



HAL
open science

L'activité réflexive des agents de terrain lors d'un dispositif de formation hybride qui intègre de la réalité virtuelle

Artemis Drakos, Jacques Theureau, Geneviève Filippi, Simon Flandin,
Germain Poizat

► To cite this version:

Artemis Drakos, Jacques Theureau, Geneviève Filippi, Simon Flandin, Germain Poizat. L'activité réflexive des agents de terrain lors d'un dispositif de formation hybride qui intègre de la réalité virtuelle. *Activités*, 2024, 21 (2), pp.1-32. 10.4000/12huk . hal-04770696

HAL Id: hal-04770696

<https://institut-agro-dijon.hal.science/hal-04770696v1>

Submitted on 18 Nov 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License



Activités

21-2 | 2024

Transmettre et apprendre dans des espaces hybrides |
Interpellations contemporaines de la prescription

L'activité réflexive des agents de terrain lors d'un dispositif de formation hybride qui intègre de la réalité virtuelle

*The reflexive activity of field operators using virtual reality as hybrid
training device*

Artémis Drakos, Jacques Theureau, Geneviève Filippi, Simon Flandin et
Germain Poizat



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/activites/9990>

DOI : 10.4000/12huk

ISSN : 1765-2723

Éditeur

ARPACT - Association Recherches et Pratiques sur les ACTIVités

Ce document vous est fourni par Conservatoire national des arts et métiers (Cnam)

le cnam

Référence électronique

Artémis Drakos, Jacques Theureau, Geneviève Filippi, Simon Flandin et Germain Poizat, « L'activité réflexive des agents de terrain lors d'un dispositif de formation hybride qui intègre de la réalité virtuelle », *Activités* [En ligne], 21-2 | 2024, mis en ligne le 15 octobre 2024, consulté le 18 novembre 2024. URL : <http://journals.openedition.org/activites/9990> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/12huk>

Ce document a été généré automatiquement le 21 octobre 2024.



Le texte seul est utilisable sous licence CC BY-NC-ND 4.0. Les autres éléments (illustrations, fichiers annexes importés) sont « Tous droits réservés », sauf mention contraire.

L'activité réflexive des agents de terrain lors d'un dispositif de formation hybride qui intègre de la réalité virtuelle

The reflexive activity of field operators using virtual reality as hybrid training device

Artémis Drakos, Jacques Theureau, Geneviève Filippi, Simon Flandin et Germain Poizat

Introduction

- 1 La recherche présentée ici, dans le contexte de la formation des agents de terrain de l'industrie nucléaire, s'est intéressée à l'usage d'un environnement virtuel, représentant un bâtiment industriel à la fonction cruciale pour le métier, mais dont l'accès est très réglementé au vu des risques liés à la sécurité du travail. Dans une démarche de *design-based research*¹ (Barab & Squire, 2004 ; Design-Based Research Collective, 2003), nous avons proposé un dispositif de formation hybride, nommé *scénario-enquête*, qui combine plusieurs espaces réels et virtuels au travers de différentes modalités pédagogiques : la modalité de l'enquête réalisée par les agents en formation leur permettant d'explorer la représentation 3D (via des photos 360°) du bâtiment virtuel, couplée à d'autres modalités pédagogiques conduisant à la manipulation d'éléments matériels tels que des robinets, des pompes et des tuyaux réels et des apports en salle de classe. De cette manière, ce dispositif hybride permet d'articuler les connaissances théoriques relatives au fonctionnement des équipements du bâtiment avec leur expérience de navigation dans le bâtiment virtuel.
- 2 Nous inscrivant dans le cadre conceptuel du programme de recherche empirique du cours d'action et des hypothèses théoriques de l'énaction, nous avons étudié les

dynamiques d'apprentissages et de raisonnement à l'œuvre chez les agents de terrain dans ce dispositif de formation spécifique. L'objectif de cet article est de documenter et d'analyser l'activité réflexive² (ou interprétative) des stagiaires et la construction de nouvelles connaissances lors de formations impliquant le dispositif hybride *scénario-enquête*. À ce titre, nous mobilisons des emprunts à la sémiotique peircienne pour analyser l'activité des acteurs et documenter la mobilisation et transformation des connaissances, notamment à travers une étude plus approfondie d'une catégorie analytique qui permet de documenter la dynamique de mobilisation des connaissances ou types³ déjà acquis, de transformation des relations entre types, et de construction de nouveaux types. Nous documentons les différents registres sémiotiques, avec un intérêt pour les différents types de raisonnement (abduction, déduction et induction) et leur articulation dans la réalisation des enquêtes. En quoi l'activité encouragée par le dispositif *scénario-enquête* est-elle particulièrement propice à l'émergence des différents types de raisonnements ? Comment ces raisonnements permettent-ils aux acteurs en formation de créer de nouveaux types ou relations entre types ? Nous contribuons ainsi à l'enrichissement empirique des connaissances sur ces différents registres sémiotiques et l'apprentissage-développement des acteurs.

- 3 Dans cet article, nous présentons d'abord les promesses et les limites des environnements virtuels pour la formation professionnelle dans le secteur de l'énergie. Puis nous décrivons le dispositif hybride de formation au centre de notre recherche. Ensuite est présenté le cadre théorique et méthodologique du programme cours d'action qui a été mobilisé pour cette recherche. Les résultats s'attachent à rendre compte de l'activité réflexive des agents de terrain engagés dans la réalisation d'enquêtes formatives réalisées avec un environnement virtuel et plus particulièrement l'enchaînement des différents registres sémiotiques (abduction, déduction, induction), mais aussi lors de la réalisation de manœuvres sur le chantier-école. La discussion ouvre une réflexion quant à l'intérêt de penser certains dispositifs hybrides de formation comme des « laboratoires de curiosités » qui encourageraient les circulations sémiotiques.

1. La réalité virtuelle pour la formation professionnelle

- 4 Les environnements virtuels pour la formation sont souvent conçus et présentés comme un moyen de réduire le fossé entre transmission des connaissances conceptuelles et apprentissage par l'expérience pratique sur le lieu de travail (Guile & Griffiths, 2001 ; Sappa & Aprea, 2014 ; Tynjälä, 2009). Notamment, dans le cas spécifique des environnements industriels socio-techniques complexes, les dispositifs de formation à base de réalité virtuelle peuvent apporter une réponse à plusieurs enjeux liés à la formation de professionnels qui sont amenés à travailler dans des milieux à risques. À partir de la modélisation en 3D d'environnements réels, ces outils offrent la possibilité aux acteurs en formation de s'immerger dans des scènes virtuelles reconstruites, tout en s'affranchissant des contraintes physiques (bruit, risques chimiques, radioactivité, etc.) et réglementaires (accès restreint aux bâtiments en fonctionnement normal) des situations réelles.
- 5 Les avantages et les possibilités d'utilisation de la réalité virtuelle (RV) pour la formation professionnelle font l'objet de recherches depuis de nombreuses années (Arnaldi, Guitton, & Moreau, 2018 ; Burkhardt, Lourdeaux, & Lequatre, 2016 ;

Lourdeaux, 2001). Des environnements virtuels ont été développés et leurs usages étudiés dans de multiples secteurs comme le secteur des secours (Dugdale *et al.*, 2004 ; El Jed, Pallamin, Dugdale, & Pavard, 2004 ; Pavard & Dugdale, 2002), le secteur des soins (Lewis *et al.*, 2011 ; Rosen, Soltanian, Redett, & Laub, 1996 ; Soler *et al.*, 2004 ; Zhang, Zhao, & Xu, 2003), ou le secteur des transports (Lourdeaux, 2001). La réalité virtuelle apporte une solution pour la formation de professionnels exerçant dans des milieux à risques, comme la formation et l'évaluation des nouveaux embauchés dans l'industrie minière (Pedram *et al.*, 2017, 2020). Les environnements virtuels permettent d'acquérir des compétences sans se mettre en danger ou mettre autrui en danger (Burkhardt, Lourdeaux, & Lequatre, 2005 ; Ruikar, Hegadi, & Santosh, 2018) et rendent possible la confrontation des formés à des situations inattendues, d'urgence, ou de crise (Greengard, 2019 ; Shawver, 1997).

- 6 Le secteur de la production d'énergie (centrales nucléaires, thermiques, hydrauliques) s'est également emparé de la réalité virtuelle en formation pour faire face à des difficultés propres à ce secteur, telles que le coût des matériaux et la dangerosité de l'environnement des situations de travail ou le peu d'accessibilité des lieux sur lesquels les travailleurs doivent intervenir, car dangereux pendant les phases de production (Arendarski, Termath, & Mecking, 2008 ; Avveduto *et al.*, 2017 ; De Sousa, Filho, Nunes, & Lopes, 2010 ; Fréjus, 1999 ; García *et al.*, 2016 ; Leder *et al.*, 2019 ; Matsubara & Yamasaki, 2002 ; Ródenas *et al.*, 2004 ; Sebok, Nystad, & Droivoldsmo, 2002).
- 7 L'utilisation des outils de réalité virtuelle à des fins de formation présente néanmoins des limites. Une première limite concerne la perception de la distance qui est sous-estimée dans les environnements virtuels par rapport au monde réel (Creem-Regehr, Stefanucci, & Bodenheimer, 2022 ; Kelly, 2022 ; Kircali, Drakos, & Nelson, 2022 ; Renner, Velichkovsky, & Helmert, 2013). Une autre limite concerne la manipulation d'objets. La matérialité des situations et l'interaction avec celle-ci ne peuvent pas être pleinement reproduites en réalité virtuelle et ne permettent pas l'entraînement à des gestes techniques précis (Lourdeaux, 2001), comme dégoupiller un extincteur (Kircali, Drakos, & Nelson, 2022). De plus, les interactions entre la personne qui porte le casque et les autres participants ou le formateur peuvent être empêchées ou contraintes par l'isolement de la personne de son environnement réel. La conception de dispositifs hybrides peut permettre de pallier certaines de ces limites. Les dispositifs hybrides sont des systèmes de formation qui combinent la réalité virtuelle avec d'autres technologies ou outils de formation. Par exemple, une formation hybride peut utiliser des environnements virtuels pour recréer des environnements de travail réalistes, tout en intégrant des éléments de formation traditionnels tels que des manuels de formation, des exercices pratiques, des documents de travail réels (e.g., documents opératoires) ou des instruments de travail réels (e.g., robinets réels). Cela est le cas du dispositif de formation *scénario-enquête* que nous présentons dans cet article empirique.

2. Le scénario-enquête : un dispositif hybride pour la formation professionnelle des agents de terrain

- 8 Le dispositif de formation *scénario-enquête* conçu et analysé dans le cadre de notre recherche est utilisé pour la formation initiale des agents de terrain des centrales nucléaires, en complément du cursus prévu pour leur professionnalisation.

2.1. Le parcours de formation des agents de terrain

- 9 Les agents de terrain⁴ participent au pilotage d'une installation nucléaire et font partie des équipes de conduite qui gèrent la production d'électricité en respectant les exigences de sûreté. La mission des agents de terrain est de surveiller l'état des équipements lors de rondes, d'assurer des relevés des paramètres et de réaliser des manœuvres d'exploitation courante (Palaci, 2009). À ce titre, les agents de terrain sont couramment considérés comme « les mains, les yeux et les oreilles » de la salle de commande.
- 10 Les activités des agents de terrain impliquent la mise en œuvre de multiples connaissances. Ainsi, ils doivent : comprendre les phénomènes physiques de base et connaître les principes de fonctionnement des équipements (vannes, circuits, pompes, réservoirs, etc.), savoir se repérer dans l'espace complexe des locaux et dans les zones extérieures, connaître les paramètres principaux afin d'identifier les écarts et dysfonctionnements, pouvoir effectuer des manœuvres d'exploitation telles que les lignages de circuits et connaître les règles essentielles pour évoluer dans les environnements à risque, connaître les procédures spécifiques liées à la sûreté nucléaire, etc.
- 11 C'est pourquoi, à la suite de leur embauche (après *a minima* l'obtention d'un bac technique ou professionnel), les futurs agents de terrain suivent un parcours de formation spécifique à l'industrie nucléaire d'une durée de 18 mois, assurée par l'entreprise EDF, pour devenir techniciens d'exploitation habilités. Ce programme de formation se décompose en périodes alternant (i) des cours théoriques en salle, avec (ii) des semaines de mises en situation en immersion au sein d'une équipe de conduite, et (iii) des stages thématiques sur chantier-école⁵ (par exemple robinetterie, radioprotection, sécurité incendie). Chaque agent de terrain en formation est rattaché à une équipe de conduite spécifique pour y réaliser ses périodes d'immersion pendant lesquelles il bénéficie d'un accompagnement pédagogique, d'une part par un tuteur en charge de sa formation, et d'autre part par un compagnon, agent de terrain expérimenté, avec qui il pratique les bases du métier, telles que les rondes, les relevés de paramètres ou toute autre intervention en local. Les cours en salle sont animés par des formateurs issus du terrain, avec une expérience professionnelle reconnue. Lors de ces cours, des apports théoriques sont proposés au travers de différents modules relatifs au fonctionnement des équipements et les contraintes spécifiques de chaque zone géographique de la centrale où ils seront appelés à intervenir.
- 12 Le dispositif de formation conçu lors de notre recherche s'est greffé sur le module portant sur la « zone contrôlée⁶ » dans la mesure où ce dispositif a permis de fournir une expérience pratique du bâtiment réacteur, un élément central de cette zone. Le bâtiment réacteur d'une centrale nucléaire contient le réacteur proprement dit et l'ensemble des éléments essentiels tels que la cuve, le cœur du réacteur, les générateurs de vapeur, le circuit primaire sous pression, etc. De forme circulaire, son agencement spatial est complexe, structuré en 11 niveaux, auxquels s'ajoutent des demi-niveaux intermédiaires, des ascenseurs, des escaliers et des passerelles. Certains matériels de grande taille traversent verticalement les niveaux (par exemple les générateurs de vapeur), ou courent horizontalement d'un local à un autre (par exemple les tuyauteries du circuit primaire).

