

Prospective

QUELS LIENS ENTRE CLIMAT ET RISQUES PROFESSIONNELS ?

Différentes parties prenantes s'attendent à ce que le changement climatique impacte la santé et la sécurité des travailleurs, et ceci de multiples manières. Il peut tout d'abord s'agir d'effets directs, comme celui des vagues de chaleur ou des événements extrêmes. Les conséquences de ce changement sur l'environnement peuvent également jouer un rôle, par exemple en modifiant la répartition géographique des agents biologiques pathogènes. Par ailleurs, la lutte contre le changement climatique induit des effets indirects *via* les mutations qu'elle implique dans le monde du travail, comme l'arrivée de nouvelles technologies, l'évolution des métiers, la modification des postes de travail et des organisations. Le but de cet article est de dresser un panorama autour de ces questions.

IS THERE A LINK BETWEEN CLIMATE CHANGE AND OCCUPATIONAL HAZARDS? – Different stakeholders are expecting climate change to affect workers' health and safety in multiple ways. First, there can be direct effects, as with heat waves and extreme events. The consequences of this change on the environment can also play a role, for example by changing the geographical distribution of biological pathogens. Moreover, the fight against climate change causes indirect effects through the transformations it brings to the world of work, such as the arrival of new technology, change in jobs, modification of work stations and organisations. This article aims to provide an overview of these matters.

LOUIS
LAURENT
INRS,
direction
des Études
et recherches

Préoccupations pour la santé au travail

La question de l'impact de l'évolution du climat sur les travailleurs a été abordée dans un rapport de l'Agence nationale pour la sécurité de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses), publié en 2018, qui mettait en avant divers effets de la hausse des températures, de l'évolution des agents chimiques et biologiques présents dans l'environnement qui en résulte, et des aléas climatiques [1]. De même, une analyse américaine de 2022 sur les sujets de recherche émergents en santé au travail souligne : « [...] Les travailleurs sont l'un des premiers groupes à subir les effets néfastes du changement climatique, qui se traduisent par des expositions plus importantes et plus graves, ce qui revient à dire qu'ils sont des "canaris climatiques" [...] » [2]. Cette analyse cite ensuite les nombreux impacts attendus sur la santé des travailleurs, liés à l'augmentation de température, aux conditions climatiques extrêmes, aux rayonnements ultraviolets, aux maladies à transmission vectorielle (c'est-à-dire transmises *via* un hôte infecté, un moustique par exemple), aux évolutions

de l'industrie, au changement de l'environnement intérieur des bâtiments. Ces considérations sont indissociables de leur pendant en santé publique, tel que discuté récemment par Basile Chaix et Rémy Slama [3]. C'est dans ce contexte que le BAuA² et la DGUV³, homologues de l'INRS et de la Cnam AT-MP en Allemagne, ont organisé, dans le cadre de la présidence allemande du G7 pour le volet santé travail, une conférence en octobre 2022 à Dresde [4]. Cet événement a rassemblé une centaine de personnes. Plus qu'une conférence scientifique, il s'agissait d'une séance de brainstorming collectif. Quatre domaines ont été traités :

- température, rayonnement, événements climatiques extrêmes ;
- changement climatique et agents biologiques ;
- décarbonation et économie circulaire ;
- effets psychologiques du changement climatique.

Le but de cette publication de veille est de résumer les analyses faites par différents acteurs sur le sujet de l'impact du changement climatique en santé travail. Elle est organisée en deux parties.



La première porte sur les effets directs du changement climatique et la seconde traite de l'impact des modifications que celui-ci induit dans le monde du travail.

Effets directs du changement climatique
Effets des rayonnements ultraviolets

Certains acteurs associent l'exposition aux rayonnements ultraviolets (UV) aux effets du changement climatique. Les raisons en sont multiples : un nombre accru de jours ensoleillés augmente l'exposition des travailleurs, la chaleur peut les pousser à moins se protéger par des vêtements qui arrêtent les UV, et des études suggèrent une synergie entre astreinte thermique et UV dans la genèse des cancers de la peau [5]. En Allemagne et en Suisse, les cancers de la peau sont considérés comme des maladies professionnelles, avec environ 6 500 cancers hors mélanomes reconnus par an en Allemagne.

