

A man wearing an HTC VR headset is shown in a laboratory or industrial setting. He is looking forward, and his hands are visible, holding small green objects. The background features various pieces of equipment and a large screen.

Nouvelles technologies et maintenance

- 13. Face aux risques, l'intégration des technologies se frotte aux réalités du terrain
- 16. Drones : un outil complémentaire devenu indispensable
- 18. Bien accompagner des métiers en mutation
- 19. L'imagerie acoustique comme assistance aux techniciens
- 20. « Utiliser des outils numériques nécessite une remise à plat des analyses de risques »
- 22. La technologie au service d'une maintenance plus sûre
- 24. Une innovation continue, à pas mesurés

Visio-assistance augmentée, systèmes de maintenance prévisionnelle basés sur l'intelligence artificielle (IA), prescriptions de modes opératoires via un casque connecté, mais aussi recours aux drones ou aux cobots... Le secteur de la maintenance est-il au seuil de profondes transformations avec l'arrivée sur le marché de nouveaux outils numériques? Et quels bénéfices peuvent-ils apporter et quelles sont leurs limites en matière de santé et sécurité au travail?

Face aux risques, l'intégration des technologies se frotte aux réalités du terrain

BRUTALEMENT, une alarme retentit dans l'atelier, en même temps que s'interrompt le ronronnement des machines. Dans une salle voisine, un technicien reçoit instantanément sur sa montre connectée une alerte, envoyée par l'agent IA chargé de surveiller le fonctionnement de l'usine, lui indiquant la nécessité d'intervenir au plus vite sur une presse hydraulique qui vient de se mettre en défaut. Pour commencer, il accroche une mini-tablette à son avant-bras. Sur celle-ci, un graphique illustre le cycle de fonctionnement de la machine ces dernières heures. En modifiant l'affichage, une caméra thermique lui indique un échauffement inhabituel, en un point précis.

Alors qu'il arrive sur zone et tandis qu'il chausse des lunettes connectées, un expert de cette machine, situé à 500 km de là – qui a aussi été alerté de la panne – entre en communication vocale avec lui. L'expert visionne grâce à ces lunettes ce que le technicien regarde, et peut ainsi l'assister pour trouver l'origine de la panne. En alliant leurs connaissances respectives, ils identifient l'élément en cause. Avant d'intervenir, le technicien change de mode de visualisation sur ses lunettes connectées et vérifie que plus aucun organe interne, invisible de l'extérieur, n'est en mouvement. Il s'assure également que le processus de consignation automatique

dernière génération a bien mis la machine en sécurité. Un collègue le rejoint pour le seconder dans l'intervention. Il ouvre alors une trappe et remplace la pièce identifiée comme défaillante. Une fois l'opération terminée, ils redémarrent la machine.



© Gael Kerbaol/INRS/2018

Scénario de science-fiction? Pas si sûr. Avec l'arrivée à grande échelle sur le marché d'outils numériques, c'est déjà une réalité dans certaines entreprises: les métiers de la maintenance sont en train de connaître des mutations profondes dans leur organisation et leur mise en œuvre. Le sujet représente d'autant plus d'enjeux que les activités de maintenance concernent tous les secteurs d'activité et des entreprises de toutes tailles. Consistant à maintenir, garantir ou rétablir l'état d'un équipement ou d'une installation, elles font appel à des métiers aussi variés qu'électriciens, monteurs, chaudronniers, soudeurs, mécaniciens, électromécaniciens, chauffagistes, techniciens génie climatique, plombiers... Maintenance préventive, corrective... sur la période 2017-

DES OUTILS NUMÉRIQUES VARIÉS

Les outils numériques se déclinent sous de multiples formes. La réalité virtuelle, à l'aide d'un casque, immerge les personnes dans un environnement de travail reconstitué. Elle peut être utile dans le cadre de formations, lors de la conception de postes de travail ou pour se familiariser à certaines tâches. La réalité augmentée apporte des informations complémentaires à une situation donnée. Cela peut contribuer à assister à distance le déroulement de certaines interventions, ou permettre de voir à travers du bâti ou certains obstacles physiques. Les outils de modélisation (improprement appelés « jumeaux numériques ») peuvent quant à eux aider à la supervision, ou à la simulation de certaines tâches. Autres appareils, les drones peuvent contribuer à des tâches d'inspection à distance, sans plus avoir à se déplacer, notamment pour accéder en hauteur, comme grimper sur des toitures. L'IA collecte des données pour mieux suivre en continu l'état des machines, et fournir des données permettant de planifier par exemple au meilleur moment une intervention.

>>>

PAROLE D'EXPERT

CORINNE GRUSENMEYER, responsable d'études à l'INRS

« Les nouvelles organisations du travail pour la maintenance s'orientent vers ce que l'on peut appeler la maintenance à distance. C'est le cas des situations de visio-assistance entre un salarié sur place et un expert de maintenance à distance. Par exemple, l'expert du constructeur de la machine peut assister un technicien de maintenance sur place pour un diagnostic complexe. Mais dans certaines situations, ces systèmes de visio-assistance sont utilisés pour assister des personnels de production, dans la prise en charge d'activités de maintenance telles que les dépannages. Or, ces personnels de production n'ont pas de compétences et de savoir-faire en maintenance, et ne connaissent pas les risques liés à l'équipement en situation de maintenance. De telles situations sont particulièrement dangereuses, d'autant que les experts à distance ne peuvent pas s'appuyer sur leurs différents sens pour assister les personnels sur place : bruits dénaturés ou déformés, champ visuel limité, odeurs inaccessibles, etc. Il est par conséquent déterminant que les personnes sur place soient en mesure de les informer de ces éléments. Toute intervention de maintenance, quand bien même elle serait assistée, suppose pour la personne qui la réalise d'avoir suivi des formations techniques, de disposer des connaissances, des savoir-faire et une maîtrise des gestes et des outils. »

2019, le secteur employait en France métropolitaine autour de 874 000 salariés¹, qu'il s'agisse de personnel interne ou externe aux entreprises. En matière d'accidentologie, il s'avère plus sinistré que la moyenne (lire l'encadré page suivante). L'activité expose en effet à de multiples risques du fait d'environnements de travail complexes et dangereux : présence d'énergies (électrique, hydraulique, mécanique...), exigüité des lieux, bruit, manutentions, présence de masses lourdes et en mouvement... Mais aussi du fait d'organisations des interventions parfois insuffisantes : manque de préparation, sous-traitance, pression temporelle, manque de personnel, partage d'information insuffisant, méconnaissance des lieux d'intervention, etc.

Moins d'exposition aux risques

Face à cet état des lieux, l'essor des nouvelles technologies numériques déclinées dans les activités de maintenance – réalité augmentée, réalité mixte, IA, objets connectés, formation en réalité virtuelle – peut-il s'avérer une opportunité pour reconfigurer les conditions d'intervention et assurer une meilleure sécurité des intervenants ? Dans certains cas, elles constituent des opportunités pour les entreprises en leur permettant de soustraire les salariés aux risques.

