

Nouvelles technologies - nouveaux risques

Symposium de l'Institut national de médecine agricole (INMA)

Tours, 29 septembre 2017

EN
RÉSUMÉ

AUTEURS :

A. Schaller, département Études et assistance médicales, INRS

G. Caetano, interne en médecine du travail, INRS

MOT CLÉS

Technologie
avancée /
Organisation
du travail

De nouvelles technologies sont apparues pour simplifier le travail et améliorer la productivité. Quels impacts sur l'organisation du travail, sur la santé, la qualité de vie au travail (QVT) ou la prévention des risques ? Lors du symposium de l'Institut national de médecine agricole, des techniques innovantes utilisées dans le monde agricole et industriel ont été présentées : imprimante 3D, exosquelette, cobotique, simulation virtuelle, robot de traite, diode électroluminescente, champs électromagnétiques, unités de méthanisation, pulvérisateurs en viticulture...

APPROCHE SOCIOLOGIQUE

G. Anzalone, École supérieure de l'agriculture d'Angers

Les mutations des collectifs et du travail en agriculture au cours des siècles précédents sont l'objet de cette intervention. En se référant à H. Mendras et à son modèle des sociétés paysannes, le sociologue rappelle les trois principales étapes de l'évolution de l'organisation du travail agricole en lien avec le développement technologique. Sous la Troisième République, la population française est essentiellement rurale, c'est le règne de la paysannerie avec pour valeurs la famille, le patrimoine, la domesticité. Dans la seconde moitié du XX^e siècle, la dimension communautaire s'efface au profit de la notion de production et d'outil : l'agriculteur devient un chef d'exploitation. Aujourd'hui, il est chef d'entreprise, avec une activité diversifiée, et doit s'adapter aux innovations techniques et commerciales du marché mondial. Ces mutations radicales ont mis fin à une certaine autonomie de la population agricole au sein de

la société. Les nouvelles technologies sont potentiellement sources d'incertitudes et de controverses. L'alimentation et l'environnement sont aujourd'hui au centre des enjeux sociétaux. Le pacte social entre les agriculteurs et le reste de la population est ainsi remis en question. La représentation du monde agricole est atomisée, des modes d'action et des pratiques différentes apparaissent, par exemple avec l'éclatement de la représentation syndicale agricole ou l'apparition de systèmes alternatifs comme le retour aux circuits courts dans l'agroalimentaire. L'agriculteur appartient aujourd'hui à un groupe social fragmenté, soumis à la précarisation et à la financiarisation de la profession. Cet éclatement des collectifs et l'individualisation du travail ont eu pour conséquence de l'isoler et de le rendre vulnérable. Le monde agricole a subi un effondrement démographique, le nombre d'exploitations ayant été divisé par dix en moins de 30 ans. Les profils se sont diversifiés avec le vieillissement et la féminisation de la profession : en 2010, 27 %

des chefs d'exploitation sont des femmes. Pour les plus de 55 ans, une incertitude sur la continuité existe, la reprise de l'exploitation par les enfants étant aléatoire. Chez les moins de 40 ans, l'agriculture n'est souvent qu'une étape dans un parcours professionnel de plus en plus varié. Les grandes exploitations sont en augmentation, avec des salariés permanents plus nombreux. Le modèle du couple d'exploitants s'efface.

Avec la banalisation de l'entrepreneuriat agricole, en lien avec les nouvelles technologies, l'agriculteur pilote aujourd'hui son entreprise organisée comme une « firme », ce qui peut interroger sur la visibilité de son travail.

IMPRIMANTE 3D

C. Patrascu, département Expertise et conseil technique, INRS

La fabrication additive consiste à superposer des couches de matières avec une imprimante 3D selon les coordonnées transmises par un fichier. Elle fait appel à deux technologies qui sont l'apport de matière et la transformation de la matière. Le premier brevet a été déposé en 1984 et les différentes technologies qui y sont associées sont décrites dans la norme ISO NF 17296. Parmi celles-ci, la stéréolithographie consiste à solidifier un liquide photosensible par le biais d'un rayon laser ultraviolet, sur une table mobile ; dans la technique du frittage de poudre métallique, un faisceau laser fusionne une poudre par couche ajoutée à chaque passage. Enfin, l'extrusion¹ d'un fil de plastique en fusion permet de déposer couche par couche un filament de matière thermoplastique fondue

1. Fabrication de produit par écoulement de matière liquide

qui, en se surperposant, donne forme à l'objet.

