	29	81	35.8
Centrale électrique de Wang Noi	33	63	40.9
Industrie à Aranyik knife	29	86	35.5

Parmi les 5 lieux de travail, étudiés, les auteurs ont constaté que le WBGT en extérieur s'élevait au maximum à 34,6°C entre 12 h et 13 h sur le site agricole. Les auteurs indiquent également que 4 des 5 sites d'étude présentaient des indices de chaleur relevant de la catégorie « extrême prudence », les travailleurs risquant des crampes de chaleur et un épuisement lié à la chaleur. Un site présentait une valeur de 41°C relevant de la catégorie « danger », avec un risque probable d'insolation et d'épuisement lié à la chaleur voire de coup de chaleur en cas d'exposition prolongée.

La productivité a été évaluée par les auteurs selon la perception des travailleurs et seuls les travailleurs de la construction et de la céramique rapportaient une perte de productivité comprise entre 10 et 60 %.

Les auteurs concluent que les conditions climatiques en Thaïlande sont susceptibles d'affecter la santé et la productivité des travailleurs.

4.1.2.8 Schulte, P. A. et H. Chun (2009). *Climate change and occupational safety and health: establishing a preliminary framework*

Objectifs de l'étude

L'objectif de cette étude est l'élaboration d'un cadre conceptuel visant à déterminer la façon dont le changement climatique pourrait affecter la santé et la sécurité des travailleurs. À travers la construction de ce cadre, les auteurs se sont attachés à proposer des éléments de réponse à plusieurs questions complexes : (i) Comment caractériser les liens entre le changement climatique mondial et la santé et sécurité au travail ? (ii) Les effets du changement climatique sur les travailleurs seront-ils différents pour la population générale ? (iii) Le travail entraînera-t-il une potentialisation des effets sanitaires liés au changement climatique mondial ? (Schulte et Chun 2009)

Méthode de travail

Cet article décrit en premier lieu un cadre conceptuel intégrant les changements climatiques, les risques professionnels associés et leurs manifestations dans les populations de travailleurs. Les auteurs ont construit ce cadre sur la base d'une revue de la littérature scientifique publiée de 1988 à 2008. Cette revue était centrée sur (1) les effets sanitaires liés au climat, (2) les facteurs individuels susceptibles d'accroître la sensibilité aux effets du climat et (3) l'incidence de ces informations sur les orientations de recherche et de pratique en matière de santé et sécurité au travail.

Afin de réaliser cette revue bibliographique, la Bibliothèque nationale de médecine (*National Library of Medicine*) et les bases de données de la Bibliothèque électronique Lowell (*Lowell Electronic Library*) de l'Université du Massachusetts ont été consultées en utilisant des combinaisons de mots-clés : « *climate* », « *climate change* », « *global warming* », « *health* », « *heat* », « *temperature* », « *air pollution* », « *ozone depletion* », « *heat stress* », « *biological hazards* », « *worker health* », « *UV radiation* », « *disaster* », « *extreme weather* », « *vectorborne* », and « *building* ». D'autres bases de données, des sites internet ainsi que des données issues de la littérature grise (rapports institutionnels, rapports techniques...) ont également été consultés. Les données analysées incluent des études épidémiologiques sur les effets sanitaires liés aux changements climatiques sur la période de 1988 à 2008. Les publications ont été retenues pour analyse si elles présentaient des données spécifiques aux travailleurs.

Résumé des résultats

Les liens potentiels entre le changement climatique mondial et la santé et sécurité au travail sont présentés par les auteurs dans un schéma conceptuel⁵³ (cf. Figure 23).

⁵³ Ce schéma est dérivé de 2 modèles utilisés par l'OMS afin d'évaluer les liens entre la santé environnementale et les actions politiques : « *Development of environmental health indicators* » (Corvalan et al., 1996) et « *Getting strategic about the environment and health* » (Morris et al., 2006).

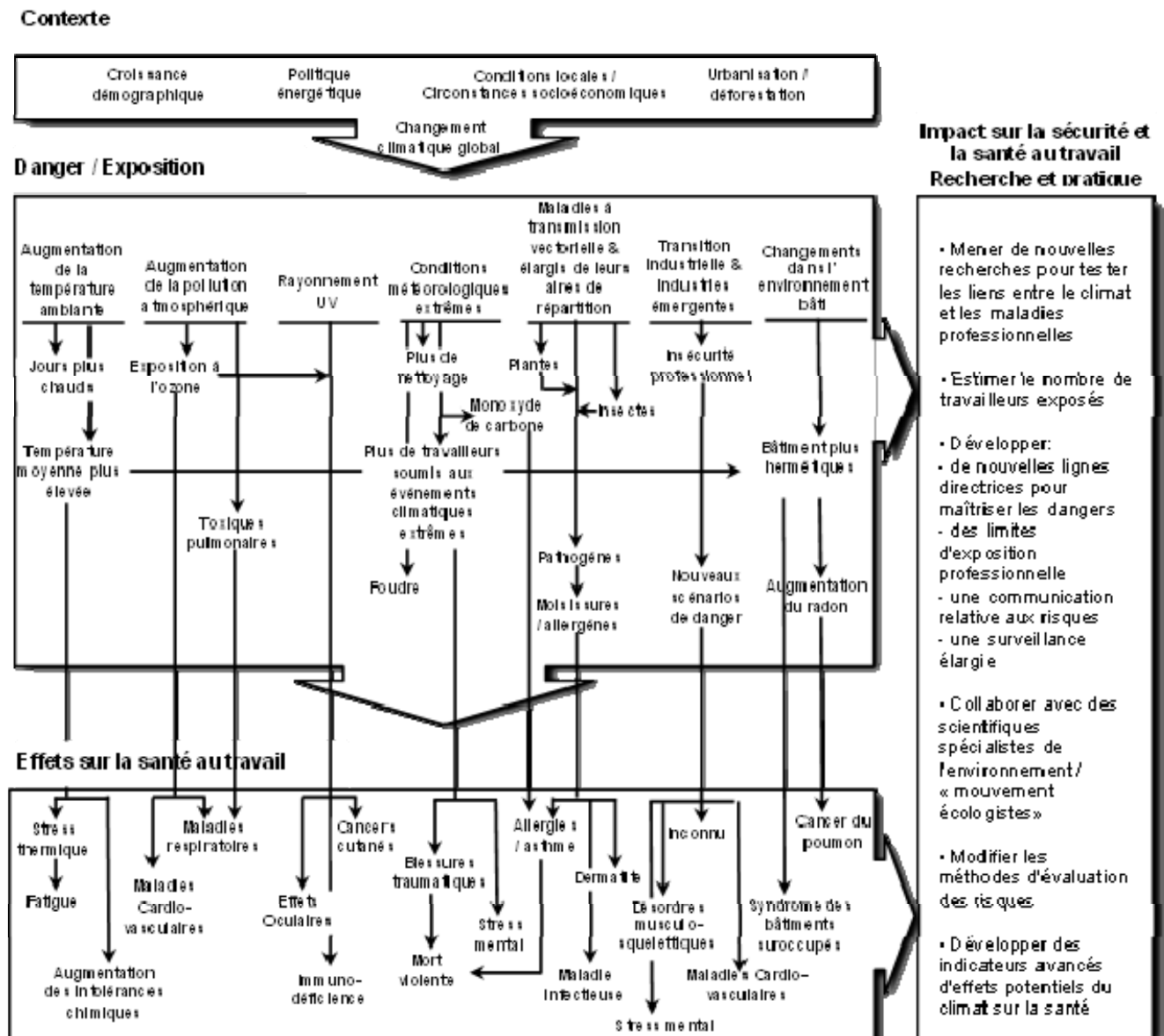


Figure 23 : schéma conceptuel des liens entre le changement climatique et la santé/sécurité au travail (Schulte et Chun 2009)

L'impact du changement climatique sur la santé des travailleurs est influencé par différents facteurs contextuels, tels que la croissance démographique, les politiques énergétiques mises en œuvre, les conditions et déterminants socio-économiques locaux, l'urbanisation croissante et la déforestation. En interagissant avec le changement climatique, ces facteurs peuvent conduire à une augmentation de l'ampleur et de la gravité des dangers professionnels connus et entraîner un nombre croissant de travailleurs exposés.

Les travailleurs sont exposés à de nombreux types de dangers qui dépendent de la nature de leur travail, de la région géographique, de la saison et de la durée du temps de travail. Les auteurs proposent de considérer les dangers liés au climat selon 7 catégories auxquelles sont associés différents types d'effets :

1. augmentation de la température ambiante → stress thermique/insolation, diminution de la tolérance chimique, fatigue, impact sur le système immunitaire → les travailleurs en extérieur et ceux qui travaillent dans des bâtiments qui n'ont pas été conçus pour faire face aux contraintes thermiques, sans air conditionné ou système de ventilation approprié, seront les plus exposés ;

2. pollution de l'air : augmentation des concentrations de polluants atmosphériques et des quantités d'allergènes dans l'air (pollens, moisissures...) → asthme et autres pathologies respiratoires → les travailleurs en extérieur sont exposés à des risques de décès, d'asthme et de symptômes respiratoires liés à l'exposition à l'ozone ; il existe un risque d'augmentation de la prévalence et de la sévérité des troubles allergiques ;
3. exposition aux rayons ultraviolet : augmentation des rayonnements UV → effets oculaires et cancers cutanés, perturbation du système immunitaire pour les travailleurs en extérieur → l'augmentation conjointe des rayonnements UV et de la température moyenne est associée à une augmentation de l'incidence du cancer de la peau et de cataracte corticale ; l'exposition aux UV peut entraîner une suppression de l'immunité à médiation cellulaire induisant une sensibilité accrue vis-à-vis des infections ;
4. événements météorologiques extrêmes :
 - augmentation de la fréquence ou de l'intensité des inondations, des sécheresses et des incendies (et altération des infrastructures et des bâtiments associée) → les acteurs de la gestion de crise (secours, sécurité civile...) et de la reconstruction (nettoyage, construction...) peuvent être exposés à des risques de décès, de blessures, de maladies infectieuses et de troubles de la santé mentale ;
 - augmentation de la fréquence des tempêtes → les travailleurs en extérieur (construction, agriculture, moniteurs de loisirs en extérieur, industrie de la pêche...) risquent d'être plus exposés à la foudre ;
5. maladies à transmission vectorielle et habitats élargis :
 - augmentation des risques d'infections à transmission vectorielle par les moustiques (paludisme, filariose, dengue et fièvre de *West Nile*), les tiques (maladie de *Lyme* et encéphalite à tiques), les phlébotomes (leishmaniose) et les mouches noires (onchocercose) → les travailleurs en extérieur (agriculteurs, travailleurs du secteur forestier, paysagistes, jardiniers, peintres, couvreurs, travailleurs de la construction, ouvriers, mécaniciens...) encourent le risque de contracter ces maladies ;
 - augmentation des risques d'exposition aux plantes venimeuses → les travailleurs du secteur forestier et les pompiers qui combattent les feux de forêts sont exposés à un risque de réactions allergiques par contact cutané avec ces plantes mais également à un risque d'irritation pulmonaire par inhalation de leurs toxines lorsque ces plantes toxiques sont brûlées ;
6. transitions industrielles et industries émergentes (prospective)
 - modification de certaines industries → les travailleurs seront exposés aux risques sanitaires associés à l'insécurité de leur emploi, notamment dans les secteurs de la pêche et des transports ;
 - développement de nouvelles industries/technologies plus écologiques → les travailleurs seront confrontés à une diminution de certains risques concomitante à l'émergence de risques nouveaux (ex : manipulation des matériaux constituant des panneaux solaires, utilisation de biocarburants...) ;
 - augmentation de la production d'énergie nucléaire → les travailleurs de l'industrie nucléaire seront exposés à des risques d'effets sanitaires variables suivant le type d'activités exercées (risques de décès lors des étapes d'extraction du minerai, risques de lésions ou de pathologies liés à une irradiation chronique pendant la production, le démantèlement, le retraitement ou l'élimination des déchets) ;

- activités de recyclage → les données concernant les risques liés à ces activités sont encore parcellaires, mais des risques d'exposition au plomb et à d'autres métaux, ainsi que des risques ergonomiques et biologiques ont été rapportés pour les travailleurs du secteur ;

7. changements dans l'environnement bâti : émergence des bâtiments performants en énergie → Les bâtiments conçus pour garantir une efficacité énergétique peuvent conduire, en l'absence d'un système de ventilation adapté, à une accumulation des polluants dans les environnements intérieurs → Les travailleurs des environnements intérieurs mal ventilés (employés de bureau, enseignants, étudiants, ouvriers exposés aux produits chimiques industriels) risquent d'être exposés à un large éventail de contaminants de l'air intérieur (incluant le radon), notamment lors de journées plus chaudes et de pics de pollution atmosphérique.

Les auteurs se sont également intéressés aux facteurs individuels pouvant augmenter la susceptibilité des travailleurs vis-à-vis des risques liés au changement climatique. Ces facteurs et leurs impacts potentiels sont regroupés dans le Tableau 18 ci-après.

Tableau 18 : facteurs individuels pouvant augmenter la susceptibilité des travailleurs vis-à-vis des risques liés au changement climatique (traduction du tableau de Schulte et Chun, 2009)

Facteurs	Effets
Âge	Chez les travailleurs âgés, l'élimination de nombreux toxiques est plus lente. Leur capacité de thermorégulation est également plus faible.
Obésité	Différences génétiques et acquises de tolérance à la chaleur et de taux de sudation : l'excès de masse corporelle augmente la production de chaleur métabolique.
Pathologie pré-existante	Les travailleurs ayant déjà souffert d'atteintes liées à la chaleur, souffrant d'obésité ou d'une maladie préexistante (telle que des maladies cardio-vasculaires ou respiratoires chroniques), les personnes âgées ou d'autres personnes occupant des emplois exposant à un stress thermique et qui ne sont pas acclimatés, risquent davantage de souffrir de maladies liées à la chaleur.
Petite taille corporelle, faible statut socio-économique	Selon les auteurs, les personnes qui vivent dans la pauvreté ou qui ont une petite taille corporelle sont plus vulnérables au stress thermique en raison du risque d'expositions multiples, d'un régime alimentaire carencé et d'un manque d'accès aux soins médicaux.
Grossesse	Certaines conditions telles que la grossesse, le diabète et les maladies auto-immunes affaiblissent le système immunitaire et peuvent rendre les personnes plus sensibles aux moisissures.
Statut immunologique	Les personnes atteintes d'une infection par le virus de l'immunodéficience humaine (VIH) ou les personnes immunodéprimées sont plus à risque d'infections graves.
Type de vêtement de travail	Les travailleurs qui doivent porter des vêtements de protection semi-perméables ou imperméables ou des EPI tels que des combinaisons Tyvek, des gants, des respirateurs purificateurs d'air sont à risque d'atteintes liées à la chaleur.
Caractéristiques génétiques	Les facteurs génétiques de l'hôte qui modifient les effets physio-pathologiques des particules, peuvent jouer un rôle dans la prédiction de la sensibilité vis-à-vis de la pollution atmosphérique. L'expression des protéines de choc thermique et de certains gènes peut être modifiée en réponse au stress thermique.

En lien avec les impacts du changement climatique pour les travailleurs, les auteurs proposent des orientations de recherche et de pratique en matière de santé et sécurité au travail : adaptation des normes, développement de procédures d'acclimatation, nouvelles orientations de recherche,

élaboration de nouvelles directives sur la maîtrise des risques et la communication des dangers, développement de systèmes de surveillance et d'alerte précoces, mettre l'accent sur la prévention par la conception.

Les auteurs concluent que le changement climatique peut entraîner une augmentation de la prévalence, de la distribution et de la gravité de leur exposition aux dangers professionnels connus, induisant une augmentation de l'incidence de la mortalité, de la morbidité et des effets associés. Aucun danger professionnel nouveau induit par le changement climatique n'a pu être identifié à ce stade, mais cette possibilité ne peut être exclue.

4.1.2.9 Shulte *et al.*, (2016), *Advancing the framework for considering the effects of climate change on worker safety and health*

Objectifs de l'étude

Cette publication est l'actualisation de la publication de Shulte et Chun, (2009). Au-delà d'une simple mise à jour de la littérature, cet article identifie également des priorités d'action permettant de mieux caractériser et comprendre les liens entre la santé et la sécurité au travail et les changements climatiques et veiller à ce que les questions de santé et de sécurité des travailleurs soient anticipées, reconnues, évaluées et limitées (Schulte *et al.* 2016).

Méthode de travail

En 2009, les auteurs ont réalisé des travaux préliminaires sur la façon dont le changement climatique est susceptible d'impacter la sécurité et la santé des travailleurs. Ces travaux complémentaires reposent sur une recherche documentaire couvrant la période de 2008 à 2014. Les différentes catégories de risques professionnels liés au climat, identifiées dans le cadre conceptuel de 2009, ont été utilisées comme termes de recherche. Des données concernant trois thèmes additionnels ont également été recherchées : (i) les effets du changement climatique sur la santé mentale des travailleurs, (2) le fardeau économique des risques pour la santé et la sécurité au travail liés au climat et (3) les activités de géo-ingénierie et les risques potentiels pour les travailleurs.

Résumé des résultats

Risques sanitaires pour les travailleurs et effets du changement climatique : éléments issus de la littérature couvrant la période 2008-2014

Les auteurs présentent des exemples récents de dangers dans chacune des catégories ci-dessous.

- Augmentation des températures ambiantes :
 - o l'OSHA a conduit une estimation des décès liés à la chaleur à l'extérieur et a recensé 106 décès survenus aux États-Unis entre 2008 et 2014. Les emplacements de ces décès ont été cartographiés et associés au nombre attendu de jours/an en 2020 au cours desquels les températures devraient dépasser 90°F (≈32°C). Étant donné que la plupart des décès survenus entre 2008 et 2014 se sont produits dans des zones où le nombre de jours au-dessus de 90°F devrait augmenter en 2020, il est probable que le nombre de décès augmente également à cette échéance ;
 - o chez les travailleurs qui exercent un second emploi, ceux qui vivent dans des logements sans système de refroidissement efficace ou présentant une humidité élevée, le stress thermique et la susceptibilité vis-à-vis des pathologies liées à la chaleur peuvent être accrus voire compliqués par l'effet « îlot de chaleur urbain » ;

- o certains travailleurs effectuant des travaux physiques dans des environnements chauds et qui sont rémunérés à la pièce, ainsi que les travailleurs en mauvaise santé et précaires peuvent être particulièrement vulnérables vis-à-vis des effets de la chaleur en refusant les pauses de repos et d'hydratation susceptibles d'impacter négativement leurs revenus ;
 - o les expositions à la chaleur peuvent augmenter le risque d'accidents de travail causés notamment par des paumes de mains moites, des lunettes de protection embuées, des étourdissements et des fonctions cérébrales réduites ;
 - o l'excès de chaleur réduit la capacité de travail et la productivité des travailleurs exposés et peut entraîner une perte de revenus, entraînant des difficultés économiques et des effets néfastes sur la santé mentale ;
 - o pour les travailleurs des services de santé et autres acteurs de la gestion de crise, la nécessité de travailler à une capacité maximale pendant des événements de chaleur extrême ou les catastrophes naturelles, impliquant souvent le port de vêtements spécifiques ou équipements de protection individuels, peut entraîner des contraintes mentales et physiques supplémentaires ;
 - o l'augmentation des expositions à la chaleur est susceptible d'accroître l'exposition des travailleurs aux substances chimiques par différents mécanismes : altération de l'absorption, de la distribution, du métabolisme et de l'excrétion des substances toxiques ; augmentation du débit de ventilation ; augmentation de la sudation et du flux sanguin cutané ; augmentation de la densité des particules en suspension dans l'air. Parmi les professions à fort potentiel d'exposition simultanée à la chaleur et aux substances chimiques, les travailleurs de la métallurgie, les couvreurs et les pompiers semblent présenter le risque le plus élevé ;
 - o les auteurs constatent un développement récent des normes et orientations concernant l'appréhension du stress thermique et des environnements chauds sur les lieux de travail. Le NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*) a notamment mis à jour son rapport définissant les critères de stress thermique, et a réaffirmé la limite d'exposition et les seuils d'alerte recommandés en 1986.
- Pollution de l'air :
 - o les auteurs décrivent les effets attendus des changements climatiques sur la qualité de l'air et les niveaux de pollution à l'ozone aux États-Unis ;
 - o les auteurs précisent que l'impact de la pollution atmosphérique sur les travailleurs n'a pas fait l'objet d'évaluations spécifiques. Néanmoins, les informations sur le nombre de décès prématurés liés à l'ozone et aux PM_{2,5} peut permettre d'identifier les zones géographiques (états ou régions) à risque pour la population générale afin d'en déduire les risques pour les travailleurs ;
 - o les augmentations de température induites par les changements climatiques peuvent également affecter l'exposition des travailleurs à la pollution atmosphérique des environnements intérieurs (bureaux, transports en communs, présence de polluants dans les environnements de travail).
 - Exposition aux UV :
 - o les auteurs indiquent que le rayonnement UV terrestre devrait diminuer au cours de ce siècle, en lien notamment avec la diminution des produits chimiques appauvrissant la couche d'ozone dans l'atmosphère. Néanmoins, ce phénomène pourrait être plus long en Arctique et considérant qu'un nombre croissant de travailleurs devraient travailler dans cette région, le risque d'effets sanitaires liés aux rayons UV devrait augmenter pour ces travailleurs ;

- o selon les auteurs, l'exposition aux UV des pilotes de ligne va augmenter dans la mesure où les activités humaines et les changements climatiques affectent la couche d'ozone stratosphérique. Les risques d'effets oculaires et de mélanomes existants chez ces travailleurs vont augmenter. Une norme définissant les propriétés de transmission optique des pare-brises des avions devrait être développée afin de protéger les pilotes professionnels des rayonnements UV.
- Événements climatiques extrêmes :
 - o les événements météorologiques extrêmes liés au changement climatique tels que les tempêtes, les inondations, les glissements de terrain, les sécheresses et les feux de forêt sont susceptibles de présenter des dangers pour les travailleurs en extérieur, en particulier les intervenants d'urgence et autres acteurs de la gestion de crises (sécurité civile, secours, acteurs du nettoyage et de l'assainissement...) ;
 - o les auteurs rapportent qu'une étude de Fayard (2009) a recensé 307 décès de travailleurs lors de catastrophes naturelles entre 1992 et 2006, précisant que les incendies de forêt (80 décès), les ouragans (72 décès) et les inondations (62 décès) étaient à l'origine de la plupart de ces décès professionnels liés au climat. Concernant les 72 cas associés aux ouragans, 60 % des décès ont eu lieu après la catastrophe chez les travailleurs affectés au nettoyage, à la reconstruction et à la restauration des services publics. Sur 62 cas associés aux inondations, 45 % des décès ont eu lieu au volant d'un véhicule motorisé.
- Maladies à transmission vectorielle et autres dangers biologiques :
 - o depuis 2008, de nombreuses études ont été menées concernant les impacts du changement climatique sur les maladies à transmission vectorielle et autres dangers biologiques. Les données concernant les risques professionnels associés à ces dangers demeurent néanmoins limitées. Les travailleurs à risque sont principalement les travailleurs en extérieur : travailleurs de la construction, de l'aménagement paysager, de la foresterie, du débroussaillage, de l'agriculture, des champs de pétrole et des services publics, de la gestion des ressources naturelles ainsi que les pompiers forestiers. Ce risque accru découle d'une exposition accrue à des vecteurs tels que les moustiques, les tiques et les puces qui peuvent transmettre des parasites, des virus ou des bactéries (borréliose de Lyme, virus du *Chikungunya*, virus *West Nile* et *Zika*...) ;
 - o des conditions plus chaudes favorisent l'augmentation des concentrations des allergènes aéroportés (spores fongiques et pollens) et augmentent les risques allergiques associés ;
 - o les maladies diarrhéiques transmises par l'eau sont sensibles aux variations climatiques et peuvent affecter les travailleurs des professions telles que la pêche et la gestion des ressources naturelles ;
 - o l'expansion en matière de croissance, d'aire de répartition et de durée de croissance des ravageurs et autres mauvaises herbes risque d'entraîner une augmentation de l'utilisation de pesticides et notamment une application de ces substances dans des zones où elles n'étaient pas nécessaires auparavant.
- Transitions industrielles et industries émergentes :
 - o le changement climatique va entraîner des transitions industrielles vers des activités plus « vertes », moins consommatrices en énergies non renouvelables et moins émissives en carbone. Le nombre d'emplois « écologiques » va donc connaître une forte progression au sein de ces industries. À l'inverse, les industries traditionnelles telles que l'agriculture et la pêche pourraient faire face à une diminution de la main-d'œuvre ou à une modification des pratiques de travail ;
 - o les mutations industrielles peuvent conduire à une exposition à des risques professionnels traditionnels dans des activités/industries nouvelles (chutes, troubles musculo-

squelettiques, expositions à des substances chimiques) ou à des risques émergents, non identifiés auparavant ;

- o les différents modes de production d'énergies renouvelables exposent les travailleurs à des risques professionnels spécifiques associés à la construction, l'exploitation et l'entretien des installations dédiées à ces activités ;
- o les travailleurs du secteur du recyclage, en plein développement en réponse aux besoins de réduction des dépenses énergétiques induits par le changement climatique, sont exposés à des risques professionnels nombreux et variés : blessures chez les travailleurs des centres de tri, expositions élevées aux métaux lourds, éthers diphenyliques polybromés et agents ignifuges chez les travailleurs du recyclage des déchets électroniques, augmentation des symptômes liés à l'exposition à la poussière organique chez les travailleurs des industries de compostage et exposition aux agents biologiques dans le recyclage des déchets domestiques (plastiques, textiles et papiers).
- Changement de l'environnement bâti :
 - o les changements climatiques induiront la construction de bâtiments de plus en plus hermétiques accentuant l'exposition aux polluants atmosphériques à l'intérieur des bâtiments, notamment les sous-produits de la combustion, le radon et les composés organiques volatils et semi-volatils ainsi que les organismes biologiques tels que les moisissures ;
 - o le développement de constructions écologiques est susceptible d'exposer les travailleurs de la construction à des dangers inconnus (nouveaux procédés, nouveaux matériaux...) ;
 - o des programmes ont été mis en place concernant l'amélioration de la conception des bâtiments afin de réduire l'impact sur l'environnement et d'éviter de nuire à la santé des occupants et des travailleurs impliqués dans la construction, l'entretien et à terme la démolition des bâtiments.

Considérations additionnelles

- Effets du changement climatique sur la santé mentale des travailleurs :
 - o il n'existe aucune littérature spécifique concernant les effets du changement climatique sur la santé mentale des travailleurs. Les liens entre les catastrophes météorologiques extrêmes (inondations, feux de forêt, vagues de chaleur, cyclones) et des réactions d'anxiété extrême (syndrome de stress post-traumatique) ont néanmoins été établis ;
 - o la perte de capacité de travail liée à l'augmentation de l'exposition à la chaleur et la perte de revenu qui en résulte sont susceptibles de causer des problèmes de santé mentale chez certains travailleurs.
- Fardeau économique des risques liés au climat pour la santé et la sécurité au travail :
 - o la littérature sur les coûts ou les pertes économiques liés à l'exposition des travailleurs aux conditions climatiques est limitée mais indique que la productivité économique individuelle, locale, nationale et régionale peut être affectée par les travailleurs qui ralentissent et réduisent leur effort physique pour tenter de prévenir les effets de la chaleur.
- Géoringénierie et risques potentiels pour les travailleurs :
 - o la géoringénierie concerne la manipulation intentionnelle à grande échelle de l'environnement par l'Homme. Cette science plutôt controversée est notamment évoquée comme un moyen de refroidir artificiellement la planète. L'ampleur et la nature des risques susceptibles d'être causés par la mise en œuvre de procédés de géoringénierie sont inconnues.

Priorités d'action

En complément d'une sensibilisation accrue des travailleurs aux risques liés au changement climatique, les auteurs précisent qu'il est nécessaire d'avoir une réflexion plus stratégique sur les mesures permettant de supprimer, limiter ou réduire ces risques et ils proposent une liste de priorités d'action en ce sens. Ces priorités d'action incluent la recherche, la surveillance, l'évaluation des risques, la gestion des risques et l'élaboration de politiques.

- Recherche : identification des populations de travailleurs les plus vulnérables, identification des indicateurs des effets du changement climatique sur la santé des travailleurs, détermination des interactions entre le climat, les risques sanitaires et d'autres facteurs, investigation de l'efficacité des stratégies de limitation et de contrôle des risques.
- Surveillance : déterminer les risques par danger, activité et lieu ; améliorer les systèmes sentinelles/d'alerte précoce ; modifier les systèmes de surveillance existants.
- Évaluation des risques : identifier de nouveaux modèles ; tenir compte des incertitudes.
- Gestion des risques et élaboration de politiques : élaborer des directives adaptées en matière de réponse et de contrôle, développer l'orientation des employeurs et des travailleurs, intégrer la prise en compte des risques professionnels dans la planification, intégrer la santé et la sécurité au travail aux efforts de santé publique, améliorer la communication sur les risques, améliorer les efforts de préparation.

Le Tableau 19 ci-après propose une déclinaison des priorités d'action par type de danger professionnel lié au changement climatique.

Tableau 19 : déclinaison des priorités d'action par type de danger professionnel lié au changement climatique

Besoin de recherches				
Dangers professionnels liés au climat	Recherches	Surveillance	Évaluation des risques	Gestion des risques
Augmentation de la température ambiante	• Développer des équipements de protection individuels pour une utilisation dans des environnements chauds / humides • Évaluer le poids économique de l'influence de la chaleur sur la santé et la productivité des travailleurs	• Délimiter l'étendue géographique des dangers liés à la chaleur • Identifier les blessures, les maladies et les décès par temps chaud	• Déterminer les risques d'effets toxiques et de sécurité des produits chimiques dans les environnements chauds • Identifier les interactions de divers facteurs de susceptibilité et des dangers liés à la chaleur	• Cibler la prévention de pathologie liée à la chaleur chez les travailleurs manuels • Évaluer le retour sur investissement des interventions • Développer la sensibilisation et l'éducation à la notion de stress thermique pour les employeurs et les travailleurs
Air pollution	• Évaluer l'impact de l'ozone troposphérique⁵⁴ sur les travailleurs	• Localisation des concentrations élevées d'ozone troposphérique par cartographie	• Évaluer les risques liés à l'ensemble des dangers aériens pour les travailleurs de plein air	• Élaborer des lignes directrices fondées sur l'évaluation des risques de tous les dangers présents dans l'air
Ultraviolet radiation	• Évaluer la relation entre le rayonnement UV et le changement climatique à des altitudes élevées • Déterminer si les événements conduisant à l'exposition à des particules solaires (protons atteignant la Terre à partir des éruptions solaires) vont augmenter	• Identifier les zones géographiques où l'exposition aux UV est la plus élevée	• Évaluer les risques pour les travailleurs de plein air en fonction de la localisation	• Élaborer des lignes directrices et des politiques de gestion des risques

⁵⁴ A niveau du sol

Dangers professionnels liés au climat	Besoin de recherches			
	Recherches	Surveillance	Evaluation des risques	Gestion des risques
Conditions météorologiques extrêmes	- Évaluer comment les facteurs sociaux, démographiques et environnementaux influencent les effets des catastrophes et la santé des travailleurs - Évaluer les effets du travail prolongé sur la santé mentale	Évaluer les bases de données disponibles pour déterminer s'il existe des données exploitables sur les blessures et les maladies liées aux conditions météorologiques extrêmes	- Évaluer la relation entre la température et la foudre - Élaborer des scénarios pour la protection des travailleurs en cas de perturbation des infrastructures	- Élaborer un plan pour cibler les travailleurs à risque - Prodiguer davantage de conseils sur l'exposition au monoxyde de carbone lors du nettoyage après des crues (motopompes)
Maladies à transmission vectorielle et autres risques biologiques	- Identifier les tâches qui augmentent l'exposition des travailleurs - Évaluer l'étendue de l'exposition aux pesticides des travailleurs de plein air	Mettre l'accent sur la surveillance pour déterminer l'étendue des populations de travailleurs à risque	Identifier le risque combiné de maladies transmises par des vecteurs et de risques biologiques découlant du changement climatique et d'autres facteurs de causalité (par exemple, l'utilisation des terres)	Élaborer des lignes directrices pour les employeurs sur la protection des travailleurs
Transitions industrielles et industries émergentes	Évaluer les effets des transitions industrielles sur la santé mentale des travailleurs	Augmenter la surveillance des blessures et des maladies dans les emplois verts	Modéliser les risques pour les travailleurs de diverses transitions industrielles	Élaborer des plans de gestion de la transition qui s'adressent aux travailleurs
Changements dans l'environnement bâti ⁵⁵	- Évaluer l'impact sur la santé et la sécurité de divers lieux de travail - Identifier les tâches spécifiques impliquées dans la géo-ingénierie et leurs dangers	Intégrer les cartes du radon aux cartes de localisation des lieux de travail	Évaluer les risques que représentent le radon pour les travailleurs en fonction de différents designs de bâtiments	Promouvoir les normes de management dans la conception dans le domaine de l'énergie et de l'environnement pour protéger les travailleurs utilisateurs des bâtiments

Perspectives

Les données issues de la littérature indiquent que le changement climatique présente actuellement et va continuer de représenter un risque pour la santé et la sécurité au travail. L'actualisation du cadre conceptuel et les priorités d'actions rapportées dans cette publication pourront s'avérer un outil supplémentaire permettant d'aider les agences de sécurité sanitaire et de santé publique à la protection des travailleurs vis-à-vis des effets néfastes du changement climatique.

4.1.2.10 Autres travaux : ISS (Marchetti 2016) : *Climate change impact on microclimate of work environment related to occupational health and productivity*

Objectifs de l'étude

Cette étude constitue un résumé des connaissances relatives aux effets prévisibles des modifications de températures induites par le changement climatique sur les travailleurs (effets sanitaires et effets sur la productivité).

Ce travail ne vise pas de secteur géographique particulier ni de période temporelle précise (Marchetti, Capone, et Freda 2016).

⁵⁵ Comprend la géoingénierie.

Méthode de travail

Pour réaliser ces travaux, les auteurs ont effectué une analyse des articles les plus récents sur ce sujet.

Résumé des résultats

Les données épidémiologiques accumulées au cours des trois dernières décennies montrent que l'accroissement de la température moyenne et des fréquences de vagues de chaleur, combinée à d'autres facteurs (susceptibilités individuelles et conditions de travail) ont entraîné une aggravation des effets sanitaires chez les travailleurs (coup de chaleur, décès).

S'adossant sur ces travaux, les auteurs rappellent que les travailleurs des régions tropicales et subtropicales, exerçant des activités physiques intenses en extérieur et exposés à des conditions de températures excessives, constituent l'essentiel de la population vulnérable à ces modifications climatiques. De tels effets pourraient également concerner les activités en intérieur non climatisé.

Ils soulignent néanmoins l'existence d'effets plus subtils (baisse de vigilance et augmentation de temps de réaction) pour les travailleurs exposés à un stress thermique, notamment pour des activités réclamant une forte charge physique. Les conséquences de ces effets peuvent se décliner sous la forme de baisse de productivité (diminution des performances professionnelles) et/ou d'une augmentation possible de l'accidentologie dans le cadre de tâches dangereuses (pilotes, chauffeurs de véhicules).

Afin d'appuyer la mise en œuvre de mesures de prévention des risques professionnels reposant sur des stratégies efficaces de réduction des risques professionnels, les auteurs soulignent le besoin d'études complémentaires suivant une approche multidisciplinaire (climatologie, médecine et épidémiologie) qui permettrait une meilleure compréhension des conséquences des modifications climatiques sur les risques liés au stress thermique et à la productivité.

4.2 Liens entre changements climatiques, environnementaux et santé

Les évolutions prévisibles du climat exposées au chapitre 2.2 étant en faveur d'une élévation des températures et des vagues de chaleur et d'une réduction des vagues de froid et des aléas climatiques froids, ce chapitre abordera les mécanismes physiologiques d'adaptation à des conditions climatiques chaudes et aux conséquences sanitaires potentielles d'une exposition aux ambiances thermiques chaudes. Les mécanismes décrits ne sont aucunement spécifiques de la population professionnelle. Leur description permet néanmoins de mieux comprendre en quoi certaines activités professionnelles sont susceptibles d'induire un excès de risque sanitaire par rapport à la population générale. Dans ce chapitre seront également abordés les mécanismes conduisant aux effets sanitaires liés à une exposition aux rayonnements UV et aux agents biologiques.

4.2.1 Effets sur l'organisme humain de l'exposition aux conditions climatiques chaudes

4.2.1.1 Réponse physiologique à la contrainte thermique

4.2.1.1.1 Le bilan thermique

Le bilan thermique se définit comme la résultante de l'ensemble des phénomènes de thermogenèse⁵⁶ et de thermolyse⁵⁷ subis ou mis en œuvre par l'organisme, s'exprimant tous en watts. On distingue :

- la production de chaleur endogène, liée au métabolisme énergétique, dont le bilan est toujours « positif » (thermogenèse). Le bilan métabolique correspond à la production totale d'énergie par les processus métaboliques (M) à laquelle on soustrait le travail fourni (W) ;
- les échanges physiques avec l'environnement, qui peuvent être positifs (apport de calories à l'organisme) ou négatif (dissipation de calories vers le milieu extérieur) :
 - o rayonnement (R) de type infra-rouge ;
 - o conduction (K) par contact avec des surfaces (ou des liquides) chaudes ou froides ;
 - o convection (C) liée aux flux d'air à la surface de la peau ;
- la dissipation de chaleur par évaporation (E) de molécules d'eau :
 - o à travers la peau (perspiration), dont le débit est limité (30 g d'eau par heure) ;
 - o issues de la sudation ;
 - o au cours des échanges respiratoires.

Seule l'évaporation de l'eau permet la dissipation calorifique : l'enthalpie de vaporisation de l'eau (énergie nécessaire pour faire passer l'eau de l'état liquide à l'état gazeux) est de 2 257 kJ/kg.

⁵⁶ production de chaleur par l'organisme de l'Homme et des animaux du fait de l'augmentation du métabolisme cellulaire.

⁵⁷ mécanismes de dissipation ou d'exportation de la chaleur produite en excès ou emmagasinée par l'organisme de l'Homme et des animaux.

Sans ce changement de phase, l'élimination d'eau est neutre au plan thermique : le ruissellement de la sueur ne permet pas de dissiper la chaleur corporelle.⁵⁸

Chez les organismes homéothermes, comme l'Homme, le bilan thermique doit être nul pour maintenir la température centrale (ou température du noyau⁵⁹) dans une étroite fourchette (zone d'homéothermie) (cf. Figure 24). Si le bilan est négatif, le noyau se refroidit, ce qui peut conduire à l'hypothermie. Si le bilan est positif, le corps emmagasine de l'énergie sous forme de chaleur, ce qui peut conduire à une hyperthermie. Ce noyau représente 80 % du volume corporel, les 20 % restants (essentiellement la peau) subissant des variations de température importantes.

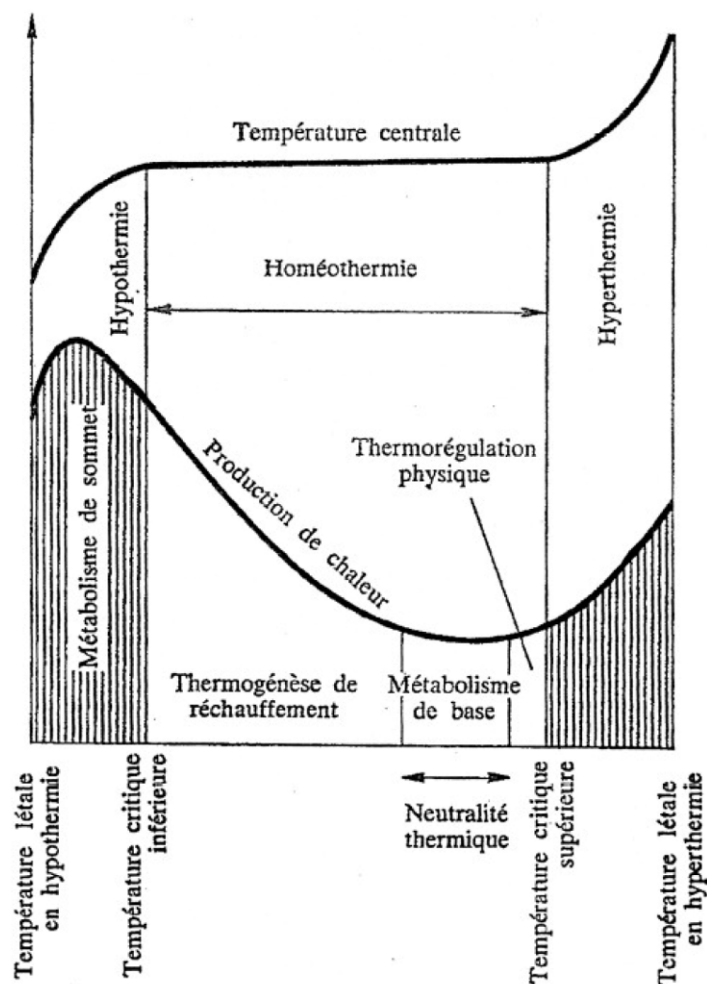


Figure 24 : bilan thermique d'un organisme homéotherme

(Giaja 1938)

Ce schéma se lit à partir de la zone de neutralité thermique : plus on s'éloigne de cette zone, correspondant à un fonctionnement physiologique autour du métabolisme de base, plus l'organisme met en œuvre des mécanismes de compensation. En cas de baisse de température, les capacités de lutte (thermogénèse notamment par l'activité musculaire dont les frissons) sont relativement grandes, jusqu'à atteindre le métabolisme de sommet. Au-delà, les réponses physiologiques sont dépassées et s'épuisent, conduisant à

⁵⁸ Le bilan thermique peut ainsi se résumer par la formule : $\text{bilan} = M - W \pm R \pm K \pm C - E$.

⁵⁹ en physiologie, terme représentant la partie du corps productrice de chaleur (muscles squelettiques, viscères abdominaux et organes thoraciques et système nerveux central). La peau et le tissu sous-cutané constituent l'enveloppe.

l'hypothermie létale. En cas d'élévation de température interne, ces mécanismes sont limités et la température létale est rapidement atteinte.

