

Environnement

COMMENT ANTICIPER L'IMPACT SANITAIRE DES TECHNOLOGIES VERTES À L'HORIZON 2030 ?

Le développement des technologies dites vertes ainsi que de nouveaux modes de production et de modèles économiques, sont susceptibles de faire apparaître de nouveaux risques. Un réseau d'organismes scientifiques piloté par l'Anses¹, à travers un premier exercice de veille mutualisée, a mis en lumière des tendances et formulé des hypothèses sur le futur, quant à la surveillance médicale des travailleurs dans le secteur des technologies vertes.

HOW TO ANTICIPATE GREEN TECHNOLOGY IMPACT ON HEALTH BETWEEN NOW AND 2030? – Development of so-called green technologies, new production methods and economic models, is likely to prompt new health risks. An Anses-led network of scientific bodies has conducted an initial mutual monitoring exercise to reveal current trends and formulate hypotheses for the future in relation to medical surveillance of workers in the green technology sector.

MICHEL HÉRY
INRS,
direction
générale

LOUIS
LAURENT,
JEAN-
NICOLAS
ORMSBY
Anses

CÉCILE
WENDLING
Futuribles

DANIEL
EILSTEIN
Institut
de veille
sanitaire
(InVS)

Dans le cadre de l'évaluation des risques sanitaires dans les domaines de l'alimentation, de l'environnement et du travail, plusieurs établissements du réseau R31 (Cf. Encadré 1) pratiquent à des titres divers des actions de veille et de prospective et sont amenés à réfléchir aux couplages possibles entre ces deux activités. En effet, des événements identifiés lors d'une activité de veille peuvent trouver un relief particulier lorsqu'ils sont mis en perspective avec des hypothèses sur

le futur. De même, des visions du futur peuvent être enrichies si l'on s'appuie sur des observations d'événements récents, susceptibles d'avoir un impact à moyen ou à long terme (Cf. Encadré 2). Reste à savoir comment s'y prendre en pratique. Compte tenu de la proximité entre les organismes de ce réseau et des influences réciproques de leurs différentes actions, l'idée leur est venue de mener collectivement une réflexion sur le couplage veille et prospective. Un groupe de travail² d'une quinzaine de personnes issues de huit établissements

ENCADRÉ 1 LE RÉSEAU R31

En vue de l'accomplissement de ses missions, l'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) a mis en place et anime un réseau d'organismes scientifiques, le R31, qui interviennent dans son champ de compétences (article R1313-1 du Code de la santé publique). Ce réseau, qui

compte trente organismes partenaires de l'Anses, dont l'INRS, a été officiellement lancé en octobre 2010. Une charte en établit le cadre de fonctionnement. Elle précise notamment que ce réseau a pour objectif de renforcer les coopérations aux fins :

- d'évaluation des risques sanitaires dans le domaine de l'alimentation,

de l'environnement, du travail et de la santé animale et végétale ;

- de veille et d'alerte des pouvoirs publics en cas de risques pour la santé publique ;
- d'amélioration de la connaissance des risques sanitaires dans le domaine de compétence de l'Anses.



© Da Fanny pour l'INRS

a ainsi été formé puis a commencé ses travaux fin 2013. Il s'agissait pour eux de définir le périmètre d'étude du couplage veille et prospective, de bâtir un cadre prospectif, de mener une activité de veille, et de tenter diverses approches de couplage.

Outre des avancées méthodologiques, les établissements impliqués attendent de ce travail des gains d'efficacité en matière de veille, qu'ils soient :

- immédiats : prendre connaissance d'éléments de réflexion, parfois périphériques à leurs sujets principaux, mais susceptibles d'influer sur leur devenir ;
- à plus long terme : capitaliser sur cette vue plus large que celle qu'ils auraient pu acquérir seuls.

L'objectif est aussi de relativiser sur la durée les phénomènes de mode véhiculés par les médias ou très contingents à une aire géographique. Il s'agit de faire reposer l'exercice sur une communauté de pratiques suffisamment nombreuses et variées pour assurer une certaine pérennité (quelques années) et une vraie pertinence par le croisement des compétences et des connaissances portées par les établissements.