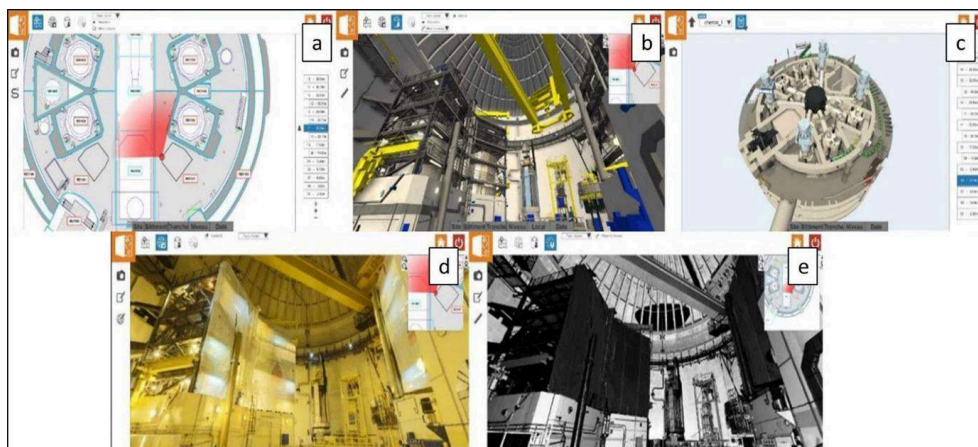
- 13 Notons que ce bâtiment est le plus souvent interdit d'entrée, car certaines zones sont à risque et nécessitent des précautions particulières d'intervention. Ainsi, cet espace de travail constitue un élément crucial de la formation des agents de terrain tout en n'étant pas facilement accessible et montrable.

2.2. Le dispositif *scénario-enquête*

- 14 Le dispositif de formation *scénario-enquête* au cœur de cette recherche a été co-conçu par les chercheurs en partenariat avec les formateurs dans une démarche de recherche orientée par la conception (Sanchez & Monod-Ansaldi, 2015). L'élaboration du dispositif de formation a donné lieu à quatre boucles itératives articulant des phases d'analyse empirique de l'activité des formateurs et stagiaires participant au dispositif et des phases de (re)conception du dispositif. La démarche orientée par la conception a permis de poursuivre une triple visée : concevoir un dispositif répondant à un besoin de formation identifié et précisé conjointement par les chercheurs et les formateurs, produire des connaissances sur l'activité et ses transformations dans un tel dispositif de formation et produire des connaissances sur les processus et les principes de conception de tels dispositifs de formation. Le besoin de formation identifié et précisé conjointement au commencement de la démarche⁷ était d'aider les agents de terrain en formation à l'appropriation des caractéristiques spatiales du bâtiment réacteur, par exemple les cheminements pouvant y être réalisés pour différentes interventions, et de favoriser la compréhension de la dimension fonctionnelle des équipements de ce bâtiment et plus particulièrement leur rôle dans les manœuvres d'exploitation.
- 15 Ce dispositif de formation englobe deux dimensions, techniques et pédagogiques, qui ne peuvent être dissociées. Il s'agit d'abord d'une ressource technologique matérialisée par un environnement numérique de RV représentant l'intérieur du bâtiment réacteur, conçu au départ à d'autres fins que la formation. Cet outil est devenu un dispositif de formation grâce à sa scénarisation pédagogique, réfléchi en rapport avec des objectifs de formation pour les formés et les résultats empiriques qui ont nourri l'amélioration de ce dispositif.
- 16 L'environnement virtuel (Figure 1) permet plusieurs modes de visualisation du bâtiment : une modélisation 3D de l'environnement égocentrique⁸, des photographies sphériques à 360°, des scans laser, des plans 2D et une « vue en survol » (Fuchs, Moreau, Berthoz, & Vercher, 2003) de l'ensemble du bâtiment étage par étage.

Figure 1 : Différentes vues de l'environnement virtuel : (a) plan 2D, (b) modélisation 3D, (c) vue en survol, (d) photos sphériques et (e) scan laser.

Figure 1: Various views of the virtual environment: (a) 2D map, (b) 3D model, (c) bird's-eye view, (d) spherical photos and (e) laser scan



- 17 La navigation à l'intérieur du bâtiment virtuel s'effectue depuis un ordinateur à l'aide du clavier et de la souris, à la manière de Google Street View. L'exploration d'un lieu particulier (i.e., local ou matériel spécifique) s'effectue en se déplaçant d'une photo à l'autre par le mode de navigation de type *click-to-go* (Anguelov *et al.*, 2010) consistant à cliquer sur les icônes dans la scène.
- 18 Une scénarisation pédagogique autour de cet environnement numérique, réfléchi avec les formateurs, a abouti au dispositif de formation *scénario-enquête*. Ce dispositif consiste en une enquête que doivent mener les formés avec cet environnement virtuel. Le dispositif est organisé en trois temps : (i) un temps de prise en main de l'environnement virtuel durant lequel les participants explorent librement le bâtiment sans avoir de consignes, (ii) un temps de réalisation de l'enquête à partir des consignes de l'enquête (Figure 2), et de manœuvre des robinets réels à partir des consignes de l'enquête, conduisant les formés à effectuer des recherches, en naviguant dans le bâtiment virtuel afin de retrouver le matériel demandé, répondre aux questions techniques, reproduire un cheminement et réaliser des manœuvres sur le chantier-école. Pour cela, les formés s'aident de ressources telles que les fiches de manœuvre, et aussi les maquettes de robinets, etc. et (iii) un temps de débriefing collectif comportant des restitutions de chaque enquête par les stagiaires, les récits du formateur de son vécu lors d'expériences similaires, ainsi qu'un retour sur le dispositif lui-même (Figure 3).

Figure 2 : Exemple de consignes de l'enquête que doivent réaliser les stagiaires.
 Figure 2: Instructions for the trainees to complete the inquiry

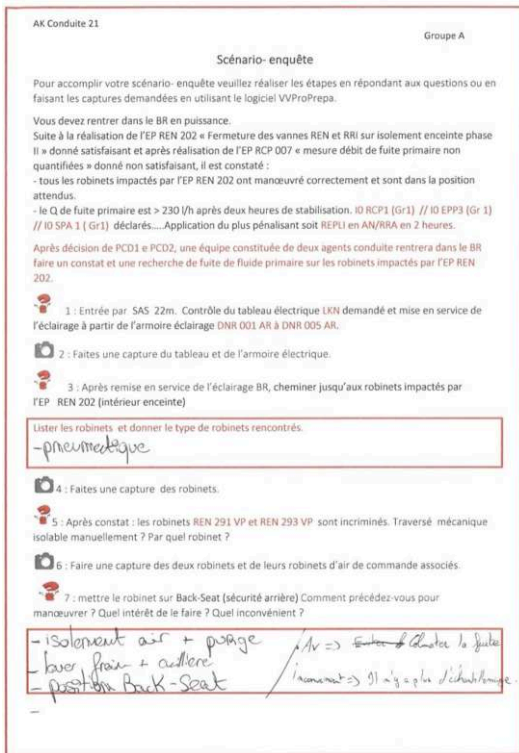
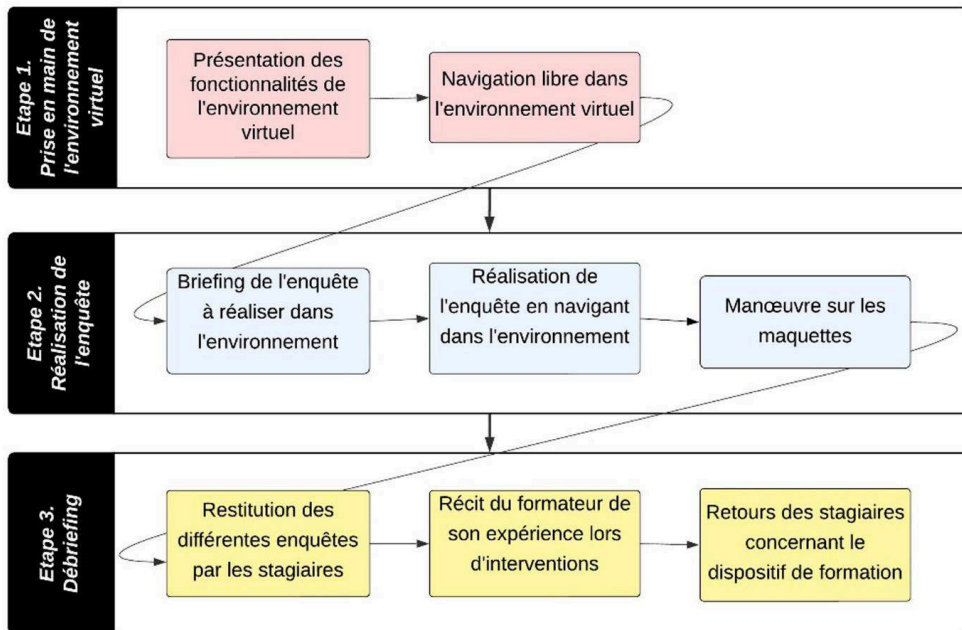


Figure 3 : Les éléments constitutifs du dispositif scénario-enquête.
 Figure 3: The sequential steps of the scenario-inquiry training device



2.3. Scénario-enquête : un dispositif hybride

- 19 Ce dispositif de formation peut être qualifié d'hybride au sens où il combine différents espaces : le bâtiment réacteur virtuel, le chantier-école, la salle de formation. Ainsi, les formés réalisent une partie de leurs investigations à partir de la salle de formation. Ils naviguent dans le bâtiment réacteur au moyen de l'environnement virtuel, et se confrontent à la réalité des matériels dans le chantier-école.
- 20 Son caractère hybride ressort également des types d'artefacts mobilisés, virtuels et réels, de travail et de formation : l'environnement numérique, mais aussi les documents opératoires issus du travail réel, des vanes et pompes réelles manipulées sur le chantier-école, mais visualisées et identifiées auparavant dans l'environnement virtuel, des « logiciels métiers » utilisés par les agents de terrain et aussi les documents pédagogiques de formation. En ce sens, ce dispositif de formation convoque l'expérience vécue en situation de travail réel croisée à la composante virtuelle de l'expérience en formation.

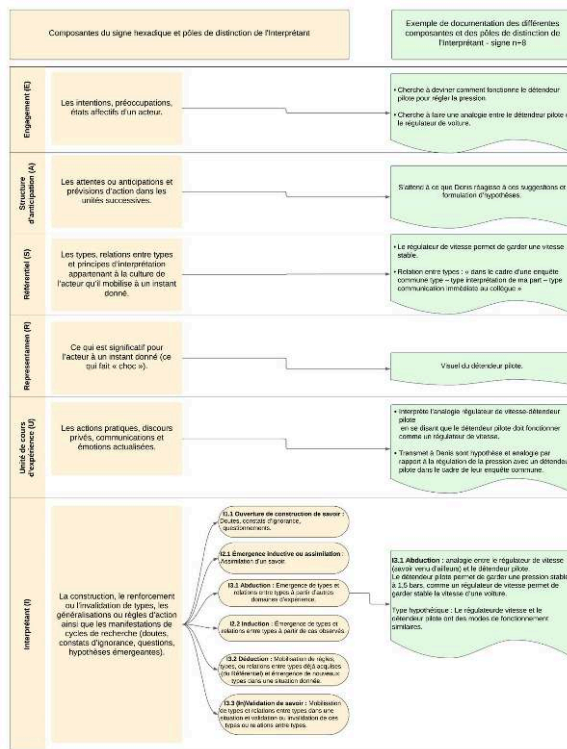
3. Cadre théorique

- 21 Notre recherche s'inscrit dans le programme de recherche du cours d'action (Poizat, Flandrin, & Theureau, 2023 ; Poizat, & San Martin, 2020 ; Theureau, 2004, 2015). Le cours d'action trouve son origine dans le champ de l'ergonomie francophone et a été utilisé comme cadre théorique et méthodologique dans de nombreuses études empiriques dans le secteur nucléaire (e.g., Drakos *et al.*, 2021 ; Palaci, Filippi, & Salembier, 2012 ; Theureau *et al.*, 2001, 2000). Ce cadre théorique et méthodologique repose sur deux hypothèses fondamentales : (i) l'hypothèse de l'énaction (Varela, 1987) selon laquelle l'activité est considérée comme un couplage structurel, dynamique et asymétrique entre l'acteur et son environnement, et (ii) l'hypothèse de la conscience préreflexive (Sartre, 1943 ; Theureau, 2015) selon laquelle l'activité humaine va de pair avec une modalité d'expérience particulière, la conscience préreflexive, consubstantielle à l'activité et à l'origine d'un point de vue en première personne : une présence à soi ou expérience de soi-même en train d'agir (Theureau, 2004).
- 22 Pour rendre compte du cours d'expérience, le cadre théorique et méthodologique du cours d'action s'appuie sur une troisième hypothèse, qualifiée d'analytique, celle de l'activité-signe. L'hypothèse de l'activité-signe est inspirée de la sémiotique de Peirce selon laquelle « l'homme pense et agit par signes » et de l'hypothèse de l'énaction. L'activité est ainsi envisagée comme une sémiose, autrement dit comme une instauration permanente de sens⁹, et tout quantum d'activité comme un signe dans un cours de signes. Notons ici que les liens entre sémiotique et cours d'action sont le fruit du constat selon lequel l'étude des activités humaines dans toute leur généralité comme cours d'énaction exige une sémiotique rendant compte de la dynamique de construction du sens (Theureau *et al.*, sous presse). La sémiotique en question n'est dès lors pas une sémiotique « traditionnelle » focalisée sur la description des systèmes sémiotiques, mais plutôt « une sémiotique des pratiques » mettant en son centre le « cours de sens » (Fontanille, 2008). Cette sémiotique ou « sémio-logie » développée dans le cadre du cours d'action s'appuie exclusivement sur les travaux de Peirce (leur distorsion et leur transgression) sans avoir réellement entretenu un dialogue régulier avec les recherches contemporaines en sémiotique. Pour une lecture plus approfondie

de la relation entre le programme du cours d'action et la sémiotique, nous renvoyons les lecteurs à Theureau *et al.* (sous presse).