4.2.1.1.2 Facteurs influençant le bilan thermique

a) Facteurs endogènes

Divers paramètres individuels sont susceptibles de modifier l'équilibre thermique :

- il existe un cycle nyctéméral au cours duquel la température corporelle varie (variation de 1 °C au cours de la journée) ;
- chez la femme pubère non ménopausée, la température corporelle s'élève de 0,5 °C pendant la phase progestative ;
- en phase post-prandiale, l'action dynamique spécifique (ADS) constitue un apport calorique supplémentaire ;
- en outre, les capacités de thermorégulation diminuent avec le vieillissement, lors de divers états pathologiques (notamment atteintes cardio-vasculaires, rénales ou endocriniennes) et en cas d'obésité (Howe et Boden 2007).

b) Facteurs comportementaux :

- l'activité musculaire est un paramètre majeur. Elle augmente la composante métabolique M ;
- la tenue vestimentaire : les propriétés thermiques des vêtements peuvent être évaluées en CLO, unité de résistance thermique vestimentaire.⁶⁰ L'impact du port de tenues limitant les possibilités d'échange thermique a été mis en évidence depuis plusieurs décennies, notamment dans le cadre de l'évaluation de la contrainte thermique induite par les tenues de protection chimique chez les militaires (Goldman 1963, Henane *et al.* 1979).

Plusieurs facteurs conjoncturels réduisent enfin l'efficacité des mécanismes d'adaptation (Sagui *et al.* 2012) :

- la consommation de boissons alcoolisées, entraînant une vasodilatation périphérique non régulée ;
- la prise de certains médicaments (*cf.* Tableau 20) ;
- une dette de sommeil ;
- le jeûne.

⁶⁰ Un vêtement dont la résistance thermique est de 1 CLO assure un confort thermique à une personne assise dans une ambiance thermique caractérisée par une température de 25 °C, une humidité relative de 50 % et une vitesse d'air de 0,1 m.s⁻¹. (<http://www.utc.fr/~thomass/Themes/Unites>, consulté le 14/09/16)

Tableau 20 : extrait de la « Mise au point sur le bon usage des médicaments en cas de vague de chaleur » (Anses 2016).

❖ MÉDICAMENTS SUSCEPTIBLES D'AGGRAVER LE SYNDROME D'ÉPUISEMENT-DESHYDRATATION ET LE COUP DE CHALEUR		
Médicaments provoquant des troubles de l'hydratation et/ou des troubles électrolytiques	Diurétiques, en particulier les diurétiques de l'anse (furosémide) et diurétiques thiazidiques et distaux au long cours	
Médicaments susceptibles d'altérer la fonction rénale	AINS (comprenant les salicylés > 500 mg/j, les AINS classiques et les inhibiteurs sélectifs de la COX-2) Inhibiteurs de l'enzyme de conversion de l'angiotensine (IEC) Antagonistes des récepteurs de l'angiotensine II (ARA II) Sulfamides Indinavir Aliskirène Gliptines et agonistes des récepteurs GLP-1 En règle générale tous les médicaments connus pour leur néphrotoxicité (par exemple les aminosides, la ciclosporine, le tacrolimus, les produits de contraste iodé...)	
Médicaments ayant un profil cinétique pouvant être affecté par la déshydratation	Sels de lithium Anti-arythmiques Digoxine Anti-épileptiques Biguanides et sulfamides hypoglycémiant Statines et fibrates	
Médicaments pouvant empêcher la perte calorique	Au niveau central	Neuroleptiques Médicaments sérotoninergiques (antidépresseurs imipraminiques, inhibiteurs de la recapture de la sérotonine (IRS), inhibiteurs de la recapture de la sérotonine et de la noradrénaline (IRSNA), triptans, certains opiacés (dextrométhorphan, tramadol))
	Au niveau périphérique	Médicaments à propriétés atropiniques - antidépresseurs imipraminiques - antihistaminiques de première génération - antiparkinsoniens atropiniques - certains antispasmodiques (en particulier ceux de la sphère urinaire) - neuroleptiques - disopyramide - pizotifène - certains bronchodilatateurs (tiotropium, ...) - atropine – collyres atropiniques - néfopam - mémantine - scopolamine
		Vasoconstricteurs - agonistes et amines sympathomimétiques - certains antimigraineux (dérivés de l'ergot de seigle, triptans)
		Médicaments limitant l'augmentation du débit cardiaque - bêta-bloquants - diurétiques
❖ MÉDICAMENTS POUVANT INDUIRE UNE HYPERTHERMIE (dans des conditions normales de température ou en cas de vague de chaleur)		
Neuroleptiques Agonistes sérotoninergiques Hormones thyroïdiennes		
❖ MÉDICAMENTS POUVANT AGGRAVER LES EFFETS DE LA CHALEUR		
Médicaments pouvant abaisser la pression artérielle	Antihypertenseurs et anti-angoreux	
Médicaments altérant la vigilance		

4.2.1.1.3 Évaluation de l'ambiance thermique en milieu professionnel

Du fait des phénomènes mis en œuvre lors des échanges thermiques, les principaux paramètres naturels influant sur le bilan thermique sont la température, l'humidité relative, la vitesse de l'air et le rayonnement solaire. Certains indices ont donc été développés pour prendre en compte ces paramètres afin d'évaluer la contrainte thermique au regard de son impact physiologique. Le plus utilisé est l'indice WBGT (pour *Wet Bulb Globe Temperature*, voir aussi section 3.2.2.2). Son utilisation fait l'objet de la norme ISO 7243:1989 : ambiances chaudes - Estimation de la contrainte thermique de l'Homme au travail, basée sur l'indice WBGT⁶¹. Il est considéré comme plus conservateur vis-à-vis du risque qu'un autre indice disponible, le PHS (*predicted heat strain*) (Holmér 2010). Ce dernier, ainsi que les autres indices composites, sont moins utilisés en ergonomie et ne sont donc pas présentés ici.

Le WBGT (cf. encadré de la section 3.2.2.2) est utilisé en ergonomie pour définir des valeurs seuils au-delà desquelles le risque d'effet sanitaire, notamment de coup de chaleur, est significativement augmenté et à partir desquelles il est donc recommandé d'interrompre l'exposition.

Le Tableau 21 décrit ces seuils en fonction du niveau d'activité physique et de l'état d'acclimatation de l'individu. La vitesse de l'air, qui améliore la dissipation thermique par convection et évaporation, a un impact significatif et est donc prise en compte pour les charges métaboliques les plus lourdes.

Tableau 21 : seuils recommandés de l'indice WBGT en fonction du niveau d'activité physique et de l'état d'acclimatation de l'individu.

Métabolisme (W.m ⁻²)		WBGT (°C)			
		Acclimaté		Non acclimaté	
Repos	M<65	33		32	
Léger	65<M<130	30		29	
Modéré	130<M<200	28		26	
		Mouvement d'air			
		Non perceptible	Perceptible	Non perceptible	perceptible
Lourd	200<M<260	25	26	22	23
Très lourd	260<M	23	25	18	20

D'après B. Kapitaniak (http://www.chups.jussieu.fr/ext/ergonomie/op2_t11_bk.pdf).

⁶¹ L'indice WBGT se calcule ainsi : $WBGT = 0,7 Tw + 0,2 Tg + 0,1 Td$

Avec Tw : « *wet* » *temperature* : température humide, prise au thermomètre mouillé.

Tg : « *globe* » *temperature* : température fournie par un thermomètre à boule noire captant le rayonnement solaire.

Td : « *dry* » *temperature* pour température sèche, terme impropre utilisé pour désigner la température ambiante relevée au thermomètre classique.

Si le rayonnement est considéré comme négligeable, la formule est simplifiée :

$WBGT = 0,7 Tw + 0,3 Tg$.

En pratique, ces valeurs seuils peuvent être déclinées en fonction du temps d'exposition. Le Tableau 22 présente les valeurs de WBGT proposées par l'ACGIH⁶² en fonction du temps de travail et de l'intensité du travail.

Tableau 22 : valeurs déclenchant l'action (VA) et valeurs limites d'exposition (VLE) de l'indice WBGT en fonction du temps d'activité d'un travailleur (inspiré de ACGIH 2006). L'indice WBGT considéré ici est l'indice WBGT effectif = indice mesuré corrigé du facteur d'ajustement vestimentaire.

Travail (W=watts)	léger 180 < W < 300		moyen 300 < W < 415		lourd 415 < W < 520		très lourd W > 520	
	VA	VLE	VA	VLE	VA	VLE	VA	VLE
Temps de travail relatif ⁶³								
75 à 100%	28,1	30,8	25	28,2	-	-	-	-
50 à 75%	28,7	31,2	26	29,0	24,2	27,6	-	-
25 à 50%	29,3	31,8	27,2	30,1	25,7	28,8	24,6	27,9
0 à 25%	30,0	32,3	28,8	31,3	27,8	30,5	27,0	29,8

Ainsi selon l'auteur (Bernard 2006) :

- aucune activité même légère ne devrait être effectuée au-delà d'un indice WBGT de 32,3°C.
- un travail très lourd ne peut être effectué pendant plus de 50 % du temps de travail si l'indice WBGT dépasse 27,9°C, et pendant plus de 25 % du temps de travail au-delà de 29,8°C.
- les ergonomes considèrent qu'indépendamment de la température, aucun travailleur ne devrait exercer des tâches très lourdes plus de 50 % de son temps de travail, ni de tâches lourdes au-delà de 75 % de son temps de travail.

4.2.1.1.4 Mécanismes physiologiques d'adaptation à la chaleur

a) Adaptation à court terme

Les mécanismes de thermorégulation sont sous la dépendance de noyaux hypothalamiques situés dans le système nerveux central, qui modulent divers paramètres physiologiques dès que la température centrale s'éloigne de la température de consigne (environ 37°C). Les principales réponses physiologiques à une élévation thermique sont :

- une élévation des débits cardiovasculaires, notamment une vasodilatation périphérique se traduisant par une augmentation du flux sanguin cutané (*cf.* Tableau 23), qui va favoriser la sudation et accentuer les phénomènes de dissipation thermique par convection et perspiration. Cette vasodilatation périphérique est essentiellement liée à la mise en œuvre, en réaction à une exposition à la chaleur, du système parasympathique dont le médiateur est l'acétylcholine. Outre son effet vasodilatateur, ce même système stimule la production de sueur par les glandes sudoripares. La sueur contient non seulement de l'eau, mais aussi des minéraux au premier rang desquels le sodium. Une sudation importante conduit donc à une perte hydrosodée ;

⁶² Association Advancing Occupational and Environmental Health pour Association américaine pour la protection de la santé au travail et de la santé environnementale.

⁶³ Temps de travail relatif sur la base d'une hypothèse de temps de travail à temps plein aux États-Unis, de 8 heures par jour à raison de 5 jours travaillés par semaine.

Tableau 23 : débits sanguins cutanés en fonction de l'activité physique et des conditions climatiques

Conditions physiologiques et environnementales	Débit sanguin cutané
Repos au point de neutralité thermique	0,4 à 0,5 L/minute
Repos en ambiance chaude	2 à 3 L/minute
Effort en ambiance chaude	Jusqu'à 6 L/minute

- ces variations ont pour effet d'accentuer la dissipation calorifique par la vapeur d'eau dans l'air expiré (Gordon *et al.* 2008, IRSST 2013, Leon 2008).

b) Adaptation à moyen et long terme

Lorsque l'exposition à la chaleur se prolonge, des ajustements physiologiques pérennes se mettent en place (mécanismes d'acclimatation) conduisant à un état d'acclimatement. Ce processus nécessite habituellement 1 à 2 semaines, en fonction des conditions climatiques et de l'état individuel préalable. À température égale, les principaux changements physiologiques caractérisant la phase d'acclimatation sont les suivants :

- réduction de la fréquence cardiaque, à température égale ;
- abaissement du seuil de température corporelle déclenchant la vasodilatation ;
- abaissement du seuil de température corporelle déclenchant la sudation ;
- augmentation de la réabsorption du sodium de la sueur.

Ces mécanismes physiologiques doivent s'accompagner de modifications comportementales : augmentation des apports hydriques, adaptation vestimentaire, etc.

4.2.1.2 Effets sanitaires liés à l'exposition aux ambiances thermiques chaudes

Les informations présentées dans ce chapitre constituent une synthèse des connaissances médicales sur le sujet. L'analyse des productions universitaires (supports pédagogiques) et de la bibliographie met en évidence une grande homogénéité des descriptions cliniques, seuls les termes utilisés étant susceptibles de varier notamment en fonction des pays. Ils sont mis en parallèle dès que nécessaire.

Les conséquences sanitaires de l'exposition à une ambiance thermique chaude peuvent être liées à la survenue de pathologies consécutives au dépassement des capacités d'adaptation physiologique de l'organisme. En comparaison, bien que moins perceptibles cliniquement, les effets neuropsychologiques, notamment cognitifs, sont nombreux et semblent jouer un rôle plus important dans l'impact global de l'ambiance thermique chaude en milieu professionnel.

4.2.1.2.1 Morbi-mortalité liée aux contraintes thermiques

Les affections liées à la chaleur dépendent du niveau d'élévation de la température centrale. Certaines sont bénignes et rapidement résolutes, d'autres sont graves voire fatales.

- les œdèmes de chaleur sont essentiellement liés à la vasodilatation des vaisseaux des membres inférieurs, où la pression hydrostatique est élevée. Les crampes de chaleur sont elles aussi temporaires et surviennent notamment lorsque les pertes en eau et en minéraux

(sodium) ne sont pas compensées de manière homogène (réhydratation sans compensation des pertes de sodium) ;

- l'insolation est une entité nosologique mal définie. Elle se caractérise par des céphalées, des nausées, des troubles du comportement pouvant aller jusqu'à la perte de connaissance transitoire, en général par réduction brutale de l'afflux sanguin cérébral suite à une baisse des pressions hydrostatiques (syncope). Cet ensemble de symptômes correspond aux « malaises » souvent décrits dans la littérature ou par les individus exposés. La récupération est la règle dès la soustraction à l'exposition, tels que le repos et la réhydratation. Elle diffère de l'épuisement hyperthermique par son origine essentiellement exogène : exposition à un rayonnement solaire élevé ;
- l'épuisement hyperthermique (« *heat exhaustion* ») produit également des symptômes correspondant aux « malaises », similaires à l'insolation, avec une élévation de la température centrale inférieure à 40°C et une incapacité à poursuivre l'effort, sans signes neurologiques, à l'exception de vertiges et céphalées. Dans le cadre de l'épuisement hyperthermique, la cause est par contre principalement endogène, liée à une augmentation de la thermogénèse, le plus souvent du fait d'une activité physique importante. Il reste aisément réversible en cas de réaction adaptée (arrêt de l'effort, hydratation, rafraichissement) ;
- le coup de chaleur (*heat stroke*) ou accident hyperthermique (*heat injury*), dont la forme évoluée (coup de chaleur grave) se traduit par des signes neurologiques sévères allant de la confusion au coma, voire un syndrome de défaillance multi-viscérale (rhabdomyolyse, atteinte rénale, hépatique, digestive) est parfois mortel. Lorsque la cause de l'hyperthermie est endogène, liée à une activité physique intense et prolongée, on parle d'hyperthermie maligne d'effort (Sagui 2012).
- De même qu'on peut distinguer l'insolation de l'épuisement hyperthermique, les coups de chaleur peuvent présenter deux formes cliniques différentes en fonction de la population touchée et de l'origine de l'intoxication calorique. Les deux tableaux du coup de chaleur « classique » et du coup de chaleur d'exercice sont décrits dans le Tableau 24.

Tableau 24 : différences entre coup de chaleur d'exercice et coup de chaleur classique (Brinquin et Borne 2004).

	Coup de chaleur d'exercice	Coup de chaleur classique
Circonstances	Effort +++	Repos
Température ambiante	Modérée	Très augmentée
Terrain	Sujet jeune	Vieillard, nourrisson, obèse, tare cardiovasculaire, maladie psychiatrique
Charge thermique	Endogène +++	Exogène +++
Thermorégulation	Excès de thermogénèse ++ Défaut de thermolyse	Défaut de thermolyse

4.2.1.2.2 Phénomènes neuropsychologiques

La mise en œuvre des mécanismes de lutte contre la contrainte thermique, même lorsqu'elle est efficace et permet le maintien de la température centrale, constitue une source de fatigue physiologique. Selon les quelques publications disponibles sur le sujet, ces effets, en combinaison avec l'inconfort thermique ressenti par les individus exposés, pourraient favoriser une diminution

de la concentration et de la vigilance, source potentielle d'accident (Grandjean et Grandjean 2007, Ramsey 1995, Tawatsupa *et al.* 2010).

Les données publiées sur l'altération des performances cognitives lors d'une exposition à la chaleur sont relativement discordantes, même s'il est difficile de les comparer du fait de différences dans les populations étudiées, les protocoles expérimentaux mis en œuvre, les tests utilisés ou les paramètres étudiés (Gaoua 2010).

Dans des revues de littérature itératives entre 1981 et 2003, Hancock résume les données disponibles :

- l'effet de l'exposition à une ambiance thermique chaude dépend du type de tâche : la dégradation de la performance cognitive survient pour des contraintes thermiques d'autant moins importantes que la tâche demandée est complexe. Des données récentes confirment cette assertion (Zhang et de Dear 2017). Ceci expliquerait l'absence d'effet neuropsychologique de la contrainte thermique dans certaines études, les tests utilisés étant insuffisamment sensibles (Amos *et al.* 1996, Caldwell *et al.* 2011, O'Neal et Bishop 2010) ;
- les effets cognitifs touchent d'autant plus de fonctions que la température du noyau est élevée (Hocking *et al.* 2001). Hancock décrit ainsi une altération cognitive à partir d'une élévation de la température centrale de 1,33°C pour des tâches simples, de 0,88°C pour des activités psychomotrices, et de 0,22°C pour des tâches complexes. (Hancock et Vercruyssen 1988). La mémoire serait touchée plus précocement que l'attention en cas de contrainte thermique purement exogène (Gaoua *et al.* 2011).

Dans une étude en milieu de travail, comparant 35 travailleurs d'une unité d'usinage climatisée à 35 travailleurs d'une fonderie exposés à la chaleur, la réalisation des activités dans une ambiance caractérisée par un indice WBGT > 30 voire 35°C (donc avec une contrainte thermique exo- et endogène) s'accompagnait d'une baisse significative des performances cognitives y compris de l'attention, évaluées par le *stroop test*, évaluant l'attention sélective et le temps de réaction (Mazloumi *et al.* 2014, Stroop 1935). Ce résultat confirme ceux d'une étude plus ancienne qui avait mis en évidence que le port d'une tenue de protection NBC (nucléaire, bactériologique et chimique) empêchant l'évaporation conduisait à une altération des fonctions cognitives (Rauch, Witt, et Banderet 1986).

En outre, les effets cognitifs augmenteraient avec l'intensité ou la durée de l'exposition à la chaleur (Zhang et de Dear 2017), ou en cas de cumul de paramètres environnementaux défavorables (éclairage, bruit et inconfort thermique) (Lamb et Kwok 2016). Dans cette dernière étude (étude sur 8 mois chez des travailleurs du secteur tertiaire), l'auteur rapporte une baisse de productivité liée à ces effets cognitifs, à une réduction de la motivation et à la fatigue induite par une exposition chronique⁶⁴ à ces 3 stressseurs environnementaux, dont l'action est additive. L'acclimatement ne préserverait pas nécessairement des effets cognitifs (Gaoua 2010, Saat *et al.* 2005).

Bien que plus subjectives et non quantifiables, des modifications comportementales peuvent être observées. Une irritabilité et des modifications de l'humeur ont été rapportées dans plusieurs études (Ely *et al.* 2013, Mathee, Oba, et Rose 2010). Ces effets sont néanmoins multifactoriels, influencés par des paramètres aussi divers que la saison (effet négatif de la chaleur sur l'humeur en été mais pas au printemps (Keller *et al.* 2005) ou des éléments contextuels et motivationnels (Fay et Maner 2014).

⁶⁴ Les auteurs ne retrouvent pas de lien entre les stressseurs environnementaux, mais un simple effet additif. Ils estiment donc que même en ambiance bruyante, l'ajout de la chaleur accentue les effets cognitifs. Cet effet additif persiste au bout de 8 mois, donc même si en effet on ne s'habitue pas au bruit, la chaleur demeure un stressseur additionnel.

L'ensemble des phénomènes neuropsychologiques décrits dans ce chapitre pourraient être renforcés en cas de températures nocturnes élevées altérant la qualité du sommeil (Mathee, Oba, et Rose 2010).

Toutes ces données constituent un faisceau d'arguments en faveur de la survenue des effets neuropsychologiques à des niveaux de contrainte thermique inférieurs à ceux engendrant un déséquilibre physiologique de la thermorégulation.

À retenir

Malgré leur hétérogénéité, les données disponibles sont en faveur d'une atteinte des fonctions cognitives lors de l'exposition à une ambiance thermique chaude. Les effets cognitifs surviendraient plus précocement que les conséquences pathologiques.

Les effets de la chaleur sont d'autant plus marqués que la température centrale est élevée. Ils sont donc accentués dans diverses populations professionnelles susceptibles de présenter une majoration de l'exposition passive (travail en ambiance chaude), une majoration de la production de chaleur endogène (charge de travail physique) ou des facteurs entravant la régulation thermique (tenues et équipements de travail).

Dans ces populations professionnelles, le travail en ambiance chaude touche potentiellement tous les processus cognitifs, mnésiques mais aussi attentionnels. Ceci constitue un facteur potentiel d'augmentation du risque d'accident du travail dans les secteurs concernés (industrie ou agriculture notamment).

De plus, les effets de la contrainte thermique sur les fonctions cognitives sont d'autant plus sensibles et précoces que les tâches demandées sont complexes. Ils sont majorés en cas d'exposition prolongée. Il existe donc également un effet potentiel sur la performance des travailleurs, y compris dans le secteur tertiaire.

Afin de simplifier la lecture et par analogie avec les autres publications parues sur le sujet, l'ensemble de ces troubles neuropsychiques (cognitifs, attentionnels et motivationnels) seront dans la suite de ce rapport regroupés sous l'intitulé « baisse de vigilance ».

4.2.1.2.3 Données épidémiologiques en milieu professionnel

En France, si les études relatives à la morbi-mortalité consécutive aux vagues de chaleur en population générale sont relativement nombreuses, notamment au sujet de la canicule de 2003, les données relatives au monde du travail manquent notoirement. Par contre, plusieurs dizaines d'études internationales existent. Compte tenu des disparités existant en matière non seulement d'environnement climatique, mais aussi de modes d'organisation du travail, d'enjeux financiers, voire de différences culturelles dans la relation au travail, la transposabilité de ces données internationales doit être considérée avec prudence. Elles fournissent néanmoins des indications sur les conséquences potentielles du changement climatique sur certaines populations de travailleurs français. La majorité des données ci-dessous émanent d'un rapport de l'IRSST (IRSST 2015).

a) Décès par hyperthermie en milieu professionnel

En l'absence de suivi épidémiologique spécifique, les données relatives à la mortalité professionnelle lors des périodes climatiques chaudes sont parcellaires. Bien qu'elles soient difficilement comparables du fait de périodes d'observation et de populations de référence différentes, les données disponibles dans quelques pays industrialisés sont fournies ci-dessous :

- en France, deux études portant sur les canicules de 2003 puis de 2006 rapportent respectivement 15 et 8 décès par hyperthermie chez des travailleurs (Buisson 2009, INRS

2009). Il n'est cependant pas possible de comparer ces chiffres à des périodes équivalentes non caniculaires ;

- aux États-Unis, 423 décès attribuables à des coups de chaleur en milieu de travail ont été recensés entre 1992 et 2006, soit en moyenne 28 par an (CDC 2008) ;
- au Québec, province du Canada, neuf décès associés à un coup de chaleur ont été documentés chez les travailleurs entre 1988 et 2003 (Tison 2004).

Plusieurs publications identifient sans surprise les secteurs professionnels impliquant des activités en milieu extérieur comme les plus à risque : construction, agriculture, pêche et exploitation forestière, services publics (Buisson 2009, CDC 2008, Fortune *et al.* 2013, INRS 2009).

En 2015, les relations entre la température moyenne estivale et le nombre de décès par hyperthermie en milieu de travail n'avaient été estimées que dans deux études, apparemment contradictoires selon l'IRSST :

- une étude américaine étudiant la mortalité des pompiers au cours de leur activité professionnelle, entre 1994 et 2004, n'a pas révélé d'augmentation du risque de décès par maladie coronarienne au cours de la période estivale (Mbanu *et al.* 2007) ;
- une autre étude relative aux décès associés à la chaleur en Caroline du Nord, entre 1977 et 2001, a mis en évidence au sein de la population de travailleurs une augmentation du risque de décès en fonction de l'élévation de la température estivale moyenne d'environ 20 % par °C (Mirabelli et Richardson 2005).

Il est possible d'émettre deux hypothèses quant à l'apparente contradiction entre ces deux études :

- contrairement à l'étude de Mbanu, qui ne comptabilise que les décès d'origine cardiovasculaire, l'étude de Mirabelli et Richardson prend en compte l'ensemble des causes de mortalité ;
- la population de pompiers présente *a priori* moins de facteurs de risque cardiovasculaires, et bénéficie sans doute d'un suivi médical plus régulier, paramètres qui constituent un biais de sélection. Il n'est cependant pas exclu que l'entraînement physique plus intense des pompiers permette une meilleure adaptation physiologique aux conditions climatiques chaudes. La qualité de l'entraînement physique est ainsi considérée comme l'une des principales mesures de prévention du coup de chaleur d'exercice (Salathé *et al.* 2012).

b) Chaleur et morbidité en milieu professionnel

Données descriptives

Plusieurs études identifient une augmentation de la morbidité en milieu professionnel pendant les mois les plus chauds de l'année : chez les travailleurs de l'Ontario au Canada entre 2004 et 2010 (Fortune *et al.* 2013), chez ceux de l'État de Washington entre 1995 et 2005 (Bonauto *et al.* 2017) et, plus spécifiquement, chez les employés de la sylviculture et des mines (Donoghue 2004, Donoghue, Sinclair, et Bates 2000, Maeda *et al.* 2006).

Aux États-Unis, l'incidence des coups de chaleur d'exercice en population générale était évaluée à 2,5/100 000 en 2006. Elle atteint environ 20/100 000 dans l'armée française en 2010, et 25/100 000 dans l'armée américaine. La hausse de l'incidence observée au sein des populations de professionnels militaires depuis 20 ans serait surtout la conséquence d'une accentuation d'activités physiques intenses dans des ambiances thermiques très chaudes et parfois humides (zones tropicales) dans le cadre des récents conflits armés.

Ces différentes observations sont confirmées par une récente revue de la littérature mondiale (Xiang, Bi, *et al.* 2014). Dans cette revue, les auteurs concluent en outre :

- que les travailleurs les plus sujets aux pathologies consécutives à une exposition à la chaleur sont ceux des secteurs de l'agriculture, de la construction, des mines et de la fabrication ainsi que les pompiers et les militaires⁶⁵ ;
- que les pics de morbidité sont observés lors des premières périodes de chaleur estivales (typiquement en juin dans l'hémisphère nord), alors que les organismes ne sont pas encore acclimatés.

Il est à noter que dans leur analyse bibliographique, Xiang *et al.* (2014) n'identifient, parmi les études disponibles, que 3 études (7 %) européennes : deux sur des mineurs allemands et une en Italie. Ceci suggère un relatif manque de sensibilisation collective vis-à-vis du risque lié à la chaleur en milieu professionnel dans les pays européens.

Étude de Maeda *et al.* (2006) :

Les auteurs ont distribué à 121 travailleurs forestiers japonais de la province de Fukushima, en novembre 2003, un questionnaire s'intéressant aux conditions précises de travail (topographie, zone urbaine ou rurale, conditions climatiques (chaleur perçue et ensoleillement), équipements de travail), aux conditions d'hydratation (sudation, boissons, mictions) et aux divers symptômes évocateurs d'un effet pathologique de l'exposition à la chaleur (de la sensation de mal-être jusqu'à la perte de connaissance, en passant par les céphalées ou les douleurs musculaires). Étaient également pris en compte l'âge, le sexe et l'ancienneté dans le métier. L'étude portait sur l'année 2003, les salariés mentionnant le mois et l'horaire de survenue des symptômes éventuels.

Les résultats de cette étude révèlent que 40 travailleurs (32,3 %) ont présenté l'un au moins des symptômes recherchés lors de la période étudiée ; 95 % des symptômes sont survenus au cours de l'été (juillet à septembre), avec deux pics horaires à 10/11h du matin et 14h. Cette augmentation saisonnière globale tend à prouver que l'acclimatation ne suffit pas à protéger d'éventuels effets sanitaires.

Les auteurs retrouvent une corrélation positive et statistiquement significative entre le risque de survenue de symptômes et la sensation subjective de chaleur d'une part, et l'intensité de la sudation d'autre part. Les sujets symptomatiques se sont également plus fréquemment hydratés, en cohérence avec la sudation et la sensation de chaleur, ce qui prouve que la réhydratation seule ne suffit pas à supprimer les effets de l'exposition à la chaleur. Par contre, les sujets ayant présenté des symptômes sont statistiquement plus jeunes (pouvant être en lien avec l'attribution aux plus jeunes des activités les plus exigeantes physiquement ou refléter une moins bonne adaptation comportementale des travailleurs les moins expérimentés) (Maeda *et al.* 2006).

Données analytiques

Deux études ont tenté d'établir une relation quantitative entre les températures journalières estivales et la morbidité des travailleurs.

L'une d'entre elles est une étude pilote d'une durée de 5 ans réalisée par le Département de la santé de la Floride (Health 2012). Dans cette étude, les auteurs rapportent une augmentation des hospitalisations ou des passages aux urgences de travailleurs, pour une affection en lien avec la

⁶⁵ Les pompiers et les militaires sont parmi les plus exposés aux contraintes thermiques extrêmes et ont des charges de travail parfois majeures. Ils sont donc naturellement plus sujets aux pathologies, mais pas forcément avec des conséquences fatales (suivi médical, absence de pathologie préexistante et au contraire bonne condition physique qui peut sans doute favoriser la récupération). Les pompiers de Caroline du Nord ne sont pas soumis au même environnement que les militaires ou que les pompiers des zones tropicales.

chaleur, de l'ordre de 11 à 33 % par °C d'augmentation de la température maximale journalière, en fonction de la localisation dans l'État de la Floride.

La seconde est une étude canadienne réalisée sur des pathologies professionnelles déclarées et indemnisées par le régime de santé et de sécurité du travail du Québec (Adam-Poupart *et al.* 2014). Ces pathologies étaient liées à la chaleur et sont survenues entre 1998 et 2010 (période de mai à septembre), dans la province de Québec. Dans cette étude, les auteurs ont estimé une augmentation d'approximativement 42 % (intervalle de confiance à 95 % 33-52 %) des lésions indemnisées pour chaque degré (°C) d'augmentation de la température maximale quotidienne.

Au sein de la population professionnelle, l'augmentation du nombre d'hospitalisations chez les travailleurs est décelable le jour même, voire légèrement différée au lendemain des journées chaudes (Health 2012). Cette relation temporelle diffère de celle observée en population générale : selon une revue de la littérature sur l'association entre la température ambiante et la morbidité en population générale, l'impact serait maximal de 1 à 3 jours après le pic de chaleur (Ye *et al.* 2012). Cet écart s'explique par la différence de mécanismes physiopathologiques les plus souvent en cause entre les travailleurs et la population générale :

- chez les sujets âgés n'ayant plus d'activité professionnelle, principales victimes de la chaleur en population générale, les décès sont essentiellement consécutifs à la décompensation d'affections respiratoires et cardiovasculaires préexistantes, mortelles en quelques jours ;
- dans les populations professionnelles, le bilan métabolique constitue un paramètre majeur dans la survenue du coup de chaleur, et peut conduire à une hyperthermie maligne d'effort rapidement fatale.

c) Chaleur et accidents de travail

Les études ayant abordé l'association entre l'exposition à une température extérieure élevée et les accidents du travail sont rares. Au-delà de l'absence de suivi épidémiologique spécifique des conséquences de l'environnement climatique sur le monde du travail déjà évoquée, il existe une réelle difficulté à distinguer l'impact de la chaleur dans la survenue d'un accident d'origine toujours multifactorielle.

En Inde, une étude sur des travailleurs de l'industrie du textile a rapporté une prévalence d'accidents significativement plus élevée pendant l'été, alors que la température extérieure atteignait 42 à 48 °C (Nag et Nag 2001). En Italie, de 1998 à 2003, Morabito *et al.* ont observé une augmentation des admissions hospitalières pour accidents du travail pendant l'été. Dans cette étude, le nombre maximal d'hospitalisations pour accidents du travail était constaté durant les jours où la température apparente moyenne⁶⁶ atteignait des valeurs de 24,8 à 27,5°C. Les auteurs mentionnent que cet effet était plus marqué en juin que durant les autres mois de l'été, en faveur donc d'un effet bénéfique de l'acclimatation (Morabito *et al.* 2006).

De plus, dans une étude réalisée dans une fonderie d'aluminium dans le *Midwest* américain en 1997-1998, Fogleman *et al.* (2005) rapportent des risques de lésions aiguës significativement plus élevés lorsque l'indice thermique (« *heat index* » combinant la température extérieure et l'humidité relative) se situe entre 32 et 38 °C (OR = 2,28; intervalle de confiance à 95 % = 1,49-3,49) et à plus de 38 °C (OR = 3,52; intervalle de confiance à 95 % = 1,86-6,67), comparativement aux périodes où l'indice thermique varie entre 10 et 16 °C (Fogleman, Fakhrzadeh, et Bernard 2005).

Une autre étude, réalisée auprès de militaires américains en entraînement dans l'État de la Floride entre 1997 et 1998, rapporte une incidence plus élevée de blessures en été qu'en automne

⁶⁶ : les auteurs ont utilisé l'« index de température apparente », qui rend compte de l'inconfort thermique et prend en compte la température en °C, l'humidité et la vitesse de l'air.

(Knapik *et al.* 2002). Les auteurs décrivent des relations linéaires très fortes entre la température maximale quotidienne (entre 16,2 et 34,2 °C) et l'incidence de blessures de tous types (coefficients de corrélation entre 0,92 et 0,97).

Deux études se sont intéressées à l'association entre la température maximale journalière en été et le nombre quotidien d'accidents du travail reconnus. L'une d'entre elle a été réalisée en Australie (Xiang, Peng, *et al.* 2014a). Dans cette étude, les auteurs retrouvent une augmentation de 0,2 % du nombre d'accidents du travail par degré (°C) de température maximale, pour des températures comprises entre 14,2 et 37,7 °C. Au-delà de 37,7 °C, le nombre d'accidents du travail diminuait au contraire de 14 % par degré, probablement en lien avec les mesures préventives mises en œuvre face à ces températures extrêmes. Là encore, les secteurs les plus à risque sont ceux impliquant des activités en milieu extérieur, notamment l'ensemble du secteur agricole et la construction.

La seconde étude a été réalisée au Québec (Canada) sur la base des pathologies professionnelles qui ont été déclarées et indemnisées par le régime de santé et de sécurité du travail du Québec (Adam-Poupart *et al.*, 2015). Les lésions professionnelles retenues dans cette étude étaient celles indemnisées pour des accidents du travail entre 2003 et 2010 (mai-septembre). Dans cette étude, les auteurs ont modélisé une augmentation statistiquement significative de 0,2 % (intervalle de confiance à 95 % de 0,2-0,3 %) des lésions acceptées par augmentation de 1 °C.

À retenir :

Les données épidémiologiques relatives aux effets sanitaires de conditions climatiques chaudes sur les travailleurs français sont très peu nombreuses. Des données internationales confirment néanmoins l'existence d'une augmentation de la mortalité et surtout de la morbidité globale des populations de travailleurs en période estivale, en lien avec la survenue de pathologies induites par la contrainte thermique mais aussi avec une hausse des accidents du travail.

Ces effets touchent tout particulièrement les travailleurs dont les activités se déroulent en extérieur. Ils sont plus marqués lors des premiers épisodes de chaleur de l'été, ce qui prouve l'effet bénéfique de l'acclimatation. En outre, bien que fortement exposées à des contraintes thermiques importantes, sources de morbidité élevée, certaines populations professionnelles (pompiers, militaires) présentent une moindre mortalité, ce qui tend à prouver l'intérêt préventif de l'entraînement et d'une bonne condition physique.

4.2.2 Effets sanitaires des expositions aux rayonnements ultraviolets

Le rayonnement ultraviolet (UV) fait partie du spectre des rayonnements électromagnétiques émis notamment par le soleil, dont les longueurs d'onde se situent entre celles de la lumière visible et celles des rayons X. Il est à noter que des rayonnements UV peuvent également être issus de divers sources artificielles dans le cadre professionnel (stérilisateurs UV dans le secteur alimentaire, lampes de prothésistes ongulaires, etc.). Ces expositions aux rayonnements UV artificiels n'étant pas *a priori* modifiées par le changement climatique, seul le rayonnement solaire sera abordé par la suite.

On répartit classiquement les UV en trois types de rayonnements en fonction de leur longueur d'onde (*cf.* Figure 25) :

- les UVC, desquels on peut rapprocher les UVV (100 à 280 nm) : les plus énergétiques mais arrêtés en totalité par la couche d'ozone de l'atmosphère ;
- les UVB (280 à 320 nm) : filtrés en grande partie par l'atmosphère, ils ne représentent que 1 à 5 % des UV atteignant la surface la Terre selon la latitude du pays considéré, la saison, l'heure et la couverture nuageuse de la journée. Le verre d'une vitre ou la couche superficielle de la peau (l'épiderme) les arrêtent totalement ;

- les UVA (320 à 400 nm) : beaucoup moins filtrés par l'atmosphère, ils représentent jusqu'à 98 % des ultraviolets solaires parvenant à la surface de la Terre. Le rayonnement UVA n'est pas arrêté par la couverture nuageuse ni par une vitre, et pénètre jusqu'aux couches profondes de l'épiderme.

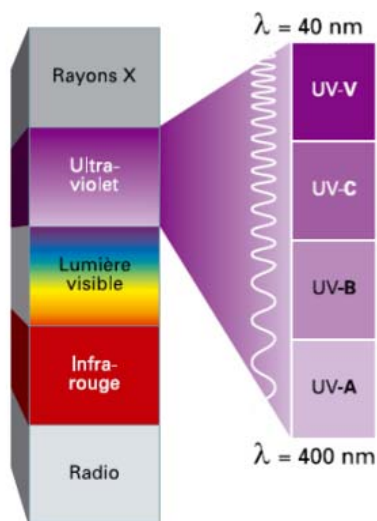


Figure 25 : les rayonnements ultraviolets dans le spectre électromagnétique. Source : (Afsset 2005)

Contrairement aux rayonnements infrarouges, qui sont à l'origine de la sensation de chaleur apportée par le soleil, et à la lumière visible permettant l'éclairage, la présence d'un rayonnement UV ne peut pas être perçue avant brûlure par le corps humain (INCa 2011). Dans un résumé des effets sanitaires liés aux expositions aux rayonnements UV⁶⁷, Santé publique France (SPF, anciennement InVS) différencie 2 types de risques en fonction de l'organe cible : cutanés et oculaires.

4.2.2.1 Effets cutanés

L'exposition aux rayonnements UV peut entraîner diverses conséquences sanitaires à court terme (érythèmes solaires ou « coups de soleil », photodermatose, réactivation d'un herpès labial).

À plus long terme, il est connu depuis longtemps que l'exposition à ces rayonnements sont à l'origine du développement de cancers cutanés : mélanomes et carcinomes (épidermoïdes ou spinocellulaires et basocellulaires). Le processus de cancérisation dure de 10 à 20 ans et est la conséquence de dommages induits par les rayons UV qui n'ont pu être réparés (Afsset 2005). L'augmentation forte du nombre de ces cancers ces cinquante dernières années fait de la prévention de l'exposition aux ultraviolets un enjeu sanitaire important (Beck et Gautier 2012).

4.2.2.2 Effets oculaires

Diverses conséquences sanitaires des rayonnements UV sur l'œil sont répertoriées :

- à court terme : photokératoconjonctivite aiguë, perforation de la cornée, ptérygion, rétinopathie solaire ;

⁶⁷ <http://inpes.santepubliquefrance.fr/30000/actus2012/013-UV-peau-retine.asp>, consulté le 15 mai 2017

- à long terme : participant à certaines formes de la dégénérescence maculaire de la rétine, carcinome spinocellulaire de la cornée et de la conjonctive, mélanome de l'uvée et cataracte.

Sur cette dernière pathologie, SPF souligne que « la cataracte est la première cause de cécité dans le monde. En France, cette opacification du cristallin engendre près de 450 000 interventions chirurgicales par an »⁶⁸ (Beck et Gautier 2012).

4.2.2.3 Changement climatique et évolution de l'intensité des rayonnements UV

Malgré la tendance à court et moyen terme au réchauffement climatique, les prévisions ne sont pas en faveur d'une augmentation de l'intensité des rayonnements UV au sol (cf. 3.2.2.4). Les expositions des professionnels et leurs effets associés devront néanmoins faire l'objet d'une vigilance soutenue compte-tenu notamment des évolutions comportementales attendues (diminution des protections vestimentaires liée à l'augmentation des températures moyennes) qui pourraient potentiellement amener à une augmentation des expositions malgré la diminution probable de l'intensité de ces rayonnements.

4.2.3 Effets des agents biologiques rencontrés en milieux professionnels

La notion de risques biologiques en milieu professionnel recouvre 4 grands types de risques (Le Bâcle et Bastide 2013, Le Bâcle et Leprince 2009) :

- infectieux liés à la pénétration et la multiplication d'un agent biologique (bactérie, virus, parasite ou champignon microscopique pour l'essentiel) ;
- cancérogènes : les risques biologiques de type cancérogène (cancer du foie et virus de l'hépatite B ou C, VIH et déficit immunitaire...) font généralement suite à une infection chronique avec inflammation (cirrhose hépatique par exemple). Les risques cancérogènes liés aux agents biologiques infectieux ne seront pas développés dans ce rapport puisque ces risques cancérogènes trouvent leur origine dans les risques infectieux. Il n'en sera fait rappel que si le changement d'un indice climatique peut influencer ces risques cancérogènes *via* des modifications concernant un agent infectieux ou une moisissure productrice de mycotoxines cancérogènes (cf. infra).
- immunoallergiques liés à une exposition à des allergènes d'origine animale, végétale, fongique ou bactérienne, entraînant des manifestations de type rhinite, conjonctivite allergique, asthme ou pneumopathie d'hypersensibilité ;
- toxiques liés à une exposition à des toxines constituant des microorganismes (endotoxines des bactéries Gram négatif) ou produites par des moisissures (mycotoxines).

