

# Des puces et des hommes : quand le travail « 4.0 » se révèle plus humain que prévu

Par Véronique BLANC-BRUDE

Doctorante, Univ. Grenoble Alpes, Grenoble INP, CERAG, 38000 Grenoble France

Et Christian DEFÉLIX

Professeur, Univ. Grenoble Alpes, Grenoble INP, CERAG, 38000 Grenoble France

Pour répondre aux enjeux d'efficacité et de qualité de fabrication, la forte automatisation et l'intégration de données qui caractérisent l'industrie 4.0 permettent de produire des séries personnalisées aux coûts de la production de masse, ce qui engendre la création de situations de travail dynamiques et complexes. Dans les industries « de flux » telles que celle de la microélectronique, le travail humain, bien réel, devient moins visible puisqu'il n'intervient qu'en cas d'interruption du flux ou de *process*. Mais quelles conséquences a exactement cette automatisation poussée à son maximum, sur le travail et les compétences requises pour les opérateurs ? Cet article s'appuie sur l'étude d'un cas industriel, où la quête de haute performance et les seuils successifs d'automatisation conduisent à intensifier la surveillance des anomalies. Le cadre théorique choisi est celui du travail invisible et de son expérience triple (Gomez, 2013), qui permet de lever le voile sur une mutation du travail peu prise en compte par l'organisation officielle. À partir d'une observation directe et d'entretiens semi directifs, cette recherche révèle que l'expérience du travail est d'abord marquée par une hypertrophie de la dimension objective, en décalage avec de nombreuses présentations flatteuses des usines 4.0. Elle est également caractérisée par une dimension collective, non formalisée mais nécessaire, basée sur de nombreuses interactions. Elle est enfin l'occasion d'une expérience subjective, où se concentrent et s'arbitrent de nombreuses tensions. Ainsi, le travail « 4.0 », bien que plus automatisé, se révèle plus humain que prévu.

## Introduction

« Nous finirons par prendre congé de la réalité matérielle et par flotter librement  
dans un univers économique d'information pure »  
(Crawford, 2010, p. 9).

*Smart factory*, industrie du futur, entreprise numérique : autant d'expressions ayant permis de labelliser la notion d'« industrie 4.0 », lancée en Allemagne en 2011. Cette évolution de l'industrie, définie par la Commission européenne comme « la numérisation de bout en bout de tous les actifs physiques et leur intégration dans des écosystèmes numériques avec les partenaires de la chaîne de valeur » (2020), est souvent comparée à celle du XIX<sup>e</sup> siècle, du fait de la vitesse et la magnitude de la transformation en cours. Les entreprises semblent ainsi appelées à passer d'une automatisation de masse à une automatisation optimisée, et d'une digitalisation des processus à une informatique avancée (Gaudron, 2017).

Depuis une dizaine d'années, les nombreuses publications qui lui sont consacrées tentent de caractériser, au-delà des effets d'annonce, les formes réelles et les nombreux enjeux que soulève cette industrie 4.0.

Pour produire des séries personnalisées à des coûts comparables à ceux de la production de masse, les entreprises font effectivement face à de nombreux défis : conjuguer planification descendante et analyse de données remontantes et protéiformes, le long d'une « pyramide d'automatisation » (BPI France, 2015) ; faire vivre des processus « bout en bout » où l'ensemble de la chaîne de production dispose d'informations accessibles et qualifiées dans un environnement homogène ; mettre en place une chaîne de l'offre adaptée, en décalage avec une culture industrielle de production de masse.

Mais le défi proprement humain de la transformation 4.0 n'est sans doute pas le moindre. En effet, ainsi que l'ont montré Durand *et al.* (2014), cette évolution des systèmes d'information industriels engendre une multiplication des tâches de gestion, une surcharge informationnelle, un renforcement de la prescription,

et un affaiblissement des relations interpersonnelles. Comme cela a été déjà relevé dans certains secteurs tels que l'aéronautique, la pétrochimie ou le nucléaire, il se crée alors des situations de travail complexes, que l'on peut qualifier de « dynamiques », car en proie à une évolution perpétuelle, des tâches multifocales, et une alternance entre routines et imprévus (Amalberti, 2001).

Or, comme l'a remarqué Barcellini (2019), de telles situations de travail restent encore largement un impensé à l'heure de l'industrie 4.0, car la prise en compte des facteurs humains dans cette transformation est parcellaire. Certes, Galindo *et al.* (2019) ont récemment souligné les difficultés à aligner les intérêts des parties prenantes engagées dans ce processus ; de leur côté, Compan, Cutarel, Brissaud et Rix-Lièvre (2021) ont commencé à mettre en exergue les dilemmes professionnels, les dimensions cognitives et sociales de l'interaction homme-machine, et la non-capacité qui se fait jour. Cependant, nous manquons d'approches empiriques portant sur les changements en cours et leurs effets (Magone et Mazati, 2019) ; la prospective « 4.0 » reste modeste sur la dimension du travail et des ressources humaines (Bootz *et al.*, 2022), et l'état des connaissances est encore lacunaire.

L'objectif de cet article est alors de contribuer à une meilleure gestion des ressources humaines (GRH) au sein de l'industrie 4.0, *via* une prise en

compte du travail réel des opérateurs concernés. Quelles conséquences l'automatisation poussée à son maximum et l'intégration numérique ont-elles sur le travail humain et le métier des opérateurs de production ? Après un état de l'art et une problématisation assortie d'un cadre conceptuel, nous présenterons une étude de cas menée dans le secteur de la micro-électronique. Celle-ci nous permettra de saisir l'expérience des opérateurs et le besoin d'évolution dans leurs pratiques de GRH : le travail « 4.0 », bien que plus automatisé, se révèle plus humain que prévu.

## L'industrie 4.0, un processus à étudier sur le terrain, en particulier *via* l'expérience de travail

L'industrie 4.0 est à comprendre comme un processus plus qu'un objet stabilisé. Si la littérature disponible nous alerte sur quelques-uns de ses grands enjeux pour l'organisation du travail, elle invite aussi à mieux saisir l'expérience même du travail pour comprendre l'évolution du métier des opérateurs de production.

### Une industrie 4.0 aux définitions multiples

D'emblée, les contours de ce qui est appelé « l'industrie 4.0 » ne sont ni simples ni immédiats à poser. Le Tableau 1 ci-après rassemble quelques-unes des principales définitions disponibles.

