

Interruptions et fatigue cognitive dans un environnement complexe et dynamique : rôle des régulations collectives dans la limitation des risques d'erreur et le maintien de l'activité

Wendy VERDI, Université de Lorraine, 2LPN, wendy.verdi@univ-lorraine.fr

Jérôme DINET, Université de Lorraine, 2LPN, jerome.dinet@univ-lorraine.fr

Anne PIGNAULT, Aix-Marseille Université, Centre PsyClé, anne.pignault@univ-amu.fr

Florence DEBAILLIEUL, Electricité De France CNPE de Cattenom, florence.debaillieul@edf.fr

Résumé

Les salles de commande des centrales nucléaires constituent des environnements critiques, caractérisés par une densité informationnelle élevée et des interruptions fréquentes. Cet article propose une analyse qualitative de situations observées en salle de commande, dans lesquelles des opérateurs manifestent des erreurs ponctuelles, des oublis ou des pertes temporaires de repères, notamment lors de phases de charge de travail élevée. A partir d'observation *in situ*, l'étude vise à caractériser les configurations d'activités dans lesquelles apparaissent ces épisodes, ainsi que les régulations collectives mobilisées pour en limiter les effets. Elle met en évidence la brièveté de ces épisodes et leur apparition à des moments comparables de l'activité collective. Les résultats montrent que ces événements donnent lieu à des régulations collectives variées, telles que la limitation des interruptions, la redistribution de la charge cognitive ou la correction entre collègues. Ces régulations contribuent à maintenir la continuité de l'activité et à limiter les risques d'erreur. L'article souligne ainsi l'importance de l'analyse fine de l'activité réelle pour comprendre les mécanismes de fiabilité collective en environnement critique.

Mots-clefs

Analyse de l'activité, Collaboration, Nucléaire, Salle de commande, Régulation, Interruptions

1. Contexte et problématique

Les salles de commande des centrales nucléaires constituent des environnements complexes et dynamiques dans lesquels l'activité repose sur la gestion simultanée de tâches techniques, de flux d'informations hétérogènes et de coordinations continues entre plusieurs acteurs. Dans ces contextes à forts enjeux (sécurité, sûreté...), le travail ne se réduit pas à l'application de procédures, mais s'inscrit dans une activité collective interdépendante, distribuée entre les membres de l'équipe et évoluant en fonction de la situation.

Les interruptions (un appel, une alarme...) font partie du travail réel en salle de commande. De nombreux travaux ont montré qu'elles peuvent perturber la continuité de l'activité, augmenter la charge cognitive et fragiliser les reprises de tâches, en particulier lorsque l'opérateur doit reconstruire l'état de la situation après une rupture (Reason, 1990 ; Dismukes & Nowinski, 2007 ; Monk et al., 2008). Ces effets sont particulièrement critiques dans les environnements à hauts risques, où une information manquée, mal reformulée ou erronée peut dégrader la fiabilité du système global.

Dans les salles de commande de centrale nucléaire, ces effets s'inscrivent dans un contexte marqué par des contraintes cognitives et organisationnelles spécifiques. Les travaux portant sur l'activité en salle de commande soulignent que la performance et la sûreté reposent sur les capacités des opérateurs à gérer les situations caractérisées par une forte complexité, une densité informationnelle élevée et des contraintes temporelles importantes (Roth et al., 1994). Dans ces environnements, la prise de décision ne se réduit pas à un choix ponctuel entre alternatives, mais s'inscrit plutôt dans un processus continu de gestion dynamique de la situation, impliquant l'évaluation de son état, l'anticipation de ses évolutions et l'élaborations d'actions adaptées (Rasmussen, cité dans Rogalski, 1999).

Cependant, une approche centrée uniquement sur l'individu demeure insuffisante pour rendre compte du fonctionnement réel. Les travaux en ergonomie, en psychologie du travail et dans le domaine des organisations à haute fiabilité ont montré que la sûreté repose en grande partie sur des dynamiques collectives, des coordinations fines et des régulations distribuées entre les acteurs (Hutchins, 1995 ; Leplat, 1997 ; Amalberti, 1996 ; Bourrier, 1999) ; une focalisation exclusive sur les comportements individuels peut conduire à négliger d'autres dimensions de la sûreté, notamment organisationnelles et collectives (Merle & Largier, 2025).