Ces risques immunoallergiques et toxiques ne sont pas toujours faciles à dissocier, tant en recherche d'exposition qu'en tant que cause d'une symptomatologie.

À titre d'illustration, que ce soit au régime général ou pour la MSA, les risques infectieux et immunoallergiques sont à l'origine d'un nombre limité de tableaux de maladies professionnelles. Chacun de ces tableaux comporte une liste limitative des nuisances ou situations professionnelles ouvrant droit à une possible reconnaissance en maladie professionnelle (cf. Tableau 25).

⁶⁸ http://opac.invs.sante.fr/doc_num.php?explnum_id=8175.

Tableau 25 : risques biologiques et tableaux des maladies professionnelles dans le régime général et le régime agricole de l'assurance maladie*:

N° du tableau du régime général	N° du tableau du régime agricole	Maladies
Risques infectieux		
7	1	Tétanos professionnel
18	4	Charbon
19	5 et 5 bis	Spirochétoses (leptospirose, maladie de Lyme)
24	6	Brucelloses
28	2	Ankylostomose
40	16	Tuberculoses et autres infections à mycobactéries
45	33	Hépatites A, B, C, D et E
46	15	Mycoses cutanées
53	49	Rickettsioses et fièvre Q
54	38	Poliomyélite
55	-	Infections dues aux amibes
56	30	Rage
68	7	Tularémie
76	-	Maladies dues à des agents infectieux contractées en milieu d'hospitalisation et d'hospitalisation à domicile
77	15	Périonyxis et onyxis
80	-	Kératoconjunctivites virales
86	50	Pasteurelloses
87	52	Ornithose-psittacose
88	51	Rouget du porc
92	55	Infections à <i>Streptococcus suis</i>
96	56	Infections à hantavirus
Risques immuno-allergiques		
66	45 A	Rhinites et asthmes
66 bis	45 B, C et D	Pneumopathies d'hypersensibilité
Risques toxiques		
90	54	Affections respiratoires consécutives à l'inhalation de poussières textiles végétales

* consulter le guide des maladies professionnelles sur le site www.inrs.fr/mp.

Les références bibliographiques sur lesquelles le groupe de travail s'est appuyé pour développer ce qui suit peuvent paraître limitées en nombre. Il s'agit pour la plupart de revues de la littérature reposant sur de nombreux articles et dressant un état des connaissances au moment où elles ont été rédigées.

4.2.3.1 Risques infectieux

Le changement climatique (augmentation des températures moyennes et extrêmes, hivers plus doux, modifications du régime des pluies, etc.), influence la structure, la dynamique, le fonctionnement et la biodiversité des écosystèmes. Ainsi l'écologie de la transmission des maladies infectieuses devrait changer de façon importante dans les prochaines années. De nombreux travaux cherchent depuis plus de 10 ans à cerner ces changements afin de pouvoir adapter les politiques de santé publique au plus près de ces changements. Il reste néanmoins très difficile d'établir des projections fiables permettant de situer et définir ce que seront précisément les nouveaux écosystèmes favorables à l'établissement de nouveaux cycles infectieux.

Les risques infectieux en santé au travail n'étant pas fondamentalement différents des risques infectieux en santé publique, les consensus scientifiques concernant la santé publique s'appliquent à la santé au travail.

Les maladies virales ou parasitaires à transmission vectorielle devraient être les plus concernées :

- extension des surfaces où vont s'installer des moustiques vecteurs potentiels de la dengue, du *chikungunya*, du *West Nile*, du paludisme, etc., que ces vecteurs soient déjà présents dans le sud de la métropole ou qu'ils soient importés dans le cadre de la globalisation de nos échanges et parviennent à s'implanter durablement du fait des nouvelles conditions climatiques ;
- une extension de l'habitat des petits rongeurs, vecteurs de la fièvre à Hantavirus, pourrait être possible comme cela a déjà été observé en Suède après réduction de l'enneigement (Olsson *et al.* 2003). En France métropolitaine, ce risque est actuellement localisé au grand est ;
- relèvement de la limite d'altitude pour l'installation des tiques, dont certaines peuvent transmettre la maladie de Lyme, avec par conséquent une augmentation de ce risque, actuellement cantonné en dessous de 1 500 mètres. Le risque lié aux phlébotomes, vecteurs possibles de la leishmaniose, actuellement essentiellement cantonnée aux départements du pourtour de la Méditerranée (241 cas autochtones déclarés entre 1999 et 2009), est également accru (Dedet 2010).

Selon des experts internationaux, certaines bactéries pathogènes pourraient développer des mécanismes de résistance à des conditions de vie moins favorables. La bactérie du genre *Leptospira* est citée comme exemple de ces bactéries « climato-sensibles » et exprimant une pathogénicité variable selon les influences climatiques, comme cela a été mis en évidence en Amérique du sud en concordance avec le phénomène El Niño.

Outre les maladies virales et parasitaires transmises par des vecteurs, les spécialistes s'attendent à une augmentation probable du risque d'épidémies pour toutes les maladies liées à l'eau ou dépendant d'animaux réservoirs (OMS 2016).

Ces modifications des écosystèmes vont concerner en premier lieu les métiers exercés à l'extérieur et en milieu naturel (forêts, milieux humides, lacs et rivières, etc.), les métiers du traitement de l'eau ainsi que les métiers au contact d'animaux vivant en liberté. Ils vont également concerner la population générale fréquentant ces espaces naturels et, secondairement, les personnels soignants en cas d'exposition à du sang lors de la prise en charge des personnes contaminées. Par ailleurs, l'arrivée de migrants suite à la répétition de sécheresses agricoles, à l'élévation du niveau de la mer ou autres facteurs liés au changement climatique (désignés dans la suite sous l'expression simplifiée de « migrants climatiques ») pourraient entraîner la réapparition/réactivation de certains risques infectieux (en particulier tuberculose, choléra et parasitoses). Les personnels concernés par ces arrivées de migrants (douanes et police, services sociaux, soignants...) seraient alors plus exposés à ces maladies qu'ils ne le sont aujourd'hui.

4.2.3.2 Risques immuno-allergiques

En milieu professionnel, une exposition à des allergènes d'origine animale, végétale, fongique ou bactérienne peut entraîner des rhinites, asthmes ou pneumopathies d'hypersensibilité (TR 35, 37, 39, 44)⁶⁹. Certaines de ces affections font l'objet d'un tableau de maladie professionnelle. Là encore, la liste des professions ou circonstances d'exposition ouvrant droit à réparation est une liste limitative.

Le changement climatique modifie déjà les fenêtres d'exposition aux pollens allergisants (augmentation de la durée de leur production). Les modifications climatiques vont s'accompagner d'une nouvelle répartition géographique des arbres et plantes produisant des pollens à potentiel allergisant. À terme, elles pourraient permettre l'introduction de nouvelles plantes ayant un potentiel allergisant.

4.2.3.3 Risques toxiques ou toxiques

Il est ici question de la part de cet effet liée à la production de toxines par des bactéries Gram négatif (endotoxines) ou par des moisissures en tant que métabolites secondaires (mycotoxines).

Bactéries Gram négatif et endotoxines

Les endotoxines sont des composants de la paroi des bactéries Gram négatif libérées dans l'atmosphère lors de la multiplication des bactéries et après leur mort. Ces molécules complexes résistent bien dans le milieu extérieur et vont contaminer les poussières des locaux de travail. En cas d'inhalation, leurs effets sont complexes, elles peuvent notamment entraîner des réactions inflammatoires des voies respiratoires et selon l'importance de l'exposition entraîner l'apparition d'un syndrome pseudogrippal peu spécifique, d'un syndrome toxique des poussières organiques ou d'un syndrome asthmatiforme. En cas d'exposition de longue durée ou trop souvent répétée, des manifestations bronchiques aiguës réversibles peuvent apparaître et à terme, conduire à une bronchopneumopathie chronique obstructive ou BPCO et ses complications (Géhin et Le Bâcle 2011).

Les expositions professionnelles aux endotoxines ne sont explorées que depuis peu. La métrologie des endotoxines en phase aérienne n'est pas d'une pratique très courante et il n'existe pas de valeur limite officielle pour l'exposition des travailleurs. En 2015, l'INRS a proposé deux valeurs guides pour l'interprétation des résultats de métrologie des bioaérosols, 200 et 1 000 UE⁷⁰/m³ (Balty *et al.* 2015). En l'état actuel des connaissances sur les liens entre les différents types d'expositions aux endotoxines et les risques professionnels (ou des effets bénéfiques

⁶⁹ Rosenberg Nicole - Affections respiratoires non infectieuses professionnelles liées aux agents biologiques, Fiches d'allergo-pneumologie professionnelle :

TR 35 : Physiologie et réactions syndromiques, Documents pour le Médecin du travail, N° 102, 2ème trimestre 2005, pp. 235-244.

TR 37 : Secteurs agricoles et alimentaires, Documents pour le Médecin du travail, N° 106, 2ème trimestre 2006, pp. 225-238.

TR 39 : Secteur des déchets : collecte, tri et valorisation, Documents pour le Médecin du travail, N° 1010, 2ème trimestre 2007, pp. 229-236.

TR 44 : Affections respiratoires non infectieuses professionnelles liées aux humidificateurs / climatiseurs, Documents pour le Médecin du travail, N° 116, 4ème trimestre 2008, pp. 533-542.

⁷⁰ Unités Endotoxine.

rapportés par certains auteurs (Géhin et Le Bâcle 2011)), il semble difficile d'évaluer comment le changement climatique fera évoluer ce risque.

Moisissures et mycotoxines

Les mycotoxines sont des substances toxiques sécrétées par des champignons microscopiques ou moisissures telles qu'*Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*... dans certaines conditions environnementales. La palette des effets néfastes des mycotoxines est très étendue : des effets cancérogènes, mutagènes, toxiques pour la reproduction, immunomodulateurs, oestrogéniques, nécrosants, neurotoxiques, néphrotoxiques, hépatotoxiques, hématotoxiques ont été rapportés. Une exposition professionnelle a été rapportée dans les filières céréales, agroalimentaire (café, épices...), élevage, fabrication d'aliments pour animaux, compostage, ou encore dans certaines activités de laboratoire, etc. Les mycotoxines peuvent être retrouvées sur des matériaux de construction et dans l'air intérieur de certains bâtiments humides. Les risques d'une exposition par voies respiratoire et cutanée ont été documentés par des études *in vitro* et *in vivo* chez l'animal (Brochart et Le Bâcle 2009, 2010).

C'est seulement depuis quelques années que les expositions professionnelles aux mycotoxines commencent à être documentées du fait du développement récent de la métrologie des mycotoxines en phase aérienne (Jargot et Melin 2013).

Le changement climatique pourrait s'accompagner d'un changement des variétés dominantes de moisissures et des mycotoxines qui peuvent les accompagner, comme cela a déjà été observé en Europe lors de certains étés caniculaires, en particulier en 2003 et en 2006 (Afssa 2009). Suite à l'élévation des températures, il a été observé une moindre production des mycotoxines habituellement rencontrées, produites par des moisissures du genre *Fusarium*, et une plus grande présence d'aflatoxines produites par des moisissures du genre *Aspergillus*. La présence en quantité notable d'aflatoxines en tant que contaminants des récoltes (céréales en particulier) pourrait être plus fréquente qu'actuellement, voire devenir un réel problème face aux très basses doses journalières admissibles en nourriture animale et humaine, mais aussi en matière de risques professionnels puisqu'elles peuvent également pénétrer par voie respiratoire. Les aflatoxines ont été classées dans le groupe 1 (cancérogènes avérés) par le Centre international de recherche sur le cancer (Circ). La prévention des expositions à ce type d'agent s'appuie davantage sur le principe ALARA (*As Low As Reasonably Achievable* ou « aussi bas que raisonnablement possible ») que sur de véritables valeurs limites.

Par ailleurs, l'introduction et la pérennisation de nouveaux ravageurs des récoltes (rongeurs, insectes...) pourraient influencer la présence et la nature des mycotoxines produites au champ ou lors du stockage puisque les attaques des ravageurs favorisent l'installation des moisissures et la production éventuelle de mycotoxines.

5 Circonstances d'expositions professionnelles pouvant induire des risques sanitaires accrus, dans le contexte du changement climatique

Le groupe de travail a structuré sa réflexion autour des risques professionnels susceptibles d'être impactés par le changement climatique, dans l'objectif d'identifier des circonstances d'exposition pouvant induire des risques sanitaires accrus parmi les travailleurs exposés.

Cette identification s'est notamment appuyée sur les éléments de connaissances concernant la santé au travail, le changement climatique et les changements environnementaux, synthétisés dans le chapitre 2, et sur les mécanismes physiologiques d'adaptation à des conditions climatiques chaudes et liés à une exposition aux rayonnements ultra-violets et aux agents biologiques, décrits dans le sous chapitre 4.2.

Les résultats obtenus sont présentés dans un tableau de synthèse applicable à l'ensemble des territoires français (chapitre 5.1). Les territoires d'outre-mer font l'objet d'un focus particulier, en plus du cas général, dans l'objectif de prendre en compte leurs spécificités (chapitre 5.2). Pour chaque risque professionnel considéré, des fiches reprenant les indicateurs climatiques impliqués, les processus d'impacts sanitaires⁷¹, les facteurs aggravants le risque et les circonstances d'expositions professionnelles associées sont proposées en annexe du rapport (annexe 2).

Si ces risques professionnels sont affectés pour la plupart par le réchauffement climatique, certains sont aussi influencés par d'autres facteurs climatiques ou environnementaux comme les aléas climatiques, les agents biologiques, la qualité de l'air ou celle des eaux.

Parmi les 17 types de risques professionnels retenus (classification de l'INRS, cf. 2.1), 15 pourraient être affectés par le changement climatique. Les 2 catégories restantes n'ont pas été retenues pour être examinées dans la suite de ce rapport, soit parce que le changement climatique n'aura pas d'influence notable susceptible d'accroître ces risques, soit parce qu'aucune tendance n'est dégagée pour les indices associés aux facteurs climatiques qui pourraient les affecter :

- les risques et nuisances liés au bruit (cf. Tableau 1) ne semblent pas être significativement affectés par le climat et *a fortiori* par le changement climatique ;
- en outre, parmi les rayonnements, seuls les UV d'origine solaire ont été considérés par le groupe, dans la mesure où le changement climatique est susceptible de modifier l'exposition à ce type de rayonnements. L'exposition à l'ensemble des rayonnements d'origine artificielle ne semblant pas pouvoir être influencée par le changement climatique, les risques associés n'ont donc pas été retenus (ligne 15 du Tableau 1). Par ailleurs, les rayonnements ionisants d'origine naturelle (radon ou rayonnements cosmiques) n'entrent pas dans le champ de compétence de l'Agence.

Le Tableau 26 permet de visualiser autour de la colonne centrale, pour chaque risque professionnel envisagé les différents éléments suivants :

⁷¹ Mécanismes conduisant à des effets sanitaires provoqués ou influencés par les changements climatiques.

- les tendances des indices climatiques et environnementaux⁷² impactant le risque ;
- leurs répercussions sanitaires et les processus des impacts sanitaires identifiés⁷³ ;
- les circonstances d'exposition nécessaires⁷⁴ associées à chaque risque professionnel ;
- des exemples⁷⁵ de circonstances d'exposition secondaires, aggravantes, notamment celles pouvant être limitées par des mesures de prévention dans l'entreprise (*identifiées dans le tableau en italique*).

Ce tableau intègre également, en dernière ligne, les risques spécifiquement liés aux aléas climatiques, qui ne sont pas des risques professionnels au sens de la liste de l'INRS (cf. section 2.1) mais qui auront néanmoins des conséquences sur la santé des travailleurs, en lien avec certains des risques déjà évoqués. Les risques liés aux aléas climatiques font également l'objet d'une fiche de l'annexe 2 du rapport.

⁷² Eléments de connaissances nécessaires à leur compréhension dans les chapitres 2.2 et 2.3, et liste complète des indices retenus par le groupe de travail dans le Tableau 5, chapitre 3.2.2.4.

⁷³ Description des liens entre changement climatique, environnement et santé dans le chapitre 4.2.

⁷⁴ Situation de travail conduisant à une exposition d'un professionnel, sans laquelle l'effet sanitaire considéré ne peut survenir.

⁷⁵ La sélection de ces exemples a été réalisée par le groupe de travail suivant deux directions : une logique de gestion de la santé au travail (circonstances pouvant être limitées par des mesures de prévention) et une logique de positionnement des connaissances pertinentes identifiées.

Tableau 26 : synthèse des risques professionnels susceptibles d'augmenter en fonction du changement climatique et de circonstances d'exposition (Lecture du tableau à commencer par la colonne centrale)

Type de risques professionnels concernés				
Variables et indices modifiés par le changement climatique	Processus / mécanismes de l'impact sanitaire		Circonstances d'exposition nécessaires	Exemples de circonstances d'exposition secondaires, aggravantes, dont celles pouvant être limitées par des mesures de prévention dans l'entreprise
Variables et indices liés à la chaleur et ses effets sur les humains : ↑ fréquence, durée, intensité des vagues de chaleur ; ↑ températures extrêmes chaudes ; ↑ températures nocturnes élevées.	Conjonction d'une activité physique augmentant la production de chaleur corporelle et de conditions de travail empêchant l'évacuation de cette chaleur, pouvant provoquer : - crampes et malaises ; - déshydratation ; - coup de chaleur ; - mort. À ce mécanisme d'impact sanitaire s'ajoutent tous les paramètres susceptibles d'interférer avec la régulation thermique corporelle. Effets neuropsychologiques, via une baisse de vigilance.	Risques liés au travail en ambiances thermiques chaudes	Travail en ambiance thermique chaude	Humidité de l'air élevée, faibles mouvements d'air Sources artificielles de chaleur Port de tenues de travail limitant les échanges thermiques
		Risques liés à la charge physique de travail	Travail imposant des efforts physiques intenses, prolongés et/ou répétés, ou des postures inconfortables / contraignantes.	Manque de boisson hydratante Efforts physiques intenses Travailleurs résidant dans des ilots de chaleur urbains nocturnes / zones particulières
	Comme toute altération des conditions de travail, l'inconfort thermique est susceptible de créer ou d'aggraver une situation de tension : - avec l'encadrement ; - entre collègues ; - avec le public. Le déficit de récupération lié aux températures nocturnes élevées peut altérer la tolérance et l'adaptabilité des travailleurs. Les conséquences des variations climatiques sur l'organisation du travail (modification des horaires de travail par exemple) peuvent entraîner une insatisfaction professionnelle.	Risques psychosociaux	Tous milieux professionnels	Facteurs de risques psychosociaux préexistants Travailleurs résidant dans des ilots de chaleur urbains nocturnes / zones particulières Interférences entre horaires de travail et vie privée

Type de risques professionnels concernés				
Variables et indices modifiés par le changement climatique	Processus / mécanismes de l'impact sanitaire	Type de risques professionnels concernés	Circonstances d'exposition nécessaires	Exemples de circonstances d'exposition secondaires, aggravantes, dont celles pouvant être limitées par des mesures de prévention dans l'entreprise
Variables et indices liés à la chaleur et ses effets sur les humains : ↑ fréquence, durée, intensité des vagues de chaleur ; ↑ températures extrêmes chaudes ; ↑ températures nocturnes élevées.	Augmentation des risques d'accident par effets neuropsychologiques, entraînant une altération de la vigilance. Effets physiologiques (ex : crampes et malaises). Répercussions attendues surtout pendant la phase d'acclimatement.	Risques de trébuchements, heurts ou autres perturbations du mouvement	Tous milieux professionnels	Travailleurs résidant dans des ilots de chaleur urbains nocturnes / zones particulières (sommeil de moins bonne qualité et absence de récupération nocturne) <i>Organisation du travail inadaptée à une évolution climatique (horaires de travail, tenues vestimentaires professionnelles, etc.)</i> Précipitations intense, éventuellement majorées par des aléas de type vent fort, ouragan ou tempête
		Risques liés aux chutes de hauteur	Travail en hauteur en extérieur et intérieur	
		Risques liés aux effondrements et aux chutes d'objet	Tout métier avec rangement / stockage en hauteur	
		Risques liés à la manutention mécanique		
		Risques routiers en mission	Travailleurs se déplaçant en véhicule	
		Risques liés aux circulations internes de véhicules	Tout travailleur si des véhicules se déplacent dans l'entreprise, en intérieur ou extérieur	
		Accidents avec un produit chimique	Tout travail en présence de produits chimiques	
		Equipements de travail	Travail mettant en jeu l'action mécanique d'éléments de machines, d'outils, de pièces, de projection de matériaux	
		Risques liés à l'électricité	Tout type d'activité en présence d'électricité est concerné	

Type de risques professionnels concernés				
Variables et indices modifiés par le changement climatique	Processus / mécanismes de l'impact sanitaire	Type de risques professionnels concernés	Circonstances d'exposition nécessaires	Exemples de circonstances d'exposition secondaires, aggravantes, dont celles pouvant être limitées par des mesures de prévention dans l'entreprise
Variables et indices liés à la chaleur et ses effets sur les produits chimiques : ↑ fréquence, durée, intensité des vagues de chaleur ; ↑ températures extrêmes chaudes ; ↑ phases de sécheresse estivale (région méditerranéenne) ; ↑ indice forêt météo.	Hausse des températures accentuant les phénomènes d'évaporation des substances chimiques volatiles : - Augmentation de pression dans des récipients fermés : risque d'éclatement - Risque d'atteinte de la limite inférieure d'explosivité et d'inflammabilité : risque d'explosion - Augmentation du risque d'inhalation par les salariés exposés	Risque d'incendie, explosion	Travail avec produits contenant des substances inflammables et/ou explosives.	<i>Exposition directe de la substance au rayonnement solaire</i> <i>Travail en milieu clos voire confiné</i>
		Risques liés aux substances chimiques et aux particules	Travail avec produits contenant des substances volatiles,	<i>Exposition directe de la substance au rayonnement solaire</i> <i>Travail en milieu clos voire confiné</i> <i>Travail physique induisant une hausse de la ventilation pulmonaire</i>
Index UV : pas de tendance actuellement et tendance à la baisse à l'horizon 2050 ; Pas de tendance connue sur le nombre de journées de plein soleil.	Exposition potentiellement accrue aux UV, au printemps et en été, ou en montagne, en raison des comportements d'adaptation aux températures plus douces.	Risque liés aux rayonnements UV	Activités pour lesquelles les travailleurs sont exposés au soleil	<i>Ambiance thermique de travail chaude.</i> <i>Port de tenues vestimentaires inadaptées vis-à-vis de la protection des UV</i> <i>Exposition à des produits photo sensibilisants au travail ou au soleil.</i>

Type de risques professionnels concernés				
Variables et indices modifiés par le changement climatique	Processus / mécanismes de l'impact sanitaire	Type de risques professionnels concernés	Circonstances d'exposition nécessaires	Exemples de circonstances d'exposition secondaires, aggravantes, dont celles pouvant être limitées par des mesures de prévention dans l'entreprise
Variables et indices traduisant un changement climatique moyen favorable au développement des risques biologiques : ↑ température moyenne ; ↓ vagues de froid ; Allongement de la fenêtre d'exposition aux pollens, augmentation de leur production et modification de leurs zones de répartition.	↑ ou ↓ selon l'agent pathogène considéré ; ↑ des zones de répartition de certains vecteurs déjà présents et installation de nouveaux vecteurs : émergence ou réémergence ; Modification des risques actuels de zoonoses : migrations hivernales, ↑ des surfaces forestières et ↑ du gros gibier, abandon de NACs, ... ; Modification du risque suite à l'arrivée de migrants climatiques : tuberculose, choléra et parasitoses.	Risques liés aux agents biologiques Risques infectieux à transmission respiratoire, digestive ou cutanée	Exemples : Travail en contact avec des personnes et des animaux vivants ou morts ; Travail en laboratoire sur des microorganismes ou sur des produits ; Travail en milieu naturel et/ou métiers de l'environnement tels qu'agriculteurs ; Collecte et traitement des déchets et des eaux usées.	Déplacement de population. Introduction de nouvelles plantes, animaux et vecteurs. Les aléas climatiques (tempêtes, inondations, submersion, etc.) pourraient entraîner la diffusion de certains pathogènes hors des zones habituellement reconnues comme contaminées. <i>Travail physique soutenu augmentant l'inhalation des particules (toxiques ou allergisantes).</i>
	La migration de certains végétaux et l'introduction de nouvelles plantes pourraient provoquer des changements de production d'allergènes et des conséquences sanitaires qu'elles provoquent.	Risques liés aux agents biologiques Risques immunoallergiques et toxiques	Exemples : Travail en milieu naturel et/ou métiers de l'environnement ; Récolte, stockage, transport et transformation de céréales contaminées ; Récolte, stockage, transport et transformation des fibres végétales ; Travail en meunerie et boulangerie ; Travail en animalerie et laboratoires utilisant des animaux ; Travail dans le traitement et l'élimination des déchets.	Sécheresse agricole facilitant la dispersion des contaminants (poussières,...) ; Limitation de la production de pollens et, en période de récolte, ↓ le risque de rentrer des matières humides et de développement ultérieur de moisissures, donc d'exposition à un risque immunoallergique ou toxique lors des manipulations.
	Le risque, lié à la production d'endotoxines, pourrait être modifié (par des circonstances climatiques plus ou moins favorables à la sécrétion de ces toxines), même si les connaissances actuelles ne permettent pas de faire des projections sur ces modifications.	Risques toxiques (ou toxiques)		

Type de risques professionnels concernés				
Variables et indices modifiés par le changement climatique	Processus / mécanismes de l'impact sanitaire	Type de risques professionnels concernés	Circonstances d'exposition nécessaires	Exemples de circonstances d'exposition secondaires, aggravantes, dont celles pouvant être limitées par des mesures de prévention dans l'entreprise
Variables et indices caractérisant les aléas climatiques : Tendance générale à l'augmentation de la quantité de pluie tombant au cours des épisodes les plus extrêmes, même si les évolutions attendues sont très variables géographiquement ; Pas de tendance notable sur l'évolution du risque de vent ; ↑ du risque de submersion : des épisodes de précipitations intenses pourraient conduire à des débordements des cours d'eau ; ↑ des sécheresses agricoles ; ↑ de l'indice forêt météo et augmentation du risque incendie.	Risques d'interruption de la production, perte des outils de production, dévastation de l'entreprise ↑ chômage : perte d'emploi pour les travailleurs et souffrance morale avec répercussions sur l'état de santé général. Répétition dans le temps des épisodes et fatigue/épuisement physique et psychique pour tous ces personnels, avec une augmentation des risques accidentels. Répétition des épisodes d'aléas climatique, provoquant des fatigues, voire des épuisements physiques et psychiques des équipes de secours ou des équipes de remise en état, avec une augmentation des risques accidentels.	Risques liés aux aléas climatiques associés au changement climatique	Exemples : Activités de secours à la personne (professionnels, secouristes bénévoles, équipiers d'intervention internes en entreprise, etc.) ; Professionnels de la remise en état des réseaux (énergie, eau, surfaces routières etc.) ; Personnels des services incendie professionnels ou bénévoles ; Personnels des entreprises installées près d'une zone sensible au risque incendie.	<i>Urbanisation en zone inondable y compris le littoral, imperméabilisation des sols ;</i> Augmentation des surfaces forestières et celle de l'interfaces habitat-forêt peuvent rendre le contrôle de feu plus difficile ; <i>Aménagements « paysagers » des zones artisanales ou autour des entreprises ;</i> « Méditerranéisation » de la végétation près des entreprises (plus inflammable) ; <i>Dépérissement de la végétation (biomasse facilement inflammable) pouvant faciliter un départ de feu ou son extension rapide ;</i> Augmentation de l'inaccessibilité de certaines zones forestières rendant plus difficile le contrôle d'un départ de feu.

Les risques professionnels présentés dans le tableau de synthèse ont été regroupés selon cinq grandes catégories en fonction des facteurs climatiques et environnementaux, modifiés par le changement climatique. Elles sont analysées plus en détail dans les paragraphes suivants. On distingue ainsi :

- 1) les risques professionnels influencés uniquement par l'augmentation de la température ;
- 2) les risques professionnels influencés par plusieurs facteurs climatiques et/ou environnementaux. On différencie au sein de cette catégorie de risques ceux pour lesquels l'augmentation de température constitue l'un des facteurs en cause, de ceux pour lesquels cet indice climatique n'intervient pas directement ;
- 3) les risques professionnels influencés par les rayonnements ultra-violet solaires ;
- 4) les risques professionnels spécifiquement liés aux conséquences directes ou indirectes de la survenue d'aléas climatiques ;
- 5) les spécificités des risques professionnels dans les territoires de l'outre-mer.

Avant d'entreprendre ces descriptions, il est important de mentionner que l'ampleur des risques liés au changement climatique sera modulée selon certaines caractéristiques propres à l'environnement de travail (ex : localisation géographique, comme les zones intertropicales ou les îlots de chaleur urbain) et au moment de l'année (ex : les risques influencés par la température).

5.1 Risques professionnels liés à la chaleur uniquement

Sur les 15 risques professionnels qui pourraient être affectés par les changements climatiques et environnementaux, 13 seront influencés par l'augmentation de la température, et plus spécifiquement par l'augmentation de la fréquence, de la durée et/ou de l'intensité des vagues de chaleur, ainsi que par celle des températures extrêmes chaudes. Seul le risque lié à une exposition aux rayonnements UV naturels, chez les professionnels pratiquant des activités d'extérieur, n'est pas directement lié à la température mais à la durée de l'ensoleillement. Toutefois, il est possible que ce risque soit indirectement influencé par l'accroissement de la température du fait des comportements vestimentaires (habits moins couvrants) lorsqu'il fait chaud.

Les fortes températures peuvent impacter les travailleurs soit en affectant directement l'état de santé des personnes, soit par le biais de leur environnement de travail (inhalation de produits volatiles ou risques d'explosion ou d'incendie par exemple).

5.1.1 Risques accidentels

Les risques liés à la charge physique de travail et aux ambiances thermiques chaudes⁷⁶ vont se trouver majorés par toute élévation des températures (élévation des températures moyennes, des températures extrêmes chaudes et celles des vagues de chaleur).

La survenue de pathologies consécutives au dépassement des capacités d'adaptation physiologique de l'organisme (perturbations physiologiques avec apparition de crampes, de malaises et de coups de chaleur) sera accrue en période d'acclimatement (soit en début de saison chaude ou en cas de changement brutal de température avec l'arrivée d'une vague de chaleur).

⁷⁶ Ces risques visent les travailleurs amenés à faire des efforts physiques intenses, prolongés et/ou répétés ou encore à adopter des postures inconfortables ou contraignantes.

En complément de ces pathologies bien établies liées à des expositions à de fortes contraintes thermiques, plusieurs sources scientifiques (cf. 4.2.1.2.2.) mentionnent également la possibilité d'effets neurocognitifs chez le travailleur, dont la baisse de vigilance, intervenant à partir de contraintes thermiques moindres, pouvant entraîner une augmentation de la fréquence de plusieurs types d'accidents professionnels :

- risques de trébuchement, heurt ou autre perturbation du mouvement⁷⁷ ;
- risques de chute de hauteur ;
- risques liés aux chutes d'objets ;
- risques liés à la manutention mécanique ;
- risques routiers en mission ;
- risques liés aux circulations internes de véhicules ;
- tout type d'accident avec un produit chimique ;
- risques liés aux équipements de travail ;
- risques liés à l'électricité.

L'ensemble de ces risques seront accrus lorsque les conditions de l'environnement de travail (humidité relative élevée, faible convection de l'air et rayonnement infrarouge) accentueront la perception de la chaleur (chaleur ressentie). Ces risques pourront être aggravés en cas d'exposition à un fort ensoleillement, qui conduit à amplifier les effets de la chaleur sur l'organisme.

Le port de tenues vestimentaires professionnelles (uniformes, tenues de protection, etc.) entravant l'évaporation de la sueur pourra également accentuer les effets physiologiques et neuropsychologiques de la chaleur chez les travailleurs. De plus, une organisation du travail inadaptée à un nouvel environnement chaud pourra également aggraver ces effets (ex : maintien des horaires de travail durant les heures les plus chaudes de la journée, conditions de pause inadaptées, travail au contact de surfaces chaudes, etc.).

Concernant les risques d'accident liés aux « équipements de travail », l'exposition directe au soleil, en plus du risque lié à la chaleur, peut aussi être un facteur de risque d'accident par éblouissement.

5.1.2 Risque d'explosions et/ou d'incendies

Le risque lié aux explosions et incendies pourra être influencé par les effets de la température sur les produits chimiques se trouvant sur le lieu de travail, tout particulièrement en cas de températures extrêmes chaudes. Les augmentations de températures extrêmes pourront accroître les risques d'explosion en accélérant les phénomènes de dégradation des produits chimiques, l'évaporation des substances inflammables et en diminuant l'énergie minimale à fournir pour atteindre le phénomène d'inflammation.

5.1.3 Risque d'intoxication ou allergie après exposition à des nuisances chimiques (risques liés aux produits, aux émissions et aux déchets)

L'élévation attendue des températures (augmentation des températures extrêmes chaudes et des vagues de chaleur) pourra augmenter les risques d'intoxication chimique ou de réaction allergique selon deux processus ou mécanismes :

- par l'exposition accrue par voies respiratoire et cutanée aux produits chimiques si l'augmentation de la température entraîne :

⁷⁷ qui représentent 1/3 des accidents du travail déclarés.

- o une augmentation des concentrations atmosphériques (évaporation accrue ou augmentation de la pulvérulence et de la volatilité des poussières) ;
- o une augmentation de l'absorption respiratoire et cutanée *via* des mécanismes d'adaptation physiologiques de l'organisme du travailleur (augmentation de la ventilation pulmonaire et hausse du débit sanguin cutané) ;
- par les possibles effets directs de la température sur la vigilance du travailleur, particulièrement en période d'acclimatation, susceptibles de majorer le risque d'accident lors de manipulation de transvasement ou de raccordement (cf. 5.1.1).

Ces risques sont à considérer particulièrement pour les professionnels pratiquant leur activité en présence de substances toxiques volatiles ou d'émissions particulières et concernant tant le milieu artisanal ou industriel que le monde agricole. En outre, les conditions climatiques chaudes sont susceptibles de réduire l'observance des travailleurs vis-à-vis du port des EPI adaptés, ce qui accentuerait encore l'exposition.

5.2 Risques professionnels liés à plusieurs indices climatiques et environnementaux dont la température

5.2.1 Chaleur, sécheresse agricole et risques respiratoires liés aux particules

Il est attendu que l'allongement et l'intensification des sécheresses agricoles généreront des hausses de concentrations atmosphériques de poussières, pouvant entraîner une augmentation des problèmes respiratoires chez les travailleurs susceptibles de les inhaler. La relation entre l'exposition à la poussière lors de sécheresse et les problèmes respiratoires a été documentée à plusieurs reprises (Longueville *et al.* 2013 ; OMS, 2016 ; Séguin *et al.*, 2008). La toxicité des poussières varie selon leur nature, les propriétés physico-chimiques des substances qui les constituent et selon la taille des particules.

5.2.2 Chaleur, aléas climatiques et risques biologiques

Ces risques peuvent toucher une grande diversité de professionnels, particulièrement ceux en contact avec des personnes, des animaux et leurs produits, des végétaux, le bois, le milieu hydrique (eaux environnementales, eaux usées) ou des microorganismes (laboratoire, bâtiment, etc.).

Le réchauffement climatique qui modifie les écosystèmes pourrait être à l'origine d'une modification des risques biologiques (infectieux, immuno-allergiques et toxiques, *cf.* chapitre 4.2.3.) tels que nous les connaissons aujourd'hui. Elle serait entraînée par une rupture des équilibres constitués au fil du temps entre l'espèce humaine et les autres espèces microbiennes, animales et végétales, équilibre propre à chaque grande région.

Les aléas climatiques, dont certains sont influencés par le changement climatique (*cf.* 2.2), peuvent jouer le rôle de facteurs aggravants des risques biologiques. Ils peuvent en effet entraîner la diffusion de certains pathogènes hors des zones habituellement reconnues comme contaminées (par exemple, le risque de survenue de leptospirose va suivre le niveau d'une inondation, d'une part par entraînement du pathogène responsable (des leptospires) et d'autre part du fait de la migration des animaux contaminés et contaminants qui vont eux-aussi suivre le niveau de l'eau).

Des facteurs liés au changement global semblent également avoir une forte influence sur l'évolution de ces risques biologiques comme l'introduction, artificielle ou naturelle, et la pérennisation de plantes allergisantes non autochtones, de nouveaux ravageurs des cultures ou de vecteurs de maladies. Il convient également de prendre en considération le déplacement de populations humaines, sous forme de migrations, qui bien souvent sont plus ou moins directement liées au changement climatique.

5.2.2.1 Risques infectieux

En milieu professionnel, il correspond au risque de développer une infection à la suite d'une exposition à un agent pathogène (bactéries, virus, champignons microscopiques ou parasites) par voie respiratoire, digestive ou cutanée. Les 1 407 espèces⁷⁸ dont le pouvoir pathogène est reconnu à ce jour ont des caractéristiques variées et évolutives, notamment en matière

⁷⁸ À ce jour, 1 407 espèces ont un pouvoir pathogène reconnu. Ces microorganismes appartiennent à 5 familles : les bactéries, les virus, les champignons microscopiques (ou moisissures), les protozoaires (amibes, agent du paludisme, de la leishmaniose, etc.) et les helminthes (vers parasites). Ces familles sont composées d'un grand nombre d'espèces : 538 pour les bactéries, 208 pour les virus, 317 pour les champignons microscopiques, 57 pour les protozoaires et 287 pour les helminthes.

d'infectiosité ou de conditions optimales de développement (Woolhouse et Gowtage-Sequeria 2005). Ces microorganismes peuvent provoquer des infections chez l'Homme, en fonction d'un grand nombre de paramètres difficiles à appréhender ou à maîtriser de manière complète (infectiosité, cycle de développement, conditions environnementales, sensibilité de la personne, etc.). Les répartitions géographiques de ces espèces, de leurs vecteurs ou des animaux-réservoirs⁷⁹ associés sont susceptibles d'évoluer avec les changements climatiques et les modifications environnementales associées, en particulier l'élévation des températures (augmentation de la fréquence, de la durée et/ou de l'intensité des vagues de chaleur, augmentation des températures moyennes, diminution de la fréquence et/ou de l'intensité des périodes de vagues de froid).

En l'état actuel des connaissances, il n'est pas encore possible de prendre en compte tous les paramètres nécessaires permettant de prévoir l'évolution de ces risques infectieux, par zones géographiques, et en fonction des projections climatiques. Seuls quelques exemples de projections régionales d'évolution de ces risques sont aujourd'hui exploitables. L'exploitation de ces exemples pour formuler des hypothèses sur l'évolution de ce risque professionnel semble tout aussi délicate.

5.2.2.2 Risques immuno-allergiques

Ils correspondent aux risques de voir le nombre de pathologies immuno-allergiques augmenter. Les organismes à l'origine de ces pathologies sont en grande partie des végétaux, notamment par l'émission naturelle de leurs pollens. Ces pathologies peuvent aussi être provoquées par les poussières résultant d'actions sur ces végétaux, particulièrement de la part de professionnels, mais aussi d'animaux (chenilles processionnaires par exemple.) ou de microorganismes (actynomycètes et moisissures)https://webmail1j.orange.fr/webmail/fr_FR/read.html?FOLDER=SF_INBOX&ID_MSG=19739&check=&SORTBY=1 - msocom 4. Notons que le changement climatique a déjà entraîné la modification des zones de répartition de certains organismes producteurs d'allergènes (ambrosie, chenilles processionnaires, etc.), ainsi que les périodes de pollinisation (avancement, élargissement, etc.). L'importance des expositions à ces allergènes, notamment pour les travailleurs qui exercent des métiers en contact avec des végétaux ou leurs produits, pourraient être modifiée, surtout si ces travailleurs méconnaissent ces nouveaux risques. L'introduction des nouvelles plantes allergisantes, rendue possible par la végétalisation des villes ou imposée (en agriculture) par le changement des conditions environnementales, pourrait également mener à l'émergence de nouveaux risques immuno-allergiques. Néanmoins, comme pour les infections, à quelques exceptions près, les projections actuellement disponibles concernent peu d'allergènes et peu de zones géographiques précises. Elles ne permettent que de formuler des hypothèses.

5.2.2.3 Risques toxiques

En milieu professionnel, il correspond à un risque d'intoxication par des toxines produites par des organismes vivants, essentiellement des bactéries et des champignons.

Certaines moisissures, adaptant la sécrétion de ces métabolites secondaires aux particularités du biotope, pourraient participer à l'augmentation de ce type de risque du fait du changement climatique.

⁷⁹ En matière de risques infectieux, le réservoir est l'endroit où les agents infectieux vont vivre et proliférer. Ce réservoir peut être tout ou partie d'un être vivant, humain ou animal, ou être inanimé, ce peut être le sol, l'eau ou un objet contaminé (INRS ED 6034).

5.2.3 Chaleur, aléas climatiques et risques psychosociaux

Ces risques peuvent concerner toutes les professions et tout type d'environnement de travail. L'augmentation de la température tout comme les aléas climatiques pourront accentuer ou révéler des risques psychosociaux. Ces changements sont susceptibles de s'ajouter à des facteurs de risques existants et de les accentuer *via* une exposition à une agression environnementale supplémentaire provenant des conditions météorologiques ou climatiques, ou encore *via* une modification de l'organisation de travail induisant une situation de stress supplémentaire.

Les facteurs de risque ou déterminants psychosociaux sont classiquement classés aujourd'hui en 7 thématiques découlant d'un rapport du collège d'expertise sur le suivi des risques psychosociaux au travail (dit rapport Gollac, 2011). Ce rapport proposait 6 axes, le premier ayant été scindé en deux par l'INRS dans son guide « Évaluer les facteurs de risques psychosociaux » (INRS ED 6140) :

- axe 1 : intensité et complexité du travail ;
- axe 2 : horaires de travail difficiles ;
- axe 3 : exigences émotionnelles ;
- axe 4 : faible autonomie au travail ;
- axe 5 : rapports sociaux au travail dégradés ;
- axe 6 : conflits de valeurs ;
- axe 7 : insécurité de l'emploi et du travail.

