

L'activité de téléopération dans le démantèlement des installations d'une industrie nucléaire : analyse du dispositif technique et des enjeux organisationnels et humains

Robert Ngueutsa, Louisa Roy, Raluca Ciobabu, François Palaci and Florent LHeureux

Volume 8, Number 2, 2024

Numéro thématique 3 : Pratiques de gestion et professionnelles

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1111857ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/1111857ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Société québécoise de psychologie du travail et des organisations

ISSN

2369-1522 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Ngueutsa, R., Roy, L., Ciobabu, R., Palaci, F. & LHeureux, F. (2024). L'activité de téléopération dans le démantèlement des installations d'une industrie nucléaire : analyse du dispositif technique et des enjeux organisationnels et humains. *Humain et Organisation*, 8(2), 53–68. <https://doi.org/10.7202/1111857ar>

Article abstract

Aging facilities and an energy transition have prompted the nuclear industry to start dismantling obsolete installations. Teleoperation is at the heart of this process as these installations are complex, difficult to access, and radioactive. The literature on teleoperation shows a predominance of technical aspects, with little information on its uses in a dismantling site, which raises questions about the organizational and human issues involved. This research-intervention analyzes teleoperation activities in the nuclear industry to understand the physical and psychological impacts on teleoperators, based on theories of activity and situated acceptance of technologies. The methodological approach is based on (a) an analysis of internal company documents; (b) 10 individual interviews; (c) participation in work group meetings; and (d) two observations of a teleoperation activity. The aim of this approach is to trace the teleoperation activity of the various actors involved in the deployment of the device, from design to use in the field. Content analysis of observations and interviews reveals that teleoperation is a mediated, multi-faceted activity (confined room, tool guidance and maintenance), characterized by static work, repetitive tasks and multisensory information to be managed simultaneously. These characteristics involve physical and cognitive demands that are likely to have an impact on the teleoperator's well-being. Training for teleoperators appears to be partial, and is mainly carried out in real-life work situations. This study identifies the technical, organizational, and cognitive constraints faced by teleoperators on a dismantling site. It suggests a participative design of a flexible teleoperation tool, involving engineers, site managers, and the teleoperators themselves, based on real activity, with a view to preserving the health of teleoperators and optimizing their performance.



L'activité de téléopération dans le démantèlement des installations d'une industrie nucléaire : Analyse du dispositif technique et des enjeux organisationnels et humains

Robert **NGUEUTSA**¹
Louisa **ROY**¹
Raluca **CIOBABU**²
François **PALACI**²
Florent **LHEUREUX**¹



¹Université de France-Comté

²Lab Paris Saclay

Pour toute correspondance relative à cet article, écrivez à l'adresse : robert.ngueutsa@univ-fcomte.fr

Résumé

Le vieillissement des installations et la transition énergétique engagent les industries du nucléaire dans une démarche de démantèlement d'installations obsolètes. La téléopération est au cœur du démantèlement, car ces installations sont complexes, difficiles d'accès et radioactives. La littérature sur la téléopération montre une prédominance des aspects techniques et renseigne peu sur ses usages dans un chantier de démantèlement; ce qui suscite des questionnements sur les enjeux organisationnels et humains. Cette recherche-intervention analyse les activités de téléopération dans une industrie du nucléaire pour en saisir les impacts physiques et psychiques sur le téléopérateur, en s'appuyant sur les théories de l'activité et de l'acceptation située des technologies. La démarche méthodologique est basée sur : a) une analyse de documents internes à l'entreprise; b) 10 entretiens individuels; c) la participation aux réunions d'un groupe de travail; d) deux observations d'une activité de téléopération. Cette démarche vise à tracer l'activité de téléopération auprès des différents acteurs impliqués dans le déploiement du dispositif, de la conception jusqu'à l'usage sur le terrain. L'analyse des contenus des observations et des entretiens révèle que la téléopération est une activité médiée, polyvalente et à multiples facettes (salle confinée, guidage et maintenance des outils), caractérisée par le travail statique, les tâches répétitives et des informations multisensorielles à gérer simultanément. Ces caractéristiques constituent des exigences physiques et cognitives susceptibles d'impacter le bien-être du téléopérateur. La formation du téléopérateur semble partielle et se réalise principalement en situation de travail réel. Cette étude identifie les contraintes techniques, organisationnelles et cognitives du téléopérateur dans un chantier de démantèlement. Elle suggère une conception participative d'un outil de téléopération flexible, associant les ingénieurs, les chefs de chantier et les téléopérateurs eux-mêmes, à partir du réel de l'activité, en vue de préserver la santé des téléopérateurs et d'optimiser leurs performances.

Mots clés : Activités, Téléopération, Démantèlement, Installations nucléaires, Santé et sécurité

Abstract

Aging facilities and an energy transition have prompted the nuclear industry to start dismantling obsolete installations. Teleoperation is at the heart of this process as these installations are complex, difficult to access, and radioactive. The literature on teleoperation shows a predominance of technical aspects, with little information on its uses in a dismantling site, which raises questions about the organizational and human issues involved. This research-intervention analyzes teleoperation activities in the nuclear industry to understand the physical and psychological impacts on teleoperators, based on theories of activity and situated acceptance of technologies. The methodological approach is based on (a) an analysis of internal company documents; (b) 10 individual interviews; (c) participation in work group meetings; and (d) two observations of a teleoperation activity. The aim of this approach is to trace the teleoperation activity of the various actors involved in the deployment of the device, from design to use in the field. Content analysis of observations and interviews reveals that teleoperation is a mediated, multi-faceted activity (confined room, tool guidance and maintenance), characterized by static work, repetitive tasks and multisensory information to be managed simultaneously. These characteristics involve physical and cognitive demands that are likely to have an impact on the teleoperator's well-being. Training for teleoperators appears to be partial, and is mainly carried out in real-life work situations. This study identifies the technical, organizational, and cognitive constraints faced by teleoperators on a dismantling site. It suggests a participative design of a flexible teleoperation tool, involving engineers, site managers, and the teleoperators themselves, based on real activity, with a view to preserving the health of teleoperators and optimizing their performance.

