

---

# *Contribution de l'ergonomie à la conception de collaborations Hommes-Technologies dans l'industrie 4.0 : vers la conception de situations capacitantes*

**Nathan Compan**

Université Clermont Auvergne, ACTé, F-63000 Clermont-Ferrand, France.

INSPE Clermont-Auvergne, 36 avenue Jean-Jaurès, 63400 Chamalières

nathan.compan@uca.fr

**Fabien Coutarel**

Université Clermont Auvergne, ACTé, F-63000 Clermont-Ferrand, France.

INSPE Clermont-Auvergne, 36 avenue Jean-Jaurès, 63400 Chamalières

Fabien.COUTAREL@uca.fr

**Daniel Brissaud**

Univ. Grenoble Alpes, CNRS, laboratoire G-SCOP, Grenoble

46, avenue Félix Viallet, 038031 Grenoble

Daniel.brissaud@grenoble-inp.fr

**Géraldine Rix-Lièvre**

Université Clermont Auvergne, ACTé, F-63000 Clermont-Ferrand, France.

INSPE Clermont-Auvergne, 36 avenue Jean-Jaurès, 63400 Chamalières

Geraldine.RIX@uca.fr

---

## **RÉSUMÉ :**

La clinique de l'usage (Bobillier-Chaumon & Clot, 2016) porte l'idée que la technologie est un partenaire de l'opérateur dans son activité. Elle devrait donc permettre à l'opérateur de développer ses capacités d'action et d'initiative en améliorant l'efficacité et le sens dans son activité. L'objectif de nos recherches, liés aux travaux sur l'environnement capacitant (Falzon, 2005), est de penser la conception d'une situation capacitante Homme-Technologie dans le cadre de l'industrie 4.0. Bien que nos résultats montrent que la littérature scientifique sur le sujet du « facteur-humain » en industrie 4.0 est très dispersée, nous avons pu concevoir une grille d'évaluation de la performance de l'interaction humain-technologie. Pour le moment notre contribution est donc principalement théorique et porte sur la définition d'une situation capacitante dans ce cadre du 4.0 ainsi que la création de cette grille d'évaluation. Ces travaux nous permettent de confronter cette vision au terrain par le biais de monographies. Nous prévoyons également d'étudier le travail des concepteurs face à cette approche des situations capacitantes.

## **MOTS-CLÉS**

---



## 1 INTRODUCTION

Au sein d'une usine 4.0 (ou usine du futur), l'opérateur et l'équipement 4.0 (solutions numériques connectées, robotique...) interagissent, le travail de l'opérateur est supposé s'enrichir et sa responsabilité serait accrue. Cependant, ces équipements 4.0, conçus pour répondre aux enjeux de performance industrielle, ne semblent pas permettre aux opérateurs de développer leurs compétences et leurs capacités d'action dans les cas observés. Les technologies actuelles permettent au mieux des démonstrations prometteuses ou des mises en usage opérationnelles mais elles créent alors des systèmes plutôt rigides. Il arrive que certaines technologies soient implantées en « technopush », sans étudier avec finesse l'environnement d'implantation, notamment social, ce qui peut expliquer les résultats mitigés des projets à forte valence technologique. La manière dont sont conduits les projets de conception de nouvelles situations de travail industrielles à forte valence technologique est donc très importante pour en favoriser l'acceptation : c'est-à-dire une performance durable où l'Homme voit ses capacités d'action grandir avec la technologie. Le « facteur humain » est donc largement identifié comme facteur de réussite ou d'échec des implémentations technologiques.

Notre objectif est donc de guider la conception de ces postes de travail collaboratifs de l'usine du futur où l'opérateur et la machine sont un couple uni au sein d'un environnement 4.0. Le but est donc de se concentrer sur les situations de travail où la technologie contribue à une extension des capacités d'action de l'opérateur.

## 2 CADRE THEORIQUE :

### 2.1 D'un environnement capacitant (Falzon, 2005) vers une situation capacitante

En ergonomie et dans des champs théoriques et disciplinaires proches, de nombreux auteurs (Rabardel & Béguin, 2005 ; Clot, 2008 ; Barcellini, Van Belleghem, & Daniellou, 2013, ...) ont insisté sur les rapports développementaux qui lient la technologie et les individus. Ces auteurs invitent les acteurs des projets de conception à s'assurer que la nouvelle technologie et le nouveau service favorisent le développement de l'activité des opérateurs/usagers et surtout ne l'empêchent pas.