Par ordre d'importance des matériaux utilisés dans l'impression 3D sont cités les polymères – les moins coûteux –, sous forme de poudre, de fil ou de photopolymère, puis les métaux, sous forme de poudre et de fil également, suivis de la céramique, du béton ou même des aliments... Pour les polymères, il s'agit principalement de l'acrylonitrile butadiène styrène (ABS), du polycarbonate, de l'acide polylactique (PLA), du silicone... Les métaux les plus utilisés sont l'aluminium, l'acier inoxydable, le titane, des alliages chrome-cobalt...

Ces nouvelles techniques offrent de nombreux avantages. Elles permettent la réalisation rapide de prototypes, avec peu de perte de matériaux, la réalisation de pièces complexes. Elles autorisent l'optimisation topologique des pièces (en termes de poids, d'encombrement...), la réalisation de pièces à façon, la flexibilité en s'affranchissant des moules notamment. Elles permettent d'évoluer rapidement, à la demande, en supprimant ainsi les stocks... Au niveau mondial, les secteurs professionnels les plus concernés par l'impression 3D sont l'électronique, l'automobile, le biomédical, le domaine aéronautique et spatial...

Mais cette technologie présente également des inconvénients. Les machines performantes coûtent très cher (des centaines de milliers d'euros), le nombre de matériaux utilisables est limité ainsi que les dimensions des pièces réalisables... L'impression 3D nécessite l'acquisition de nouvelles compétences (conception assistée par ordinateur...), des étapes de finition (suppression du support,

polissage...) et du temps pour des volumes importants, donc un coût élevé de production.

Il n'existe pas de risques professionnels nouveaux liés à cette activité. Ils sont associés à la tâche et aux modes opératoires, à la machine ainsi qu'aux produits utilisés, lors de leur oxydation, de leur transformation ou de leur dégradation... Différentes phases sont exposantes au risque chimique, comme la réception, le transfert ou le stockage des matières premières. Pour prévenir ces risques, le bon état des conteneurs, c'est-à-dire leur étanchéité et leur propreté, ainsi que la ventilation des locaux sont des priorités. Lors de la mise en œuvre, réalisée en circuit fermé, les postes de travail sont ventilés, les machines doivent être adaptées aux types de poudres. Le travail sous atmosphère inerte protège le métal de l'oxydation limitant ainsi le risque d'incendie ou d'explosion. Les phases les plus exposantes sont celles de la finition, du nettoyage et de l'élimination de tous les produits de dégradation, ainsi que la récupération de la matière non utilisée.

EXOSQUELETTE

J.J. Atain Kouadio, département Homme au travail, INRS

L'exosquelette n'est pas un concept nouveau. Dans les années 60, Hardiman concevait des modèles d'exosquelettes pour l'industrie automobile. Mais trop grands et trop lourds à porter par l'homme, ils étaient difficilement utilisables. Depuis, l'armée et la médecine développent ce type d'outils avec principalement des applications en réadaptation fonctionnelle.

Nouvelles technologies - nouveaux risques Symposium de l'Institut national de médecine agricole (INMA)

Aujourd'hui, ces dispositifs font leur apparition dans le monde du travail.

Les exosquelettes peuvent être définis comme « l'ensemble des technologies utilisées afin d'apporter une aide physique à l'utilisateur dans l'exécution d'une tâche, par une compensation de ses efforts et/ou une augmentation de ses capacités motrices ». Ils se distinguent en : dispositifs d'assistance physique (DAP), avec ou sans contention ; robots d'assistance physique (RAP), avec ou sans contention, guidés manuellement par l'homme ; autres robots industriels. Les exosquelettes actuellement utilisés dans le monde du travail sont des DAP avec contention, apportant une aide aux membres supérieurs et/ou au dos. Il existe aussi des exosquelettes corps entier, « modulables », agissant sous le principe du transfert des contraintes. Les exosquelettes assistent les mouvements des opérateurs *via* un principe de restitution de l'énergie mécanique (dispositifs élastiques, à ressorts...). Des difficultés de classification demeurent : les exosquelettes sont-ils des équipements de protection individuelle, des appareils de levage, des aides à la manutention... ?

Ces dispositifs se développent dans un contexte de troubles musculosquelettiques (TMS) et de charge physique très présents en entreprise ; d'une population de travailleurs vieillissants ; du désir de modernisation des entreprises en forte demande de progrès technologiques... Ils sont utilisés dans des entreprises de toute taille et dans de nombreux secteurs d'activité (automobile, énergie, aéronautique, aide à la personne, BTP...).

L'objectif principal de l'exos-

quelette est la réduction des contraintes biomécaniques. Il peut être particulièrement intéressant dans les situations de travail qui exigent des postures contraignantes, des positions maintenues et des tâches de manutention ou de précision.