Hormis l'axe 3, pour lequel le présent exercice n'a pas permis de documenter de lien avec le climat, l'ensemble de ces thématiques psychosociales peuvent être impactées par le changement climatique comme décrit ci-dessous :

- axe 1 : l'ambiance thermique chaude et l'inconfort qui en découle rendent le travail plus pénible et/ou sont susceptibles de complexifier l'organisation des tâches ;
- axe 2 : les aménagements horaires susceptibles d'être mis en œuvre dans une optique de prévention (travail plus tôt le matin ou plus tard le soir pour éviter les périodes diurnes les plus chaudes) peuvent conduire à des horaires de travail atypiques, interférant non seulement avec les cycles nycthéméraux mais aussi potentiellement avec la vie privée ;
- axe 4 : les contraintes techniques et organisationnelles imposées par la prise en compte des risques liés à la chaleur peuvent être de nature à réduire les marges de manœuvre des opérateurs ;
- axe 5 : certains effets neuropsychiques de la chaleur, notamment les modifications de l'humeur et l'irritabilité, peuvent accentuer le risque de tensions au sein des collectifs de travail (violences internes) ou avec le public (violences externes) ;
- axe 6 : compte tenu de conditions climatiques extrêmes, des personnels (encadrants notamment) peuvent être confrontés à un dilemme : poursuivre le travail pour atteindre les objectifs fixés, en faisant courir des risques aux opérateurs, ou appliquer des mesures de prévention limitant les éventuelles atteintes à la santé des travailleurs, au risque de ne pas atteindre l'objectif défini ;
- axe 7 : en cas d'aléas climatiques, la dégradation voire la perte de l'outil de production constituent un facteur d'insécurité professionnelle aux conséquences psychosociales importantes pour les travailleurs.

Là encore, il paraît illusoire à ce jour d'évaluer l'impact de l'évolution de ces risques en matière de retentissement sur la santé des travailleurs, moins encore en fonction des zones géographiques.

5.2.4 Chaleur, aléas climatiques et risques d'effondrement de structures et de chutes d'objet

Les effets du changement climatique sur les pluies extrêmes sont très variables géographiquement. Cependant, une tendance générale se dessine à l'augmentation de la quantité de pluie tombant au cours des épisodes les plus extrêmes. Il peut s'ensuivre une augmentation du risque d'effondrement de structures et de chutes d'objet. Ce risque peut aussi être aggravé dans les situations de vents forts même si les études actuelles ne révèlent pas d'augmentation du risque d'occurrence de ces situations du fait du changement climatique. Les vents forts ou les précipitations intenses sont à considérer particulièrement pour les activités professionnelles dans le BTP (fouille et terrassement), sur des structures en hauteur ou souterraines.

5.3 Risques liés aux rayonnements ultraviolets solaires

Les professionnels pratiquant des activités en extérieur ont une exposition aux UVB plus fréquente et/ou plus intense que ceux travaillant en intérieur. Cette exposition peut être majorée par la réverbération sur l'eau ou la neige, ou par l'exposition à des altitudes élevées, auxquelles les UVB sont moins filtrés par l'atmosphère moins épaisse.

Le nombre de journées de plein soleil n'affiche pas une tendance certaine à la hausse ni actuellement, ni à l'horizon de 2050. Pour la majorité des travailleurs, l'intensité de l'exposition au rayonnement UV ne devrait donc pas évoluer en lien avec le changement climatique. Elle devrait même diminuer à l'horizon 2050 du fait de la reconstitution attendue de la couche d'ozone (suite au Protocole de Montréal, 1996). La dose érythémique, principalement dans l'UVB, devrait ainsi diminuer de 2 à 10 % à nos latitudes à l'horizon 2050 relativement au niveau de 1980 (Williamson *et al.*, 2014).

Cependant, l'augmentation des températures moyennes a déjà tendance à repousser les zones enneigées à des altitudes toujours plus hautes. Cette tendance devrait se poursuivre durablement. Ainsi, les activités liées aux sports d'hiver (comme le ski) pourraient être pratiquées à des altitudes croissantes, avec, de fait, une exposition aux UVB des professions concernées de plus en plus importante. L'augmentation des températures pourrait également pousser les professionnels à porter plus fréquemment des vêtements moins couvrants et par conséquent augmenter leur exposition cutanée aux UV. Ces scénarios restent encore hypothétiques.

Ainsi, à l'horizon temporel de cette saisine, il ne devrait pas y avoir d'augmentation de l'intensité du rayonnement UV en lien avec le changement climatique. Des augmentations de ce risque ne peuvent néanmoins pas être écartées du fait de changements de pratiques ou de comportement.

5.4 Risques professionnels liés aux aléas climatiques

Ces risques peuvent être liés à des indices climatiques dont les tendances à la hausse sont connues à 5 ans et à l'horizon 2050 :

- inondation et submersion, qui seraient favorisées par les précipitations intenses, potentiellement en conjonction avec les vents violents et l'érosion en zone littorale ;
- tendance générale à l'augmentation de la quantité de pluie tombant au cours des épisodes les plus extrêmes, même si les évolutions attendues sont très variables géographiquement ;
- augmentation des phases de sécheresse estivale ;
- augmentation de l'indice forêt météo (indicateur de dangers de feux de forêts) ;
- augmentation du phénomène dit d'embrasement généralisé éclair (EGE) (Courty 2012), lors d'incendies de forêts, lié au risque accru d'émission des substances inflammables (COV), particulièrement par les résineux.

Les aléas climatiques auront des effets sur la population générale avant tout, mais ils vont concerner également l'activité professionnelle dans certaines situations :

- par exemple, le personnel en activité dans une entreprise touchée par un aléa climatique fort à travers des accidents du travail liés directement à l'aléa climatique (chute d'objet, toiture effondrée sur un atelier, etc.) soit indirectement et secondairement du fait de l'interruption de la production ou la perte des outils de production qui pourront conduire à du chômage technique voire à des pertes d'emploi. Il en serait de même pour le monde agricole, si ces aléas, auxquels il faut ajouter l'augmentation des sécheresses agricoles, devaient entraîner des destructions d'installations ou de matériel, ou des pertes d'exploitation (absence ou incendie des récoltes, perte d'animaux d'élevage ou chute de la production en produits animaux (lait, œufs) (cf. 5.2.2 à 5.2.4) ;
- les professionnels du secours incendie et du secours à la personne (y compris les bénévoles ou équipes de secours interne à une entreprise). Les pompiers en interventions sur des incendies de forêts ou de récoltes pourraient être plus souvent exposés à des risques accrus d'incendies particulièrement violents et meurtriers⁸⁰ ;
- les professionnels de la remise en état des réseaux (énergie, eau destinée à la consommation humaine, eaux usées, surfaces routières).

La répétition dans le temps des épisodes climatiques extrêmes et du nombre d'intervention de secours ou de remise en état pourrait engendrer un épuisement physique et psychique des équipes de secours ou des équipes de réparation trop souvent sollicitées. Ces situations de secours et de réparation sont toujours accidentogènes mais avec un risque augmenté en cas de mauvaise récupération physique et mentale des intervenants entre deux situations extrêmes. Ceci est particulièrement à craindre si le nombre des intervenants est trop limité face aux exigences des situations créées par les aléas.

⁸⁰ De tels embrasements (dénommés EGE pour « embrasements généralisés éclairés »), provoqués par la formation de poches gazeuses de COV, présentent des fronts de flammes à propagation fulgurante (parfois plus de 100 km/h) et accompagnés de très forts dégagements de chaleur (1 500 à 2 000 °C) : ils sont déjà connus comme étant les plus meurtriers parmi les professionnels du feu. Or, ils devraient devenir plus fréquents du fait d'une augmentation des émissions de COV en liaison avec le réchauffement climatique.

Plusieurs facteurs peuvent être aggravants pour les risques liés aux aléas climatiques, comme la construction de locaux en zones inondables, l'urbanisation du littoral, l'imperméabilisation des sols, l'augmentation des surfaces forestières et de l'interface habitat-forêt, etc. (voir la fiche aléas en annexe 2 pour une liste des facteurs aggravants).

L'évolution des vents forts (tempêtes, tornades, cyclones pour les tropiques) n'affiche pas une tendance suffisamment claire pour pouvoir en faire état et en estimer les conséquences possibles.

5.5 Spécificités des risques professionnels dans les territoires de l'outre-mer

5.5.1 Le changement climatique futur outre-mer

Les informations concernant les projections climatiques pour les outre-mer sont moins nombreuses que pour la France métropolitaine. Seul le modèle climatique régional français mis en œuvre à Météo-France (Aladin-Climat) a été utilisé pour évaluer les changements climatiques futurs dans la plupart des territoires d'outre-mer tropicaux, en suivant les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre anthropiques du dernier rapport du GIEC (2013). Comme pour les scénarios concernant la France métropolitaine, les résultats des simulations sont présentés dans un rapport de l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC) rédigé dans le cadre de la mission « Jouzel » (Ouzeau *et al.* 2014) et sont mis à disposition sur le portail de service climatique national Drias (www.drias-climat.fr). Aucune projection climatique détaillée n'a cependant été réalisée pour les plus petites îles, ni pour les territoires d'outre-mer situés en dehors des tropiques (comme Saint-Pierre et Miquelon ou les terres australes et antarctiques françaises). Nous présentons ici une brève synthèse des analyses disponibles.

Le réchauffement simulé en 2021-2050 par rapport à la période de référence de 1976-2005, serait de l'ordre de 0,7°C aux Antilles, 0,9°C à La Réunion, 0,7°C à Tahiti et 0,7°C en Nouvelle Calédonie. Il est donc du même ordre que celui qui a été observé au cours des dernières décennies, là où ces observations ont pu être analysées. Les changements de précipitations sont plus incertains même si une légère tendance à l'assèchement (en période sèche) se dessine en fin de période.

Les études actuelles ne permettent pas de préciser quelle sera l'évolution des événements extrêmes au-delà de l'augmentation attendue des extrêmes chauds qui accompagne toujours un réchauffement climatique moyen.

Par ailleurs, les experts du GIEC n'accordent qu'un faible degré de confiance aux tendances (à la hausse ou à la baisse) sur le nombre de cyclones tropicaux à l'horizon temporel qui nous intéresse ici. Quelques études citées dans leur dernier rapport concluent cependant à une augmentation de l'intensité des cyclones dans le bassin Nord-Atlantique qui pourrait donc concerner les Antilles.

5.5.2 Les changements environnementaux futurs outre-mer

Outre-mer, la France présente des situations extrêmement variées. Cependant, plusieurs éléments sont à souligner pour ces territoires :

- une importance considérable de l'espace maritime (10 millions de km²) et des écosystèmes associés ;
- une biodiversité exceptionnelle ;
- des massifs forestiers considérables (Guyane) et présentant de forts taux d'endémismes (Nouvelle Calédonie, Réunion).

Les principaux changements environnementaux et menaces qui pèsent sur ces espaces sont :

- en relation avec l'importance du milieu marin et le caractère insulaire de la majorité de ces territoires :
 - o une forte urbanisation littorale, une destruction des habitats littoraux associées à une forte pression de population (Antilles, Mayotte) ;
 - o une augmentation du niveau marin et une acidification des eaux ;

- o une diffusion très rapide des espèces envahissantes (La Réunion).
- o de plus, l'élévation du niveau de la mer⁸¹ (cf. 2.2) attendue d'ici 2050, ayant déjà débuté, associée aux changements climatiques, combinée à l'érosion côtière et à la littoralisation, modifiera le trait de côte ;
- en relation avec la position géopolitique, d'importants mouvements de population et pressions migratoires fortes dans certains territoires (Mayotte, Guyane) ;
- On notera aussi la présence d'exploitations minières, sources de pollutions et de dégradation de l'environnement (nickel de Nouvelle Calédonie, or de Guyane).

Les hautes latitudes sont celles qui subissent (et subiront) les plus forts impacts du changement climatique, avec des risques spécifiques liés par exemple à la fonte du pergélisol⁸² (éboulement, effondrement de bâtiments et chaussées, libération d'agents pathogènes (bactéries type *Bacillus anthracis*, agent du charbon, virus du type de la variole) enfouis depuis des dizaines voire des milliers d'années, etc.).

Les activités minières et pétrolières vont par ailleurs augmenter le niveau de pollution et de turbidité de l'eau, avec des conséquences sur le fonctionnement des écosystèmes côtiers.

5.5.3 La santé au travail outre-mer

Les principes généraux de prise en compte des risques professionnels dans les départements, régions et collectivités d'outre-mer ne diffèrent pas de ceux décrits en France métropolitaine. Cependant, le contexte professionnel, la répartition des emplois et secteurs d'activité, les familles de risques, sans différer fondamentalement de ceux abordés dans le tableau de « synthèse des évolutions prévisibles des risques professionnels en fonction du changement climatique » (cf. chapitre 5) et les fiches présentées en annexe 2, ainsi que l'environnement climatique présentent d'ores et déjà des spécificités qui ne peuvent être prises en compte qu'au travers d'une analyse au cas par cas des situations de travail. En zone tropicale, les indices thermiques, notamment humidex et WBGT, se situent régulièrement à des niveaux susceptibles de conduire à un excès de risque d'affections consécutives à la chaleur, y compris leurs formes les plus sévères (coup de chaleur et hyperthermie maligne d'effort).

Compte tenu des variations climatiques possibles décrites précédemment, au regard des ambiances thermiques déjà présentes actuellement dans les zones intertropicales notamment, les problématiques sanitaires au sein des populations salariées ne devraient pas sensiblement différer, à l'horizon concerné par cette saisine, de celles auxquelles les travailleurs et entreprises sont déjà confrontés. Bien que modérée, une augmentation supplémentaire de la contrainte thermique naturelle, dans des zones où l'indice WBGT est déjà souvent élevé, ne peut qu'augmenter la fréquence et la durée des périodes de travail se déroulant en ambiance thermique dangereuse. La fréquence de dépassement des seuils de WBGT extrême devrait ainsi augmenter de manière très significative (jusqu'au doublement) dans les Caraïbes à l'horizon 2050. Bien que ces projections ne soient pas directement extrapolables aux Antilles françaises, elles illustrent néanmoins les possibles évolutions de cet indice dans ces départements ultramarins (Willet et Sherwood 2012). Il est en outre possible que la légère élévation de la contrainte thermique moyenne, et plus encore celle des épisodes de chaleur extrême, accentue les difficultés liées au port de tenues et équipements de protection.

⁸¹ À l'échelle mondiale : 20 cm depuis 1900, 20 cm supplémentaires (par rapport à 2000) prévus à l'horizon 2050, source : (GIEC 2013, 2014)

⁸² désigne la partie d'un cryosol gelé en permanence, au moins pendant deux ans, et de ce fait imperméable.

5.5.4 Une prise en compte nécessairement au cas par cas des territoires d'outre-mer

La plupart des risques professionnels susceptibles d'être impactés par le changement climatique et les circonstances d'exposition associées sont communs à tous les territoires Français. Néanmoins, outre-mer, au-delà des projections climatiques moins nombreuses que pour la France métropolitaine, ces territoires présentent des situations environnementales extrêmement variées. Ces spécificités doivent être prises en compte au travers d'analyses des situations de travail, locales, nécessitant de bonnes connaissances de la réalité de ces territoires, afin de déterminer les mesures préventives, techniques, organisationnelles et comportementales, souvent déjà mises en œuvre, mais qu'il serait nécessaire de renforcer. Le groupe de travail a choisi de ne pas plus développer ces spécificités dans le présent rapport, estimant qu'elles devaient faire l'objet d'études spécifiques, si possible en impliquant des spécialistes de ces territoires.

6 Discussion

6.1 Effets du changement climatique sur la santé des travailleurs

6.1.1 Principales modifications du climat et de l'environnement ayant un impact sur la santé au travail

Au terme de sa réflexion, le groupe de travail retient trois modifications environnementales largement influencées par le changement climatique qui pourront avoir des impacts majeurs sur la santé des travailleurs :

- i) la hausse des températures ;
- ii) la modification des risques biologiques et chimiques ;
- iii) la modification de la fréquence et de l'intensité des aléas climatiques.

6.1.1.1 Hausse des températures

Le réchauffement climatique projeté (élévation de la température moyenne, vagues de chaleur, épisodes de canicule, etc.) en France présentera certaines variations. Il devrait être plus important en été qu'en hiver et un peu plus marqué dans le sud-est de la France métropolitaine. Les vagues de chaleur estivales deviendront à la fois plus fréquentes, plus longues et plus intenses, à l'inverse des vagues de froid.

Le phénomène d'« îlots de chaleur urbain » (cf. chapitre 2.3.2.1), qui peut localement accentuer les hausses de température, concernera des territoires plus importants en raison du développement attendu des villes et des zones urbaines. Ce phénomène pourrait être aggravé par une augmentation des rejets caloriques des systèmes de climatisation, du fait de leur déploiement en réponse aux épisodes de chaleur.

La conséquence la plus directe de ce réchauffement est l'élévation de la contrainte thermique à laquelle seront soumis un nombre important de travailleurs dans des situations professionnelles très diverses, avec des troubles pathologiques de même nature que ceux observés lors des vagues de chaleur : crampes, malaises plus ou moins sévères, coups de chaleur parfois mortels. Cette contrainte thermique peut aussi entraîner des troubles neuropsychologiques, regroupés dans la majorité des publications relatives au sujet sous l'intitulé « baisse de vigilance », à l'origine d'accidents soit directement en lien avec les effets comportementaux (accidents de conduite, chutes de hauteur ou de plain-pied...) ou indirectement suite à des erreurs, imprécisions ou inattentions (chutes d'objets mal rangés, défauts de mise en œuvre de dispositifs de sécurité, etc.).

Si ce possible effet de la chaleur sur la vigilance s'avère moins documenté que ceux associés à la survenue des effets physiopathologiques de la chaleur, celui-ci ne doit cependant pas être négligé. En effet, concernant potentiellement l'ensemble des travailleurs à partir de faibles augmentations de leur stress thermique, les conséquences de ce processus pourraient se traduire par une augmentation diffuse du risque accidentel pour l'ensemble des travailleurs.

Enfin, comme indiqué précédemment (cf. section 4.2.2 et annexe 2), pour la majorité des travailleurs, l'intensité des rayonnements UV naturels ne devrait pas évoluer défavorablement en lien avec le changement climatique. Cependant, l'augmentation du risque sanitaire lié à l'exposition à des rayonnements UV naturels ne peut pas être écartée pour les travailleurs, du fait de l'adaptation, notamment vestimentaire, à des températures plus élevées.

6.1.1.2 Modification des risques biologiques et chimiques

Les nouvelles conditions climatiques vont favoriser la migration d'espèces déjà installées ou l'installation et la pérennisation de nouvelles espèces animales ou végétales introduites volontairement (végétalisation en ville, introduction de nouvelles plantes ou nouveaux animaux dans la nature (cf. 2.3.2.1), nouvelles pratiques agricoles imposées par le changement climatique...) ou accidentellement (globalisation des échanges commerciaux et touristiques...) (Malard, Schaffner, et Le Bâcle 2003). Le changement climatique va donc influencer les écosystèmes, leurs fonctionnements ainsi que les populations d'organismes qui les constituent, avec pour conséquence la modification des risques liés aux agents biologiques de toutes natures.

En ce qui concerne les eaux, la hausse des températures et la modification des régimes de pluies pourraient entraîner une modification de la qualité des ressources (rivières, lacs, etc.), nécessitant l'adaptation des procédés de production d'eau destinée à la consommation humaine (EDCH), avec des expositions chimiques et biologiques potentielles plus importantes. La moindre disponibilité de l'eau dans certaines régions est susceptible de poser problème dans l'agriculture (espèces cultivées, élevage, irrigation), la pisciculture, l'industrie agroalimentaire, la production d'énergie ou les transports fluviaux, avec des répercussions potentielles sur les travailleurs de ces secteurs d'activité. Eutrophisation et prolifération d'algues et de cyanobactéries pourraient également concerner les mares, les étangs et les estuaires des petites et moyennes rivières, avec un impact potentiel sur les ressources de la pêche et de la conchyliculture, et donc sur les conditions de travail dans ces secteurs (Dutartre et Suffran 2011, Rosset 2011).

Bien que relevant encore d'hypothèses difficilement quantifiables, plusieurs paramètres concourent à envisager une augmentation globale de l'exposition au risque chimique. Au-delà des effets déjà évoqués sur l'augmentation des substances volatiles et particules dans l'atmosphère (effet direct du climat sur les produits chimiques, la mise en suspension et les sols) ou sur la qualité des eaux, l'augmentation de l'indice forêt météo (feux augmentant les concentrations atmosphériques de polluants), l'évolution des risques biologiques pour les cultures (espèces nouvelles ou résistantes pouvant conduire à l'utilisation accrue de pesticides), ou des adaptations comportementales (notamment vestimentaires) inappropriées sont autant de facteurs susceptibles d'accentuer le risque chimique.

Ainsi, la nature des risques biologiques et chimiques, en milieu professionnel, va évoluer. Il reste cependant difficile, compte tenu des connaissances actuelles, de caractériser et quantifier ces évolutions futures.

6.1.1.3 Modification de la fréquence et de l'intensité d'aléas climatiques

L'augmentation des épisodes de sécheresse combinée avec l'augmentation des épisodes de chaleur va augmenter le risque de feu de forêt et les risques professionnels directement reliés. L'augmentation des surfaces forestières et de la fragmentation des paysages pourraient également majorer le nombre de professionnels impactés par ces incendies, que leurs activités y soit directement liées ou simplement pratiquées dans des zones potentiellement touchées.

Concernant les épisodes de pluies extrêmes, les modifications attendues sont variables d'une région à une autre, la quantité de pluie tombant au cours des épisodes les plus violents devrait augmenter et le risque de crues éclair, associées aux épisodes de pluie diluviennes des régions méditerranéennes, pourrait augmenter, avec des impacts notamment sur les professionnels de l'urgence et de la réparation.

Qu'il s'agisse de fréquence ou d'intensité, le risque de tempêtes ne montre pas de tendance notable à l'horizon 2050. Cependant, les effets des tempêtes peuvent être majorés en zones côtières en cas de submersion marine. Le risque de submersion est en effet modérément augmenté par l'élévation du niveau de la mer, qui est une conséquence avérée du changement climatique (élévation d'environ 20 cm depuis 1900 et élévation prévue d'une vingtaine de cm supplémentaires à l'horizon 2050).

Le phénomène de littoralisation des activités humaines devrait compliquer la gestion de cette élévation du niveau de la mer couplée aux tempêtes et aux pluies extrêmes (submersion, inondation...).

De manière générale, les conséquences des aléas climatiques peuvent mettre en péril la survie des entreprises ou la continuité de leur production, avec des répercussions sur l'emploi, et par voie de conséquence sur la santé des travailleurs, notamment en matière de risques pour la santé mentale.

6.1.2 Comparaison des résultats et projections retenues par le groupe de travail avec ceux de la littérature

La revue de la littérature réalisée pendant l'expertise a permis de construire, puis de confirmer les projections et hypothèses retenues par le groupe de travail, pour la période actuelle à 2050.

6.1.2.1 Quelques divergences en matière de projections climatiques

En matière de projections climatiques, quelques divergences ont été relevées entre les hypothèses retenues dans cette expertise, essentiellement basées sur les consensus du GIEC, et les résultats présentés par certains auteurs.

Concernant les rayonnements UV d'origine solaire touchant la surface terrestre, le groupe de travail a considéré que, sur le territoire français, les tendances actuelles sont plutôt à la diminution, sauf peut-être dans les zones tropicales à l'horizon 2100 (pas 2050) (Williamson *et al.* 2014). L'IRSST (2012) et Schultle et Chun (2009) préoyaient une augmentation de l'intensité de ces rayonnements UV auxquels sont soumis notamment les travailleurs, induisant des maladies oculaires et des cancers cutanés. Cette différence s'explique essentiellement par les données prises en compte dans ces études, rendues obsolètes par des données plus récentes. Le rayonnement solaire a bien augmenté sur les continents de l'hémisphère nord au cours des 30 dernières années, en particulier en Europe et en France, mais c'est un effet de la diminution de la pollution atmosphérique par les particules et non du changement climatique. Dans une mise à jour de son étude datant de 2016, Schulte indique cette fois que le rayonnement UV à la surface terrestre devrait diminuer au cours de ce siècle, en lien notamment avec la réduction de l'utilisation des produits chimiques appauvrissant la couche d'ozone dans l'atmosphère. Il évoque cependant une exposition aux UV des pilotes de ligne qui serait amenée à augmenter, du fait des modifications de la couche d'ozone stratosphérique par les activités humaines et les changements climatiques. Les auteurs de la publication alertent sur une augmentation possible des risques d'effets oculaires et de mélanomes chez ces travailleurs. Le groupe de travail n'a pas vérifié cette hypothèse, certains biais (pratiques des personnels navigants lors des escales par exemple) ayant été soulevés comme facteurs de confusion potentiels de certaines de ces études.

Si Schulte et Chun (2009) évoquaient une augmentation de la fréquence des orages ou des tempêtes à l'échelle mondiale, aucune donnée corroborant cette tendance, notamment en France, n'a pu être trouvée. En l'état actuel des connaissances, il n'est pas possible de conclure sur l'influence du changement climatique sur l'évolution des orages associés à la grêle et à la foudre, ou les mini-tornades.

6.1.2.2 Des effets du changement climatique sur la santé des travailleurs qui font consensus

De manière générale, en ce qui concerne les conséquences du changement climatique sur la santé des travailleurs, les conclusions de cette expertise rejoignent celles des auteurs des rapports et publications identifiés comme pertinents dans le panorama des travaux de synthèse relatifs aux effets du changement climatique sur la santé humaine réalisé au cours de l'expertise (cf. section 4.1).

Ainsi, les auteurs de ces rapports et publications constatent que le changement climatique entraîne une augmentation des risques professionnels connus (exposition des travailleurs aux dangers professionnels connus), autant en matière de prévalence⁸³, de distribution que de gravité. Ce phénomène devrait entraîner une augmentation de l'incidence des accidents et maladies d'origine professionnelle impactés par le changement climatique, autant en matière de mortalité que de morbidité.

Ces mêmes auteurs soulignent le potentiel d'émergence de risques professionnels nouveaux du fait d'évolutions partiellement liées au changement climatique, que ce soit pour le limiter ou en atténuer les effets : la transition industrielle, les industries émergentes ou la construction de bâtiments énergétiquement performants.

Enfin, les résultats de cette expertise convergent vers une conclusion qui semble faire consensus chez les auteurs de l'ensemble de ces publications : selon les connaissances scientifiques actuelles, la chaleur constituerait le déterminant le plus important de l'impact du changement climatique sur les risques professionnels.

⁸³ mesure de l'état de santé d'une population en dénombrant le nombre de cas de maladies à un instant donné ou sur une période donnée.

6.2 Circonstances d'exposition professionnelle propices à la survenue d'effets sanitaires liés au climat

Les effets du changement climatique touchent l'ensemble de la population. Au-delà, certaines populations professionnelles présentent un excès de risque du fait d'une augmentation quantitative de l'exposition et/ou de la présence de circonstances aggravant le risque dans le contexte du changement climatique.

Le groupe de travail a identifié un certain nombre de circonstances d'exposition pouvant induire des risques sanitaires accrus pour les travailleurs, avec plus ou moins de précision selon les cas. Cependant, compte tenu de la multitude et des spécificités des différents métiers, on ne peut prétendre à l'exhaustivité de cet exercice. Il appartiendra à des spécialistes des différents secteurs professionnels d'affiner et de compléter cette description dans leurs domaines de compétences (postes de travail, zone géographique, etc.).

Les circonstances d'exposition identifiées sont présentées, à titre d'exemples, dans la suite du présent chapitre.

6.2.1 En lien avec le réchauffement

Les circonstances d'exposition les plus concernées par l'augmentation des températures (au-delà même de secteurs habituellement pris en compte comme dans le BTP ou le monde agricole) et leurs conséquences sanitaires ne seront pas sensiblement différentes de celles déjà identifiées actuellement : activités à forte charge physique (manutentions ou tout effort physique intense), travail à l'extérieur en période de chaleur, travail dans des conditions aggravant le risque (environnement professionnel comportant des sources de chaleur, port de tenues et équipements accentuant la contrainte thermique ou limitant les mécanismes de thermolyse, etc.). Par contre, le nombre de dépassements des seuils thermiques dangereux, la fréquence et la durée du temps de travail passé au-delà de ces seuils, ainsi que l'intensité de ces dépassements vont très probablement concerner un nombre plus important de travailleurs.

Certains groupes professionnels, susceptibles de travailler dans des « îlots de chaleur urbains » et tout particulièrement d'y effectuer des tâches physiquement exigeantes, pourront être concernés par un excès de risque : déménagements, livraison aux particuliers ou aux entreprises, entretien, création ou réfection des trottoirs et voies de circulation, etc. Ils seront d'autant plus concernés par ce risque s'ils résident en plus dans un îlot de chaleur, limitant la récupération nocturne.

6.2.2 En lien avec les modifications des risques biologiques et chimiques

Les activités amenant des professionnels à intervenir dans les milieux naturels (agriculteurs, éleveurs, personnels de l'entretien des espaces verts, des cours d'eau, des forêts, professionnels de la chasse...) pourront générer des circonstances propices à les exposer à des modifications des espèces présentes, tant en ce qui concerne le risque infectieux que le risque allergique (manifestations cutanées possibles mais surtout manifestations respiratoires telles que rhinite, asthme et pneumopathie d'hypersensibilité).

Les personnels soignants et des services d'aide à la personne amenés à prendre en charge les populations contaminées pourront également être exposés à ces nouveaux agents infectieux. À un moindre degré, il pourrait en être de même pour les personnels des services sociaux, d'associations caritatives, des agents des douanes et des services de police.

Les risques toxiques, essentiellement liés au développement de moisissures toxigènes, concernent avant tout les risques alimentaires en population générale, mais certains professionnels de l'agriculture (pendant les récoltes et le stockage), ainsi que ceux de l'industrie agroalimentaire (premiers postes des industries de transformation), pourraient être concernés plus

souvent qu'aujourd'hui par une exposition à des mycotoxines, en particulier aux aflatoxines classées comme cancérogène certain (groupe 1) par le CIRC.

Les modifications de la qualité et de la disponibilité des eaux pourraient également impacter la santé des travailleurs dans plusieurs circonstances. Les travailleurs amenés à être en contact avec de l'eau, notamment brute, pourraient être exposés à des eaux de moindre qualité avec les risques professionnels que cela implique (biologiques et chimiques). La réduction de la disponibilité de l'eau pourrait également indirectement favoriser certaines pathologies, notamment en lien avec la poussière (par exemple dans le milieu agricole ou sur les chantiers nécessitant un arrosage).

Egalement dans le milieu agricole, l'utilisation potentiellement plus importante de substances chimiques, notamment des produits phytosanitaires, en réaction à d'éventuelles augmentations des pathologies des cultures et des animaux d'élevage pourrait être à l'origine d'un accroissement du risque chimique pour certains professionnels.

Plus généralement, pour tous les travailleurs amenés à porter des tenues de protection contre les substances chimiques, l'éventuelle utilisation incorrecte de ces tenues du fait de températures élevées pourrait également accentuer les risques chimiques pour les travailleurs.

6.2.3 En lien avec les aléas climatiques

La répétition rapprochée des aléas pourrait devenir une cause de surcharge des métiers de secours (secours incendie, secours aux personnes...), et peser en matière de charge physique et de charge mentale. Il pourrait en être de même pour les professionnels de la réparation des réseaux et des équipes de premier secours en entreprises, plus fréquemment sollicitées.

Outre des accidents gravissimes pour les professionnels du secours incendie, la perte possible de récoltes pour le monde agricole (incendies, sécheresses agricoles), la destruction des entités installées en limite de paysages boisés ou en zone paysagée très arborée (incendies), ou l'arrêt contraint de leur production pourraient être lourds de conséquences sur la santé mentale des différents personnels concernés, au-delà du risque plus classiquement évoqué de syndrome post-traumatique ou d'effets cardiovasculaires à court terme (infarctus, AVC...).

6.3 Domaines de connaissances à renforcer et / ou à suivre

6.3.1 Manque de données robustes

Des lacunes de connaissances sur les effets du changement climatique sur la santé des travailleurs ont pu être identifiées.

Par exemple, les effets physiologiques directs de la chaleur sont relativement bien documentés, alors que ceux liés aux effets de la chaleur sur la vigilance, ou plus précisément sur les divers processus cognitifs, attentionnels ou motivationnels, le sont moins.

Certains effets indirects impliquent des conséquences en cascade : l'évolution d'un risque est lié à une modification environnementale elle-même conséquence, au moins en partie, du changement climatique. Il en est ainsi de la colonisation de certaines régions par des vecteurs de maladies infectieuses (moustiques du genre *Aedes* vecteurs du chikungunya, de la dengue..., de l'extension de l'aire de répartition des tiques *Ixodes ricinus* vecteur de la maladie de Lyme, etc.) suite à l'augmentation des températures. Il peut s'y ajouter de multiples facteurs contextuels complexes, comme la modification de l'utilisation des terres suite au changement climatique, à la diminution des ressources en eau ou à des modifications des pratiques culturelles, ou l'évolution des métiers due aux modifications technologiques et sociétales (perspective plus lointaine développée dans la section 6.4.4 (« Perspectives »)).

L'évaluation de l'évolution des risques professionnels devient alors un exercice très incertain. Les lacunes dans les connaissances entravent la caractérisation des incertitudes associées aux hypothèses et scénarios étudiés et interdisent en conséquence toute tentative de quantification robuste des effets sanitaires retenus.

Il ressort également de l'analyse du groupe de travail que les effets les moins étudiés sont souvent les plus difficiles à évaluer, du fait notamment de multiples causes et de circonstances d'exposition associées peu spécifiques de métiers particuliers. De ce fait, l'impact quantitatif de ces risques, présentant un excès unitaire faible mais pouvant concerner un grand nombre de travailleurs, pourrait être conséquent, voire supérieur à des risques directs ou plus évidents mais touchant un nombre plus limité de travailleurs.

Pour reprendre l'exemple de la baisse de vigilance associée à l'augmentation de la chaleur, son mécanisme d'effet est moins bien documenté que les effets physiologiques directs de la chaleur. Cependant, ses conséquences sanitaires (au niveau de la population des travailleurs en France) pourraient être plus importantes, puisque les risques liés à la vigilance peuvent concerner l'ensemble des travailleurs.

Ainsi, le groupe de travail constate le manque de données robustes pour évaluer certaines conséquences sanitaires des évolutions climatiques et environnementales pour les travailleurs. Celles qui sont disponibles ne couvrent qu'une partie des causes et conséquences envisagées, souvent sur les hypothèses les plus évidentes et les effets les plus directs.

6.3.2 Outre-mer

L'état actuel des connaissances ne permet pas de préciser quelle sera l'évolution des extrêmes dans les territoires d'outre-mer, au-delà des vagues de chaleur qui vont augmenter, comme en métropole. On peut retenir néanmoins une augmentation possible de l'intensité des cyclones dans le bassin Nord Atlantique qui pourrait donc concerner les Antilles. Ce risque concerne la population en général, mais les entreprises pourront également en subir les conséquences.

Les travaux actuels de modélisation des évolutions du climat dans les outre-mer ne permettent pas d'être conclusifs à l'échelle géographique des territoires considérés. De même, les travaux de modélisation des évolutions des écosystèmes du fait du changement climatique méritent d'être

poursuivis, sinon engagés. Dans le domaine de la sécurité-santé-travail et tout comme en métropole, les déclarations d'accidents ne font pas mention des conditions météorologiques lors de la survenue des accidents. Ceci limite la possibilité de réaliser un travail statistique rétrospectif pour établir des liens avec les évolutions du climat spécifique aux outre-mer. Pour cela un travail supplémentaire est nécessaire pour croiser les relevés météorologiques avec le moment et le lieu de l'accident.

6.3.3 Recherche d'analogues climatiques

Une question légitime concerne la recherche dans le monde actuel de situations climatiques analogues à celles que l'on pourrait vivre en France dans quelques décennies. Une étude de ce type a été menée dès 2007 par Hallegatte *et al.*, tenant compte des changements de températures en Europe calculés par quelques modèles climatiques (Hallegatte, Hourcade, et Ambrosi 2007). Cette étude a récemment été mise à jour en utilisant des projections climatiques plus complètes et en prenant cette fois en compte conjointement les changements de température et de précipitations en différentes saisons (Lémond *et al.* 2017). Ainsi, il en ressort que le meilleur analogue du climat que devrait connaître la région parisienne (ou l'Île de France) à l'horizon 2050, pour un scénario d'émissions de type A1B (proche du scénario RCP6), serait le climat des environs de Madrid pour l'hiver et celui des environs de Budapest, Vienne ou Luhansk (Ukraine) pour l'été.

Cependant, pour évaluer les liens entre les changements climatiques et la santé des travailleurs, il faudrait pouvoir appliquer les mêmes méthodes de détermination d'analogues que Hallegatte *et al.* ou Lémond *et al.* ont utilisées aux indices ou variables climatiques sélectionnées par le groupe de travail. À titre d'exemple, le cas de l'indice WBGT, détaillé dans la section 4.2.1, peut être évoqué. La variabilité géographique de cet indice ne se déduit pas simplement des variations de température ou de précipitations. Elle fait aussi intervenir l'humidité de l'air et la vitesse du vent qui peuvent être très différentes d'une zone géographique à l'autre (Hallegatte, Hourcade, et Ambrosi 2007).

Willet et Sherwood (2012) ont calculé que, pour la France métropolitaine, la valeur moyenne actuelle du WBGT se situe dans des valeurs relativement modérées, mais qu'elle est par contre relativement importante dans les Caraïbes et donc dans les Antilles françaises plus humides (Willet et Sherwood 2012). Ils soulignent aussi qu'avec le changement climatique, y compris à l'horizon 2050, les pourcentages de dépassement de seuil de cet indice augmenteront en toute région, mais de manière différenciée car cette augmentation est plus rapide dans les régions les plus humides et donc *a priori* dans les îles en zone tropicale. Rechercher des régions du globe où le WBGT prend actuellement des valeurs comparables à celles que prendra cet indice en France métropolitaine et d'outre-mer nécessiterait donc une étude spécifique qui n'a pas encore été réalisée.

6.3.4 Perspectives

Dans cette section, nous identifions quelques tendances dès aujourd'hui identifiables dans les évolutions sociales qui pourraient avoir un fort impact sur les risques sanitaires pour les travailleurs en lien avec le changement climatique. Ces éléments, bien qu'ils puissent avoir un effet important sur l'évaluation des risques futurs, ne semblent pas avoir été pris en compte dans les études déjà menées. Ils sont mentionnés ici comme autant de pistes de réflexion à mener dans une suite éventuelle donnée à l'expertise.

6.3.4.1 Métiers futurs

Quatre exercices de prospective, en cours ou récemment finalisés, ont été particulièrement étudiés pour essayer de dégager des tendances sur les métiers futurs, avant d'envisager les éventuelles conséquences sanitaires du changement climatique sur les travailleurs concernés :

- une étude « Anses 2020 » (2012), destinée à imaginer les prochains grands thèmes à venir, et donc à traiter par l'agence, qui a permis d'identifier 4 grands moteurs de modification⁸⁴, dont « Environnement et changement climatique, diminution de ressources » ;
- un exercice du réseau R31⁸⁵ ayant pour but de réfléchir à l'impact des technologies vertes dans 20 ans ;
- un exercice piloté par l'INRS destiné à prendre en compte des scénarios qui suggèrent que, dans les 25 ans à venir, les tendances de fond constatées ces 25 dernières années vont se poursuivre ;
- un 4^{ème} exercice du ScenEnv⁸⁶, consistant en une méta-analyse de l'ensemble des exercices de prospectives réalisés et identifiés jusqu'ici.

Le détail de ces 4 exercices est présenté en annexe 6.

Sur la base de ces exercices de prospective, on n'identifie pas d'évolution des risques pour ces métiers, du fait du changement climatique, autres que ceux déjà identifiés lors de l'analyse des circonstances d'exposition. Mais, si le nombre de travailleurs « indépendants » venait à augmenter de façon considérable, il est permis de s'interroger sur le devenir de la gestion de la prévention des risques professionnels telle que nous la connaissons aujourd'hui. Comment obtenir qu'au cours de ces « prestations de services » le prestataire isolé, n'appartenant pas au collectif de travail, connaisse bien et n'oublie pas le respect des consignes de sécurité, quelles que soient les conséquences en matière de « rentabilité immédiate » pour sa prestation ?

Néanmoins, il existe actuellement peu de travaux de prospective quant à l'évolution des risques professionnels pour les travailleurs du fait du changement climatique, et les travaux réalisés récemment par l'INRS et l'Anses constituent un socle pertinent pour un travail futur en ce sens.

Certains auteurs, comme Shulte *et al.*, (2009 et 2016), associent néanmoins au changement climatique des transitions industrielles et l'émergence de nouvelles industries, avec des conséquences en termes d'insécurité de l'emploi (notamment dans les secteurs de la pêche et des transports), de diminution et d'apparition de risques professionnels (manipulation des matériaux constituant des panneaux solaires, utilisation de biocarburants, secteur de l'énergie, activité de recyclage). Shulte *et al.*, (2009 et 2016) envisagent également les conséquences de l'adaptation de l'environnement bâti destinée à limiter le changement climatique, avec par exemple des bâtiments très performants énergétiquement mais très peu ventilés, susceptibles d'exposer les travailleurs à des accumulations de polluants en provenance des matériaux ou des activités intérieures.

Ces réflexions prospectives constituent un ensemble cohérent. Le monde du travail connaît actuellement de nombreuses mutations. Des ruptures sont possibles, qu'elles soient liées au rapport au travail, à la redistribution des revenus, à l'organisation de la société, etc. Une mutation plus profonde, liée à la technologie est également possible.

⁸⁴ i) L'environnement et le changement climatique, la diminution de ressources ; ii) Effets de concentration et mondialisation ; iii) Ensemble de facteurs liés à la société (économiques, vieillissement de la population, inégalités, etc.) ; iiiii) Les risques liés aux nouvelles technologies.

⁸⁵ ensemble d'établissements liés à l'Anses : <https://www.anses.fr/fr/content/le-r%C3%A9seau-des-partenaires-le-r31>.

⁸⁶ pour Scénarios Environnement.

6.3.4.2 Adaptation au changement climatique

Les mécanismes d'adaptation au changement climatique et leurs conséquences, positives comme négatives, pour la santé des travailleurs, étant trop spécifiques des activités professionnelles et hypothétiques, le groupe de travail a choisi de ne pas les développer dans cette phase de l'expertise.