L'exposition se mesure en « *Standard Erythema Dose* » (SED). Un SED est l'énergie minimum qu'il faut déposer sur la peau pour faire apparaître au bout d'une journée un érythème (environ 100 J/m²). En pratique, cette dose varie fortement en fonction du type de peau. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) et la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP) recommandent de ne pas dépasser 1 SED par jour, toutes sources confondues, soit, si on considère seulement l'exposition professionnelle pendant les jours travaillés, 230 SED par an. Lors de l'étude allemande Genesis (Cf. Figure 1), l'exposition d'un millier de travailleurs dans 250 métiers a été suivie pendant sept mois en utilisant des capteurs placés sur leur bras [6]. Selon le métier, les expositions mesurées varient entre moins de 50 et plus de 600 SED par an. Les travailleurs les plus

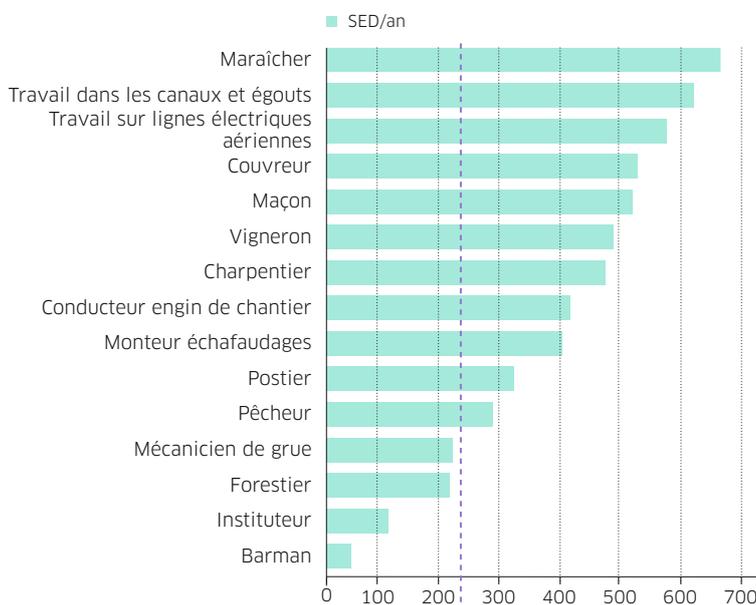
exposés exercent en extérieur dans les secteurs de la construction, de la voirie et de l'agriculture. Au sein d'un métier donné, on constate toutefois une grande variabilité de l'exposition liée aux caractéristiques de l'activité. Beaucoup des expositions mesurées sont supérieures aux recommandations de l'OMS, ce qui montre la nécessité d'une prise de conscience de ce risque par les travailleurs et le recours à des mesures de prévention.

Effets des températures

• **Études épidémiologiques** : des travaux épidémiologiques suggèrent un lien entre sinistralité et écarts de température, matérialisé par une courbe en « U », c'est-à-dire un excès d'accidents lorsqu'il fait trop chaud ou trop froid. Une étude, publiée en Italie en 2019, montre une association modérée mais significative entre la sinistralité (hors accidents de trajet) et les écarts positifs ou négatifs de température extérieure par rapport à la moyenne [7]. Pour les températures les plus élevées, donc situées dans le quartile supérieur, le risque relatif est dans l'intervalle [1,14 - 1,21] avec une probabilité de 95%. Pour les températures les plus basses, dans le quartile inférieur, le risque relatif est situé dans l'intervalle [1,17 - 1,30]. Cela implique qu'il y aurait en Italie un peu plus de 5 000 accidents du travail par an associés aux températures trop élevées ou trop basses. Les effets de la chaleur et du froid semblent toutefois différents, les populations concernées n'étant pas les mêmes et la temporalité des effets non plus : le froid agit seulement le jour même, le chaud semblant avoir un effet sur la sinistralité qui dure quelques jours. Aucun mécanisme avéré n'a été identifié pour expliquer cet effet, mais les auteurs de cette étude soulignent que l'inconfort thermique peut se traduire par une réduction de la vigilance. Cette étude est en accord avec des travaux antérieurs, menés en Espagne [8] et en Australie [9] qui, dans les deux cas, suggèrent aussi que sinistralité et température sont liées par une courbe en « U ». Il est important de noter que ces résultats montrent l'effet de fluctuations de température à court terme et ne peuvent pas être utilisés pour déduire un effet d'une lente hausse des températures moyennes. Ils pourraient toutefois être pertinents pour appréhender les effets sur la sinistralité de variations de températures d'un jour à l'autre plus importantes qu'actuellement.

• **Effets physiologiques de températures excessives** : il est connu en santé publique que les canicules s'accompagnent d'un excès de mortalité, en particulier chez les personnes vulnérables [10]. Ces atteintes à la santé concernent également les travailleurs lorsque ceux-ci sont exposés à des conditions climatiques extrêmes. Selon le Niosh⁴, les cas déclarés de coups de chaleur seraient de 3 500 par

↓ FIGURE 1
Quelques exemples tirés de l'étude allemande Genesis [6]. Doses annuelles reçues par les travailleurs en fonction de leur activité. Le pointillé vertical représente la recommandation de l'OMS (soit 230 SED/an).