Un environnement capacitant, est un environnement qui encourage l'apprentissage selon Falzon (2005). Pour Fernagu-Oudet (2012), l'environnement capacitant est un environnement qui met des ressources à disposition des individus et leur permet de les utiliser. Selon Falzon (2005), il est également favorable au développement du pouvoir d'agir des individus et de leurs dispositions à apprendre. De plus, Falzon (2014), explicite que le caractère développemental d'un environnement capacitant relève d'un environnement qui permet aux individus et aux collectifs de réussir, par exemple en utilisant leurs aptitudes d'une manière efficace et fructueuse. Pour Falzon, les caractéristiques essentielles d'un environnement capacitant, d'un point de vue développemental, sont donc l'apprentissage et l'efficacité : un environnement où les compétences et leur accroissement trouvent des voies d'expression réussies. Dans cette conception de l'environnement capacitant (Falzon, 2005), le développement est largement associé à l'apprentissage et à la croissance de capacités associées. De plus, placer « le caractère capacitant » dans l'environnement, c'est porter implicitement une conception largement exogène du développement. D'autres approches défendent une conception explicitement plus interactionniste du développement, tout en dissociant apprentissage et développement. Récopé et Barbier (2015) distinguent l'ontogénèse (histoire individuelle des changements structuraux) et l'apprentissage. Ils concluent que les transformations ontogénétiques sont développementales et désignent donc un épisode de changement structural de l'activité, une autre « sensibilité à » (Récopé & al., 2019). Selon cette approche, le développement semble donc plutôt se rapporter à tout ce qui relève des possibilités d'action dans le monde à partir d'un changement du rapport au Milieu (Canguilhem, 2001) dont

l'opérateur est l'acteur essentiel. L'opérateur est acteur de l'interaction, normalisateur de son Milieu via son activité (Schwartz, 2007). L'organisation du travail, mais également l'organisation du projet d'implémentation technologique peuvent donc concevoir des possibilités de construire un nouveau rapport au milieu, par exemple par l'institutionnalisation des espaces débat travail. Aussi, il nous paraît important de différencier ce changement de nature du rapport Homme-Milieu (le développement), d'un accroissement des capacités d'action intégré à un rapport Homme-Milieu existant (l'apprentissage). En effet, selon Récopé et Barbier (2015, p. 25), les transformations de type apprentissage « désignent les acquisitions qui, au sein d'un couplage structural inchangé, permettent d'accroître l'efficacité et la compatibilité des interactions ». Au vu de cette distinction, nous avons choisi d'écarter l'aspect développemental (au sens d'un changement du rapport Homme-Milieu) de notre définition d'une situation capacitante. L'implémentation technologique peut tout à fait être associée à un changement développemental, mais cela suppose des conditions particulières, d'accompagnement des acteurs/utilisateurs, nécessairement connus, et dont on aurait pu préalablement identifier qu'un changement de rapport au Milieu sera souhaitable. L'instruction de cette perspective n'est pas au cœur de notre projet, où il s'agit de fournir aux futurs concepteurs de l'industrie 4.0 des repères de conception quant à la conduite de projet relative à la conception. Ces repères sont favorables à la prise en compte du « facteur humain », où les utilisateurs finaux restent le plus souvent largement inconnus. Nous concentrons donc nos travaux sur le volet « apprentissage », tel que nous l'avons défini, et donc l'accroissement des possibilités d'action à l'usage de la technologie. Cet accroissement peut s'accompagner d'un changement de nature du rapport au Milieu, mais nous n'en traitons pas dans ce projet. Dans la même perspective, nous distinguons « environnement » de « situation ». L'environnement, comme nous avons pu l'exprimer, est très exogène et l'individu semble secondaire. La situation traite plutôt de l'interaction entre un environnement et l'individu. Au-delà de cette nuance, nous suivons ici largement Falzon (2005), l'individu possède des capacités qui peuvent (ou non) s'exprimer. La technologie dispose de propriétés qui elles aussi peuvent (ou non) être mobilisées et présenter un intérêt. Le couple est donc fondamental dans notre approche d'une « situation capacitante ».