- 23 Un élément essentiel du cadre d'analyse « sémio-logique »¹⁰ est celui de signe hexadique. Selon l'hypothèse de l'activité-signe, le cours d'expérience d'un acteur peut être décrit par une concaténation de signes hexadiques, c'est-à-dire de signes composés de six composantes (reliées entre elles de manière dynamique). Chaque signe résulte de l'articulation des six composantes, chacune constituant une catégorie générique d'analyse de l'activité et de l'expérience (Saury *et al.*, 2013). Ces six composantes du signe hexadique sont : Engagement dans la situation (E) ; Structure d'anticipation (A) ; Référentiel (S) ; Representamen (R) ; Unité de cours d'expérience (U) ; Interprétant (I), présentés dans la Figure 4.

Figure 4 : Composantes du signe hexadique, pôles de distinction de l'Interprétant et exemples de documentation pour le signe n+8.
 Figure 4: The hexadic sign's components, the Interpretant's poles of distinction and an example of documentation based on the n+8 sign



- 24 La répartition des contenus des composantes en différents pôles de distinction traduit la seconde partie du faisceau d'hypothèses analytiques de l'activité-signe (Theureau, 2006 ; Theureau *et al.*, sous presse) et permet d'accorder une place au « global », au « flou » et à l'« émergent » dans l'analyse de l'activité. Les composantes du signe et leurs pôles de distinction forment un système cohérent de notions descriptives de l'expérience humaine. Si la version actuelle de la notion de signe hexadique et de ses six composantes est stabilisée et a largement été éprouvée dans des recherches empiriques, ce n'est pas le cas pour l'ensemble des pôles de distinction qui ont connu plusieurs révisions partielles depuis Theureau (2006). Les hypothèses portant sur les pôles de distinction de chacune de ces composantes et les notions qui les traduisent ont été inégalement explorées. Diverses recherches ont mobilisé et contribué à des degrés

divers à la précision et à la non-réfutation empirique des hypothèses traduites par ces pôles de distinctions des composantes du signe hexadique (ex., Azéma, 2015 ; San Martin, 2015 ; Secheppet, 2020 ; Drakos, 2021 ; Leblanc, Bouchot, & Secheppet, 2021). Dans le cadre de cette recherche, nous mobilisons l'ensemble des six composantes du signe hexadique et les pôles de distinction de l'Interprétant (Figure 4).

- 25 Les pôles de distinction de l'Interprétant s'appuient sur les trois formes d'inférences décrites par Peirce : l'abduction, l'induction et la déduction. L'abduction correspond à la formulation d'hypothèses permettant d'expliquer un fait. L'induction correspond à la création de règles à partir de l'observation de faits. La déduction montre que quelque chose doit être en accord avec une règle. Notons que, selon Peirce (1978), l'abduction est le seul des trois processus de raisonnement qui engendre de la nouveauté. L'abduction présente un caractère imprévisible et incertain et convoque l'imagination, l'intuition et la créativité (Catellin, 2004 ; Peirce, 1978). Par la formulation d'hypothèses explicatives provisoires, l'abduction permet la découverte des causes et constitue un préalable à l'induction qui représente la découverte des lois (Catellin, 2004).

4. Observatoire¹¹ et atelier méthodologique

- 26 Cette partie détaille (i) les participants à l'étude, (ii) les méthodes de construction de données et (iii) les méthodes de traitement des données.

4.1. Participants

- 27 Treize participants (un formateur et douze stagiaires) ont participé à cette étude. De nombreux stagiaires étaient en reconversion professionnelle à l'interne de l'entreprise (n = 7/12). Trois participants étaient des nouveaux embauchés. Deux de ces nouveaux embauchés avaient réalisé un parcours d'alternance dans une équipe de conduite en amont du cursus de formation d'agents de terrain (d'une durée d'une année). Le Tableau 1 présente le nombre de stagiaires de chaque séance et leur expérience professionnelle. Le formateur-concepteur participant à cette étude est un agent de terrain expert (19 années d'exercice du métier) qualifié d'« Agent Haute Maîtrise Terrain » et détaché du Service Conduite et de son équipe de quart pour animer des formations depuis trois ans.

Tableau 1 : Participants à l'étude et durée des autoconfrontations.
 Table 1: Participants in the study and duration of self-confrontations

| Séance | Formateur/ Stagiaire | Expérience professionnelle | Durée autocon- frontation |
|----------|-------------------------|--|---------------------------------|
| Séance 1 | Formateur | Agent de terrain / Formateur | 19 ans / 3 ans / 100 min |
| | Charles | Reconversion professionnelle | 20 ans / 60 min |
| | Rémi | Alternance 1 an avant le début de la formation | 1 an / 52 min |
| | Louis | Reconversion professionnelle depuis une centrale thermique | 5 ans / 50 min |
| | Julien | Reconversion professionnelle depuis une centrale thermique | 4 ans / 75 min |
| Séance 2 | Formateur | Agent de terrain / Formateur | 19 ans / 3 ans / 66 min |
| | Olivier | Reconversion professionnelle depuis une centrale à gaz | 8 ans / 80 min |
| | Pierre | Premier poste | - / 43 min |
| Séance 3 | Formateur | Agent de terrain / Formateur | 19 ans / 3 ans / 61 min |
| | Kevin | Reconversion professionnelle depuis une centrale hydraulique | 8 ans / 90 min |
| | Vincent | Alternance 1 an avant le début de la formation | 1 an / 66 min |
| | David | Premier poste | - / 75 min |
| Séance 4 | Formateur | Agent de terrain / Formateur | 19 ans / 3 ans / 104 min |
| | Matéo | Reconversion professionnelle depuis un autre métier du nucléaire | 3 ans / 80 min |
| | Fabrice | Reconversion professionnelle depuis une centrale hydraulique | 4 ans / 53 min |
| | Denis | Premier poste | - / 80 min |

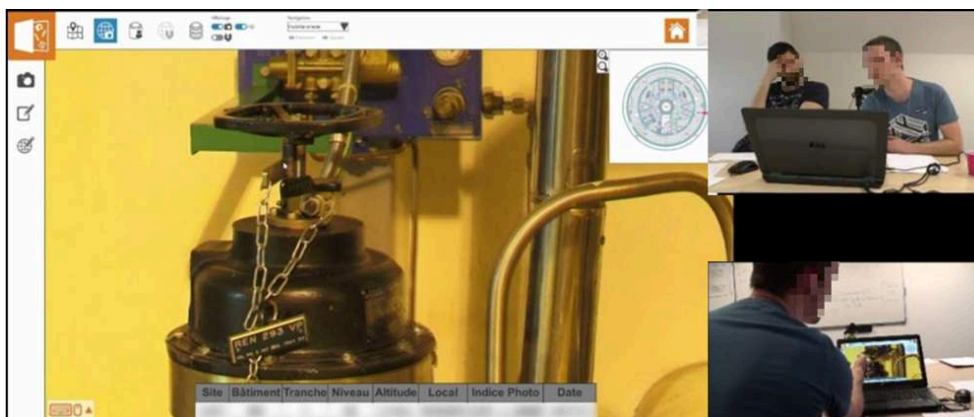
4.2. Construction de données

- 28 Deux types de données ont été construites : (i) des données d'observation et d'enregistrement de l'activité des acteurs durant les séances de formation, des prises de notes, et (ii) des données de verbalisation lors d'autoconfrontations.

4.2.1. Données d'observation, d'enregistrement et des prises de notes

- 29 Quatre séances ont été observées et ont fait l'objet d'un enregistrement vidéo et de prise de notes pour une durée totale de 22 heures¹². Le dispositif d'enregistrement audiovisuel a évolué au fil du recueil afin d'être le plus riche et le plus exhaustif possible, tout en prenant en compte les contraintes de la situation. Grâce à l'instauration graduelle d'une relation de confiance avec les participants, le dispositif d'enregistrement audiovisuel s'est progressivement élargi. Les deux premières séances ont été enregistrées à l'aide d'une caméra se trouvant derrière un binôme de stagiaires. À partir de la troisième séance, deux caméras ont été utilisées par binôme en plus d'une capture d'écran de l'environnement virtuel (e.g., Figure 5). La première caméra était positionnée derrière les stagiaires entre eux et face à l'écran de l'EV tandis que la deuxième caméra était placée en face d'eux afin d'avoir accès à certains gestes et expressions faciales.

Figure 5 : Montage des trois enregistrements réalisés avec la capture d'écran de l'ordinateur (à gauche) et les deux caméras (à droite).
 Figure 5: Editing of the three recordings taken with the computer screen recorder (left) and the two cameras (right)



- 30 Ces enregistrements ont été réalisés avec le double objectif (i) de constituer des matériaux pour l'analyse du cours d'expérience des acteurs, et (ii) de constituer des supports pour les autoconfrontations.

4.2.2. Des données de verbalisation lors d'autoconfrontations

- 31 Lors d'une autoconfrontation (Theureau, 2010), l'acteur est confronté à des traces vidéo de sa propre activité. Le principe de cette méthode est de remettre l'acteur en « situation dynamique », autrement dit, d'amener l'acteur à se remettre dans la situation vécue, de la « revivre » et d'explicitier son vécu pendant la visualisation de la vidéo (Saury *et al.*, 2013). Ainsi, l'acteur raconte, commente, mime, décrit ses actions, intentions, perceptions, focalisations, sensations, interprétations, qui lui sont accessibles, c'est-à-dire l'histoire de sa conscience préréflexive.
- 32 Seize autoconfrontations ont été réalisées avec les stagiaires (N = 12) et le formateur (N = 4) à partir des enregistrements audiovisuels de quatre séances. Les autoconfrontations ont été menées dans les 48 heures suivant la séance observée. La durée moyenne des autoconfrontations avec les stagiaires était de 70 minutes (Tableau 1).

4.3. Analyse des données

- 33 L'analyse des matériaux empiriques a été réalisée en trois étapes : (i) la construction de protocoles à deux volets, (ii) la construction des cours d'expérience des formateurs et stagiaires, et (iii) l'analyse approfondie d'épisodes d'activité (réflexive, interprétatives, ou de raisonnement) avec l'aide des pôles de distinction de l'Interprétant.

4.3.1. Construction d'un protocole à deux volets

- 34 La première étape du traitement des données a consisté à construire des tableaux mettant en correspondance les données d'observation (observation du chercheur, enregistrements des comportements) et les données d'autoconfrontation de chaque acteur individuellement. Le premier volet du tableau comprenait deux sous-colonnes avec (i) l'horodatage de la situation de formation, (ii) la description des comportements

et verbalisations des acteurs dans la situation de formation, et des captures d'écran de l'environnement virtuel et des photos des participants à partir de l'enregistrement. Le second volet du tableau comprenait la transcription verbatim de l'autoconfrontation.

4.3.2. La construction des cours d'expérience des formateurs et stagiaires

- 35 La deuxième étape du traitement des données a consisté à construire les cours d'expérience des formateurs et des stagiaires sur des épisodes délimités, c'est-à-dire à renseigner les signes hexadiques et leur dynamique d'engendrement (Leblanc, Bouchot, & Secheppet, 2021 ; Poizat & San Martin, 2020). À travers la construction des cours d'expérience, l'objectif est de proposer les linéaments du décours et des transformations de l'activité des acteurs à travers l'histoire de la conscience préreflexive qui accompagne leur activité. Les signes hexadiques et leur dynamique d'engendrement ont été documentés par les chercheurs à l'aide des enregistrements audiovisuels, des retranscriptions *verbatim* des autoconfrontations, et d'un questionnement spécifique.