© Anne-Gaëlle Armiot pour l'INRS/2023

an. De même, une étude de 2015 indique qu'aux États-Unis, la chaleur a été responsable d'environ 33 décès par an au travail, entre 2000 et 2010 (les auteurs soulignent toutefois que ce nombre pourrait être sous-estimé compte tenu des difficultés à repérer ce type de décès, et il en est probablement de même pour les données du Niosh) [11]. Le secteur du bâtiment est le plus concerné avec 36% des cas, suivi de près par la logistique et les services. Une revue de 2018 analyse les résultats de 111 études issues de 30 pays [12]. Selon cette analyse, les personnes ayant travaillé une journée sous astreinte thermique voient leur température interne augmenter à 37,6°C en moyenne, tandis que 35% d'entre elles éprouvent divers symptômes (déshydratation, nausées ou vomissements, spasmes musculaires douloureux). Dans le cas d'une exposition prolongée, des atteintes rénales sont observées chez 15% des individus. L'INRS a publié en 2020 dans cette même revue un dossier « *Travailler dans des ambiances thermiques chaudes ou froides, quelle prévention ?* », qui rappelle en particulier les mécanismes de thermorégulation et leur mise en défaut en cas d'exposition à des ambiances extrêmes, les effets sur la santé ainsi que les indicateurs physiologiques

permettant d'objectiver ces astreintes (la mesure du rythme cardiaque lors de la phase de récupération, la température corporelle interne, la sudation) [13a-13b]. Même si les effets physiologiques des températures externes trop basses ou élevées sont bien connus, il est possible de s'attendre dans le futur à une augmentation des situations de travail avec astreinte thermique. Cette situation peut être aggravée par un contexte où les systèmes de ventilation et de climatisation seraient restreints dans un but de sobriété énergétique.

L'augmentation de la durée de travail en ambiance chaude a pour conséquence que la question des synergies entre exposition à la chaleur et à certains agents se posera avec plus d'acuité. Par exemple, l'astreinte thermique au-delà de certaines limites est soupçonnée de modifier l'absorption, le transport et l'élimination de substances toxiques [14]. De plus, l'apparition de nouveaux équipements de protection et la question de leur confort thermique nécessitera une activité régulière d'évaluation.

- **Effets neurophysiologiques** : la littérature évoque le fait que l'inconfort thermique provoque des effets plus ou moins expliqués, parmi eux, on retrouve fatigue, baisse de vigilance (déjà citée



précédemment comme une explication possible de la hausse de sinistralité en cas d'écart de température), perception altérée du risque, agressivité [15]. On peut également citer une étude française récente, qui corrèle température et taux de suicide [16].

Les travaux consacrés à ces effets sont en général extérieurs au monde du travail : expériences de laboratoire sur des sujets en situation d'inconfort thermique, analyses statistiques de faits de violence en fonction du climat, à travers des séries temporelles ou des comparaisons de lieux. Selon la littérature, certains de ces effets se fonderaient sur des mécanismes physiologiques (trop de ressources seraient consacrées à la thermorégulation, perturbation du système sérotoninergique...).

Effets des agents biologiques

Le changement climatique est susceptible d'impacter les écosystèmes et les organismes qu'ils abritent. Il est probable que la répartition géographique des agents pathogènes, des insectes vecteurs de maladie, des allergènes et des toxines d'origine naturelle sera affectée. Par ailleurs, les événements extrêmes et leur impact sur les infrastructures (par exemple pour la gestion de l'eau), l'évolution du contenu en particules ou en ozone de l'atmosphère peuvent également impacter l'exposition des travailleurs et des populations aux agents biologiques. Il en est de même pour l'impact de l'activité humaine et de son évolution (l'urbanisme, le commerce mondial, les cultures, le traitement des déchets, la réutilisation des eaux grises) qui peut perturber la répartition des agents biologiques, parfois en se cumulant avec d'autres facteurs, entraînant ce que certains auteurs appellent des « *risques en cascade* » [17]. Il est difficile dans ce domaine de différencier clairement ce qui relève de la santé publique et de la santé au travail. De nombreuses situations où les travailleurs sont exposés, du fait de leur activité, à un risque biologique susceptible d'être modifié par le changement climatique sont en tout cas pressenties.

C'est le cas des personnels en charge de la gestion des déchets. Par exemple, une publication finalisée dans le cadre d'un projet du réseau Perosh⁵ a porté sur l'exposition des éboueurs aux agents biologiques présents dans les déchets (bactéries, endotoxines, mycotoxines) et aux dangers associés. Cette publication analyse notamment l'impact de la température et de l'hygrométrie sur l'exposition des travailleurs aux bactéries et aux moisissures. Pour illustrer ce que sont les « *risques en cascade* » cités ci-dessus, il est souligné que les conditions climatiques ne sont pas les seules en cause. Des changements réglementaires ou organisationnels (possibilité du recyclage d'emballages souillés par des déchets alimentaires, fréquences de collecte) peuvent

également contribuer à modifier ces expositions [18]. Dans le secteur de l'alimentation humaine ou animale (culture, transport, stockage et transformation de produits agricoles), les travailleurs sont exposés aux mycotoxines générées par les moisissures qui se développent sur les produits agricoles. Il existe plusieurs centaines de ces mycotoxines, chacune étant émise par une ou plusieurs espèces de moisissure. Leur nature et leur concentration sont affectées directement par les conditions climatiques, indirectement par la nature des cultures qui dépend du climat [19,20].