Notre intérêt dans ce projet porte sur la notion de « situation capacitante ». Cependant, les interactions Homme-Technologie sont abordées dans la littérature de nombreuses manières. Selon les auteurs, l'intérêt est porté sur des dimensions très différentes mais qui peuvent toutes être rassemblées sous le terme « Facteur Humain » et sont potentiellement différentes de notre « situation capacitante ». Notre revue de littérature a d'abord permis de catégoriser ces propositions (2.2). Dans un second temps, nous avons étudié dans quelle mesure nous pouvions proposer une définition d'une situation capacitante (2.3) qui s'enrichirait de cette littérature et qui serait cohérente théoriquement dans notre champ (l'ergonomie de l'activité).

## **2.2 Vers la conception d'une grille d'évaluation de la performance de l'interaction Homme-technologie, les critères liés au « facteur humain »**

Nous avons pu analyser la littérature afin d'en extraire des critères permettant l'évaluation des performances et de l'implantation technologique dans le cadre d'un environnement 4.0. Le « facteur humain » renvoie, selon les auteurs, à des dimensions très différentes qui communiquent difficilement entre elles. Notre analyse de la littérature nous a permis de catégoriser ces dimensions du « facteur humain » autour de :

- L'accompagnement au changement et formes de management. C'est-à-dire les méthodologies pour aider les opérateurs à s'appropriier les nouvelles technologies. Nous trouvons donc des notions telles que l'accompagnement au changement, le type de management, les facilitateurs (Schoville, 2015) ou encore la culture d'entreprise.
- La gestion collective des dilemmes professionnels, notamment du collectif de travail. Nous retrouvons dans cette catégorie l'importance des temps de régulation collective et des espaces débat travail (Falzon, 2005 ; Clot, 2012 ; Rocha, Mollo & Daniellou, 2017) ce qui

inclut les « supportive coworkers ». Nous trouvons également la co-conception de la situation de travail avec les différents acteurs (Bobillier-Chaumon, 2017), la marge de manœuvre situationnelle (Coutarel, Caroly, Vézina & Daniellou, 2015) ainsi que la réflexivité individuelle (Falzon, 2005) où l'opérateur peut prendre ses propres activités comme objet d'analyse.

- L'expérience de la technologie, c'est-à-dire le rapport d'expérience et de signification entretenu par l'individu lors de l'usage de la technologie. Nous y trouvons plusieurs notions clés telles que les affects, émotions et humeurs (Lallemand, 2016), la sensibilité en lien avec les micro-identités (Falaix & Récopé, 2014), les aspects hédoniques de l'expérience utilisateur (Hassenzahl 2003 ; Lallemand, 2016), etc... mais aussi l'acceptation (Bobillier-Chaumon & Dubois, 2009 ; Bobillier-Chaumon, 2016), la conception continuée dans l'usage (Rabardel & Pastré, 2005 ; Vergnaud, 2006) et la transparence opérative (Rabardel, 1995).
- Les dimensions cognitives et sociales de l'interaction individuelle Homme-Technologie concernant les domaines classiques étudiés en IHM, tels que l'acceptabilité sociale, l'utilité et l'utilisabilité (Nielsen, 1994).
- Le non incapacitant. Selon Falzon, un environnement capacitant doit avant tout ne pas être incapacitant (Falzon, 2005), ce qui concerne plusieurs domaines tels que la sécurité (Amalberty, 2013), l'environnement, les différentes formes de variabilités intra et inter-individuelles (singularité du sujet) (Schoville, 2015) ou encore les normes (Schoville, 2015).

Nous avons donc pu travailler à la conception d'une grille d'évaluation de la performance de l'interaction Homme-Technologie fondée sur le « facteur humain » comportant à la fois des dimensions individuelles, collectives, organisationnelles et culturelles. Dans cette grille générale, nous sommes particulièrement attentifs à la définition d'une « situation capacitante », qui met en avant la question du déploiement de l'activité de l'opérateur.