Keywords: Activities, Teleoperation, Dismantling, Nuclear facilities, Health and safety

1. Introduction et contexte d'étude

Certaines installations des industries du nucléaire ont besoin d'être démantelées, étant devenues obsolètes ou arrivant en fin de vie (EDF, 2020). Le démantèlement consiste à détruire des masses importantes de structures bétonnées et métalliques, parfois fortifiées, jusqu'à la dernière pierre. Cette destruction se fait à l'aide de machines et d'outils issus des innovations technologiques. Cependant, l'opération de destruction par l'usage de ces outils ne peut pas se passer de la présence ni de l'expertise humaine. Par conséquent, les activités et les tâches des travailleurs sont principalement conçues en téléopération pour la plupart, du fait de la complexité, de la dangerosité et des difficultés d'accès dans l'installation en démantèlement. La téléopération est « l'idée d'un contrôle à distance des machines ou, autrement dit, la mise en œuvre de manipulateurs permettant à l'opérateur d'agir mécaniquement et à distance grâce à des retours sensoriels » (Moricot, 2019, p.167). L'utilisation de la téléopération en contexte de démantèlement a comme intérêt principal de protéger l'homme en permettant une intervention à distance, efficiente et en sécurité, d'autant que certaines de ces installations sont irradiantes, rendant impossible la présence humaine.

La présente étude est une recherche-action qui répond à une demande d'une industrie du nucléaire, engagée dans une démarche de démantèlement d'installations obsolètes. Elle est réalisée dans un contexte de conception des dispositifs de téléopération à utiliser dans le démantèlement à venir. Le démantèlement de réacteurs nucléaires est une opération inédite, rarement réalisée dans l'industrie du nucléaire et pour laquelle le retour d'expérience et la littérature manquent cruellement. L'industrie s'est engagée à créer un dispositif de démantèlement à partir d'un démonstrateur industriel et d'y tester les *scénarii* de démantèlement, nécessaires à la validation des activités à mener lors des travaux de démantèlement à venir. Le démonstrateur industriel est un centre d'essais qui héberge différentes maquettes de parties des installations à démanteler ainsi que différents outils, notamment téléopérés, que l'entreprise souhaite tester en vue de garantir la faisabilité et l'efficacité des *scénarii* de démantèlement retenus. Ce démonstrateur permet de tester les processus de démantèlement possibles, de former les opérateurs au démantèlement et à l'usage des outils, d'identifier tous les risques possibles et d'anticiper les dispositifs de prévention à mettre en place. La conception des outils de démantèlement à utiliser pendant les travaux de démantèlement sur les sites (y compris les outils téléopérés) se fera à partir des résultats des tests des démarches de démantèlement. Les *scénarii* à tester sur le démonstrateur industriel étant essentiellement techniques, la demande de l'entreprise portait sur l'analyse et l'intégration des aspects organisationnels et humains dans ces processus. Cette recherche-action vise donc à comprendre le réel de l'activité de téléopération au-delà des aspects techniques documentés, dans la perspective du démantèlement des réacteurs nucléaires. Il s'agit d'analyser l'activité de téléopération et les risques afférents pour les travailleurs, en tenant compte des enjeux organisationnels et humains de cette activité. Cette analyse permet d'approfondir les connaissances sur les aspects organisationnels et humains de la téléopération ainsi que les risques associés. Les résultats de l'analyse du réel de l'activité sont ensuite mobilisés pour alimenter les démarches en cours de conception, des enjeux organisationnels et humains; ce qui permet d'anticiper les risques et leur prévention dans les travaux de

démantèlement à venir. L'intérêt de cette recherche-action repose sur : 1) sa contribution à anticiper les impacts de l'activité de démantèlement par la téléopération sur les travailleurs et sur les dynamiques collectives; 2) sa capacité à mobiliser, *in situ*, les acteurs industriels eux-mêmes, leurs subjectivités, leurs symboliques dans l'anticipation des activités de démantèlement à venir et à les préparer à leur faire face.

Dans un premier temps, nous présentons la littérature sur la téléopération dans différents secteurs d'activités dont l'industrie du bâtiment et travaux publics (BTP), les secteurs militaire, aéronautique, médical et spatial. Cette revue de la littérature soulève des questionnements sur les enjeux organisationnels et humains de la téléopération en général, et l'acceptation du dispositif de téléopération dans le démantèlement des installations nucléaires. Dans un deuxième temps, nous présentons la méthodologie de collecte des données auprès d'acteurs de cette industrie du nucléaire, impliqués dans le processus de conception en amont et d'exécution du programme à venir de démantèlement des réacteurs nucléaires par l'usage de la téléopération. Enfin, nous abordons les résultats issus de l'analyse des données, en vue de dégager le réel de l'activité de téléopération, dont la connaissance est indispensable à la conception du dispositif de téléopération adapté au contexte du démantèlement à venir.

1.1 Que sait-on de la téléopération ?

La robotique et l'automatisation des tâches impactent de plus en plus le travail et ses transformations dans un contexte marqué par d'importants progrès technologiques (Atain-Kouadio et al., 2014). Les robots interagissent avec le travailleur dans un même espace de travail au niveau des mouvements, de la manipulation et des postures. En tant qu'outils de travail et/ou assistants de l'opérateur, les robots modifient la relation entre le travailleur et son travail, le travailleur et la machine, et entre les travailleurs. La téléopération constitue une activité de travail au centre de laquelle se trouve le robot. La téléopération consiste en une réalisation de tâches à distance à l'aide d'un robot qui complète les capacités physiques et techniques de l'homme en lui renvoyant des informations sous diverses formes. Le téléopérateur travaille dans une salle isolée et reçoit des retours visuels à l'aide de caméras qui elles-mêmes ne captent pas toujours toutes les informations dont le téléopérateur a besoin pour exécuter la tâche de manière optimale. Il en est de même des retours sonores (dans un environnement bruyant) et haptiques (retours de forces et tactiles). Le rapport coût/bénéfice de l'usage du dispositif de téléopération semble mitigé. En effet, si ce dispositif assure la sécurité des travailleurs et augmente leur productivité, il coûte cher, complexifie le rapport de l'opérateur avec son travail du fait de la nécessité de la collaboration entre l'homme et la machine, et peut générer des risques professionnels insoupçonnés (Moricot, 2019). La téléopération est utilisée dans plusieurs secteurs d'activités sous différentes modalités spécifiques à son contexte d'utilisation.

