

SIMULATION DE SYSTÈMES DE TRAVAIL DU POINT DE VUE DU VIEILLISSEMENT DE LA PERFORMANCE PHYSIQUE ET MENTALE

Gert Zülch, Daniel Schmidt, Marcel Becker

Institut de Technologie de Karlsruhe (anciennement Université de Karlsruhe), Allemagne

E-mail : gert.zuelch@kit.edu

Résumé

L'évolution démographique soulève des questions quant au développement de la productivité des systèmes de travail à long terme, compte tenu du vieillissement du personnel. Ces questions sont d'une urgence particulière lorsqu'on planifie de nouveaux systèmes de travail, destinés à être utilisés pendant de longues années. Le procédé de simulation *ESPE-AS* peut aider à pronostiquer le développement de la productivité d'un système de travail sur la base d'une équipe disponible pour des périodes de planification futures. On peut ainsi examiner les mesures possibles en vue de développer des systèmes de travail répondant au mieux à ces enjeux. Cette publication décrit une méthode de planification assistée par simulation et l'illustre à l'aide de deux systèmes de travail différents.

Mots-clés: évolution démographique, développement de la productivité, planification assistée par Simulation.

1. Des systèmes de travail adaptés à l'âge

L'efficacité des processus de production requise de nos jours conduit souvent à des systèmes de travail fondés sur la répartition du travail, comme les lignes d'assemblage cadencés dans l'industrie automobile. L'exigence de cadences toujours plus rapides, nécessitant le cas échéant des capacités physiques importantes, fait pourtant évoluer les profils de qualification, généralement au profit des employés plus jeunes. Du point de vue du développement du personnel et des processus, ceci nécessite d'intégrer à temps l'évolution de la performance du personnel dans la conception des systèmes de production futurs.

En revanche, dans les systèmes de travail reposant surtout sur des activités mentales, il faut aussi prendre en considération les changements de la productivité liés au vieillissement du personnel. Cela est dû au fait que les capacités mentales d'un être humain n'évoluent pas toutes de la même façon. En effet, quelques-unes de ces capacités diminuent avec l'âge, tandis que d'autres restent presque à un niveau constant jusqu'à l'âge du départ à la retraite, d'autres s'améliorant même jusqu'à ce moment. Par conséquent, il est désormais crucial de prendre en compte l'influence de l'âge sur la performance humaine, particulièrement lors de la planification de nouveaux systèmes de travail.

Quant aux différences de la performance humaine, on peut généralement faire la distinction entre la variabilité individuelle et l'hétérogénéité des performances humaines. Dans le cadre de la variabilité individuelle, les changements de performance d'une personne sont observés pendant une période plus brève (par ex. Fletcher, Baines, & Harrison 2008) tandis que, pour l'hétérogénéité, les différences de performances entre personnes sont l'objet des recherches (cf. Doerr, Mitchell, Schriesheim, Freed, & Zhou 2002; Hunter, Schmidt, & Judiesch 1990). Ainsi, les entreprises doivent se préparer à un personnel à performance différenciée et intégrer des mesures de conception

appropriées dès le stade de planification de nouveaux systèmes de travail.

La planification de nouveaux systèmes de travail mise de manière croissante sur les procédés de simulation pour évaluer les solutions de planification avant leur réalisation, selon des critères économiques et de logistique de production. Cependant, contrairement aux outils de simulation orientée personnel, dans les procédés de simulation, les personnes ne sont que rarement modélisées en tant que ressources à part entière (cf. Zülch 2004). Ci-après, une approche orientée personnel servira à pronostiquer sur une période plus longue les répercussions probables liées à l'âge, d'une part sur un système de travail marqué principalement par des exigences physiques, d'autre part, sur un système affichant des exigences essentiellement mentales.

2. Evaluation de la performance humaine

Eu égard à la multitude de ses déterminants de performance, l'homme dispose d'un éventail de performances très spécifique et des limites de performances y associées. Celles-ci sont déterminées par des facteurs extérieurs (conception du travail) et intérieurs (âge, motivation, qualification). Si le processus du vieillissement dans le sens biologique de la dégénérescence cellulaire n'entraîne pas nécessairement des pertes de performance professionnelle, il provoque, pourtant, toujours un changement de la performance (Figure 1; Zülch & Becker 2006b, 2008). Ainsi, Willnecker (2000, pp. 32) par exemple montre quels facteurs influencent la performance humaine en premier lieu et provoquent des variations de productivité dans les systèmes d'assemblage. L'évaluation de la performance humaine exige selon REFA (1994, pp. 238), entre autres, la prise en compte du niveau de conception ergonomique du système de travail et d'autres conditions influençant la performance, telles que l'âge.