### **2.3 Définition d'une situation capacitante**

Au carrefour des deux analyses de la littérature, la première autour de l'environnement capacitant et la seconde autour du facteur humain, nous proposons de définir une situation capacitante lors de l'usage d'une technologie. Elle serait donc une situation qui permet aux individus concernés d' :

#### *2.3.1 Apprendre une nouvelle manière de faire plus performante*

Apprendre une nouvelle manière de faire performante est le premier but d'une situation capacitante. L'objectif de l'industriel est donc d'identifier les critères de performance pertinents. C'est grâce à une évaluation écologique de la performance (et donc très proche de situations réelles d'usage) que l'industriel sera en possibilité de définir les critères qui comptent et donc d'augmenter la performance au poste de travail. Nous retrouvons donc les dimensions de l'utilité (Nielsen, 1994 ; Tricot & al., 2003) et les différentes notions telles que les affects, émotions et humeurs (Lallemand, 2016), la sensibilité en lien avec les micro-identités (Falaix & Récopé, 2014), les aspects hédoniques de l'expérience utilisateur (Hassenzahl 2003 ; Lallemand, 2016), etc...

#### *2.3.2 Accroître les possibilités et les manières de faire disponibles*

Le second objectif d'une situation capacitante est d'accroître les possibilités et les manières de faire disponibles. Pour cela, l'industriel devrait connaître les différentes manières de faire existantes dans les situations d'usage. L'objectif sera donc d'accroître le champ des capacités exprimables en situation ce qui implique un accroissement de la marge de manœuvre situationnelle (Coutarel, Caroly, Vézina & Daniellou, 2015).

### 2.3.3 *Ajuster les attributs du couple en fonction de l'évolution des situations dans le temps*

Le troisième et dernier objectif d'une situation capacitante concerne l'ajustement des attributs du couple (Homme-Technologie) en fonction de l'évolution des situations dans le temps. Cela nécessite donc que la technologie dispose d'une bonne transparence opérative (Rabardel, 1995). La transparence opérative est la compréhension minimale du fonctionnement de la machine, à l'inverse d'une boîte noire. L'opérateur pourra ainsi anticiper, de par sa compréhension du dispositif, le comportement de la technologie et donc adapter sa propre conduite et/ou avoir la possibilité de transformer les caractéristiques de la technologie. Cette transformation pourrait s'opérer directement par l'opérateur si la technologie est accessible ou par une personne tierce compétente (ingénieur, technicien, etc...). Cet objectif d'ajustement des attributs du couple dans le temps convoque les concepts de conception continuée dans l'usage (Rabardel & Pastré, 2005 ; Vergnaud, 2006) ainsi que d'instrumentalisation (Rabardel, 1995).

Ce dernier critère introduit les possibilités d'une évolution/construction conjointe du couple Homme-Technologie dans le temps, et donc interroge directement les processus de conception. C'est une autre partie du champ théorique de notre travail, à savoir : le processus de conception de la technologie et donc les critères relatifs aux conduites de projets. Ces critères mobilisent des notions telles que l'accompagnement au changement, le type de management (Ahmed Yahia, 2019), la coconception de la situation de travail avec les différents acteurs (Bobillier-Chaumon, 2017), les temps de réflexion individuelle (Falzon, 2005) ou encore la mise en place d'espaces de discussion sur le travail qui permettront d'ajuster les interactions du couple (espaces débat travail et temps de régulation collective (Falzon, 2005 ; Clot, 2012 ; Rocha, Mollo & Daniellou, 2017) ainsi que les « supportive coworkers » (Hon, Bloom & Crant, 2014)).

La pertinence de ces critères constitutifs d'une situation capacitante est possible via la création de monographies et donc en reconstituant l'histoire des projets d'implémentation technologique en industrie 4.0. Ces reconstitutions, via les monographies, nous permettent des analyses multifactorielles des résultats de ces projets.