6.3.4.3 Évolution de l'état de santé global des populations face au changement climatique

Certaines tendances globales de l'évolution de l'état de santé de la population des pays industrialisés sont susceptibles d'accentuer l'impact potentiel du changement climatique au travail, notamment des vagues de chaleur ou en cas d'activité physique dans des ambiances thermiques chaudes :

- la sédentarisation, alors que l'entraînement physique constitue un facteur de protection contre les effets aigus graves (coups de chaleur) ;
- l'augmentation du nombre de sujets obèses, alors que le surpoids est un facteur de risque de survenue d'effets sanitaires aigus graves ;
- l'accroissement des prises médicamenteuses, y compris sous forme d'automédication, alors que la liste des substances susceptibles d'interférer avec les mécanismes de la thermorégulation est longue.

6.4 Propositions

6.4.1 Observatoire et programmes de recherche

Comme indiqué précédemment, certains effets sanitaires du climat sur les travailleurs sont déjà largement documentés, particulièrement quand ils touchent des secteurs d'activité bien structurés, à même de repérer des effets récurrents et d'agir en conséquence pour limiter ces risques. La prise en compte des effets de la chaleur ou du froid dans le secteur du BTP en est un exemple. En revanche, les effets du climat sur les travailleurs de secteurs moins structurés ne bénéficient pas des mêmes systèmes de vigilance et peuvent être bien plus difficiles à mettre en évidence.

Comme indiqué précédemment, le groupe de travail constate que les effets les moins étudiés peuvent aussi être les plus difficiles à évaluer. De surcroît, malgré un excès de risque individuel pouvant être plus faible, leurs conséquences sanitaires au niveau de la population des travailleurs pourraient être plus importantes puisque ces risques concerneraient l'ensemble des travailleurs. Ce point est détaillé dans la section 6.4.1.

Ces constats amènent le groupe de travail à recommander dès à présent de conduire des études permettant de vérifier les hypothèses des mécanismes les moins avérés et d'évaluer les niveaux d'incertitudes correspondants.

Ainsi, le groupe de travail suggère la mise en place d'un observatoire du changement climatique sur la santé des travailleurs. Pour cela, il est nécessaire d'identifier les données pertinentes à recueillir et de mettre en place un système de remontée de ces informations. Cette base d'informations constituerait un élément majeur en vue de futurs travaux scientifiques, pour progresser dans la connaissance et la compréhension des impacts du changement climatique sur la santé des travailleurs. La pertinence et la faisabilité des modalités pratiques de cette action restent à discuter :

- lors de la survenue d'un accident professionnel, les données météorologiques précises ou simplement des indications sur un contexte météorologique marquant pour les professionnels présents (alerte canicule par exemple) pourraient être renseignées, pour compléter les circonstances de survenue de l'accident (heures, etc.). Cependant, une telle mesure laisse craindre un alourdissement des démarches administratives déjà obligatoires dans ce genre de circonstance ;
- une autre hypothèse pourrait être d'intégrer les données de la météorologie nationale au contexte de l'accident au moment de l'exploitation des données de la Cnamts. Cela nécessite d'organiser leur transmission de manière systématique.

Le groupe de travail suggère également de mettre en place un programme de recherche afin de soutenir des travaux dans le domaine des effets sanitaires du changement climatique sur la santé des travailleurs, en complément des travaux du GIEC, et en concertation avec la Cnamts, la MSA, l'INRS, l'Anact et l'Anses. Ce programme pourrait avoir comme objectif d'élaborer des scénarios d'exposition des professionnels pour anticiper l'évolution des différents risques professionnels en fonction des différents scénarios climatiques disponibles. Cela impliquerait d'y intégrer notamment les mécanismes conduisant aux effets considérés, éventuellement des éléments de prospective (évolution des métiers, adaptation aux changements, notamment climatiques, l'état de santé général des populations) et les niveaux d'incertitude associés à tous les éléments pris en compte.

Pour fournir les connaissances et les données nécessaires à un tel programme de recherche, des efforts importants doivent encore être réalisés dans différents domaines de la recherche scientifique, particulièrement :

- pour améliorer les scénarios climatiques dans les différentes zones géographiques qui composent le territoire Français et les traduire en impact sur la santé des travailleurs. Les points d'amélioration concernent en particulier les territoires d'outre-mer pour lesquels peu de scénarios d'échelle fine sont aujourd'hui disponibles et ne permettent pas de caractériser

l'évolution des aléas climatiques avec une évaluation complète des incertitudes associées. Ils concernent aussi l'identification des liens entre les scénarios climatiques et les impacts sanitaires à l'échelle du territoire français, en croisant les modélisations et les données observées en rapport avec la santé des travailleurs ;

- pour mieux comprendre et appréhender les changements environnementaux que le changement climatique est susceptible de provoquer, et les mécanismes susceptibles de conduire à un impact de ce nouvel environnement sur la santé des travailleurs.

6.4.2 Tentative d'élaboration d'un outil de priorisation des risques professionnels à évaluer au regard du changement climatique.

Au cours de son expertise, le groupe de travail avait prévu, dans un premier temps, d'utiliser les données de la Cnamts pour déterminer quels risques professionnels, impactés par le climat, devaient être évalués en priorité. Pour cela, le groupe de travail a envisagé un outil destiné à compiler les données existantes afin d'évaluer les effectifs de professionnels concernés par chaque risque. L'idée était de consacrer les premiers travaux d'évaluation aux risques concernant les populations de travailleurs les plus importantes. Le résultat de ces réflexions est présenté en Annexe 7.

Cette approche présente cependant plusieurs inconvénients. Les déclarations des accidents et maladies du travail sont regroupées par la Cnamts par secteurs d'activité, qui regroupent eux même de multiples métiers, peu comparables en termes d'exposition. L'exercice permettrait de donner des chiffres globaux par secteurs et par risque, mais ne permettrait pas une analyse plus poussée pour étudier les circonstances d'exposition à l'origine des effets rapportés.

De plus, les statistiques de la Cnamts ont initialement été construites pour assurer la répartition des risques par cotisations à l'assurance Accident du travail et Maladie professionnelle (AT/MP) et d'équilibre des comptes. Leur utilisation à d'autres fins pourrait être problématique du fait de la nature et du format des données recueillies, mais aussi des extractions qu'il est possible d'envisager. Ainsi, toute tentative d'utilisation de ces statistiques nécessitera préalablement une concertation impliquant le service des statistiques de la Cnamts, afin de vérifier que leurs données statistiques puissent être exploitables dans le cadre de cette réflexion.

Enfin, le taux et la précision des déclarations sont liés au bon fonctionnement de l'organisation mise en place pour remonter ces déclarations. Ainsi, comme précédemment évoqué, les secteurs d'activité les mieux structurés sont susceptibles de fournir des données plus nombreuses et de meilleure qualité. De ce fait, cette approche pourrait donner une image biaisée des risques à évaluer en priorité. Elle est susceptible de favoriser la prise en compte des risques professionnels mis en évidence par les secteurs d'activité les mieux structurés, qui portent par ailleurs souvent des actions destinées à limiter ces mêmes risques. Ainsi, les effets dont les mécanismes sont les plus complexes et déjà les moins étudiés, auraient de fortes chances de rester peu prioritaires. Pour ces raisons, cette tentative d'exploitation globale des données de la Cnamts n'a pas été prolongée..

Cependant, à une échelle plus modeste, le groupe de travail suggère la réalisation d'une étude ponctuelle, en collaboration avec le service des statistiques de la Cnamts, pour investiguer les effets des canicules de 2003 et 2006 sur les risques professionnels, particulièrement les accidents du travail, afin de suivre les effets de ces épisodes de chaleurs extrêmes et des canicules.

6.4.3 Grandes orientations nationales

Concernant la santé et la sécurité des travailleurs en France, les grandes orientations de la Convention d'objectifs et de gestion (COG) 2013-2017 de la Cnamts avaient retenu :

- trois risques prioritaires : les troubles musculo-squelettiques, le risque de chute dans les bâtiments et travaux publics et l'exposition à des agents cancérogènes ;

- cinq problématiques : les seniors, les jeunes et nouveaux embauchés, les très petites entreprises (TPE), les entreprises en contact avec l'amiante et les risques psychosociaux.

Certains de ces risques et problématiques peuvent être impactés par le climat. Cependant, ces grandes orientations des politiques de maîtrise des risques professionnels n'intègrent pas spécifiquement la problématique du changement climatique.

Une nouvelle COG est actuellement en préparation pour définir les politiques de maîtrise des risques professionnels pour les années à venir. Même si la réglementation actuelle impose de mettre en place des moyens de prévention pour tous les risques professionnels, y compris ceux potentiellement impactés par le changement climatique, le positionnement de la surveillance des effets du changement climatique sur les risques professionnels en tant que thématique prioritaire permettrait une réelle prise en compte de ce phénomène dans le cadre des politiques de santé au travail, à la Cnamts comme dans les autres systèmes de protection sociale.

6.4.4 Étapes suivantes de l'expertise

Dans un premier temps, l'Anses avait envisagé une approche en 3 phases s'articulant autour d'une identification d'activités professionnelles prioritaires :

- Phase 1 : identification des activités professionnelles concernées à l'aide d'un groupe de travail d'experts externes.
- Phase 2 : restitution de la première phase de la saisine aux demandeurs et élaboration concertée de la liste des activités professionnelles prioritaires devant faire l'objet d'une évaluation des risques liés au changement climatique.
- Phase 3 : évaluation des risques associés aux activités professionnelles prioritaires et formulation de recommandations spécifiques.

Au cours de l'expertise, le groupe de travail a constaté qu'une approche par grand secteur d'activité n'était pas optimale, du fait de nomenclatures ou répertoires non adaptés aux objectifs poursuivis dans le cadre de cette expertise. Une approche transversale des risques professionnels associés au changement climatique a été privilégiée, en considérant que ces risques sont rarement spécifiques de professions ou de secteurs d'activité. Ainsi, la réflexion n'a pas été centrée sur des métiers, en essayant d'identifier les différents risques professionnels associés (approche verticale), mais sur les risques identifiés comme impactés par le climat, qui peuvent concerner une multitude d'activités professionnelles, en fonction de circonstances d'exposition.

La notion de « circonstances d'exposition » (cf. 3.2.1) est revenue régulièrement lors de la description des effets attendus du changement climatique sur des exemples de métier ou de secteurs professionnels. Cette notion est largement utilisée dans l'analyse des risques en milieu de travail, en particulier pour la rédaction du document unique. Elle permet d'intégrer dans la réflexion des professions pour lesquelles l'influence du changement climatique n'apparaît pas évidente en première approche. Ainsi, l'objectif de la première phase de l'expertise a évolué pour aboutir à « l'identification de circonstances d'exposition pouvant induire des risques sanitaires accrus pour les travailleurs, dans le contexte du changement climatique ». Cette identification est l'une des composantes du présent rapport d'expertise.

L'élaboration des conclusions de l'expertise a incité le groupe de travail à proposer une modification de la phase 3 initialement prévue. En effet, l'évaluation des risques associés à des circonstances d'exposition ne paraissait pas pertinente en l'état actuel des connaissances. Elle doit être précédée d'une période de recueil des données, par exemple par un observatoire et un programme de recherche *Ad-hoc* (voir section 6.4.1).

6.4.5 Des mesures opérationnelles

Sans attendre les données recueillies par un observatoire ou un programme de recherche, dont l'obtention devrait durer plusieurs années, plusieurs mesures concrètes peuvent déjà être prises pour prendre en compte le changement climatique dans la gestion des risques professionnels et en limiter certains effets.

Le groupe de travail estime nécessaire d'intégrer dès maintenant l'exposition à des paramètres climatiques dans toute évaluation des risques (fiche d'entreprise et document unique en particulier) et dans tout plan de gestion des risques professionnels, quel que soit le secteur d'activité et quel qu'en soit l'instigateur (entreprise, ministères, agences, médecin du travail, CHSCT etc.). Cette recommandation implique de tenir compte des spécificités de chaque poste de travail, ainsi que de la zone géographique concernée. Les évaluations et la gestion des risques pourront être ajustées par la suite, en fonction d'éventuels résultats d'étude ou de recherche. La publication, attendue par les services de santé au travail, des arrêtés modifiant les modèles de la fiche d'entreprise et du rapport annuel d'activité de l'équipe de santé au travail suite aux réformes consécutives de la santé au travail, pourrait être l'occasion d'intégrer la prise en compte du facteur climatique dans ces documents, donc dans l'appréciation des risques professionnels.

Plus spécifiquement, les connaissances actuelles permettent d'ores et déjà d'affirmer que le risque d'effet sanitaire direct de la chaleur, qui devrait être accentué par le réchauffement climatique, sera à l'origine de nombreux accidents et pathologies professionnelles. Sans attendre une quantification plus précise de l'augmentation de ce risque liée au changement climatique, il apparaît nécessaire que l'ensemble des structures professionnelles développent une culture de la prévention face aux ambiances climatiques chaudes, comme certaines le font déjà pour les ambiances thermiques froides. Prenant place dès la formation initiale, ces mesures préventives devront toucher tant aux aspects techniques qu'organisationnels ou comportementaux. À titre d'exemple, en cas d'activité physique intense et prolongée dans une ambiance thermique chaude, la tenue vestimentaire doit être adaptée afin de ne pas s'opposer aux mécanismes de thermolyse. Dans le cas où la tenue ne peut être allégée, le temps d'intervention devra être réduit. Ce critère est d'ores et déjà pris en compte dans le calcul des temps d'intervention maximum des salariés de chantiers de désamiantage équipés de tenue de protection complète.

Les contraintes climatiques peuvent générer des pertes économiques et diminuer la productivité globale de l'entreprise, au travers d'une réduction qualitative (erreurs liées aux effets neuropsychiques sur les travailleurs) et/ou quantitative (mesures à même de réduire l'impact sur la santé des travailleurs : augmentation des pauses, réduction de cadence) de la performance des travailleurs (Kjellstrom *et al.* 2016, Tord Kjellstrom *et al.* 2009). Ces coûts s'ajoutent à ceux liés à l'ensemble des affections d'origine professionnelle (accidents du travail ou maladies professionnelles notamment). Ce constat pourrait inciter les entreprises à imaginer et mettre au point des solutions novatrices, au plan opérationnel et organisationnel, afin de concilier au mieux la préservation de la santé des travailleurs et le maintien de leurs performances socio-économiques.

L'ONU a publié en 2016 un rapport sur les répercussions économiques, sanitaires et sociales liées aux modifications de l'environnement thermique de travail engendrées par le changement climatique dans le monde (ONU 2016). Dans ce rapport, il est souligné que de fortes disparités régionales sont attendues en raison des inégalités géographiques relatives aux effets du changement climatique et des disparités socioéconomiques déjà existantes.

7 Conclusions du groupe de travail

Le changement climatique est aujourd'hui une réalité qui fait l'objet d'un large consensus dans la communauté scientifique. Du fait de l'inertie de la réponse climatique à l'augmentation des gaz à effet de serre, le réchauffement climatique et autres modifications climatiques vont s'accélérer, quel que soit le scénario d'évolution des émissions futures de ces gaz. Ses effets sur l'environnement et la santé sont déjà perceptibles. Il est une composante incontournable du changement global, qui comprend l'ensemble des modifications environnementales et sociétales majeures à l'échelle planétaire, produites aussi bien par les facteurs naturels que par les activités anthropiques.

Dans ce contexte, il a été demandé à l'Anses de mener une expertise scientifique permettant d'identifier les impacts potentiels du changement climatique sur la santé et la sécurité des travailleurs. Cette expertise a permis de formuler des recommandations pour supprimer, réduire et prévenir les risques identifiés.

Ce rapport est consacré à la 1^{ère} phase de l'expertise sollicitée. Il décrit les circonstances d'exposition professionnelle pouvant induire des risques sanitaires accrus pour les travailleurs, dans le contexte du changement climatique. L'expertise porte spécifiquement sur les conséquences sanitaires en matière de risques professionnels, à distinguer des risques concernant la population générale. Les types de risques professionnels considérés sont ceux définis par l'INRS. L'approche choisie par circonstances d'exposition présente l'avantage de proposer des conclusions qui s'adressent à l'ensemble des travailleurs, à savoir les travailleurs salariés, du monde agricole (employeurs et salariés), les commerçants, les travailleurs indépendants, les professions libérales et les fonctionnaires, etc., quels que soient les domaines d'activités (administration, santé, armée, eaux et forêts...).

Principaux enseignements relatifs aux effets du changement climatique sur les travailleurs

Le groupe de travail a identifié trois principales modifications climatiques et environnementales à l'origine de l'essentiel des augmentations de risques professionnels envisagés dans le contexte du changement climatique :

- la hausse des températures, notamment l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des périodes de vagues de chaleur ;
- les modifications environnementales entraînant notamment la modification des risques biologiques ;
- l'augmentation de la fréquence de certains aléas climatiques.

L'augmentation des extrêmes chauds sera à l'origine de perturbations physiologiques directes, particulièrement en période d'acclimatation, qui vont accentuer différents risques professionnels. Elle sera également à l'origine de baisse de la vigilance chez les travailleurs, pouvant entraîner une augmentation de la fréquence de plusieurs types d'accidents professionnels. L'augmentation de la température pourra aussi contribuer à l'exacerbation des risques psychosociaux.

Des changements environnementaux induits par le changement climatique pourront contribuer à la modification des risques biologiques professionnels (pollens et risques allergiques, agents biologiques et maladies infectieuses, mycotoxines).

Les aléas climatiques, dont la fréquence ou l'intensité pour certains devrait augmenter avec le changement climatique, ont des répercussions sanitaires qui concernent essentiellement la population générale. Cependant, ils seront à l'origine d'accidents du travail chez certains

professionnels, notamment le personnel en activité dans une entreprise touchée par ces aléas, les professionnels du secours incendie et des secours à la personne ou encore les professionnels de la réparation (réseaux énergétiques, ...). Les aléas climatiques, par la dégradation de l'outil de production et ses diverses conséquences, peuvent également retentir indirectement sur la santé des travailleurs.

Le groupe de travail constate le manque de données robustes pour évaluer certaines conséquences sanitaires des évolutions climatiques et environnementales pour les travailleurs. Il recommande la mise en place :

- d'un observatoire des effets du changement climatique sur la santé des travailleurs (épidémiologie en santé au travail et bioclimatologie). Pour cela, il est nécessaire que, lors de la survenue d'un accident professionnel, les données météorologiques soient renseignées, en compléments de l'heure et des circonstances de survenue de cet accident. La première étape concrète serait l'identification des données pertinentes et la mise en place d'un système de remontée des informations (réseau d'épidémio-surveillance des risques professionnels) ;
- d'un programme de recherche en concertation avec notamment la Cnamts, la MSA, l'INRS, l'ANACT et l'Anses, en cohérence avec les travaux sur les scénarios du climat futur en France et leurs conséquences environnementales. Ce programme devrait s'intéresser aux mécanismes des effets sanitaires, ainsi qu'aux scénarios d'évolution des risques dans le domaine de la santé au travail liés au changement climatique et les niveaux d'incertitude associés.

Cette banque de données dédiées constituerait un fondement majeur en vue de futurs travaux scientifiques sur les impacts du changement climatique sur la santé des travailleurs.

Éléments de réflexion relatifs aux suites à donner à ce travail

Dans un premier temps, l'Anses avait envisagé de répondre à la demande d'expertise par une approche en 3 phases s'articulant autour d'une identification d'activités professionnelles prioritaires. À la lumière de ces premiers travaux d'expertise, et considérant que les risques professionnels sont impactés par le changement climatique de manière transverse, une approche par circonstances d'exposition paraît plus adaptée qu'une approche par secteur d'activité professionnelle.

L'évaluation précise et quantitative des risques associés à des circonstances d'exposition, par l'Agence, ne pourra s'envisager qu'après une période de recueil des données *via* la mise en place d'un observatoire et d'un programme de recherche. Il apparaît cependant important, sans attendre la mise en place de ces deux recommandations, d'intégrer dès maintenant à toute évaluation et gestion des risques professionnels des critères d'exposition à des paramètres climatiques et environnementaux.

Par ailleurs, les effets majorants de la chaleur sur les risques professionnels, probablement accentués par le réchauffement climatique, apparaissent déjà comme avérés. Le développement d'une culture de la prévention face aux ambiances climatiques chaudes semble donc aujourd'hui nécessaire pour l'ensemble des activités professionnelles. Ces mesures préventives devront concerner autant les aspects techniques et organisationnels que comportementaux, et faire l'objet d'une sensibilisation dès la formation initiale. Des solutions novatrices pourraient faire l'objet d'études et de mises au point dès maintenant, afin de préserver au mieux la santé des travailleurs.

Date de validation du rapport d'expertise collective par le groupe de travail : 15 juin 2017

8 Références Bibliographiques

- Adam-Poupart, A., F. Labrèche, A. Smargiassi, P. Duguay, M. A. Busque, C. Gagné, H. Rintamäki, T. Kjellstrom, et J. Zayed. 2013. "Climate change and occupational health and safety in a temperate climate: Potential impacts and research priorities in Quebec, Canada." *Industrial Health* 51 (1):68-78. doi: 10.2486/indhealth.2012-0100.
- Adam-Poupart, A., A. Smargiassi, M. A. Busque, P. Duguay, M. Fournier, J. Zayed, et F. Labrèche. 2014. "Summer outdoor temperature and occupational heat-related illnesses in Quebec (Canada)." *Environmental Research* 134:339-344. doi: 10.1016/j.envres.2014.07.018.
- ADEME. 2016. La pollution de l'air extérieur - Comprendre et améliorer la qualité de l'air. édité par Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.
- Affre, L., P.-J. Dumas, E. Dumas, I. Laffont-Schwob, et T. Tatoni. 2015. "Regard écologique sur le recul stratégique : atouts et risques pour la diversité végétale péri-urbaine marseillaise." *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement [Online]* Hors-série 21. doi: 10.4000/vertigo.15748.
- Afssa. 2009. "Évaluation des risques liés à la présence de mycotoxines dans les chaînes alimentaires humaine et animale: rapport final."
- Afsset. 2005. "Dossier Environnement et santé. Agents : Rayonnements ultraviolets."
- Ainsworth, Elizabeth A., et Stephen P. Long. 2005. "What have we learned from 15 years of free-air CO₂ enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO₂." *New Phytologist* 165 (2):351-372.
- Amos, D., W.M. Lau, R.D. Hansen, V.J. Demczuk, et J. Michalski. 1996. "The physiological and cognitive performance of fully acclimatised soldiers conducting routine patrol and reconnaissance operations in the tropics." Australia: Department of defence - Defence Science and technology organisation.
- Anses. 2012. "Algues vertes - Revue des données disponibles relatives aux dangers et aux expositions éventuelles liés à la baignade et la consommation de coquillages dans des zones touchées par des proliférations d'algues vertes." ; .
- Anses. 2014. "État des connaissances sur l'impact sanitaire lié à l'exposition de la population générale aux pollens présents dans l'air ambiant."
- Anses. 2016. "Risques sanitaires liés à la recharge artificielle de nappes d'eau souterraine."
- Applebaum, Katie M., Jay Graham, George M. Gray, Peter LaPuma, Sabrina A. McCormick, Amanda Northcross, et Melissa J. Perry. 2016. "An Overview of Occupational Risks From Climate Change." *Current Environmental Health Reports*:1-10.
- Badeau, V., J.L. Dupouey, C. Cluzeau, J. Drapier, et C. Le Bas. 2004. "Modélisation et cartographie de l'aire climatique potentielle des grandes essences forestières françaises. Rapport final, Carbofor. Séquestration de carbone dans les grands écosystèmes forestiers en France. Quantification, spatialisation, vulnérabilité et impacts de différents scénarios climatiques et sylvicoles. Volet D1. Programme GICC." Bordeaux: INRA. 101-111.
- Balty, I., N. Bertrand, C. David, et S. Burzoni. 2015. "Valeurs guides endotoxines. Interprétation des résultats de métrologie des bioaérosols." *Hygiène et sécurité du travail* 239:46-50.
- Beck, F., et A. Gautier. 2012. "Baromètre cancer 2010." Saint-Denis: Inpes, coll. Baromètres santé. 272.
- Beggs, P.J. 2010. "Adaptation to Impacts of Climate Change on Aeroallergens and Allergic Respiratory Disease." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 7:3006-3021.
- Beggs, Paul J. 2004. "Impacts of climate change on aeroallergens: past and future." *Clinical & Experimental Allergy* 34 (10):1507-1513.
- Bernard, T. E. 2006. "Threshold Limit Values for Physical Agents (TLV®-PA) Committee." ACGIH.
- Bindoff, N.L., Stott P.A., AchutaRao K.M., Allen M.R., Gillett N., Gutzler D., Hansingo K., Hegerl G., Hu Y., Jain S., Mokhov I.I., Overland J., Perlwitz J., Sebbari R., et Zhang X. 2013. "Detection and Attribution of Climate Change: from Global to Regional." Dans *Climate Change 2013:The Physical Science Basis*,

contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, édité par Cambridge University Press : Cambridge and New York, 867-952.

Bonauto, D., R. Anderson, E. Rauser, et al. 2017. "Occupational heat illness in Washington State, 1995–2005." *Am J Ind Med*. 50 (12):940-950.

Boucher, O., J-L. Dufresne, J. Vial, E. Brun, J. Cattiaux, F. Chauvin, D. Salas y Melia, A. Voldoire, L. Bopp, P. Braconnot, P. Ciais, P. Yiou, J. Guilyardi Mignot, et C. Guivarch. 2015. "Projection des changements climatiques." *La Météorologie* 88:56-68.

Brinquin, L., et M. Borne. 2004. *Coup de chaleur. Urgences médico-chirurgicales de l'adulte*. Edité par Amette. 2ème ed.

Brochart, G., et C. Le Bâcle. 2009. Mycotoxines en milieu de travail, I Origine et propriétés toxiques des principales mycotoxines. Documents pour le Médecin du travail. Dans 119, Médecine du travail. France.

Brochart, G., et C. Le Bâcle. 2010. Mycotoxines en milieu de travail, II Exposition, risques, prévention. Documents pour le Médecin du travail. Dans 121, Médecine du travail. France.

Buisson, C. 2009. "Impact sanitaire de la vague de chaleur de l'été 2006 en milieu de travail – Résultats d'une étude par questionnaire mise en place en médecine du travail." Saint-Maurice (France) : Institut de veille sanitaire.

Caldwell, J.N., L. Engelen, C. van der Henst, M.J. Patterson, et N.A. Taylor. 2011. "The interaction of body armor, low-intensity exercise, and hot-humid conditions on physiological strain and cognitive function." *Mil Med* 176 (5):488-493.

Caminade, Cyril, Jolyon M. Medlock, Els Ducheyne, K. Marie McIntyre, Steve Leach, Matthew Baylis, et Andrew P. Morse. 2012. "Suitability of European climate for the Asian tiger mosquito *Aedes albopictus*: recent trends and future scenarios." *Journal of the Royal Society Interface*:rsif20120138.

Castebrunet, H., N. Eckert, G. Giraud, Y. Durand, et S. Morin. 2014. "Projected changes of snow conditions and avalanche activity in a warming climate: the French Alps over the 2020-2050 and 2070-2100 periods." *Cryosphere* 8 (5):1673-1697.

Cat, J., F. Beugnet, T. Hoch, F. Jongjan, O. Pranger, et K. Chalvet-monfray. 2017. "Influence of the spatial heterogeneity in tick abundance in the modeling of the seasonal activity of *Ixodes ricinus* nymphs in Western Europe." *Experimental and Applied Acarology* 71 (2):115-130.

Cazenave, A., E. Berthier, G. Le Cozannet, V. Masson-Delmotte, B. Meyssignac, et D. Salas y Méliá. 2015. "Le niveau de la mer : variations passées, présentes et futures " *La Météorologie* 88:69-82.

CDC. 2008. "Heat-Related Deaths Among Crop Workers, 1992-2006." United States: Centers for Disease Control and Prevention.

Chatry, C., M. Le Quentrec, D. Laurens, J-Y. Le Gallou, J-J. Lafitte, et B. Creuchet. 2010. "Rapport de la mission interministérielle 'Changement climatique et extension des zones sensibles aux feux de forêts'." : CGAER, CGEDD, IGA. 89.

Chazot, S., C. Perrin, J-P. Vidal, E. Sauquet, M. Chauveau, et N. Rouchy. 2012. "EXPLORE 2070 – Lot Hydrologie de surface. Rapport final du projet." : BRLi, Irstea, Météo France, Ministère de l'Ecologie. 146.

Chéry, J-P., et M. Deshayes. 2010. La fragmentation des espaces naturels - par région forestière départementale. édité par Commissariat général au développement durable - Service de l'observation et des statistiques.

Ciais, P., C. Sabine, G. Bala, L. Bopp, V. Brovkin, J. Canadell, A. Chhabra, R. DeFries, J. Galloway, M. Heimann, C. Jones, C. Le Quéré, R.B. Myneni, S. Piao, et P. Thornton. 2013. "Carbon and Other Biogeochemical Cycles." Dans *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*, 465-570. : Cambridge University Press: Cambridge and New York.

Cloppet, E., et M. Regimbeau. 2009. "Estimation de l'impact du changement climatique dans le domaine de l'eau et des incendies de forêt. Rapport d'étude final." Météo France. 90.

Colette, A., B. Bessagnet, R. Vautard, S. Szopa, S. Rao, S. Schucht, Z. Klimont, L. Menut, G. Clain, F. Meleux, G. Curci, et L. Rouil. 2013. "European atmosphere in 2050, a regional air quality and climate perspective under CMIP5 scenarios " *Atmos. Chem. Phys.* 13 (15):7451-7471. doi: 10.5194/acp-13-7451-2013

- Colette, A., C. Granier, Ø. Hodnebrog, H. Jakobs, A. Maurizi, A. Nyiri, S. Rao, M. Amann, B. Bessagnet, A. D'Angiola, M. Gauss, C. Heyes, Z. Klimont, F. Meleux, M. Memmesheimer, A. Mieville, L. Rouil, F. Russo, S. Schucht, D. Simpson, F. Stordal, F. Tampieri, et M. Vrac. 2012. "Future air quality in Europe: a multi-model assessment of projected exposure to ozone Atmos" *Chem. Phys.* 12:10613–10630.
- Conseil Economique et Social. 2007. "La nature dans la ville. Biodiversité et urbanisme, Avis et rapports du Conseil Economique et Social." Paris. 182.
- Courty, L. 2012. "Etude de l'émission et des propriétés de combustion des composées organiques volatils potentiellement impliquées dans les feux de forêts accélérés.", Ecole nationale supérieure de mécanique et d'aérotechnique.
- De Munck, C., G. Pigeon, V. Masson, F. Meunier, P. Bousquet, B. Tréméac, M. Merchat, P. Poeuf, et C. Marchadier. 2013. "How much can air conditioning increase air temperatures for a city like Paris, France?" *International Journal of Climatology* 33 (1):210-227.
- Dedet, J-P. 2010. "Les leishmanioses en France métropolitaine - Santé animale-alimentation." *Bulletin épidémiologique* 38/ Spécial zoonoses:9-13.
- Donoghue, A. 2004. "Heat illness in the US mining industry." *Am J Ind Med.* 45 (4):351-356.
- Donoghue, A.M., M.J. Sinclair, et G.P. Bates. 2000. "Heat exhaustion in a deep underground metalliferous mine." *Occup Environ Med* 57 (3):165-174.
- Dunne, J.P., R.J. Stouffer, et J.G. John. 2013. "Reductions in labour capacity from heat stress under climate warming." *Nature Climate Change* 3:563-566.
- Dutartre, A., et Y. Suffran. 2011. "Changement climatique et invasions biologiques - Impacts sur les écosystèmes aquatiques, risques pour les communautés et moyens de gestion." Office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA) / Centre national du machinisme agricole du génie rural, des eaux et des forêts (CEMAGREF).
- Dutoit, T., E. Buisson, et F. Mesleard. 2014. "L'écologie de la restauration a 80 ans ! Espoirs et limites d'une discipline scientifique controversée." Dans *Sciences de la conservation*. Paris.
- European Environment Agency. 2016. "Climate change, impacts and vulnerability in Europe".
- Ely, B.R., K.J. Sollanek, S.N. Cheuvront, H.R. Lieberman, et R.W. Kenefick. 2013. "Hypohydration and acute thermal stress affect mood state but not cognition or dynamic postural balance." *Eur J Appl Physiol* 113 (4):1027-1034.
- Fay, A.J., et J.K. Maner. 2014. "When does heat promote hostility? Person by situation interactions shape the psychological effects of haptic sensations." *Journal of Experimental Social Psychology* 50:210–216.
- Fogleman, M., L. Fakhrzadeh, et T.E. Bernard. 2005. "The relationship between outdoor thermal conditions and acute injury in an aluminum smelter." *Int J Ind Ergonom.* 35 (1):47-55.
- Fortune, M.K., C.A. Mustard, J.J. Etches, et et al. 2013. "Work-attributed Illness Arising From Excess Heat Exposure in Ontario." *Can J Public Health* 104 (5):e420-426.
- Frei, T., et E. Gassner. 2008. "Climate change and its impact on birch pollen quantities and the start of the pollen season an example from Switzerland for the period 1969–2006." *International Journal of Biometeorology* 52 (7):667-674.
- Gaoua, N. 2010. "Cognitive function in hot environments: a question of methodology." *Scand J Med Sci Sports* 20 suppl (3):60-70.
- Gaoua, N., S. Racinais, J. Grantham, et F. El Massioui. 2011. "Alterations in cognitive performance during passive hyperthermia are task dependent." *Int J Hyperthermia* 27 (1):1-9.
- Garbolino, E., V. Sanseverino-Godfrin, et G. Hinojos-Mendoza. 2017. "Effets probables du réchauffement climatique sur le risque d'incendie de forêt en Corse et application du dispositif juridique de prévention." *Cybergeographie : European Journal of Geography [Online], Environment, Nature, Landscape* 812.
- Gasmi, S., N. H. Ogden, P. A. Leighton, L. R. Lindsay, et K. Thivierge. 2016. "Analysis of the human population bitten by Ixodes scapularis ticks in Quebec, Canada: Increasing risk of Lyme disease." *Ticks and Tick-borne Diseases*.
- Gaston, Kevin J., Philip H. Warren, Ken Thompson, et Richard M. Smith. 2005. "Urban domestic gardens (IV): the extent of the resource and its associated features." *Biodiversity & Conservation* 14 (14):3327-3349.

- Géhin, D., et C. Le Bâcle. 2011. "Endotoxines en milieu de travail. I Origine et propriétés toxiques des endotoxines. Métrologie TC136, II Expositions, risques et prévention TC138, Documents pour le médecin du travail."
- Giaja, J. 1938. "L'homéothermie." *Actualités Sci et ind* 576.
- GIEC. 2013. "Climate Change 2013: The Physical Science Basis, contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change." 1535.
- GIEC. 2014. "Changements climatiques 2014: Incidences, adaptation et vulnérabilité – Résumé à l'intention des décideurs. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat." Genève, Suisse: Organisation météorologique mondiale. 34.
- Glotfelty, T., Y. Zhang, P. Karamchandani, et D.G. Streets. 2016. "Changes in Future Air Quality, Deposition, and Aerosol-Cloud Interactions under Future Climate and Emission Scenarios." *Atmospheric Environment* 139:176-191.
- Goldman, R.F. 1963. "Tolerance time for work in the heat when wearing CBR protective clothing." *Mil Med* 128:776-786.
- Gordon, C.J., P.J. Spencer, J. Hotchkiss, D.B. Miller, P.M. Hinderliter, et J. Pauluhn. 2008. "Thermoregulation and its influence on toxicity assessment." *Toxicol* 244:87-97.
- Grandjean, A.C., et N.R. Grandjean. 2007. "Dehydration and cognitive performance." *J Am Coll Nutr* 26 (5 Suppl):549-554.
- Hallegatte, S., J.C. Hourcade, et P. Ambrosi. 2007. "Using climate analogues for assessing climate change economic impacts in urban areas." *Climatic Change* 82:47-60.
- Hancock, P.A., et M. Vercruyssen. 1988. "Limits of behavioral efficiency for workers in heat stress." *International journal of industrial ergonomics* 3:149-158.
- HCSP. 2015. "Impacts sanitaires de la stratégie d'adaptation au changement climatique."
- Health, Florida Department of. 2012. "Assessing the relationship of ambient temperature and heat related illness in Florida: implications for setting heat advisories and warnings Pilot study of Orlando and the surrounding area." : Florida Department of Health. Division of Disease Control and Health Protection. Bureau of Epidemiology.
- Henane, R., J. Bittel, R. Viret, et S. Morino. 1979. "Thermal strain resulting from protective clothing of an armored vehicle crew in warm conditions." *Aviat Space Environ Med* 50 (6):599-603.
- Hocking, C., R.B. Silberstein, W.M. Lau, C. Stough, et W. Roberts. 2001. "Evaluation of cognitive performance in the heat by functional brain imaging and psychometric testing." *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol* 128 (4):719-734.
- Holmér, I. 2010. "Climate change and occupational heat stress: methods for assessment." *Glob Health Action* 3:5719.
- Howe, A.S., et B.P. Boden. 2007. "Heat-related illness in athletes." *Am J Sports Med* 35 (8):1384-1395.
- INCa. 2011. "Rayonnements ultraviolets et risques de cancer - Fiche repère - état des connaissances en date du 27 octobre 2011." : Institut national du Cancer.
- INRS. 2009. "Travailler par de fortes chaleurs en été." : Institut national recherche et de sécurité.
- INRS. 2013. "INRS ED 840 - Évaluation des risques professionnels, Aide au repérage des risques dans les PME-PMI - Buchure 04/2013." 32.
- Insee. 2014. "Focus – No 4 ; Les catégories d'entreprise en France : de la microentreprise à la grande entreprise."
- IRSST. 2012. "Impacts des changements climatiques sur la santé et la sécurité du travail (2012)."
- IRSST. 2013. "Contraintes thermiques et substances chimiques - Bilan des connaissances et emplois les plus à risque au Québec."
- IRSST. 2015. "Température estivale, concentrations d'ozone et lésions professionnelles acceptées au Québec."
- Jargot, D., et S. Melin. 2013. "Characterization and validation of sampling and analytical methods for mycotoxins in workplace air." *Environmental Science : Processes and Impacts* 15 (3):633-644.
- Jiménez Cisneros, B.E., T. Oki, N.W. Arnell, G. Benito, J.G. Cogley, P. Döll, T. Jiang, et S.S. Mwakalila. 2014. "Freshwater resources." Dans *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the*

Intergovernmental Panel on Climate Change 229-269. NY, USA: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York.

Jomelli, V., D. Brunstein, M. Déqué, M. Vrac, et D. Grancher. 2009. "Impacts of future climatic change (2070–2099) on the potential occurrence of debris flows: a case study in the Massif des Ecrins (French Alps)" *Climatic Change* 97 (1-2):171-191.

Keller, M.C., B.L. Fredrickson, O. Ybarra, S. Côté, K. Johnson, J. Mikels, A. Conway, et T. Wager. 2005. "A Warm Heart and a Clear Head : The Contingent Effects of Weather on Mood and Cognition." *Psychological Science* 16:724-731.

Khodri, M., D. Swingedouw, J. Mignot, M-A. Sicre, E. Garnier, V. Masson-Delmotte, A. Ribes, et L. Terray. 2015. "Le climat du dernier millénaire." *La Météorologie* 88:36-47.

Kjellstrom, T., D. Briggs, C. Freyberg, B. Lemke, M. Otto, et O. Hyatt. 2016. "Heat, Human Performance, and Occupational Health: A Key Issue for the Assessment of Global Climate Change Impacts." *Annu Rev Public Health* 37:97-112. doi: 10.1146/annurev-publhealth-032315-021740.

Kjellstrom, T., S. Gabrysch, B. Lemke, et K. Dear. 2009. "The 'hothaps' programme for assessing climate change impacts on occupational health and productivity: An invitation to carry out field studies." *Global Health Action* 2 (1). doi: 10.3402/gha.v2i0.2082.

Kjellstrom, T., B. Lemke, O. Hyatt, et M. Otto. 2014. "Climate change and occupational health: A South African perspective." *South African Medical Journal* 104 (8):586. doi: 10.7196/SAMJ.8646.

Kjellstrom, T., R. S. Kovats, S. J. Lloyd, T. Holt, et R. S. J. Tol. 2009. "The direct impact of climate change on regional labor productivity." *Archives of Environmental & Occupational Health* 64 (4):217-227.

Knapik, J.J., M. Canham-chervak, K. Hauret, et et al. 2002. "Seasonal variations in injury rates during US Army Basic Combat Training." *Ann Occup Hyg* 46 (1):15-23.

Lacressonnière, G., V-H. Peuch, R. Vautard, J. Arteta, M. Déqué, M. Joly, B. Josse, V. Marécal, et D. Saint-Martin. 2014. "European air quality in the 2030s and 2050s : Impacts of global and regional emission trends and of climate change." *Atmospheric Environment* 92:348-358.

Lamb, S., et K.C.S. Kwok. 2016. "A longitudinal investigation of work environment stressors on the performance and wellbeing of office workers." *Applied ergonomics* 52:104-111.

Langkulsen, U., N. Vichit-Vadkan, et S. Taptagaporn. 2010. "Health impact of climate change on occupational health and productivity in Thailand." *Global Health Action* 3.

Le Bâcle, C., et J.C. Bastide. 2013. "Les risques biologiques en milieu professionnel." Dans *Le risque biologique*, édité par L'Harmattan, 273-286.

Le Bâcle, C., et A. Leprince. 2009. "Exposition à des agents biologiques : risques et prévention." Dans *Médecine et risques au travail*, édité par Valéry Masson, 334-346.

Le Cozannet, G., N. Amraoui, et A. Baills. 2015. "Vulnérabilité et adaptation au changement climatique : L'apport des Géosciences." *Géosciences, numéro spécial 'Géosciences et changement climatique'* 16-27.

Lecoeur, E., C. Seigneur, C. Pagé, et L. Terray. 2014. "A statistical method to estimate PM2.5 concentrations from meteorology and its application to the effect of climate change." *Journal of Geophysical Research: Atmosphere* 119:3537–3585.

Leighton, P. A., J. K. Koffi, Y. Pelcat, L. R. Lindsay, et N. H. Ogden. 2012. "Predicting the speed of tick invasion: an empirical model of range expansion for the Lyme disease vector *Ixodes scapularis* in Canada." *Journal of Applied Ecology* 49 (2):457-464.

Lémond, J., S. Planton, M. Ha-Duong, et Ph. Dandin. 2017. "Interprétation du changement climatique en Europe utilisant des cartes d'analogues." *En préparation pour la revue "La Météorologie"*.

Leon, L.R. 2008. "Thermoregulatory responses to environmental toxicants : The interaction of thermal stress and toxicant exposure." *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 233:146-161.