Dans cette perspective, les interruptions ne constituent pas uniquement des perturbations externes venant dégrader l'activité, elles deviennent des événements à gérer, à trier et parfois à contenir collectivement. Les collectifs de travail développent des modes de fonctionnement permettant d'absorber les perturbations, de compenser des pertes ponctuelles d'information et de maintenir la continuité de l'activité malgré un environnement fortement sollicitant (Daniellou, 1996 ; Hollnagel, 2018). Cependant, si ces travaux soulignent l'importance des régulations collectives, les mécanismes concrets par lesquels les équipes gèrent les situations ordinaires de confusion, de perte d'information ou de fragilisation de l'activité restent peu documentées à partir d'analyses fines de l'activité réelle en salle de commande.

Cet article s'inscrit dans ce contexte, en proposant une analyse qualitative de situations de symptômes de fatigue cognitive observées en salle de commande d'une centrale nucléaire, en lien avec des interruptions et des perturbations matérielles ou informationnelles. Dans cet article, la fatigue cognitive se rapporte à un état transitoire de diminution des ressources attentionnelles, résultant d'une exposition prolongée ou intense à des exigences cognitives élevées (gestion simultanée de tâches, enchaînement d'interruption, activité sensible) nécessitant un haut niveau de concentration. Elle se distingue de la charge mentale, qui renvoie plus largement au coût subjectif et objectif de la tâche, et également de la vigilance, qui désigne la capacité à maintenir l'attention sur une longue période.

L'objectif est de documenter, à partir de l'activité réelle, les formes de régulation collective mobilisées par les équipes pour limiter les risques d'erreur et maintenir la continuité de l'information.

Dans cet article, les séquences analysées correspondent à des situations dans lesquelles un opérateur manifeste une erreur ponctuelle, un oubli momentané ou une perte de repères temporaire dans le déroulement de son activité (information non-retenue, terme inapproprié, action oubliée). Ces manifestations sont considérées comme des symptômes transitoires liés à une charge de travail élevée, à des interruptions ou à une sollicitation cognitive trop importante, et non comme des états durables de confusion ou de dégradation des compétences. La fatigue cognitive est mobilisée comme notion de cadrage permettant de penser les effets transitoires d'une forte sollicitation cognitive sur l'activité. A l'inverse, les catégories telles que l'erreur ponctuelle, l'oubli momentané ou la perte de repères temporaire relèvent d'un niveau opératoire d'analyse, construit à partir des observations.

2. Question de recherche

Quelles situations de fatigue cognitive émergent de l'activité ordinaire en salle de commande nucléaire en lien avec les interruptions, et comment les régulations collectives observées contribuent-elles à limiter les risques d'erreur et à maintenir la fluidité de l'activité ?

3. Méthodologie

3.1. Approche générale

L'étude réalisée s'inscrit dans une démarche qualitative issue de l'ergonomie, de la psychologie du travail et de l'analyse de l'activité, visant à comprendre le travail tel qu'il est effectivement réalisé en situation réelle, au-delà des prescriptions formelles (Leplat, 1997 ; Daniellou, 1996). Cette approche privilégie l'observation *in situ* de l'activité et l'analyse fine des situations concrètes.

3.2. Contexte d'observation

Les observations ont été réalisées dans 4 salles de commande d'une centrale nucléaire, au sein d'équipes d'opérateurs chargées de la conduite et de la surveillance de l'installation. L'activité observée se caractérise par une forte interdépendance entre les membres de l'équipe, une circulation continue de l'information et une exposition fréquente à des interruptions de différentes sources (sollicitations, appels téléphoniques, alarmes).

3.3. Recueil de données

Les données reposent sur des observations directes de l'activité en situation de travail réel. Les observations, chacune couvrant 5 heures d'activité continue, ont été réalisées auprès de 8 équipes, composées de 3 opérateurs. Un outil de codage spécifiquement adapté au terrain a été développé afin d'avoir une prise de note rapide et des événements horodatés pour chaque événement (interruptions, échanges, actions, régulations), ainsi que des notes qualitatives permettant de décrire le contexte et le déroulement des situations.

Les contraintes du contexte industriel particulier observé n'ont pas permis le recours à des enregistrements audios ou vidéos. Les données reposent donc sur des notes d'observation prises en temps réel, puis mises au propre et structurées *a posteriori*. Cette limitation invite à envisager des entretiens de confrontation afin de renforcer la triangulation des éléments recueillis et en consolider l'interprétation.