Auteurs	Industrie du futur
<b>Brynjolfsson et MacAfee (2014)</b>	Fusion entre Internet et les usines permettant une connexion multidimensionnelle.
<b>Themeco (2016)</b>	Modification de l'organisation du travail, des usages, des capacités et des relations ouvrant des perspectives de transformation sociale des rapports au travail.
<b>Lu (2017)</b>	Interconnexion et informatisation dans l'industrie traditionnelle, associée aux principes d'interopérabilité, de virtualisation, de décentralisation, de synchronisation, de modularité ou d'orientation-service.
<b>Dachs <i>et al.</i> (2019)</b>	Composants et machines communiquent et coordonnent leurs opérations dans les usines et les chaînes de valeur globales.
<b>Commission européenne (2020)</b>	Numérisation de bout en bout de tous les actifs physiques, et intégration de ceux-ci dans des écosystèmes numériques avec les partenaires de la chaîne de valeur.
<b>Marnewick et Marnewick (2019)</b>	Intégration de diverses technologies qui permettent aux écosystèmes de fonctionner de manière intelligente et autonome, de décentraliser les usines et d'intégrer les produits et services.
<b>Couzineau-Zegwaard et Meier (2020)</b>	Accès en temps réel de toutes les informations dans le processus de création de valeur, qui intègre les besoins des fournisseurs et des clients <i>via</i> une interconnexion entre êtres humains et machines dans un système cyber-physique.

Tableau 1 : Définitions possibles de l'industrie 4.0.

D'après ces différentes sources, on note que le 4.0 ne se réduit pas au périmètre de l'usine, mais concerne l'ensemble de la chaîne de valeur dans laquelle il est inséré. Processus en cours et non stabilisé, il crée, par une automatisation et une informatisation poussées à leur maximum, des environnements de travail complexes mêlant rationalisation et recherche de fluidité. L'accès distancié en temps réel à des données protéiformes (de production et de pilotage) induit une nouvelle interconnexion homme-machine. Nous proposons alors de rassembler ces éléments dans cette définition : l'industrie 4.0 n'est pas un état, mais un processus d'interconnexion en temps réel des différents systèmes de production, favorisant l'instantanéité des échanges et des données, et intensifiant de ce fait la relation triangulaire homme-machine-produit.

### Quelques grands enjeux du 4.0 déjà identifiés pour l'organisation du travail

Dès les années 1980, Boyer (1986) évoquait un processus d'abstraction du travail implicite, dû selon lui aux changements technologiques. Aujourd'hui, c'est à une expansion d'un travail « immatériel et cognitif » (Barcellini, 2019) que nous assistons. Dans ce contexte, la littérature disponible nous alerte sur trois enjeux : une nouvelle distribution du travail induisant un besoin de nouvelles compétences ; des collectifs laissant la place à des réseaux de coopération ; et une gestion intensifiée des aléas.

En premier lieu, le passage au 4.0, comme tous les changements technologiques (Coron et Gilbert, 2019), ne se réduit pas à un changement de procédés ou d'objet technique. Il amène une transformation des structures et une autre distribution du travail entre l'opérateur et la machine, dans une organisation plus ouverte et interconnectée. Comme l'ont relevé Romero *et al.* (2016), nous assistons au développement exponentiel d'interactions hommes-machines, nécessitant de nouveaux moyens physiques mais aussi cognitifs. Dès lors, cette « automatisation étendue », comme le décrivent Kohler et Weisz (2021), élimine certes des positions de travail, mais nécessite aussi de développer de nouvelles compétences : *“The 4.0 worker must be able to interact with all of the company's lines of business, understand their challenges and constraints, and know how to work collectively to achieve continuous improvement and problem solving”* (Kohler et Weisz, 2021, p. 19). Pour Hecklau *et al.* (2016), les compétences nécessaires sont alors non seulement techniques (compréhension des nouveaux processus) et méthodologiques (résolution de problèmes), mais aussi personnelles et sociales : travailler en mode flexible sous la pression, communiquer et coopérer.

En deuxième lieu, les collectifs de travail sont affaiblis dans ce contexte d'automatisation et de numérisation croissantes. Dans un collectif de travail, comme le souligne Caroly (2016, p. 101), « le partage de règles de métiers et de critères sur la qualité du travail [...] se construit par la reconnaissance des compétences, la confiance, les échanges sur les valeurs. La vitalité du

collectif se mesure par les réélaborations des règles. » De tels collectifs ont besoin de temps pour s'approprier de nouvelles techniques : or, ce temps est malheureusement peu prévu dans les activités fortement prescrites et automatisées (Clot et Jouanneaux, 2002). Dès lors, pour faire face aux situations « dynamiques et complexes » (Clot, 2006), des réseaux sociaux de coopération de travail se substituent aux collectifs. Selon Gibson et Earley (2007), ces réseaux résolvent problèmes et anomalies au fil de l'accumulation (collecte), des interactions (échanges), de l'examen (création de sens), et de l'accommodation (usage de l'information dans la performance). L'organisation pertinente en émergence passe de la chaîne à la constellation, et de la pyramide au réseau (Kohler et Weisz, 2021).

En troisième lieu, les aléas, qui ont toujours fait partie de la vie industrielle, ne sont pas gommés par l'évolution technologique actuelle, mais font au contraire l'objet d'une gestion intensifiée. Certes, le rôle de l'opérateur de production a toujours été de prendre en charge les aléas par sa capacité à résoudre les problèmes avec des « informations incertaines et imprécises » (Benkhanouche, 1996, p. 9). Mais avec des environnements dynamiques, les opérateurs font face à ce qu'Amalberti (2006) appelle « un continuum largement implicite », et doivent assumer un arbitrage plus complexe entre contraintes et ressources cognitives. Ils doivent mobiliser leur faculté de jugement, leur raisonnement inductif, mais également une capacité d'improvisation (Negri et Vercellone, 2008). Improviser signifie étymologiquement agir en dehors du cours normal du temps, alors que la contrainte du temps est fortement présente en situation automatisée. Galindo *et al.* (2019) ainsi que Bennis (2021) qualifient même d'« ambidextrie » l'attitude nécessaire des opérateurs, qui doivent à la fois exploiter les compétences existantes et en explorer de nouvelles.

### Problématique et cadre conceptuel : un métier d'opérateurs en évolution, à interroger par l'expérience de travail

Nouvelle distribution du travail marquée par de plus fortes interactions hommes-machines, affaiblissement des collectifs et montée du travail en réseau, efforts cognitifs plus importants pour traiter les anomalies : cette littérature nous met donc en alerte sur l'inévitable impact de ces évolutions sur ceux qui sont au cœur de l'atelier, les opérateurs. En quoi l'automatisation 4.0 et en particulier l'exigence croissante de supervision des anomalies font-elles évoluer le métier de l'opérateur de production ?