Risques psychosociaux

L'exacerbation des risques psychosociaux associés au changement climatique est également invoquée dans les publications récentes, notamment dans le rapport de l'Anses [1] ou lors de la conférence de Dresde [4]. On peut ainsi citer :

- l'effet des évolutions organisationnelles associées à l'adaptation au climat (comme les horaires de travail, des conditions de travail plus pénibles qui augmentent les tensions) ;
- la sursollicitation de certains services en cas d'événements extrêmes ;
- les conséquences des nombreuses mutations techniques attendues et le sentiment d'insécurité qu'elles entraînent ;
- l'effet de modifications sociodémographiques induites par le changement climatique (notamment les inégalités sociales, l'impact sur la richesse) ;
- l'écoanxiété : un phénomène d'anxiété générale associé à l'impuissance face aux évolutions, qui dépasse largement le cadre du travail, mais peut l'impacter.

Effets indirects du changement climatique sur le monde du travail

Un autre facteur de changement dans le monde du travail, avec des incidences en santé et sécurité, est identifié. Il s'agit des évolutions en vue de la réduction des émissions de gaz à effet de serre et, plus généralement, de l'organisation de la résilience de l'activité face au changement climatique (par exemple, une possible réduction des ressources en eau). C'est dans ce contexte que l'INRS a inscrit dans son plan stratégique 2023-2027 une thématique « *Limitation de l'émission de gaz à effet de serre et impact en santé travail* » qui abordera deux thèmes principaux : « *Prévention et procédés de production et de transport d'énergie* » et « *Réduction des consommations énergétiques* ».

Un panorama global des évolutions planifiées en France est présenté dans la stratégie nationale « bas carbone », instaurée par la loi de 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte. Une seconde édition a été publiée en mars 2020 [21].

L'objectif affiché est la réduction des émissions de gaz à effet de serre, actuellement un peu plus 400 millions de tonnes d'équivalent CO₂ (MTeqCO₂)⁶ à environ 80 MTeqCO₂ en 2050. Elle peut se résumer principalement à trois axes d'action :

- le recours à des énergies n'amenant pas d'émission nette de gaz carbonique ;
- l'augmentation de l'efficacité énergétique, c'est-à-dire le recours à des procédés produisant quelque chose d'équivalent avec une énergie moindre ;
- la sobriété énergétique.

Dans cet article, deux sujets sont discutés à titre d'illustration : la production ou l'utilisation de l'énergie et le secteur du bâtiment.

L'énergie

• **Mutations des activités** : il s'agira de produire, transporter et consommer l'énergie différemment, avec en particulier plus de recours à l'éolien, au solaire ou à la biomasse. La manière de stocker l'énergie est amenée à évoluer, avec plus de stockage sous forme d'électricité ou *via* des molécules sans atome de carbone (hydrogène, voire ammoniac). Cela va se traduire par des évolutions fortes en matière de technologie, de métiers et d'emploi, et par le développement de nouvelles compétences. Par exemple, en France, le ministère chargé de l'Environnement mentionne au sujet de la loi de programmation pluriannuelle de l'énergie : « *Ce vaste mouvement [...] nécessitera également de préparer et d'accompagner les mutations professionnelles pour s'adapter aux nouveaux emplois, anticiper et accompagner la reconversion des entreprises et territoires impactés* ». Est anticipée dans cette programmation la création d'environ 440 000 emplois en 2028, par rapport au scénario tendanciel [22]. Par ailleurs, un exercice de prospective mené par le *Health and Safety Executive* (HSE, agence pour la santé et la sécurité) au Royaume-Uni, en 2018, avait mis en évidence un certain nombre de risques liés à cette transition [23]. Ses auteurs soulignent également la nécessité de former rapidement un grand nombre de nouveaux acteurs, le surcroît de risque lié à la complexité technique et organisationnelle de la distribution d'énergie, les difficultés liées au fait que certaines technologies ne sont pas stabilisées, les risques associés à une moindre stabilité du réseau de distribution électrique pour toutes les activités. La nécessité de la diffusion des connaissances entre secteurs a également été pointée à la conférence de Dresde. Les débats ont mené à la conclusion que si beaucoup des risques liés aux énergies décarbonées sont connus, ils ne le sont pas toujours dans les « bons » secteurs d'activité, de sorte que des transferts de connaissances en santé et sécurité sont nécessaires [4,24]. Un panorama en est donné dans le *Tableau 1*. En illustration, a été cité le cas des accidents (asphyxie ou explosions) dans les

