

L'exploration visuelle de situations à risque dans le domaine électrique : Impact de l'expertise et de l'expérience professionnelle

Alexis PORTEVIN, Université de Lorraine 2LPN (UR 7489), réséda S.A.

Jérôme DINET, réséda S.A.

Résumé

Dans les métiers des réseaux électriques, l'analyse préalable de la situation constitue une étape formellement reconnue de l'activité professionnelle, mais l'expertise perceptive qui la sous-tend reste difficile à caractériser par les seuls indicateurs globaux d'expérience. Cet article présente le protocole et le pipeline d'analyse d'une étude impliquant 33 professionnels soumis à une tâche d'observation libre de scènes de travail, dont les mouvements oculaires ont été enregistrés. L'analyse structurelle des scanpaths est réalisée via la méthode MultiMatch, qui permet une comparaison multidimensionnelle des parcours visuels. Une illustration sur deux participants aux habilitations contrastées suggère que la méthode est sensible à des différences d'organisation du regard que les métriques classiques ne distinguent pas. L'analyse systématique de l'ensemble des données fera l'objet d'une publication ultérieure.

Mots-clefs

Analyse de l'activité, Attention visuelle, Oculométrie, Perception du risque, Visualisation de l'activité

1- Introduction

Dans les métiers de la distribution d'énergie électrique, et en particulier ceux relevant des activités de construction, de maintenance et d'exploitation des réseaux aéro-souterrains, l'expérience professionnelle est traditionnellement considérée comme un facteur central de sécurité et de fiabilité des interventions (Ministère du Travail, 2021 ; RNCP35828). Plus globalement, elle constitue un indicateur largement utilisé pour appréhender l'expertise, en raison de son caractère pratique et facilement mesurable (Quiñones, Ford, & Teachout, 1995). Cependant de nombreux travaux ont montré que les années d'expérience corrélaient faiblement avec des mesures objectives de performance, en particulier dans des tâches complexes et dynamiques (Ericsson, 2004 ; Persky & Robinson, 2017).

En ergonomie et en psychologie du travail, l'expérience ne se réduit pas non plus à un cumul temporel, elle constitue un processus actif de construction de compétences, indissociable des situations de travail rencontrées (Delgoulet & Santos, 2022). Les régulations opératoires des travailleurs expérimentés traduisent ainsi des compromis adaptatifs entre performance, préservation de soi et contraintes organisationnelles (Weill-Fassina & Pastré, 2004). L'expertise apparaît alors non comme un état fixe, mais comme une réorganisation continue de l'activité, dont les dimensions perceptives, cognitives et stratégiques se transforment conjointement (Harteis & Billett, 2013). Cette perspective invite à interroger les transformations du fonctionnement cognitif et perceptif associées à l'expérience (Mieg, 2009), plutôt que la seule durée de pratique. Si les modèles classiques décrivent un plateau fonctionnel marqué par la routinisation (Ericsson, 2004), les travaux en ergonomie montrent que l'activité continue de se réorganiser qualitativement, même lorsque la performance mesurable ne progresse plus (Delgoulet, 2001 ; Gaudart, 2000).

L'oculométrie offre un accès privilégié à ces mécanismes, à travers l'analyse des stratégies de prise d'information visuelle lors de l'observation de scènes professionnelles (Gegenfurtner et al., 2011 ; Keskin et al., 2024). Si des indicateurs classiques tels que la durée ou le nombre de fixations, ou la longueur des saccades durant les parcours visuels (dont la trace instrumentée est dénommée ci-après « scanpath ») fournissent des informations pertinentes sur l'allocation de l'attention, ils restent limités

pour rendre compte de l'organisation globale des stratégies perceptives. C'est dans cette perspective que l'analyse structurelle des scanpaths apparaît comme une voie pertinente pour étudier l'organisation perceptive du regard au-delà des seuls indicateurs agrégés. La méthode MultiMatch (Dewhurst et al., 2012) permet en particulier de comparer les parcours visuels selon cinq dimensions complémentaires et qui tient compte de leur organisation globale. L'objectif de cet article est d'explorer les différences d'organisation du regard lors de l'observation de scènes professionnelles chez des participants présentant différents niveaux d'expérience.