Pour ces derniers, malgré les technologies d'assistance et de prédiction multiples, l'industrie « du futur » n'est donc pas libérée des imprévus. Une activité rendue plus complexe, la multitude d'acteurs et « une exigence de précision croissante » imposent ainsi un contrôle plus difficile. En reprenant l'analyse d'Amalberti (2001), on peut dire qu'alors deux types de supervision entrent en conflit (expliquant notamment le mécanisme de compromis) : celui de la conduite du processus physique et celui de l'usage des capacités cognitives. Face à une

optimisation parfois rigide, les opérateurs ont à réaliser un arbitrage entre les contraintes de la situation et leurs capacités cognitives, pour garder « l'homme dans la boucle » (Amalberti, 1994, p. 77).

Le cadre conceptuel que nous choisissons pour observer et analyser de près cette activité des opérateurs emprunte la définition du « métier » aux travaux de Clot (2007) : la conjugaison d'éléments personnels, interpersonnels, transpersonnels et impersonnels. Pour la rendre plus opérationnalisable sur le terrain, nous recourons à la grille d'analyse fournie par Gomez (2013), qui en reprend l'esprit. Selon cet auteur, les transformations actuelles de l'économie conduisent en effet les gestionnaires à s'éloigner toujours plus du contenu du travail : celui-ci devient en quelque sorte « invisible » dans des systèmes d'information élaborés, qui entraînent une distanciation entre gestionnaires et opérateurs. Les opérateurs de l'industrie 4.0 vivent les tensions d'une expérience multiple du travail, où se mêlent les dimensions objective, collective et subjective. Quelles conséquences le haut degré d'automatisation a-t-il sur la dimension objective du travail ? L'expérience collective est-elle encore nécessaire ? Et que devient la dimension subjective ?

## Étude de cas : une industrie micro-électronique en automatisation croissante

Nous nous appuyons ici sur une étude de cas menée au sein d'un groupe industriel avec une méthodologie qualitative en deux étapes, qui nous a permis d'observer le travail des opérateurs au cœur du processus de production.

### Présentation du cas industriel

L'entreprise appartient au marché des semi-conducteurs, secteur marqué par une féroce concurrence entre un petit nombre de *leaders* mondiaux, et dispose en particulier d'une usine couplée avec

un important centre de recherche et développement. Fournisseur diversifié en matière de dispositifs intégrés, la société fabrique des « puces », ou semi-conducteurs, à partir de plaques de 300 mm en silicium. Dans une salle d'un niveau de propreté de classe ISO 04 contenant dix ateliers, l'usine est divisée en quatre départements contenant une centaine d'équipements. De structuration matricielle, elle est également organisée en mode produit adressant différents secteurs tels que l'automobile, la téléphonie ou encore l'aérospatial. Pour satisfaire des demandes clients de plus en plus diversifiées, les processus de fabrication industrielle ont été progressivement automatisés et enrichis d'outils numériques depuis vingt ans, comme le montre la Figure 1. Ainsi, au système de base permettant de sélectionner les lots de plaques se sont ajoutés d'abord un premier système semi-automatisé dans les années 2000, puis une automatisation du transport et du chargement des lots, et ensuite un système de répartition de ceux-ci. Au moment de notre observation, l'automatisation en est à sa cinquième étape, caractérisée par un outil numérique d'aide à la supervision ; le management réfléchit même à une sixième et ultime étape, que serait l'externalisation des opérateurs spécialisés dans la supervision des anomalies, dans une zone dédiée, en périphérie de la salle blanche.

Le processus de fabrication d'un semi-conducteur repose quant à lui sur un enchaînement d'étapes successives nommées « opérations », dont le processus principal consiste à exposer la surface de silicium recouverte d'une résine à une source laser au travers de masques (pochoirs). Cela permet d'ajouter des couches successives, puis de créer les zones actives des transistors. S'ensuit alors l'étape de métallisation, qui consiste à ajouter encore des couches de connexion en cuivre ou aluminium pour relier les transistors entre eux. Le processus de fabrication peut ainsi durer plusieurs semaines et nécessiter jusqu'à 600 étapes, du « *front-end* » (réalisation des composants, fabrication des transistors grâce aux dopants) au « *back-end* » ( finition entre transistors, interconnexion).

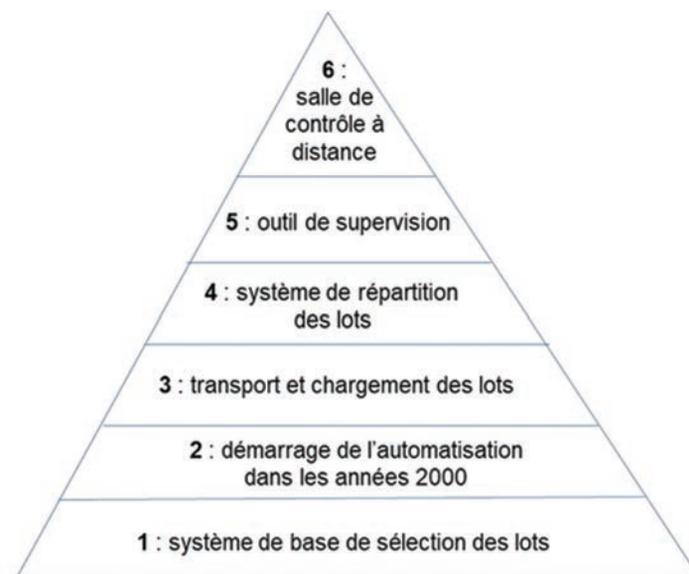


Figure 1 : La pyramide d'automatisation au sein de l'usine.

Une cinquantaine de masques sont en général nécessaires pour fabriquer un seul circuit intégré. La mise en boîtiers est quant à elle effectuée sur d'autres sites industriels.

Aux côtés de machines poussées au maximum de leur puissance, trois types de métiers (production / maintenance / qualité), répartis en cinq équipes postées, produisent près de 75 millions de puces par mois, sept jours sur sept. La Figure 2 ci-dessous synthétise l'organigramme de l'usine. Les « TOP » dont il est question sont, dans le vocabulaire de l'entreprise, des « techniciens opérateurs de production », chargés de l'exécution, de la gestion des flux et de la supervision. Nous les appellerons opérateurs dans la suite de ce texte.