1.2 Les usagers de la téléopération

L'usage de la téléopération est documenté dans quelques secteurs d'activité dont le bâtiment et travaux publics (BTP) (Roy, 2016), la médecine (Moricot, 2019), l'armée (Roy,

2016) et l'industrie (Sghaier et Charpentier, 2012; Zubeldia, 2010). Dans le *secteur du BTP*, la téléopération est utilisée dans le port, le maniement et le transport des charges lourdes. On en distingue deux types : les exosquelettes et les droïdes. L'exosquelette est un robot fixé sur le corps de l'opérateur sans barrière physique entre la machine et le corps humain. Il permet de porter et de manier les charges lourdes, l'agent ayant une vision directe sur le chantier, avec tous les retours haptiques possibles. Le droïde est un robot guidé par l'agent à l'aide d'une console pour transporter et acheminer des charges lourdes, l'agent étant en contact direct avec le robot sans barrière physique, avec une vision directe sur le chantier, mais sans retour haptique (Roy, 2016).

Dans le *domaine médical*, la téléopération s'emploie essentiellement pour des opérations chirurgicales et des analyses d'images plus poussées. Le robot réalise l'opération chirurgicale sous le contrôle du chirurgien qui reçoit les sensations comme s'il opérât lui-même (Moricot, 2019).

Dans le *domaine militaire*, la téléopération est utilisée soit pour des interventions sous-marines ou aériennes, soit pour la visite des champs de bataille carrossables. Pour des interventions sous-marines, les dispositifs téléopérés sont le *poisson autopropulsé* et les *remote operated vehicles*. Le premier est piloté par l'agent à distance pour le déminage sous-marin, mais ce dernier n'a pas de vision directe de la cible. Les *remote operated vehicles* sont pilotés par des agents depuis la surface de l'eau pour des interventions sous-marines, avec des retours visuels à travers des caméras, le robot étant relié à la console de commande par un cordon ombilical. Pour des interventions terrestres, les robots à chenilles ou à roues et les humanoïdes sont pilotés à distance par un agent ayant une vision renvoyée par caméra, pour cartographier les champs de bataille carrossables. Pour des interventions aériennes, les drones sont pilotés à distance par un agent à l'aide d'une console, avec un retour visuel par caméra pour recueillir des renseignements en milieu hostile et peu accessible, opérer des cartographies, repérer des zones de combat ou larguer des bombes. Les avions téléguidés pilotés depuis une salle de contrôle par un agent qui a des retours visuels à travers des caméras, opèrent également pour la collecte des renseignements et les combats aériens (Roy, 2016).

Dans le *domaine industriel*, outre les exosquelettes, la plupart des robots sont commandés depuis une console ou programmés pour réaliser des tâches simples et répétitives, transporter et manutentionner des objets et des charges lourdes. L'opérateur a une vision directe sur le robot et sur le terrain, mais n'a pas de retour haptique (Sghaier et Charpentier, 2012; Zubeldia, 2010).

Les différents usages ci-dessus présentent essentiellement des aspects techniques et fonctionnels et ne permettent pas de comprendre l'ensemble de l'activité du téléopérateur. En outre, on n'a pas de connaissances sur la téléopération en démantèlement d'installations nucléaires dans la littérature, ni sur les impacts de son usage sur l'homme, le travail et l'organisation. Des chantiers de démantèlement existent dans l'entreprise commanditaire de l'étude certes, mais la littérature ne couvre pas suffisamment cette thématique. La présente étude participe à alimenter la littérature sur

la téléopération en démantèlement, indispensable au programme de démantèlement de l'entreprise.

1.3 Questionnements sur l'activité de téléopération

En l'absence de données dans la littérature sur la téléopération en démantèlement d'installations nucléaires, il est difficile d'envisager la conception du dispositif de téléopération utilisable dans un programme de démantèlement de réacteurs nucléaires. En effet, plusieurs questionnements méritent d'être clarifiés afin d'envisager un dispositif de téléopération qui soit optimal tant pour le confort, la santé et la sécurité des téléopérateurs que pour les performances du processus de démantèlement. Notamment, quel est la réalité de l'activité de téléopération au niveau de son déroulement, de ses bénéfices et de ses inconvénients? Quels sont les risques potentiels induits par l'activité de téléopération? Quelles sont les compétences requises pour téléopérer et comment développer ces compétences au niveau des formations et des parcours de professionnalisation?

Comme on peut le constater, ces questionnements s'inscrivent dans l'approche du travail par les théories de l'activité (Clot, 2004; Daniellou, 2004; Efros et al., 2015 ; Simonet et al., 2011) et portent sur les aspects organisationnels et humains de la téléopération, absents de la littérature. Selon ces théories, l'activité de travail est la réponse mise en œuvre par l'agent pour réaliser son travail dans une dynamique quotidienne (Efros et al., 2015). Cette activité inclut les dimensions physiologiques, environnementales et organisationnelles d'une situation de travail et toutes les logiques sous-jacentes. Le réel de l'activité se réfère à l'activité effectivement réalisée ainsi qu'à tout ce que le sujet aurait voulu ou pu faire autrement, ce qu'il est empêché de faire et ce qui lui a été interdit de faire (Clot, 2004; Simonet et al., 2011). Les usages de la téléopération présentés dans la littérature ne permettent donc pas de saisir la vraie nature de l'activité du téléopérateur; ce qui est nécessaire à la conception en amont du dispositif de téléopération adapté au contexte de démantèlement en général et à celui de réacteurs nucléaires en particulier.