3.4. Analyse

L'analyse a permis d'identifier des épisodes significatifs caractérisés par la survenue d'interruptions, l'apparition de situations de confusion ou de fragilisation de l'activité, et les régulations collectives associées. Le terme « confusion » est utilisé pour désigner des situations dans lesquelles un opérateur manifeste explicitement une perte momentanée de repères dans le déroulement de son activité. Ces situations sont identifiées à partir de signes observables, tels que la perte d'un support matériel (stylo, feuille), l'utilisation d'un terme inapproprié, l'oubli d'une information pourtant récemment ou souvent mobilisée (numéro de matériel, numéro de téléphone), ou l'oubli d'une action à réaliser (rappel). La confusion est ainsi définie comme un phénomène opérateur-centré, observable dans l'activité, et non comme une interprétation de l'état cognitif interne de l'opérateur. L'objectif est de repérer des indices de fragilisation transitoire de l'activité et leurs conditions d'apparition.

Les catégories présentées dans la colonne « Type d'épisode observé » du tableau de résultat sont issues d'un codage analytique réalisé *a posteriori*. Les données initiales reposaient sur des notes d'observation décrivant l'activité telle qu'elle se déroule en situation, sans catégorisation préalable.

L'identification des épisodes repose sur une démarche principalement inductive, fondée sur l'examen répété des notes d'observation armée, avec l'appui d'une première phase d'observation exploratoire de l'activité. Une première étape consistait à repérer des manifestations récurrentes dans l'activité. Dans un second temps, ces épisodes ont été regroupés selon leurs caractéristiques communes (oubli ou erreur ponctuels, perte de repère temporaire, expression d'indisponibilité, manifestations socioémotionnelles), puis, les catégories ont été ajustées au fil des relectures du corpus. La stabilisation des catégories repose sur leur capacité à rendre compte de plusieurs situations comparables, sans viser l'exhaustivité. Une vérification interne de la cohérence des catégories a été menée en confrontant chaque catégorie aux exemples issus des observations et à leur pouvoir discriminant dans l'analyse.

Les phénomènes décrits dans cet article ne correspondent pas à des états durables de confusion ou de dégradation de la performance des opérateurs. Ils renvoient à des épisodes ponctuels, de très courte durée, observés à des moments chargés de l'activité.

4. Résultats

Les résultats présentés reposent sur une analyse qualitative des observations réalisées en salle de commande de centrale nucléaire. Ils mettent en évidence des régularités dans l'apparition de situations de perte de repères temporaire, ainsi que dans les formes de régulations collectives mobilisées par les équipes pour maintenir la continuité de l'activité malgré les interruptions.

4.1. Régularités dans l'apparition des situations

Les premières analyses tendent à montrer que ces épisodes (oubli, erreur, perte de repère...) apparaissent à des moments comparables dans l'activité des différentes équipes observées, en particulier lors de phases caractérisées par une forte sollicitation, un enchaînement d'interruptions ou une accumulation de demandes. Les tensions observées dans ces moments peuvent être interprétées comme des indicateurs de la pression exercée sur l'activité, plutôt que comme des réactions émotionnelles individuelles. Ils ne traduisent pas une perte de maîtrise de la situation, mais des fragilisations temporaires de l'attention ou de la mémoire de travail, rapidement compensées par des régulations collectives. La convergence de ces

observations entre les équipes suggère que ces épisodes sont liés à des configurations d'activités partagées et récurrentes, propres au fonctionnement ordinaire d'une salle de commande.

4.2. Régulations collectives face aux interruptions

Les observations mettent également en évidence des formes récurrentes de régulation collective mobilisées en réponse à ces situations d'erreurs ponctuelles ou de surcharge. Ces régulations prennent notamment la forme de stratégies visant à limiter les interruptions lorsque l'activité devient trop prenante.

Ainsi, il est fréquent d'observer des refus d'appels, des reports de sollicitations ou des annonces explicites signalant qu'un opérateur est momentanément occupé et ne peut pas être interrompu. Ces pratiques contribuent à protéger l'activité en cours et à réduire le risque de nouvelles perturbations dans des phases déjà critiques.

Ces régulations ne sont pas formalisées comme telles, mais s'inscrivent dans le fonctionnement ordinaire de l'équipe et participent au maintien de la continuité de l'activité collective.

4.3. Récupération de la charge cognitive par un collègue

Les premières analyses qualitatives des données mettent également en évidence des mécanismes de récupération de la charge cognitive au sein des équipes. Dans plusieurs situations, un collègue intervient pour prendre en charge temporairement une partie de l'activité lorsqu'un opérateur apparaît fortement sollicité ou montre des signes de surcharge.

Cette prise en charge peut se traduire par la gestion d'un appel, d'une alarme, la transmission d'une information précédemment donnée, la réalisation d'une action secondaire ou le filtrage de nouvelles sollicitations. Ces interventions permettent de réduire la charge pesant sur l'opérateur concerné et de limiter le risque de confusion ou d'erreur lié à une surcharge cognitive.