4.3.3. Analyse avec les pôles de distinction de l'Interprétant

- 36 Certains des épisodes ont fait l'objet d'une analyse approfondie à l'aide des pôles de distinction de l'Interprétant en plus de l'analyse avec le signe hexadique. Ces épisodes ont été choisis à partir de la richesse des données construites et de la pertinence par rapport à notre objet d'étude. Notre hypothèse était qu'une telle analyse permettrait de documenter plus finement les registres sémiotiques mis en jeu dans l'activité réflexive dans le cadre du dispositif *scénario-enquête*. L'analyse des pôles de distinction de l'Interprétant permet de préciser la façon dont se transforme le Référentiel des acteurs (i.e., les différentes connaissances construites, modifiées), lorsqu'ils (i) mobilisent les différents types et relations entre types, (ii) construisent de nouveaux types pendant l'enquête, et (iii) invalident ou renforcent des types et relations entre types. Le recours aux signes hexadiques et aux pôles de distinction de l'Interprétant (dans sa relation avec le Référentiel) permet de renseigner l'expérience des acteurs dans les situations de formation et de caractériser les différents registres sémiotiques (abduction, déduction, induction, analogies, métaphores, etc.).

5. Résultats

- 37 Pour illustrer comment les acteurs ont mobilisé les différents registres sémiotiques, nous mobilisons trois extraits empiriques, tous issus du dispositif *scénario-enquête* mais impliquant des stagiaires différents. Les deux premiers extraits se focalisent sur l'activité réflexive dans l'environnement numérique du dispositif *scénario-enquête* et le troisième sur l'activité de manipulation des maquettes. Le premier illustre une enquête à dominante abductive puisque, in fine, c'est une abduction qui permet aux stagiaires de progresser. Le deuxième illustre le lien étroit entre les inductions et déductions qui donnent lieu à de nouvelles déductions hypothétiques. Le troisième extrait rend compte de l'activité de manipulation des maquettes par les stagiaires dans le cadre du dispositif *scénario-enquête* et de la construction de types relatifs à la « vision professionnelle » (Goodwin, 1994) des agents de terrain.

5.1. « Et si le détendeur pilote fonctionnait comme le régulateur de vitesse de ma voiture ? »

- 38 Le premier extrait empirique illustre une abduction réalisée par un agent de terrain en formation (Fabrice¹³) alors qu'il cherche à imaginer comment fonctionne un robinet¹⁴ lors de l'enquête à réaliser dans le dispositif de formation scénario-enquête. Le stagiaire s'appuie pour cela sur l'environnement virtuel présenté en introduction ainsi que sur des documents opératoires réels liés à la manœuvre scénarisée. Le scénario-enquête qui leur est proposé implique de trouver le robinet ABC022VZ (Figure 6) dans l'environnement virtuel et répondre aux questions suivantes : « quel est le type du robinet ABC022VZ ? » et « comment règle-t-on la pression à 1,5 bar ? ». Devant le robinet qu'ils parviennent à repérer et à identifier à partir de son étiquette, ils ne sont pas en mesure de déterminer le type du robinet ni comment régler la pression de celui-ci.

Figure 6 : Détendeur pilote que les stagiaires devaient trouver dans leur enquête.

Figure 6: The pressure reducer that the trainees were asked to identify during their enquiry



- 39 Fabrice propose alors à Denis de faire un zoom sur la photographie 360° fournie par l'environnement virtuel près du robinet, à la recherche d'indices. Il repère ainsi la présence de deux autres robinets avec des manomètres en amont et en aval du robinet ABC022VZ et une chambre d'air. Ne parvenant pas à trouver la réponse en examinant les photographies, Denis demande à un autre stagiaire le type du robinet (signe n+6, Figure 7). Il répond qu'il s'agit d'un détendeur pilote, mais cette réponse n'éclaire pas le binôme sur le fonctionnement du robinet. Ils poursuivent l'inspection des différentes parties du robinet. En observant la chambre d'air et les deux manomètres, Fabrice formule une hypothèse pour expliquer le fonctionnement du robinet (signe n+8, abduction, Figure 7).

Figure 7 : Extrait de l'analyse en signes hexadiques du cours d'expérience de Fabrice lors de la réalisation de l'enquête.
 Figure 7: Modeling Fabrice's reasoning in hexadic form to explain how the pressure reducer operates

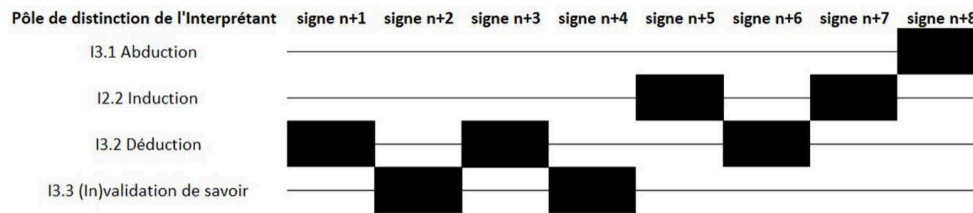
| Composants du signe hexadique et pôles de l'analyse en hexadique | Signe n+1 | Signe n+2 | Signe n+3 | Signe n+4 | Signe n+5 | Signe n+6 | Signe n+7 | Signe n+8 | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Emploi (E) | <ul style="list-style-type: none"> Chercher à trouver la vanne ABC22V2 dans le moteur Chercher à voir si la vanne avec le tuyau jaune est la ABC22V2 | <ul style="list-style-type: none"> Chercher à trouver la vanne ABC22V2 dans le moteur Chercher à voir si la vanne avec le tuyau jaune est la ABC22V2 | <ul style="list-style-type: none"> Chercher à répondre à la question de Denis Chercher à comprendre le principe du détendeur Chercher à savoir si la vanne avec le tuyau jaune est la ABC22V2 | <ul style="list-style-type: none"> Chercher à savoir dans le moteur Chercher à savoir des indices par rapport à la façon de régler la pression | <ul style="list-style-type: none"> Chercher à savoir comment se règle la pression à 1,5 bars Chercher à savoir si c'est bien ce type de vanne en formation | <ul style="list-style-type: none"> Chercher à savoir comment se règle la pression à 1,5 bars Chercher à savoir si c'est bien ce type de vanne en formation | <ul style="list-style-type: none"> Chercher à répondre au moteur Chercher à savoir comment fonctionne le détendeur | <ul style="list-style-type: none"> Chercher à savoir comment fonctionne le détendeur Chercher à savoir comment fonctionne le détendeur | <ul style="list-style-type: none"> Chercher à savoir comment fonctionne le détendeur Chercher à savoir comment fonctionne le détendeur |
| Intention (I) | <ul style="list-style-type: none"> Savoir à ce que Denis cherche Savoir à ce que Denis cherche | <ul style="list-style-type: none"> Savoir à ce que Denis cherche Savoir à ce que Denis cherche | <ul style="list-style-type: none"> Savoir à ce que Denis cherche Savoir à ce que Denis cherche | <ul style="list-style-type: none"> Savoir à ce que Denis cherche Savoir à ce que Denis cherche | <ul style="list-style-type: none"> Savoir à ce que Denis cherche Savoir à ce que Denis cherche | <ul style="list-style-type: none"> Savoir à ce que Denis cherche Savoir à ce que Denis cherche | <ul style="list-style-type: none"> Savoir à ce que Denis cherche Savoir à ce que Denis cherche | <ul style="list-style-type: none"> Savoir à ce que Denis cherche Savoir à ce que Denis cherche | <ul style="list-style-type: none"> Savoir à ce que Denis cherche Savoir à ce que Denis cherche |
| Représentation (R) | <ul style="list-style-type: none"> Chercher à trouver la vanne ABC22V2 Chercher à trouver la vanne ABC22V2 | <ul style="list-style-type: none"> Chercher à trouver la vanne ABC22V2 Chercher à trouver la vanne ABC22V2 | <ul style="list-style-type: none"> Chercher à trouver la vanne ABC22V2 Chercher à trouver la vanne ABC22V2 | <ul style="list-style-type: none"> Chercher à trouver la vanne ABC22V2 Chercher à trouver la vanne ABC22V2 | <ul style="list-style-type: none"> Chercher à trouver la vanne ABC22V2 Chercher à trouver la vanne ABC22V2 | <ul style="list-style-type: none"> Chercher à trouver la vanne ABC22V2 Chercher à trouver la vanne ABC22V2 | <ul style="list-style-type: none"> Chercher à trouver la vanne ABC22V2 Chercher à trouver la vanne ABC22V2 | <ul style="list-style-type: none"> Chercher à trouver la vanne ABC22V2 Chercher à trouver la vanne ABC22V2 | <ul style="list-style-type: none"> Chercher à trouver la vanne ABC22V2 Chercher à trouver la vanne ABC22V2 |
| Contexte (C) | <ul style="list-style-type: none"> Denis cherche la vanne ABC22V2 Denis cherche la vanne ABC22V2 | <ul style="list-style-type: none"> Denis cherche la vanne ABC22V2 Denis cherche la vanne ABC22V2 | <ul style="list-style-type: none"> Denis cherche la vanne ABC22V2 Denis cherche la vanne ABC22V2 | <ul style="list-style-type: none"> Denis cherche la vanne ABC22V2 Denis cherche la vanne ABC22V2 | <ul style="list-style-type: none"> Denis cherche la vanne ABC22V2 Denis cherche la vanne ABC22V2 | <ul style="list-style-type: none"> Denis cherche la vanne ABC22V2 Denis cherche la vanne ABC22V2 | <ul style="list-style-type: none"> Denis cherche la vanne ABC22V2 Denis cherche la vanne ABC22V2 | <ul style="list-style-type: none"> Denis cherche la vanne ABC22V2 Denis cherche la vanne ABC22V2 | <ul style="list-style-type: none"> Denis cherche la vanne ABC22V2 Denis cherche la vanne ABC22V2 |
| Interprétation (I) | <ul style="list-style-type: none"> Denis cherche la vanne ABC22V2 Denis cherche la vanne ABC22V2 | <ul style="list-style-type: none"> Denis cherche la vanne ABC22V2 Denis cherche la vanne ABC22V2 | <ul style="list-style-type: none"> Denis cherche la vanne ABC22V2 Denis cherche la vanne ABC22V2 | <ul style="list-style-type: none"> Denis cherche la vanne ABC22V2 Denis cherche la vanne ABC22V2 | <ul style="list-style-type: none"> Denis cherche la vanne ABC22V2 Denis cherche la vanne ABC22V2 | <ul style="list-style-type: none"> Denis cherche la vanne ABC22V2 Denis cherche la vanne ABC22V2 | <ul style="list-style-type: none"> Denis cherche la vanne ABC22V2 Denis cherche la vanne ABC22V2 | <ul style="list-style-type: none"> Denis cherche la vanne ABC22V2 Denis cherche la vanne ABC22V2 | <ul style="list-style-type: none"> Denis cherche la vanne ABC22V2 Denis cherche la vanne ABC22V2 |

40 Cette hypothèse s'appuie sur une analogie entre le fonctionnement d'un détendeur pilote et d'un régulateur de vitesse. En effet, avec un régulateur de vitesse, le conducteur règle la vitesse à laquelle il veut rouler depuis le tableau de bord de son véhicule. Le débit d'admission de carburant dans le moteur est adapté en fonction de cette vitesse cible. Si la route monte, le véhicule doit plus travailler pour maintenir une vitesse constante. La consommation de carburant augmentera pour alimenter le moteur. Si la route descend, le véhicule peut profiter de son inertie pour maintenir sa vitesse. La consommation de carburant va donc diminuer. Cette régulation se fait sans que le conducteur soit obligé d'appuyer plus ou moins fort sur la pédale d'accélération. S'appuyant sur cette analogie, il se dit qu'il est possible de régler la pression aval du détendeur pilote à 1,5 bar, en agissant sur la pression dans la bûche à air. La structure interne du composant vient jouer sur des équilibrages de pression de sorte que la vanne s'ouvre ou se ferme en fonction de la pression amont, pour que la pression aval reste toujours égale à 1,5 bar. Ainsi, si la pression amont augmente, il faut fermer la vanne pour augmenter la résistance à la circulation. Si la pression amont diminue, la vanne s'ouvre pour faciliter le passage de l'air et diminuer les pertes de charge.

41 La Figure 8 représente l'évolution de l'Interprétant à partir des différents pôles de distinction documentés lors de la recherche du détendeur pilote. Le signe n+8 concrétise l'abduction à partir de l'analogie entre le fonctionnement du régulateur de vitesse d'une voiture et le fonctionnement du détendeur pilote, mais ne peut se comprendre que dans la dynamique d'engendrement des signes précédents. Fabrice, en s'appuyant sur les types acquis dans un autre domaine (conducteur de voiture), fait une hypothèse explicative sur le fonctionnement du détendeur pilote présent à l'écran.

Figure 8 : Représentation graphique des différents pôles de distinction de l'Interprétant lors de la recherche de la vanne ABC022VZ.