Un premier sujet commun : l'impact sanitaire des technologies vertes à l'horizon 2030

L'exercice consiste à évaluer, à l'horizon 2030, l'« impact sanitaire sur la population et les travailleurs de l'exposition à des agents biologiques ou à des substances (impliquant des substances chimiques

ou des nanoparticules) issues de technologies vertes (au sens large : nouveaux procédés, recyclages variés, nouvelles pratiques...) ». Il s'agit donc d'accompagner le développement de telles technologies.

L'une des premières questions que le groupe a eu à trancher est celle de la définition des « technologies vertes ». Il a finalement retenu celle du ministère en charge de l'environnement [1] : « Les technologies vertes mesurent, préviennent, limitent ou corrigent les dommages environnementaux à l'eau, l'air et le sol et les problèmes liés aux déchets et aux écosystèmes ». Dans le cadre de la réflexion commune, les éléments suivants ont été identifiés :

- les techniques permettant la dépollution des sols, des eaux, etc. ;
- le recours aux énergies renouvelables (solaire, éolienne, etc.) ;
- la limitation de la consommation d'énergie des produits ;
- les interventions dans le traitement de l'air et du bruit ;
- les technologies et les usages permettant le recyclage, la réutilisation et la valorisation des déchets (par exemple la transformation et la mise en œuvre de matière issue de déchets) ;
- les technologies et les usages permettant la prolongation de la durée de vie des produits (modularité, ajout de matériaux durables) ;
- les modifications dans la conception permettant



de lutter contre le gaspillage de matière (écoconception, techniques de *near net shape*, etc.)

- les technologies permettant la substitution de ressources rares par des ressources renouvelables: par exemple la substitution par un biomatériau/ matériau bio-sourcé³[2];
- la substitution de ressources dangereuses par des ressources jugées moins risquées: par exemple la notion d'origine naturelle souvent connotée, parfois à tort, comme « non toxique ». On prend donc en compte des pratiques visant à limiter l'exposition de la population à des substances artificielles (interdiction de substances, démarches volontaires de fabricants).

Au-delà de ces dispositions d'ordre technologique, ce sont aussi de nouveaux modèles économiques comme l'économie circulaire ou celle de la fonctionnalité, ou des nouveaux comportements (tri local, « repair café », etc.) qui apparaissent et modifient les logiques de production des biens, voire des services (Cf. Encadré 2).

Méthode de travail

Le choix retenu pour cet exercice de prospective est la méthode des scénarios contrastés. Différentes variables pouvant influencer sur le futur sont identifiées. Une fiche est ensuite rédigée pour chacune de ces variables visant, à partir d'un bilan des évolutions sur les deux dernières décennies et d'une identification des éventuels points de rupture susceptibles de survenir dans les 20 années à venir, à formuler des hypothèses de développement de la variable. Le groupe de travail a retenu quinze variables pouvant influencer sur le développement des technologies vertes et d'éventuels risques sanitaires dans les 15 - 20 ans à venir:

- quatre variables décrivent le contexte: aspects géopolitiques, économie (investissements, taxation...), réglementation sur les substances chimiques, aspects sociopolitiques;
- six variables traitent des produits ou des procédés: énergie et usages de l'énergie, nanotechnologies vertes, biologie de synthèse, agriculture (substances chimiques des matières fertilisantes d'origine résiduaire épandues sur les sols agricoles et les forêts), pisciculture, biens de consommation courante;
- cinq variables décrivent les expositions: dispositifs de détection des expositions ou signaux, exposition des populations, surveillance médicale des travailleurs, surveillance des expositions professionnelles, métiers et travailleurs impliqués dans les technologies vertes.

En parallèle, un dispositif de veille centralisé a été mis en place, avec une base de données partagée et alimentée par les différents rédacteurs des fiches. Il s'agit de données ou d'évènements qui ont servi à élaborer la fiche ou sont apparus postérieurement.

Cette réflexion commune sur les éléments de veille rend plus fructueuses des interrogations comme:

- Quelle est la pertinence de la source? Est-il possible d'effectuer des croisements de sources sur ce sujet?
- Le fait détecté est-il réellement nouveau?
- Son impact est-il potentiellement important, y compris au-delà des disciplines ou des domaines d'activité auxquels on l'associe spontanément? Cet impact est-il *a priori* durable? Quels mécanismes de régulation à l'échelle micro ou macro est-il susceptible de déclencher? Faudra-t-il mettre en place une alerte sur certains aspects particuliers identifiés dans les scénarios de prospective?
- Au-delà du constat au temps t0, est-il légitime (compte tenu de l'importance du sujet ou du défaut de robustesse supposé des scénarios construits) de réévaluer des hypothèses voire des scénarios à intervalles réguliers à partir des conclusions initiales sur la base de la veille effectuée?