Des études de laboratoire montrent que l'utilisation des DAP assistant le dos, pour aider à redresser le buste, est associée à une réduction des efforts des muscles lombaires de 10 % à 40 %, à une diminution de la compression des disques intervertébraux et à une réduction de la fatigue. Néanmoins, il y a un inconfort pour l'utilisateur, une augmentation de l'activité des muscles abdominaux, une tendance à maintenir les genoux en extension et une augmentation de la contraction du muscle *tibialis* antérieur lors d'un mouvement pour anticiper un possible déséquilibre.

L'utilisation des DAP assistant les membres supérieurs, lors d'activités avec les bras élevés au-dessus de l'épaule, est associée à une réduction de l'activité musculaire du deltoïde de 30 % à 40 % et à une diminution de l'effort perçu de 40 % à 50 %. Toutefois, leur utilisation montre une augmentation de l'activité des muscles lombaires de l'ordre de 30 %, ainsi qu'une perception de l'augmentation de la sollicitation des muscles du dos de 25 %. Au niveau du comportement fonctionnel de l'épaule, il a été observé un changement de toute la synergie de la coiffe des rotateurs avec une compression tendineuse sous-acromiale, sans que pour autant l'utilisateur se plaigne.

Ces études, normalement effectuées pendant 45 minutes à 1 heure par tâche, doivent être mises à l'épreuve de la réalité des

situations de travail, avec prise en compte des caractéristiques de l'individu, de l'existence de charges, de poids et de configuration variables, et de l'existence de tâches multiples. Des questions fondamentales émergent : l'utilisation des exosquelettes peut-elle changer la commande neuromotrice ? L'utilisateur va-t-il faire face à des délais d'adaptation / désadaptation au dispositif ? La fatigue peut-elle être augmentée sur une journée de travail ? En quoi l'utilisation des exosquelettes peut-elle changer la proprioception ou amener à des modifications posturales, aiguës et chroniques ?

De possibles risques liés à l'utilisation des exosquelettes ont été identifiés : des risques mécaniques (collision avec l'opérateur ou avec un tiers, casse d'outils et projection, écrasement, lésions articulaires, frottement/abrasion) ; des risques liés à la charge physique (TMS, perturbations sensorielles, désadaptation musculaire, déséquilibre et contraintes posturales) ; des risques liés à la charge cognitive (exigences attentionnelles, possible perte de contrôle et d'autonomie, incidence sur l'expertise qui peuvent représenter des risques psychosociaux).

L'usage d'un exosquelette inadapté à la personne ou à la situation de travail peut s'avérer inefficace dans son rôle premier de réduire la charge physique. L'intégration d'une technologie d'assistance physique dans une situation de travail doit consister en une réponse spécifique et très localisée à un besoin d'assistance physique. Pour cela, il est nécessaire d'étudier au préalable les spécificités de la tâche, d'identifier les risques à chaque étape du travail, d'impliquer l'utilisateur final dans cette

démarche, d'accorder une période de familiarisation et d'adaptation à l'outil, de développer des marges de manœuvre situationnelles, de réfléchir à l'évolution du travail et de son organisation.

COBOTIQUE-ROBOTIQUE

A. Chambellan, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), Gif-sur-Yvette

La robotique est la science et technique de la robotisation, de la conception et de la construction des robots. En robotique, le robot agit seul, avec des opérateurs autour. La cobotique implique des robots assistant l'homme. Une partie des tâches est automatisée, mais c'est l'homme qui pilote la tâche du robot, avec un lien homme-machine plus étroit. La cobotique associe les compétences et l'intelligence de l'humain à la force et à la robustesse du robot. L'objectif est de répondre efficacement aux problématiques de collaboration homme-machine : le cobot permet le partage des tâches et de l'espace en toute sécurité pour l'opérateur, le déchargeant ainsi des tâches répétitives, de prévenir l'apparition de TMS, avec un meilleur rendement et une flexibilité accrue des procédés industriels. La cobotique, ou robotique collaborative, constitue l'un des enjeux majeurs de l'usine du futur, à la croisée de la simulation, de la robotique et de l'assistance à l'humain.

Plusieurs secteurs d'activité sont concernés, tels que l'énergie, la défense, l'industrie, l'agroalimentaire, les transports, la santé... Des « agroéquipements du futur » peuvent apporter plusieurs bénéfices : ces technologies améliorent le positionnement des outils, à

l'aide de capteurs innovants et de systèmes de détection, surtout en agriculture de précision et dans les plans éco-phyto ; des tracteurs pilotés et des outils autonomes représentent un avantage économique ; des outils d'assistance à l'effort réduisent la pénibilité de l'utilisateur ; des systèmes de détection et d'évitement des situations dangereuses sont un gain en termes de sécurité.