### Une méthodologie qualitative en deux étapes

Le site industriel subit ponctuellement des pertes de productivité affectant les lots et équipements, et la direction constate une augmentation des temps de *process* et une baisse du temps d'utilisation, ce qu'elle nomme des « anomalies ». Or, la mission des opérateurs en salle est précisément de garantir la productivité, la disponibilité et la fiabilité des processus de fabrication : la performance repose donc sur « la capacité de l'opérateur à ne pas interrompre le flux de la matière qui conditionne le flux financier » (Vatin et Rot, 2012, p. 2). La direction souhaite alors recentrer certains opérateurs sur la supervision des anomalies et du flux, afin d'améliorer la gestion des défaillances et des imprévus.

C'est dans ce contexte que notre sollicitation de recherche est arrivée, et la direction y a vu l'opportunité de mieux comprendre les enjeux et les conditions de succès de ce recentrage. L'accord établi a de fait permis non pas une recherche-action, mais une recherche collaborative, où la salle blanche nous a été pour ainsi dire ouverte, en échange de restitutions régulières de notre part. Nous avons privilégié une approche qualitative afin de comprendre « le pourquoi et le comment » des événements, par l'étude de situations concrètes (Wacheux, cité par Dumez, 2021). Nous avons suivi l'invitation de Detchessahar (cité par Journé, 2005), qui recommande une observation en temps réel permettant d'appréhender les dimensions organisationnelles

et stratégiques, celles-ci s'exprimant au travers des relations hiérarchiques, des outils de gestion et des procédures, et au sein des équipes.

Notre enquête de terrain a eu lieu entre février et avril 2021, avec comme objectifs d'étudier l'activité concrète des opérateurs en salle blanche, et de recueillir l'expérience de travail de ces opérateurs à la suite des récentes étapes franchies dans le processus 4.0. Cette enquête s'est déroulée en deux étapes distinctes : d'une part, de février à mars 2021, une observation non participante a été réalisée auprès de 33 personnes issues de 3 équipes postées nuit et jour, en travaillant nous-mêmes en salle blanche ; d'autre part, de mars à avril 2021, nous avons conduit une série de 33 entretiens semi-directifs. Le guide d'entretien utilisé abordait la description du poste, l'environnement de travail, les interactions et le rapport à l'équipe, les imprévus, mais aussi le portait-type d'un opérateur, ainsi que les bénéfices / risques perçus de l'automatisation et du travail à distance de la machine. Nous avons ensuite retranscrit et analysé toutes ces observations : conservation de l'idée centrale *via* les verbatims, comptage des occurrences, catégorisation par sous-thèmes de la grille d'entretien et selon la segmentation de Gomez. Nous avons complété ces observations par l'étude de documents internes sur l'organisation industrielle de l'usine. Nous avons enfin eu l'opportunité de restituer les premiers résultats tant au sein de notre équipe de recherche qu'auprès des managers de l'usine.

### Des opérateurs au cœur du processus de production

Alors que l'observateur extérieur s'attend à un univers déshumanisé rempli avant tout de robots, la salle blanche est au contraire une fourmilière grouillante. Si les robots sont au plafond, des salariés en combinaison intégrale et masqués suivent le chemin de la plaque à la trace, courent et œuvrent ensemble pour réaliser le plus « d'acti » possible. De prime abord, on pourrait penser que le travail de ces opérateurs en salle est invisible. Travaillant pour « une marque de l'ombre », ils fabriquent un produit qui ne se voit pas, assistés d'outils d'aide à la décision, dans un univers caché et à distance de la matière.

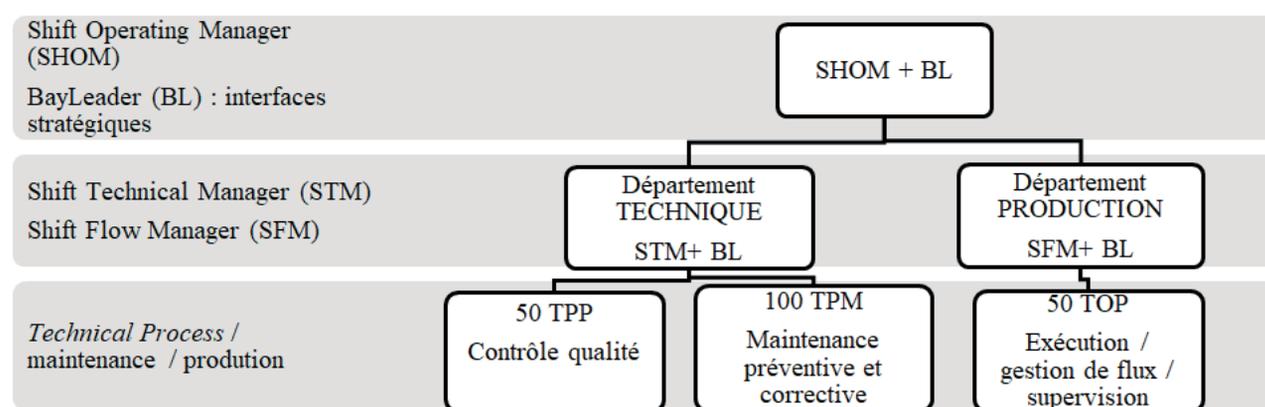


Figure 2 : Organigramme de l'usine.

La mission de ces opérateurs est de garantir la productivité, la disponibilité et la fiabilité du système de production, en supervisant le processus complexe décrit plus haut. L'enchaînement des étapes du processus industriel – le nettoyage des plaques, la fabrication des différentes couches, la gravure des circuits, etc. – est très sensible au moindre aléa généré par des systèmes de production et de pilotage interconnectés : c'est sans doute pour cela que leur fiche de poste, synthétisée dans le Tableau 2 ci-après, insiste tout particulièrement sur le respect des systèmes et des contraintes de production. On y lit par exemple qu'il s'agit de « respecter les règles de sécurité », « respecter le taux d'erreur procédure », « ne pas réaliser d'opérations manuelles sur un équipement sans accord préalable », de « respecter le temps de recouvrement ».

Les opérateurs observés dans la salle blanche ont plusieurs années d'expérience dans l'usine, et ont donc vécu quelques-unes des précédentes étapes d'automatisation. Interrogés à ce sujet, ils expriment une certaine réserve et une certaine résignation quant aux bienfaits présentés de cette marche vers toujours plus d'automatisation et de numérisation :

- « L'algorithme est fait pour un monde parfait... » ;
- « En informatique, on ne peut pas créer de l'aléatoire » ;
- « [Nous.] en prod, [... on a un] sentiment de surprise. »

### Interprétation et discussion : travailler à l'ère du 4.0, une expérience non seulement objective, mais aussi collective et subjective

Ces opérateurs partagent deux éléments majeurs : une course à la performance quasi addictive, et le rapport à la contrainte de temps, contrainte extrêmement présente tout au long du cycle de fabrication du produit. Cette « course assise à l'acti » est le résultat

de la lutte contre une saturation cognitive : il y a en effet un flux informationnel important, des outils pléthoriques et des injonctions multiples donnant lieu à arbitrages. L'expérience de travail est ainsi non seulement objective, mais aussi collective et subjective ; paradoxalement, ce travail est d'autant plus humain que l'automatisation se renforce, ce qui appelle à une évolution des pratiques de GRH concernant cette population.