Les questionnements ci-dessus touchent également au rapport que le téléopérateur a avec le dispositif technique en général ainsi que l'acceptation d'un tel dispositif dans le contexte de démantèlement ; ce que Bobillier-Chaumon (2013) appelle « *acceptation située* ». Cette acceptation située, qui s'avère dynamique (Caroly, 2007), évolue de façon itérative de la conception à l'usage (Larbaigt et al., 2020). Dans le contexte du démantèlement où l'usage de la téléopération est peu connu, Daniellou et ses collaborateurs (2011) suggèrent de penser la conception du dispositif en confrontant les représentations des concepteurs à celles des téléopérateurs, ce qui pourrait optimiser l'acceptation à l'usage. En confrontant les acteurs du dispositif de téléopération, de la conception à l'usage et dont les représentations peuvent diverger, voire s'opposer, on anticipe les adaptations possibles du dispositif au téléopérateur et des potentielles contraintes et impacts négatifs sur ce dernier. La présente étude a pour objectif de comprendre l'activité de téléopération tant sous ses aspects techniques et opérationnels que dans ses implications sur la santé et la sécurité de l'opérateur. L'étude a un double intérêt, notamment : 1) approfondir les connaissances sur le réel de l'activité de

téléopération ; 2) alimenter la conception du dispositif de téléopération à mobiliser dans le démantèlement à venir des installations obsolètes de l'industrie nucléaire.

2. Méthodologie

La recherche mobilise divers professionnels issus de multiples services et métiers de l'entreprise, qui ont en commun des compétences nécessaires à la conception, la planification et la mise en œuvre du futur chantier de démantèlement. La population cible de cette recherche est donc constituée de professionnels qui prendront part aux travaux de démantèlement à venir. L'échantillon représente ces différents acteurs. Une entité créée par l'entreprise (exclusivement dédiée au programme de démantèlement qui se réalisera sur plusieurs années) est mobilisée afin de réfléchir en amont aux caractéristiques des futures activités de démantèlement. Un groupe de travail regroupant les professionnels de cette entité et les chercheurs est mis en place pour penser les futures activités de démantèlement. Les professionnels de l'entreprise actuellement en charge des travaux similaires à ceux qui seront réalisés pendant les travaux de démantèlement (managers, téléopérateurs) et qui interviendront dans les travaux à venir du démantèlement font partie de l'échantillon aux côtés du groupe de travail. La rencontre avec chaque groupe de professionnels pour la collecte des données s'ajuste au plus près des activités de ces derniers. Elle prend des formes variées (entretien, observation, analyse documentaire) en fonction de la faisabilité sur le terrain et de l'enchaînement des activités des professionnels.

2.1 Participants

Étant donné l'absence de données dans la littérature sur la téléopération dans un chantier de démantèlement, nous optons pour une démarche exploratoire qui consiste à recueillir des données auprès de différents acteurs impliqués dans la conception et la mise en œuvre du chantier de démantèlement en général et de la téléopération en particulier. Ce type de démarche est choisi afin d'être au plus proche du terrain, tout en recueillant des données de façon libre et étayée. Les participants de l'étude sont choisis dans les différents groupes d'acteurs qui interviennent dans le processus de conception et de mise en œuvre du chantier de démantèlement à venir.

Le premier groupe d'acteurs est constitué de quatre cadres issus de plusieurs services et de trois chercheurs impliqués dans la présente recherche. Ces cadres et chercheurs sont rassemblés au sein d'un groupe de travail constitué par l'entreprise. Le groupe de travail est chargé de penser le dispositif du futur démantèlement, en analysant les aspects techniques, humains et organisationnels des situations de référence susceptibles de se produire dans le chantier. Au sein du groupe de travail, les chercheurs ont pour mission de contribuer à la prise en compte des aspects organisationnels et humains et de l'anticipation des risques liés aux situations à tester. La téléopération fait partie des situations analysées.

Le deuxième groupe d'acteurs est constitué des professionnels qui ne font pas partie du groupe de travail, dont l'activité dans l'entreprise est directement liée à la téléopération.

Ce sont des managers de divers niveaux hiérarchiques, qui coordonnent la téléopération habituellement déployée dans l'entreprise pour des activités diverses. Six participants à l'étude sont choisis dans ce groupe d'acteurs, sur la base de leur implication future (hors groupe de travail) dans le projet de démantèlement, de l'opportunité de les croiser dans le cadre du projet et de leurs disponibilités. Il s'agit de trois managers de troisième ligne, éloignés de l'activité réelle de téléopération, mais intervenant dans la conception et la gestion du programme de démantèlement, deux managers de deuxième ligne, soit des gestionnaires des risques et de la propreté des chantiers et d'un manager de première ligne en contact direct avec les téléopérateurs, chargé de la supervision de l'activité de téléopération.

Le troisième groupe d'acteurs est constitué des téléopérateurs dont l'activité se réalise essentiellement sur le terrain. Quatre d'entre eux sont choisis opportunément pour participer à l'étude. Ils sont rencontrés lors de deux visites de chantier dans le cadre du projet, dans des salles de téléopération.

2.2 Outils de collecte de données

Les données sont recueillies auprès de chaque groupe en utilisant l'outil jugé le plus adéquat et adapté à l'activité de chacun des groupes d'acteurs au moment de la collecte des données. Celle-ci combine plusieurs outils dont l'analyse documentaire, l'entretien individuel avec les managers de troisième, deuxième et première ligne ainsi que les téléopérateurs, la participation aux réunions du groupe de travail sur le démantèlement et l'observation *in situ* des activités de quatre téléopérateurs. Cette méthode de collecte des données permet d'avoir des informations sur les différentes facettes de la téléopération au sein de l'entreprise, à travers la subjectivité des multiples acteurs impliqués, de la conception du dispositif de téléopération (cadres du groupe de travail, managers de troisième et deuxième ligne) à son usage sur le terrain (managers de première ligne, téléopérateurs).

Les données sont recueillies auprès du groupe de travail, à travers l'analyse des documents produits par celui-ci sur la téléopération et pendant les réunions, sans canevas préalable. Les chercheurs notent les informations sur la téléopération telles qu'elles sont pensées par les cadres au niveau technique, organisationnel et humain. L'analyse des documents et les échanges pendant les réunions, permettent de relever les informations sur les représentations que ce groupe de travail (cadres et chercheurs) se fait de la place de la téléopération dans le démantèlement et des risques afférents. Cette collecte des données est réalisée avant de rencontrer les professionnels qui coordonnent les activités de téléopération dans l'entreprise.