Éolien	<ul style="list-style-type: none"> • Chutes de hauteur • Conditions microclimatiques défavorables (par exemple, une température élevée) • Troubles musculosquelettiques (manutention manuelle de charges, postures contraignantes, etc.) • Électrocution • Risques chimiques (par exemple, exposition à des résines, du styrène, etc.)
Solaire photovoltaïque	<ul style="list-style-type: none"> • Chutes de hauteur • Électrocution • Conditions microclimatiques défavorables • Troubles musculosquelettiques (en raison du travail dans des espaces confinés) • Exposition à des produits chimiques toxiques et à des nanomatériaux • Brûlures et explosions
Solaire thermique	<ul style="list-style-type: none"> • Chutes de hauteur • Électrocution • Brûlures • Conditions microclimatiques défavorables
Bioénergie, biomasse, biocarburant	<ul style="list-style-type: none"> • Incendie et explosion • Risques chimiques et biologiques (composés organiques volatils, poussières, endotoxines...) • Exposition aux substances cancérigènes, aux métaux lourds et aux gaz • Atmosphères appauvries en oxygène
Géothermie	<ul style="list-style-type: none"> • Chutes de hauteur • Électrocution • Émissions de substances telles que le soufre, la silice, l'arsenic et le mercure • Dangers/risques dus à certaines activités : creusement de tranchées, excavation... • Dangers/risques liés au forage de puits, aux canalisations de vapeur/d'eau chaude
Hydroélectricité	<ul style="list-style-type: none"> • Chutes de hauteur • Électrocution • Risques chimiques • Risques hydrogéologiques (inondation, effondrement...)

méthaniseurs au Royaume-Uni, ceux-ci étant gérés par des acteurs différents de ceux du secteur de l'industrie chimique.

• **Innovations et nouveaux dangers** : outre la question du transfert de compétences sur des risques déjà identifiés vers les personnes impliquées dans la construction, la maintenance, le démantèlement de systèmes faisant appel à ces nouvelles énergies, se pose la question de nouveaux risques moins connus, associés à des activités émergentes. Ce domaine est plus spéculatif mais, à titre d'exemple, il est possible de soulever trois questions :

- *La manipulation de systèmes de stockage d'énergie électrique, qu'il s'agisse de production, de maintenance ou de recyclage* : une partie de ces risques, en particulier l'incendie, sont déjà connus mais il faut prendre en compte le fait qu'il est difficile de considérer les solutions techniques adoptées

↑ **TABLEAU 1**
Inventaire des risques associés aux énergies renouvelables (selon [24]).



comme stabilisées. De nouvelles technologies sont amenées à apparaître et à coexister avec d'autres plus anciennes.

- *L'essor potentiel de l'utilisation de nanotubes dans le domaine de l'énergie*: leurs propriétés géométriques, mécaniques thermiques et électriques en font d'excellents candidats pour accroître les performances des batteries, réaliser des supercondensateurs, améliorer des cellules photovoltaïques. Sur ce sujet, il existe de nombreuses publications dans la littérature scientifique mais également dans la presse destinée à l'industrie. La production de nanotubes au niveau mondial est relativement modeste (elle se mesure en dizaines de milliers de tonnes), mais elle pourrait croître très rapidement si on trouvait un « usage miracle ». Au moins une espèce de nanotube multiparoï a été classée cancérigène possible pour l'homme par le Centre international de recherche sur le cancer (Circ) et des travaux sont en cours pour les étudier de manière plus générale. Or, des situations accidentelles avec des dispositifs contenant ces nanotubes pourraient conduire à leur dissémination dans l'environnement de travail, d'autant plus que certains de ces systèmes contiennent de l'énergie susceptible être libérée violemment ;
- *le recyclage des pales d'éoliennes*: la loi de programmation pluriannuelle de l'énergie prévoit une puissance installée en 2028 d'environ 33 GW, soit 14000 mats. Si on estime la durée de vie d'une telle installation à trente ans, cela signifie qu'il faut remplacer annuellement un ensemble d'éoliennes produisant 1GW, à raison de 10 tonnes de pale en composite, 600 kg d'aimant (dont une bonne partie de terres rares : 30% de néodyme et 5% de dysprosium) par MW installé. Soit pour des raisons réglementaires, d'image (on peut évoquer l'émoi qu'avait causé une photographie de « cimetière de pales d'éoliennes » circulant sur le Net), soit à cause du coût des matières, la tendance est au recyclage de ces éléments. Elle sera à l'origine de nouvelles activités dont il faudra évaluer l'impact sur la santé. Pour le recyclage des pales, il s'agit de séparer des fibres et des polymères avec un procédé qui n'est pas encore stabilisé, même s'il existe des usines pilotes. Le recyclage des terres rares pourrait aussi être à l'origine d'expositions à des dangers encore mal connus en Europe [25].