Les technologies de capture de mouvement (*motion capture*) et de capture d'effort, couplées à des méthodes d'évaluation des contraintes physiques, ont permis aux ingénieurs de construire un outil d'aide à la tâche spécifique de « pousser la paille » dans l'élevage bovin. C'est un râteau cobot qui aide l'éleveur à rapprocher l'aliment des zones où les vaches mangent, réduisant ainsi l'effort physique. Un autre cobot assiste l'agriculteur dans la récolte de choux-fleurs : l'agriculteur utilise ses compétences pour décider si le chou est mûr pour être cueilli et l'engin coupe le chou. À l'aide d'un smartphone doté d'un système de géolocalisation, l'agriculteur donne des « ordres » au cobot en lui indiquant les choux à maturité, réduisant ainsi les contraintes et les dangers liés aux coups de machette.

En médecine physique et de réadaptation, des orthèses peuvent aider le patient à réaliser des exercices de rééducation fonctionnelle d'un membre lésé en reproduisant des mouvements pré enregistrés par le médecin. Dans l'industrie, ces technologies permettent de déplacer des objets très lourds en « éliminant » leurs poids : le travailleur a la sensation que l'objet glisse sur de la glace et peut le manipuler sans effort. Des sys-

tèmes technologiques similaires permettent de guider l'emplacement des pièces à un endroit précis et d'éviter les collisions avec les objets autour.

LA ROBOTISATION PARTICIPE-T-ELLE À LA QUALITÉ DE VIE AU TRAVAIL DES ÉLÈVEURS ?

A. Dronne, Association régionale pour l'amélioration des conditions de travail (ARACT), Metz

De plus en plus d'éleveurs ont recours à un robot de traite. Pour étudier l'influence de la robotisation sur la qualité de vie au travail (QVT) des exploitants et des salariés dans le secteur de la production laitière, une recherche-action a été commanditée par le Comité paritaire d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail agricole inter départemental de Lorraine. Pilotée par l'ARACT Grand-Est, l'étude porte sur des observations en situation de travail, près du robot, des entretiens individuels avec les exploitants et les salariés, parfois poursuivis par des entretiens collectifs, sur la base du volontariat, dans 29 exploitations de production laitière en Lorraine et en Champagne-Ardenne.

L'implantation du robot répond à différents enjeux. La réduction de la pénibilité et la conciliation vie professionnelle/vie personnelle sont les deux principales motivations. Les exploitants refusent en particulier de se voir usés physiquement à l'âge de la retraite, tels que l'étaient leurs parents. En plus de s'extraitre de l'astreinte de la traite, le robot permet un gain de temps de 2 minutes par jour et par vache, soit 2 heures par jour pour 60 vaches. Ceci permet aux

Nouvelles technologies - nouveaux risques Symposium de l'Institut national de médecine agricole (INMA)

éleveurs de développer d'autres activités professionnelles, notamment pour faire face à la crise économique liée à la baisse du prix du lait, et offre une plus grande souplesse et une liberté organisationnelle. Grâce au pilotage à distance, le temps peut aussi être réinvesti dans des temps sociaux, familiaux ou des loisirs. Grâce à l'ordinateur, la journée peut être anticipée. Elle est organisée en amont en fonction des indicateurs du logiciel. Mais ceci nécessite de développer des compétences spécifiques, informatiques, de savoir analyser et traiter les données. L'activité de surveillance du robot prend une plus grande place dans la journée de l'éleveur – gestion d'une application sur son smartphone... –, il est également soumis aux alarmes pouvant se déclencher de jour comme de nuit et se trouve confronté au risque d'une hyperconnexion.

L'augmentation de la charge mentale et du niveau de stress est une conséquence du morcellement de l'activité. La charge cognitive supplémentaire oblige à une répartition beaucoup plus lisible des rôles et des responsabilités sur l'exploitation. Le robot oblige à repenser ses activités.

Outre le coût d'achat, celui de la maintenance est une nouvelle réalité. La technologie de pointe ne permet plus de «bricoler» mais rend dépendant du contact avec le technicien de maintenance. La nécessité d'adapter le travail aux aléas du robot a aussi un impact sur la charge mentale des exploitants.

Le rapport à la bête change pour l'éleveur qui perd la relation physique avec l'animal et le troupeau. S'il constate que le troupeau est plus calme, approcher un ani-

mal, pour le soigner par exemple, s'avère plus compliqué et source de risques.