Les données sont recueillies auprès des managers de troisième, deuxième et première ligne par des entretiens sur la base d'un canevas adapté à chaque groupe de participants. On aborde : a) l'activité de téléopération; b) les compétences requises pour la réaliser; c) les contraintes, exigences et ressources pour y faire face. À travers ces entretiens, les connaissances et les subjectivités des différents acteurs sont confrontées pour en déceler les divergences et conflits potentiels pouvant faire l'objet de débats dans la conception

des situations de références et des outils du démantèlement, au sein du groupe de travail. Ces entretiens ont lieu avant la rencontre avec les téléopérateurs.

Les données recueillies auprès des téléopérateurs le sont au moyen des observations réalisées sans canevas préalable afin de laisser place à la spontanéité de l'action face aux chercheurs faisant eux-mêmes partie des acteurs de l'intervention. Cela permet aussi de ne pas se concentrer sur des éléments en particulier, mais plutôt de porter un regard global sur la singularité des situations de travail. Deux observations de trois heures chacune sont réalisées en salle de téléopération, en présence du chef de site, avec deux téléopérateurs par observation. Le Tableau 1 récapitule l'échantillon, les outils utilisés pour recueillir les données et la justification de la pertinence de chaque outil.

Tableau 1

Récapitulatif de la composition de l'échantillon, des outils de collecte des données et de la justification de la pertinence de chaque outil

Groupe de participants	Code participant	Outils	Justification de l'outil
Groupe de travail cadres et chercheurs (N = 7)	Ca1, Ca2, Ca3, Ca4 Ch1, Ch2, Ch3	Analyse documents sur la téléopération + exploitation réunions	Les documents produits par le groupe de travail pluridisciplinaire ainsi que les prises de parole lors des réunions, permettent d'avoir les représentations sur la téléopération du point de vue des concepteurs
Managers de première, deuxième et troisième ligne (N = 6)	MTL1, MTL2, MTL3, MDL1, MDL2, MPL1	Entretiens individuels avec canevas	L'entretien structuré permet de recueillir des données expérientielles sur la téléopération auprès d'acteurs qui la conçoivent, la planifient et la déploient
Téléopérateurs (N = 4)	Tél1, Tél2, Tél3, Tél4	Observations <i>in situ</i> + entretiens informels sans canevas	Les observations complétées par des entretiens informels permettent d'avoir accès au réel de l'activité de téléopération

2.3 Procédures de collecte et d'analyse des données

L'analyse documentaire porte sur les fiches des situations de travail dans un chantier de démantèlement, coconstruites au sein de l'entreprise dans le cadre du groupe de travail chargé du programme de démantèlement. On y extrait les éléments portant sur la téléopération tels que perçus et formulés par les cadres, concepteurs desdites fiches. S'agissant des entretiens individuels avec les téléopérateurs, on aborde l'activité réelle de téléopération, leurs compétences, les contraintes dans la réalisation de l'activité et les ressources pour y faire face. Les données d'entretiens de groupe sont recueillies lors des deux réunions du groupe de travail mises en place par l'entreprise pour penser le dispositif de démantèlement à venir. La collecte des données consiste à relever les éléments de discours, lors des réunions, sur la téléopération à déployer dans le programme de démantèlement. Enfin, deux observations sont réalisées dans une salle de téléopération en présence des téléopérateurs qui manipulent des objets à distance, sans automatisation des opérations. Ces derniers sont informés et consentent à être observés pendant leurs activités. L'observation est faite sans grille préalable et a pour but de recueillir des données factuelles susceptibles de compléter et, ou, de préciser les données d'entretiens. Le chercheur prend des notes sur les observations pertinentes.

Toutes les données issues des analyses documentaires, des entretiens individuels et de groupes ainsi que des observations, sont retranscrites. Dans un premier temps, une lecture des documents permet d'extraire les informations qui décrivent l'activité de téléopération sous ses aspects techniques et organisationnels. Ces informations donnent des précisions sur : a) les différents acteurs qui interviennent dans un chantier de démantèlement et leurs interactions; b) la configuration d'une salle de téléopération; c) les acteurs qui interagissent avec les téléopérateurs. L'objectif de cette première analyse est de comprendre l'activité de téléopération dans son contexte de démantèlement. Puis, à l'aide du logiciel Nvivo, les informations extraites des documents retranscrits sont regroupées dans cinq thèmes définis en amont et enrichis par les données. Il s'agit de : a) l'activité de téléopération et les interfaces homme-machine; b) les risques liés à l'activité de téléopération; c) la formation et les compétences pour téléopérer; d) la transformation du travail; e) les situations de travail dégradées (dysfonctionnements, pannes, incidents). Les bénéfices de l'utilisation de la téléopération sont également abordés dans chaque thème. L'idée est choisie comme unité d'enregistrement des données dans le logiciel Nvivo. Les idées contenues dans des expressions, bouts ou ensembles de phrases des retranscriptions sont extraites au fil de la lecture et affectées, sur la base d'un consensus, dans les thèmes ci-dessus par deux chercheurs. Dans un premier temps, chaque chercheur extrait les idées des retranscriptions, seul, et les affecte dans les thèmes. Dans un deuxième temps, les deux chercheurs font une mise en commun pour s'accorder sur les idées à retenir dans chaque thème. Les idées retenues définitivement pour chaque thème sont celles identifiées à la fois par les deux chercheurs ou par un seul des deux chercheurs, mais pour lesquelles un consensus se dégage après discussion. Chaque élément consensuellement jugé porteur d'une idée faisant référence à l'un des thèmes cités précédemment est copié et collé dans le thème en question. C'est ainsi que, dans chaque thème, on peut retrouver des extraits de discours issus des entretiens et des extraits de notes issues des observations et provenant de plusieurs

groupes d'acteurs. Ces thèmes sont définis par les auteurs comme pouvant permettre de caractériser l'activité de téléopération dans ses différentes facettes ainsi que les potentiels impacts sur la santé et la sécurité des téléopérateurs.

3. Résultats

Les résultats rassemblent les informations les plus fréquentes et issues de différents acteurs, dans des thèmes définis par les auteurs. Notamment, la description de l'activité de téléopération portée par des interfaces homme-machine, l'environnement de téléopération et les risques associés, les compétences requises et la formation.