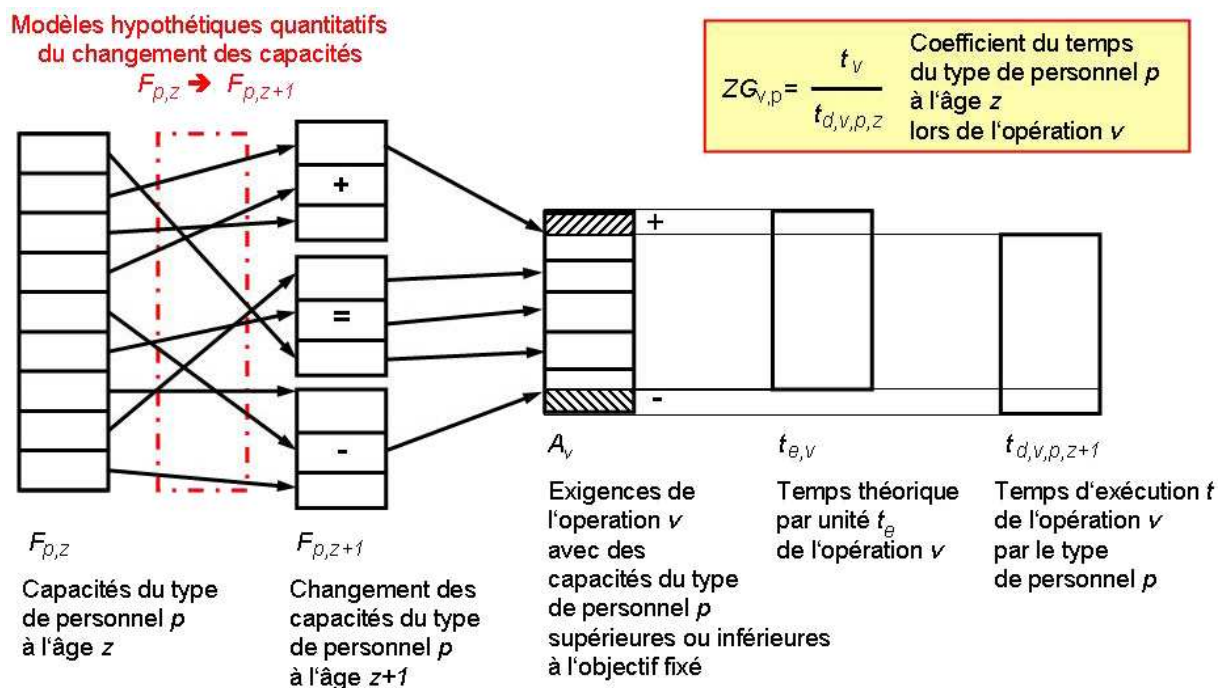


Figure 1: Contexte de modèle du changement de la capacité et de la performance dans un système de travail (traduit de Zülch & Becker 2006a, p. 155)

Ces informations se réfèrent plutôt à la performance physique. Schaie (2005), lui, a effectué de vastes analyses de coupe longitudinale et transversale pour quantifier les changements de plusieurs éléments de la capacité mentale, provoqués par le vieillissement (voir aussi Schaie & Willis 1996). Les changements des facteurs de performance mentale, tels que la capacité numérique, se répercutent directement sur les temps d'activité du personnel. Ainsi, la baisse de la capacité

numérique, par exemple, peut être interprétée comme un besoin accru en temps pour effectuer une opération concrète de travail.

3. Approche pour simuler le développement de la performance

Dans ce qui suit, une version spécialisée du procédé de simulation *ESPE* (abréviation allemande signifiant : simulation orientée goulot d'étranglement de la planification de structures du personnel) sera utilisée. Celle-ci a été développée par l'*ifab*, l'Institut de Science de Travail et de l'Organisation Industrielle auprès de l'Institut de Technologie (anciennement Université de Karlsruhe) (Heitz 1994, pp. 93). Depuis 1994, cet outil fait l'objet d'un perfectionnement permanent (par ex. Zülch 1995; Zülch & Vollstedt 2001). *ESPE* est un procédé de simulation orienté événement à temps discret, qui permet, outre les fonctionnalités mécaniques, la modélisation détaillée des qualifications du personnel.