## **3 CADRE METHODOLOGIQUE : MONOGRAPHIES DE PROJETS**

Il est possible de reconstruire l'histoire de l'implémentation technologique en utilisant la technique des monographies. Une monographie représente un projet en fonction des questions de recherche. Lors de cette étude, les monographies sont constituées à partir de différentes données triangulées. Nous utilisons les verbalisations issues des témoignages des différents membres de l'organisation, que ce soit des dirigeants, des membres du bureau d'études (services méthodes) ou des opérateurs. Nous analysons également les documents (fiche de poste, etc...), l'organisation ainsi que l'activité des opérateurs au contact de la technologie. La structure de nos monographies est formalisée. Ces monographies contiennent également un tableau excel qui synthétise les résultats obtenus (par l'analyse de l'activité, les entretiens, etc...) pour chaque acteur du projet avec qui nous avons été en contact. Ce tableau nous permet donc, toujours dans les monographies, d'effectuer une comparaison croisée des données obtenues à propos des différents points de notre sujet. Pour ce faire nous discutons dans un premier temps des résultats généraux de l'implémentation technologique puis des résultats du point de vue du capacitant (en entrant dans le détail de ces points spécifiques). Cette méthode nous permet donc de refaire le tracé d'un projet et d'en analyser finement ses conséquences sur les différents acteurs en examinant les redondances ou divergences entre les opérateurs, chefs d'équipe, membres de l'équipe méthodes, etc... Il est par la suite question de croiser ces résultats entre les différentes monographies afin d'isoler et d'apprécier l'impact du capacitant sur les projets d'implémentation technologique en industrie 4.0. Les accès aux terrains ont impacté la méthodologie : par exemple, pour la première monographie, nous n'avons eu accès au

terrain que sur 2 journées. Alors que pour la seconde monographie, l'accès au terrain s'est effectué sur 13 jours étendus durant 4 mois.

Actuellement, nous avons pu visiter deux usines correspondant aux critères du 4.0, ce qui nous a permis de confronter la grille d'évaluation au terrain afin d'affiner celle-ci. De plus, à l'aide de la grille, nous avons pu étudier plusieurs monographies issues de différents projets. Il était prévu de systématiser les interventions dans des usines partenaires afin de pouvoir créer un nombre suffisant de monographies. La crise sanitaire a stoppé brutalement les relations aux entreprises et les conditions de la reprise économique vont certainement compliquer nos projets.

#### **4 TRAVAUX EN COURS ET PERSPECTIVES**

Nos premiers résultats de cette thèse montrent que la littérature scientifique sur le sujet est très dispersée, il y a donc un réel besoin de capitalisation des connaissances car celles-ci ne sont pas articulées entre elles. C'est donc l'utilité de notre grille d'évaluation. De plus, nous avons proposé une définition plus resserrée de la situation capacitante, au croisement des propositions de Falzon (2005), des approches distinguant apprentissage et développement (notamment Récopé et Barbier, 2015) et de la littérature sur l'étude du « facteur humain » dans la relation à la technologie. Notre contribution est donc ici de nature théorique et il sera nécessaire de poursuivre nos travaux afin de valider nos hypothèses sur la pertinence de la prise en compte des critères d'une situation capacitante lors de la conception et de l'introduction d'une nouvelle technologie en industrie 4.0. Nous avons mis temporairement en pause (pour les raisons citées ci-dessus) nos relevés monographiques. Cependant, nous travaillons également avec le second doctorant du projet (ingénieur et attaché au laboratoire G-SCOP de Grenoble). Nous sommes actuellement en cours de conception de protocoles expérimentaux, afin d'évaluer l'intérêt de notre proposition théorique sur la situation capacitante pour outiller le travail des concepteurs. En fin de projet (2021-2022), il est aussi prévu de pouvoir expérimenter un cas d'usage intégrant une technologie de réalité augmentée avec des opérateurs.