3.1 L'activité de téléopération : une activité à proximité du chantier, médiée par des interfaces hommes-machines spécifiques

La salle de téléopération se situe à proximité du chantier, pour réduire la distance entre actionneurs et effecteurs, et permet d'intervenir rapidement en cas de maintenance ou de dysfonctionnement d'un outil. En salle, les téléopérateurs sont équipés d'une combinaison, de gants, d'un casque, de chaussures et de lunettes de sécurité, et d'un dosimètre, cet appareil de mesure de l'équivalent de dose reçue par son porteur lors de l'exposition à un rayonnement ionisant. La salle de téléopération est équipée « de sièges et de bureaux ergonomiques, sinon une simple table en plastique et le *joystick* et les écrans » (MDL1). L'équipement présent en salle de téléopération varie en fonction de la nature du chantier. Les téléopérateurs disposent généralement de deux consoles de commandes avec trois *joysticks*.

Ces interfaces hommes-machines renvoient des informations sensorielles permettant aux téléopérateurs de recevoir les données du chantier. Sur les chantiers visités, on note que les postes de commande et les outils sont difficiles à manipuler. L'entretien avec les téléopérateurs révèle que ces outils ne sont pas totalement intuitifs et donc, difficilement appropriables. Par conséquent, ils expriment un manque d'assurance et de dextérité. Les retours visuels sur les écrans (majoritairement utilisés) transmis par les caméras sont le plus souvent flous du fait des interférences ou d'un matériau susceptible de brouiller l'image : « plus les caméras sont proches de l'outil et plus les interférences sont présentes » (Tél2). Les téléopérateurs estiment que le choix des caméras et de leur emplacement doit être judicieux afin que l'environnement soit le plus fidèlement reflété : « ils ont déplacé les caméras, ils en ont rajouté, ils essaient à chaque fois de mieux voir, mais il y a toujours un angle qui ne va pas » (MPL1). Les retours sonores sont très peu utilisés du fait de l'environnement bruyant et sont souvent désactivés par les téléopérateurs, car « ça fait tellement de bruit » (MPL1). De même, les retours d'efforts sont peu utilisés et sont souvent désactivés par les téléopérateurs parce qu'ils sollicitent beaucoup d'efforts physiques et d'attention pour les manipuler et les interpréter (MDL1). Le retour d'efforts qui paraît difficile à gérer pour les opérateurs est pourtant essentiel au bon fonctionnement de l'outil; ce qui pose la question du rapport utilité de l'outil-risques pour les opérateurs.

En somme, l'utilisation de ces multiples retours sensoriels vient ajouter une complexité supplémentaire à la réalisation de l'activité téléopérée. Tous ces éléments font de la téléopération une activité très technique, demandant un effort de concentration et d'attention soutenu. Les opérations téléopérées sont longues à réaliser. En effet, pour détruire un petit élément, l'opérateur met en moyenne une heure, ce temps pouvant varier en fonction de la dextérité, des habiletés des téléopérateurs et de la fonctionnalité de la salle.

Les téléopérateurs ont environ trente minutes de pause par prise de poste et ne peuvent pas arrêter une opération lorsqu'elle est commencée. Ils se déplacent très peu dans la salle de téléopération, qui mesure environ dix mètres carrés. Les caractéristiques de l'environnement ne leur permettent pas, pour des raisons de prévention des risques, de se restaurer à leur poste de travail ou de s'aérer en dehors des créneaux de pause planifiés. En outre, l'activité de téléopération ne comprend pas uniquement des tâches de guidage d'outils, qui représentent « 30 à 40% des activités des téléopérateurs » (MTL2). En effet, les téléopérateurs sont amenés à intervenir en amont des activités de téléopération afin de préparer et d'assainir les locaux. Ils se rendent directement sur le chantier pour caractériser et identifier les déchets, réaliser la maintenance et le remplacement des outils terminaux. Ils doivent également réaliser des activités administratives en recensant l'ensemble des opérations menées, former puis superviser les primo-intervenants par compagnonnage. Toutes ces activités sont susceptibles de générer des risques pour les téléopérateurs.

Cette description de l'activité de téléopération par les différents acteurs met en exergue, et de manière constante, la complexité de l'activité de téléopération au niveau technique dans le contexte de démantèlement ainsi que l'importante charge cognitive à laquelle le téléopérateur est confronté dans la gestion de cette complexité. Celle-ci pousse le téléopérateur à contourner l'usage de certaines fonctionnalités du dispositif de téléopération, ce qui complexifie davantage la tâche, d'autant plus que le dispositif n'est pas malléable.

3.2 L'environnement de travail et les risques liés à l'activité téléopérée

Les éléments de discours issus des entretiens révèlent l'importante concentration et la répétitivité des gestes de commande susceptibles de favoriser la fatigue, la lassitude et l'épuisement des téléopérateurs. En effet, certains téléopérateurs déclarent souffrir de troubles musculosquelettiques, de fatigue visuelle et/ou mentale, ou encore de troubles physiques dus à la posture statique. Les téléopérateurs guident l'outil à l'aide d'informations visuelles retransmises sur un écran. Cette modalité de travail peut être source de stress, de fatigue et de sursollicitation visuelle et musculaire. Par exemple, un téléopérateur déclare avoir besoin de lunettes à cause du temps passé sur écran. Les téléopérateurs réalisent leurs activités de travail en position assise, pouvant être à l'origine de pathologies tant cardiologiques que musculosquelettiques (TMS). En salle de téléopération, l'ambiance de travail est caractérisée comme bruyante, provoquant des risques d'inattention d'erreurs et de difficulté de discrimination des bruits pertinents. Le travail en salle confinée présente des risques en raison de sa conception et son

emplacement, de l'insuffisante ventilation naturelle, des difficultés d'accès et de la présence de matières et substances dangereuses. Dans ce contexte, les téléopérateurs ont le sentiment d'être isolés et manquent de soutien et de cohésion sociale. Le travail sur écran en salle de téléopération les expose à des rayonnements optiques artificiels qui, de façon prolongée, pourraient causer des troubles et des pertes de faculté visuelle.