Ces formes de compensation collective s'opèrent souvent sans demande explicite et reposent sur une attention portée à l'état de l'activité des autres membres de l'équipe.

4.4. Illustrations : rattrapage d'erreur et régulation

Au cours d'une séquence d'activité marquée par plusieurs sollicitations successives, un premier opérateur transmet une information erronée (repère d'identification d'un matériel) lors d'un échange verbal, sans que cette erreur ne soit détectée et identifiée par le premier opérateur. Elle est cependant rapidement identifiée par le deuxième opérateur, qui intervient pour corriger l'information et la reformuler. Le premier opérateur se corrige dans son discours.

Cette intervention a alors permis de rétablir une compréhension partagée de la situation et d'éviter la poursuite de l'activité sur la base d'une information erronée.

Cet épisode illustre à la fois l'apparition d'une erreur transitoire, vraisemblablement liée à une surcharge attentionnelle, et sa récupération collective. Il met en évidence le rôle de compétences non-techniques, telles que la conscience de la situation, la communication, et la coordination au sein de l'équipe, qui contribuent à limiter les conséquences potentielles de ces erreurs dans le travail quotidien.

Un autre type de situation observée concerne des épisodes où un opérateur, déjà fortement sollicité par plusieurs tâches simultanées, ou en activité sensible, indique explicitement qu'il ne peut pas prendre en charge une nouvelle sollicitation. Dans ces cas, l'opérateur précise qu'il est occupé et demande que l'appel ou la demande soit reporté à un moment ultérieur.

Cette régulation permet de limiter l'ajout d'une nouvelle tâche à un moment jugé inapproprié et contribue à protéger l'activité en cours. On observe également cette régulation posée par le deuxième opérateur ou l'opérateur pilote, qui permet de réguler la charge cognitive de leur collègue. Ces situations témoignent de la capacité des opérateurs à identifier des moments critiques de l'activité et à poser des limites aux interruptions, en s'appuyant sur la communication et la coordination au sein de l'équipe.

Afin de synthétiser les épisodes observés, les formes de régulation collective et les compétences non-techniques mobilisées (selon la taxonomie proposée par Flin & O'Connor, 2017), le tableau suivant propose une structuration des résultats issus des premières analyses qualitatives.

Type d'épisode observé	Manifestations observables	Régulations collectives	CNT	Exemple
Oubli ponctuel	Oubli d'un numéro, d'un appel à effectuer, d'une information récente	Rappel par un collègue, Possible régulation individuelle	CSS COM	→ L'opérateur Pilote demande aux deux Opérateurs l'avancée de l'activité. En réaction, les deux opérateurs précisent que l'activité est déjà terminée depuis un moment et expriment leur surprise quant à la question de l'Opérateur Pilote. Celui-ci demande un rappel du sujet de l'activité.
Erreur ponctuelle	Information incorrecte ou incomplète transmise	Auto-correction, Correction, Clarification	CSS COM TE	→ L'Opérateur primaire annonce à voix haute un nombre erroné (correspondant à un organe de la machine) pour intervention. Il est corrigé par son collègue et l'Opérateur confirme son erreur et la bonne correction faite par son collègue. → Un Opérateur se rend compte, après relecture, qu'il s'est trompé dans l'heure à écrire dans son dossier pour indiquer le commencement de l'activité
Perte de repère temporaire	Hésitation, difficulté à poursuivre une tâche, égarement de matériel, confusion	Appui d'un collègue, Remise en contexte	CSS TE	→ "- Des fois, tu reprends tes calculs le lendemain, au calme, et tu te dis 'Mais pourquoi j'ai galéré alors que les calculs sont super simples ?!' "
Expression d'indisponibilité	On distingue l'expression d'indisponibilité en phase d'activité normale, et en phase tendue	Refus ou Report d'interruption, Redistribution des tâches, Régulation par l'Opérateur Pilote	PDD COM TE	→ "Alors attends, parce que je suis sur trois choses à la fois..." (<i>Téléphone</i>) → L'Opérateur Pilote demande à un Métier de quitter la salle de commande, passe la salle de commande en rouge (<i>interdiction de déranger la sdc</i>), puis annonce "La salle de commande est sanctuarisée les gars"
Manifestations socio émotionnelles	Expression d'affects négatifs, contrariété, irritation, mécontentement, sarcasme, soupirs, gestuelle, humour	Redistribution des tâches, Régulation par Opérateur ou Opérateur Pilote, Humour	COM PDD TE L	→ "- J'aime pas travailler dessus (organe concerné par l'activité), parce que y a un risque quand même - T'aime pas travailler tout court (rire) - Si, j'aime bien travailler en sécurité" → Plusieurs signes de tension, soupirs et contrariété avant de décrocher des appels ou acquitter des alarmes

CNT = Compétences Non-Techniques ; CSS = ConScience de la Situation ; COM = COMmunication ; TE = Travail en Equipe ; PDD = Prise De Décision ; L = Leadership

Les catégories présentées ne sont pas strictement exclusives. Certains épisodes peuvent présenter des caractéristiques relevant de plusieurs types, en fonction de la dynamique de l'activité et des interactions en cours. Ce tableau ne vise pas à établir des relations causales, ni une quantification exhaustive, mais à illustrer les régularités qualitatives identifiées.