#### Une expérience non seulement objective, mais aussi collective et subjective

La succession des étapes d'automatisation et le recours à l'outil numérique d'aide à la décision pourraient laisser penser que le travail humain en est réduit et facilité, l'opérateur pouvant rester concentré sur son ordinateur et ayant moins besoin d'échanger avec les autres. Mais l'analyse nous amène au constat inverse : nous observons une dimension objective du travail hypertrophiée, une expérience collective marquée par de fortes interactions, et au final, une dimension subjective marquée par de nombreuses tensions et une quête de reconnaissance.

#### Une hypertrophie de la dimension objective

- « On nous prévient pas, on est inexistant, on nous prend pour des robots ».

Cette déclaration d'un opérateur peut sembler radicale, mais prend tout son sens dès lors que l'on rassemble la liste impressionnante des éléments relevant de la dimension objective. Pour commencer, le travail se réalise dans une salle blanche : une zone à atmosphère contrôlée pour obtenir une propreté maximale, nécessaire à la fabrication de composants électroniques à une échelle micrométrique. La température, l'humidité tout comme la pression sont maintenus à un niveau précis, et l'air est filtré en continu : 21,5°C (+/- 0,5°C) toute l'année. Ces environnements de travail sont classés selon une échelle de 1 à 9 (ISO 1 à ISO 9), se

<b>Mission globale</b>	Conduire les équipements avec efficacité pour assurer qualitativement et quantitativement la livraison.
<b>Sécurité</b>	Respecter les règles en vigueur, remonter tout risque potentiel.
<b>Qualité</b>	Respecter le taux d'erreur procédure, détecter et signaler les lots à risque de dépassement de contraintes.
<b>Supervision</b>	Adopter une surveillance renforcée, superviser l'ensemble de la zone sous sa responsabilité, suivre l'activité du flux sur sa zone.
<b>Gestion de production</b>	Respecter les règles du <i>full auto</i> , ne pas réaliser d'opérations manuelles sans accord préalable, programmer / superviser le passage des lots en fonction des consignes.
<b>Communication</b>	Réaliser le passage de consignes au poste de travail, respecter le temps de recouvrement, favoriser les échanges constructifs, et respecter les processus organisationnels et hiérarchiques.
<b>Vie équipe</b>	Respecter les taux de présence, les horaires, la pose de congés, le <i>clean concept</i> .
<b>Amélioration continue</b>	Proposer des améliorations sur les outils, le processus, l'environnement de travail. Les propositions doivent être argumentées afin d'en démontrer les bénéfices potentiels.

Tableau 2 : Fiche de poste synthétisée.

traduisant par des audits non nominatifs, la traçabilité et la maîtrise des comportements.

Lors de leur prise de poste, les opérateurs passent par un temps d'installation et de prise de consignes. Ils prennent alors en main pas moins d'une vingtaine d'outils techniques – relatifs aux équipements, au suivi des flux, aux contraintes et aux anomalies –, ainsi que la récente interface numérique d'assistance à la supervision. De fait, l'opérateur « prend l'état du parc », tant en termes de productivité (avec les priorités qui lui sont assignées) que de qualité (avec le repérage des équipements qui ne tournent plus, ou des lots qui sont bloqués).

Outre l'importance des outils et des ratios de performance qui y sont associés, d'autres éléments illustrent la dimension objective et sa très grande importance dans le travail vécu par les opérateurs. En effet, leur environnement de travail est perçu comme « un monde à part », avec le port obligatoire d'une combinaison standard jugée comme créatrice et facilitatrice d'échanges, gommant les différences sociales :  
« Ça ouvre la discussion » ; « on est tous pareil. »

Les opérateurs perçoivent leur poste comme étant au service des ingénieurs dans les bureaux (« les petites mains des supports ») et du respect du temps. Cette perception semble exacerbée en équipes de jour du fait de la présence des ingénieurs R&D, celles de nuit servant à rattraper le retard en termes « d'acti » pris pendant la journée. L'activité est décrite par trois facteurs clefs : la diversité (« je ne sais jamais si ça va être calme ou compliqué »), la prise de consignes permettant de « prendre en l'état » le parc d'une équipe postée à l'autre (« ça donne les tendances »), et la pression liée à la recherche de performance subie – « l'acti tombe toutes les 30' », « [c'est] une course assise » – ou choisie comme pour trouver du sens dans l'activité : « Je vais chercher le petit gain en plus ».

En fin de poste, les opérateurs doivent se préparer à la passation du « *shift* » et des informations prioritaires à l'équipe suivante. Assistés par les outils techniques, ils rendent compte de l'activité passée et effectuent le « *check out* » en faisant l'état du parc sortant. Il s'agit ainsi de clôturer rapidement une activité qu'ils abandonnent et qui va continuer sans eux.

### **Une expérience collective du travail nécessaire, et caractérisée par de nombreuses interactions**

L'immersion au cœur de l'équipe et du « *shift* » permet d'observer, à rebours de l'anticipation que l'on pouvait en faire, une forte expérience collective dans le travail. Celle-ci est notamment due à la gestion des aléas, dont les opérateurs considèrent qu'elle représente deux tiers de leur activité :

« L'outil dit encore trop de fausses alertes et change d'avis toutes les sept secondes » ; « on traite un problème, un autre ressort qui en déclenche un autre. »

Cette présence des aléas dans un processus de production sur-automatisé peut surprendre : les aléas n'ont en fait pas disparu, mais sont devenus plus nombreux et plus petits du fait de la complexité des processus industriels, impossibles à maîtriser dans

leur intégralité. Ces anomalies dans le processus de production nécessitent l'intervention humaine : sous la pression du temps, les opérateurs doivent alors arbitrer entre des données multiples et agrégées par les outils informatiques. C'est alors qu'ils ont besoin de coopérer avec d'autres, pour obtenir et croiser les informations :

« Il y a un interlocuteur derrière un lot bloqué » ; « il faut s'entendre avec ses collègues » ; « à la fin, c'est quand on sait faire le lien avec les autres qu'on a compris son poste. »

Alors que les plus anciens évoquent le souvenir d'un travail collectif autrefois plus facile (« Avant y avait de la collab' autour des charges lourdes »), cette dimension collective ne relève pas pour les opérateurs d'une collaboration fluide et évidente :

« On se débrouille avec ce qu'on a » ; « je ne sais pas combien on a d'interlocuteurs » ; « on défend chacun son *beefsteak*. »

Il n'y a donc pas de collectif de travail, mais des collectifs réduits qui sont à constituer ou reconstituer, qualifiées de « scalables » (*i.e.* pour ainsi dire à géométrie variable), dans une quête de l'information pertinente.