2- Problématique et hypothèses opérationnelles

Dans les activités de montage et de maintenance des réseaux électriques, l'exécution du travail repose sur une articulation complexe entre prescriptions formelles, habilitations réglementaires et ajustements situés, réalisés à partir d'indices perceptifs souvent tacites. Ces stratégies peuvent se manifester par des formes de convergence ou, au contraire, de dispersion dans l'acquisition d'indices perceptifs entre individus confrontés à une même scène (Wiggins, 2021).

Ainsi, à ancienneté et niveau d'habilitation comparables, des opérateurs peuvent différer dans leur manière d'identifier les éléments pertinents de la situation, d'anticiper les évolutions possibles et de structurer leur prise d'information visuelle. L'analyse structurelle des scanpaths permet précisément d'examiner cette question, en s'intéressant non seulement à où porte le regard, mais aussi à comment l'information visuelle est explorée et organisée dans le temps. En comparant les scanpaths selon plusieurs dimensions complémentaires (position, direction, ordre, longueur, durée), il devient possible d'évaluer si l'expérience professionnelle s'accompagne d'une homogénéisation des stratégies perceptives, ou si, au contraire, elle laisse place à une diversité de modes d'exploration compatibles avec différents équilibres fonctionnels (Holmqvist et al., 2011 ; Dewhurst et al., 2012). Sur cette base, deux hypothèses opérationnelles sont formulées :

- **H1.** L'expérience professionnelle n'homogénéise pas les stratégies perceptives.
Autrement dit, des opérateurs présentant des niveaux d'expérience comparables peuvent mobiliser des organisations perceptives distinctes lors de l'analyse d'une même scène professionnelle. Cette hypothèse s'oppose à une conception linéaire de l'expertise où l'accumulation d'expérience conduirait nécessairement à des stratégies perceptives convergentes.
- **H2.** Des stratégies perceptives structurées et convergentes manifestent une organisation perceptive compatible avec une expertise fonctionnelle de la situation donnée.
Cette hypothèse postule qu'indépendamment du nombre d'années d'expérience, certaines structurations des scanpaths caractérisées par une convergence sur certaines dimensions de similarité traduisent une organisation perceptive adaptée aux exigences fonctionnelles de la scène observée.

Aussi, ces hypothèses ne visent pas à établir une relation directe entre stratégies perceptives et performance opérationnelle, mais à explorer les formes de structuration perceptive susceptibles de rendre compte de niveaux contrastés d'expertise fonctionnelle. Elles s'inscrivent dans une approche méthodologique centrée sur l'identification de marqueurs perceptivo-cognitifs, plutôt que sur l'évaluation normative des individus.

3- Design expérimental

L'expérimentation décrite ci-après a pour objectif d'examiner la structuration perceptivo-cognitive mobilisée par des opérateurs professionnels. Dans les métiers des réseaux électriques aéro-souterrains, l'analyse préalable de la situation constitue une étape formellement reconnue de l'activité professionnelle. Le référentiel de certification du titre professionnel de monteur précise en effet que les interventions se réalisent « après une analyse des risques réalisée lors d'un temps d'observation préalable ou un temps d'arrêt » (RNCP35828). C'est précisément cette phase perceptive, centrale dans l'activité réelle mais difficilement capturable in situ, que le protocole proposé vise à modéliser dans des conditions contrôlées et répliquables, en préservant le caractère libre et spontané de l'exploration visuelle.

Dans cette perspective, l'expérimentation a été conçue de manière à préserver une situation d'observation aussi naturelle que possible, en limitant les contraintes imposées aux participants, tout en permettant le recueil de données oculométriques exploitables. Les données collectées constituent ainsi la base du pipeline d'analyse des scanpaths présenté dans la section suivante.