En conclusion, le robot de traite participe à l'amélioration de la QVT mais avec des répercussions sur les contraintes organisationnelles, l'utilisation des données informatiques, le développement des compétences et l'évolution de métier. Les exploitants qui n'anticipent pas l'évolution du métier peuvent connaître des difficultés d'acquisition de compétences, se replier sur l'exploitation et s'isoler. C'est pourquoi, développer des outils d'aide à la décision en direction des exploitants sur l'introduction des nouvelles technologies permettrait, très en amont, une réflexion sur l'ensemble du projet, technique mais surtout organisationnelle afin de mieux appréhender l'impact sur leur métier et d'identifier les risques émergents.

SIMULATION EN 3D DE SOLUTIONS ERGONOMIQUES

A. Flechard, AF'ergo Conseil, Laval

La **réalité virtuelle** permet de concevoir les nouveaux postes de travail et de les adapter au salarié qui y travaillera, avant même leur construction. À partir du plan du futur poste de travail, un « sas lab » est créé. Il s'agit d'une salle de réalité virtuelle en 3D qui permet de projeter le poste de travail à taille réelle et d'effectuer des simulations et des analyses ergonomiques. L'opérateur, équipé de capteurs de mouvements, exécute les tâches de son travail et manipule les objets dans cette « salle immersive ». Le plus fréquemment, les utilisateurs sont des opérateurs de production, des

techniciens de maintenance ou des conducteurs de ligne. Un écran interactif permet de contrôler l'environnement de travail et de calculer les contraintes pour chaque articulation sollicitée avec l'application de la méthode RULA. Cette dernière est un outil d'analyse de situations de travail pour postes assis ou debout. Il tient compte du travail statique et dynamique et permet l'analyse des amplitudes articulaires des membres supérieurs ainsi que du cou et du tronc. Il aboutit à un score général pour la situation considérée.

Au niveau de l'avatar du salarié sur l'ordinateur, chaque zone du corps du salarié se colore en fonction des contraintes mesurées. Le résultat final prend en compte l'avis de l'opérateur et la cotation RULA. Si le résultat est considéré comme non acceptable, des modifications sont apportées à la maquette numérique du poste de travail et une nouvelle simulation est réalisée, jusqu'à l'obtention d'un résultat acceptable. Cette approche permet : de sensibiliser les concepteurs à l'ergonomie ; de détecter la malfaçon avant la construction des machines et autres objets qui constitueront l'environnement physique de travail ; de faire découvrir au travailleur son futur poste.

L'**outil ErgoNeuron** permet de faire un diagnostic sur un poste de travail déjà existant, en situation de travail réelle. L'opérateur est équipé d'une combinaison qui fait du *tracking* (suivi) de mouvement. Cet outil identifie les situations les plus critiques et contraignantes en termes de postures de travail, en utilisant le même principe de cotation RULA.

Ces deux outils permettent de fédérer l'ensemble des acteurs

autour d'un projet (responsable qualité, membres du Comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail, chargé d'affaires, concepteur de la machine, utilisateur...) afin d'améliorer les conditions de travail d'un point de vue ergonomique et de prévenir les risques professionnels.

LES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES. ÉVALUER LES RISQUES SANS MESURE

J. Fortuné, Centre des mesures physiques (CIRCOP), Caisse d'assurance retraite et de la santé au travail (CARSAT) Centre-Val de Loire

Les champs électromagnétiques (CEM) peuvent être d'origine naturelle ou artificielle et sont présents partout dans l'environnement. Un CEM apparaît dès lors que des charges électriques sont en mouvement, il résulte de la combinaison de 2 ondes (l'une électrique, l'autre magnétique) qui se propagent à la vitesse de la lumière. Par exemple, une lampe éteinte branchée sur la prise de courant (fil conducteur sous tension) est responsable de l'existence d'un champ électrique seul. Lorsque la lampe est allumée (passage de courant électrique), le champ électrique est couplé à un champ magnétique.

Les CEM peuvent avoir des **effets aigus**, directs et indirects, en fonction de la fréquence mesurée en hertz (Hz). Un CEM statique, à 0 Hz (aimants permanents, électroaimants alimentés en courant continu...) peut entraîner des vertiges et des nausées lorsqu'une personne se déplace à proximité de la source à une certaine vitesse. Un CEM de l'ordre de 100 kHz peut être responsable d'une stimula-

tion des nerfs et des muscles. Un CEM à 1 MHz peut en outre induire un échauffement du corps ou de certains tissus. Un CEM de 6 GHz peut entraîner l'échauffement de tissus de surface.