À l'image de la station de ski des

📺 L'utilisation de drones permet de visualiser en toute sécurité des lieux difficiles d'accès ou nécessitant du travail en hauteur. Son usage doit en revanche être encadré et effectué par du personnel qualifié.

Orres, dans les Hautes-Alpes, qui utilise des drones pour réaliser des repérages préalables aux interventions et évite de devoir accéder en hauteur, ou à EDF qui utilise un dispositif de détection des fuites à distance à partir d'ultrasons. D'autres améliorent les conditions de travail des salariés en simplifiant les interventions, par une meilleure analyse du contexte et une meilleure connaissance des besoins. Passer moins de temps à identifier les problèmes et à les corriger signifie moins d'exposition aux risques. Néanmoins, il est nécessaire de s'assurer que l'utilisation de tels outils ne déplace les

risques ou en crée de nouveaux. « Il est important de décorréliser les discours marketing de la réalité, souligne Jean-Pierre Avellaneda, consultant expert en maîtrise des risques en maintenance industrielle à l'Apave, car on est face à beaucoup de communication, de miroirs aux alouettes et d'effets d'image. On nous parle d'industrie 5.0 alors que dans les usines, les équipements sont vieillissants, les équipes en sous-effectif, les plans pas toujours à jour, les données disponibles insuffisantes. »

Comme le précise Corinne Grusenmeyer, responsable d'études à l'INRS, « les transformations résultent d'abord de choix stratégiques et organisationnels : volonté de réduire les coûts et les temps de maintenance pour augmenter la disponibilité des équipements, attentes de plus de rapidité, d'efficacité et de transparence des interventions de la part des clients, souhait de réduire les coûts de déplacements des techniciens... Toutes ces raisons concourent à ce que les entreprises mettent en place de nouveaux outils. »

Or, dans beaucoup d'entre elles, les prérequis ne sont pas toujours présents, ou insuffisants. « Il faut être très vigilant car si ces nouvelles technologies peuvent faciliter certaines interventions, elles peuvent également apporter de nouvelles contraintes techniques





© Rodolphe Escher pour l'INRS/2017

et organisationnelles, explique Jean-Christophe Blaise, responsable du laboratoire sécurité des équipements de travail et des automatismes à l'INRS. *Elles ne résolvent pas tout et créent en parallèle de vrais risques, physiques ou psychosociaux.* »

Nouvelle organisation mal appréhendée, surcharge d'informations, interruptions fréquentes, nouveaux repères notamment dans le cadre de technologies immersives... de nombreux facteurs peuvent apporter des perturbations de tous ordres. À titre d'exemple, le fait qu'une intervention soit suivie à distance en temps réel, via des lunettes connectées, peut entraîner un risque de dérive vers plus de contrôle de l'activité des techniciens par le responsable hiérarchique ou par le client, générant plus de pression, et une perte d'autonomie dans sa fonction.

Autre exemple: « Dans le cadre

De nombreux laboratoires tentent d'anticiper les effets possibles des nouvelles technologies dans le monde du travail, à l'instar du CEA Tech qui assiste les entreprises dans leurs projets d'investissements en cobot et réalité virtuelle.



Lire le dossier de Travail & Sécurité « L'innovation au service de la prévention »

de maintenance prévisionnelle, l'IA permet d'analyser une multitude de données pour anticiper les défaillances de machines, poursuit Jean-Christophe Blaise. C'est par exemple déjà le cas dans certaines industries, où des modèles informatiques anticipent les problèmes à partir des données existantes. Cela contribue à mieux définir les bons moments pour intervenir, avant que ça ne devienne trop compliqué ou trop contraignant. »

Les fondamentaux de la prévention

Sur le principe, l'approche est positive. Mais elle nécessite d'avoir ses propres données, fiables, non biaisées, ainsi que les modèles permettant leur analyse. Ce qui représente un travail complexe et coûteux de collecte, de traitement et d'analyse des données, dans lequel les entreprises commencent tout juste à se lancer. « Dans le cas de lunettes connectées qui apportent de l'information en direct à un technicien, les perturbations pourront être différentes selon la sensibilité de chacun, et il faut en tenir compte », indique Aurélien Lux, responsable d'études à l'INRS.

« Qu'il s'agisse de l'ergonomie de l'affichage, de l'obstruction d'une partie du champ de vision par l'équipement - qui peut entraîner un risque de chute - de l'attention qui peut être détournée par l'arrivée de messages, du poids même de l'équipement - qui peut être incompatible avec le port d'autres EPI - il faut être attentif à l'ensemble des facteurs », complète Patrice Marchal, également responsable d'études à l'INRS.

De fait, avant toute introduc-

tion de nouvelles technologies dans l'entreprise, il est important de revenir aux fondamentaux en prévention. « Lors de l'acquisition d'un nouvel outil de ce type, il est primordial de questionner l'organisation du travail, les modifications de la répartition des tâches et des activités des personnes, et leurs conditions de réalisation, insiste Corinne Grusenmeyer. Et avant tout changement, il est indispensable d'associer le personnel directement concerné, avec des personnes volontaires, mais aussi les collègues alentour qui pourront être indirectement concernés. »

L'idéal est donc de passer par une phase d'analyse des besoins et de tests, avec un suivi permettant d'éventuels ajustements avant un déploiement plus large, puis un retour d'expérience qui en évaluera les avantages et les inconvénients. « Et ensuite, l'entreprise devra assurer un suivi dans la durée, prendre le temps d'évaluer les différents effets et conséquences possibles à long terme sur les activités des personnes, sur leur santé et sécurité », poursuit-elle. En résumé, il est fondamental de réaliser une analyse des besoins avant toute action, de mettre en place un suivi au regard des activités et des conditions réelles d'intervention et d'en faire régulièrement des évaluations.

Encore émergente actuellement, l'arrivée des nouvelles technologies, notamment numériques, dans les activités de maintenance est un sujet en plein essor, qui évolue très vite, auquel beaucoup d'entreprises portent une attention toute particulière. Plusieurs laboratoires de l'INRS mènent des études autour de ces sujets, sur le plan tant technique qu'organisationnel, pour mieux en comprendre les effets possibles. Pour l'heure, le déploiement de ces technologies et leur utilisation à large échelle en entreprise restent encore limités. Elles nécessitent des investissements importants, l'acquisition de compétences spécifiques, d'où leur présence pour l'heure surtout dans de grands groupes industriels. ■ C. R.