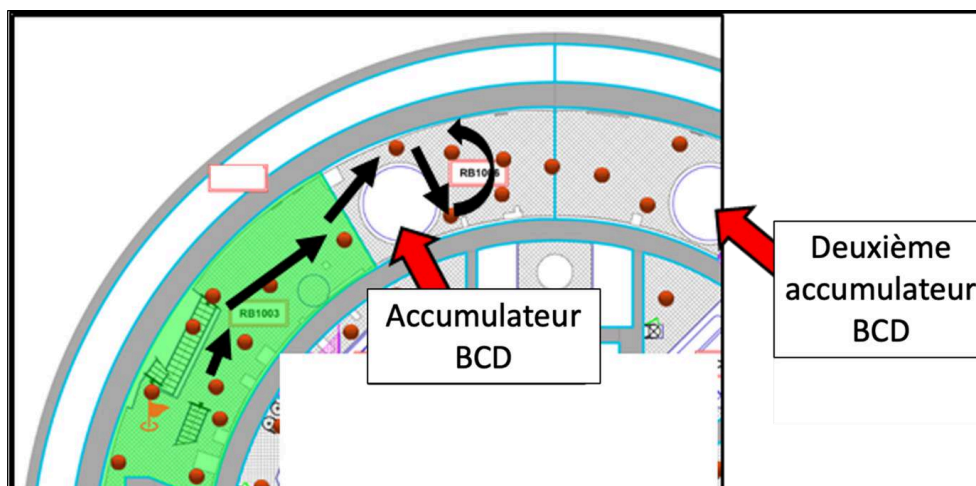
Figure 8: Diagram of the Interpretant's four areas of distinction when searching for valve ABC022VZ



5.2. « Deux vannes en série doivent être raccordées sur le même accumulateur ! »

- 42 Le deuxième extrait empirique illustre un épisode d'activité réflexive ou interprétative, à dominante inductive et déductive. Cet épisode rend compte de la recherche par « essai-erreur » réalisée par Pierre et Olivier pour trouver la vanne BCD261VZ dans le cadre du scénario-enquête qui leur était proposé.
- 43 Pierre débute la quête de la vanne BCD261VZ en utilisant le mode « Recherche » de l'environnement virtuel, qui permet de repérer automatiquement le lieu où se trouve l'organe recherché (le local apparaît en vert sur le plan Figure 9). Une fois ce local identifié, il décide d'activer la vue des photos sphériques pour naviguer dans le local et rechercher la vanne.

Figure 9 : Plan du local RB1003 où se trouve la vanne BCD261VZ. Le sens des flèches indique le cheminement des stagiaires dans le local. Les accus BCD sont représentés par des ronds blancs.
Figure 9: Plan of room RB1003 where the BCD261VZ valve is located. The arrows indicate the trainee's route. The BCD accumulators are represented by white circles



- 44 Son binôme Olivier lui indique la direction à suivre dans le local (Figure 10). Il « saute » ainsi dans une autre photo sphérique pour se rapprocher du lieu indiqué par Olivier, en faisant confiance à ce dernier qui dispose d'une grande connaissance du terrain, ayant été agent de terrain dans une centrale thermique pendant 10 ans. Pierre a également entendu Olivier dire à la chercheuse (présente lors de la formation) que la vanne devait être de type injection et qu'elle devait être raccordée à un des quatre accumulateurs BCD¹⁵.

Figure 10 : Olivier montre à Pierre la direction à prendre pour avancer dans le local et aller à l'accu BCD.

Figure 10: Olivier is showing Pierre the way to the BCD tank under pressurised water



- 45 En entendant son binôme Olivier, Pierre fait le rapprochement entre la vanne recherchée et les accumulateurs BCD ; il combine une induction (*la vanne recherchée appartient au même système élémentaire que les accumulateurs BCD, signe n+2*) et une déduction hypothétique (*la BCD261VZ est raccordée à un accumulateur BCD et elle pourrait se trouver près de lui, signe n+2*). Ainsi, Pierre aboutit à une déduction hypothétique selon laquelle *s'ils se rendaient à l'accumulateur BCD, ils trouveraient la vanne à côté*. Alors que le binôme progresse vers le fond du local sur les indications d'Olivier, Pierre se rappelle être déjà entré dans ce local, qui était très grand dans ses souvenirs. Il demande alors à Olivier s'il dispose d'un schéma mécanique qui pourrait leur servir pour situer la vanne par rapport à l'accumulateur BCD. Arrivés devant l'accumulateur BCD, ils font un zoom sur une petite vanne située juste devant (Figure 11). Cependant, en lisant le repère fonctionnel de la vanne, ils se rendent compte qu'il ne s'agit pas de la bonne vanne (invalidation du type hypothétique construit par la déduction hypothétique, signe n+4, Figure 14).

Figure 11 : Première vanne rencontrée lors de leur arrivée devant l'accu BCD.

Figure 11: First valve encountered on arrival at the BCD tank



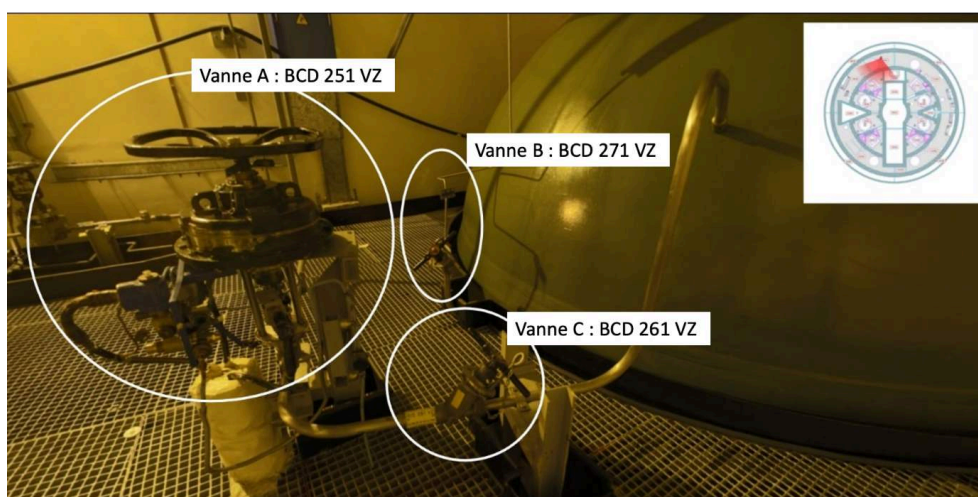
- 46 À ce moment, Olivier mentionne que la vanne recherchée est une « VZ », c'est-à-dire une vanne de pression ou une injection. Pierre rajoute qu'il s'agit d'une vanne d'azote (déduction, signe 5). Olivier confirme qu'il s'agit effectivement d'une vanne d'azote et

qu'elle devrait donc être équipée d'une tuyauterie de petit diamètre (déduction, signe n+7, Figure 14).

- 47 Pierre avance l'hypothèse que la vanne devrait se situer de l'autre côté de l'accumulateur ; c'est pourquoi ils continuent à faire le tour de l'accumulateur BCD. Olivier pointe sur une autre vanne raccordée sur le réservoir. Ils passent sur une photo HD afin de lire le repère fonctionnel de cette autre vanne (Figure 12, vanne « A »). Ici, Pierre combine une induction (*les vannes BCD251VZ et BCD261VZ sont en série car elles ont des « numéros proches »,* signe n+10) et une déduction (*quand les numéros de deux vannes sont proches elles sont en série,* signe n+10). L'association de l'induction et de la déduction le conduit à une déduction hypothétique selon laquelle *la vanne BCD261VZ se trouve à proximité de la deuxième vanne devant l'accumulateur BCD c'est-à-dire la BCD251VZ.* Ceci explique qu'il est surpris quand Olivier lui propose d'aller voir sur un autre accumulateur BCD se trouvant quelques mètres plus loin. Il répond à Olivier que selon lui la vanne recherchée devrait être sur cet accu BCD, car les deux vannes doivent être en série dans la mesure où leurs repères fonctionnels correspondent à ceux de vannes en série.

Figure 12 : Vannes visualisées lors de la recherche de la BCD261VZ.

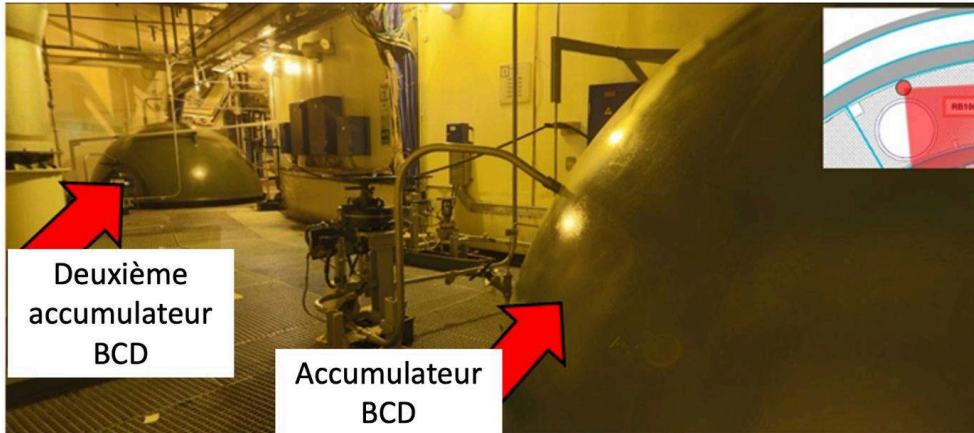
Figure 12: Valves displayed during the search for BCD261VZ



- 48 En disant cela, Pierre change de photo pour disposer d'un autre point de vue sur l'accumulateur BCD et pouvoir visualiser d'autres vannes qui ne seraient pas visibles depuis la photo précédente. Repérant une autre vanne avec une tuyauterie de petit diamètre, ils zooment sur sa photo HD pour vérifier son repère fonctionnel. En lisant « BCD271VZ », Pierre réalise qu'il s'agit d'une vanne déjà inspectée précédemment (Invalidation de type, signe n+13, Figure 14) dans leur exploration à partir d'une autre photo sphérique (Figure 12, vanne « B »). Olivier renouvelle alors sa proposition d'examiner le deuxième accumulateur BCD situé un peu plus loin (Figure 9 et Figure 13), proposition que Pierre suit cette fois-ci. Il dézoome et pivote dans la photo pour se diriger en direction du deuxième accumulateur BCD. En dézoomant, il aperçoit une autre vanne sur laquelle il zoome en faisant l'hypothèse qu'il s'agit peut-être de la vanne recherchée. La lecture de l'étiquette de repère fonctionnel leur confirme qu'ils ont bien réussi à localiser la vanne BCD261VZ.

Figure 13 : Les deux accus BCD se trouvaient l'un près de l'autre. À droite, le premier accu BCD ; à gauche au fond, le second accu BCD auquel Olivier a proposé d'aller.

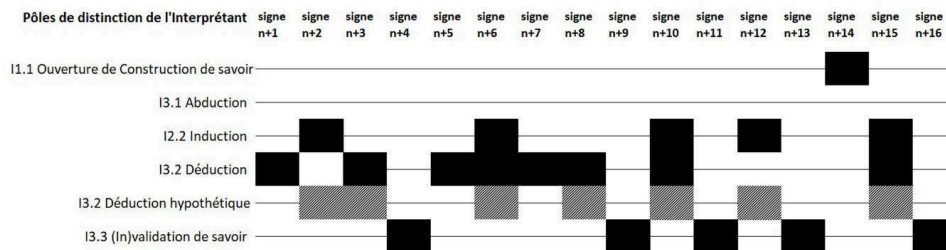
Figure 13: The two BCD tanks appeared to be close to each other. On the right is the first BCD tank; on the left, at the bottom, the second BCD tank to which Olivier suggested going



49 La Figure 14 rend compte de l'évolution de l'Interprétant à partir de différents pôles de distinction lors de cet épisode de la vanne BCD261VZ. Dans leur démarche, que l'on pourrait qualifier d'« essai-erreur », les agents de terrain ont élaboré plusieurs connaissances provisoires à partir de l'observation de cas (induction), tout en s'appuyant parallèlement sur des connaissances élaborées par déduction (e.g., signe n+2). La mobilisation conjointe de modes de raisonnement inductif et déductif a permis de faire émerger une seconde déduction, cette fois-ci une déduction hypothétique, car elle découle d'une règle produite par induction dans le cas observé et n'a pas forcément été validée ou invalidée avant sa mobilisation.

Figure 14 : Représentation graphique des différents pôles de distinction de l'Interprétant lors de la recherche de la vanne BCD. Pour illustrer les boucles déduco-inductives qui font émerger une déduction hypothétique, la ligne « 3.2 Déduction » est divisée en deux.

Figure 14: Diagram of the Interpretant's poles of distinction during the search for the BCD valve. In order to show the deductive-inductive loops which give rise to a hypothetical deduction, the "3.2 Deduction" line is divided in two



50 Ce deuxième extrait empirique illustre la nécessité de penser les pôles de distinction comme des pôles d'un continuum, puisque les inférences inductives et déductives sont étroitement articulées pour la réalisation de cette enquête. La démarche « essai-erreur » adoptée par le binôme s'appuie sur des boucles successives d'induction et de déduction faisant émerger des déductions hypothétiques qui ont été invalidées par la suite. La Figure 14 rend compte de cette succession de boucles inducto-déductives.

51 Concernant les déductions observées, elles reposent soit sur des règles déjà construites en amont de la formation, soit sur des règles construites au cours de l'enquête en question à la suite d'une induction. Les inductions qui ont été documentées reposent

soit (i) sur la création d'une règle à partir d'un seul cas, soit (ii) sur la mise en relation des types déjà construits antérieurement avec ceux construits lors de la séance, soit enfin (iii) sur plusieurs observations et créations de types réalisées durant la séance. Nous remarquons également qu'une déduction peut être plus au moins hypothétique selon qu'elle s'appuie sur des types déjà validés dans d'autres cas ou sur des inductions qui ont été construites à partir des cas observés.