Longueville, F., P. Ozer, S. Doumbia, et S. Henry. 2013. "Desert dust impacts on human health: an alarming worldwide reality and a need for studies in West Africa." *International Journal of Biometeorology* 57:1-19.

Maeda, T., S.Y. Kaneka, M. Ohta, et al. 2006. "Risk factors for heatstroke among Japanese forestry workers." *J Occup Health* 48 (4):223-229.

Malard, S., F. Schaffner, et C. Le Bâcle. 2003. "La dengue : un problème de santé publique lié à des activités professionnelles. Lutte en entreprise contre l'introduction d'un vecteur." *Documents pour le médecin du travail* 94:151-160.

- Marchetti, E., P. Capone, et D. Freda. 2016. "Climate change impact on microclimate of work environment related to occupational health and productivity." *Ann Ist Super Sanita*. 52 (3):338-342.
- Marco, A., T. Dutoit, M. Deschamps-Cottin, J.-F. Mauffrey, M. Vennetier, et V. Bertaudière-Montes. 2008. "Gardens in urbanizing rural areas reveal an unexpected floral diversity related to housing density." *Comptes Rendus Biologies* 331 (6):452-465.
- Markakis, K., M. Valari, M. Engardt, G. Lacressonniere, R. Vautard, et C. Andersson. 2016. "Mid-21st century air quality at the urban scale under the influence of changed climate and emissions – case studies for Paris and Stockholm." *Atmospheric Chemistry and Physics* 16:1877-1894.
- Marsot, M., J.-L. Chapuis, P. Gasqui, A. Dozières, S. Maseglia, B. Pisanu, E. Ferquel, et G. Vourc'h. 2013. "Introduced Siberian chipmunks (*Tamias sibiricus barberi*) contribute more to Lyme borreliosis risk than native reservoir rodents." *PLoS ONE* 8 (1):e55377.
- Masson-Delmotte, V., M. Schulz, A. Abe-Ouchi, J. Beer, A. Ganopolski, J.F. González Rouco, E. Jansen, K. Lambeck, J. Luterbacher, T. Naish, T. Osborn, B. Otto-Bliesner, T. Quinn, R. Ramesh, M. Rojas, X. Shao, et A. Timmermann. 2013. "Information from Paleoclimate Archive." Dans *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 383-464. : Cambridge University Press: Cambridge and New York.
- Mathee, A., J. Oba, et A. Rose. 2010. "Climate change impacts on working people (the HOTHAPS initiative): findings of the South African pilot study." *Glob Health Action* 3:5612.
- Mazloumi, A., F. Golbabaie, S. Mahmood Khani, Z. Kazemi, M. Hosseini, M. Abbasinia, et S. Farhang Dehghan. 2014. "Evaluating Effects of Heat Stress on Cognitive Function among Workers in a Hot Industry." *Health Promot Perspect* 4 (2):240-246.
- Mbanu, I., G.A. Wellenius, M.A. Mittleman, et et al. 2007. "Seasonality and coronary heart disease deaths in United States firefighters." *Chronobiol Int* 24 (4):715.
- Medlock, J. M., K. M. Hansford, F. Schaffner, V. Versteirt, G. Hendrickx, H. Zeller, et W. Van Bortel. 2012. "A review of the invasive mosquitoes in Europe: ecology, public health risks, and control options." *Vector-borne and zoonotic diseases* 12 (6):435-447.
- Ministère de l'Ecologie de l'Energie du Développement Durable et de la Mer. 2009. "Évaluation du coût des impacts du changement climatique et de l'adaptation en France - Rapport de la deuxième phase."
- Ministère du travail, de l'emploi, de la formation professionnelle et du dialogue social. 2015. "Condition de travail - bilan 2014."
- Mirabelli, M.C., et D.B. Richardson. 2005. "Heat-related fatalities in North Carolina." *Am J Public Health*. 95 (4):635-637.
- Moisan, M., N. Habchi-Hanriot, F.X. Collard, et M. Fontaine. 2013. "Le changement climatique en Guyane : conséquences potentielles et pistes de réflexion pour l'adaptation régionale." : BRGM; Contract No: RP 61740- FR,. 112.
- Morabito, M., L. Cecchi, A. Crisci, et al. 2006. "Relationship between work-related accidents and hot weather conditions in Tuscany (central Italy)." *Ind Health*. 44 (3):458-464.
- Nag, P.K., et A. Nag. 2001. "Shiftwork in the hot environment." *J Hum Ergol*. 30 (1-2):161-166.
- O'Neal, E.K., et P. Bishop. 2010. "Effects of work in a hot environment on repeated performances of multiple types of simple mental tasks." 40:77-81.
- Ogden, N. H., L. St-Onge, I. K. Barker, S. Brazeau, M. Bigras-Poulin, D. F. Charron, et P. Michel. 2008. "Risk maps for range expansion of the Lyme disease vector, *Ixodes scapularis*, in Canada now and with climate change." *International journal of health geographics* 7 (1):1.
- Olsson, Gert E., Fredrik Dalerum, Birger Hörnfeldt, Fredrik Elgh, Thomas R. Palo, Per Juto, et Clas Ahlm. 2003. "Human Hantavirus Infections, Sweden." *Emerging infectious diseases* 9 (11):1395-1401. doi: 10.3201/eid0911.030275.
- OMS. 2016. "Changement climatique et santé." Contract No.: 266.
- ONERC. 2007. "Changements climatiques et risques sanitaires en France".
- ONERC. 2012. "Les outre-mer face au défi du changement climatique."
- ONERC, et EPE. 2014. "Les entreprises et l'adaptation au changement climatique."
- ONERC, Direction des Etudes Economiques et de l'Evaluation Environnementale. 2008. "Groupe interministériel Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés en France." Paris.

- ONU. 2016. "Climate change and labour : impact of heat in the workplace climate change, workplace environmental conditions, occupational health risks, and productivity – an emerging global challenge to decent work, sustainable development and social equity." : Nations-Unies / programme des Nations-Unies pour le développement (UNDP).
- Ouzeau, G., M. Déqué, M. Jouini, S. Planton, R. Vautard, et M. Vrac. 2014. "Scénarios régionalisés. Le climat de la France au XXI^e siècle, Volume 4. Rapport de la mission Jean Jouzel." : Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie. 63.
- Ouzeau, G., J-M. Soubeyroux, M. Schneider, R. Vautard, et S. Planton. 2016. "Heat waves analysis over France in present and future climate : application of a new method on the EURO-CORDEX ensemble." *Climate Services*.
- Pal, J.S., et E.A.B. Eltahir. 2016. "Future temperature in southwest Asia projected to exceed a threshold for human adaptability." *Nature Climate Change* 6:197-200.
- Parsons, K. 2013. "Occupational health impacts of climate change: Current and future ISO standards for the assessment of heat stress." *Industrial Health* 51 (1):86-100. doi: 10.2486/indhealth.2012-0165.
- Pavlova, I., V. Jomelli, D. Brunstein, D. Grancher, E. Martin, et D. Déqué. 2014. "Debris flow activity related to recent climate conditions in the French Alps: A regional investigation." *Geomorphology* 219:248–259.
- Peings, Y., J. Cattiaux, et H. Douville. 2013. "Evaluation and response of cold spells over Western Europe in CMIP5 models." *Climate Dynamics* 41 (11-12):3025-3037.
- Planton, S., L. Bopp, E. Brun, J. Cattiaux, F. Chauvin, M. Chevallier, P. Ciais, H. Douville, G. Giraud, J-M. Soubeyroux, et L. Terray. 2015-a. "Evolution du climat depuis 1850." *La Météorologie* 88:48-55.
- Planton, S., G. Le Cozannet, A. Cazenave, S. Costa, O. Douez, P. Gaufres, F. Hissel, D. Idier, V. Laborie, V. Petit, et P. Sergent. 2015-b. "Changement climatique et niveau de la mer : de la planète aux côtes françaises". Le climat de la France au XXI^e siècle, volume 5. Rapport de la mission Jean Jouzel." : Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie. 69.
- Praud, A., B. Dufour, et F. Moutou. 2009. "NAC exotiques : importations illégales et risques zoonotiques." *Le point vétérinaire* 296:25-29.
- Primeur, Agreste. 2015. Utilisation du territoire - L'artificialisation des terres de 2006 à 2014 : pour deux tiers sur des espaces agricoles. Dans 326, édité par de l'agroalimentaire et de la forêt. Ministère de l'agriculture.
- Ramsey, J.D. 1995. "Task performance in heat: a review." *Ergonomics* 38 (1):154-165.
- Rauch, T.M., C. Witt, et L.E. Banderet. 1986. "The effects on wearing chemical protective clothing on cognitive problems solving." *US army research institute of environmental medicine report n°18/86*.
- Roman-Amat, B. 2007. "Préparer les forêts françaises au changement climatique - Rapport à MM. les Ministres de l'Agriculture et de la Pêche et de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durables."
- Romi, R., F. Severini, et L. Toma. 2006. "Cold acclimation and overwintering of female Aedes albopictus in Roma." *Journal of the American Mosquito Control Association* 22 (1):149-151.
- Rosset, V. 2011. "Biodiversité des mares et étangs: impact du réchauffement climatique et de l'eutrophisation." Faculté de sciences - Haute école du paysage d'ingénierie et d'architecture, Université de Genève (4396).
- Ruiz-Labourdette, D., D. Nogués-Bravo, H. S. Ollero, M. F. Schmitz, et F. D. Pineda. 2012. "Forest composition in Mediterranean mountains is projected to shift along the entire elevational gradient under climate change." *Journal of Biogeography* 39:162–176.
- Sa, Ricardo C. C., Andrew A. Cunningham, Mark P. Dagleish, Nick Wheelhouse, Ann Pocknell, Nicole Borel, Hannah L. Peck, et Becki Lawson. 2014. "Psittacine beak and feather disease in a free-living ring-necked parakeet (Psittacula krameri) in Great Britain." *European journal of wildlife research* 60 (2):395-398.
- Saat, M., R.G. Sirisinghe, R. Singh, et Y. Tochihara. 2005. "Effects of short-term exercise in the heat on thermoregulation, blood parameters, sweat secretion and sweat composition of tropic-dwelling subjects." *J Physiol Anthropol Appl Human Sci* 24 (5):541-549.
- Sagui, E., A. Abriat, S. Duron, S. Gazzola, M. Bregigeton, et C. Brosset. 2012. "Coup de chaleur d'exercice, clinique et diagnostic." *Médecine et armées* 40 (3):201-205.
- Sahu, S., M. Sett, et T. Kjellstrom. 2013. "Heat exposure, cardiovascular stress and work productivity in rice harvesters in India: Implications for a climate change future." *Industrial Health* 51 (4):424-431. doi: 10.2486/indhealth.2013-0006.

- Salathé, C., C. Pellaton, L. Vallotton, M. Coronado, et L. Liaudet. 2012. "Le coup de chaleur d'exercice." *Rev Med Suisse* 8 (366):2395-2399.
- Direction générale de la santé. 2008. "Les effets qualitatifs du changement climatique sur la santé en France." Paris.
- Santos, H., C. Burban, J. Rousselet, J. P. Rossi, M. Branco, et C. Kerdelhué. 2011. "Incipient allochronic speciation in the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa*, Lepidoptera, Notodontidae)." *Journal of Evolutionary Biology* 24 (1):146-158.
- Schulte, P. A., et H. Chun. 2009. "Climate change and occupational safety and health: establishing a preliminary framework." *Journal of occupational and environmental hygiene* 6 (9):542-554. doi: 10.1080/15459620903066008.
- Schulte, P.A., A. Bhattacharya, C.R. Butler, H.K. Chun, B. Jacklitsch, T. Jacobs, M. Kiefer, J. Lincoln, S. Pendergrass, J. Shire, J. Watson, et G.R. Wagner. 2016. "Advancing the framework for considering the effects of climate change on worker safety and health." *J Occup Environ Hyg*. 13 (11):847-865.
- Silva, R.A., J.J. West, Y. Zhang, S.C. Anenberg, J-F. Lamarque, D.T. Shindell, W.J. Collins, S. Dalsoren, G. Faluvegi, G. Folberth, L.W. Horowitz, T. Nagashima, V. Naik, S. Rumbold, R. Skeie, K. Sudo, T. Takemura, D. Bergmann, P. Cameron-Smith, I. Cionni, R.M. Doherty, V. Eyring, B. Josse, I.A. MacKenzie, D. Plummer, M. Righi, D.S. Stevenson, S. Strode, S. Szopa, et G. Zeng. 2013. "Global premature mortality due to anthropogenic outdoor air pollution and the contribution of past climate change." *Environmental Research Letters* 8.
- Soubeyroux, J-M., N. Kitova, M. Blanchard, J-P. Vidal, E. Martin, et P. Dandin. 2012. "Sécheresse des sols en France et changement climatique." *La Météorologie* 78:21-30.
- Stroop, J.R. 1935. "Studies of interference on serial verbal reactions." *Journal of experimental psychology* 18:643-662.
- Tawatsupa, B., L. L. Lim, T. Kjellstrom, S. A. Seubsman, A. Sleight, et Team The Thai Cohort Study. 2010. "The association between overall health, psychological distress, and occupational heat stress among a large national cohort of 40,913 Thai workers." *Glob Health Action* 3. doi: 10.3402/gha.v3i0.5034.
- Tison, M. 2004. "Contraintes thermiques : Alerte chaude! ." *Prévention au travail* 17 (2):7-14.
- Tremeac, B., P. Bousquet, C. De Munck, G. Pigeon, V. Masson, C. Marchadier, M. Merchat, P. Poeuf, et F. Meunier. 2012. "Influence of air conditioning management on heat island in Paris air street temperatures." *Applied energy* 95:102-110.
- Vautard, R., G-J. van Oldenborgh, S. Thao, B. Dubuisson, G. Lenderink, A. Ribes, S. Planton, J-M. Soubeyroux, et P. Yiou. 2015. "Extreme fall 2014 precipitation in the Cévennes Mountains. In 'Explaining Extreme Events of 2013 from a Climate Perspective'." *Bulletin of the American Meteorological Society* 96 (9):S56-S60.
- Watson, L., G. Lacrosonnière, M. Gauss, M. Engardt, C. Andersson, B. Joss, V. Marécal, A. Nyiri, S. Sobolowski, G. Siour, S. Szopa, et R. Vautard. 2016. "Impact of emissions and +2 °C climate change upon future ozone and nitrogen dioxide over Europe." *Atmospheric Environment* 142:271-285.
- Willet, K.M., et S. Sherwood. 2012. "Exceedance of heat index thresholds for 15 regions under a warming climate using the wet-bulb globe temperature" *International Journal of Climatology* 32:161-177.
- Williamson, C.E., R.G. Zeep, R.M. Lucas, S. Madronich, A.T. Austin, C.L. Ballare, M. Norval, B. Sulzberger, A.F. Bais, R. McKenzie, S.A. Robinson, D. Hader, N.D. Paul, et J.F. Bornman. 2014. "Solar ultraviolet radiation in a changing climate." *Nature Climate Change* 4:434-441.
- Woolhouse, M., et S. Gowtage-Sequeria. 2005. "Host Range and Emerging and Reemerging Pathogens." *Emerging infectious diseases* 11 (12):1842-1847.
- Xiang, J., P. Bi, D. Pisaniello, et A. Hansen. 2014. "Health impacts of workplace heat exposure: An epidemiological review." *Industrial Health* 52 (2):91-101. doi: 10.2486/indhealth.2012-0145.
- Xiang, J., Bi. Peng, P. Dino, et al. 2014a. "Association between high temperature and work-related injuries in Adelaide, South Australia, 2001–2010." *Occup Environ Med*. 71 (4):246-252.
- Xiang, J., Bi. Peng, P. Dino, et al. 2014b. "Health Impacts of Workplace Heat Exposure: An Epidemiological Review." *Ind Health* 52 (2):91-101.
- Ye, X., R. Wolff, W. Yu, et al. 2012. "Ambient temperature and morbidity: a review of epidemiological evidence." *Environ Health Perspect*. 120 (1):19-28.

Zhang, F., et R. De Dear. 2017. "University students' cognitive performance under temperature cycles induced by direct load control events." *Indoor Air* 27 (1):78-93.

ANNEXES

Annexe 1 : Lettre de saisine

2013-SA-0216

MINISTÈRE DES AFFAIRES SOCIALES
ET DE LA SANTÉ

Direction générale de la santé

COURRIER ARRIVÉ

25 NOV. 2013

DIRECTION GÉNÉRALE

MINISTÈRE DU TRAVAIL, DE L'EMPLOI, DE
LA FORMATION PROFESSIONNELLE ET
DU DIALOGUE SOCIAL

Direction générale du travail

Le Directeur général de la santé

Le Directeur général du travail

à

Le Directeur général de l'Agence Nationale
de Sécurité Sanitaire, de l'alimentation, de
l'environnement et du travail
253, avenue du Général Leclerc
94701 Maisons-Alfort

Paris, le 28 OCT. 2013

Objet : Saisine relative au renforcement de la gestion des risques professionnels induits par le changement climatique prévue dans le cadre du plan national d'adaptation au changement climatique

La loi de programmation 2009-967 du 03 août 2009 relative à la mise en œuvre du Grenelle Environnement prévoyait la préparation d'un plan national d'adaptation dans le cadre de l'engagement de l'Etat dans la lutte contre le changement climatique et pour l'adaptation du territoire national face à ce changement.

Ce plan, qui vise à préparer la France à faire face à de nouvelles conditions climatiques et à en tirer partie, a vocation à planifier des actions d'adaptation, à prévenir la mal-adaptation et à assurer la cohérence des mesures des politiques publiques par rapport à cette adaptation.

Suite à une concertation réunissant les collègues du Grenelle Environnement menée en 2010, le plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC) a été élaboré autour de recommandations traduites en fiches-action thématiques pour la période 2011-2015. Outre un suivi annuel, le PNACC fait l'objet d'une revue de mi-parcours en 2013.

La fiche-action relative aux questions de santé comporte, parmi ses 5 axes, une action relative au développement d'actions de prévention sanitaire prenant en compte les conséquences des événements extrêmes et l'adaptation des systèmes de vigilance et d'alerte. Une mesure spécifique au renforcement de la gestion des risques professionnels induits par le changement climatique (action 4, mesure 4.2) est ainsi prévue.

Dans ce contexte, et conformément aux dispositions du PNACC, je vous demande de mener l'expertise scientifique permettant d'identifier les impacts potentiels liés au changement climatique sur la santé et la sécurité des travailleurs en vue de formuler des recommandations pour éviter, réduire et prévenir les risques identifiés.

Cette expertise devra :

- dresser à travers une revue de la littérature, les effets qualitatifs potentiels du changement climatique sur la santé en général ;

- identifier les aléas climatiques exceptionnels ou durables les plus susceptibles d'augmenter en fréquence et/ou en intensité pour étudier leurs effets en priorité compte tenu notamment des nombreux effets potentiels et des incertitudes liées à la probabilité de leur réalisation ;
 - à partir d'un panorama plus spécifique pour la santé et la sécurité des travailleurs, identifier les secteurs d'activité et/ou métiers exposés aux effets considérés ;
 - évaluer et quantifier les risques et estimer les impacts potentiels chez les travailleurs exposés ;
 - formuler des recommandations pour supprimer, réduire ou prévenir les risques identifiés ;
- et, le cas échéant,
- formuler des recommandations de recherche.

Vous voudrez bien me faire parvenir votre avis et rapport d'expertise assorti de recommandations pour le deuxième semestre 2015 ainsi qu'une note d'étape sur l'avancée de vos travaux à mi-parcours.

Le Directeur général de la santé,

Benoit VALLET

Le Directeur général du travail,

Jean-Denis COMBEXELLE

Copies : Madame Patricia BLANC, Directrice générale de la prévention des risques
Monsieur Laurent TAPADINHAS, Directeur de la recherche et de l'innovation

Annexe 2 : Fiches des risques professionnels liés aux conditions climatiques en fonction des changements climatiques attendus

Risques liés aux ambiances thermiques chaudes

Définition : « ce sont des risques engendrant le plus fréquemment des plaintes pour inconfort (insatisfaction, fatigue, etc.) et, plus rarement, des risques d'atteinte à la santé (malaises, dermatoses, etc.), qui peuvent être graves (hyperthermie, coup de chaleur, etc.) » (INRS 2013).

Variables et indices climatiques / environnementaux modifiés par le changement climatique

Les indices climatiques pour lesquels les évolutions attendues connues tendent à accroître ce risque sont essentiellement liés à une augmentation des températures :

- augmentation de la fréquence, de la durée et/ou de l'intensité des vagues de chaleur ;
- augmentation des températures extrêmes chaudes ;
- augmentation des températures nocturnes élevées.

Description du processus de l'impact sanitaire

La conjonction d'une activité physique et d'une évacuation de chaleur insuffisante aggrave les risques liés aux ambiances thermiques chaudes. À ce mécanisme d'impact sanitaire s'ajoutent tous les paramètres susceptibles d'interférer avec la régulation thermique corporelle (état physique général, etc.).

Une activité physique augmentant la production de chaleur corporelle et des conditions de travail, notamment en ambiances thermiques chaudes, empêchant l'évacuation de cette chaleur, peuvent provoquer des effets physiologiques pour les travailleurs (cf. section 4.2.1.2.1) :

- crampes et malaises ;
- déshydratation ;
- coup de chaleur ;
- mort.

L'augmentation du nombre, de la durée et de l'intensité des vagues de chaleur impactent le bilan thermique du travailleur et risque d'entraîner une élévation de sa température centrale.

Parmi les conséquences du travail en ambiance thermique chaude, des effets neuropsychologiques, à l'origine d'une baisse de vigilance, sont également possibles (cf. section 4.2.1.1.1), avec une augmentation possible des risques accidentels. Ces effets sont principalement attendus durant la phase d'acclimatement (cf. section 4.2.1.1.4). Ainsi, le risque est plus élevé au cours de la première semaine d'une vague de chaleur (Xiang, Peng, *et al.* 2014b).

Circonstances d'exposition nécessaires

Les principales activités professionnelles à prendre en compte sont celles impliquant une activité en ambiance thermique chaude : au soleil, dans des locaux exposés non climatisés (vitrés, métalliques...) ou dans des environnements comportant des sources de chaleur liées au procédés (fonderies, cuisines, etc.).

Il n'est pas possible de dresser une liste exhaustive des secteurs professionnels concernés. Les populations les plus exposées sont typiquement celles du bâtiment, de l'agriculture (bûcheronnage, vendanges, etc.), de la manutention (déménageurs...), de la métallurgie notamment de l'industrie primaire des métaux (fonderies), de la restauration, etc.

Exemples de circonstances d'exposition secondaires aggravantes

Circonstances pouvant être limitées par des mesures de prévention dans l'entreprise :

- plusieurs paramètres influencent le bilan thermique et sont susceptibles d'accroître les effets de l'augmentation de température (cf. section 4.2.1.1) : l'humidité relative, la convection de l'air et le rayonnement infrarouge (IR) :
 - o plus l'humidité relative de l'atmosphère de travail sera élevée, plus les effets de la température seront accentués ;
 - o moins la convection de l'air de l'atmosphère de travail est importante, plus les effets de la température seront accentués ;
 - o plus l'intensité du rayonnement infrarouge auquel est exposé le travailleur augmente (notamment *via* le rayonnement solaire), plus les effets de la température seront accentués.
- des efforts physiques intenses, tout particulièrement s'ils sont prolongés, au premier rang desquels la manutention lourde ;
- une organisation du travail inadaptée à une évolution climatique (ex : maintenir des horaires de travail durant les heures les plus chaudes de la journée, conditions de pause inadaptées) ;
- hydratation insuffisante ;
- le port de tenues vestimentaires obligatoires entravant l'évaporation de la sueur (tenues professionnelles, combinaisons, tenues de protection).

Autres circonstances aggravantes :

- des températures nocturnes élevées sur une période de plusieurs jours (mauvaise récupération des travailleurs pendant leur temps de repos).

Bien que les DROM des zones intertropicales constituent évidemment une zone à risque, l'acclimatement physiologique et comportemental des travailleurs locaux pourrait amortir les effets physiologiques (mais pas neuropsychologiques) des évolutions climatiques.

Risques liés à la charge physique de travail

Définition : « ce sont les risques qui peuvent engendrer fatigue, douleurs, gêne fonctionnelle et aussi des lésions aiguës ou chroniques touchant le plus souvent l'appareil locomoteur. D'autres appareils peuvent être concernés (cardiovasculaire, respiratoire...) » (INRS 2013).

Ces atteintes sont consécutives à des efforts physiques intenses, prolongés, répétés, des postures inconfortables ou contraignantes.

Variables et indices climatiques / environnementaux modifiés par le changement climatique

Les indices climatiques pour lesquels les évolutions attendues connues tendent à accroître ce risque sont essentiellement liés à une augmentation des températures :

- augmentation de la fréquence, de la durée et/ou de l'intensité des vagues de chaleur ;
- augmentation des températures extrêmes chaudes ;
- augmentation des températures nocturnes élevées.

Description du processus de l'impact sanitaire

La conjonction d'une activité physique et d'une évacuation de chaleur insuffisante aggrave les risques liés à la charge physique de travail. A ce mécanisme d'impact sanitaire s'ajoutent tous les paramètres susceptibles d'interférer avec la régulation thermique corporelle (état physique général, etc.).

Une activité physique augmentant la production de chaleur corporelle et des conditions de travail, notamment en ambiances thermiques chaudes, empêchant l'évacuation de cette chaleur, peuvent provoquer des effets physiologiques pour les travailleurs (cf. section 4.2.1.2.1) :

- crampes et malaises ;
- déshydratation ;
- coup de chaleur ;
- mort.

L'augmentation du nombre, de la durée et de l'intensité des vagues de chaleur impactent le bilan thermique du travailleur et risque d'entraîner une élévation de sa température centrale.

Parmi les conséquences de travaux impliquant une forte charge physique, des effets neuropsychologiques, à l'origine d'une baisse de vigilance, sont également possibles (cf. section 4.2.1.1.1), avec une augmentation possible des risques accidentels. Ces effets sont principalement attendus durant la phase d'acclimatement (cf. section 4.2.1.1.4). Ainsi, le risque est plus élevé au cours de la première semaine d'une vague de chaleur (Xiang, Peng, *et al.* 2014b).

Circonstances d'exposition nécessaires

Sont concernés les secteurs d'activité dans lesquels sont exercés des efforts physiques intenses, prolongés et/ou répétés, mais également des postures inconfortables ou contraignantes.

Exemples de circonstances d'exposition secondaires aggravantes

Circonstances pouvant être limitées par des mesures de prévention dans l'entreprise :

- plusieurs paramètres influencent le bilan thermique et sont susceptibles d'accroître les effets de l'augmentation de température (cf. section 4.2.1.1) : l'humidité relative, la convection de l'air et le rayonnement infrarouge :
 - o plus l'humidité relative de l'atmosphère de travail sera élevée, plus les effets de la température seront accentués ;
 - o moins la convection de l'air de l'atmosphère de travail est importante, plus les effets de la température seront accentués ;
 - o plus l'intensité du rayonnement infrarouge auquel est exposé le travailleur augmente (notamment *via* le rayonnement solaire), plus les effets de la température seront accentués.
- des efforts physiques intenses, tout particulièrement s'ils sont prolongés, au premier rang desquels la manutention lourde ;
- une organisation du travail inadaptée à une évolution climatique (ex : maintenir des horaires de travail durant les heures les plus chaudes de la journée, conditions de pause inadaptées) ;
- hydratation insuffisante ;
- le port de tenues vestimentaires obligatoires entravant l'évaporation de la sueur (tenues professionnelles, combinaisons, tenues de protection).

Autres circonstances aggravantes :

- des températures nocturnes élevées sur une période de plusieurs jours (mauvaise récupération des travailleurs pendant leur temps de repos).

Bien que les DROM des zones intertropicales constituent évidemment une zone à risque, l'acclimatement physiologique et comportemental des travailleurs locaux pourrait amortir les effets physiologiques (mais pas neuropsychologiques) des évolutions climatiques.

Risques psychosociaux

Définition : « ce sont des risques qui peuvent être induits par l'activité elle-même ou être générés par l'organisation du travail » (INRS 2013).

Les risques psychosociaux (RPS) concernent les situations de travail à risques de stress, de violences internes (dont le harcèlement moral et sexuel) et externes (agressions, conflits, tensions avec le public ou la clientèle).

Il est admis que toute atteinte au bien-être et à la qualité de vie au travail peut constituer une source de RPS qu'il est souhaitable de prévenir.

Variables et indices climatiques / environnementaux modifiés par le changement climatique

Les principaux indices climatiques pour lesquels les évolutions attendues connues tendent à accroître ce risque sont essentiellement liés à une augmentation des températures :

- augmentation de la fréquence, de la durée et/ou de l'intensité des vagues de chaleur ;
- augmentation des températures extrêmes chaudes ;
- augmentation des températures nocturnes élevées.

Sans que cette liste ne puisse prétendre à l'exhaustivité d'autres événements climatiques sont susceptibles d'être à l'origine d'effets psychosociaux chez les travailleurs :

- augmentation des températures chaudes ressenties (en tenant compte de l'humidité : Humidex en extérieur et indice WBGT en ambiance professionnelle) ;
- aléas climatiques de par leur caractère intense et inhabituel : journées de vent fort ou en rafales, séquences orageuses (tonnerre, activité électrique, grêle, neige), ... ;
- périodes prolongées de pluie ou de manque d'exposition à la lumière solaire...

Outre ces trois indices, tout paramètre contribuant à modifier l'état individuel (inconfort thermique ou météo-sensibilité), tout paramètre imposant une modification des horaires ou des cycles de travail et tout paramètre susceptible de dégrader l'outil de production peuvent avoir des conséquences sur des entreprises spécifiques et sur les risques psychosociaux pour les travailleurs concernés. Ainsi, seule une évaluation au cas par cas permettra à chaque entreprise de repérer les dangers et de les prévenir.

Description du processus de l'impact sanitaire

Les risques psychosociaux peuvent être induits par des situations de travail où sont présents, combinés ou non⁸⁷:

- du stress : déséquilibre entre la perception qu'une personne a des contraintes de son environnement de travail et la perception qu'elle a de ses propres ressources pour y faire face ;
- des violences internes commises au sein de l'entreprise par des salariés : harcèlement moral ou sexuel, conflits exacerbés entre des personnes ou entre des équipes ;

⁸⁷ Voir <http://www.inrs.fr/risques/psychosociaux/ce-qu-il-faut-retenir.html>

- des violences externes commises sur des salariés par des personnes externes à l'entreprise (insultes, menaces, agressions, etc.).

Si on analyse les RPS dans leur ensemble (c'est-à-dire selon les 7 thématiques psychosociales inventoriées dans le rapport Gollac⁸⁸), les paramètres climatiques peuvent jouer sur plusieurs axes :

- effet « direct » sur l'état individuel, notamment l'humeur des travailleurs (Ely *et al.* 2013, Mathee, Oba, et Rose 2010) ou du public avec lequel ils peuvent interagir (avec de manière caricaturale mais explicite : irritabilité liée à l'inconfort thermique et dépression des sujets météo-sensibles) (axe 5 : rapports sociaux dégradés au travail) ;
- effets indirects liés aux modifications de l'organisation du travail (changement d'horaires (dont le risque d'interférence avec la vie privée) (axe 2 : horaires de travail difficiles), accélération des cycles de travail (rotation plus rapide sur des postes à risque : temps de travail sur chantier de désamiantage) (axe 1 : intensité et complexité du travail) ;
- effets indirects liés au retentissement psychologique d'une mise en difficulté de l'entreprise, par exemple suite à une dégradation de l'outil de production du fait d'aléas climatiques (axe 7 : insécurité du travail et de l'emploi) ;
- impact psychologique d'une sur-morbi-mortalité liée à des vagues de chaleur plus intenses et plus nombreuses dans les professions directement confrontées (milieux de soins ou travailleurs témoins de coups de chaleur) (axe 3 : exigences émotionnelles) ;
- cas d'un cadre ou chef d'entreprise contraint de choisir entre respecter un délai contractuel (en faisant travailler ses salariés dans des conditions à risque) et ou protéger ses salariés (quitte à subir des pénalités pour délais non tenus) relève de l'axe 6 (conflits de valeur).

Face à chaque problème évoqué existent des mesures préventives ou de gestion. Par exemple, dans le cas du cadre contraint de choisir entre respecter un délai et sécurité) certains contrats prévoient des exceptions aux pénalités de retard dans le cas de phénomènes climatiques extrêmes, notamment pour les grands vents lors des travaux avec grues...)

Circonstances d'exposition nécessaires

Les RPS susceptibles d'être aggravés ou accentués par des facteurs climatiques et environnementaux en liaison avec le changement climatique sont à même d'affecter des milieux professionnels de tous horizons et cela de façons très diverses.

Exemples de circonstances d'exposition secondaires aggravantes

Les RPS sont par nature multifactoriels, influencés par des paramètres aussi divers que la saison (effet négatif de la chaleur sur l'humeur en été mais pas au printemps (Keller *et al.* 2005) ou des éléments contextuels et motivationnels (Fay et Maner 2014)). De fait, il est difficile de distinguer les processus qui mènent à leur survenue.

⁸⁸ 1) Intensité et complexité du travail
2) Horaires de travail difficiles
3) Exigences émotionnelles
4) Faible autonomie au travail
5) Rapports sociaux dégradés au travail
6) Conflits de valeur
7) Insécurité de l'emploi et du travail

Certaines de ces circonstances aggravantes semblent pouvoir être limitées par des mesures de prévention dans l'entreprise : interférences entre horaires de travail et vie privée, facteurs de risques psychosociaux préexistants, etc.

D'autres, comme le fait que des travailleurs résident dans des îlots de chaleur urbains nocturnes / zones particulières, semblent plus difficiles à gérer par l'entreprise.

Risques de trébuchement, heurt ou autre perturbation du mouvement

Définition : « ce sont les risques que le déroulement d'une tâche soit perturbé parce que la personne glisse sur, heurte, trébuche contre, se tord ou se coince le pied, le genou le doigt... pose le pied sur une pointe, un clou... ou encore parce que l'élément contre lequel elle exerce des forces s'affaisse, cède, glisse du fait de ces forces » (INRS 2013).

Variables et indices climatiques / environnementaux modifiés par le changement climatique

Les indices climatiques pour lesquels les évolutions attendues connues tendent à accroître ce risque sont essentiellement liés à une augmentation des températures :

- augmentation de la fréquence, de la durée et/ou de l'intensité des vagues de chaleur ;
- augmentation des températures extrêmes chaudes ;
- augmentation des températures nocturnes élevées.

Description du processus de l'impact sanitaire

L'augmentation du nombre, de la durée et de l'intensité des vagues de chaleur impacte le bilan thermique du travailleur et risque d'entraîner une élévation de sa température centrale. Parmi les effets possibles de cette élévation (*cf.* ; 4.2.1.1), plusieurs sont susceptibles d'accroître le risque de trébuchement pour les travailleurs exposés à ces conditions environnementales (extérieur ou intérieur) :

- les effets neuropsychologiques, *via* une baisse de vigilance ;
- les divers effets physiologiques, notamment l'apparition de crampes et de malaises ;
- sommeil de moins bonne qualité et absence de récupération nocturne.

Ces effets sont principalement attendus durant la phase d'acclimatement (*cf.* section 4.2.1.1.4). Ainsi, le risque est plus élevé au cours de la première semaine d'une vague de chaleur (Xiang, Peng, *et al.* 2014b).

Circonstances d'exposition nécessaires

Ce risque concerne l'ensemble des travailleurs, quel que soit leur domaine d'activité.

Selon l'INRS « ce type d'accident représente le tiers des accidents déclarés avec arrêt de travail sous le régime d'assurance maladie général et touche tous les secteurs d'activité et tous les métiers » (INRS 2013).

Exemples de circonstances d'exposition secondaires aggravantes

Circonstances pouvant être limitées par des mesures de prévention dans l'entreprise :

- plusieurs paramètres influencent le bilan thermique et sont susceptibles d'accroître les effets de l'augmentation de température (*cf.* § 4.2.1.1.1) : l'humidité relative, la convection de l'air et le rayonnement infrarouge :
 - o plus l'humidité relative de l'atmosphère de travail sera élevée, plus les effets de la température seront accentués ;

- o moins la convection de l'air de l'atmosphère de travail est importante, plus les effets de la température seront accentués ;
- o plus l'intensité du rayonnement infrarouge auquel est exposé le travailleur augmente (notamment *via* le rayonnement solaire), plus les effets de la température seront accentués.
- les travailleurs directement exposés aux ambiances thermiques chaudes et/ou dont l'activité implique des efforts physiques intenses seront plus particulièrement exposés à ce sur-risque (*cf.* fiche risques liés aux ambiances thermiques).
- une organisation du travail inadaptée à une évolution climatique (ex : maintenir des horaires de travail durant les heures les plus chaudes de la journée, conditions de pause inadaptées, travail au contact de surfaces chaudes) ;
- le port de tenues vestimentaires obligatoires entravant l'évaporation de la sueur (tenues professionnelles, combinaisons, tenues de protection) ;

Autres circonstances aggravantes :

- des températures nocturnes élevées sur une période de plusieurs jours (mauvaise récupération des travailleurs pendant leur temps de repos).

Risques de chute de hauteur

Définition : « ce sont les risques d'accident liés à la perte d'équilibre d'une personne au droit d'une dénivellation et à sa chute dans le vide, au cours de cette perte d'équilibre (heurte, rebond contre des éléments saillants situés sur sa trajectoire) ou à l'issue de celle-ci, à sa réception sur une surface à un niveau inférieur ou sur le sol » (INRS 2013).

Variables et indices climatiques / environnementaux modifiés par le changement climatique

Les indices climatiques pour lesquels les évolutions attendues connues tendent à accroître ce risque sont essentiellement liés à une augmentation des températures :

- augmentation de la fréquence, de la durée et/ou de l'intensité des vagues de chaleur ;
- augmentation des températures extrêmes chaudes ;
- augmentation des températures nocturnes élevées.

Les études actuelles ne permettent pas de mettre en évidence une tendance sur l'évolution du risque de vent violent. Mais compte-tenu de son impact possible sur le risque de chute, il est important de garder une veille sur les travaux futurs dans ce domaine.

Description du processus de l'impact sanitaire

L'augmentation du nombre, de la durée et de l'intensité des vagues de chaleur impacte le bilan thermique du travailleur et risque d'entraîner une élévation de sa température centrale. Parmi les effets possibles de cette élévation (cf. 4.2.1.1), plusieurs sont susceptibles d'accroître le risque de chute de hauteur pour les travailleurs exposés à ces conditions environnementales (extérieur ou intérieur) :

- les effets neuropsychologiques, *via* une baisse de vigilance ;
- les divers effets physiologiques, notamment l'apparition de crampes et de malaises ;
- sommeil de moins bonne qualité et absence de récupération nocturne.

Ces effets sont principalement attendus durant la phase d'acclimatement (cf. section 4.2.1.1.4). Ainsi, le risque est plus élevé au cours de la première semaine d'une vague de chaleur (Xiang, Peng, *et al.* 2014b).

Circonstances d'exposition nécessaires

Sont essentiellement concernés les métiers impliquant un travail ou un stockage en hauteur. A titre d'exemples :

- métiers du BTP, en particulier lors des travaux de fouille et de terrassement et lors de travaux effectués simultanément à des hauteurs ou étages différents ;
- travaux d'installation et de maintenance des éoliennes, des lignes à haute tension, téléphérique, grues, etc. ;
- travaux de creusement d'un puits/forage/tranchée profonde/galerie, etc.

Le risque lié à la température concerne à la fois les travailleurs en extérieur et les travailleurs en intérieur.

Le risque lié au vent ne concerne en revanche que les travailleurs travaillant en extérieur.

Exemples de circonstances d'exposition secondaires aggravantes

Circonstances pouvant être limitées par des mesures de prévention dans l'entreprise :

- plusieurs paramètres influencent le bilan thermique et sont susceptibles d'accroître les effets de l'augmentation de température (cf. § 4.2.1.1.1) : l'humidité relative, la convection de l'air et le rayonnement infrarouge :
 - o plus l'humidité relative de l'atmosphère de travail sera élevée, plus les effets de la température seront accentués ;
 - o moins la convection de l'air de l'atmosphère de travail est importante, plus les effets de la température seront accentués ;
 - o plus l'intensité du rayonnement infrarouge auquel est exposé le travailleur augmente (notamment *via* le rayonnement solaire), plus les effets de la température seront accentués.
- les travailleurs directement exposés aux ambiances thermiques chaudes et/ou dont l'activité implique des efforts physiques intenses seront plus particulièrement exposés à ce sur-risque (cf. fiche risques liés aux ambiances thermiques).
- une organisation du travail inadaptée à une évolution climatique (ex : maintenir des horaires de travail durant les heures les plus chaudes de la journée, conditions de pause inadaptées, travail au contact de surfaces chaudes) ;
- le port de tenues vestimentaires obligatoires entravant l'évaporation de la sueur (tenues professionnelles, combinaisons, tenues de protection) ;

Autres circonstances aggravantes :

- des températures nocturnes élevées sur une période de plusieurs jours (mauvaise récupération des travailleurs pendant leur temps de repos).

Risques liés aux effondrements et aux chutes d'objet

Définition : « ce sont des risques d'accidents qui sont liés à la chute d'objets provenant de stockage, d'un étage supérieur ou de l'effondrement des matériaux. » (INRS 2013).

Variables et indices climatiques / environnementaux modifiés par le changement climatique

Les indices climatiques pour lesquels les évolutions attendues connues tendent à accroître ce risque sont essentiellement liés à une augmentation des températures :

- augmentation de la fréquence, de la durée et/ou de l'intensité des vagues de chaleur ;
- augmentation des températures extrêmes chaudes ;
- augmentation des températures nocturnes élevées.

Même si une tendance générale semble à l'augmentation de la quantité de pluie tombant au cours des épisodes les plus extrêmes, les études actuelles ne permettent pas de mettre en évidence une tendance sur l'évolution de la survenue d'aléas de type précipitations intenses (voir la fiche aléas climatiques), susceptibles d'accroître les risques liés aux effondrements et aux chutes d'objets. Il n'y a pas non plus de tendance notable sur l'évolution du risque de vent violent. Cependant, compte-tenu de son impact possible, il est important de garder une veille sur les travaux futurs dans ce domaine.