En outre, pendant les interventions sur le chantier pour gérer les déchets ou assurer la maintenance ou le remplacement d'un outil, les téléopérateurs s'exposent à des risques divers et variés : risques liés au port de lourdes charges pouvant entraîner des blessures et des TMS, risques liés aux chutes d'objets, risques électriques, risques radiologiques, risques de contamination, etc. Ces résultats montrent que les risques des opérations de démantèlement ne sont pas totalement éliminés pour les téléopérateurs, si la conception en amont de l'outil et du processus de téléopération ne les anticipe pas. Outre les risques physiques, les téléopérateurs doivent faire des arbitrages et des choix, se passer parfois de certaines fonctions de l'outil de téléopération, recourir à d'autres moyens intuitifs pour réaliser l'activité. Ces arbitrages soulignent l'importance de la malléabilité de l'outil qui s'avère inadapté dans sa conception actuelle.

3.3 Une activité fortement dépendante des compétences individuelles et collectives des téléopérateurs et de leur apprentissage

Des observations et des entretiens ressort un « profil type » de téléopérateur. C'est un professionnel qui dispose de connaissances de base en électricité, programmation robotique, électronique, mécanique (niveau DUT, BTS), âgé de moins de 50 ans, intéressé par les processus techniques de l'informatique. Il doit disposer de capacités de travail en équipe, à des heures décalées et accepter d'être confronté aux risques liés au milieu dans lequel il opère. Un tel profil est difficile à trouver, ce qui amène les entreprises à compléter la formation une fois le téléopérateur recruté. Cependant, les discours des téléopérateurs sont unanimes sur l'insuffisance de la formation complémentaire parce qu'ils se retrouvent encore en manque de connaissances et de compétences dans certaines situations. La formation jugée trop courte par les téléopérateurs serait trop éloignée de l'activité réelle de terrain, car elle serait simulée sur des maquettes. Pour pallier ces insuffisances, les téléopérateurs estiment compléter leur formation « sur le tas, dès le premier jour sur le chantier » (Tél1). Les mobilités des téléopérateurs entre chantiers créent un important taux de roulement, une perte de connaissances et de compétences ; ce qui constitue « une des grosses problématiques en téléopération » (MTL3). Les téléopérateurs développent tout de même des stratégies informelles pour pallier les insuffisances de la formation. Par exemple, un téléopérateur estime reconnaître des sons et des ombres sur le chantier grâce à son expérience et peut se passer des retours afférents que fournit l'interface de téléportation.

4. Discussion

Cette étude avait pour objectif de comprendre l'activité de téléopération tant dans sa dimension technique, organisationnelle, qu'humaine. Contrairement à la littérature qui présente la téléopération comme une activité conçue pour protéger l'opérateur des

risques du chantier (Lambert, 2018; Kleinpeter, 2015; Otmame, 2010), il s'avère que cette activité, dans sa pratique réelle, est susceptible de générer d'importants risques pour le salarié. Si le téléopérateur est à l'abri de certains risques physiques, il se trouve que son activité accroît la probabilité d'autres risques dont le stress, la surcharge cognitive, les troubles musculosquelettiques, le trouble de la vision, etc.

Il serait intéressant d'analyser plus précisément les risques liés à cette activité, d'explorer les voies et moyens de prévention avec les téléopérateurs eux-mêmes. Pour cela, il serait pertinent que les téléopérateurs participent aux étapes de conception et de mise en place des dispositifs de téléopération en tenant compte de l'activité réel de téléopération. En effet, le réel de l'activité de téléopération dans un chantier de démantèlement questionne par exemple l'utilité des retours auditifs dans un environnement bruyant. À l'usage, certaines fonctions de l'outil de téléopération s'avèrent inadaptées dans un chantier de démantèlement et méritent d'être améliorées dès la conception, au risque d'être contournées par le téléopérateur avec des conséquences potentielles sur sa santé et sa sécurité. Par conséquent, le dispositif de téléopération en démantèlement devrait être conçu comme un système plastique et suffisamment souple (Béguin et Cerf, 2004), ancré dans la réalité du démantèlement, malléable et personnalisable par le téléopérateur (Peaucelle, 2007) et qui puisse permettre à ce dernier de développer, par l'usage, les ressources de sa propre action de démantèlement (Bobillier-Chaumon, 2013). Cette plasticité peut aussi être un moyen de réguler la surcharge cognitive et de développer les ressources expérientielles, à l'exemple du téléopérateur qui dit avoir appris à reconnaître les sons et les ombres du chantier pour prendre des décisions, en se passant des retours sonores et visuels difficilement détectables, fournis par la console de téléopération. La malléabilité de l'outil pourrait aussi permettre d'optimiser la formation des téléopérateurs qui s'avère capitale *in situ*, donnant ainsi l'occasion au formateur expérimenté de combler les lacunes de la formation théorique inadaptée par ses propres ressources que la malléabilité de l'outil lui aura permis de développer.

En outre, on note une perte de compétences en téléopération, ce qui suggère de développer un collectif de travail (Caroly et Clot, 2004) susceptible de se donner un espace pour mettre en débat l'activité, en ressortir des stratégies individuelles pouvant être mutualisées pour consolider les règles du métier. À ce propos, un retour d'expérience sur les pratiques individuelles pourrait permettre de renforcer la formation théorique qui semble éloignée de la réalité de l'activité de téléopération. La prise en compte en amont de cette activité réelle et de ses contraintes est indispensable pour anticiper les potentielles pertes de compétences qui pourraient entraver le chantier de démantèlement. Le compagnonnage et la formation *in situ* constituent des espaces de mise en débat du réel de l'activité de téléopération en démantèlement, nécessaires à la construction du genre professionnel et à la consolidation du collectif de travail autour de cette activité isolée.

Cette recherche-intervention présente des limites inhérentes aux recherches-actions en général, mais aussi à l'approche méthodologique mobilisée. En effet, les chercheurs font partie des acteurs de l'intervention et leurs propres subjectivités sont mobilisées dans l'analyse du réel de l'activité de téléopération. Cette posture de chercheur-participant peut

avoir biaisé les analyses des situations. En outre, les observations avec les téléopérateurs et les entretiens avec le groupe de travail sont réalisés sans canevas d'entretien préalablement établi. Il est possible que les chercheurs n'aient pas pu noter certains éléments de discours pertinents sur le sujet. Enfin, les données issues des entretiens et des observations sont analysées toutes ensemble sur la base des thèmes définis par les chercheurs. Il est possible qu'en procédant à une analyse inductive des contenus, d'autres thèmes pertinents se dégagent des discours.