Surveillance médicale des travailleurs et technologies vertes

Pour illustrer ces propos, prenons l'exemple d'une fiche liée au domaine santé-travail, portant sur les risques et les méthodes de surveillance associées. Comme l'ensemble des fiches rédigées pour l'exercice de prospective, elle est structurée selon le schéma suivant:

- définition de la problématique étudiée;
- bilan de l'évolution de la variable sur les 10 ou 20 dernières années;
- tendances possibles pour le développement de la variable à échéance de 10 ou 20 ans;
- hypothèses qui, autant que possible, doivent être strictement complémentaires.

De la combinaison des hypothèses des différentes variables naissent les scénarios qui ont été évoqués ci-dessus. Le constat de départ est que le développement des technologies vertes est susceptible de renforcer l'occurrence des expositions à certains polluants et de faire apparaître des profils d'exposition différents de ceux qu'on rencontre actuellement, en raison de nouveaux modes et techniques d'exploitation. Quant aux tendances possibles, les principaux sujets discutés au sein du groupe sont présentés ci-dessous.

Les toxines

Le développement du recyclage sous toutes ses formes (valorisation des eaux usées, compostage des déchets verts, méthanisation, etc.), l'utilisation des réacteurs biologiques (biotechnologies, biocarburants, bioraffineries, biotransformation, etc.) sont susceptibles de produire des quantités importantes de bactéries. La lyse des bactéries Gram négatif libère des endotoxines susceptibles, en cas d'exposition du travailleur, de produire une réponse

inflammatoire générale, voire des chocs septiques. Les méthodes de mesurage en hygiène industrielle de ces endotoxines sont encore en cours de développement et il n'existe pas actuellement de valeurs limites pour ces produits, même si de premiers travaux ont été consacrés à l'évaluation des niveaux des expositions respiratoires dans les différents milieux de travail où ces endotoxines sont rencontrées [5].

Aujourd'hui, la relation dose-effet de ces endotoxines n'est pas connue. Pour progresser dans la connaissance de cette relation, des études toxicologiques seraient nécessaires ainsi que des études épidémiologiques de longue durée. À ce jour, il n'est donc pas possible de fixer des valeurs guides. Leur absence rend délicate l'interprétation des résultats et par conséquent, le choix des mesures de prévention à mettre en œuvre. La tendance actuelle est au développement d'une approche de type « *control banding* » permettant d'orienter les mesures de prévention et de les graduer en fonction des niveaux d'exposition.

Une grande partie du référentiel en santé au travail est donc à construire (y compris en ce qui concerne les techniques de prévention de l'exposition professionnelle) et un suivi médical spécifique devra être mis en place si les niveaux d'exposition des futures activités se révèlent être parmi les plus élevées de ce qu'on mesure actuellement. Par rapport à la situation actuelle et pour de nouvelles activités, on peut assister à un changement d'échelle, tant pour ce qui concerne la fréquence des expositions que pour leur niveau.

Une problématique voisine apparaît avec les moisissures et la génération de mycotoxines par certaines d'entre elles dans des conditions particulières. Si la toxicologie de ces molécules est relativement bien connue dans le domaine de l'alimentation, beaucoup de données sont encore à acquérir, comme pour les endotoxines, dans le domaine de l'exposition professionnelle par la voie respiratoire: échantillonnage, adaptation des méthodes d'analyse qualitatives et quantitatives, détermination des seuils toxicologiques, choix de valeurs limites d'exposition, etc. Compte tenu de la large gamme d'effets toxicologiques associés, le suivi des salariés potentiellement exposés s'avère complexe. Comme pour les endotoxines, le développement d'activités dites « vertes », susceptibles de produire, de façon intentionnelle ou pas, des moisissures, peut entraîner un changement d'échelle dans la prise en compte des éventuelles conséquences en santé au travail [6].