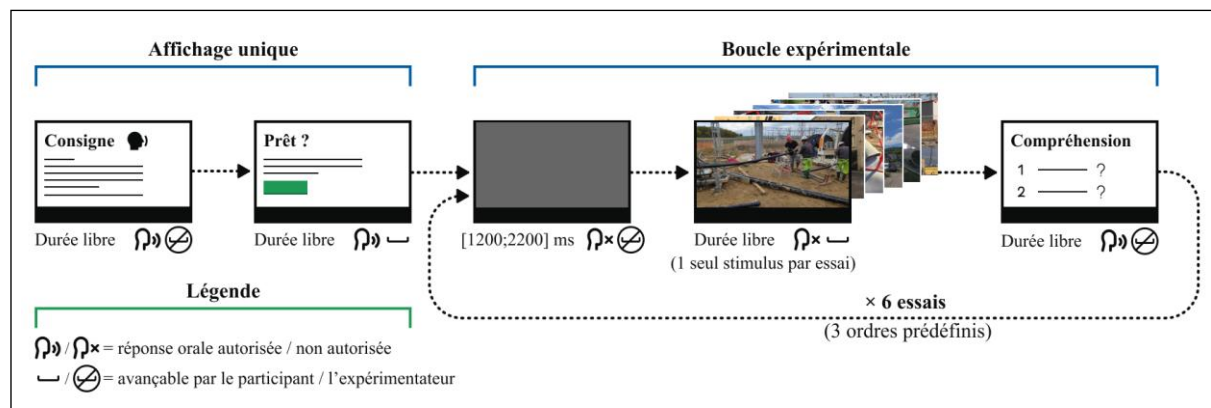


Fig. 1 – Schéma de la procédure expérimentale. Après une phase initiale (consigne et validation de la préparation du participant), chaque essai comporte un délai aléatoire (1200–2200 ms) suivi de l'observation libre d'une scène, puis d'une restitution et d'une question de compréhension. Le cycle est répété six fois. L'ordre de présentation des images était contrebalancé selon trois séquences prédéfinies.

Design expérimental et procédure

L'expérimentation repose sur une tâche d'observation libre de scènes professionnelles statiques, présentées sur écran. Chaque participant observe successivement six scènes distinctes, sélectionnées pour leur représentativité métier et leur diversité contextuelle. Lors de l'affichage de chaque scène, les mouvements oculaires sont enregistrés de manière continue. À l'issue de chaque observation, les participants évaluent leur familiarité perçue avec la situation présentée à l'aide d'une échelle en sept points.

L'analyse principale portera exclusivement sur les données oculométriques recueillies pendant la phase d'observation. Les stimuli sont constitués d'images fixes représentant des scènes professionnelles statiques, sélectionnées de manière à couvrir différents degrés de proximité avec l'activité des participants. Les six scènes sélectionnées ont été choisies de manière à couvrir trois niveaux de proximité fonctionnelle avec l'activité des participants. Les deux premières correspondent au cœur de métier des opérateurs : elles représentent des situations d'intervention sur des réseaux électriques basse tension (BT) nécessitant une habilitation spécifique, dans lesquelles les indices de risque sont nombreux et leur identification relève d'une compétence professionnelle directement mobilisée au quotidien. Les deux scènes suivantes entretiennent un lien indirect avec le métier, elles illustrent des situations relevant du secteur des réseaux électriques, mais hors du périmètre d'habilitation habituel des participants, impliquant une familiarité partielle avec les éléments représentés. Les deux dernières scènes sont issues de contextes professionnels extérieurs au domaine électrique, présentant des environnements de travail reconnaissables mais dépourvus d'indices spécifiques au métier des participants.

Participants

L'échantillon est composé de 33 professionnels du secteur des réseaux électriques, comprenant à la fois des monteurs et des personnels d'encadrement impliqués dans la supervision ou l'analyse des situations d'intervention. L'âge moyen est de 34,4 ans, avec un intervalle allant de 18 à 57 ans. L'ancienneté professionnelle moyenne s'élève à 10,9 ans et présente une forte variabilité interindividuelle, traduisant des trajectoires professionnelles hétérogènes malgré une expérience parfois comparable.