Le bâtiment

Les émissions de gaz à effet de serre associées, d'une part, à la construction et la démolition des bâtiments et, d'autre part, à leur utilisation représentent la deuxième source de gaz à effets de serre avec environ 100 MTeqCO₂ émises en France, derrière les transports (136 MTeqCO₂). C'est donc un secteur sur lequel porteront les efforts à venir, comme le prévoit la stratégie nationale « bas carbone ». Ces

éléments sont repris dans la réglementation environnementale RE 2020, qui vise à aller au-delà de la RT 2012, sans nuire au confort des occupants, y compris pour les locaux à usage professionnel. Il s'agit de mieux isoler les locaux, de mettre à profit la capacité thermique des structures, de limiter l'apport direct de chaleur par le soleil, d'agencer les systèmes de ventilation pour ne pas perdre d'énergie en hiver, de rafraîchir les bâtiments en été, d'installer des systèmes de production d'énergie pour que le bâtiment soit « à énergie positive ». Les risques en santé au travail sont affectés par ces évolutions de deux manières :

- **techniques de construction et rénovation** : il s'agit de l'effet de l'évolution des techniques de construction visant à en limiter l'impact environnemental. Ce sujet a été abordé récemment de manière très concrète dans la revue *Prévention-BTP* de l'OPPBT [26] et également dans le cadre d'un exercice de prospective impliquant l'INRS, l'Ademe, le CSTB, l'OPPBT et Futuribles [27]. Parmi les sujets évoqués :

- *le recours à de nouveaux matériaux* pour remplacer une partie du ciment classique dont la fabrication génère une grande quantité de gaz carbonique (630 kg par tonne de ciment produite, soit au total environ 10 MTeqCO₂ par an pour le ciment produit en France). Il peut s'agir de ciments « bas carbone » dont la fabrication demande moins d'énergie et dégage moins de gaz carbonique, du recours accru à des matériaux recyclés, à l'utilisation de matériaux biosourcés. Ces matériaux ont des propriétés mécaniques ou des conditions de mise en œuvre différentes et une transition sûre vers leur usage peut nécessiter des adaptations. De même, un manque d'informations sur le vieillissement de certains d'entre eux est à souligner ;
- *des changements d'organisations* comme le recours accru à la préfabrication de sous-ensembles en usine (donc sur le chantier la manipulation d'objets plus lourds et un changement de la nature du travail). À ce changement sur la manière de construire, pourraient s'ajouter d'autres changements plus organisationnels en vue de prendre en compte les conditions climatiques. Comme mentionné précédemment, les personnes travaillant dans le secteur du bâtiment sont particulièrement exposées, aussi bien aux températures extérieures qu'aux ultraviolets ;
- *la rénovation des bâtiments* est un élément important de la stratégie nationale bas carbone, avec un objectif affiché de 700000 bâtiments à rénover par an après 2030. De telles opérations présentent des risques spécifiques liés aux interventions sur des immeubles dont les caractéristiques sont peu connues, notamment la solidité de leurs structures et la présence potentielle de composés toxiques

comme l'amiante. De même, la volonté de réaliser des recyclages plus fins de composants ou matériaux engage des opérations de démontage plus délicates.

Ces risques sont en général identifiés au moins par une partie des acteurs, déjà impliqués dans des constructions à bas impact environnemental ou dans des opérations de rénovation. Mais beaucoup d'autres acteurs vont être confrontés à ces nouvelles situations. Par ailleurs, d'autres évolutions, moins directement liées au changement climatique, sont également à prendre en compte, comme le recours aux modèles numériques des bâtiments ou à la robotique.

- **l'occupation des locaux** : le second élément à prendre en compte est la réduction de la consommation énergétique des bâtiments pendant leur durée de vie. Il est légitime de s'interroger quant à son impact sur l'obligation de l'employeur, mentionnée dans l'article R. 4222-1 du Code du travail, de renouveler l'air, de façon à « *maintenir un état de pureté de l'atmosphère propre à préserver la santé des travailleurs* » et à « *éviter les élévations exagérées de température, les odeurs désagréables et les condensations* ». Le Code du travail spécifie les caractéristiques du renouvellement de l'air, en précisant les conditions dans lesquelles la ventilation peut être naturelle et celles dans lesquelles il est nécessaire d'avoir recours à une ventilation mécanique avec un minimum de débit à assurer. Il existe des solutions techniques permettant de concilier ces deux impératifs, souvent fondés sur des systèmes de ventilation et de chauffage plus sophistiqués. Un enjeu en santé au travail sera d'en analyser l'impact sur la santé des travailleurs en considérant divers facteurs : bruit, qualité de l'air intérieur, température, éclairage, dans la continuité de ce qui est déjà pratiqué. Par ailleurs, on peut s'attendre à l'apparition régulière de diverses solutions techniques, par exemple visant à concilier qualité de l'air intérieur et économie d'énergie. Un premier exemple a été l'apparition, lors de la pandémie de Covid-19, de systèmes destinés à purifier l'air intérieur (pour garder un air pur en ventilant moins) dont certains se sont révélés nocifs, comme publié récemment dans cette revue [28].