Des agents chimiques mal caractérisés et en mélange

Plus généralement, les opérations de recyclage des déchets ou de remédiation des sites pollués sont susceptibles de générer des expositions très

variées au sein d'une même opération, exposition qu'il sera difficile d'évaluer y compris qualitativement dans un premier temps. Les compositions initiales des déchets sont souvent mal connues et des phénomènes de transformation sont susceptibles d'intervenir entre leur mise en décharge (parfois très éloignée dans le temps) et leur exploitation comme matière première. Le recyclage de scories ou de déchets contenant des métaux peut s'accompagner d'expositions pour les travailleurs à d'autres métaux présents en quantités très faibles mais dont la présence dans l'atmosphère en quantités proportionnellement plus grandes, en raison de leurs propriétés physicochimiques particulières, peut être préoccupante d'un point de vue toxicologique.

Le professionnel de la prévention devra prendre conscience du fait que, pour certaines de ces opérations de recyclage, il ne s'agit pas d'une exposition à quelques molécules mais potentiellement

ENCADRÉ 2 DES MODÈLES ALTERNATIFS

L'économie circulaire désigne un concept économique qui s'inscrit dans le cadre du développement durable et dont l'objectif est de produire des biens et des services tout en limitant la consommation et le gaspillage des matières premières, de l'eau et des sources d'énergie. Il s'agit de déployer une nouvelle économie « circulaire » et non plus linéaire, fondée sur le principe de « refermer le cycle de vie » des produits, des services, des déchets, des matériaux, de l'eau et de l'énergie [3], chaque déchet devenant la matière première d'un autre produit.

L'économie de la fonctionnalité désigne un concept économique qui s'inscrit dans le cadre du développement durable. Il s'agit de remplacer la vente du bien par la vente d'un usage. L'économie de la fonctionnalité peut logiquement apparaître comme voie de développement durable réconciliant croissance économique et environnement. Le producteur qui vend l'usage (service) du bien a intérêt à en allonger la durée pour diminuer relativement le coût de l'investissement dans le coût global d'usage en l'amortissant sur une plus longue durée [4]. Le Vélib' à Paris en est un bon exemple.

à plusieurs dizaines, voire à plusieurs centaines. La plupart des méthodes de travail actuelles sont basées sur la présence d'un maximum de quelques polluants dans les atmosphères de travail et les effets des expositions complexes sont encore très mal connus [7]. À cet égard, les expériences développées actuellement, dans l'évaluation des risques pour des atmosphères complexes comme celles liées à l'utilisation des bitumes ou au dégagement des fumées des moteurs diesel, pourront peut-être servir de base pour de nouvelles méthodes adaptées à ces problématiques. Pour des produits issus des fermentations, comme



les biocarburants ou des molécules chimiques, il est également possible que les productions aient une variété chimique plus grande par rapport aux raffinages, extractions ou synthèses classiquement effectués aujourd'hui. De même, certains procédés chimiques nouveaux conçus dans une logique d'économie circulaire, avec des rendements parfois moins élevés que les synthèses classiques, peuvent donner naissance à des sous-produits ou à des intermédiaires de synthèse dont la toxicité peut ne pas être négligeable. Les premières tendances identifiées vont vers une complexification de la gestion de ces questions.

L'« invisibilisation » du risque

De nouveaux modes de production et de nouvelles techniques impliquent l'acquisition de nouvelles connaissances. En matière de toxicologie (et plus encore pour l'épidémiologie), les connaissances sont souvent très lacunaires pour de nombreuses molécules et l'acquisition de ces connaissances relève d'un processus assez long, souvent soumis à des résultats et des appréciations contradictoires. Une question potentielle est donc « l'invisibilisation » du risque. Certes, on peut penser que faire appel à des produits biosourcés peut être un facteur de réduction de risques. Il se peut aussi que, dans d'autres cas, des risques nouveaux apparaissent.