1. Enquête « Emplois » de l'Insee (Portraits statistiques des métiers|Dares)

DES MÉTIERS PARTICULIÈREMENT EXPOSÉS AUX RISQUES

Les activités de la maintenance s'avèrent plus exposées aux risques d'accidents du travail et de maladies professionnelles que la moyenne. Les données de l'Afim¹ indiquent pour l'année 2023 que l'indice de fréquence moyen des accidents en maintenance est 1,25 fois plus élevé que la moyenne nationale. L'occurrence de décès par accident est 1,74 fois supérieure à la moyenne nationale, et celle de la mortalité par maladies professionnelles représente près de 6,77 fois le taux de mortalité nationale. L'organisation – si la préparation des

interventions est insuffisante ou si la pression temporelle est forte – est le plus souvent à l'origine de la survenue d'accidents. Ce qui peut aboutir à des événements graves ou mortels ayant pour origine des libérations d'énergies (électrique, mécanique, hydraulique) liées à des défauts de consignations, des chutes de hauteur et des manutentions.

1. Guide national de la maintenance 2025, édité par l'Association française des ingénieurs et responsables de maintenance (Afim)

La station de ski des Orres s'est équipée depuis trois ans de drones, en particulier pour des repérages afin de planifier les interventions de maintenance sur les installations mécaniques, dont l'accès est parfois difficile. Ces appareils contribuent à réduire les risques liés aux déplacements notamment, mais demandent une prise en main et une analyse des risques préalable à leur utilisation.

Drone : un outil complémentaire devenu indispensable

- « **BATTERIE drone ?** » « 66% ».
- « Batterie radio ? » « 100% ».
- « Carte mémoire ? » « OK ».
- « Mode de vol ? » « Normal ».
- « Point de décollage ? » « OK ».
- « Action perte de signal ? » « Retour au point de départ ».
- « Hauteur maximale ? » « 120 m ».
- « Distance de vol ? » « 200 m ».
- « Feu anticollision ? » « Activé ».

Cette *check-list* opérationnelle égrenée entre Tommy Jung, adjoint au responsable, et Stéphane Henry, directeur de la sécurité des pistes sur la station des Orres, dans les Hautes-Alpes, est incontournable avant toute utilisation d'un drone. Une fois ces vérifications terminées, l'appareil peut décoller.

Tommy Jung, installé au pied d'une remontée mécanique, près de la base de décollage matérialisée par un tapis au sol, pilote le drone à l'aide d'une télécommande. Sur celle-ci, un écran permet de visualiser une multitude d'informations. Les outils embarqués sont d'une précision impressionnante, de l'ordre du centimètre voire du millimètre : ils peuvent voir si un écrou est mal

vissé sur les chemins de trains galets des remontées mécaniques à des dizaines de mètres de distance. La caméra infrarouge détectera de la même façon les éventuels échauffements sur les trains de roulement des galets et les bandages, qui peuvent traduire un dysfonctionnement.

Cela fait maintenant près de trois ans que la station des Hautes-Alpes s'est lancée dans l'utilisation de drones pour différents usages, parmi lesquels des interventions de maintenance. « Lorsque l'on a commencé à s'intéresser aux drones, le premier usage envisagé était le déclenchement d'avalanches, dans le cadre d'un Pida (plan d'intervention et déclenchement d'avalanche), recontextualise Stéphane Henry. Il s'agit d'opérations dangereuses, avec l'emploi d'explosifs et l'impossibilité d'anticiper le comportement du manteau neigeux, qui exposent en permanence les pisteurs à des risques. Et à partir du moment où on s'y est intéressé, on a vu toutes les utilisations possibles sur les installations du domaine. » Sécurisation des pistes



© Gaël Kerbaol/INRS/2025

La précision des outils embarqués est impressionnante, de l'ordre du centimètre voire du millimètre : elle permet de voir si un écrou est mal vissé à des dizaines de mètres de distance.

et recherche de disparus, entretien et préparation des pistes par des relevés topographiques, inspection des ouvrages et photogrammétriques – qu'il s'agisse d'installations ou de bâtiments –, contrôle des 300 enneigeurs qui produisent la neige de culture... Un immense champ de possibles, qui ne cesse de s'élargir, s'est alors ouvert aux équipes. Concernant les activités de maintenance, aux dires de tous,

DES USAGES MULTIPLES, AU-DELÀ DE LA MAINTENANCE

Si l'aide à la maintenance est une des utilités des drones, beaucoup d'autres applications sont déclinées par les salariés de la station des Orres : repérage de déperdition de chaleur des bâtiments ; recherche de personnes disparues et aide aux personnes en attente d'assistance ou de secours (on peut, via le haut-parleur du drone, parler à des personnes en attente de secours pour les rassurer) ; outil de gestion de piste (analyse de l'épaisseur de neige en temps réel l'hiver et identification d'un possible

risque d'avalanche). À l'avenir, ces outils serviront-ils au déclenchement d'avalanche ? Ce n'est pas encore d'actualité, le transport d'explosifs complexifiant la donne. « Beaucoup de stations s'équipent et forment leur personnel à l'utilisation de drones, observe Benjamin Renault. On constate une montée en cadence progressive de tout le monde. Néanmoins, nous sommes dans une phase encore exploratoire, pour définir le périmètre d'utilisation des drones. »

les drones apportent une réelle plus-value. « De par la nature des terrains, sinueux et accidentés, les chutes de plain-pied et à ski représentent plus de la moitié des accidents du travail dans l'entreprise, souligne Jade Fourment, QSE et coordinatrice projets à la Semlore. Le drone a donc toute sa valeur ajoutée vis-à-vis de ces risques. » Cet équipement s'est vite avéré très utile pour trois usages: les prévisites, les levées de doute (sur la possible chute d'un arbre sur une remontée par ex.), les identifications préalables à une intervention.

Cibler les besoins et ajuster les interventions

« Le vrai atout du drone est qu'il apporte un premier coup d'œil rapide, sans avoir besoin de se déplacer physiquement », commente Yves Verchère, chef d'exploitation et directeur des remontées mécaniques et de la maintenance. Par exemple pour contrôler la présence de givre sur les câbles, il est possible avec le drone de faire en quinze minutes un aller-retour qui prendrait beaucoup plus de temps avec un engin de damage, une motoneige ou à pied. » L'engin optimise aussi les repérages et aide à préparer les plans de charge des équipes. « Ça aide à bien cibler les besoins en matière de maintenance, donc à réduire un certain nombre de risques, confirme Céline Folcher-Herteleer, contrôlease de sécurité à la Carsat Sud-Est. De cette façon, les équipes peuvent ajuster le matériel à transporter – comme emporter le nombre précis de galets pour remplacer uniquement ceux qui ont été identifiés comme défectueux, réduire les décâblages excessifs

lors de recherche d'anomalies. Cela évite une exposition inutile du personnel. »

Actuellement cinq personnes ont été formées en tant que télépilotes. Il est prévu d'étoffer cette équipe afin d'avoir toujours une personne apte au pilotage disponible en cas d'urgence. Les besoins sont en cours de définition. « Il faut néanmoins rester vigilant sur le fait qu'il faut pratiquer suffisamment pour ne pas perdre le savoir-faire avec ce type d'outil, met en garde Céline Folcher-Herteleer. Car ça risque d'avoir un contre-effet si on ne s'en sert pas assez. » Sur ce point, « il est de la responsabilité des dirigeants de l'unité drone de s'assurer que les télépilotes sont suffisamment entraînés et possèdent les savoirs nécessaires, et qu'ils volent suffisamment », complète Benjamin Renault, formateur et gérant du centre de formation Droneboost, qui a accompagné l'équipe et formé les premiers télépilotes de la station.