#### **5 BIBLIOGRAPHIE**

- Amalberti, R. (2013). *Piloter la sécurité: théories et pratiques sur les compromis et les arbitrages nécessaires*. Paris: Springer.
- Barcellini, F., Van Belleghem, L., & Daniellou, F. (2013). Les projets de conception comme opportunité de développement des activités. *Ergonomie constructive*, 191-206.
- Bobillier -Chaumon, M. E., & Dubois, M. (2009). L'adoption des technologies en situation professionnelle: quelles articulations possibles entre acceptabilité et acceptation?. *Le travail humain*, 72(4), 355-382.
- Bobillier Chaumon, M.-E. (2016). L'acceptation située des technologies dans et par l'activité : Premiers étayages pour une clinique de l'usage. *Psychologie du Travail et des Organisations*, 22(1), 4-21. <https://doi.org/10.1016/j.pto.2016.01.001>
- Bobillier Chaumon, M. E., & Clot, Y. (2016). Clinique de l'usage : Les artefacts technologiques comme développement de l'activité: Synthèse Introductive au dossier. *Activites*, 13(2). <https://doi.org/10.4000/activites.2897>
- Bobillier-Chaumon, M. E. (2017). Du rôle des TIC dans la transformation digitale de l'activité et de la santé au travail. *Mieux travailler à l'ère du numérique : définir les enjeux et soutenir l'action*, 15.
- Canguilhem, G. (2001). *The living and its milieu*. Grey Room, 7-31.
- Clot, Y. (2008). *Travail et pouvoir d'agir*, Paris : PUF.

- Clot, Y. (2012). Le travail soigné, ressort pour une nouvelle entreprise. *La nouvelle revue du travail*, (1).
- Coutarel, F., Caroly, S., Vézina, N., & Daniellou, F. (2015). Marge de manœuvre situationnelle et pouvoir d'agir : Des concepts à l'intervention ergonomique. *Le travail humain*, 78(1), 9. <https://doi.org/10.3917/th.781.0009>
- Falaix, L., & Récopé, M. (2014). « La sensibilité à... » et « l'intime » dans les interactions asymétriques : Une approche par les concepts d'énacter et d'habiter. 12.
- Falzon, P. (2005). *Ergonomics, knowledge development and the design of enabling environments*. 8.
- Falzon, P. (2014). *Enabling environments, enabling organizations*. 4.
- Fernagu-Oudet, S. (2012). Favoriser un environnement «capacitant» dans les organisations. *Former pour le travail*, 201-213.
- Hassenzahl, M (2003) The Thingand I: Understanding the relationship between the user and the product, Blythe, M.A., Monk, A.F., Overbeeke, K. & Wright, P. (eds) *Funology: From Usability to Enjoyment*. Kluwer Academic Publishers Netherlands, 31-42.
- Lallemant, C., & Gronier, G. (2016). *Méthodes de design UX: 30 méthodes fondamentales pour concevoir et évaluer les systèmes interactifs*. Editions Eyrolles.
- Nielsen, J. (1994). *Usability engineering*. Morgan Kaufmann.
- Rabardel, P. (1995). Les hommes et les technologies; approche cognitive des instruments contemporains. 195.
- Rabardel, P., & Pastré, P. (2005). Modèles du sujet pour la conception : dialectiques, activités, développement, 260. Toulouse : Octarès.
- Rabardel, P., & Beguin, P. (2005). Instrument mediated activity: from subject development to anthropocentric design. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 6(5), 429-461.
- Récopé, M., & Barbier, D. (2015). Œuvrer au développement professionnel des enseignants afin que les élèves apprennent mieux. *L'apprentissage en situation de travail: Itinéraires du développement professionnel des enseignants d'éducation physique*, 12, 17.
- Récopé, M., Fache, H., Beaujouan, J. Coutarel, F., & Rix-Lièvre, G. (2019). A study of the individual activity of professional volleyball players : Situation assessment and sensemaking under time pressure. *Applied ergonomics*, 80, 226-237
- Rocha, R., Mollo, V., & Daniellou, F. (2017). Le débat sur le travail fondé sur la subsidiarité : Un outil pour développer un environnement capacitant. *Activites*, 14(2). <https://doi.org/10.4000/activites.2999>
- Schoville, R. R., & Titler, M. G. (2015). Guiding Healthcare Technology Implementation : A New Integrated Technology Implementation Model. *CIN: Computers, Informatics, Nursing*, 33(3), 99-107. <https://doi.org/10.1097/CIN.0000000000000130>
- Schwartz, Y. (2007). Un bref aperçu de l'histoire culturelle du concept d'activité. *Activités*, 4(4-2)
- Vergnaud, G. (2006). « Rabardel Pierre & Pastré Pierre (dir.). Modèles du sujet pour la conception : dialectiques, activités, développement », *Revue française de pédagogie*, 154 | 2006, 219-222.