Cette expérience collective de travail, nécessaire à la gestion des aléas, est donc faite d'un tissu d'interactions nécessaires entre les opérateurs. Même si « chacun fait sa partie distincte » : « Il faut s'entendre avec ses collègues » ; « on a besoin d'identifier des infos à tous niveaux » ; « on dépend de l'autre atelier. »

### **Une expérience subjective marquée par de nombreuses tensions**

Confrontés à une dimension objective envahissante et à la nécessité de s'appuyer les uns sur les autres, les opérateurs vivent aussi une expérience subjective, pour le moins contrastée. Celle-ci est pour une part positive : en décrivant leur activité, les opérateurs évoquent par exemple un plaisir dans le travail, du fait des interactions humaines, de la stimulation intellectuelle / situations d'apprentissage, et de la variété des tâches du poste. De manière moins attendue, ils mentionnent comme nécessaires, pour tenir le poste, des compétences intrinsèques et principalement personnelles telles que l'aisance relationnelle et interactionnelle, la rigueur et la curiosité.

Mais, pour une autre part, l'expérience subjective du travail de ces opérateurs 4.0 est négative. Face à l'automatisation croissante, ces derniers se plaignent de leur dépendance par rapport aux outils – « on est devenus dépendants, on n'est plus rien » – et aux équipements : « Quand une machine tombe, elle tombe. » Pour eux, la progression de l'organisation 4.0 ne signifie pas forcément toujours du confort, car des éléments spécifiquement humains viennent à manquer :

« On a perdu du savoir avec la rotation des personnes. »

Si l'automatisation permet une baisse de la pénibilité qui est reconnue, la saturation cognitive par la machine est pointée du doigt :

« Une charge mentale ++, on cumule les couches, on les aplatit pas. »

Les opérateurs expriment en l'occurrence leurs dilemmes face à des injonctions que l'on peut aisément qualifier de paradoxales : assurer de la qualité mais aussi de la productivité, tenir en même temps la vigilance et la « course à l'acti », suivre le *process* prévu mais également intervenir... Comme dit un technicien :

« On ne veut pas choisir, on veut tout faire. »

La gestion de ces tensions pourrait être facilitée par leur reconnaissance officielle par le management, mais c'est en l'occurrence peu le cas : en effet, pour ce dernier, le traitement des aléas par les opérateurs ne représente que 10 à 15 % de leur activité. Dès lors, l'expérience subjective des opérateurs est marquée par cette quête de reconnaissance :

« On se bat tout le temps, pour avoir des infos, faut expliquer tout le temps les problèmes, se justifier, faire des rapports, personne ne se rend compte de la charge de travail » ; « les managers ont une vision statique, [...] en prod, on a une vision en temps réel. »

### Un travail d'autant plus complexe et humain que l'automatisation se renforce

Nous avons vu plus haut que, dans l'état des connaissances sur l'industrie 4.0, un point clairement établi était que ce changement technologique présentait une caractéristique particulière, celle du développement exponentiel des interactions hommes-machines, nécessitant non seulement des compétences techniques, mais aussi méthodologiques et sociales. Notre analyse de l'expérience de travail des opérateurs dans le cas étudié confirme cet aspect, en pointant que les interactions intègrent aussi les interfaces hommes-machines. Leur métier nécessite des compétences notamment relationnelles, et le geste professionnel requiert des qualités plus sociales. Curiosité, aisance interactionnelle et esprit de compétition (« avoir la gagne ») apparaissent également comme des aptitudes ou des traits de personnalité nécessaires.

En revanche, le cas de l'usine étudiée apporte trois éléments peu mis en valeur jusqu'ici dans les recherches disponibles, et encore moins dans les présentations professionnelles de « l'industrie du futur ».

- Le premier élément est que le très haut degré d'automatisation et d'informatisation n'est pas forcément synonyme de facilité et de fluidité dans le travail en usine : l'automatisation et le rajout d'une interface informatique de supervision complexifient la prise de décision, et la pénibilité physique est remplacée par une saturation cognitive. Les interfaces informatiques issues du progrès technologique représentent certes une « aide pour voir », mais également une couche d'abstraction supplémentaire.
- Le deuxième élément nouveau qu'apporte le cas étudié est que la dimension collective n'a pas disparu : certes, il n'y a plus de collectif de travail global et stable dans l'atelier, mais une multitude d'interactions d'individus constitués en collectifs *ad hoc*. En interaction avec les autres, de manière physique ou virtuelle, les opérateurs parviennent à creuser et croiser les informations relevant parfois de différentes interprétations

possibles ; avec du temps et de l'expérience, ils savent à qui s'adresser et, au prix de ces échanges multiples, à distinguer les vraies des fausses anomalies.

- Le troisième élément que notre cas met en lumière nous semble le plus important : c'est le fait que les arbitrages et décisions humaines nécessaires sont rendus plus complexe, car, aux yeux des opérateurs, non reconnus à leur juste valeur. Ceux-ci expriment une « lassitude de faire remonter », dépeignent un « serpent qui se mord la queue », et une « peine perdue » : « ça crée un relâchement, du mépris ». Cette perception subjective de non-reconnaissance est certainement un point de vigilance pour le management qui prépare le passage à la phase ultime de l'automatisation, à savoir la mise en place d'une salle de contrôle à distance. Ce projet est celui d'une « *remote operation center* » (ROC), consistant à déslocaliser certains opérateurs de la salle blanche pour les spécialiser dans la traque aux anomalies, à l'aide d'un nouvel outil informatisé d'aide à la supervision basé sur des données massives. Ce nouveau stade de l'évolution 4.0 permettra, selon les propos d'un manager, « la simplification, la déroutinisation » et l'optimisation de l'activité de surveillance, pour que se réduisent les pertes de productivité dues aux anomalies. Mais une minorité d'opérateurs au moment de notre observation, y est favorable : ceux-ci redoutent que les personnes concernées soient séparées des autres et éloignées de ceux avec lesquels il faut rester en interaction pour réaliser tous les arbitrages nécessaires :