Description du processus de l'impact sanitaire

D'une part, l'augmentation du nombre, de la durée et de l'intensité des vagues de chaleur impacte le bilan thermique du travailleur et risque d'entraîner une élévation de sa température centrale. Parmi les effets possibles de cette élévation (*cf.* 4.2.11), plusieurs sont susceptibles d'accroître le risque de trébuchement pour les travailleurs exposés à ces conditions environnementales (extérieur ou intérieur) :

- les effets neuropsychologiques, *via* une baisse de vigilance ;
- les divers effets physiologiques, notamment l'apparition de crampes et de malaises ;
- sommeil de moins bonne qualité et absence de récupération nocturne.

Ces effets sont principalement attendus durant la phase d'acclimatement (*cf.* section 4.2.1.1.4). Ainsi, le risque est plus élevé au cours de la première semaine d'une vague de chaleur (Xiang, Peng, *et al.* 2014b).

D'autre part, même si études actuelles ne mettent pas en évidence de modification il faut garder à l'esprit que les précipitations éventuellement majorées par des aléas de type vent fort, ouragan ou tempête, pourraient être à l'origine de risques d'effondrement de matériaux et d'instabilité des engins de chantier.

Les risques liés aux aléas sont regroupés sur la fiche aléas climatiques.

Circonstances d'exposition nécessaires

Sont essentiellement concernés les métiers impliquant un stockage en hauteur par rapport au travailleur. A titre d'exemples :

- métiers du BTP, en particulier lors des travaux de fouille et de terrassement et lors de travaux effectués simultanément à des hauteurs ou étages différents ;

- travaux d'installation et de maintenance des éoliennes, des lignes à haute tension, téléphérique, grues, etc. ;
- travaux de creusement d'un puits/forage/tranchée profonde/galerie, etc.

Exemples de circonstances d'exposition secondaires aggravantes

Circonstances pouvant être limitées par des mesures de prévention dans l'entreprise :

- plusieurs paramètres influencent le bilan thermique et sont susceptibles d'accroître les effets de l'augmentation de température (cf. § 4.2.1.1.1) : l'humidité relative, la convection de l'air et le rayonnement infrarouge :
 - o plus l'humidité relative de l'atmosphère de travail sera élevée, plus les effets de la température seront accentués ;
 - o moins la convection de l'air de l'atmosphère de travail est importante, plus les effets de la température seront accentués ;
 - o plus l'intensité du rayonnement infrarouge auquel est exposé le travailleur augmente (notamment *via* le rayonnement solaire), plus les effets de la température seront accentués.
- les travailleurs directement exposés aux ambiances thermiques chaudes et/ou dont l'activité implique des efforts physiques intenses seront plus particulièrement exposés à ce sur-risque (cf. fiche risques liés aux ambiances thermiques).
- une organisation du travail inadaptée à une évolution climatique (ex : maintenir des horaires de travail durant les heures les plus chaudes de la journée, conditions de pause inadaptées, travail au contact de surfaces chaudes) ;
- le port de tenues vestimentaires obligatoires entravant l'évaporation de la sueur (tenues professionnelles, combinaisons, tenues de protection) ;

Autres circonstances aggravantes :

- des températures nocturnes élevées sur une période de plusieurs jours (mauvaise récupération des travailleurs pendant leur temps de repos).

Risques liés à la manutention mécanique

Définition : « ce sont les risques d'accident (heurts, chute, renversement) dus à la charge manutentionnée, au moyen de manutention (rupture, défaillance) et aussi à la circulation des engins de manutention » (INRS 2013).

Variables et indices climatiques / environnementaux modifiés par le changement climatique

Les indices climatiques pour lesquels les évolutions attendues connues tendent à accroître ce risque sont essentiellement liés à une augmentation des températures :

- augmentation de la fréquence, de la durée et/ou de l'intensité des vagues de chaleur ;
- augmentation des températures extrêmes chaudes ;
- augmentation des températures nocturnes élevées.

Description du processus de l'impact sanitaire

L'augmentation du nombre, de la durée et de l'intensité des vagues de chaleur impacte le bilan thermique du travailleur et risque d'entraîner une élévation de sa température centrale. Parmi les effets possibles de cette élévation (cf. 4.2.1.1), plusieurs sont susceptibles d'accroître le risque lié à la manutention mécanique pour les travailleurs exposés à ces conditions environnementales (extérieur ou intérieur) :

- les effets neuropsychologiques, *via* une baisse de vigilance ;
- les divers effets physiologiques, notamment l'apparition de crampes et de malaises ;
- sommeil de moins bonne qualité et absence de récupération nocturne.

Ces effets sont principalement attendus durant la phase d'acclimatement (cf. section 4.2.1.1.4). Ainsi, le risque est plus élevé au cours de la première semaine d'une vague de chaleur (Xiang, Peng, *et al.* 2014b).

Circonstances d'exposition nécessaires

Sont concernés les secteurs d'activités dans lesquels les travailleurs sont amenés réaliser de la manutention mécanique sur le site de l'entreprise, à l'intérieur d'un bâtiment ou à l'extérieur entre des bâtiments. L'augmentation de la température à l'intérieur d'un bâtiment perturbant la vigilance des travailleurs, le risque d'accident de circulation interne est augmenté là où circulent des engins motorisés (voiture, camionnette, chariot de manutention, etc.) ou non (vélo, etc.).

Exemples de circonstances d'exposition secondaires aggravantes

Circonstances pouvant être limitées par des mesures de prévention dans l'entreprise :

- plusieurs paramètres influencent le bilan thermique et sont susceptibles d'accroître les effets de l'augmentation de température (cf. § 4.2.1.1.1) : l'humidité relative, la convection de l'air et le rayonnement infrarouge :
 - o plus l'humidité relative de l'atmosphère de travail sera élevée, plus les effets de la température seront accentués ;
 - o moins la convection de l'air de l'atmosphère de travail est importante, plus les effets de la température seront accentués ;

- o plus l'intensité du rayonnement infrarouge auquel est exposé le travailleur augmente (notamment *via* le rayonnement solaire), plus les effets de la température seront accentués.
- les travailleurs directement exposés aux ambiances thermiques chaudes et/ou dont l'activité implique des efforts physiques intenses seront plus particulièrement exposés à ce sur-risque (*cf.* fiche risques liés aux ambiances thermiques).
- une organisation du travail inadaptée à une évolution climatique (ex : maintenir des horaires de travail durant les heures les plus chaudes de la journée, conditions de pause inadaptées, travail au contact de surfaces chaudes) ;
- le port de tenues vestimentaires obligatoires entravant l'évaporation de la sueur (tenues professionnelles, combinaisons, tenues de protection) ;

Autres circonstances aggravantes :

- des températures nocturnes élevées sur une période de plusieurs jours (mauvaise récupération des travailleurs pendant leur temps de repos).

Risques routiers en mission

Définition : « du fait de leur activité professionnelle, de nombreux salariés passent une partie importante de la journée au volant d'un véhicule, dans le cadre d'une mission qu'ils effectuent pour leur entreprise. Celle-ci peut nécessiter l'utilisation d'une voiture légère, d'un véhicule utilitaire ou encore d'un deux-roues motorisé, ou d'un poids lourd » (INRS 2013).

Il ne sera traité ici que des risques d'accident de la route liés au changement climatique, du fait de la modification d'indices météorologiques ou de facteurs environnementaux associés.

Variables et indices climatiques / environnementaux modifiés par le changement climatique

Les indices climatiques pour lesquels les évolutions attendues connues tendent à accroître ce risque sont essentiellement liés à une augmentation des températures :

- augmentation de la fréquence, de la durée et/ou de l'intensité des vagues de chaleur ;
- augmentation des températures extrêmes chaudes ;
- augmentation des températures nocturnes élevées.

L'augmentation des épisodes de conditions météorologiques rendant les conditions de conduite plus difficiles (vents forts, précipitations intenses, etc.) devrait également augmenter ce risque. Cependant, les connaissances actuelles sur le changement climatique ne permettent pas de dégager de tendance claire sur la fréquence et l'intensité de ces événements.

Description du processus de l'impact sanitaire

L'augmentation du nombre, de la durée et de l'intensité des vagues de chaleur impacte le bilan thermique du travailleur et risque d'entraîner une élévation de sa température centrale. Parmi les effets possibles de cette élévation (cf. 4.2.1.1), plusieurs sont susceptibles d'accroître le risque routier en mission pour les travailleurs exposés à ces conditions environnementales (extérieur ou intérieur) :

- les effets neuropsychologiques, *via* une baisse de vigilance ;
- les divers effets physiologiques, notamment l'apparition de crampes et de malaises ;
- sommeil de moins bonne qualité et absence de récupération nocturne.

Ces effets sont principalement attendus durant la phase d'acclimatement (cf. section 4.2.1.1.4). Ainsi, le risque est plus élevé au cours de la première semaine d'une vague de chaleur (Xiang, Peng, *et al.* 2014b).

Circonstances d'exposition nécessaires

Sont concernés les secteurs d'activités dans lesquels les travailleurs sont amenés à se déplacer systématiquement ou régulièrement en véhicule pour exercer leur activité professionnelle :

- chauffeurs-livreurs,
- chauffeurs de poids lourds,
- chauffeurs transport en commun,
- taxis,
- VRP,

- ambulances,
- etc.

Sont également concernés les travailleurs qui doivent utiliser un véhicule occasionnellement dans le cadre de leur activité professionnelle (réunion à l'extérieur, colloque, formation, etc.).

L'augmentation des risques routiers en mission pour les travailleurs peuvent augmenter :

- du fait de la multiplication des déplacements,
- si le véhicule n'est pas climatisé.

Enfin, la combinaison des circonstances d'exposition décrites ci-dessus est un facteur aggravant pour la survenue d'accidents.

Exemples de circonstances d'exposition secondaires aggravantes

Circonstances pouvant être limitées par des mesures de prévention dans l'entreprise :

- plusieurs paramètres influencent le bilan thermique et sont susceptibles d'accroître les effets de l'augmentation de température (cf. § 4.2.1.1.1) : l'humidité relative, la convection de l'air et le rayonnement infrarouge :
 - o plus l'humidité relative de l'atmosphère de travail sera élevée, plus les effets de la température seront accentués ;
 - o moins la convection de l'air de l'atmosphère de travail est importante, plus les effets de la température seront accentués ;
 - o plus l'intensité du rayonnement infrarouge auquel est exposé le travailleur augmente (notamment via le rayonnement solaire), plus les effets de la température seront accentués.
- les travailleurs directement exposés aux ambiances thermiques chaudes et/ou dont l'activité implique des efforts physiques intenses seront plus particulièrement exposés à ce sur-risque (cf. fiche risques liés aux ambiances thermiques).
- une organisation du travail inadaptée à une évolution climatique (ex : maintenir des horaires de travail durant les heures les plus chaudes de la journée, conditions de pause inadaptées, travail au contact de surfaces chaudes) ;
- le port de tenues vestimentaires obligatoires entravant l'évaporation de la sueur (tenues professionnelles, combinaisons, tenues de protection) ;

Autres circonstances aggravantes :

- des températures nocturnes élevées sur une période de plusieurs jours (mauvaise récupération des travailleurs pendant leur temps de repos).

Risques liés aux circulations internes de véhicules

Définition : « ce sont des risques d'accident liés au heurt d'une personne par un véhicule (vélo, motocyclette, camion, chariot de manutention...) ou à la collision de véhicules entre eux ou contre un obstacle, au sein de l'entreprise » (INRS 2013).

Variables et indices climatiques / environnementaux modifiés par le changement climatique

Les indices climatiques pour lesquels les évolutions attendues connues tendent à accroître ce risque sont essentiellement liés à une augmentation des températures :

- augmentation de la fréquence, de la durée et/ou de l'intensité des vagues de chaleur ;
- augmentation des températures extrêmes chaudes ;
- augmentation des températures nocturnes élevées.

Les vents forts, les précipitations intenses et les tempêtes peuvent également augmenter ce risque pour les véhicules circulant sur le site de l'entreprise à l'extérieur des bâtiments. Notons que les connaissances actuelles sur le changement climatique ne permettent pas de dégager de tendance claire sur la fréquence et l'intensité des périodes de vents forts, des pluies et de tempêtes.

Description du processus de l'impact sanitaire

L'augmentation du nombre, de la durée et de l'intensité des vagues de chaleur impacte le bilan thermique du travailleur et risque d'entraîner une élévation de sa température centrale. Parmi les effets possibles de cette élévation (cf. 4.2.1.1), plusieurs sont susceptibles d'accroître le risque liés aux circulations internes de véhicules pour les travailleurs exposés à ces conditions environnementales (extérieur ou intérieur) :

- les effets neuropsychologiques, *via* une baisse de vigilance ;
- les divers effets physiologiques, notamment l'apparition de crampes et de malaises ;
- sommeil de moins bonne qualité et absence de récupération nocturne.

Ces effets sont principalement attendus durant la phase d'acclimatement (cf. section 4.2.1.1.4). Ainsi, le risque est plus élevé au cours de la première semaine d'une vague de chaleur (Xiang, Peng, *et al.* 2014b).

Circonstances d'exposition nécessaires

Sont concernés les secteurs d'activités dans lesquels les travailleurs sont amenés à se déplacer en véhicule sur le site de l'entreprise, à l'intérieur d'un bâtiment ou à l'extérieur entre des bâtiments.

Concernant les activités pour lesquelles les travailleurs circulent en véhicule à l'intérieur de bâtiments :

- l'augmentation de la température à l'intérieur d'un bâtiment perturbant la vigilance des travailleurs, le risque d'accident de circulation interne est augmenté là où circulent des engins motorisés (voiture, camionnette, chariot de manutention, etc.) ou non (vélo, etc.).

Concernant les activités nécessitant des déplacements sur le site de l'entreprise à l'extérieur des bâtiments, ce type de risque sanitaire pour les travailleurs peut augmenter :

- du fait de la multiplication des déplacements,

- si le véhicule a stationné au soleil,
- si le véhicule n'est pas climatisé,
- si le véhicule est climatisé, mais que le déplacement est court (la climatisation n'ayant pas le temps d'être efficace).

Ce type de risque peut augmenter du fait de la combinaison des circonstances d'exposition décrites ci-dessus.

Exemples de circonstances d'exposition secondaires aggravantes

Circonstances pouvant être limitées par des mesures de prévention dans l'entreprise :

- plusieurs paramètres influencent le bilan thermique et sont susceptibles d'accroître les effets de l'augmentation de température (cf. § 4.2.1.1.1) : l'humidité relative, la convection de l'air et le rayonnement infrarouge :
 - o plus l'humidité relative de l'atmosphère de travail sera élevée, plus les effets de la température seront accentués ;
 - o moins la convection de l'air de l'atmosphère de travail est importante, plus les effets de la température seront accentués ;
 - o plus l'intensité du rayonnement infrarouge auquel est exposé le travailleur augmente (notamment *via* le rayonnement solaire), plus les effets de la température seront accentués.
- les travailleurs directement exposés aux ambiances thermiques chaudes et/ou dont l'activité implique des efforts physiques intenses seront plus particulièrement exposés à ce sur-risque (cf. fiche risques liés aux ambiances thermiques).
- une organisation du travail inadaptée à une évolution climatique (ex : maintenir des horaires de travail durant les heures les plus chaudes de la journée, conditions de pause inadaptées, travail au contact de surfaces chaudes) ;
- le port de tenues vestimentaires obligatoires entravant l'évaporation de la sueur (tenues professionnelles, combinaisons, tenues de protection) ;

Autres circonstances aggravantes :

- des températures nocturnes élevées sur une période de plusieurs jours (mauvaise récupération des travailleurs pendant leur temps de repos).

Risques liés aux équipements de travail

Définition : « ce sont principalement des phénomènes dangereux qui peuvent être à l'origine de blessures (écrasements, coupures, perforations...) par l'action mécanique d'éléments de machines, d'outils, de pièces, de charges, de projection de matériaux solides ou de fluides ».

Ces équipements peuvent présenter d'autres risques liés aux énergies, températures élevées, rayonnements, bruits, émission de substances dangereuses, etc. Ces risques sont traités dans les autres fiches. (INRS 2013).

Variables et indices climatiques / environnementaux modifiés par le changement climatique

Les indices climatiques pour lesquels les évolutions attendues connues tendent à accroître ce risque sont essentiellement liés à une augmentation des températures :

- augmentation de la fréquence, de la durée et/ou de l'intensité des vagues de chaleur ;
- augmentation des températures extrêmes chaudes ;
- augmentation des températures nocturnes élevées.

Description du processus de l'impact sanitaire

D'une part, l'augmentation du nombre, de la durée et de l'intensité des vagues de chaleur impacte le bilan thermique du travailleur et risque d'entraîner une élévation de sa température centrale. Parmi les effets possibles de cette élévation (cf. 4.2.1.1), plusieurs sont susceptibles d'accroître le risque de trébuchement pour les travailleurs exposés à ces conditions environnementales (extérieur ou intérieur) :

- les effets neuropsychologiques, via une baisse de vigilance ;
- les divers effets physiologiques, notamment l'apparition de crampes et de malaises ;
- sommeil de moins bonne qualité et absence de récupération nocturne.

Ces effets sont principalement attendus durant la phase d'acclimatement (voir section 4.2.1.1.4). Ainsi, le risque est plus élevé au cours de la première semaine d'une vague de chaleur (Xiang, Peng, *et al.* 2014b).

Circonstances d'exposition nécessaires

Sont concernés les secteurs d'activité mettant en jeu l'action mécanique d'éléments de machines, d'outils, de pièces, de projection de matériaux solides ou liquides.

Exemples de circonstances d'exposition secondaires aggravantes

Circonstances pouvant être limitées par des mesures de prévention dans l'entreprise :

- plusieurs paramètres influencent le bilan thermique et sont susceptibles d'accroître les effets de l'augmentation de température (cf. § 4.2.1.1.1) : l'humidité relative, la convection de l'air et le rayonnement infrarouge :
 - o plus l'humidité relative de l'atmosphère de travail sera élevée, plus les effets de la température seront accentués ;
 - o moins la convection de l'air de l'atmosphère de travail est importante, plus les effets de la température seront accentués ;

- o plus l'intensité du rayonnement infrarouge auquel est exposé le travailleur augmente (notamment *via* le rayonnement solaire), plus les effets de la température seront accentués.
- les travailleurs directement exposés aux ambiances thermiques chaudes et/ou dont l'activité implique des efforts physiques intenses seront plus particulièrement exposés à ce sur-risque (*cf.* fiche risques liés aux ambiances thermiques).
- une organisation du travail inadaptée à une évolution climatique (ex : maintenir des horaires de travail durant les heures les plus chaudes de la journée, conditions de pause inadaptées, travail au contact de surfaces chaudes) ;
- le port de tenues vestimentaires obligatoires entravant l'évaporation de la sueur (tenues professionnelles, combinaisons, tenues de protection) ;

Autres circonstances aggravantes :

- des températures nocturnes élevées sur une période de plusieurs jours (mauvaise récupération des travailleurs pendant leur temps de repos).

Risques liés à l'électricité

Définition : « ce sont des risques d'accidents (brûlures, électrisation, électrocution) consécutifs à un contact avec un conducteur électrique ou une partie métallique sous tension (le retour se faisant par la terre ou par un élément relié à la terre ou en contact avec le sol), ou avec deux conducteurs avec des potentiels différents. Ces risques sont présents dans toutes les entreprises » (INRS 2013).

Variables et indices climatiques / environnementaux modifiés par le changement climatique

Les indices climatiques pour lesquels les évolutions attendues connues tendent à accroître ce risque sont essentiellement liés à une augmentation des températures :

- augmentation de la fréquence, de la durée et/ou de l'intensité des vagues de chaleur ;
- augmentation des températures extrêmes chaudes ;
- augmentation des températures nocturnes élevées.

Les études actuelles ne permettent pas de mettre en évidence une tendance sur l'évolution de la survenue d'aléas de type précipitations intenses (voir la fiche aléas climatiques), susceptibles d'accroître les risques liés aux effondrements et aux chutes d'objets. Cependant, compte-tenu de son impact possible, il est important de garder une veille sur les travaux futurs dans ce domaine.

Description du processus de l'impact sanitaire

D'une part, l'augmentation du nombre, de la durée et de l'intensité des vagues de chaleur impacte le bilan thermique du travailleur et risque d'entraîner une élévation de sa température centrale. Parmi les effets possibles de cette élévation (cf. 4.2.1.1), plusieurs sont susceptibles d'accroître le risque de trébuchement pour les travailleurs exposés à ces conditions environnementales (extérieur ou intérieur) :

- les effets neuropsychologiques, via une baisse de vigilance ;
- les divers effets physiologiques, notamment l'apparition de crampes et de malaises ;
- sommeil de moins bonne qualité et absence de récupération nocturne.

Ces effets sont principalement attendus durant la phase d'acclimatement (cf. section 4.2.1.1.4). Ainsi, le risque est plus élevé au cours de la première semaine d'une vague de chaleur (Xiang, Peng, *et al.* 2014b).

Les risques liés aux aléas sont regroupés sur la fiche aléas climatiques (cf. Annexe 2 « Risques spécifiques liés aux aléas climatiques »).

Circonstances d'exposition nécessaires

Sont principalement concernés, tout type d'activité en présence d'électricité est concerné.

Exemples de circonstances d'exposition secondaires aggravantes

Circonstances pouvant être limitées par des mesures de prévention dans l'entreprise :

- plusieurs paramètres influencent le bilan thermique et sont susceptibles d'accroître les effets de l'augmentation de température (cf. § 4.2.1.1.1) : l'humidité relative, la convection de l'air et le rayonnement infrarouge :

- o plus l'humidité relative de l'atmosphère de travail sera élevée, plus les effets de la température seront accentués ;
 - o moins la convection de l'air de l'atmosphère de travail est importante, plus les effets de la température seront accentués ;
 - o plus l'intensité du rayonnement infrarouge auquel est exposé le travailleur augmente (notamment *via* le rayonnement solaire), plus les effets de la température seront accentués.
- Les travailleurs directement exposés aux ambiances thermiques chaudes et/ou dont l'activité implique des efforts physiques intenses seront plus particulièrement exposés à ce sur-risque (*cf.* fiche risques liés aux ambiances thermiques).
 - une organisation du travail inadaptée à une évolution climatique (ex : maintenir des horaires de travail durant les heures les plus chaudes de la journée, conditions de pause inadaptées, travail au contact de surfaces chaudes) ;
 - le port de tenues vestimentaires obligatoires entravant l'évaporation de la sueur (tenues professionnelles, combinaisons, tenues de protection) ;

Autres circonstances aggravantes :

- des températures nocturnes élevées sur une période de plusieurs jours (mauvaise récupération des travailleurs pendant leur temps de repos).

Risques d'incendie, d'explosion

Définition : concernant les incendies et explosions dans les entreprises, ils peuvent être d'origine endogène (explosions de matières ou feu au sein de l'entreprise) ou exogène (entreprises en limite de zone boisée, par exemple).

« Ce sont des risques d'accident (brûlures, blessures, intoxication...) consécutifs à un incendie ou une explosion. Ce sont des risques présents dans toutes les entreprises et dont les conséquences peuvent être graves tant pour les salariés que pour les installations » (INRS 2013).

Variables et indices climatiques / environnementaux modifiés par le changement climatique

Les indices climatiques pour lesquels les évolutions attendues connues tendent à accroître ce risque sont essentiellement liés à une augmentation des températures :

- augmentation de la fréquence, de la durée et/ou de l'intensité des vagues de chaleur ;
- augmentation des températures moyennes ($T_{\min}$ et $T_{\max}$) et extrêmes chaudes ;
- augmentation des phases de sécheresse estivale (région méditerranéenne) ;
- augmentation de l'indice forêt météo.

Description du processus de l'impact sanitaire

Parmi les effets possibles liés à ces modifications de conditions climatiques, on distingue pour le risque incendie et explosion :

- le risque d'explosion physique : l'introduction d'énergie dans un récipient fermé *via* un échauffement lié à l'augmentation de température ambiante peut entraîner un dépassement de la pression admissible par le récipient qui va éclater ;
- le risque d'explosion chimique et d'incendie : ce type de risque s'accroît avec l'augmentation des températures ambiantes qui auront pour effet ;
- le rapprochement des températures ambiantes des températures minimales d'inflammation et/ou d'explosion ;
- l'accélération des phénomènes de dégradation de produits chimiques ;
- l'augmentation de l'évaporation des substances inflammables.

En lien avec ce dernier point, les COV dégagés lors des incendies de forêts, particulièrement de résineux (cf. 2.3.2), accroissent sensiblement les risques pour les pompiers en intervention, par un phénomène dit d'embrasement généralisé éclair (EGE) (Courty 2012).

L'augmentation du nombre, de la durée et de l'intensité des vagues de chaleur impacte également le bilan thermique du travailleur et risque d'entraîner une élévation de sa température centrale. Parmi les effets possibles de cette élévation (cf. 4.2.1.1), la baisse de vigilance (effet neuropsychologique) sera susceptible d'accroître ce risque d'incendie explosion. Ce dernier effet est principalement attendu durant la phase d'acclimatement (Exemple : risque plus élevé au cours de la première semaine d'une vague de chaleur).

Circonstances d'exposition nécessaires

Sont principalement concernés les secteurs d'activité en présence de matières explosives (production, utilisation ou stockage de gaz, liquides ou poussières inflammables dégageant des gaz, vapeurs, brouillards ou poussières susceptibles de former un mélange explosible avec l'air).

Ex : Travailleurs de l'industrie chimique, secteur pétrolier, etc.

Exemples de circonstances d'exposition secondaires aggravantes

Circonstances pouvant être limitées par des mesures de prévention dans l'entreprise :

- plusieurs paramètres influencent le bilan thermique et sont susceptibles d'accroître les effets de l'augmentation de température (cf. § 4.2.1.1.1) : l'humidité relative, la convection de l'air et le rayonnement infrarouge :
 - o plus l'humidité relative de l'atmosphère de travail sera élevée, plus les effets de la température seront accentués ;
 - o moins la convection de l'air de l'atmosphère de travail est importante, plus les effets de la température seront accentués ;
 - o plus l'intensité du rayonnement infrarouge auquel est exposé le travailleur augmente (notamment *via* le rayonnement solaire), plus les effets de la température seront accentués.
- les travailleurs directement exposés aux ambiances thermiques chaudes et/ou dont l'activité implique des efforts physiques intenses seront plus particulièrement exposés à ce sur-risque (cf. fiche risques liés aux ambiances thermiques).
- une organisation du travail inadaptée à une évolution climatique (ex : maintenir des horaires de travail durant les heures les plus chaudes de la journée, conditions de pause inadaptées, travail au contact de surfaces chaudes) ;
- hydratation insuffisante ;
- le port de tenues vestimentaires obligatoires entravant l'évaporation de la sueur (tenues professionnelles, combinaisons, tenues de protection) ;

Autres circonstances aggravantes :

- des températures nocturnes élevées sur une période de plusieurs jours (mauvaise récupération des travailleurs pendant leur temps de repos) ;
- sensibilité plus importance des essences forestières, suite à un dépérissement lié au changement climatique et donc à une quantité de bois mort plus grande / modification de la végétation (Méditerranéisation) conduisant à des végétations plus inflammables.

Risques liés aux produits, aux émissions et aux déchets

Définition : « ce sont des risques d'intoxication, d'allergie, de brûlure... par inhalation, ingestion ou contact cutané de produits mis en œuvre ou émis sous forme de gaz, de particules solides ou liquides » (INRS 2013).

Variables et indices climatiques / environnementaux modifiés par le changement climatique

Les indices climatiques pour lesquels les évolutions attendues connues tendent à accroître ce risque sont essentiellement liés à une augmentation des températures :

- augmentation de la fréquence, de la durée et/ou de l'intensité des vagues de chaleur ;
- augmentation des températures extrêmes chaudes ;
- augmentation des températures nocturnes élevées.

Description du processus de l'impact sanitaire

Plusieurs processus sont à distinguer :

- l'augmentation des températures est susceptible d'accroître :
 - o le risque d'intoxication chimique ou réaction allergique par inhalation de produits chimiques. Une exposition à la température ambiante élevée favorise l'augmentation de l'évaporation des substances chimiques volatiles et pas voie de conséquence des niveaux d'exposition à ces substances par voie respiratoire. De plus, les quantités de substances absorbées par les voies pulmonaires lors du travail en ambiance thermique chaude peuvent être accrues de façon significative du fait de l'augmentation de la ventilation pulmonaire (cf. § 4.2.1) ;
 - o le risque d'intoxication chimique ou réaction allergique par contact cutané, la hausse du débit sanguin cutané et de la sécrétion de sueur, liées à une température ambiante élevée, peuvent favoriser l'absorption percutanée des substances chimiques comme les pesticides (cf. § 4.2.1). L'importance de cette augmentation est fonction des propriétés physico-chimiques de la substance, de la surface exposée et de l'intensité du stress thermique (IRSST 2013, Leon 2008). Cette situation est susceptible de toucher davantage les substances pour lesquelles la voie cutanée contribue déjà à l'exposition globale des travailleurs en ambiance thermique neutre (IRSST 2013). Les substances chimiques pour lesquelles les valeurs limites d'exposition sont accompagnées de la notation « peau » ou « percutanée » sont à prioriser à l'égard de cette problématique puisqu'elles sont reconnues comme traversant facilement la peau (IRSST 2013).
- l'augmentation des fréquences, de l'intensité et/ou de la durée des épisodes de sécheresses agricoles est susceptible d'augmenter le risque d'intoxication chimique ou réaction allergique par inhalation de particules. Si les sécheresses sont plus longues et plus intenses, les concentrations atmosphériques de poussières pourraient connaître une hausse à cause de l'érosion des sols par le vent. Ces hausses des concentrations de poussières pourraient entraîner une augmentation des problèmes respiratoires. La relation entre l'exposition à la poussière lors de sécheresse et les problèmes respiratoires a été documentée à plusieurs reprises (OMS 2016, Longueville *et al.* 2013). La toxicité des poussières peut varier selon les propriétés physico-chimiques des substances qui les constituent et selon la taille des particules.

- l'augmentation du nombre, de la durée et de l'intensité des vagues de chaleur impacte le bilan thermique du travailleur et risque d'entraîner une élévation de sa température centrale. Les effets neuropsychologiques, *via* une baisse de vigilance sont susceptibles d'accroître le risque d'accident avec des produits chimiques. Ces effets sont principalement attendus durant la phase d'acclimatement (voir section 4.2.1.1.4). Ainsi, le risque est plus élevé au cours de la première semaine d'une vague de chaleur (Xiang, Peng, *et al.* 2014b).

Circonstances d'exposition nécessaires

Le risque d'intoxication chimique ou réaction allergique (par voie respiratoire) associé à l'augmentation des températures concerne les travailleurs qui sont exposés à des substances toxiques volatiles. La présence de ces substances volatiles peut de surcroît faire courir un risque d'explosion aux travailleurs.

Le risque d'intoxication chimique ou réaction allergique (par contact cutané) associé à l'augmentation des températures concerne les travailleurs qui sont exposés à des substances pour lesquelles la voie cutanée contribue déjà à leur exposition globale.

Les secteurs de la fabrication des produits minéraux non métalliques, de la première transformation des métaux, de la fabrication de produits métalliques font parties de ceux où l'exposition simultanée aux contraintes thermiques et aux substances chimiques a été jugée très importante (IRSST 2013)⁸⁹.

Le risque d'intoxication chimique ou réaction allergique associé à l'augmentation des sécheresses agricoles concernent spécifiquement tous les métiers où le travailleur est susceptible d'être exposé par inhalation à des poussières extérieures.

Exemples de circonstances d'exposition secondaires aggravantes

Circonstances pouvant être limitées par des mesures de prévention dans l'entreprise :

- plusieurs paramètres influencent le bilan thermique et sont susceptibles d'accroître les effets de l'augmentation de température (cf. § 4.2.1.1.1) : l'humidité relative, la convection de l'air et le rayonnement infrarouge :
 - o plus l'humidité relative de l'atmosphère de travail sera élevée, plus les effets de la température seront accentués ;
 - o moins la convection de l'air de l'atmosphère de travail est importante, plus les effets de la température seront accentués ;

⁸⁹ Une évaluation de risque réalisée en 2013 par l'IRSST a permis d'identifier des emplois où les travailleurs pouvaient être potentiellement exposés de façon concomitante aux contraintes thermiques et aux substances chimiques. Dans cette étude, 136 emplois ont été évalués par un groupe d'experts. Les secteurs de la fabrication des produits minéraux non métalliques, de la première transformation des métaux et de la fabrication de produits métalliques, sont ceux où l'exposition concomitante a été jugée la plus importante et les emplois les plus à risque étaient les suivants : couleur d'or, couvreur de toiture, couleur, fondeur, aide-forgeur, pompier, manœuvre en traitement des métaux, manœuvre dans les fours à cuisson, aide opérateur de four en fusion, manœuvre en fonderie, aide mouleur, mouleur, préposé au four, opérateur de four en céramique, opérateur de four à briques, opérateur de machines à fabriquer le métal, opérateur de fournaise, trempier d'acier, extruseur, opérateur de four à fusion, opérateur d'une machine à couler sous pression, chaudronnier.

o plus l'intensité du rayonnement infrarouge auquel est exposé le travailleur augmente (notamment *via* le rayonnement solaire), plus les effets de la température seront accentués.

- activité physique (charge de travail) contribue à augmenter le débit ventilatoire, mais également la température corporelle, ce qui augmente les mécanismes de thermorégulation ;
- les travailleurs directement exposés aux ambiances thermiques chaudes et/ou dont l'activité implique des efforts physiques intenses seront plus particulièrement exposés à ce sur-risque (*cf.* fiche risques liés aux ambiances thermiques) ;
- travail en milieu clos, voire confiné ;
- une organisation du travail inadaptée à une évolution climatique (ex : maintenir des horaires de travail durant les heures les plus chaudes de la journée, conditions de pause inadaptées, travail au contact de surfaces chaudes) ;
- le port de tenues vestimentaires obligatoires entravant l'évaporation de la sueur (tenues professionnelles, combinaisons, tenues de protection) ;

Autres circonstances aggravantes :

- des températures nocturnes élevées sur une période de plusieurs jours (mauvaise récupération des travailleurs pendant leur temps de repos).

Risques liés aux rayonnements

Définition : « ce sont des risques d'accidents ou d'atteinte à la santé aux conséquences plus ou moins graves selon les rayonnements qui peuvent être émis par certains appareils ou provenir spontanément de matériaux » (INRS 2013).

On distingue classiquement deux catégories de sources de rayonnements ultra-violets (UV) :

- les rayonnements artificiels : ionisants (sources radioactives, générateurs de rayons X, etc.), optiques (UV, laser, halogènes, LED, etc.), électromagnétiques (réseaux électriques, radiocommunications, machines utilisant les basses ou les hautes fréquences (micro-ondes, presses à souder, etc.) ;
- les rayonnements d'origine naturelle : rayonnement solaire, matières radioactives (en particulier le radon).
- les rayonnements susceptibles d'être influencés par le changement climatique sont les rayonnements ultra-violet émis par le soleil et parvenant à la surface du sol.

Variables et indices climatiques / environnementaux modifiés par le changement climatique

Les prévisions climatiques actuelles :

- ne prévoient pas d'évolution notable des expositions aux UV solaires liées au trou d'ozone sur le cours des 5 prochaines années ;
- et indiquent une tendance à une atténuation de ces expositions à plus long terme (à l'horizon 2050).

Néanmoins, des situations particulières sont à surveiller :

- augmentation éventuelle du nombre de journées de plein soleil au printemps et en été avec exposition accrue aux UV (hausse de l'insolation en saison estivale) ;
- augmentation des expositions aux UV-B en montagne : on peut craindre une exposition sensiblement plus forte en montagne l'hiver pour certains travailleurs du fait du réchauffement climatique, dans l'hypothèse raisonnable d'une élévation de l'altitude des stations de ski (en quête de pentes plus longtemps et plus fréquemment enneigées). On sait que l'index UV augmente avec l'altitude (de 10 % environ entre 1 000 et 2 000 mètres d'altitude).

Description du processus de l'impact sanitaire

En l'absence d'évolution notable des quantités de rayonnements UV arrivant au niveau du sol, le changement climatique ne devrait pas avoir d'influence directe sur le risque UV pour les travailleurs, compte tenu de leurs comportements d'exposition actuels.

Cependant, leur exposition aux UV naturel pourrait être accrue, au printemps et en été, ou en montagne, en raison de comportements d'adaptation aux températures plus douces.

Circonstances d'exposition nécessaires

Activités pour lesquelles les travailleurs sont exposés au soleil.

Devraient tendre à diminuer à l'avenir pour la population générale et pour la majorité des travailleurs. Néanmoins des situations à fort risque devraient subsister dans certains milieux où les circonstances professionnelles rendent les expositions aux rayonnements UVB plus fréquentes

et/ou plus intenses. Il s'agit notamment de métiers exerçant en extérieur (environ 10 % de la population active) :

- du tourisme surtout en été (et au printemps) ;
- de la pêche (printemps, été) ;
- de l'agriculture (printemps, été) ;
- de la montagne (accompagnateurs et moniteurs en hiver à la neige et en été, notamment sur plans d'eau réfléchissants) ;
- ou encore les métiers du bâtiment ;
- autres métiers en extérieur (parcs et jardins, agents de la circulation, restauration, moniteurs sportifs, etc.) ;
- possibles périodes d'accentuation passagère du risque en lien avec des situations météorologiques particulières du début du printemps.

Cependant, l'augmentation des températures moyennes est susceptible de repousser les zones enneigées à des altitudes toujours plus hautes. Ainsi, les activités liées aux sports d'hiver pourraient être pratiquées à des altitudes croissantes, avec, une exposition aux UV B des professions concernées de plus en plus importante. Ce scénario reste encore hypothétique. Ainsi, à l'horizon temporel de cette saisine, des augmentations de ce risque ne peuvent pas être écartées du fait de changements de pratiques ou de comportement.

Exemples de circonstances d'exposition secondaires aggravantes

Circonstances pouvant être limitées par des mesures de prévention dans l'entreprise :

- ambiance thermique de travail chaude, incitant les travailleurs à se découvrir ;
- une organisation du travail inadaptée à une évolution climatique (ex : maintenir des horaires de travail durant les heures les plus exposées aux UV durant la journée) ;
- le port de tenues vestimentaires peu couvrants, inadaptées pour certains métiers en extérieur (notamment en cas de fortes chaleurs pour lesquels on peut craindre un habillement plus souvent « peu couvrant »).

Autres circonstances aggravantes :

- réverbération sur l'eau ou la neige ;
- exposition à des altitudes élevées, auxquelles les UVB sont moins filtrés par l'atmosphère moins épaisse.

Risques liés aux agents biologiques

- **Définition** : « ce sont les risques d'infection, d'allergie ou d'intoxication liés à la présence de micro-organismes sur les lieux de travail. La transmission peut se faire par voie respiratoire, par contact, par ingestion ou par pénétration suite à une lésion. Ce sont des risques qui peuvent avoir des conséquences graves dans certaines professions » (INRS 2013).

Variables et indices climatiques / environnementaux modifiés par le changement climatique

Pour qu'il y ait des risques biologiques sur un lieu de travail, il faut qu'une chaîne épidémiologie puisse être présente. Le changement climatique pourrait intervenir sur le maillon « réservoir » et sur le maillon « transmission par vecteur » du fait des indices météorologiques et facteurs environnementaux associés suivants :

- augmentation de la température moyenne pour chacune des saisons ;
- diminution de la fréquence et/ou de l'intensité des périodes de vagues de froid ;
- augmentation de la fréquence, de la durée et/ou de l'intensité des vagues de chaleur ;
- allongement de la durée de la fenêtre d'exposition aux pollens.

Description du processus de l'impact sanitaire

Risques infectieux (cf. 4.2.3.1)

Une élévation des températures moyennes, la diminution du nombre de jours de gel, et des températures hivernales moins basses pourraient provoquer (cf. 4.2.3) :

- une augmentation ou une diminution du risque infectieux à transmission respiratoire, digestive ou cutanée ;
- une extension de la répartition des vecteurs déjà présents ainsi que l'installation ou la pérennisation de nouveaux vecteurs, en particulier les tiques (risque de maladie de Lyme) et les moustiques (risque de dengue, chikungunya, *West Nile*, paludisme etc.) ;
- une modification des risques actuels de zoonoses (migrations hivernales modifiées, accroissement des surfaces forestières et multiplication du gros gibier, etc.).

Par ailleurs, certains risques infectieux (en particulier, la tuberculose, le choléra et certaines parasitoses), pourraient être accentués par l'arrivée de migrants climatiques sans compter les troubles sociaux éventuels associés.

Risques immuno-allergiques (cf. 4.2.3.2)

Les modifications climatiques pourraient provoquer l'introduction de nouvelles plantes favorisant les allergies ou le changement de production de certains allergènes par ces plantes.

Risques toxiniques ou toxiques (cf. § 4.2.3.3)

Ce risque, liés à la production de toxines par des bactéries Gram négatif (endotoxines) ou par des moisissures en tant que métabolites secondaires (mycotoxines) pourrait être modifié par le changement climatique, même si l'état des connaissances permet difficilement de prévoir ces modifications. À titre d'exemple, la présence en quantité notable d'aflatoxines, en tant que

contaminants des récoltes, pourrait devenir un souci en matière de risques professionnels puisqu'elles peuvent pénétrer par voie respiratoire et cutanée.

Circonstances d'exposition nécessaires

L'exposition professionnelle à des risques biologiques se rencontre, essentiellement mais non exclusivement, dans les métiers relevant des secteurs professionnels suivants :

Risques infectieux

- travail en contact avec des personnes (personnels soignants, métiers de la petite enfance, services à la personne, services sociaux, administration des douanes, police et personnel pénitentiaire, etc.) ;
- travail en contact d'animaux vivants ou morts (éleveurs d'animaux de rente et d'animaux de compagnie, personnels des cliniques vétérinaires, zoos, parcs animaliers...), ou de produits d'origine animale (industrie agroalimentaire, collecte et traitement des déchets, etc.) ;
- travail de laboratoire sur des microorganismes ou sur des produits (sang, urines, fèces, tissus...) d'origine humaine ou animale pouvant en contenir ;
- travail en milieu naturel et/ou métiers de l'environnement tels qu'agriculteurs, céréaliers, maraîchers, forestiers, paysagistes, entretien des rivières, canaux et fossés ;
- collecte et traitement des déchets et des eaux usées ;
- etc.

Risques immunoallergiques et toxiques

- travail en milieu naturel et/ou métiers de l'environnement comme pour les agriculteurs, céréaliers, forestiers, pour l'entretien des rivières, canaux et fossés, etc.
- récolte, stockage, transport et transformation de céréales contaminées
- récolte, stockage, transport et transformation des fibres végétales (exposition aux poussières de lin, coton, chanvre et jute) ;
- travail en meunerie et boulangerie ;
- travail en animalerie et laboratoires utilisant des animaux (exposition à des poils, phanères, squames, acariens, protéines, etc.) ;
- etc.