À titre d'exemple, la presse s'est fait récemment l'écho des possibilités qu'ouvrirait l'utilisation des composés chimiques appelés quinones (et, plus largement, certaines molécules carbonées) dans les applications de stockage de l'énergie : coût inférieur à celui des classiques lithium-ion ou nickel-hydrure métallique pour une capacité de stockage théorique deux fois supérieure et une disponibilité de la ressource bien supérieure. Bien que ce soit des molécules relativement connues d'un point de vue chimique, les connaissances sur leur toxicité sont aujourd'hui assez lacunaires : certaines molécules sont entre autres suspectées de cytotoxicité aigüe, d'immunotoxicité et de cancérogénicité. Une utilisation élargie de ces molécules, en particulier pour des usages aussi répandus que les batteries, nécessiterait donc un approfondissement des connaissances sur les molécules impliquées directement et la mise en place de recommandations sur les conditions d'utilisation afin que la santé des travailleurs soit protégée.

De nouveaux modes d'organisation

La question de l'organisation de la production peut également avoir une influence sur ces questions de suivi de la santé des travailleurs. On peut imaginer que la raréfaction et le coût croissant de l'énergie et que l'entrée dans une économie circulaire auront pour effet de décentraliser les installations de récupération et de transformation de la

matière. On imagine mal, par exemple, que le traitement des eaux usées soit centralisé à l'échelle d'un département. De même, dans l'hypothèse d'une économie circulaire, les lieux d'exposition à des produits posant des problèmes en matière de santé au travail (métaux toxiques, produits non parfaitement maîtrisés des fermentations, etc.) sont susceptibles de se multiplier. Tout ceci pose la question de la maîtrise des expositions et aussi celle du suivi des travailleurs. Aujourd'hui, celui-ci est favorisé par la relative concentration des expositions potentiellement les plus préoccupantes dans les grosses structures de production, mais pourtant déjà la question de la dissémination de certains produits toxiques (amiante, hydrocarbures aromatiques polycycliques, fumées de soudage, silice, solvants, etc.) dans des activités où le suivi et la gestion des expositions sont plus difficiles (second œuvre du bâtiment par exemple), est posée. Qu'en sera-t-il avec des modèles plus diffus de production ?

Un débat sur la légitimité du maintien de valeurs limites spécifiques (plus élevées) pour les travailleurs par rapport à la population générale est récurrent dans certains cercles depuis quelques années. L'économie circulaire pourrait avoir pour effet de rapprocher la sphère de la consommation de la sphère de la production (*via* par exemple le tri et la collecte très organisés des déchets de toutes sortes, les pratiques de recyclage ou de récupération par des particuliers). De même, la multiplication de lieux de production entraînera celle de l'exposition potentielle des riverains. Le débat ne peut donc que s'amplifier.

De nouveaux modes d'organisation du travail (travail à distance, y compris à domicile, etc.) pourraient également avoir pour effet de gommer au moins partiellement les distinctions effectuées jusqu'à présent entre santé au travail et santé publique au sens large. L'allongement de la durée du travail, en maintenant dans l'emploi des personnes au-delà de 60 ou 65 ans tend également à estomper la justification de valeurs plus élevées en santé au travail en raison notamment du fait que la population concernée est active, plus résistante et réputée en meilleure santé que la population générale⁴. À cet égard, à titre d'exemple, les abaissements successifs de la valeur limite d'exposition professionnelle intervenus au cours de ces vingt dernières années et les modifications des méthodes d'échantillonnage et de comptage des fibres tendent à rapprocher très fortement la prévention en santé au travail et la prévention en santé environnementale pour les risques liés à l'amiante.

Quelles hypothèses ?

Une fois les tendances possibles discutées, des hypothèses quant à la surveillance des travailleurs dans le futur ont été formulées.

Hypothèse 1: Développement et insertion progressifs dans le dispositif

Le schéma de développement actuel de la médecine du travail, fondé sur un recours renforcé à l'expertise technique pour l'étude et l'aménagement des postes de travail, en recentrant l'activité des médecins du travail sur la coordination de ces apports et la vérification de leur adéquation avec le bien-être de l'homme au travail se poursuit. Les activités issues des technologies vertes s'insèrent également dans ce schéma, au même titre que toutes les opérations de production.