« On n'imaginait pas le potentiel de ces outils »

Et malgré une apparence assez ludique, il ne s'agit pas d'un jouet: une réglementation très stricte encadre l'utilisation en extérieur et une analyse des risques doit être réalisée avant toute utilisation. « Il faut avoir en tête que toutes les missions planifiables doivent être préparées, et anticiper celles qui ne peuvent être planifiées, poursuit Benjamin Renault. Piloter un drone nécessite d'être capable de gérer de nombreux paramètres, et entraîne une complexité cognitive due au fait qu'il y a deux environnements: l'environnement physique propre et l'environnement en 3D du drone. »

📷 Grâce au drone, il est possible de faire une inspection des installations sans se déplacer et sans se livrer à du travail en hauteur, notamment.

Et la collecte des données n'est pas une fin en soi, il faut ensuite savoir les interpréter. C'est pourquoi même avec ces nouveaux outils, « l'œil des pisteurs et des personnels techniques reste très important pour analyser les situations, identifier de potentiels problèmes et prendre les décisions adaptées », conclut Stéphane Henry. ■ C. R.



© Gaëlle Kerbaol/INRS/2025

3 drones

c'est le nombre d'appareils dont est équipée actuellement la station des Orres: deux pour des usages techniques, un pour la communication de l'office du tourisme. Un drone est toujours piloté en binôme: un pilote et un observateur au sol.

0,05 °C

correspond à la précision de la caméra thermique, qui permet de détecter des échauffements sur des installations ou la présence de personnes lors de recherche de disparus.

60 km/h

est la vitesse moyenne de déplacement d'un drone. Un plan de vol est toujours défini au préalable, limitant la zone – horizontale et verticale – de vol de l'engin.

Bien accompagner des métiers en mutation

Entre enthousiasme et réflexion, les équipes de maintenance chez Michelin voient leurs outils de travail se renouveler très rapidement. Leur déploiement doit faire l'objet d'analyses préalables rigoureuses afin d'identifier les besoins des salariés, envisager l'appropriation de tels outils et leur place dans l'organisation... Rien n'est laissé au hasard.

EXTRUDEUSES de caoutchouc, machines d'assemblages, presse de cuisson... Dans ses process, Michelin comptabilise plus de 2000 types de machines différentes dans ses usines à travers le monde. Des équipements dont il faut garantir en permanence le bon état de fonctionnement pour assurer la fiabilité et la continuité de la production. Leur maintenance est donc essentielle à la bonne marche de l'activité. Dans ce domaine, de multiples outils se développent : monitoring vibratoire, caméras infrarouges, ultrasons, robots et cobots, drones, etc. « En l'espace de trois ans, c'est impressionnant le nombre d'outils qui sont apparus sur le marché, constate Josué Dubesset, ingénieur méthodes et data analyste, basé à l'usine des Gravanches de Michelin, tout va très vite. »

Des outils qui demandent tests et formations. Un tel mouvement de fond, qui transforme les métiers et les missions, ne risque-t-il pas de générer un sentiment de dépossession des compétences ou une peur de devenir inutile à terme ? « Ce n'est pas un sentiment qui rejaillit, même sur des sujets disruptifs, répond Vincent

Faure, responsable maintenance-énergies-eau du groupe Michelin. C'est sûr que l'on est face à des mutations dans nos métiers, mais cela apporte du travail tout en le transformant. Les équipes de maintenance sont au cœur de l'usine, elles ne peuvent pas en disparaître. »

Phases exploratoires

« Sur le terrain, il y aura toujours besoin de l'humain derrière ces outils, confirme Josué Dubesset. C'est un changement de mode de pensée. L'analyse et la mise à disposition des données collectées que l'on réalise sur les machines ne peuvent se faire correctement qu'en connaissant bien les besoins des équipes. Sans le terrain, on ne peut rien faire à notre niveau, et réciproquement. Au contraire, la technologie est belle, les gens y voient tout de suite les avantages. Il y a une appétence naturelle pour ces sujets. » Avec des mises en garde néanmoins : « Certaines nouvelles technologies font envie, mais il faut rester prudent, poursuit-il : en les introduisant, le risque est de dérégler tout un système établi. Il faut au préalable bien identifier les

cas d'usage, être vigilant sur les questions de confidentialité qui se posent, par exemple sur la protection de nos secrets industriels ». Le déploiement de tels outils ne s'improvise pas. Leur appropriation doit débuter par des phases exploratoires : l'outil présente-t-il un intérêt par rapport aux besoins des équipes ? Quels sont les cas d'usage concrets ? Trouveront-ils leur place dans l'activité et dans l'organisation ? « Nous effectuons beaucoup de benchmark au sein de Michelin mais aussi avec d'autres groupes, plus matures sur certains sujets, pour voir les bonnes pratiques et s'assurer, avant tout test ou déploiement, qu'il s'agit de solutions robustes ». La formation est en parallèle incontournable pour réussir l'intégration de tels outils dans les processus des métiers, à travers des montées en compétences. « Il faut embarquer tout le monde sur ces sujets, même si le plus souvent chacun perçoit à son niveau l'intérêt des nouveaux outils, qui peuvent vite améliorer le quotidien, poursuit Josué Dubesset. C'est la force du collectif qui fait avancer ensemble sur ces sujets. » ■ C. R.

VINCENT FAURE, responsable maintenance-énergies-eau du groupe Michelin

« Les nouvelles technologies sont au cœur de nos préoccupations et de nos transformations, nous travaillons énormément sur ces sujets. L'idée première est d'aller vers de plus en plus de maintenance préventive et de sortir du mode d'intervention en urgence. Le côté "pompiers" qui vient éteindre l'incendie a encore la vie dure en maintenance, c'est une culture ancrée qu'il faut contribuer à abandonner. Alors que paradoxalement, la survenue d'une panne est le mode le plus stressant,

car cela génère une forte charge mentale, beaucoup de pression. Avec ces outils, on cherche à sortir les personnes de ces pressions et de cette culture. En captant le plus tôt possible les dérives possibles des machines, à partir de leurs "constantes vitales" – un peu comme chez les humains – on se donne plus de temps pour intervenir, pour le faire le plus tôt possible, et dans les meilleures conditions possibles. »

Les grands groupes industriels sont en permanence en veille sur les nouvelles technologies pour alléger ou faciliter les interventions de maintenance. À la centrale nucléaire EDF de Paluel, en Seine-Maritime, les services de maintenance se sont équipés depuis quatre ans d'une aide à la détection des fuites de gaz.