« On doit connaître les interlocuteurs, on n'a pas de liens sinon » ; « si on est en bas, on sert à rien. »

### Une évolution nécessaire de la GRH pour ces opérateurs

Dans le cas étudié, la fonction RH est peu ou pas sollicitée par le management de la salle blanche dans ses réflexions sur l'organisation de la production 4.0 ; cela est sans doute la conséquence d'une culture d'ingénieur d'abord centrée sur la technologie, et d'une histoire particulière où les gestionnaires des ressources humaines se sont surtout concentrés sur les relations sociales. Il n'en reste pas moins que des évolutions dans les pratiques de GRH des opérateurs seraient bienvenues à la suite de l'analyse de l'expérience de travail que nous avons faite, en particulier pour accompagner la mise en place de la prochaine salle de contrôle à distance. Deux d'entre elles nous paraissent importantes.

La première évolution qui peut être recommandée relève de la reconnaissance du travail tel qu'il se fait. En l'état, les opérateurs considèrent que l'évaluation de leur activité est peu pertinente ou légitime :

« Le manager connaît pas le métier et il me note ? Le RH recrute [mais] ne connaît pas non plus le métier. »

Nous avons en particulier observé un fort décalage dans les représentations qu'ont respectivement le management et les opérateurs sur la gestion des aléas : faire officiellement le constat de ce décalage, et travailler à construire une représentation partagée constitueraient une première démarche utile, dans la lignée des



Johan Michaël SCHMIDT CRANS, lithographe, *Spotprent op de dreiging door Schimmelpenninck van een nieuwe kamerontbinding*, 1866, lithographie, 1866. Amsterdam, Rijksmuseum.

« Un travail de clarification des compétences réellement mobilisées, initié par la fonction RH, permettrait non seulement de mettre à jour la fiche de poste, mais aussi d'éviter ce syndrome d'invisibilité dont se plaignent de nombreux opérateurs. »

propositions de Perrenoud (2019) qui considère que la maîtrise de l'imprévu est une composante de toute compétence de haut niveau. Une autre démarche que nous proposons en termes de reconnaissance consiste à travailler sur les compétences requises et mobilisées des opérateurs, en reprenant la terminologie de Retour (2005). La fiche de poste des opérateurs, que nous avons synthétisée plus haut, représente le travail prescrit et liste des compétences attendues qui relèvent principalement de l'application de règles élaborées par l'ingénierie. Mais l'observation du travail réel met en lumière de nombreuses compétences mobilisées non requises, comme la capacité à trouver le bon interlocuteur et à arbitrer entre de nombreuses sources d'information en temps réel. Un travail de clarification des compétences réellement mobilisées, initié par la fonction RH, permettrait non seulement de mettre à jour la fiche de poste, mais aussi d'éviter ce syndrome d'invisibilité dont se plaignent de nombreux opérateurs : « On est trop transparents. »

Il pourrait conduire à un élargissement des critères d'évaluation à utiliser, alors que les opérateurs restent aujourd'hui principalement cantonnés au nombre de plaques produites et au respect du *process*.

Une deuxième évolution possible que nous proposons de considérer consiste en l'élargissement et la facilitation des espaces de discussion. La notion d'espaces de discussion, héritée des travaux structurants de Clot (2015) et de Detchessahar (2013), est de plus en plus considérée comme une réponse concrète aux risques psycho-sociaux ; cet outil a ainsi été évoqué dans le rapport Lachmann, Larose & Pénicaut en 2010 puis préconisé explicitement dans l'accord national interprofessionnel du 19 juin 2013. Dans la salle blanche, les nombreuses interactions observées entre les opérateurs, indispensables pour réaliser le diagnostic sur les aléas, représentent de fait des micro-espaces de discussion, mais ils sont en l'occurrence limités aux opérateurs eux-mêmes. De ce fait, la discussion sur le « travail bien fait » est incomplète :

« Le terrain a l'impression de pas être reconnu, entendu, ils décident pour la salle sans leur demander leur avis. »

Nous proposons de saisir l'opportunité de la prise de poste pour renforcer et élargir ces espaces de discussion avec le responsable hiérarchique.

## Conclusion

Engagée dans une course à la performance exacerbée par l'explosion mondiale du marché des semi-conducteurs, l'entreprise de notre terrain, qui a entrepris son processus 4.0 de longue date, est à la veille d'une nouvelle étape consistant à externaliser le contrôle des anomalies. L'observation au plus près de la salle blanche permet de mettre à jour cette réalité méconnue du travail 4.0 : une dimension objective hypertrophiée où la saturation cognitive s'est substituée à la pénibilité physique ; une dimension collective encore nécessaire mais peu reconnue ; une expérience subjective marquée par de nombreuses tensions et une quête de reconnaissance. Le « travail 4.0 » est décidément plus humain que prévu : loin de substituer la machine à l'homme, il réagence les rapports de l'homme aux équipements, et réinterroge les modalités du travail individuel et collectif.

Des limites existent dans ce travail de recherche : l'étude conduite a consisté à privilégier le point de vue des opérateurs, mais les autres acteurs, notamment le management de proximité, sont également à prendre en compte. Nos observations ont également eu lieu avant un changement d'envergure, celui de la mise en place de la nouvelle salle de contrôle, laquelle pourrait remettre en cause certaines de nos conclusions actuelles. C'est pourquoi nous comptons poursuivre cette recherche pour observer la mise en place de cette nouvelle situation de travail, caractériser cette nouvelle activité de supervision, et en saisir les implications sur le travail réel ainsi que sur les compétences mobilisées.

## Bibliographie

AMALBERTI R. (2001), « La maîtrise des situations dynamiques », *Psychologie française*, 46(2), pp. 105-117.

AMALBERTI R. (2006), « Psychologie ergonomique », cours de licence de psychologie 2<sup>e</sup> année, IED Paris VIII.

AMALBERTI R. & HOC J.-M. (1994), « Diagnostic, prise de décision en situations dynamiques », *Psychologie française*, n°39-2, pp. 177-192.

BARCELLINI F. (2019), « Industrie du futur : quelle place pour le travail et ses transformations ? », in BOURDU E., LALLEMENT M., VELTZ P. & WEIL T. (éd.), *Le travail en mouvement*, Presse des Mines, pp. 136-147.

BENNIS C. (2021), *L'ambidextrie des opérateurs dans l'usine digitalisée*, thèse de doctorat en sciences de gestion, ESCP École Doctorale Panthéon-Sorbonne, décembre.