Hypothèse 2: Jeunesse et « invisibilisation » des risques

À courte voire moyenne échéance (5 à 20 ans), la prévention des risques professionnels dans les technologies vertes reste à la traîne des politiques développées en matière de santé au travail. Plusieurs raisons possibles (non exclusives les unes des autres) à cette carence:

- la prévalence d'une opinion selon laquelle ces procédés mettant majoritairement en œuvre des produits « naturels » et la question de leur toxicité n'est pas une priorité, que cette toxicité soit réellement limitée ou que le recul soit encore insuffisant;
- le manque de moyens: « dernier arrivé, dernier servi » et une carence au niveau de la demande et de l'offre de prestations dans le domaine de la prévention des risques professionnels;
- le manque de connaissances sur les risques et les méthodes de prévention qui n'incite pas à des actions volontaristes.

Hypothèse 3: Développement rapide et dispositif santé travail adapté

Le développement des technologies vertes s'est révélé très dynamique. Ces industries sont apparues très spécifiques en termes de développement industriel: elles ont généré des procédés, des technologies, des métiers, mais aussi des risques professionnels nouveaux. Cette spécificité et ce dynamisme ont conduit au développement d'un système intégré dans lequel la santé au travail est considérée comme une composante à part entière du processus de fabrication: le respect de l'intégrité du travailleur influe sur le développement des installations et des procédés.

Hypothèse 4: L'abolition de la frontière entre santé environnementale et santé au travail

Les conditions d'exploitation des technologies vertes (développement du recyclage au plus près des lieux de consommation, forte proximité voire instrumentalisation des consommateurs pour certaines opérations de ce recyclage, etc.) ont pour effet de fragiliser, voire d'abolir la plupart des

barrières entre santé au travail et santé environnementale (deux composantes d'une même santé publique) au bénéfice de la seconde.

Conclusion

En parallèle, le groupe continue à accumuler des éléments de veille qui illustrent ou infirment les tendances décrites ci-dessus. Il peut s'agir:

- de technologies (nouveaux procédés ou produits);
- de pratiques (par exemple sur le rôle accru de la population générale);
- de questions sanitaires déjà connues mais dont on peut deviner le caractère annonciateur.

Le but de cet article était d'illustrer, à travers un exemple, la richesse d'un travail collectif, utilisant la prospective comme cadre structurant. C'est ainsi que des réflexions à l'origine traitées dans un cadre strictement santé-travail, se trouvent enrichies par des considérations sur l'évolution de la société, des modes de production et aussi par la capacité d'observation d'un ensemble d'établissements couvrant un champ étendu. Cette mutualisation des connaissances et des capacités constitue un atout dans une logique d'anticipation des crises. ●

1. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

2. Paulina Cervantès (Anses), Muriel Dunier (INRA), Daniel Eilstein (INVS), Brigitte Enriquez (ENVA), Anne-Marie Fillet (Anses), Michel Héry (INRS), Sophie Guitton (Anses), Maoussa Hoummady (BRGM), François de Jouvenel (Futuribles), Louis Laurent (Anses), Marie-Thérèse Ménager (CEA), Jean-Nicolas Ormsby (Anses), Odette Prat (CEA), Marie-Odile Rambourg (Anses), Laurent Vidalenc (ADEME), Benoit Vergriette (Anses), Cécile Wendling (Futuribles).

3. Selon le CESE (Conseil économique, social et environnemental), il s'agit de matériaux issus de l'agriculture voire de plantes marines, utilisées dans de nombreux secteurs (textiles, habitat, aéronautique, bagages, etc.)

4. Elle bénéficierait aussi d'une meilleure formation lui assurant également un meilleur accès aux soins s'ajoutant à un suivi médical au travail (cette dernière raison pourrait d'ailleurs tendre à s'estomper en raison de la modification du suivi professionnel, lié à la pénurie de médecins du travail).

BIBLIOGRAPHIE

[1] www.developpement-durable.gouv.fr/+Technologies-vertes+.html

[2] www.lecese.fr/content/le-cese-se-penche-sur-lenjeux-des-biomateriaux

[3] www.developpement-durable.gouv.fr/Comment-fonctionne-l-economie.html

[4] www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/rapport_final_comop_31.pdf

[5] www.inrs.fr/accueil/produits/mediatheque/doc/publications.html?refINRS=TC%20138

[6] www.inrs.fr/accueil/produits/mediatheque/doc/publications.html?refINRS=TC%20131

[7] ANTONSSON A.B. Une place pour la santé au travail dans l'économie verte. *HesaMag*, 9, pp. 40-43, 2014.