Matériel

Les mouvements oculaires ont été enregistrés à l'aide d'un eye-tracker Tobii Pro Spark (60 Hz), monté sur un écran d'affichage de résolution 1920 × 1080 pixels. Les stimuli étaient présentés en plein écran, sans redimensionnement, dans une configuration fixe et stable. Les conditions lumineuses de la pièce étaient contrôlées afin d'éviter toute lumière directe ou reflets susceptibles d'affecter la qualité du signal.

4- Analyse structurelle des scanpath

Un pré-traitement a été appliqué afin de garantir la comparabilité des scanpaths entre participants et entre scènes, en excluant les segments correspondant à des pertes de signal ou à des clignements. Chaque essai est ensuite représenté comme une séquence vectorielle ordonnée, chaque vecteur reliant deux fixations consécutives et correspondant à une saccade, représentation qui conserve la dynamique séquentielle de l'exploration visuelle, contrairement aux indicateurs agrégés classiques (Dewhurst et al., 2012).

La comparaison inter-scanpaths est réalisée à l'aide de la méthode MultiMatch, qui évalue la similarité selon cinq dimensions complémentaires : position spatiale des fixations, direction et longueur des saccades, ordre séquentiel du parcours, et durée des fixations. Chaque dimension produit un score normalisé entre 0 et 1, les valeurs élevées indiquant une forte similarité structurelle. L'analyse repose sur une implémentation Python du package multimatch-gaze (Wagner et al., 2019).

Pour chaque scène, les scanpaths sont comparés de manière pair-à-pair, aboutissant à des matrices de similarité qui permettent d'examiner le degré de convergence ou de dispersion des stratégies perceptives entre individus, et de servir de base à l'identification de structures émergentes. C'est cette représentation matricielle qui offre un point d'articulation entre l'oculométrie et l'étude de l'expertise, en rendant accessible l'analyse de stratégies perceptives à un niveau structurel plutôt qu'indicatif.

5- Illustration méthodologique

Afin d'illustrer concrètement les potentialités de l'approche proposée, nous présentons ici la comparaison des scanpaths de deux participants sur la scène de catégorie 1 représentant une intervention BT aérienne.



Fig. 2 – Comparaison des scanpaths de deux participants (p021 en vert, p029 en bleu/violet) lors de l'observation d'une scène BT aérienne (catégorie 1). La taille des cercles est proportionnelle à la durée des fixations.

Ces deux participants présentent un âge et une ancienneté professionnelle comparables, mais se distinguent par leur niveau d'habilitation électrique. Le premier est habilité H2V/B2V, le second H1V/B1V, soit un écart dans le périmètre d'intervention autorisé sur ce type de situation. La figure 2 présente leurs scanpaths respectifs superposés à la scène. La comparaison visuelle révèle des organisations perceptives contrastées, l'un des participants présente une exploration concentrée et structurée autour de la zone de travail active, nacelle, sommet du poteau, connexions, avec des fixations de longue durée sur ces éléments fonctionnellement critiques. L'autre présente une exploration notablement plus dispersée, couvrant l'ensemble de la scène sans organisation spatiale apparente et avec des fixations de durée plus courte. Cette divergence est confirmée par le calcul MultiMatch, qui révèle

un score de similarité moyen de 0,71 entre ces deux participants sur cette scène, l'un des écarts les plus marqués observés dans l'ensemble du jeu de données. Ce score est particulièrement tiré vers le bas par la dimension *duration* (0,26), indiquant une différence substantielle dans la durée des fixations, et dans une moindre mesure par la dimension *direction* (0,61), reflétant des orientations de saccades peu convergentes. Ces résultats illustrent comment la méthode MultiMatch permet de quantifier des différences de stratégies perceptives qui restent difficilement saisissables à travers les métriques classiques, et ouvrent la question du lien entre niveau d'habilitation et organisation du regard face à une situation de cœur de métier.