Les CEM peuvent interférer avec les dispositifs médicaux (DM) actifs ou passifs, implantés ou portés à même le corps. Les DM actifs (stimulateur cardiaque, défibrillateur, prothèse auditive, pompe à insuline...) comportent des éléments électroniques qui peuvent être perturbés par des CEM en fonction des caractéristiques techniques du DM. Certains DM contiennent des éléments ferromagnétiques conducteurs. Soumis à des CEM de certaines fréquences, ils peuvent s'échauffer. Soumis à un aimant, ils peuvent aussi s'aimanter et se déplacer à l'intérieur du corps humain. Par exemple, le réglage du débit d'une valve pour le drainage du liquide céphalo-rachidien, implantée derrière l'oreille, se fait avec un « aimant de réglage ». L'utilisation d'un rasoir à barbe électrique peut dérégler ce type d'implant passif.

La **réglementation** sur les CEM prévoit des valeurs limites d'exposition du public (décret n° 2002-775 du 3 mai 2002) et établit des valeurs encadrant l'exposition des travailleurs (directive européenne 2013/35/UE du 26/06/2013, transposée dans le Code du travail français par le décret n° 2016-1074 du 3 août 2016). Elle fixe des valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP), qui ne sont pas vérifiables directement. En revanche, les valeurs déclenchant l'action (VA) sont des grandeurs physiques mesurables au poste de travail, externes au corps humain. Elles permettent de vérifier si les VLEP ne sont pas dépassées : si les VA sont

respectées, *a priori* les VLEP le sont aussi. Dans ce cas, les effets directs des CEM cités ci-dessus ne se produisent pas. Si les VA sont dépassées, il faut démontrer le respect des VLEP. Cependant, la vérification des VLEP par calcul ou simulation est très difficile, coûteuse et pratiquée par très peu de laboratoires. Plutôt que démontrer la conformité aux VLEP, l'implémentation de mesures de protection et de prévention visant à diminuer ou éviter les risques, suivie d'une nouvelle vérification des VA, reste la solution la plus opérationnelle. Dans le cas d'un dépassement des VLEP, le travailleur bénéficie d'exams médicaux appropriés. La réglementation française considère que les femmes enceintes et les porteurs de dispositifs médicaux sont des travailleurs à risques particuliers. Les premières sont soumises aux VLE publiques et les seconds à une VA spécifique aux CEM statiques.

Un guide européen de bonnes pratiques propose une méthodologie d'évaluation des risques liés aux CEM en quatre étapes : préparation (observer et décrire les tâches réalisées par les travailleurs) ; identification des risques (identifier les situations de travail, les activités, les installations, les personnes à risque et caractériser ce risque) ; évaluation et hiérarchisation des risques ; prévention (mener des actions de façon à éliminer le risque ou à le réduire si la suppression du risque n'est pas possible). Les résultats sont inclus dans le document unique d'évaluation des risques professionnels. L'une des mesures de prévention vis-à-vis des CEM est l'éloignement de la source du poste de travail/travailleur exposé, car l'intensité des CEM décroît avec la distance.

Nouvelles technologies - nouveaux risques Symposium de l'Institut national de médecine agricole (INMA)

L'information des travailleurs et le signalement de la présence de CEM sont aussi nécessaires.

RISQUES POUR LA VISION DE L'UTILISATION DES DIODES ÉLECTROLUMINESCENTES

A. Torriglia, Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM) U1138, Centre de recherche des Cordeliers (CRC) Jus-sieu, Paris

Des modèles expérimentaux animaux permettent d'étudier les effets de la lumière sur la rétine. Depuis les années 60, les chercheurs savent que si un rat albinos est exposé à une lumière intense, par exemple du type fluorescent, pendant plusieurs jours de façon continue, il va développer une dégénérescence de la rétine. Après cinq jours d'exposition, une diminution des noyaux des photorécepteurs est objectivée en coupe histologique.

À partir de ces modèles, les chercheurs se sont intéressés à l'étude des mécanismes moléculaires de mort cellulaire de la rétine. En 2010, le rapport de l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) intitulé « *Effets sanitaires des systèmes d'éclairage utilisant des diodes électroluminescentes (LED)* » a montré la nécessité de poursuivre les études relatives aux LED.