- 52 De manière plus générale, ces deux extraits illustrent comment les acteurs ont trouvé l'organe recherché en enchaînant différents types d'inférences. Il devient alors possible de comprendre comment l'acteur mobilise et transforme ses connaissances déjà acquises et en construit de nouvelles. La résolution de la première recherche a été possible grâce à l'abduction du signe 8 qui elle-même a été possible grâce aux connaissances mobilisées à cet instant et construites par induction ou déduction. Nos résultats montrent aussi qu'une recherche peut être empêchée ou freinée, soit par manque de connaissances, soit par une construction/mobilisation de connaissances qui ne sont pas valables pour la recherche en question. Ainsi, une mobilisation de connaissances qui ne s'appliquent pas peut amener le formé à une incompréhension de la situation et une impossibilité d'avancer dans la recherche.

5.3. « Voir les robinets (dans l'environnement virtuel) et apprendre à avoir l'œil américain (sur le chantier-école) »

- 53 Le troisième extrait présenté porte sur le temps de manipulation des maquettes et vise à rendre compte de la continuité des connaissances construites dans les différents espaces du dispositif *scénario-enquête*. À l'issue d'une recherche du matériel demandé par les consignes de l'enquête (par exemple le détendeur pilote) dans l'environnement virtuel, les stagiaires manipulent physiquement le même équipement dans le chantier-école (Figure 15).

Figure 15 : Manipulation des maquettes de robinets.
Figure 15: Handling the valves mock-ups



- 54 Dans l'extrait suivant, le formateur demande aux stagiaires de manœuvrer une vanne pneumatique, autrement dit une vanne commandée par un circuit d'air comprimé pour la mettre en position de sécurité. Le formateur pose d'abord des questions sur les caractéristiques techniques des vannes identifiées dans l'environnement virtuel. Son objectif est de faire un rappel pour les stagiaires qui n'ont pas su répondre aux questions lors de l'étape de l'enquête dans l'environnement virtuel. Ensuite, il demande aux stagiaires de manœuvrer les vannes dans différentes positions (ouvertes, fermées, en position de sécurité, en automatique). Un des stagiaires, Vincent, manœuvre la vanne pour la mettre en automatique, c'est-à-dire une position permettant à la salle de

commande de contrôler la vanne à distance. Les positions en automatique et ouverte sont très proches, car seulement quelques millimètres les séparent. Le stagiaire, en manœuvrant la vanne, se baisse pour examiner de près la course de la vanne et la tige de la vanne en train de bouger (Figure 16).

Figure 16 : Stagiaire observant la tige de la vanne lors de son ouverture.

Figure 16: Trainee views the valve stem as it opens



- 55 Il cherche à se créer des repères visuels contribuant à la construction de sa vision professionnelle, lui permettant de savoir si la vanne est en train de bouger¹⁶ et à quelle position elle se trouvait (Verbalisation 2). Il renforce ainsi la connaissance par émergence inductive « *la position en automatique des vannes pneumatiques est très proche de la position ouverte* » (émergence inductive ou assimilation, signe n+6, Figure 17) et a créé une nouvelle connaissance par induction, à partir du cas observé « *une vanne pneumatique quand elle se remet en position automatique depuis la position ouverte fait l'équivalent de 3 tours de volant* » (induction, signe n+7, Figure 17).

Verbalisation 2 : Extrait de l'autoconfrontation avec Vincent.

Verbalisation 2: *Excerpt from the self-confrontation interview with Vincent*

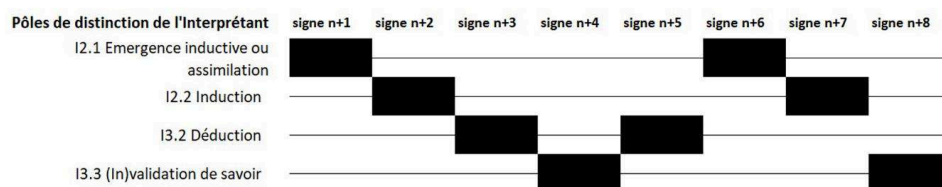
C. : Et là qu'est-ce que tu regardes ?

Vincent : Là je regardais, il y a la tige de vanne quand tu lâches l'air qui revient dans sa position, du coup il y a la tige de vanne qui descend. Du coup je regardais la course de la vanne. Elle descend un tout petit peu, et tu vois, c'est peut-être l'équivalent de trois tours de volant... J'ai envie sur une vraie vanne d'avoir l'œil pour voir si elle manœuvre ou pas, parce que comme elle ne manœuvre pas beaucoup j'ai du mal à voir si oui ou non elle bouge, parce qu'elle ne bouge vraiment pas beaucoup. Donc à chaque fois que j'en vois une qui manipe je regarde pour voir comment elle bouge. Pour repérer la course de la vanne. Pour développer un œil, voir ce qu'elle manipe, trouver un point fixe.

- 56 Ces connaissances sont en continuité avec celles créées ou renforcées lors de la précédente étape du dispositif lors de l'utilisation de l'environnement virtuel. En effet, lors de la navigation dans l'environnement numérique, le stagiaire a identifié l'environnement dans lequel se trouve la vanne pneumatique recherchée dans le bâtiment. Aussi peut-il construire des connaissances en lien avec les autres organes qui se trouvent à proximité, comme la présence d'un point chaud potentiellement dosant. Cette connaissance est mobilisée par le stagiaire lors de la manœuvre des maquettes de vannes sur le chantier-école. Il a expliqué qu'il allait manœuvrer la vanne à l'aide de la chambre d'air pour réaliser la manœuvre au plus vite en raison de la proximité d'un point chaud (émergence inductive ou assimilation). La Figure 17 illustre les pôles de distinction de l'Interprétant lors de cet extrait et illustre les deux cas de figure amenant à une (in)validation de savoir : soit à partir d'une déduction (signe n+3) soit à partir d'une induction (signe n+8).

Figure 17 : Représentation graphique des différents pôles de distinction de l'Interprétant lors de la manœuvre des vannes sur le chantier-école.

Figure 17: Diagram of the Interpretant's areas of distinction when operating the valves in the onsite training workplace



6. Discussion

- 57 Nos résultats contribuent à mettre en lumière les différentes formes d'inférences réalisées par les stagiaires dans le cadre du dispositif *scénario-enquête*, ainsi que l'intérêt de la dynamique de formulation d'hypothèses explicatives par abduction dans l'activité réflexive lorsque les boucles d'inductions et déductions sont insuffisantes. Dans cette discussion, nous présentons une réflexion portant sur l'utilité de penser les espaces de formation comme des « laboratoires de curiosités » (Citton, 2018), qui encourageraient la circulation sémiotique dans les dispositifs hybrides.
- 58 L'inférence abductive, c'est-à-dire le processus de formulation d'hypothèses explicatives, est un des trois raisonnements proposés par Peirce (1978), qui permet la découverte et la création de nouveauté (Flandin, Salini, Drakos, & Poizat, 2021 ; Sève, Saury, Theureau, & Durand, 2002 ; Zeitler, 2006). Nos résultats confirment empiriquement les hypothèses théoriques ainsi que la position de Peirce qui refuse d'associer l'abduction à un fait de hasard ou à une intuition. Catellin (2014), qui rapproche l'abduction et la sérendipité – au cœur du processus de la découverte –, ajoute qu'il convient de ne pas définir le processus de découverte par sérendipité comme un « hasard heureux ». En effet, la dimension « hasardeuse » ne conditionne pas une découverte. Catellin ajoute que le hasard peut jouer un rôle dans la découverte puisqu'il peut faire surgir un événement perturbateur ou stimuler un raisonnement imaginatif, mais ne suffit pas pour réaliser une découverte. En effet, l'acteur doit également interpréter l'événement qui s'offre à lui et cette interprétation ne relève pas

du hasard (Catellin, 2014). Nos résultats montrent que ce n'est pas par hasard ou à la suite d'une intuition instinctive (ou spontanée) que Fabrice a fait le lien entre les deux domaines d'expérience (fonctionnement du détenteur pilote et fonctionnement du régulateur de vitesse de sa voiture). En réalité, ce dernier a mobilisé, mis en relation et aussi invalidé une multitude de types lui permettant de faire émerger l'analogie et l'abduction qui lui ont permis de répondre à la question malgré le caractère hypothétique de sa réponse.

- 59 Nos résultats sur l'activité réflexive ou interprétative des stagiaires lors du dispositif *scénario-enquête* montrent que le processus d'abduction est encouragé et adopté dans deux cas de figure¹⁷ : (i) l'absence de types ou relation qui permettent à l'acteur de comprendre la situation, et (ii) la difficulté à discerner les types et à mettre en relation les types pertinents pour la situation. C'est-à-dire que dans le premier cas de figure l'acteur est en absence de connaissances lui permettant d'avancer dans sa recherche, tandis que dans le deuxième cas de figure il mobilise des connaissances construites par déduction hypothétique (qui peuvent se révéler fausses) et qui vont trop spécifier l'objet recherché par l'acteur qui va donc écarter certaines options. En effet, en mobilisant une multitude de types, le formé s'était retrouvé bloqué dans son raisonnement, car ces types ont trop restreint et limité le champ de sa recherche. L'abduction dans ces deux cas permet (i) de mettre en relation des types pour créer des hypothèses explicatives, mais aussi dans le deuxième cas (ii) d'invalider des types qui bloquaient provisoirement le champ des possibles.
- 60 Cette impossibilité d'avancer dans son enquête peut être traduite, dans une moindre mesure, par le vécu d'« impasse » (Salini, & Durand, 2020 ; Salini, & Poizat, 2021). Le vécu d'impasse porte sur « le repli de la dynamique de signification, l'impossibilité d'aller de l'avant, le sentiment de souffrance, le repli sur soi-même, et l'impossibilité d'aboutir à une généralisation viable par rapport à l'événement perturbateur » (Salini & Poizat, 2021, p. 13). Ce vécu d'impasse ou de sidération dans une situation qui ne fait pas sens a été documenté dans des situations visant le développement des acteurs, comme le Théâtre du Vécu (Salini & Durand, 2016) et les exercices de gestion de crise (Flandin *et al.*, 2018, 2021).
- 61 Les abductions observées se sont accompagnées de tourbillons de doutes, parfois d'une invalidation de types, mais également d'un recours à l'imagination permettant de tisser des « analogies aventureuses » (Theureau, 2015) de domaines d'expérience différents, comme l'analogie entre le régulateur de vitesse et le détenteur pilote. En ce sens, le rôle de l'imagination est également central dans la production d'abductions, puisqu'elle permet de mettre en lien des « analogies aventureuses », c'est-à-dire les éléments que l'acteur n'aurait pas rapprochés s'il ne s'était pas retrouvé dans une incompréhension ou une « impasse » (Salini & Durand, 2016).
- 62 Ces résultats empiriques sont en accord avec les travaux de Paavola (2021), qui propose le concept de « stratégies » d'abduction pour rendre compte des nombreux mouvements inférentiels pris en compte en même temps. Cela a été illustré par le deuxième cas d'étude, notamment par la mise en évidence des boucles de déduction-induction-déduction selon lesquelles les deux stagiaires ont réalisé leur recherche. Les résultats illustrent également une parmi les stratégies d'abduction proposées par Paavola, selon laquelle les raisonnements abductifs sont favorisés par les personnes qui sont en quête de nouvelles idées, tout en gardant à l'esprit le statut hypothétique de ces connaissances et que toutes les théories sont fondamentalement des hypothèses qui

- peuvent s'avérer fausses ou insuffisantes d'une manière ou d'une autre (Paavola, 2004, 2021).
- 63 Lors de la conception de dispositifs de formation, l'aide au développement de modalités de raisonnement par abduction pour favoriser l'apprentissage est souvent négligée, au profit de modalités de raisonnement par induction et par déduction qui prédominent dans la pensée « traditionnelle » de l'enseignement (Cunningham, Schreiber, & Moss, 2005 ; Flandin, Salini, Drakos, & Poizat, 2021). Ainsi, les formateurs expliquent les règles et savoirs théoriques aux formés qui sont censés les mettre en application à travers divers exercices et résolutions de problèmes. À l'inverse, dans une démarche de conception visant à encourager l'abduction, les formés sont incités à observer et identifier des éléments étonnants et à les interpréter, ce qui encourage la formulation d'hypothèses explicatives et le développement d'une réflexivité située (Ahmed & Parsons, 2013 ; Hwang *et al.*, 2019 ; Oh, 2011) et la mise en relation de connaissances issues de domaines d'expérience différents.
- 64 À travers l'étude des abductions et de l'interprétation que les acteurs font du fait ou de la circonstance surprenante, il devient possible de comprendre le rôle et la forme des épisodes de réflexivité dans les recherches. Cela illustre également l'intérêt de penser les espaces de formation comme des « laboratoires de curiosité » (Citton, 2018), c'est-à-dire comme des espaces ou des objets qui encouragent la curiosité et qui permettent d'« aller au-delà de ce qui nous arrive comme attendu » (p. 23). Ces espaces favorisent « l'attention réfléchie » (Citton, 2014) et offrent la possibilité de faire un « pas de côté » pour encourager les raisonnements abductifs par des analogies, métaphores et similitudes. De plus, ces « laboratoires de curiosité » pourraient permettre non seulement l'interprétation d'une circonstance curieuse à partir d'un faisceau hypothétique de relations provisoires et plausibles, mais aussi la construction de nouvelles connaissances à partir d'une mise en relation de connaissances que les acteurs n'avaient pas mis en relation avant que la circonstance curieuse les amène à entreprendre cette enquête.
- 65 Un principe de conception d'un « laboratoire de curiosités » reposerait sur *l'encouragement des circulations sémiotiques* (i.e., encourager l'enchaînement et l'alternance entre différents registres sémiotiques tels que les abductions, déductions, inductions, analogies et métaphores). Ce principe de conception s'ancre dans les hypothèses théoriques du programme de recherche, mais également dans les résultats empiriques issus de notre recherche. Il s'appuie également pour partie sur les résultats d'autres recherches portant sur la vidéoformation (Flandin, Leblanc, & Ria, 2017 ; Leblanc, 2012, 2014), la simulation (Horcik & Durand, 2011), les exercices de gestion de crise (Flandin, Poizat, & Durand, 2018 ; Flandin, Poizat, & Durand, 2017) et un dispositif de formation développementale à médiation artistique nommé le Théâtre du Vécu¹⁸ (Salini & Durand, 2016 ; Salini & Poizat, 2021).
- 66 Enfin, les résultats mettent en lumière la continuité et le « pontage » des espaces du dispositif et l'intérêt de l'hybridité pour répondre aux besoins pédagogiques des agents de terrain. En effet, la visualisation de l'emplacement exact de la vanne dans le bâtiment réacteur à l'aide de l'outil de réalité virtuelle a permis la construction de connaissances relatives aux organes et spécificités de l'environnement autour de cette vanne (ex., présence d'un point chaud). Le troisième extrait illustre comment la manœuvre de la maquette en chantier-école, quant à elle, a permis au stagiaire d'observer la course de la vanne, de développer sa vision professionnelle, et de

construire par induction une nouvelle règle (« la course d'une vanne pneumatique entre la position ouverte et la position automatique est équivalente à trois tours de volant »). Une des perspectives de ce travail serait de questionner les circulations sémiotiques dans les différentes étapes du dispositif et dans les différents lieux (temps d'immersion et temps de formation en salle).