6- Discussion et perspectives

Le présent travail propose une approche méthodologique centrée sur l'analyse structurale des stratégies perceptives, en mobilisant l'oculométrie non comme un outil d'évaluation de la performance, mais comme un accès indirect à l'organisation perceptivo-cognitive liée à l'expertise professionnelle. En ce sens, l'objectif n'est pas d'identifier des « bons » ou des « moins bons » opérateurs, mais de caractériser des formes de structuration du regard compatibles avec une expertise fonctionnelle des situations observées. L'usage de la méthode MultiMatch permet de dépasser les limites des indicateurs oculométriques classiques en dissociant plusieurs dimensions complémentaires de similarité des scanpaths. Cette décomposition offre une lecture plus fine des stratégies perceptives, en distinguant notamment les aspects spatiaux, séquentiels et temporels de l'exploration visuelle. Le pipeline proposé constitue ainsi une base méthodologique robuste pour examiner la convergence ou la dispersion des stratégies perceptives, indépendamment des proxys temporels de l'expérience.

Limites de l'étude

Plusieurs limites doivent toutefois être soulignées. En premier lieu, l'expérimentation repose sur l'observation de scènes statiques, ce qui ne permet pas de capturer les ajustements perceptifs en situation dynamique ni les boucles entre perception et phase d'action caractéristiques de nombreuses activités professionnelles. Cette contrainte est assumée dans la mesure où l'objectif est ici d'identifier des régularités structurelles dans l'organisation du regard, et non de simuler une activité opérationnelle complète.

En second lieu, l'étude s'appuie sur une tâche d'observation libre, sans critère explicite de réussite ni contrainte décisionnelle immédiate. Ce choix méthodologique vise à favoriser l'expression spontanée des stratégies perceptives, indépendamment de contraintes de performance. En contrepartie, il ne permet pas d'établir un lien direct entre la structuration des scanpaths et une performance opérationnelle mesurée. Les résultats doivent ainsi être interprétés comme des indicateurs de compatibilité fonctionnelle des stratégies perceptives avec la situation observée, plutôt que comme des prédicteurs directs de réussite en contexte réel.

Par ailleurs, l'échantillon, bien que composé de professionnels présentant une forte variabilité d'expérience, demeure de taille modérée et reflète des trajectoires professionnelles hétérogènes. Cette hétérogénéité constitue à la fois une richesse et une contrainte méthodologique. Elle permet d'examiner la diversité des stratégies perceptives à ancienneté comparable, tout en limitant la généralisation des résultats à d'autres contextes métiers ou organisationnels. Cette limitation s'inscrit dans les contraintes inhérentes aux recherches appliquées conduites en contexte professionnel réel, privilégiant la validité écologique au détriment d'un contrôle expérimental plus strict.

Enfin, la méthode MultiMatch elle-même présente certaines limites. En particulier, la comparaison structurale des scanpaths repose sur une abstraction des données oculométriques qui permet une analyse multidimensionnelle, mais sans rendre compte directement de la signification fonctionnelle des éléments observés. L'interprétation des similarités ou divergences de scanpaths nécessite donc un ancrage théorique et métier explicite, afin d'éviter toute lecture purement formelle des résultats.

Vers un indice perceptivo-cognitif de l'expertise

La présente étude constitue une première étape exploratoire vers une caractérisation structurelle des stratégies perceptives en contexte professionnel. L'illustration présentée en section 5 suggère que la méthode MultiMatch est sensible à des différences d'organisation du regard que les métriques classiques ne permettent pas de distinguer. Ces différences, associées ici à des niveaux d'habilitation distincts, restent à ce stade descriptives et ne permettent pas de conclure à un lien établi entre structuration perceptive et expertise fonctionnelle.

Une analyse systématique de l'ensemble des données portant sur les 33 participants et les six scènes permettrait d'examiner si des patterns de similarité récurrents se dégagent, et dans quelle mesure ils recourent les variables professionnelles collectées. C'est dans cette perspective que s'inscrit la suite de ce programme de recherche, dont cet article pose les fondements méthodologiques.