Malgré ces limites, la présente recherche-intervention a permis de produire une photographie du réel de l'activité de téléopération qui peut être modulable en fonction du contexte et de l'activité téléopérée. Sur le plan pratique, la recherche a permis de répondre, du moins en partie à ce stade d'avancement du projet, à la demande de l'entreprise. Notamment, les résultats ont été mobilisés en même temps qu'ils étaient produits, au sein du groupe de travail, pour alimenter les réflexions sur la conception des situations de référence dans le démantèlement à venir. Plus précisément, s'agissant de la téléopération, le groupe de travail s'est saisi des résultats de la présente étude pour intégrer les contraintes et les effets potentiels de la téléopération sur les téléopérateurs et sur l'organisation du travail, dans les *scénarii* à tester sur le démonstrateur industriel. La prise en compte de ce réel de l'activité de téléopération dans la conception des situations de références dans le chantier de démantèlement à venir pourrait par exemple réduire les troubles musculosquelettiques signalés par les téléopérateurs. La suite des tests sur ce démonstrateur industriel pourra potentiellement remettre en débat la plasticité et la malléabilité de l'outil de téléopération que la présente étude recommande, ce qui nécessite la poursuite de cette recherche tout au long du programme de démantèlement des installations nucléaires de cette entreprise.

5. Références

- Atain-Kouadio, J.-J., Aublet-Cuvelier, A., Barbet-Detraye, R., Brunet, S., Charpentier, P., Chouanière, D., Devel, S., Dussuet, A., Faiconnet, E., Fattal, C. et Gayet, C. (2014). Quelle place pour les robots d'assistance physique en 2030? *INRS, Hygiène et sécurité du travail*, 235, 64-68.
- Béguin, P. et Cerf, M. (2004). Formes et enjeux de l'analyse de l'activité pour la conception de systèmes de travail. *Activités*, 1(1), 54-71. <https://doi.org/10.4000/activites.1156>
- Bobillier-Chaumon, M. E. (2013). *Conditions d'usage et facteurs d'acceptation des technologies de l'activité: Questions et perspectives pour la psychologie du travail*. [Doctoral dissertation], École doctorale Sciences de l'homme, du politique et du territoire. Université de Grenoble.
- Caroly, S. et Clot, Y. (2004). Du travail collectif au collectif de travail: Développer des stratégies d'expérience. *Formation emploi*, 88(1), 43-55. <https://dx.doi.org/10.3406/forem.2004.1737>
- Caroly, S. (2007). Les mutations du travail face aux défis technologiques: Quelles incidences sur la santé? *PISTES*, 9(2), 1-7. <https://doi.org/10.4000/pistes.2993>
- Clot, Y. (2004). Action et connaissance en clinique de l'activité. *Activités*, 1(1), 23-33. <https://dx.doi.org/10.4000/activites.1145>

- Daniellou, F. (2004). L'ergonomie dans la conduite de projets de conception de systèmes de travail. Dans P. Falzon (dir.), *Ergonomie* (p. 359-373). Presses universitaires de France. <https://doi.org/10.3917/puf.falzo.2004.01.0359>
- Daniellou, F., Escouteloup, J. et Beaujouan, J. (2011). Phasage des travaux et organisations transitoires: Quels rôles pour l'ergonome? *Activités*, 8(1), 26-43. <https://doi.org/10.4000/activites.2503>
- EDF (2020). *Démantèlement nucléaire et déconstruction des centrales nucléaires* [document inédit] EDF.
- Efros, D., Lemaître, C.N. et Belliès, L. (2015). Analyser l'activité pour comprendre le travail. Dans Assises du CEPERC. France. p.1-9.
- Kleinpeter, É. (2015). Le Cobot, la coopération entre l'utilisateur et la machine. *Multitudes*, 58, 70-75. <https://doi.org/10.3917/mult.058.0070>
- Lambert, D. (2018). Robots armés et éthique: Maintenir l'humain au cœur du problème. *Revue d'éthique et de théologie morale*, 299, 31-46. <https://doi.org/10.3917/retn.300.0031>
- Larbaigt, J., Lemerrier, C. et Gaillard, I. (2020). Prendre en compte l'adoption technologique dès le stade de la conception : Le cas d'un projet en viticulture. *PISTES*, 22(1), 1-21. <https://doi.org/10.4000/pistes.6442>
- Moricot, C. (2019). Quand la reprise en main n'est plus possible. *Techniques & Culture*, 72, 164-179. <https://doi.org/10.4000/tc.12348>
- Otmane, S. (2010). Téléopération, télérobotique et internet : techniques et applications. *Université d'Evry Val d'Essonne CNRS-FR*, 2873, 4-56. https://scholar.google.fr/citationsview_op=view_citation&hl=fr&user=MwwQRGEAAA&cstart=100&pagesize=100&sortby=pubdate&citation_for_view=MwwQRGEAAA&f2lySw72cVMC
- Peaucelle, J.L. (2007). La malléabilité organisationnelle des TIC. *Revue française de gestion*, 33(172), 105-116. <https://doi.org/10.3166/rfg.172.105-116>
- Roy, G. (2016). L'industriel et le robot. *Inflexions*, 32, 11-17. <https://doi.org/10.3917/infle.032.0011>
- Sghaier, A. et Charpentier, P. (2012). La problématique de l'utilisation des robots industriels en matière de sécurité. *Annales des mines - Réalités industrielles*, 24-31. <https://doi.org/10.3917/rindu.121.0024>
- Simonet, P., Caroly, S. et Clot, Y. (2011). Méthodes d'observation de l'activité de travail et prévention durable des TMS. *Activités*, 8(1), 105-127. <https://doi.org/10.4000/activites.2481>
- Zubeldia, O. (2010). L'armée française et l'utilisation des drones dans les missions de reconnaissance, de 1960 au conflit du Kosovo. *Revue historique des armées*, 261, 62-71. <https://doi.org/10.3917/rha.261.0062>