L'imagerie acoustique comme assistance aux techniciens

LA FUITE de gaz constitue l'angoisse des responsables d'installations sous pression. Industries nucléaire, pétrolière, papetière sont parmi les secteurs d'activité particulièrement équipés de ce type d'équipement. Ces équipements font l'objet d'une surveillance permanente, 24h/24, pour garantir à la fois la sécurité des biens et des personnes. La détection et le suivi de l'évolution de fuites de gaz font partie des points de vigilance particuliers. Or rechercher une fuite dans un environnement industriel complexe, bruyant, obscur, parfois difficile d'accès, n'est jamais simple pour les techniciens.

C'est pourquoi depuis quatre ans, la centrale nucléaire de Paluel, en Seine-Maritime, s'est dotée d'un dispositif de détection des fuites qui fonctionne à partir des ultrasons émis par la dépression du gaz. Dès lors que le gaz – air, hydrocarbure, azote, hydrogène, vapeur d'eau sèche, fuites de vide (entrées d'air)... – est sous pression, toute fuite peut être détectée par cette technologie qui s'appuie sur l'imagerie acoustique. Son principe ? Les 124 micros que le dispositif contient captent les ultrasons qui se propagent alors dans l'air sous forme d'ondes circulaires. Par un système de triangulation, l'équipement permet de localiser dans l'espace l'origine de la fuite. Un écran complète l'information en permettant de visualiser précisément et en temps réel la localisation de cette dernière, à l'aide de réalité augmentée. Le débit de la fuite est quantifié et affiché en temps réel à l'écran, ainsi que sa possible gravité. Et ce sans être en contact avec le gaz.

« Les principales fuites rencontrées dans notre activité sont les fuites

de vapeur d'eau, à plus de 100 °C et sous pression, qui peuvent être très dangereuses pour l'ensemble du personnel travaillant sur les installations, explique Nicolas Chapeau, ingénieur matériaux à la direction de la production nucléaire chez EDF et inspecteur, jusqu'en 2024, au service chargé de la maîtrise du risque pression à la centrale nucléaire EDF de Paluel, où il a déployé l'outil. *Un tel dispositif facilite la surveillance de nos équipements en fonctionnement, donc sous pression : tuyauteries, récipients, réchauffeurs, etc. »*

Inspection, surveillance et maintenance

Les informations collectées aident à classer la fuite et à définir la nature de l'intervention à planifier ensuite, ainsi que son degré d'urgence. « C'est une vraie aide à la prise de décision sur le terrain, en aidant à caractériser quasi instantanément la fuite : sa localisation, sa nature, son ampleur, etc., apprécie Nicolas Chapeau. Par exemple, si elle est localisée au niveau d'un joint, ou directement sur la paroi sous pression – ce qui est alors synonyme de dégradation intérieure de la matière et expose à un risque de rupture brutale de l'équipement –, ça ne demandera pas le même type d'intervention, ni la même urgence. » Les ultrasons correspondent à une fréquence d'ondes qui exclut les sons ambiants. La présence d'une turbine voisine, même si elle génère beaucoup de bruit, ne viendra donc pas gêner la captation des ultrasons.

Lorsque le site de Paluel s'est penché sur le sujet en 2019-2020, plusieurs outils existaient sur le marché.

Des critères ergonomiques – prise en main simple, poids modéré (1,5 kg avec la batterie) – adaptés à l'environnement de travail, ont orienté vers la solution finalement retenue. Son acquisition a été accompagnée d'une formation d'une journée délivrée par le fournisseur. « Cela facilite vraiment la vie du personnel lors des différents types d'inspections, complète-t-il encore : ils peuvent localiser une fuite à plusieurs mètres de distance. Cela leur évite d'accéder à des zones en hauteur ou difficiles d'accès, ils ne sont plus obligés d'entrer en zone Atex. Ils restent notamment en sécurité lors de la caractérisation de fuites de vapeur sèche, invisibles à l'œil nu. En revanche, il est toujours nécessaire d'analyser les indications relevées pour rendre le bon diagnostic. »

Cela aide également au suivi du vieillissement des équipements, et présente donc aussi un intérêt en maintenance préventive : « On peut effectuer une tournée avant un arrêt de tranche afin d'identifier uniquement les matériels nécessitant une intervention, alors que, d'ordinaire, ils seraient tous remplacés systématiquement durant l'arrêt : cela optimise les interventions, cible au mieux les besoins, donc permet de passer moins de temps et de moins exposer le personnel à certains risques », illustre encore Nicolas Chapeau. Depuis sa mise en œuvre à Paluel, cette solution technique a été déployée assez largement sur le parc national EDF (thermique et nucléaire) ces cinq dernières années. « Elle a amplement démontré que son utilisation améliore la sécurité des personnes et la sûreté de nos installations », conclut-il. ■ C. R.

Jean-Pierre Avellaneda est consultant expert en maintenance industrielle. Son parcours professionnel, notamment à l'Afim¹, au sein du groupe Apave et en commissions de normalisation NF et EN, lui procure un point de vue instructif pour décrypter les évolutions en cours.

« Utiliser des outils numériques nécessite une remise à plat des analyses de risques »

Travail & Sécurité. Comment expliquer que le secteur de la maintenance recense autant d'accidents du travail ?

Jean-Pierre Avellaneda. Une majorité des accidents rencontrés dans l'industrie sont en effet liés à des activités de maintenance, principalement parce que leurs risques directs et indirects sont mal maîtrisés. Rappelons que le métier de « mainteneur » consiste à remettre en service ou maintenir en état de fonctionnement un équipement ou une installation. Lorsque ce n'est pas planifié et qu'il faut intervenir en urgence, cela vient perturber ou ralentir le cycle de production. C'est pourquoi le technicien de maintenance travaille souvent sous pression, afin que cela se fasse le plus vite possible. Et parfois – consciemment ou inconsciemment – au mépris des règles et bonnes pratiques. Les activités de maintenance sont réalisées par des personnes présentant des profils très différents et le spectre des interventions est très large. On se retrouve souvent en présence d'une « zone grise » entre services techniques et production, entre un nettoyage/réglage/débouillage qui est de la maintenance de premier niveau et un changement de pièce d'usure, une intervention plus lourde. Par exemple, depuis plusieurs années, il y a une tendance à déporter de plus en plus la maintenance vers du personnel de production. Cette pratique est bénéfique, car les défauts sont captés avant les pannes, mais elle expose les salariés concernés



© Patrick Delapierre pour l'INRS/2024

à des dangers qu'ils n'étaient pas censés rencontrer dans la simple conduite d'installation.

Cette situation traduit aussi un manque de considération pour ces métiers. Pourquoi les activités de maintenance sont-elles insuffisamment prises en compte dans la vie d'une entreprise ?