Exemples de circonstances d'exposition secondaires aggravantes

Circonstances pouvant être limitées par des mesures de prévention dans l'entreprise :

- non-respect des bonnes pratiques de sécurité vis-à-vis des risques biologiques (procédures, tenues vestimentaires, etc.) ;
- non prise en compte d'éventuels nouveaux risques biologiques dans pour faire évoluer les pratiques de sécurité.

Autres circonstances aggravantes :

- invasions par des plantes à fort potentiel allergisant ;
- introduction et pérennisation de nouveaux ravageurs des cultures ;

- introduction et installation de nouveaux vecteurs de maladies transmissibles (maladies humaines et zoonoses) ;
- augmentation des périodes de sécheresse agricole en France ;
- déplacement de population / migrants climatiques (Hausse du niveau de la mer loin de la France, sécheresses, etc.).
- certains aléas climatiques (tempêtes, inondations, submersion, etc.) pourraient contribuer à la diffusion de certains pathogènes (agent du choléra, de la leptospirose, etc.). Voir la fiche aléas.

Risques spécifiques liés aux aléas climatiques

Définition :

À la différence des risques faisant l'objet des 15 fiches précédentes, les risques liés aux aléas climatiques ne font pas l'objet d'une définition de l'INRS. Néanmoins le groupe de travail a identifié ces risques professionnels liés aux aléas climatiques comme une catégorie de risques spécifiques pertinente à prendre en compte dans le cadre de la présente expertise.

Ces risques liés aux aléas climatiques sont associés à des indices climatiques dont les tendances sont connues à l'horizon de 5 ans et de 2050 (cf. 2.2.3). Les aléas climatiques auront des effets communautaires avant tout, mais ils vont également faire augmenter certains risques professionnels précédemment évoqués, spécifiquement pour certains professionnels amenés à intervenir de manière plus intense en cas d'aléas climatique.

Variables et indices climatiques / environnementaux modifiés par le changement climatique

Les indices qui permettent de mesurer les aléas climatiques ont des tendances identiques à 5 ans et à l'horizon de 2050.

1. Risques de précipitations intenses

Tendances générale à l'augmentation de la quantité de pluie tombant au cours des épisodes les plus extrêmes, même si les évolutions attendues sont très variables géographiquement. Les pluies extrêmes très variables géographiquement.

2. Risque de vent violent

Les études actuelles ne permettent pas de mettre en évidence une tendance notable sur l'évolution du « risque de vent violent » en nombre et en intensité, qui inclue les tempêtes mais aussi des vents violents associés à des événements météorologiques dont on ne sait pas calculer l'évolution comme les mini-tornades et les orages. Dans le cas des cyclones, à l'horizon 2050, le Giec n'accorde qu'une faible confiance à une possible intensification de l'activité cyclonique même si quelques études vont en ce sens.

3. Risques d'inondation et de submersion

L'augmentation du risque de submersion dans les régions côtières est attendue mais reste limitée à l'horizon 2050. Le risque de crues ne présente pas de tendance marquée, mais le cas des crues éclair des régions méditerranéennes reste à préciser.

4. Risque de sécheresse

Les évolutions attendues vont dans le sens de sécheresses agricoles (définies par un déficit d'humidité du sol superficiel) plus longues et plus intenses.

5. Risque d'incendie

Combiné avec l'augmentation du risque de fortes chaleurs, l'augmentation du risque de sécheresse est un des facteurs principaux d'augmentation du risque de feux de forêts, avec une majoration du risque d'incendie pour les entreprises installées en zone sensible.

- En lien avec ce dernier point, les COV dégagés lors des incendies de forêts, particulièrement de résineux, accroissent sensiblement les risques pour les pompiers en intervention, par un phénomène dit d'embrasement généralisé éclair (EGE) (Courty 2012).

Description des processus de l'impact sanitaire

Les mécanismes principaux conduisant des populations de professionnels à développer des pathologies ou à être victime d'accidents à la suite d'aléas climatiques sont :

- l'interruption de la production (interruption de circulation avec défaut d'approvisionnement ou impossibilité d'expédier, interruption de la fourniture d'énergie, destruction du stockage...) provoquée par un aléa climatique, notamment en raison de la perte des outils de production (dégâts des eaux, incendie, chute de toiture, destruction des machines, etc.), peut entraîner des périodes de chômage ou des pertes d'emplois. Ces conséquences des aléas climatiques peuvent ainsi se répercuter sur les professionnels en entraînant notamment des problèmes psychosociaux ;
- la répétition des épisodes d'aléas climatiques dans le temps peut être à l'origine de fatigues/épuisements physiques et psychiques pour tous les professionnels concernés avec notamment une augmentation des risques accidentels ;
- par ailleurs, la répétition dans le temps des épisodes d'aléas climatique peut provoquer des fatigues, voire des épuisements physiques et psychiques des équipes de secours ou des équipes de remise en état (restauration des réseaux, etc.), du fait de la multiplication des besoins dans des temps limité et de l'insuffisance des équipes.

Circonstances d'exposition nécessaires

- l'ensemble des professionnels des entreprises ou structures professionnelles touchées par un aléa climatique fort ;
- professionnels du secours incendie et bénévoles ou équipes de secours interne à l'entreprise ;
- professionnels des secours à la personne, et bénévoles équipes de secours interne à l'entreprise ;
- professionnels de la remise en état des réseaux d'énergie, d'eau destinée à la consommation humaine, des eaux usées, des surfaces routières.

Exemples de circonstances d'exposition secondaires aggravantes

Circonstances pouvant être limitées par des mesures de prévention dans l'entreprise :

- construction de locaux inadaptés en zone inondable, y compris sur le littoral ;
- aménagements « paysagers » inadaptés des zones artisanales ou autour des entreprises ;

Autres circonstances aggravantes :

- urbanisation du littoral, imperméabilisation des sols ;
- augmentation des surfaces forestières et augmentation des interfaces habitat-forêt ;
- « méditerranéisation » de la végétation conduisant à l'installation d'une végétation plus inflammable aux abords de l'entreprise ;
- dépérissement de la végétation lié au changement climatique et donc présence d'une biomasse facilement inflammable ;
- augmentation de l'inaccessibilité de certaines zones forestières rendant plus difficile le contrôle d'un départ de feu.

Annexe 3 : Accident du travail et maladie professionnelle

Selon le site internet de la Cnamts www.ameli.fr, dans la rubrique « Travail, mission, trajet : les accidents indemnisés » (mise à jour le 19 mai 2015) conformément à l'article L 411-1 du Code de la sécurité sociale, dès lors qu'il survient dans le cadre de l'activité professionnelle, un accident peut être considéré comme un accident du travail.

Selon le Code de la Sécurité sociale « est considéré comme accident du travail, quelle qu'en soit la cause, l'accident survenu par le fait ou à l'occasion du travail, à toute personne salariée ou travaillant à quelque titre que ce soit, pour un ou plusieurs employeurs ou chefs d'entreprise ». Pour être reconnu comme tel, il doit donc constituer un « fait accidentel », pouvant être daté avec précision, à l'origine d'une lésion corporelle ou psychique, et au moment duquel il existait un lien de subordination entre la victime et son employeur.

L'accident sur le lieu de travail

Lorsqu'un salarié prouve que les faits sont survenus au cours de son activité professionnelle, sur son lieu de travail, ceux-ci sont présumés être un accident du travail. La charge de la preuve inverse revient à la caisse d'Assurance Maladie et à l'employeur. À eux de démontrer, le cas échéant, que l'accident a une origine totalement étrangère au travail ou que la victime n'était pas sous l'autorité de l'employeur.

Lorsque l'accident est survenu hors du temps du travail, c'est à la victime d'établir le lien entre le fait accidentel et la lésion subie car il y a absence de présomption d'imputabilité.

L'accident de trajet

Est reconnu comme accident de trajet celui qui survient pendant le trajet aller-retour :

- entre le lieu de travail et le lieu de résidence principale (ou une résidence secondaire stable, ou encore un lieu où le salarié se rend de façon habituelle pour des motifs d'ordre familial) ;
- entre le lieu de travail et le restaurant, la cantine ou tout autre lieu où le salarié prend habituellement ses repas.

Pour être considéré comme un accident de trajet, l'itinéraire doit avoir été le plus direct possible, sauf si un détour a été rendu nécessaire par un covoiturage régulier. Le trajet ne doit pas non plus avoir été interrompu ou détourné pour un motif d'ordre personnel non lié aux nécessités essentielles de la vie courante, ou n'ayant aucun rapport avec le travail du salarié.

L'accident du salarié en mission

S'agissant des salariés en mission, la jurisprudence de la Cour de cassation estime qu'on ne distingue pas entre acte professionnel et acte de la vie courante, « sauf s'il y a la possibilité pour l'employeur ou la caisse d'Assurance Maladie de rapporter la preuve que le salarié avait interrompu sa mission pour un motif personnel ».

Définition d'une maladie professionnelle (Article mis à jour le 10 février 2011)

Ce sont les tableaux des maladies professionnelles qui recensent les affections reconnues comme telles. Mais, sous certaines conditions, des maladies n'y figurant pas peuvent également être prises en charge.

Contrairement à l'accident de travail et à l'accident de trajet, les maladies professionnelles ne font pas l'objet d'une définition légale générale. Ce sont des tableaux spécifiques qui définissent celles qui sont indemnisables et précisent, pour chaque type d'affection, les conditions à remplir (délai de prise en charge, durée d'exposition au risque et liste d'activités concernées).

Pour qu'une affection soit prise en charge, trois conditions doivent être réunies :

- la maladie doit figurer dans un des tableaux ;
- l'intéressé doit apporter la preuve de son exposition au risque ;
- la maladie doit avoir été constatée médicalement dans le délai prévu par les tableaux (le point de départ de celui-ci se situant à la fin de l'exposition au risque).

La maladie n'est pas inscrite aux tableaux des maladies professionnelles

Lorsqu'une maladie ne remplit pas toutes les conditions d'un tableau, voire n'apparaît dans aucun tableau, elle peut néanmoins être reconnue comme maladie professionnelle. C'est un Comité régional de reconnaissance des maladies professionnelles (CRRMP), composé d'experts médicaux, qui statue sur le lien de causalité entre maladie et travail habituel de la victime. Cet avis s'impose à la caisse primaire.

Le dossier, constitué par la caisse d'Assurance Maladie, doit comprendre (entre autres) un avis motivé du médecin du travail de l'entreprise de la victime et un rapport de son employeur permettant d'apprécier les conditions d'exposition au risque professionnel.

Peuvent ainsi être reconnues d'origine professionnelle :

- les maladies désignées dans un tableau de maladies professionnelles mais pour lesquelles une ou plusieurs conditions (tenant au délai de prise en charge, à la durée d'exposition ou à la liste limitative des travaux) ne sont pas remplies, lorsqu'il est établi qu'elles sont directement causées par le travail habituel de la victime ;
- les maladies non désignées dans un tableau de maladies professionnelles lorsqu'il est établi qu'elles sont essentiellement et directement causées par le travail habituel de la victime et qu'elles entraînent une incapacité permanente d'un taux au moins égal à 25 % ou sont à l'origine de son décès.

Annexe 4 : Éléments d'organisation de la santé au travail en France

Les pouvoirs publics se sont intéressés à l'organisation de la santé au travail dès la fin du XIX^e siècle avec le principe de l'indemnisation des accidents du travail (1898) puis au début du XX^e siècle avec la mise en place des premières règles générales de sécurité et d'hygiène industrielle (1913). Viendront ensuite les premiers tableaux de maladies professionnelles (1919), la création des services médicaux et sociaux du travail (1942), la généralisation de la médecine du travail dans l'après-guerre pour tous les travailleurs salariés. La pluridisciplinarité et la transformation des services de médecine du travail en Services de santé au travail (SST) seront instituées au tournant du XXI^e siècle.

Le bilan annuel des conditions de travail, réalisé par le Ministère en charge du travail dresse un état des lieux complet de l'organisation de la santé au travail en France. La Figure 26 reprise et adaptée du bilan des conditions de travail de 2015 présente les différents acteurs institutionnels de la prévention des risques professionnels en France.

Dans le cadre de la présente expertise, afin de s'appuyer sur des termes d'usage et facilement compréhensibles dans le milieu de la santé au travail le groupe de travail a souhaité détailler plus particulièrement l'organisation de la prévention des risques professionnels et du suivi des salariés du régime général, qui représente aujourd'hui la majorité des travailleurs. Sont notamment succinctement décrits :

- le dispositif de prévention des risques professionnels en France ;
- Les grandes orientations de la politique de santé au travail en France ;
- la gestion des risques professionnels ;
- les services de santé au travail en France.

Moyennant quelques adaptations, un grand nombre des dispositions encadrant l'évaluation et la gestion des risques professionnels des salariés du régime général sont applicables au secteur agricole ou au secteur publique. Néanmoins, le groupe de travail a choisi de ne pas les développer dans ce chapitre.

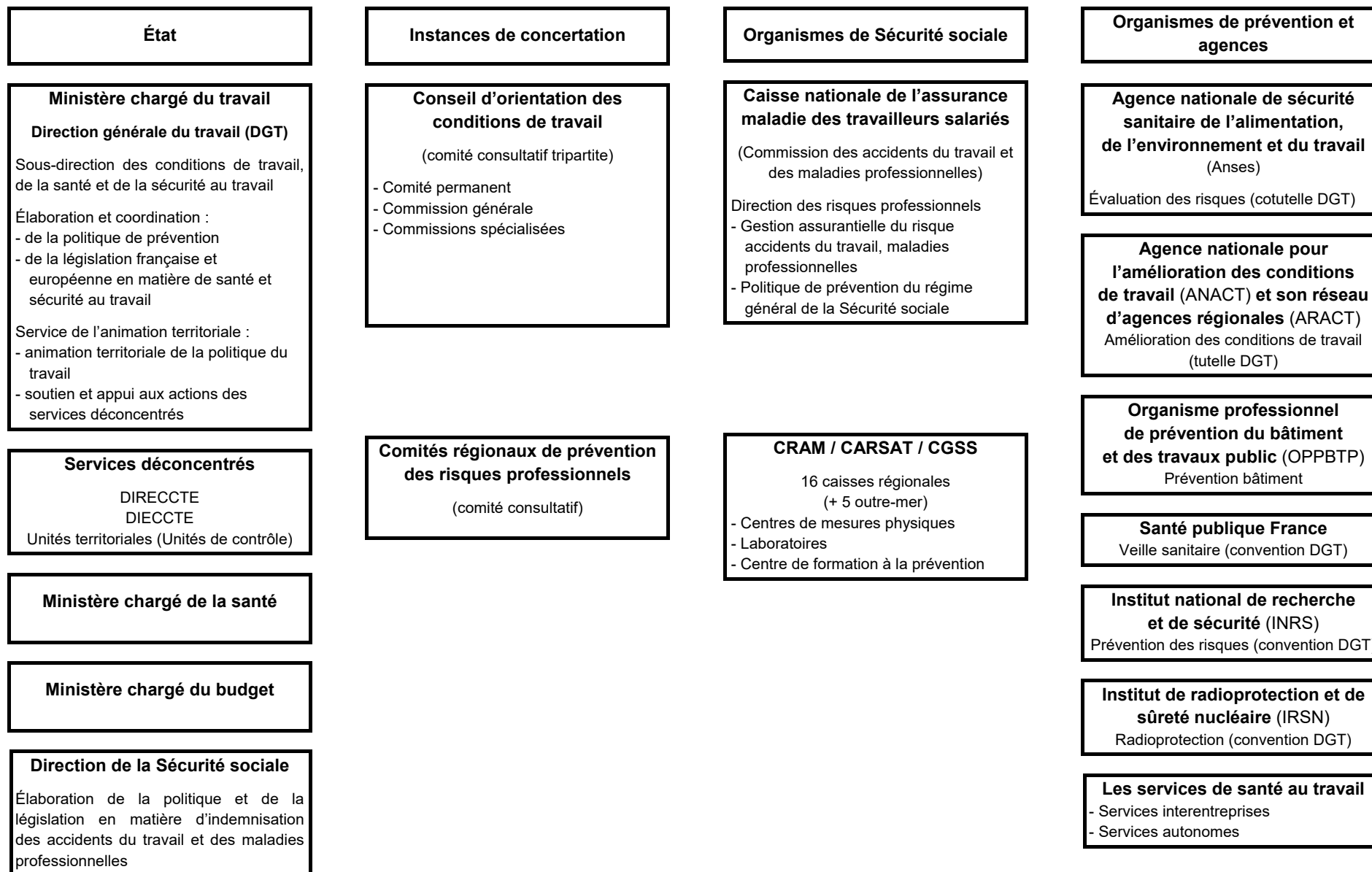


Figure 26 : le système français de prévention des risques professionnels du régime général

Le dispositif de prévention des risques professionnels en France

Le dispositif de prévention des risques professionnels en France est piloté essentiellement, en ce qui concerne les salariés du régime général, par le ministère en charge du travail (Direction générale du travail), qui élabore et met en œuvre la politique publique de prévention de la santé et de la sécurité au travail. L'inspection du travail et les organismes de contrôle de la sécurité sociale contrôlent le respect de l'application des dispositions législatives et réglementaires relatives aux conditions de travail, à la santé et à la sécurité sur les lieux de travail et conseillent les entreprises.

La branche Accidents du travail – Maladies professionnelles de la Caisse nationale de l'assurance maladie des travailleurs salariés (Cnamts), à travers son réseau en régions (Carsat, Cramif, et CGSS)⁹⁰ ou l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) dispose de capacités d'expertise technique mobilisables par les entreprises.

C'est également le cas de l'Anact (Agence nationale pour les conditions de travail) ou d'organismes spécialisés comme l'Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux publics (OPPBTP) qui mettent également leur expertise technique au service des entreprises.

Des agences ou organismes à caractère technique et scientifique apportent leur concours, notamment en matière de connaissance des risques : l'Agence nationale de sécurité sanitaire (Anses), Santé publique France ou l'Institut de radioprotection et sûreté nucléaire (IRSN).

Les grandes orientations de la politique de santé au travail en France

Les orientations de la politique de santé au travail de l'état se matérialisent depuis plusieurs années par l'élaboration de plan pluriannuels (Plan santé au travail) élaboré sur la base d'une concertation entre tous les acteurs de la prévention, départements ministériels et services déconcentrés, organismes de sécurité sociale, de veille et de prévention, acteurs de la prévention et s'appuyant sur des orientations dégagées par les partenaires sociaux, l'état et la sécurité sociale.

Le 3^{ème} Plan santé au travail (PST) 2016-2020, publié en janvier 2016, ne fait aucune mention d'une éventuelle évolution des risques professionnels du fait du changement climatique. (cf.. PST3 http://travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/exe_pst_2016-2020_ok_v7_web.pdf)

La Cnamts met en œuvre la politique de prévention des risques professionnels de la branche concernée.

Les grandes orientations de la Convention d'objectifs et de gestion (COG) retiennent :

- trois risques prioritaires : les troubles musculo-squelettiques, le risque de chute dans les Bâtiments et travaux publics (BTP) et l'exposition à des agents cancérogènes ;
- cinq problématiques : les seniors, les jeunes et nouveaux embauchés, les très petites entreprises (TPE), les entreprises en contact avec l'amiante et les risques psychosociaux.

Les orientations de la COG ont été identifiées à partir d'analyses de sinistralité et de faisabilité des interventions, en lien avec les orientations adoptées par la Commission des accidents du travail/maladies professionnelles (CAT/MP) et les Comités techniques nationaux (CTN). Elles sont déclinées en régions grâce aux Contrats pluriannuels d'objectifs et de moyens (CPOM) des SST ; ce contrat est conclu entre la Direction régionale des entreprises, de la concurrence, de la consommation, du travail et de l'emploi (Direccte), la Carsat et le SST dans le cadre de son

⁹⁰ Carsat : Caisses d'assurance retraite et de la santé au travail (en métropole) et CGSS : Caisses générales de sécurité sociale (dans les DROM-COM).

agrément par les services déconcentrés des ministères. L'objectif affiché de cette déclinaison est d'assurer une meilleure synergie entre les différentes structures régionales intervenant dans les entreprises du régime général de sécurité sociale.

La gestion des risques professionnels

Quelle que soit la taille de l'entreprise, l'employeur est seul responsable de la sécurité et de la santé de ses employés ; il « doit prendre toutes les dispositions nécessaires pour assurer la sécurité et protéger la santé des travailleurs de l'établissement – y compris celle des travailleurs temporaires - sur la base d'une évaluation des risques existants dans son entreprise » (Ministère du travail 2015). Pour cela, il applique les 9 principes généraux de prévention des risques professionnels (cf. Tableau 27).

Tableau 27 : rappel des 9 principes généraux de prévention des risques professionnels

L.4121-2 du Code du travail	
1) Éviter les risques	supprimer le danger ou l'exposition au danger
2) Évaluer les risques	apprécier l'exposition au danger et l'importance du risque afin de prioriser les actions de prévention à mener
3) Combattre les risques à la source	intégrer la prévention le plus en amont possible, notamment dès la conception des lieux de travail, des équipements ou des modes opératoires
4) Adapter le travail à l'Homme	en tenant compte des différences interindividuelles, dans le but de réduire les effets du travail sur la santé
5) Tenir compte de l'évolution de la technique	adapter la prévention aux évolutions techniques et organisationnelles
6) Remplacer ce qui est dangereux par ce qui l'est moins	éviter l'utilisation de procédés ou de produits dangereux lorsqu'un même résultat peut être obtenu avec une méthode présentant des dangers moindres
7) Planifier la prévention	en intégrant technique, organisation et conditions de travail, relations sociales et environnement
8) Donner la priorité aux mesures de protection collective	n'utiliser les équipements de protection individuelle qu'en complément des protections collectives si elles se révèlent insuffisantes
9) Donner les instructions appropriées aux salariés	former et informer les salariés afin qu'ils connaissent les risques

Au terme de cette évaluation de risques, l'employeur est responsable du contenu du document unique faisant état des risques existant dans son entreprise et des mesures de prévention prises ou programmées. Pour la rédaction de ce document, il peut se faire conseiller par l'équipe pluridisciplinaire de son service de santé au travail ou le médecin du travail de son entreprise. Il peut également s'appuyer sur des compétences en gestion des risques professionnels existant à l'intérieur et à l'extérieur de son entreprise :

- à l'intérieur et en fonction de la taille de l'entreprise, la ressource sera très variable, allant du salarié compétent en hygiène et sécurité du travail à une équipe sécurité dont la pluridisciplinarité sera bien évidemment adaptée aux activités de l'entreprise ;
- à l'extérieur de l'entreprise, il est possible de faire appel aux acteurs institutionnels (Carsat et CGSS, Anact, OPPBTP...), à des Intervenants en prévention des risques professionnels (IPRP) ainsi qu'à des organismes privés qualifiés, accrédités ou certifiés (prélèvements, analyses, contrôle des machines, etc.).

Selon la structure-conseil appelée, la prestation sera facturée à l'entreprise ou sans incidence financière en cas d'appel par exemple au service prévention de la Carsat ou à l'IPRP du Service de santé au travail dont relève l'entreprise. La taille de l'entreprise et l'importance des risques attachés à ses activités seront des éléments pris en compte pour prioriser une intervention en entreprise.

En France, en 2011, les microentreprises employant moins de 10 salariés représentaient 94 % des entreprises mais n'employaient que 3 millions de personnes contre 4 millions travaillant dans des Petites et moyennes entreprises (PME). Les Entreprises de taille intermédiaire (ETI) au nombre de 4 959 et les 243 grandes entreprises employaient respectivement 3,4 et 4,5 millions de personnes (cf. Tableau 28) (Insee 2014).

Tableau 28 : les catégories d'entreprises en France en 2011 (d'après Insee focus N°4 – avril 2014)

Type d'entreprise (E)	Nombre de personnes par E	Chiffre d'affaire en millions d'euros	Total de bilan en millions d'euros	Nombre d'E	% du Nombre d'E	Total effectifs en million de personnes
Micro E	< 10	< 2	< 43	3 000 000	94	3
PME	< 250	< 50	< 43	137 534	< 6	4
ETI	< 5 000	< 1 500	< 2 000	4 959	< 1	3,4
Grandes E	Hors classement précédent			243	< 0,1	4,5
Total E				3 144 000		15

L'organisation de la protection de la santé au travail au sein d'une entreprise est largement conditionnée par l'effectif des travailleurs directement rattachés à l'employeur, tant pour la disponibilité de ses ressources-conseils en interne et en externe, que pour la mise en place d'un CHSCT (Comité hygiène, sécurité et conditions de travail) (obligatoire à partir de 50 équivalents temps plein et l'organisation de son service de santé au travail.

Les services de santé au travail en France

Quel que soit le secteur d'activité, il existe 2 grands types de service de santé au travail en France : le service autonome et le service interentreprises.

Le service autonome de groupe, d'entreprise ou d'établissement

La création d'un service autonome est possible à partir d'un effectif d'au moins 500 salariés. Ce choix relève de l'employeur. Le personnel de ce service de santé au travail relève directement de l'entreprise ou de l'établissement employeur. En service autonome, le médecin du travail et son équipe dispose en général de plus de temps et d'une plus grande liberté dans l'organisation de leur travail tout entier orienté sur les risques propres à l'entreprise.

Le service interentreprises

L'adhésion à un service interentreprises est obligatoire dès lors que l'effectif de l'entreprise ou de l'établissement est inférieur à 500 salariés. En service interentreprises, le médecin du travail et son équipe doivent avant tout respecter le contrat pluriannuel d'objectifs et de moyens signé avec la Direccte et la Carsat, contrat respectant les grandes orientations définies en haut lieu. Leur investissement dans d'autres thématiques ne pourra se faire qu'en fonction de leur charge de travail et du temps restant disponible.

Qu'il soit autonome ou interentreprises, un service de santé au travail rassemble une équipe pluridisciplinaire composée d'un ou plusieurs médecins du travail assistés de différents

collaborateurs : médecin collaborateur ou interne en médecine du travail, infirmier(e) de santé au travail, intervenant en prévention des risques professionnels (IPRP), assistant de service de santé au travail et éventuellement d'autres professionnels (chimiste, ergonomiste, psychologue, Assistant(e) social(e)…). Il a pour mission exclusive d'« éviter toute altération de la santé des travailleurs du fait de leur travail » [art. L. 4622-2 du code du travail] à travers différents types d'actions en milieu de travail ayant pour but d'identifier et analyser les risques propres à l'entreprise [art. R. 4624-1 du code du travail] (cf. Tableau 29), et par le suivi individuel de l'état de santé du salarié tel que prévu par la réglementation.

Tableau 29 : rôle des SST et leurs actions en milieu de travail

Rôle des SST (article L. 4622-2 du code du travail)	Actions en milieu de travail (article R. 4624-1 du code du travail)
• Conduite d'actions de santé dans le but de préserver la santé physique et mentale des travailleurs tout au long de leur parcours professionnel • Conseil aux employeurs, aux travailleurs et leurs représentants sur les dispositions et mesures nécessaires afin de - Éviter ou diminuer les risques professionnels - Améliorer les conditions de travail - Prévenir la consommation d'alcool et de drogue sur les lieux de travail - Prévenir le harcèlement sexuel et moral - Prévenir ou réduire la pénibilité au travail et la désinsertion professionnelle, et contribuer au maintien dans l'emploi des travailleurs • Surveillance de l'état de santé des travailleurs en fonction des risques concernant leur sécurité et leur santé au travail, de la pénibilité du travail et de leur âge, • Participation au suivi et à la traçabilité des expositions professionnelles ainsi qu'à la veille sanitaire	1° visite des lieux de travail 2° étude de postes en vue de l'amélioration des conditions de travail, de leur adaptation dans certaines situations ou du maintien dans l'emploi 3° identification et analyse des risques professionnels 4° élaboration et mise à jour de la fiche d'entreprise 5° délivrance de conseils en matière d'organisation des secours et des services d'urgence 6° participation aux réunions du comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail ; 7° réalisation de mesures métrologiques 8° animation de campagnes d'information et de sensibilisation aux questions de santé publique en rapport avec l'activité professionnelle 9° enquêtes épidémiologiques 10° formation aux risques spécifiques 11° étude de toute nouvelle technique de production 12° élaboration des actions de formation à la sécurité prévues à l'article L. 4141-2 et participation à celle des secouristes.

Annexe 5 : Risques biologiques et tableaux des maladies professionnelles dans le régime général et le régime agricole de l'assurance maladie

Une pathologie infectieuse ou immuno-allergique est dite « professionnelle » si elle est la conséquence de l'exposition d'un travailleur à un agent biologique pouvant la provoquer, dans le cadre de son activité professionnelle.

Pour les salariés relevant du régime général de la Sécurité sociale, il existe aujourd'hui 21 tableaux de maladies professionnelles relatifs au risque infectieux (pour plus de 50 maladies), 2 tableaux pour le risque immuno-allergique et un tableau pour le risque toxique. Le risque cancérogène n'apparaît que dans le tableau n° 45 relatif aux hépatites.

La reconnaissance du caractère professionnel résulte :

- soit d'une présomption de l'origine professionnelle si le malade remplit toutes les conditions inscrites au tableau.
 - o le salarié a été habituellement exposé au risque pris en compte par ce tableau.
 - o le délai entre la cessation d'exposition à l'agent biologique supposé à l'origine de la maladie et la première constatation de celle-ci n'excède pas le délai maximal, appelé « délai de prise en charge » figurant dans le tableau.
 - o la victime exerce, ou a exercé, un travail relevant de la liste limitative des travaux du tableau.

Dans ce cas, le malade ou ses ayants droit n'ont pas à prouver l'existence d'un lien entre la survenue de la maladie et le travail.

- soit de la reconnaissance d'un lien existant entre l'activité professionnelle du travailleur et sa maladie.

Ce lien entre l'activité professionnelle du travailleur et sa maladie est établi par le Comité régional de reconnaissance des maladies professionnelles (CRRMP) dont relève sa Caisse primaire d'assurance maladie (CPAM) ou sa caisse de Mutualité sociale agricole (MSA). En cas de contestation de cette origine professionnelle, il appartient à la CPAM ou à la caisse de MSA ou à l'employeur de prouver la non existence de ce lien.

Le Tableau 30 liste les risques biologiques et les tableaux des maladies professionnelles dans le régime général et le régime agricole de l'assurance maladie

Tableau 30 : risques biologiques et tableaux des maladies professionnelles dans le régime général et le régime agricole de l'assurance maladie*

N° du tableau du régime général	N° du tableau du régime agricole	Maladies
Risques infectieux		
7	1	Tétanos professionnel
18	4	Charbon
19	5 et 5 bis	Spirochétoses (leptospirose, maladie de Lyme)
24	6	Brucelloses
28	2	Ankylostomose
40	16	Tuberculoses et autres infections à mycobactéries
45	33	Hépatites A, B, C, D et E
46	15	Mycoses cutanées
53	49	Rickettsioses et fièvre Q
54	38	Poliomyélite
55	-	Infections dues aux amibes
56	30	Rage
68	7	Tularémie
76	-	Maladies dues à des agents infectieux contractées en milieu d'hospitalisation et d'hospitalisation à domicile
77	15	Périonyxis et onyxis
80	-	Kératoconjunctivites virales
86	50	Pasteurelloses
87	52	Ornithose-psittacose
88	51	Rouget du porc
92	55	Infections à Streptococcus suis
96	56	Infections à hantavirus
Risques immuno-allergiques		
66	45 A	Rhinites et asthmes
66 bis	45 B, C et D	Pneumopathies d'hypersensibilité
Risques toxiques		
90	54	Affections respiratoires consécutives à l'inhalation de poussières textiles végétales

* consulter le guide des maladies professionnelles sur le site www.inrs.fr/mp.

Annexe 6 : Quatre exercices de prospective pour essayer de dégager des tendances sur les métiers à venir

Le premier a été réalisé en 2012 avec le conseil scientifique de l'Anses afin d'imaginer les prochains grands thèmes à venir, et donc à traiter, pour l'agence. Au final, 4 grands moteurs de modification ont été identifiés :

- environnement et changement climatique, diminution de ressources ;
- effets de concentration et mondialisation ;
- ensemble de facteurs liés à la société (économiques, vieillissement de la population, inégalités, etc.) ;
- risques liés aux nouvelles technologies.

Ces travaux soulignent plusieurs modifications prévisibles affectant la thématique santé-travail, avec l'apparition de risques spécifiques à ces évolutions et à des changements entraînant des vulnérabilités vis à vis de risques classiques :

- des modifications démographiques et notamment, le vieillissement de la population ;
- l'émergence de nouveaux métiers (technologies vertes, recyclage, etc.) ;
- les évolutions dans le cadre du travail (mode d'organisation, télétravail, précarisation, etc.)

Un deuxième exercice a été effectué dans le cadre du réseau R31⁹¹. Un groupe de 15 personnes a été mandaté pour réfléchir à l'impact des technologies vertes dans 20 ans. A partir d'une méthode de travail classique en prospective qui consiste à identifier les hypothèses soutenant les grandes trajectoires, 13 microscénarios ont été élaborés, puis regroupés en 5 scénarios clés :

- priorité sans limites à la croissance ;
- technologies vertes et libéralismes ;
- sobriété et faible intensité technologique ;
- de l'impasse technologique au morcellement social ;
- transition écologique orchestrée par l'État.

Cet exercice a permis de considérer des questions spécifiques qui dépendent des scénarios, comme : des risques déjà existants, des nouveaux procédés (recyclage), des métiers « verts »⁹², des risques de « riches » (expositions, nouvelles technologies, urban farming), des risques de « moins riches » (système D, inégalités,...) ou des comportements (conso. collaborative, fraude, recours à objets connectés).

⁹¹ ensemble d'établissements liés à l'Anses : <https://www.anses.fr/fr/content/le-r%C3%A9seau-des-partenaires-le-r31>

⁹² métiers qui prennent en compte l'enjeu de la protection de l'environnement.

Il a également permis de prendre en considération la perception des risques qui dépend du type de société : faux sentiment de sécurité, mouvements et capacités d'expertise citoyens, contexte géopolitique, etc.

Un troisième exercice, piloté par l'INRS, prend en compte des scénarios qui suggèrent que, dans les 25 ans à venir, les tendances de fonds constatées ces 25 dernières années vont se poursuivre et que notre société va continuer se « servicialiser ». Ainsi, il est attendu que les secteurs de la « logistique » et de « l'aide à la personne » se développent et s'industrialisent, avec le développement de l'automatisation et de la robotisation (robotique d'assistance physique, exosquelettes).

Les activités agricoles pour une production en agriculture biologique poursuivraient leur développement. Sans venir concurrencer le modèle de production industriel, ce secteur serait pourvoyeur d'emplois. Il pourrait bénéficier lui aussi de la robotisation pour faciliter les travaux pénibles (désherbage, ...) et limiter le recours aux pesticides.

Concernant l'industrie, les scénarios étudiés envisagent la possibilité que certaines productions industrielles puissent revenir en France. En effet, que ce soit du fait d'évolutions géopolitiques qui augmenteraient les risques de conflits locaux ou régionaux, du fait d'aléas climatiques augmentant les risques de catastrophes naturelles et affectant les chaînes de production, ou du fait du rétablissement des taxes douanières qui renchériraient les importations, il pourrait y avoir un regain d'intérêt à produire en France. Cette relocalisation de la production pourrait satisfaire aux besoins de sécuriser des approvisionnements stratégiques, mais aussi d'être plus réactif vis-à-vis des attentes des clients, à rentabilité quasi-égale. Dans un tel scénario, les activités de production manufacturière, de maintenance ou de transport pourraient augmenter.

De façon transverse et tous secteurs confondus, les travaux menés par l'INRS et ses partenaires pose la question de l'évolution du « statut » du travailleur, « entre fournisseur de service et employé prestataire », de ces droits et de l'évolution de la gestion des risques professionnels.

Le dernier et quatrième exercice (étude ScénEnvi) a été réalisé à l'initiative de l'Alliance nationale de recherche pour l'environnement (AllEnvi), pour identifier les grandes familles de scénarios que mettent en avant les prospectives environnementales. À partir des 11 familles de scénarios synthétisant un corpus de 307 scénarios internationaux, cette analyse fait ressortir la multiplicité des trajectoires sociétales et environnementales possibles et met en lumière que, même dans les cas où les questions environnementales deviennent prioritaires, l'amélioration attendue de l'état de l'environnement n'est ni certaine, ni rapide, ni généralisée. Ces trajectoires se distinguent entre elles par leur forme de gouvernance et par la nature des priorités que la société ou ses décideurs se donnent.

Selon les auteurs, en privilégiant les échelles mondiale et supranationales, ces prospectives excluent probablement d'autres trajectoires s'appuyant plus spécifiquement sur des modes de gouvernance locaux ou régionaux. Cette analyse pourrait donc être complétée par une réflexion sur les éventuels scénarios manquants en explorant un autre ensemble de prospectives régionales ou locales.

Même dans les cas où l'environnement est placé au cœur des objectifs sociétaux, son état actuel et les dynamiques en cours ne laissent pas toujours présager une amélioration simultanée de tous les compartiments environnementaux. Les ressources en eau et en sol sont les plus lourdement menacées de dégradation alors que les risques environnementaux de toute nature déjà très prégnants ne peuvent que s'intensifier. Les auteurs soulignent également l'absence de travaux s'intéressant aux conséquences de ces diverses trajectoires sur les mers, l'océan, le littoral ou les forêts.

Annexe 7 : Outils destiné à hiérarchiser les risques professionnels impactés par le changement climatique, en fonction des effectifs de professionnels concernés

L'objectif de l'exercice suivant était d'élaborer un outil pour sélectionner un ou plusieurs risques professionnels prioritaires à évaluer et d'analyser les conséquences du changement climatique sur l'évolution de ces risques. Pour cela, le groupe de travail a imaginé confronter les données de santé au travail déjà compilées dans des bases de données officielles (concernant les risques professionnels, la répartition et le nombre des accidents et pathologies professionnelles par métier/secteurs d'activité, etc.), aux évolutions des risques professionnels envisagées par le groupe, sous l'effet du changement climatique (cf. section 5). L'outil devait permettre non seulement d'apprécier le « poids » respectif de chacun des risques considérés, mais également de jauger l'amplitude des évolutions identifiées en matière de risque pour la santé. Un tel outil pourrait également servir d'indicateur de suivi de ces risques dans le temps.

Au niveau national, les déclarations des accidents et maladies de travail sont disponibles par années, auprès de la Cnamts, par secteurs d'activité regroupés suivant plusieurs comités techniques nationaux (CTN⁹³) :

- CTN A : industrie de la métallurgie ;
- CTN B : BTP (hors bureaux) ;
- CTN C : industrie des transports de l'eau, du gaz, de l'électricité, du livre et de la communication ;
- CTN D : services, commerces et industrie de l'alimentation ;
- CTN E : industrie de la chimie, du caoutchouc, de la plasturgie ;
- CTN F : industrie du bois, de l'ameublement, du papier-carton, du textile, du vêtement, des cuirs et des peaux et des pierres et terres à feu ;
- CTN G : commerces non alimentaires ;
- CTN H : activités de services I (banques, assurances, administrations, etc.) ;
- CTN I : activités de services II (travail temporaire, action sociale, santé, nettoyage, etc.) ;
- Bureaux et sièges sociaux du CTN B ;
- Bureaux et sièges sociaux hors CTN B ;
- Autres catégories particulières⁹⁴.

L'outil d'analyse imaginé pourrait se présenter sous la forme d'un tableau synthétique (voir l'exemple de tableau proposé ci-après) compilant les données Cnamts⁹⁵ et le résultat de l'analyse

⁹³ Sont exclus de ces regroupements les bureaux et sièges sociaux, les agents statutaires des entreprises électriques et gazières, les élèves et étudiants de l'enseignement technique.

⁹⁴ VPR, aides à domicile, etc.

⁹⁵ Les données de la Cnamts distinguent le type de sinistre (accidents du travail, accidents de trajet et maladies professionnelles) et la gravité du sinistre (nombre d'AT/MP, de journées d'incapacité temporaires, de nouvelles incapacités permanentes consécutives à un sinistre AT/MP et de décès). Les catégories de risques codées pour ces risques déclarés diffèrent légèrement de celles de l'INRS considérées dans le cadre de cette étude, cependant des correspondances pourraient être effectuées.

Suite des notes de bas de page sur la page suivante.

du groupe de travail. Bien que comportant certaines limites à son interprétation (notamment du fait que les secteurs regroupent divers métiers peu comparables entre eux), un tel tableau apporterait néanmoins une vue d'ensemble ainsi que des éléments d'information utiles (par exemple, identification des principaux secteurs à interroger par type de risque afin d'identifier des métiers ou activités à étudier) qu'il conviendrait de croiser ensuite avec d'autres données (cf. Tableau 31).

Tableau 31 : exemple d'outil d'analyse des risques professionnelles par secteur d'activité

		Risque 1			Risque 2			Etc.		
		AT	IP	Décès	AT	IP	Décès	AT	IP	Décès
Secteurs										
Dénomination	Effectifs									
CTN A										
CTN B										
CTN A										
Etc.										
Total										
Évolutions attendues liées aux changements climatiques										
Spécificités temporelles ou locales										
Facteurs aggravants / organisation du travail										
Facteurs aggravants / environnement de travail										

Afin de renseigner un tel outil d'analyse, le groupe de travail suggère une requête auprès de la Cnamts formulée par les ministères en charge du travail et de la santé,.

Pour les accidents du travail : physique dont électrique / chimique / machines / outillage à main / manutention manuelle / routier / manutention mécanique / autres véhicules de transport / chutes de plain-pied / chutes de hauteur / agressions / autres risques.

Pour les accidents de trajet : perte de contrôle du moyen de transport / glissade / trébuchement, etc. / chute de hauteur / faux pas, glissade sans chute / mouvement non coordonnées etc. / présence de la victime ou d'un tiers créant en soi un danger pour elle/lui-même et le cas échéant pour autrui / violence, agression, menace -provenant de personnes externes à l'entreprise / agression, par animal, bousculade / en étant attrapé, entraîné, par quelque chose ou par son élan / autres déviations / non renseigné / non codé.

Notes



Agence nationale de sécurité sanitaire
de l'alimentation, de l'environnement et du travail
14 rue Pierre et Marie Curie
94701 Maisons-Alfort Cedex
www.anses.fr /  @Anses_fr