Il aurait été possible d'évoquer également la montée en puissance de l'économie circulaire, qui a fait récemment l'objet d'un exercice de prospective de l'INRS [29]. De manière générale, tous les secteurs seront impactés par la décarbonation de l'énergie et, plus globalement, diverses réglementations environnementales.

Conclusion

Le changement climatique n'est pas une catégorie de risque nouvelle. Il a un caractère systémique

et englobe tout, des aspects techniques aux organisations, en passant par la santé mentale. Dans la première partie de cet article, il a été évoqué son impact direct, qui se manifeste *via* des phénomènes déjà connus pour lesquels il existe souvent des moyens de prévention, mais dont il est possible de redouter qu'ils s'accroissent en fréquence et en ampleur. Dans la seconde partie, les effets indirects ont été traités. Ils sont liés aux mutations de l'activité humaine en vue de limiter son impact sur l'environnement. Et plus en détail, deux secteurs ont été abordés, l'énergie et le bâtiment. Au final, quel que soit le secteur, on doit s'attendre à retrouver les éléments suivants :

- **les changements de procédés ou de matériaux (bas carbone, avec moins d'eau)** : parfois, les dangers sont connus, mais pas nécessairement dans le « bon » secteur d'activité, et l'enjeu repose sur le transfert de compétences en santé et sécurité au travail vers de nouveaux acteurs, et surtout vers un nombre croissant de travailleurs dans les secteurs en forte expansion. Dans certains exemples évoqués, sont apparus des besoins en recyclage optimisés pour un objet donné (pale d'éolienne, aimant) associés à des tonnages modérés, ce qui peut laisser augurer de la multiplication de procédés spécifiques posant à chaque fois des questions de prévention. Dans certains cas, il s'agit d'innovations associées à des dangers qui restent à caractériser ;
- **les changements d'organisation du travail** : nouvelle répartition de l'activité au sein d'une filière, nouveau mode de fabrication, adaptation du poste et des horaires de travail pour prendre en compte les aléas climatiques ;
- **les procédés associés à des objets mal définis contenant éventuellement des substances dangereuses** : c'est le cas des opérations de rénovation, de démantèlement avec récupération de composants, du recyclage de matériaux.

Pour plusieurs de ces sujets, il est à noter qu'entre la situation actuelle et le futur annoncé il existe une période transitoire. Par exemple, il est possible d'imaginer dans un avenir lointain une situation où seraient recyclés des objets conçus pour cela, démontables ou exempts de substances dangereuses, mais, pendant longtemps, cela ne sera pas le cas. De même, la mise aux normes des locaux tertiaires dans le but de concilier basse empreinte environnementale et confort des occupants sera réalisée progressivement. ●

1. Par allusion aux canaris employés dans les mines jusqu'aux années 1980, avant qu'ils soient remplacés par des capteurs.

2. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin



(BAuA) : Institut fédéral pour la sécurité et la santé au travail allemand.

3. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) : Assurance allemande pour les accidents du travail.

4. National Institute for Occupational Safety and Health (Niosh) : Institut des États-Unis chargé de la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.

5. Partnership for European Research in Occupational Safety and Health (Perosh) : réseau européen composé de 14 instituts européens de prévention.

6. L'activité humaine émet plusieurs gaz à effet de serre en plus du gaz carbonique, chacun ayant des capacités d'absorption des infrarouges différentes. On exprime la capacité de l'ensemble à réchauffer le climat en tonnes équivalent CO₂.

BIBLIOGRAPHIE

[1] ANSES – Évaluation des risques induits par le changement climatique sur la santé des travailleurs. Rapport, janvier 2018. Accessible sur : <https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2013SA0216Ra.pdf>

[2] SCHULTE P.A., DELCLOS G.L. ET AL. – Expanding the focus of occupational safety and health: lessons from a series of linked scientific. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2022, 19, p. 15381.

[3] CHAIX B., SLAMA R. – Changement climatique et santé : défis et opportunités pour la santé publique. *Revue de questions de santé publique*, 2023, 45.

[4] SUMMARY OF THE G7 CONFERENCE – Climate change meets occupational safety and health. 2022. Accessible sur : <https://www.baua.de/EN/Service/Publications/Cooperation/Climate-change.html>

[5] CALAPRE L. ET AL. – Heat-mediated reduction of apoptosis in UVB-damaged keratinocytes *in vitro* and in human skin *ex vivo*. *BMC Dermatol.*, 26 mai 2016, 16 (1), p. 6. Accessible sur : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27230291/>

[6] WITTLICH M., ET AL. – The GENESIS-UV study on ultraviolet radiation exposure levels in 250 occupations to foster epidemiological and legislative efforts to combat non-melanoma skin cancer. *British journal of dermatology*, novembre 2022.

[7] MARINACCIO A. ET AL. – Nationwide epidemiological study for estimating the effect of extreme outdoor temperature on occupational injuries in Italy. *Environment international*, 2019, 133, pp. 105-176.