Bibliographie

- Delgoulet, C. (2001). La construction des liens entre situations de travail et situations d'apprentissage dans la formation professionnelle. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, (3-2). <https://doi.org/10.4000/pistes.3718>
- Delgoulet, C. et Santos, M. (2022). Ergonomic work analysis and training: Past, present and future. *Work*, 73(1), 141-152. <https://doi.org/10.3233/WOR-211267>
- Dewhurst, R., Nyström, M., Jarodzka, H., Foulsham, T., Johansson, R., & Holmqvist, K. (2012). It depends on how you look at it: Scanpath comparison in multiple dimensions with MultiMatch, a vector-based approach. *Behavior Research Methods*, 44(4), 1079-1100. <https://doi.org/10.3758/s13428-012-0212-2>
- Ericsson, K. A. (2004). Deliberate practice and the acquisition and maintenance of expert performance in medicine and related domains. *Academic Medicine*, 79(Supplement), S70-S81. <https://doi.org/10.1097/00001888-200410001-00022>
- Ericsson, K. A. (2006). The influence of experience and deliberate practice on the development of superior expert performance. In K. A. Ericsson, N. Charness, P. J. Feltovich, & R. R. Hoffman (Eds.), *The Cambridge handbook of expertise and expert performance* (pp. 683–703). Cambridge University Press.
- France compétences. (s.d.). RNCP35828 – TP Monteur de réseaux électriques aéro-souterrains. Répertoire national des certifications professionnelles. Consulté le 16 novembre 2025, à l'adresse <https://www.francecompetences.fr/recherche/rncp/35828/>
- Gaudart, C. (2000). Quand l'écran masque l'expérience des opérateurs vieillissants : changement de logiciel et activité de travail dans un organisme de services. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, (2-2). <https://doi.org/10.4000/pistes.3814>
- Gegenfurtner, A., Lehtinen, E., & Säljö, R. (2011). Expertise Differences in the Comprehension of Visualizations : A Meta-Analysis of Eye-Tracking Research in Professional Domains. *Educational Psychology Review*, 23(4), 523-552. <https://doi.org/10.1007/s10648-011-9174-7>
- Harteis, C., & Billett, S. (2013). Intuitive expertise: Theories and empirical evidence. *Educational Research Review*, 9, 145-157. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2013.02.001>
- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H. et Van de Weijer, J. (2011). *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. Oxford University Press.
- Keskin, Ö., Seidel, T., Stürmer, K., & Gegenfurtner, A. (2024). Eye-tracking research on teacher professional vision: A meta-analytic review. *Educational Research Review*, 42, 100586. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2023.100586>
- Mieg, H. A. (2009). Two factors of expertise? Excellence and professionalism of environmental experts. *High Ability Studies*, 20(1), 91-115. <https://doi.org/10.1080/13598130902860432>
- Persky, A. M., & Robinson, J. D. (2017). Moving from novice to expertise and its implications for instruction. *American Journal of Pharmaceutical Education*, 81(9), 6065. <https://doi.org/10.5688/ajpe6065>
- Quiñones, M. A., Ford, J. K., & Teachout, M. S. (1995). The relationship between work experience and job performance: A conceptual and meta-analytic review. *Personnel Psychology*, 48(4), 887-910. <https://doi.org/10.1111/j.1744-6570.1995.tb01785.x>

- Wagner, A., Halchenko, Y., & Hanke, M. (2019). multimatch-gaze: The MultiMatch algorithm for gaze path comparison in Python. *Journal of Open Source Software*, 4(40), 1525. <https://doi.org/10.21105/joss.01525>
- Weill-Fassina, A. et Pastré, P. (2004). Les compétences professionnelles et leur développement. Dans P. Falzon (dir.), *Ergonomie* (p. 213-231). Presses Universitaires de France.
- Wiggins, M. W. (2021). A behaviour-based approach to the assessment of cue utilisation: Implications for situation assessment and performance. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 22(1), 46-62. <https://doi.org/10.1080/1463922X.2020.1758828>