J.-P. A. La maintenance est une activité qui ne se voit pas et qui, malheureusement, n'est pas toujours perçue comme contribuant à la performance directe de l'entreprise. Et ce type d'interventions n'étant pas le cœur de métier de l'entreprise, elles passent vite en bas des priorités. C'est d'autant plus vrai en matière de sécurité. Par exemple, les arbitrages financiers font que les critères de maintenabilité, et notamment de sécurité en maintenance, sont

La réalité virtuelle permet de visualiser de nouveaux espaces de travail et d'envisager toutes les opérations avant la mise en place définitive.

insuffisamment pris en compte dans les achats d'équipements.

Quelle place commencent à occuper les outils numériques dans ces activités de maintenance ?

J.-P. A. Les outils numériques et digitaux « avancés » sont encore peu répandus. Sur le principe, ils contribuent à augmenter la performance, à réduire la durée des interventions, ou à mieux les anticiper, notamment avec des outils d'IA de maintenance prévisionnelle. Ils permettent de faire mieux ou pour moins cher : ils réduisent le nombre d'ETP [équivalents temps plein] – donc favorisent une économie de main-d'œuvre – ou améliorent le rendement global, donc ils s'amortissent assez vite. Ils contribuent également à piloter une multitude de données. Parmi les technologies rencontrées en maintenance, on peut par exemple citer la réalité virtuelle qui permet de s'entraîner et d'acquérir de bons réflexes avant d'intervenir *in situ*, ou bien les systèmes de réalité augmentée qui aident à consulter tous les documents, visualiser des modes opératoires ou « l'intérieur » d'une machine et ses pièces en mouvement. Ce sont des outils intéressants, mais leur présence transforme les métiers. Le fait d'intervenir à distance par exemple introduit un risque supplémentaire puisque l'intervention est réalisée à travers des écrans, sans prise en compte directe du contexte. Cela implique d'être bien plus vigilant pour bien

maîtriser les consignations de toutes les énergies (voir la norme EN 17975 publiée cet été), qui sont à l'origine de fréquents accidents. L'automatisation des installations introduit des risques supplémentaires, avec les asservissements entre installations et une conduite du process pilotée à distance. Employer des outils numériques nécessite une remise à plat des analyses de risques.

Par conséquent, pensez-vous que ces outils apportent plus ou moins de sécurité dans les activités de maintenance ?

J.-P. A. Avec de tels outils, l'organisation du travail évolue. Une autre tendance de fond est ce que je nomme « l'effet Tesla » : les équipements contiennent de moins en moins de composants physiques et sont de plus en plus gérés de manière logicielle. Plus on est en présence de logiciels, moins il y a de matériel, plus on peut modifier le fonctionnement, ce qui amène à de nombreuses mises à jour. Tout est de plus en plus informatisé, y compris la dimension sécurité. Cela introduit de la complexité informatique, donc plus de probabilité de bugs. On constate également avec inquiétude que certains fabricants ont tendance à mettre sur le marché des produits non aboutis et à déboguer ensuite avec les utilisateurs. Et les niveaux de sûreté réels sont parfois en dessous du niveau requis par des fonctions de sécurité. Il est donc impératif de prendre en compte tous les facteurs de risques : organisationnels, techniques, humains, numériques... Bref, les outils numériques permettent de sécuriser mais introduisent également des facteurs de risque.

Quelles sont les limites de tels outils ?

J.-P. A. Nous avons eu l'opportunité d'étudier l'intérieur d'automates dans le cadre de nos missions Apave d'accompagnement technique et d'évaluation de conformité. Cela nous a permis de mettre en évidence que l'on est en présence de programmes qui ne sont pas toujours clairs et documentés. Cela crée de gros doutes sur les niveaux de sûreté, qui sont plus difficiles à évaluer que sur une architecture physique. Et s'il y a de l'IA à l'intérieur, cela augmente grandement l'incertitude sur la maîtrise du sujet. Car il y a un biais majeur avec l'IA : le jeu de données d'entrée est fondamental pour son bon fonctionnement. L'entraînement est décisif, or il y a un biais humain inévitable.

Plus un sujet est complexe, plus il est compliqué à modéliser, il faut penser à tous les cas de figure, même les plus imprévisibles, pour réaliser une modélisation correcte. Il ne faut pas non plus oublier d'expliquer aux IA des « évidences ». Pour que ce soit bien fait, c'est très coûteux. Il est donc préférable de se servir de l'IA avec parcimonie, là où elle est puissante et utile, pour en garder la maîtrise. Et autre limite : pour que les systèmes numériques soient efficaces, il faut des données à jour. Utiliser des données obsolètes introduit des risques. C'est un chantier qui demande là aussi de gros moyens, car on constate aujourd'hui que dans beaucoup d'entreprises, tous les plans ne sont pas à jour. Cela donne un aperçu de l'ampleur des chantiers. On peut aussi mentionner le risque cyber. La sécurité de l'information est également une

vraie question ! Le futur règlement européen « Machines » impose une analyse cyber des risques sécurité, et des brèches de cybersécurité dans les systèmes d'information peuvent avoir des conséquences majeures pour l'activité de l'entreprise, à l'image de l'actualité récente de Jaguar Land Rover ou Stellantis².

Quel premier bilan peut-on tirer de ces innovations à ce jour ?

J.-P. A. Il existe des choses très intéressantes, mais d'un point de vue macro, il y a encore du chemin à parcourir. Ces outils doivent être utilisés comme des assistants. Ils peuvent aider très positivement mais, pour l'instant, ils ne doivent en aucun cas tenter de compenser un éventuel manque de compétences. Ils sont faillibles dès la conception, donc très loin d'être parfaits. Et dans une grande majorité de cas, les données requises ne sont pas disponibles. Pour l'heure, il n'est pas du tout opportun de se dire que l'on va remplacer l'intelligence humaine par l'IA. Le numérique introduit de nouveaux risques. À ce jour, la maturité de ces technologies n'est pas suffisante pour s'exonérer d'une démarche de prévention robuste. Il y a également un besoin d'ergonomie dans ces outils, ce qui doit faire revenir à un basique de la prévention : le travail doit s'adapter à l'homme, et non l'inverse. ■ **Propos recueillis par C. R.**

1. Association française des ingénieurs et responsables de maintenance.

2. Les constructeurs automobiles ont subi en milieu d'année 2025 chacun un piratage informatique. Dans le cas de Range Rover, l'entreprise a dû stopper la production de ses véhicules pendant six semaines et l'attaque a également affecté plusieurs de ses fournisseurs.