BIBLIOGRAPHIE

- Ahmed, S., & Parsons, D. (2013). Abductive science inquiry using mobile devices in the classroom. *Computers & Education*, 63, 62-72.
- Anguelov, D., Dulong, C., Filip, D., Frueh, C., Lafon, S., Lyon, R., Ogale, A., Vincent, L., & Weaver, J. (2010). Google Street View: Capturing the World at Street Level. *Computer*, 43(6), 32-38.
- Arendarski, B., Termath, W., & Mecking, P. (2008). Maintenance of Complex Machines in electric power systems using virtual reality techniques. *Conference record of the 2008 IEEE International Symposium on Electrical Insulation*, 483-487.
- Arnaldi, B., Guitton, P., & Moreau, G. (2018). *Réalité virtuelle et réalité augmentée : Mythes et réalités*. London : ISTE Group.
- Avveduto, G., Tanca, C., Lorenzini, C., Tecchia, F., Carrozzino, M., & Bergamasco, M. (2017). Safety training using virtual reality: A comparative approach. In L. T. De Paolis, P. Bourdot, & A. Mongelli (Eds.), *Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics: 4th International Conference, AVR 2017, Ugento, Italy, June 12-15, 2017, Proceedings, Part I 4* (pp. 148-163). Springer International Publishing.
- Azéma, G. (2015). *L'improvisation selon les enseignants entrant dans le métier : une approche en anthropologie cognitive*. Thèse de doctorat, Université Paul Valéry-Montpellier III.
- Barab, S., & Squire, K. (2004). Design-based research: Putting a stake in the ground. *Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 1-14.
- Burkhardt, J.-M., Corneloup, V., Garbay, C., Bourrier, Y., Jambon, F., Luengo, V., Job, A., Cabon, Ph., Benabbou, A., & Lourdeaux, D. (2016). Simulation and virtual reality-based learning of non-technical skills in driving: Critical situations, diagnostic and adaptation. *IFAC-PapersOnLine*, 49(32), 66-71.
- Burkhardt, J.-M., Lourdeaux, D., & Lequatre, F. (2005). Environnements Virtuels pour l'Apprentissage : De l'image d'Epinal à la réalité des usages et des configurations socio-techniques. *Proceedings of the 17th Conference on l'Interaction Homme-Machine*, 163-170.
- Catellin, S. (2004). L'abduction : une pratique de la découverte scientifique et littéraire. *Hermes, La Revue*, 39(2), 179-185.
- Catellin, S. (2014). *Sérendipité. Du concept au conte*. Paris : Seuil.
- Citton, Y. (2014). *Pour une écologie de l'attention*. Paris : Seuil.
- Citton, Y. (2018). De l'écologie de l'attention à la politique de la distraction : Quelle attention réflexive ? In *Bébé attentif cherche adulte(s) attentionné(s)* (pp. 11-27). Toulouse : Érès.

- Creem-Regehr, S. H., Stefanucci, J. K., & Bodenheimer, B. (2022). Perceiving distance in virtual reality: theoretical insights from contemporary technologies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 378(1869), 20210456.
- Cunningham, D. J., Schreiber, J. B., & Moss, C. M. (2005). Belief, doubt and reason: CS Peirce on education. *Educational Philosophy and Theory*, 37(2), 177-189.
- Design-Based Research Collective. (2003). Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5-8.
- De Sousa, M. P. A., Filho, M. R., Nunes, M. V. A., & Lopes, A. da C. (2010). Maintenance and operation of a hydroelectric unit of energy in a power system using virtual reality. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 32(6), 599-606.
- Drakos, A. (2021). *Ergonomie des situations de formation professionnelle et environnements virtuels : le cas de la formation des agents de terrain*. Thèse de doctorat, Université de Genève.
- Drakos, A., Flandin, S., Filippi, G., Palaci, F., Veyrunes, P., & Poizat, G. (2021). From exploration to re-enactment: Instructional uses of a desktop virtual environment for training nuclear plant field operators. *Vocations and Learning*, 14, 327-351.
- Dugdale, J., Pavard, B., Pallamin, N., El Jed, M., & Maugan, C. L. (2004). Emergency fire incident training in a virtual world. *Proceedings ISCRAM*, 167, 103.
- El Jed, M., Pallamin, N., Dugdale, J., & Pavard, B. (2004). Modelling character emotion in an interactive virtual environment. In *AISB 2004 Convention, Symposium on Language, Speech and Gesture for Expressive Characters*.
- Flandin, S., Leblanc, S., & Ria, L. (2017). Principes de conception d'environnements numériques de formation et modélisations de l'activité au travail. In *4^e colloque international de didactique professionnelle*, Lille.
- Flandin, S., Poizat, G., & Durand, M. (2017). Développer la résilience en renouvelant la formation à et pour la sécurité : une recherche en cours. In *52^e Congrès International Société d'Ergonomie de Langue Française*.
- Flandin, S., Poizat, G., & Durand, M. (2018). Improving resilience in high-risk organizations: principles for the design of innovative training situations. *Development and Learning in Organizations: An International Journal*, 32(2), 9-12.
- Flandin, S., Salini, D., Drakos, A., & Poizat, G. (2020). Conceção de formações que facilitem o surgimento de novos significados face a acontecimentos inéditos e críticos. *Laboreal*, 16(2).
- Flandin, S., Salini, D., Drakos, A., & Poizat, G. (2021). Concevoir des formations facilitant l'émergence de nouvelles significations face à des événements inédits et critiques. *Activités*, 18(1). <https://journals.openedition.org/activites/6198>
- Fontanille, J. (2008). *Pratiques sémiotiques*. Paris : PUF.
- Fréjus, M. (1999). *Analyser l'activité d'explication pour concevoir en termes d'aide : application à la formation et à la négociation commerciale* Thèse de doctorat, Université Paris 5.
- Fuchs, P., Moreau, G., Berthoz, A., & Vercher, J.-L. (2003). *Le traité de la Réalité Virtuelle – Volume 1 : L'homme et l'environnement virtuel* (3^e éd., 1-5). Paris : Presse des Mines.
- García, A. A., Bobadilla, I. G., Figueroa, G. A., Ramírez, M. P., & Román, J. M. (2016). Virtual reality training system for maintenance and operation of high-voltage overhead power lines. *Virtual Reality*, 20, 27-40.

- Goodwin, C. (1994). Professional Vision. *American Anthropologist*, 96(3), 606-633.
- Greengard, S. (2019). *Virtual reality*. Cambridge : MIT Press.
- Guile, D., & Griffiths, T. (2001). Learning through work experience. *Journal of education and work*, 14(1), 113-131.
- Horcik, Z., & Durand, M. (2011). Une démarche d'ergonomie de la formation. Un projet pilote en formation par simulation d'infirmiers anesthésistes. *Activités*, 8(2). <https://journals.openedition.org/activites/2613>
- Hwang, M.-Y., Hong, J.-C., Ye, J.-H., Wu, Y.-F., Tai, K.-H., & Kiu, M.-C. (2019). Practicing abductive reasoning: The correlations between cognitive factors and learning effects. *Computers & Education*, 138, 33-45.
- Kelly, J. W. (2022). Distance perception in virtual reality: A meta-analysis of the effect of head-mounted display characteristics. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 29(12).
- Kircali, E., Drakos, A., & Nelson, J. (2022). Formation et réalité virtuelle : analyse de l'activité lors d'une formation incendie classique et une formation en réalité virtuelle. In *Actes du 56e Congrès de la SELF, Vulnérabilités et risques émergents : penser et agir ensemble pour transformer durablement. Genève, 6 au 8 juillet 2022*, 432-438.
- Leblanc, S. (2012). *Conception d'environnements vidéo numériques de formation. Développement d'un programme de recherche technologique centré sur l'activité dans le domaine de l'éducation*. Habilitation à diriger des recherches, Université Paul-Valéry Montpellier 3.
- Leblanc, S. (2014). Vidéo formation et transformations de l'activité professionnelle. *Activités*, 11(2). <https://journals.openedition.org/activites/968>
- Leblanc, S., Bouchot, H., & Secheppet, M. (2021). Modélisation théorique de l'expérience mimétique et cours d'action : Analyse de situations de formation en enseignement, santé, et sport. *Activités*, 18(1). <https://journals.openedition.org/activites/6249>
- Leder, J., Horlitz, T., Puschmann, P., Wittstock, V., & Schütz, A. (2019). Comparing immersive virtual reality and powerpoint as methods for delivering safety training: Impacts on risk perception, learning, and decision making. *Safety Science*, 111, 271-286.
- Lewis, T. M., Aggarwal, R., Rajaretnam, N., Grantcharov, T. P., & Darzi, A. (2011). Training in surgical oncology – The role of VR simulation. *Surgical Oncology*, 20(3), 134-139.
- Lourdeaux, D. (2001). *Réalité virtuelle et formation : conception d'environnements virtuels pédagogiques*. Thèse de doctorat, École nationale supérieure des Mines de Paris.
- Matsubara, Y., & Yamasaki, T. (2002). VR-based interactive learning environment for power plant operator. *International Conference on Computers in Education, 2002. Proceedings*. 922-923.
- Oh, P. S. (2011). Characteristics of abductive inquiry in earth science: An undergraduate case study. *Science Education*, 95(3), 409-430.
- Paavola, S. (2004). Abduction as a logic and methodology of discovery: The importance of strategies. *Foundations of Science*, 9(3), 267-283.
- Paavola, S. (2021). Practical abduction for research on human practices: Enriching rather than testing a hypothesis. In J. R. Shook & S. Paavola (Eds.), *Abduction in cognition and action: logical reasoning, scientific inquiry, and social practice* (pp. 31-48). Cham : Springer International Publishing.
- Palaci, F. (2009). *Les agents de terrain du nucléaire : Comprendre leur activité pour contribuer à la conception d'un outil d'aide informatique*. Mémoire de master professionnel en ergonomie, CNAM.

- Palaci, F., Filippi, G., & Salembier, P. (2012). Coordination and artifacts in joint activity: The case of tagging in high-risk industries. *Work*, 41(1), 69-75.
- Pavard, B., & Dugdale, J. (2002). From representational intelligence to contextual intelligence in the simulation of complex social systems. *CASOS conference*. Pittsburg.
- Pedram, S., Palmisano, S., Skarbez, R., Perez, P., & Farrelly, M. (2020). Investigating the process of mine rescuers' safety training with immersive virtual reality: A structural equation modelling approach. *Computers & Education*, 153, 103891.
- Pedram, S., Perez, P., Palmisano, S., & Farrelly, M. (2017). Evaluating 360-virtual reality for mining industry's safety training. *International Conference on Human-Computer Interaction*, 555-561.
- Peirce, C. S. (1978). *Écrits sur le signe*. Paris : Seuil.
- Poizat, G., Flandin, S., & Theureau, J. (2023). A micro-phenomenological and semiotic approach to cognition in practice: A path toward an integrative approach to studying cognition-in-the-world and from within. *Adaptive Behavior*, 31(2), 109-125.
- Poizat, G., & San Martin, J. (2020). Le programme de recherche « cours d'action » : repères historiques et conceptuels. *Activités*, 17(2). <https://journals.openedition.org/activites/5277>
- Renner, R. S., Velichkovsky, B. M., & Helmert, J. R. (2013). The perception of egocentric distances in virtual environments — A review. *ACM Computing Surveys*, 46(2), 1-40.
- Ródenas, J., Zarza, I., Burgos, M. C., Felipe, A., & Sánchez-Mayoral, M. L. (2004). Developing a virtual reality application for training nuclear power plant operators: setting up a database containing dose rates in the refuelling plant. *Radiation protection dosimetry*, 111(2), 173-180.
- Rosch, E. H. (1973). Natural categories. *Cognitive Psychology*, 4(3), 328-350.
- Rosen, J. M., Soltanian, H., Redett, R. J., & Laub, D. R. (1996). Evolution of virtual reality [Medicine]. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 15(2), 16-22.
- Ruikar, D. D., Hegadi, R. S., & Santosh, K. C. (2018). A systematic review on orthopedic simulators for psycho-motor skill and surgical procedure training. *Journal of Medical Systems*, 42, 1-21.
- Salini, D., & Durand, M. (2016). Événement dramatique et éducation événementielle. *Le Théâtre du Vécu : Art, Soins, Éducation*, 265-276.
- Salini, D., & Durand, M. (2020). Overcoming a lived experience of personal impasse by creating a theatrical drama: An example of promoting resilience in adult education. In L. McKay, G. Barton, S. Garvis, & V. Sappa (Eds.), *Arts-based research, resilience and well-being across the lifespan*, 169-189. Cham : Springer International Publishing.
- Salini, D., & Poizat, G. (2021). Dénouements possibles de l'expérience d'impasse : Pistes de compréhension et perspectives développementales. *L'orientation scolaire et professionnelle*, 50(1), 69-92.
- San Martin, J. (2015). *La culture d'action des enseignants de l'école primaire au Chili : contribution au développement d'une anthropologie énaïve*. Thèse de doctorat, Université Toulouse le Mirail, Pontificia universidad católica de Chile (Santiago de Chile).
- Sanchez, É., & Monod-Ansaldi, R. (2015). Recherche collaborative orientée par la conception : un paradigme méthodologique pour prendre en compte la complexité des situations d'enseignement-apprentissage. *Éducation et didactique*, 2, 73-94.