Dans ce cadre, des chercheurs ont utilisé des LED blanches de type « *xanlite evolution* », les plus répandues en France. Ce sont des ampoules dites à lumière chaude (2 700° K), constituées d'une diode émettant une lumière bleue, couverte par une couche de phosphore jaune. Ce type de source

lumineuse présente donc deux pics dans son spectre d'émission (au niveau du bleu et du jaune), l'ensemble étant perçu comme une lumière blanche par l'œil. Pour étudier les effets de la lumière bleue, des rats ont été exposés à quatre types de LED émettant des longueurs d'onde allant du bleu (449 nm, 467 nm) au vert (473 nm, 507 nm). Les rats « exposés » l'ont été de façon continue. Un cycle associant un éclairage (150 lux) pendant 12 heures puis une obscurité (12h/12h) a été appliqué chez les rats « témoins ». Après 18 heures d'exposition aux LED blanches, la biomicroscopie et le fond d'œil réalisée chez l'ensemble des rats n'ont pas retrouvé de lésions macroscopiques ni de blanchissement de la rétine. Pour mémoire, une lumière est considérée phototoxique si elle induit le blanchissement de la rétine après 8 heures d'exposition. Néanmoins, les rats ayant été exposés à cette lumière continue présentent :

- des signes évidents d'inflammation de la conjonctive et des tissus extra-oculaires ;
- une raréfaction des noyaux des photorécepteurs ;
- une forte oxydation des tissus.

Les marqueurs de phototoxicité sont plus intenses pour les expositions aux longueurs d'onde de 449 nm (lumière bleue), par rapport aux longueurs d'onde de 473 nm (lumière verte).

Lors d'exposition aux lumières LED, les cellules rétinienne meurent surtout par nécrose, endommagent ainsi les cellules voisines, et peu par apoptose. Or, l'exposition à d'autres types de lumière, comme les néons par exemple, conduit à la mort cellulaire par des mécanismes d'apoptose uniquement.

Des chercheurs se sont aussi intéressés aux effets de l'exposition à la lumière à long terme, par rapport au court terme. En effet, la norme NF EN 62471 sur la sécurité photobiologique des sources lumineuses ne tient pas compte de la possibilité d'exposition au cours d'une vie entière. Pour évaluer les effets « long terme », des rats albinos et des rats pigmentés ont été exposés à des lampes fluo-compactes et aux LED (blanches, bleues, vertes) pendant un mois, à 500 lux, de façon cyclique (12 h obscurité vs 12h lumière). Après un mois, il a été observé une diminution de la couche des photorécepteurs chez les rats albinos exposés aux LED bleues. Chez les rats pigmentés, aucune différence (en matière de nombre de photorécepteurs) n'a été observée après une semaine ou après un mois d'exposition aux différentes sources lumineuses. Néanmoins, des signes de stress oxydant ont été retrouvés chez les rats albinos aussi bien que chez les rats pigmentés. Ce stress s'accumule donc en fonction du temps. Des anomalies au niveau de l'épithélium pigmentaire de la rétine ont également été observées.

En conclusion, les études expérimentales avec des modèles animaux ont mis en évidence :

- une toxicité pour la rétine plus importante des LED, par rapport aux tubes fluorescentes et aux lampes fluo-compactes ;
- une implication de la lumière bleue dans les altérations observées ;
- une meilleure protection du rat pigmenté par rapport au rat albinos ;
- une atteinte de l'épithélium pigmentaire, en plus de la rétine sensorielle.

Il est à noter que la notion de toxicité dépend du paramètre évalué. Dans le futur, il serait intéressant de savoir si les LED entraînent un vieillissement prématuré de la rétine, s'il existe un « capital lumière » pour la rétine comme il existe un « capital soleil » pour la peau et quels sont les effets de l'exposition chronique aux différents types d'éclairage.

LES UNITÉS DE MÉTHANISATION : DÉFINITION, RÉGLEMENTATION, RISQUES PROFESSIONNELS ET ENVIRONNEMENTAUX, MESURES DE PRÉVENTION

S. Evanno, Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS), Paris

Dans le monde agricole, l'installation d'une unité de méthanisation permet d'assurer un complément de revenu aux exploitants.

La méthanisation est une technologie basée sur la dégradation par des micro-organismes de la matière organique, en conditions contrôlées et en l'absence d'oxygène (processus de digestion anaérobie). Ce phénomène produit du biogaz, mélange principalement composé de méthane (CH₄) et de gaz carbonique (CO₂), saturé en eau et de quelques autres gaz (NH₃, N₂, H₂S...), ainsi qu'un digestat, produit humide riche en matière organique partiellement stabilisé. Les principaux secteurs qui alimentent la méthanisation en matières organiques sont le secteur agricole (déjections animales, résidus de récolte...), agro-industriel (déchets agroalimentaires, graisses, huiles...), les collectivités (déchets ménagers, tonte de pe-

louse, boues de stations d'épuration...). La composition du biogaz varie en fonction de la nature des substrats et des conditions opératoires.