Ces résultats constituent une première structuration des épisodes observés et des régulations associées. Ils reposent sur une analyse qualitative partielle du corpus et seront approfondies dans le cadre d'un traitement quantitatif des données, notamment en ce qui concerne la temporalité et la fréquence d'apparition de ces épisodes.

Des entretiens de confrontation (*focus-group*) sont également envisagés afin de discuter ces résultats avec les opérateurs et de consolider les interprétations proposées.

5. Conclusion

Pris dans leur ensemble, ces résultats montrent que les situations de perte de repères temporaire observées en salle de commande nucléaire s'inscrivent dans des configurations d'activité partagées et récurrentes. L'analyse met en évidence que ces situations donnent lieu à des régulations collectives variées (limites posées pour les interruptions, compensation, soutien ponctuel...), qui contribuent à maintenir la continuité de l'activité et à limiter les risques d'erreur dans le travail. Ces résultats soulignent l'importance d'une analyse fine de l'activité réelle pour comprendre les mécanismes mis en jeu par le collectif, en mettant en lumière le rôle des compétences non-techniques et des régulations dans la prévention et la récupération des situations à risque.

Plusieurs limites doivent être soulignées. Les données reposent exclusivement sur des notes d'observation recueillis *in situ*, pouvant laisser place à des oublis compte-tenu de la densité d'informations. Par ailleurs, l'analyse présentée s'appuie sur un traitement qualitatif partiel du corpus, ne permettant pas à ce stade de caractériser précisément la temporalité, ni la fréquence d'apparition des épisodes.

Ces résultats constituent une première étape dans la structuration des épisodes observés et des régulations associées. Ils ouvrent des perspectives pour approfondir l'analyse du corpus, notamment en ce qui concerne la distribution temporelle de ces épisodes, leur fréquence et leur articulation avec les différentes phases de l'activité. La mise en place d'entretiens de confrontation permettra également de discuter ces observations et de les consolider, en apportant un éclairage complémentaire sur les mécanismes de régulation mobilisés. Plus largement, ces travaux invitent à ouvrir des perspectives pour interroger les conditions organisationnelles qui favorisent, ou fragilisent, l'émergence de ces régulations au quotidien.

Références

- Amalberti, R. (1996). *La conduite de systèmes à risques*. Paris : PUF.
- Bourrier, M. (1999). *Le nucléaire à l'épreuve de l'organisation*. Paris : PUF.
- Daniellou, F. (1996). *L'ergonomie en quête de ses principes: débats épistémologiques*. Ed. Octares.
- Dismukes, R. K., & Nowinski, J. (2007). Prospective memory, concurrent task management, and pilot error. *Attention: From theory to practice*, 4, 225.
- Flin, R., & O'Connor, P. (2017). *Safety at the sharp end: a guide to non-technical skills*. CRC Press.
- Hollnagel, E. (2018). *Safety-I and safety-II: the past and future of safety management*. CRC press.
- Hutchins, E. (1995). *Cognition in the Wild*. MIT press.
- Leplat, J. (1997). *Regards sur l'activité en situation de travail: contribution à la psychologie ergonomique*. Presses universitaires de France.
- Merle, I., & Largier, A. (2025). Shifting visions of human performance improvement tools– Risks and potential outcomes. *Safety Science*, 181, 106671.
- Monk, C. A., Trafton, J. G., & Boehm-Davis, D. A. (2008). The effect of interruption duration and demand on resuming suspended goals. *Journal of experimental psychology: Applied*, 14(4), 299.
- Reason, J. (1990). *Human error*. Cambridge university press.
- Rogalski, J. (1999). Decision making and management of dynamic risk. *Cognition, Technology & Work*, 1(4), 247-256.
- Roth, E. M., Mumaw, R. J., & Lewis, P. M. (1994). *An empirical investigation of operator performance in cognitively demanding simulated emergencies* (No. NUREG/CR-6208). Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC (United States). Div. of Systems Research; Westinghouse Electric Corp., Pittsburgh, PA (United States). Science and Technology Center.