[8] MARTÍNEZ-SOLANAS È. ET AL. – Evaluation of the impact of ambient temperatures on occupational injuries in Spain. *Environmental health perspectives*, juin 2018, 126 (6).

[9] MCINNES J.A. ET AL. – Association between high ambient temperature and acute work-related injury: a case-crossover analysis using workers' compensation claims data. *Scandinavian journal of work, environment and health*, 2017, 43 (1), pp. 86-94.

[10] SANTÉ PUBLIQUE FRANCE – Impact sanitaire de la vague de chaleur d'août 2003 : premiers résultats et travaux à mener. *Bulletin épidémiologique hebdomadaire* 2003, pp. 45-46.

[11] GUBERNOT D.M. ET AL. – Characterizing occupational heat-related mortality in the United States, 2000-2010: an analysis using the census of fatal occupational injuries database. *Am. J. Ind. Med.*, 2015, 58 (2), pp. 203-211.

[12] FLOURIS A.D. ET AL. – Workers' health and productivity under occupational heat strain: a systematic review and meta-analysis. *Lancet planet health*, décembre 2018, 2, pp. e521-e531. Accessible sur : [https://www.thelancet.com/pdfs/journals/lanplh/PIIS2542-5196\(18\)30237-7.pdf](https://www.thelancet.com/pdfs/journals/lanplh/PIIS2542-5196(18)30237-7.pdf)

[13-A] AUBRY C., SIANO B. ET AL. – Dossier : travailler dans les ambiances chaudes ou froides : quelle prévention ? *Hygiène & sécurité du travail*, 2020, 259, DO 29, pp. 36-66. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=DO%2029>

[13-B] INRS – Travail par forte chaleur en été, comment agir ? 2020, ED 6371. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206371>

[14] MARCHAND A., HADDAD S. – Simultaneous exposures to heat and chemicals and the impact on toxicokinetics and biomonitoring. *Current opinions in toxicology*, 2017, 4, pp. 22-27.

[15] MILES-NOVELO A., ANDERSON C.A. – Climate change and human behavior. Cambridge University Press. Accessible sur : <https://doi.org/10.1017/9781108953078>

[16] LEHMANN F., ALARY P.E., REY G., SLAMA R. – Association of daily temperature with suicide mortality: a comparison with other causes of death and characterization of possible attenuation across 5 decades. *Am. J. Epidemiol.*, 2022, 191 (12), pp. 2037-2050.

[17] SEMENZA J.C. ET AL. – Climate change and cascading risks from infectious disease. *Infect. Dis. Ther.*, 2022, 11, pp. 1371-1390.

[18] MADSEN A.M. ET AL. – Review of biological risks associated with the collection of municipal wastes. *Science of the total environment*, 2021, 791, pp. 148287.

[19] ZINGALES V. ET AL. – Climate change and effects on molds and mycotoxins. *Toxins*, 2022, 14, p. 445.

[20] MORETTI A. ET AL. – Mycotoxin risks under a climate change scenario in Europe. *Trends in food science & technology*, 2019, 84, pp. 38-40.

[21] MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE – Stratégie nationale bas carbone. Accessible sur : https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2020-03-25_MTES_SNBC2.pdf

[22] MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE – Synthèse de la programmation pluriannuelle de l'énergie 2019-2023 et 2024-2028. Accessible sur : <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/20200422%20Synthe%CC%80se%20de%20la%20PPE.pdf>

[23] LAURENT L. – L'énergie au Royaume-Uni à l'horizon 2050 : réflexions sur la prévention. *Hygiène & sécurité du travail*, 2018, 253, VP 21, pp. 110-115. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=VP%2021>

[24] VALENTI A. ET AL. – Towards a greener labour market: occupational health and safety implications. *Ann Ist Super Sanità*, 2016, 52, 3, pp. 415-423.

[25] BROUZIOTIS A.A. ET AL. – Toxicity of rare earth elements: an overview on human health impact. *Frontiers in environmental science*, 7 septembre 2022. Accessible sur : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2022.948041/full>

[26] OPPBTP – Construction bas carbone : quels enjeux de prévention ? *Prévention BTP*, octobre 2022, 266. Accessible sur : <https://magazine.preventionbtp.fr/archives/detail/construction-bas-carbone-quelques-enjeux-de-prevention#>

[27] INRS – Prospective – Les bâtiments de demain. Quels enjeux de santé et de sécurité au travail ? 2022. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=PV%2017>

[28] BEMER D., GÉRARDIN F. – Evaluation des performances de filtration d'aérosols de trois technologies d'épurateurs d'air intérieur. *Hygiène & sécurité du travail*, 2022, 269, NT 103, pp. 42-55. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%20103>

[29] INRS – Économie circulaire en 2040 : quels impacts en santé et sécurité au travail ? *Quelle prévention ?* 2019. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/dms/inrs/CataloguePapier/ED/TI-PV-11/pv11.pdf>