Dans une unité de méthanisation agricole, les différents substrats (liquides, solides, graisses...) sont stockés dans des silos ou des cuves. La préparation des intrants consiste à prémélanger différents substrats et à procéder à l'hygiénisation des matières pour éliminer un risque sanitaire (contamination virale...). Puis, à l'aide d'une trémie d'incorporation, le digesteur est alimenté pour la phase de fermentation. C'est une cuve étanche, souvent en béton, chauffée pour un meilleur rendement. Les substrats y séjournent 30 à 50 jours afin de subir une digestion. Le digesteur et le gazomètre, dans lequel est stocké le biogaz produit, sont couverts par une membrane qui gonfle sous la pression du gaz. Ce biogaz brut est ensuite traité et épuré avant sa valorisation : déshumidification par condensation, élimination de l'hydrogène sulfuré (H₂S), filtrage avec du charbon actif...

La valorisation énergétique du biogaz permet de produire de l'électricité, de la chaleur, de fournir du biométhane, utilisé comme carburant ou injecté dans le réseau de gaz naturel. Issu du post-digesteur, le digestat est valorisé en agriculture, utilisé pour l'épandage et le compostage.

Des risques professionnels et environnementaux sont associés aux différentes étapes de la méthanisation. Les opérateurs interviennent en espaces confinés, manipulent des produits chimiques. Ils sont exposés au risque d'intoxication liée à l'émission de H₂S ou NH₃..., d'anoxie en présence de CH₄

et de CO₂..., à des risques d'explosion et d'incendie avec le stockage de gaz et de matériaux combustibles...

Afin de maîtriser ces risques, une démarche rigoureuse de prévention en respect de la réglementation ICPE (Installations classées pour la protection de l'environnement) et de la réglementation ATEX (délimitation de zones à risques d'explosion) doit être mise en place. La délivrance d'un agrément sanitaire conforme au règlement européen, le respect des directives Machines, Équipements de protection individuelle ou Instruments de mesures, le choix des matériaux (résistants à la corrosion), le contrôle, l'entretien et la maintenance de l'équipement, la formation des opérateurs... figurent parmi les principales mesures de prévention citées par l'intervenant.

COMMENT DES EXIGENCES ENVIRONNEMENTALES PEUVENT IMPACTER LE TRAVAIL DE L'UTILISATEUR - EXEMPLE AVEC LES PULVÉRISATEURS À PANNEAUX RÉCUPÉRATEURS UTILISÉS EN VITICULTURE

B. Farthouat, Mutualité sociale agricole (MSA) des Charentes

Cette intervention illustre l'impact que peut avoir une évolution technologique sur le travail de l'utilisateur.

En viticulture, le matériel employé pour les traitements sanitaires a évolué afin, notamment, d'améliorer la qualité de la pulvérisation. Aujourd'hui, les pulvérisateurs sont équipés de deux panneaux latéraux permettant un traite-

Nouvelles technologies - nouveaux risques Symposium de l'Institut national de médecine agricole (INMA)

ment de chaque côté du véhicule, avec la possibilité de récupérer les produits phytosanitaires. Cette amélioration permet également de limiter les dérives, en cas de risque de dispersion de produits chez les voisins par exemple. Cette évolution technique a une incidence pour l'entreprise. Ce matériel a un coût élevé – 2 à 3 fois plus cher qu'un pulvérisateur classique – et nécessite plus de réglages, donc un temps de travail plus important. Le temps de nettoyage des panneaux du pulvérisateur est également doublé, voire triplé, ce qui oblige à modifier l'organisation du chantier. Pour l'utilisateur, une attention plus soutenue est requise pour surveiller les deux panneaux afin d'éviter l'accrochage. Assisté par un ordinateur de bord, il doit contrôler le débit de chantier, le taux de retour du produit... Ce qui implique d'acquiescer cette technicité. Le matériel étant également plus lourd, il existe un risque de déséquilibre du tracteur lors du tournant au bout du rang. La phase de nettoyage du pulvérisateur à panneaux récupérateurs, plus longue, est également plus exposante. Du fait de la hauteur des panneaux, les projections sont importantes lors du passage du jet. L'opérateur doit travailler longtemps en position extrême, en sollicitant beaucoup les membres supérieurs. Afin de pouvoir atteindre les filtres, multiples, il a des contacts directs avec le pulvérisateur. Lorsqu'il monte sur la cuve, il s'expose au risque de chute.

Dans la gestion des risques liés à l'utilisation de ces nouveaux pulvérisateurs, il convient, pour l'intervenant, d'inciter les viticulteurs à les intégrer dès l'achat. Des mesures de prévention sont à mettre en œuvre, telles que l'amé-

nagement de l'aire de nettoyage avec un accès en hauteur, le choix de matériels et de produits de nettoyage adaptés et la formation des utilisateurs. Pour aller plus loin, l'intervenant évoque la nécessité d'agir auprès des constructeurs pour intégrer et gérer ces risques dès la conception.