DES COMPÉTENCES QUI SE TRANSFORMENT

« En l'espace de 50 ans, les coûts de maintenance dans l'industrie ont été divisés par plus de deux. D'une façon générale, le secteur a perdu de la compétence technique, de la méthode. Pendant longtemps, les salaires ne rendaient pas ces métiers attrayants, des filières de formation ont par conséquent disparu ou se sont vidées de substances. On déplore un assèchement des compétences sur le marché. Les entreprises se trouvent confrontées à des situations où elles n'ont

pas de plan B pour remplacer le technicien qui part, pas de possibilité de tuilage, alors que le besoin en maintenance croît. Même une usine intégralement robotisée ("dark factories") a besoin de mainteneurs ! Des outils digitaux peuvent également aider à capter et capitaliser les savoirs qui se perdent, c'est critique dans certains secteurs où le risque est important. »

La technologie au service d'une maintenance plus sûre

Pour Air France Industries KLM Engineering & Maintenance¹, l'innovation est un levier d'anticipation des risques autant que d'amélioration des conditions de travail. Tandis que la réalité virtuelle est utilisée pour la formation ou lors de sensibilisations à la sécurité aéroportuaire, une application numérique est proposée dans un programme de prévention des troubles musculosquelettiques.

« **VIVRE LES RISQUES** plutôt que les subir. » Au centre de maintenance du hub de l'aéroport Paris-Charles-de-Gaulle, les mécaniciens de maintenance d'Air France Industries sont conviés à une expérience immersive qui les met face aux enjeux de la sécurité aéroportuaire. Chute de hauteur, aspiration par un turboréacteur, conduite avec des écouteurs... Tour à tour, ils enfilent un casque de réalité virtuelle et sont confrontés aux situations critiques qu'ils peuvent rencontrer au quotidien. Objectif : faire prendre conscience des dangers et rappeler les bonnes pratiques, dans des métiers où la coactivité est omniprésente et les travailleurs exposés aux risques de projections, de chutes de plain-pied ou de chutes de hauteur, pour ne citer que ceux-ci.

« Une fois le casque sur la tête,

on est réceptif aux informations données et attentif à 100%, sans interruption à cause du portable. C'est plus efficace qu'une réunion d'information classique », constate Sylvain Chaminade, coordinateur de performance industrielle Boeing et responsable du support cabine. Depuis septembre 2025, des forums dédiés à la présentation d'outils innovants se sont tenus à Orly, Villeneuve-le-Roi et, en novembre dernier à Roissy-en-France. 1000 salariés y ont déjà participé.

Innovation, performance et sécurité

« Nous avons travaillé en collaboration avec le Collectif sécurité circulation aéroportuaire (CSCA), lancé en 2023 avec la Fédération nationale de l'aviation et de ses



métiers, Air France et Aéroports de Paris, qui réunit 25 entreprises (compagnies aériennes, assistants aéroportuaires, catering, aviateurs, gendarmerie...), explique Marc Lhuillier, responsable hygiène sécurité environnement de la Direction générale industrielle. Nos mécaniciens se déplacent sur les pistes pour de nombreux travaux non postés sur avion... Il est difficile de trouver une solution adaptée à tout. Aussi, la Direction générale industrielle s'est engagée sur le long terme dans l'utilisation de technologies de pointe au service de leur protection. »

Sur le forum de Roissy-en-France, outre les modules de réalité virtuelle, l'outil Axomove, déployé pour prise en charge des travailleurs souffrant de troubles musculosquelettiques, à l'origine de

EN BREF...

Entretien des cellules, maintenance des moteurs, support des équipements..., la maintenance aéronautique, confiée à Air France Industries KLM Engineering & Maintenance, est l'un des trois grands métiers du groupe Air France-KLM avec le transport de passagers et le transport de marchandises. Elle permet d'assurer la navigabilité des flottes en sécurité, pour les compagnies-mères du groupe et plus de 200 compagnies aériennes clientes. La maintenance aéronautique du groupe Air France-KLM,

c'est plus de 3 000 avions maintenus par an, plus de 200 clients dans le monde, 13 000 salariés (7 700 en France) et 8 centres logistiques (4 sites en France). Le groupe a notamment développé une solution de maintenance prédictive (nommée Prognos), alimentée par le *big data*, pour mieux anticiper les besoins, optimiser les opérations, réduire les coûts, et améliorer la disponibilité des avions.



© Patrick Delapierre pour l'INRS/2025

📺 Au Centre de formation technique des mécaniciens, un outil de réalité virtuelle permet d'habiliter le personnel de maintenance qualifié avion à démarrer les moteurs. Il est utilisé notamment lorsque les simulateurs de vol ne sont pas disponibles.

nombreux arrêts de travail, est présenté. Cette application est proposée depuis l'été dernier au personnel au sol. Après avoir répondu à un questionnaire et un premier diagnostic, les collaborateurs peuvent bénéficier d'un suivi avec des kinésithérapeutes et des spécialistes du mouvement qui proposent un encadrement et des exercices adaptés à leur situation et l'environnement de travail.

« Les bénéficiaires de cet outil déclarent très majoritairement voir leurs douleurs diminuer. Ils constatent une baisse du niveau de stress et une meilleure qualité de sommeil, indique Marc Lhuillier. Ce travail s'inscrit dans la lignée d'actions menées depuis plus de dix ans pour prévenir les risques liés à l'activité physique et d'un programme qui a notamment permis

de déployer 500 acteurs Prap [prévention des risques liés à l'activité physique] et de former 1500 salariés avec des kinés ostéopathes. » L'activité des salariés couvre trois segments: l'entretien des cellules, la maintenance des moteurs et le support des équipements. Pour optimiser la performance et réduire les déléas, la veille technologique est essentielle. « Les innovations que nous développons sont regroupées dans le programme MRO Lab². Toutes sont testées et expérimentées. Depuis 1994, une démarche d'innovation participative a permis de faire remonter plus de 120 000 idées du terrain, explique Ahmoss Messayah, directeur de l'innovation Air France Industries KLM Engineering & Maintenance. Des accords d'expérimentation sont signés avec des start-up et des écoles pour le développement de solutions. Les axes suivis sont l'amélioration des produits, l'amélioration des procédés et l'innovation de rupture. »

Il existe pléthore d'exemples: robots ou cobots pour les inspections de pièces afin d'assister le mécanicien dans des tâches pénibles; fabrication additive d'outils répondant aux besoins des entités; drones pour des missions d'inspection; intelligence artificielle pour les inspections moteur et la visualisation de zones difficiles d'accès; exosquelettes pour travailler sous les ailes d'un avion... La réalité virtuelle est, quant à elle, utilisée depuis plusieurs années en formation.

L'humain d'abord

Pour en parler, rendez-vous au Centre de formation technique des mécaniciens. « Nous utilisons un outil de réalité virtuelle qui permet d'habiliter le personnel de main-

tenance qualifié avion à démarrer les moteurs. L'instructeur accueille deux stagiaires, dans la position du pilote et du copilote, et valide leurs compétences », détaille Benoît Boudin, responsable du pôle digital learning. Une formation de deux jours renouvelée tous les deux ans et réalisée à l'origine sur les simulateurs de vol. « Mais ceux-ci sont peu disponibles et réservés prioritairement aux pilotes. Des créneaux de nuit étaient dégagés pour la maintenance, ce qui n'est bon ni en matière de pédagogie, ni pour les conditions de travail », poursuit Benoît Boudin.