BOYER R. (1986), « Informatisation de la production et polyvalence... ou comment une flexibilité peut en cacher une autre », *Formation Emploi*, n°14, pp. 6-21.

BOOTZ J.-P., MICHEL S., PALLUD J. & MONTIR. (2022), "Possible changes of Industry 4.0 in 2030 in the face of Uberization: Results of a participatory and systemic foresight study", *Technological Forecasting & Social Change*, 184, 121962.

BPI FRANCE & KOHLER C&C (2015), « Quelles stratégies numériques ? La numérisation de l'industrie dans les entreprises du Mittelstand allemand », Dossier industrie 4.0, novembre.

BRYNJOLFSSON E. & MCAFEE A. (2014), *The Second Machine Age – Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*, W. W. Norton & Company.

CAROLY S. (2016), « Collectif de travail », *Psychologie du travail et des organisations*, pp. 101-104.

CLOT Y. (2006), « Clinique du travail et clinique de l'activité », *Nouvelle revue de psychologie*, n°1, pp. 165-177.

CLOT Y. (2007), « De l'analyse des pratiques au développement des métiers », *Éducation & Didactique*, 1-1, avril, pp. 83-93.

CLOT Y. (2015), *Le travail à cœur : pour en finir avec les risques psychosociaux*, Paris, La Découverte.

CLOT Y. & CAROLY S. (2004), « Du travail collectif au travail collectif de travail : développer des stratégies d'expérience », *Formation emploi*, n°88, pp. 43-55.

CLOT Y. & JOUANNEAUX M. (2002), « Pilotes de ligne : deux accidents et une question de métier », *Cliniques méditerranéennes*, n°66, pp. 55-63.

COMPAN N., COUTAREL F., BRISSAUD D. & RIX-LIEVRE G. (2021), « Contribution de l'ergonomie à la conception de nouvelles technologies dans l'industrie 4.0 : vers la conception de situations capacitantes », 55<sup>e</sup> Congrès de la Société d'Ergonomie de Langue française, Paris, France.

CORON C. & GILBERT P. (2019), *Le changement technologique*, vol. 1, First editions.

COUZINEAU-ZEGWAARD E. & MEIER O. (2020), « L'évolution de la fonction supply chain au sein de la gouvernance d'entreprise au prisme de l'ambidextrie organisationnelle », *Projectics*, n°26, pp. 53-76.

CRAWFORD M. (2010), *Éloge du carburateur. Essai sur le sens et la valeur du travail*, Paris, La Découverte.

DACHS B., KINKEL S. & JÄGER A. (2019), "Bringing it all back home? Backshoring of manufacturing activities and the adoption of Industry 4.0 technologies", *J. World Bus*, 54 (6), 10117.

DANIELLOU F., SIMARD M. & BOISSIÈRES Y. (2010), *Facteurs humains et organisationnels de la sécurité industrielle : un état de l'art*, édition coordonnée par Caroline Kamaté pour la Fondation pour une Culture de Sécurité Industrielle.

DETCHESAHAR M. (2013), « Faire face aux risques psychosociaux : quelques éléments d'un management par la discussion », *Négociations*, (1), pp. 57-80.

DUMEZ H. (2021), *Méthodologie de la recherche qualitative, toutes les questions clés de la démarche*, 3<sup>e</sup> édition. Vuibert.

DURAND J.-P., MOATTY F. & TIFFON G. (2014), *L'innovation dans le travail*, Toulouse, Octares Éditions, coll. « Le travail en débats », série colloques & congrès, 304 p.

EUROPEAN COMMISSION (2020), "Executive agency for small and medium-sized enterprises. Skills for industry curriculum guidelines 4.0: future-proof education and training for manufacturing in Europe" final report, Publications Office, <https://data.europa.eu/doi/10.2826/097324>

HECKLAU F. et al. (2016), "Holistic approach for human resource management in Industry 4.0", 6<sup>th</sup> CLF - 6<sup>th</sup> CIRP Conference on Learning Factories.

GALINDO G., GARBE E. & VIGNAL J. (2019), « Des idéaux de la réalité de l'accompagnement de la GRH dans la digitalisation : le cas d'une entreprise industrielle », *@GRH*, n°30, pp. 11-46.

GAUDRON P. & MOULINE A. (2017), « Les enjeux de l'industrie 4.0 », *Management international*, 21(2), pp. 165-169.

GIBSON B. & EARLEY P. C. (2007), "Collective cognition in action: Accumulation, interaction, examination and accommodation in the development and operation of group efficacy in the workplace", *Academy of management review*, 33(2), pp. 438-458.

GOMEZ P.-Y. (2013), *Le travail invisible : enquête sur une disparition*, François Bourin Éditeur.

JOURNE B. (2005), « Étudier le management de l'imprévu : méthode dynamique d'observation in situ », *Finance Contrôle Stratégie*, 8(4), pp. 63-91.

KOHLER D. & WEISZ J.-D. (2021), "Industry 4.0: The 4<sup>th</sup> industrial revolution, vol. 2: Organizational and societal challenges", Les Cahiers du Digital #2, HEC Digital Lab - HEC Liège Management School – Liège, octobre.

LU Y. (2017), "Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues", *Journal of Industrial Information Integration*, (6), pp. 1-10.

MAGONE A. & MAZATI T. (2019), *Voyage dans l'industrie du futur italienne. Transformation des organisations et du travail*, La Fabrique de l'Industrie.

MARNEWICK C. & MARNEWICK A. L. (2019), "The demands of Industry 4.0 on project teams", *IEEE Trans. Eng. Manag.*, 67(3), pp. 941-949.

NEGRI A. & VERCELLONE C. (2008), « Le rapport capital/travail dans le capitalisme cognitif », *Multitudes*, n°32, pp. 39-50.

PERRENOUD P. (1999), « Gestion de l'imprévu, analyse de l'action et construction de compétences », *UNIGE Éducation permanente*, n°140, pp. 123-144.

RETOUR D. (2005), « Le DRH face au dossier compétences », *Management & Avenir*, n°4, avril, pp. 187-200.

ROMERO D. *et al.* (2016), "Towards an operator 4.0 typology: A human-centric perspective on the 4<sup>th</sup> Industrial revolution Technologies", *CIE46 Proceedings*, Tianjin, 29-31 October.

VATIN F. & ROT G. (2017), *Au fil du flux. Le travail de surveillance-contrôle dans les industries chimique et nucléaire*, Paris, Presses des Mines, coll. « Sciences sociales », 124 p.