- Sappa, V., & Aprea, C. (2014). Conceptions of connectivity: How Swiss teachers, trainers and apprentices perceive vocational learning and teaching across different learning sites. *Vocations and Learning*, 7, 263-287.
- Sartre, J.-P. (1943). *L'être et le néant*. Paris : Gallimard.
- Saury, J., Adé, D., Gal-Petitfaux, N., Huet, B., Sève, C., & Trohel, J. (2013). *Actions, significations et apprentissages en EPS. Une approche centrée sur les cours d'expériences des élèves et des enseignants*. Éditions EP&S.
- Sebok, A., Nystad, E., & Droivoldsmo, A. (2002). Improving safety and human performance in maintenance and outage planning through virtual reality-based training systems. In *Proceedings of the IEEE 7th Conference on Human Factors and Power Plants*, 8-8.
- Secheppet, M. (2020). *Apprendre dans un environnement de formation réel et simulé : articulations d'expérience dans l'activité des cochers-meneurs d'attelage*. Thèse de doctorat, Université de Montpellier.
- Sève, C., Saury, J., Theureau, J., & Durand, M. (2002). La construction de connaissances chez des sportifs de haut niveau lors d'une interaction compétitive. *Le travail humain*, 65(2), 159-190.
- Shawver, D. M. (1997). Virtual actors and avatars in a flexible user-determined-scenario environment. *Proceedings of IEEE 1997 Annual International Symposium on Virtual Reality*, 170-177.
- Soler, L., Nicolau, S., Schmid, J., Koehl, C., Marescaux, J., Pennec, X., & Ayache, N. (2004). Virtual reality and augmented reality in digestive surgery. In *Third IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, 278-279.
- Theureau, J. (2004). *Le cours d'action : Méthode élémentaire*. Toulouse : Octarès Éditions.
- Theureau, J. (2006). *Le cours d'action : Méthode développée*. Toulouse : Octarès Éditions.
- Theureau, J. (2010). Les entretiens d'autoconfrontation et de remise en situation par les traces matérielles et le programme de recherche « cours d'action ». *Revue d'anthropologie des connaissances*, 4(2), 287-322.
- Theureau, J. (2015). *Le cours d'action : l'enaction & l'expérience*. Toulouse : Octarès Éditions.
- Theureau, J., Drakos, A., Poizat, G., & Salini, D. (sous presse). Le Signe hexadique, le Cours d'expérience et le Cours d'enaction : Contribution de / à la Sémiotique ?. In A. Biglari (Ed.), *La Sémiotique et ses potentiels*. Paris : Éditions Kimé.
- Theureau, J., Filippi, G., Saliou, G., & Vermersch, P. (2001). A methodology for analyzing the dynamic collective organization of nuclear power plant operators in simulated accidental situations. *The Cognitive Work Process: Automation and Interaction*. Neubiberg, Germany.
- Theureau, J., Jeffroy, F., & Vermersch, P. (2000). Controlling a nuclear reactor in accidental situations with symptom-based computerized procedures: a semiological & phenomenological analysis. *CSEPC 2000 Proceedings*, 22-25.
- Tynjälä, P. (2009). Connectivity and transformation in work-related learning – Theoretical foundations. In *Towards integration of work and learning: Strategies for connectivity and transformation* (pp. 11-37). Dordrecht : Springer Netherlands.
- Varela, F. J. (1987). *L'individualité : L'autonomie du vivant*. Paris : Le Seuil.
- Zeitler, A. (2006). *Apprentissage et interprétation des situations : le cas d'apprentis enseignants de voile*. Thèse de doctorat, CNAM.

Zhang, G., Zhao, S., & Xu, Y. (2003). A virtual reality based arthroscopic surgery simulator. In *IEEE International Conference on Robotics, Intelligent Systems and Signal Processing, 2003. Proceedings. 2003, 1, 272-277*.

NOTES

1. Le terme en français proposé par Sanchez et Monod-Ansaldi (2015), est « recherche orientée par la conception ».
2. Nous qualifions réflexive ou interprétative l'activité des stagiaires lors de la réalisation du dispositif, mais cette activité réflexive reste incarnée et implique des actions. L'activité de manipulation des maquettes sur le chantier-école (illustrée à partir du troisième extrait empirique) est également hautement réflexive.
3. Nous utilisons le terme de types en référence aux travaux de Rosch (1973) comme synonyme de connaissances ou de savoirs.
4. La dénomination officielle est technicien d'exploitation. Le terme agent de terrain est celui le plus employé par les acteurs eux-mêmes et par l'ensemble de l'équipe de conduite. Les plus anciens emploient parfois le terme de rondier.
5. Le chantier-école est un espace de formation qui reproduit de manière simplifiée un environnement industriel composé de tuyauteries, vannes, pompes, etc. Les chantiers-écoles sont destinés à permettre aux différents intervenants d'acquérir et de s'entraîner aux gestes techniques de la maintenance et aux règles de base de la sécurité au travail et de la radioprotection.
6. Zone contrôlée : zones potentiellement exposées aux rayonnements dans une centrale nucléaire en fonctionnement.
7. Ce besoin de formation a évolué lors des boucles itératives.
8. Dans un référentiel égocentrique, l'orientation et les mouvements respectent la position et l'orientation des yeux, de la tête et du corps, comme une vue à la première personne, tandis que dans le référentiel exocentrique la position, l'orientation et les mouvements sont définis dans des coordonnées externes au corps (Fuchs, Moreau, Berthoz, & Vercher, 2003), par exemple une vue de l'installation en survol.
9. Nous empruntons ici, à la suite de Latour (2015), le terme d'instauration proposé par Souriau. Ce terme implique l'idée que quelque chose est construit, créé, fabriqué. Mais au contraire des termes « construire », « fabriquer » ou « créer », il permet de s'extraire d'un constructivisme qui considérerait trop vite que ce qui se fabrique est totalement déterminé par celui qui assume de « faire » ou de « créer ». En d'autres termes, la notion d'instauration est préférée à celle de construction en cohérence avec la notion de couplage.
10. Il a été qualifié ainsi en référence au sous-titre de l'ouvrage de Claude Lévi-Strauss dont le titre est *La pensée sauvage* et qui porte sur la « logique des signes » dans une culture donnée (Theureau *et al.*, sous presse).
11. Le terme observatoire renvoie à l'ensemble d'outils et méthodes de constitution de données, fondé théoriquement en relation organique avec les hypothèses d'énaction, de conscience préreflexive et de l'activité-signé. L'atelier méthodologique correspond à l'ensemble des outils et méthodes d'analyse et de modélisation de l'activité humaine.
12. Au cours de chaque séance, nous nous sommes focalisés sur l'activité d'un ou deux stagiaires ainsi que le formateur, et non tous les stagiaires présents lors de la séance.
13. Les prénoms sont fictifs pour garantir l'anonymat des stagiaires ayant participé à cette recherche.
14. Les mots « vanne » et « robinet » seront utilisés par la suite comme synonymes, même si d'un point de vue technique il y a des différences entre ces deux termes.

15. Accumulateur BCD (accu BCD) : les accumulateurs BCD sont des réservoirs sous pression se vidant automatiquement dans le circuit de refroidissement du réacteur, lorsque sa pression est anormalement basse.

16. Le mouvement de la vanne était difficilement perceptible, car elle bougeait lentement et de quelques millimètres, même en étant devant la vanne, le mouvement pouvait ne pas être perçu.

17. Une autre recherche réalisée dans le cadre du dispositif *scénario-enquête* (Drakos, 2021), qui n'est pas illustrée dans cet article, rend compte de ce deuxième cas de figure.

18. Théâtre du Vécu : dispositif de formation développementale à médiation artistique qui vise à relancer la trajectoire de vie des participants à partir de la mise en récit, puis de la mise en scène, de leurs propres vécus (Salini & Durand, 2016 ; Salini & Poizat, 2020).

RÉSUMÉS

Cet article traite de l'activité réflexive de formés dans un dispositif de formation conçu pour les agents de terrain de l'industrie nucléaire. Ce dispositif, nommé *scénario-enquête*, est le produit d'une démarche de recherche orientée par la conception, qui vise à aider les stagiaires à s'approprier les caractéristiques spatiales et fonctionnelles d'un bâtiment industriel complexe, dont la connaissance est cruciale pour leur futur métier d'agent de terrain. Ce dispositif peut être qualifié d'hybride au sens où il combine différents espaces et modalités pédagogiques (un environnement virtuel dans lequel naviguent les stagiaires, un chantier-école, une salle de formation) et objets techniques (un modèle numérique 3D complet du bâtiment, des maquettes de matériel à échelle 1, des vannes, de la documentation technique opérationnelle utilisés en situation réelle). L'analyse de l'activité réflexive des formés s'appuie sur l'analyse sémiologique développée dans le cadre du programme cours d'action, et dans ses rapports dialogiques avec la sémiotique de Peirce. Ainsi, l'activité réflexive qui se manifeste lors de l'utilisation du dispositif *scénario-enquête* est modélisée à l'aide de trois catégories d'inférences : abduction, déduction et induction. Les résultats suggèrent (i) un rôle important des raisonnements à dominante abductive dans la construction, renforcement, invalidation et mise en relation des connaissances, et (ii) un rôle déterminant des analogies dans la mise en relation des connaissances acquises et de nouvelles connaissances par abduction. Cet article offre l'occasion de questionner les situations de formation qui privilégient principalement les inductions et les déductions. Il serait préférable de proposer des outils pédagogiques qui encouragent les raisonnements d'abduction, comme des « laboratoires de curiosités », espaces qui incitent à la découverte et permettent d'aller au-delà des connaissances attendues, favorisant ainsi l'alternance entre différents registres sémiotiques.

This article examines the reflexive activity of field agents in a training device created for the nuclear industry. Designed by the researchers and a trainer, this device, known as *scenario-inquiry*, is intended to help trainees gain an understanding of the spatial and functional characteristics of a complex industrial building, essential knowledge for their future job as field operators. The device might be described as hybrid in the sense that it combines various teaching spaces and methods (a virtual environment for trainees to browse, an onsite training workplace, a traditional classroom) as well as several technical objects (a complete 3D digital model of the building, full-scale models of valves and operational technical documentation used in work situations). The semio-logical analysis stemming from the course-of-action framework, and its dialogical relationship with Peirce's semiotics, serve as the foundation for understanding the

operators' training activities. Abduction, deduction, and induction are the three types of inference that define their interpretative activity when using the scenario-inquiry device. Abductive inference is the process of formulating explanatory hypotheses enabling the discovery and creation of novelty. Our results indicate (i) the determining role of abductive reasoning in the creation, reinforcement, invalidation and connection of knowledge, and (ii) the essential role of analogies in the linking of acquired knowledge and new knowledge by abduction. This article offers the opportunity to critically examine training scenarios that place emphasis on inductions and deductions. Offering educational resources that support abductive reasoning—such as “curiosity laboratories,” which are learning settings that inspire people to explore and go beyond the boundaries of what is expected of them—would be ideal. This will encourage trainees to switch between a range of semiotic registers.

INDEX

Mots-clés : abduction, enquête, formation professionnelle, industrie nucléaire, réalité virtuelle, design-based research

Keywords : abductive reasoning, enquiry, virtual reality, vocational training, design-based research, field operator training

AUTEURS

ARTÉMIS DRAKOS

UR FoAP, Institut Agro Dijon, Université Bourgogne Franche-Comté, France
CRAFT, Université de Genève, Suisse

JACQUES THEUREAU

Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique (IRCAM), France

GENEVIÈVE FILIPPI

Equipe FOH, EDF R&D, France

SIMON FLANDIN

CRAFT, Université de Genève, Suisse

GERMAIN POIZAT

CRAFT, Université de Genève, Suisse