En 2018, un module de réalité virtuelle a été développé pour le Boeing 787. L'outil a ensuite été déployé, en collaboration avec Airbus, sur l'A320, l'A350 et l'A220. Chaque séquence avec le casque de réalité virtuelle dure une vingtaine de minutes durant lesquelles les stagiaires sont immergés dans le cockpit. L'instructeur valide les acquis techniques comme leurs capacités à interagir et à adopter la réaction appropriée lors de la simulation d'un problème (feu, vibrations, défaut d'un élément, fuite d'huile...).

Au fil des ans, les retours de mécaniciens ont été intégrés, sur la fatigue oculaire ou la maniabilité du dispositif. L'un des avantages est notamment de travailler la gestion du stress dans le confort d'une salle de formation. Et comme pour chaque projet, il s'agit de laisser l'humain au cœur de la stratégie d'innovation. Il est à l'origine des besoins, impliqué dans les phases de développement, mais surtout, il en reste le premier bénéficiaire. ■ G. B.

1. Air France Industries KLM Engineering & Maintenance est la division maintenance du groupe Air France-KLM.

2. MRO: Maintenance, repair, overhaul.

MAINTENANCE EN LIGNE

« À Paris-Charles-de-Gaulle, 450 mécaniciens assurent les demi-tours des avions et les "night stops" », explique Dominique Vialtet, le responsable de la maintenance en ligne. Ici, les avions volent le jour et dorment la nuit... Ou presque, puisque c'est là qu'est assuré leur entretien. Concernant les long-courriers, un arrêt de 24 à 48 heures est prévu en moyenne tous les deux mois. Entre-temps, il était toutefois régulièrement nécessaire de procéder à des arrêts non programmés de quelques heures pour des travaux de maintenance ou des réparations.

« Nous avons désormais un arrêt de 6 heures prévu toutes les semaines et on ne garde l'avion que deux heures entre deux vols, reprend le responsable. Cette organisation mise en place au moment de la crise sanitaire permet de mieux anticiper la préparation de chantier, les moyens industriels à déployer et les conditions d'intervention en sécurité dans un environnement adapté. » En complément, des interventions de maintenance en ligne internationale peuvent avoir lieu dans les 150 escales où des équipes sont déployées.

Une innovation continue, à pas mesurés

Guillaume Leclercq est chef du département technique au sein du SIAé, le Service industriel de l'aéronautique¹. Il assure une veille technologique permanente, afin de réaliser les activités de maintenance des avions des armées françaises dans les meilleurs délais et conditions de travail.

Travail & Sécurité. Quelles sont les activités de votre département ?

Guillaume Leclercq. Nous sommes en charge de la révision des moteurs d'avions militaires, pour faire simple de turbomachines d'avions de chasse, d'avions à hélice et d'hélicoptères. La maintenance dite profonde représente environ deux tiers de nos interventions et est réalisée sur notre site bordelais. Mais nous avons aussi des opérateurs répartis sur des bases aériennes pour la maintenance de niveau intermédiaire. Le département que je dirige comprend 120 personnes, dont un groupe innovation. Celui-ci est en charge d'étudier et d'explorer les nouvelles technologies pour améliorer les process, pallier les obsolescences et adapter les procédés aux nouvelles technologies des moteurs. Des méthodistes déclinent ensuite la documentation de maintenance du constructeur en instructions applicables en atelier, avec les procédés industriels et les outillages.

De quelle manière faites-vous appel aux nouvelles technologies au sein de votre activité ?

G. L. Nous avons mis en place un cobot pour la lecture et la pesée des aubes de compresseur. La révision des compresseurs en atelier comprend un équilibrage final, pour lequel le cobot facilite la répartition des aubes : lecture des numéros de série – gravés en tout petit –, pesée individuelle puis calcul de répartition. Cela supprime la fatigue oculaire des opérateurs, limite leur charge mentale et réduit les TMS car c'est une

opération très répétitive, à faible valeur ajoutée. Pour aboutir à l'industrialisation de ce process, il nous a fallu environ quatre ans, des premières étapes jusqu'à la mise en production.

Autre projet : depuis 2023, nous travaillons sur un cobot pour dériver des pièces qui comportent plus d'une centaine de rivets. Il s'agit d'une opération manuelle au cours de laquelle l'opérateur porte un dispositif individuel de protection des poussières CMR (cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction) à cause du meulage et se trouve souvent dans une position contraignante pour les lombaires. Le cobot, en phase de développement, est doté d'une tête oculaire. Il repère le rivet, le meule et l'extrait, le tout dans une enceinte fermée, dotée d'une aspiration. On élimine ainsi les TMS de même que l'exposition potentielle aux poussières. Nous travaillons pour cela avec une petite entreprise locale. Le projet est porté par un chef de projet innovation, selon un processus itératif avec la PME et les opérateurs.

Vous débutez également des réflexions sur un cobot pour les fins d'inspection ?

G. L. C'est un projet qui a débuté en 2025, à partir d'un benchmark. Il s'agit de faciliter les opérations de fin d'inspection, particulièrement nombreuses : le technicien doit vérifier visuellement entre 300 et 400 points sur un moteur. C'est extrêmement fastidieux. Le cobot que nous souhaitons développer prendra des photos en 3D des points de contrôle du moteur révisé et les comparera à une image de réfé-

rence d'un matériel conforme. S'il identifie un écart, il avertira le contrôleur qui décidera d'accepter ou pas l'écart. Cela permettra de diminuer la charge mentale et la fatigue oculaire du contrôleur, ainsi qu'un gain en temps et en qualité.

Vous êtes sans cesse en veille, à la fois pour améliorer les conditions de travail de vos techniciens, gagner en efficacité et vous adapter aux évolutions des moteurs. Comment vous organisez-vous ?

G. L. Hormis la veille technologique assez classique (presse, salon, internet), nous nous sommes organisés pour capter au plus juste les besoins du terrain et ne pas nous disperser. Pour cela, nous avons mis en place un réseau de référents innovation, constitué d'un pilote et de personnes dans les ateliers (ex : chef d'équipe, méthodiste...) qui remontent des problématiques et sollicitent le groupe innovation pour trouver des solutions. Ce réseau se réunit une fois par mois. Notre veille s'inscrit dans une démarche à la fois up-bottom (solicitations externes sur de nouvelles technologies par exemple), mais aussi bottom-up, c'est-à-dire par la remontée des besoins des ateliers *via* le réseau des référents. Lorsqu'une nouvelle technologie présente un intérêt pour la maintenance, le processus devient itératif pour monter en maturité. Il comprend de nombreux échanges et tests, souvent sur plusieurs années, avant d'être implémenté au sein de nos ateliers. ■ **Propos recueillis par D. V.**

1. Dépend du ministère des Armées et des Anciens Combattants.