Sur la base de ce procédé, le procédé de simulation *ESPE-AS* (abréviation allemande signifiant : *ESPE* destinée à la planification de structures, différenciée en fonction de l'âge) a été développé pour répondre à la question soulevée. La situation de départ de la modélisation est une structure fixe des équipements de production ainsi qu'un programme de fabrication ou de travail pronostiqué. La structure du personnel est caractérisée par le nombre d'employés et la diversité de leurs qualifications. Dans *ESPE-AS*, cette modélisation a été élargie pour permettre d'intégrer la modélisation des évolutions de productivité. Celles-ci peuvent être combinées entre elles sous forme de mesures de compensation individuelles et techniques, ce qui permet par exemple de compenser partiellement les pertes de performance physique d'une personne par des moyens techniques. Pour prendre en considération l'influence du vieillissement du personnel, on modifie la productivité mentale et physique des employés à travers le coefficient du temps. Il exprime le rapport entre temps théorique et temps réel (cf. REFA 1992, p. 440). La littérature existante permet de se procurer des informations plus détaillées sur cette méthode de modélisation (par ex. Zülch & Becker 2006b, 2007; Zülch, Becker, & Linsenmaier 2009).

Pour les deux études de simulation décrites ci-dessous, on présume que le coefficient du temps exprime le comportement dans le temps objectivement mesurable des opérations effectuées par le personnel, et qu'il change en fonction de l'âge. En outre, le temps théorique prévu dépend des procédures, de la méthode et des conditions de travail inhérentes au système de travail étudié (REFA 1992, p. 125). Ces facteurs sont modélisables dans le cadre des scénarios technico-organisationnels lors de la simulation.

Les études décrites font référence, entre autres, à l'hypothèse sur l'évolution du coefficient du temps lié à l'âge décrite par Baines, Mason, Siebers, & Ladbrook (2004). Pour tenir compte aussi du fait, que le degré de pénibilité du travail diffère d'une opération à l'autre, on a intégré une pondération du coefficient du temps différencié selon l'âge, qui correspond au degré de pénibilité identifié. Par ailleurs, on peut effectuer l'observation nécessaire des goulots d'étranglement différenciée en fonction de l'âge, en instaurant des restrictions de qualification. Pour ce faire, le modèle considère les employés comme ayant des capacités réduites ou comme ayant perdu leur qualifications nécessaires pour effectuer l'opération de travail concerné, lorsqu'ils n'atteignent pas un coefficient du temps minimal fixé.

4. Etudes pilotes d'applications

Le premier exemple pratique illustre un système d'assemblage. Ce système de travail est marqué principalement par des exigences physiques. La situation de départ est une structure du personnel déjà existante qui ne change pas pendant une période de planification de 15 années. Le

remplacement d'un employé n'est admis que lorsque celui-ci a atteint l'âge de la retraite de 67 ans.

Au sein de la période de planification, la charge de travail moyenne du personnel et le coefficient de variation de la charge de travail du personnel sont considérés comme critères d'évaluation de la logistique de production, tout comme le rendement et l'utilisation des moyens de production. La charge de travail du personnel ou l'utilisation des moyens de production signalent le temps de travail effectif de la personne ou la durée de fonctionnement de l'équipement, mesurés par rapport à leur capacité théorique (cf. REFA 1991, p. 251). Quant au personnel, cette capacité est considérée comme identique au temps de travail pendant la période d'évaluation, pour un coefficient du temps de 100%.

La Figure 2 illustre le changement de la productivité en fonction de l'âge, en mesurant le rendement réalisé sur des scénarios différents. Les indicateurs $P_x(y)$ montrent que la personne x du scénario y n'est plus à même de fournir la prestation requise. Les indicateurs " P_x "(y) signalent que la personne fournit une performance en partie réduite. Le scénario A, la situation de départ, présente le système d'assemblage sans effets de vieillissement, ce qui explique pourquoi les objectifs fixés sont atteints de manière constante. Le scénario B simule un système d'assemblage, en tenant compte des effets du vieillissement. Le résultat en est une chute forte du rendement. Les autres scénarios essaient d'éviter, autant que possible, des goulots d'étranglement liés à l'âge dans le système d'assemblage. Ce n'est qu'en combinant plusieurs mesures différentes qu'on peut améliorer le rendement par rapport à la situation de départ (voir scénario F).

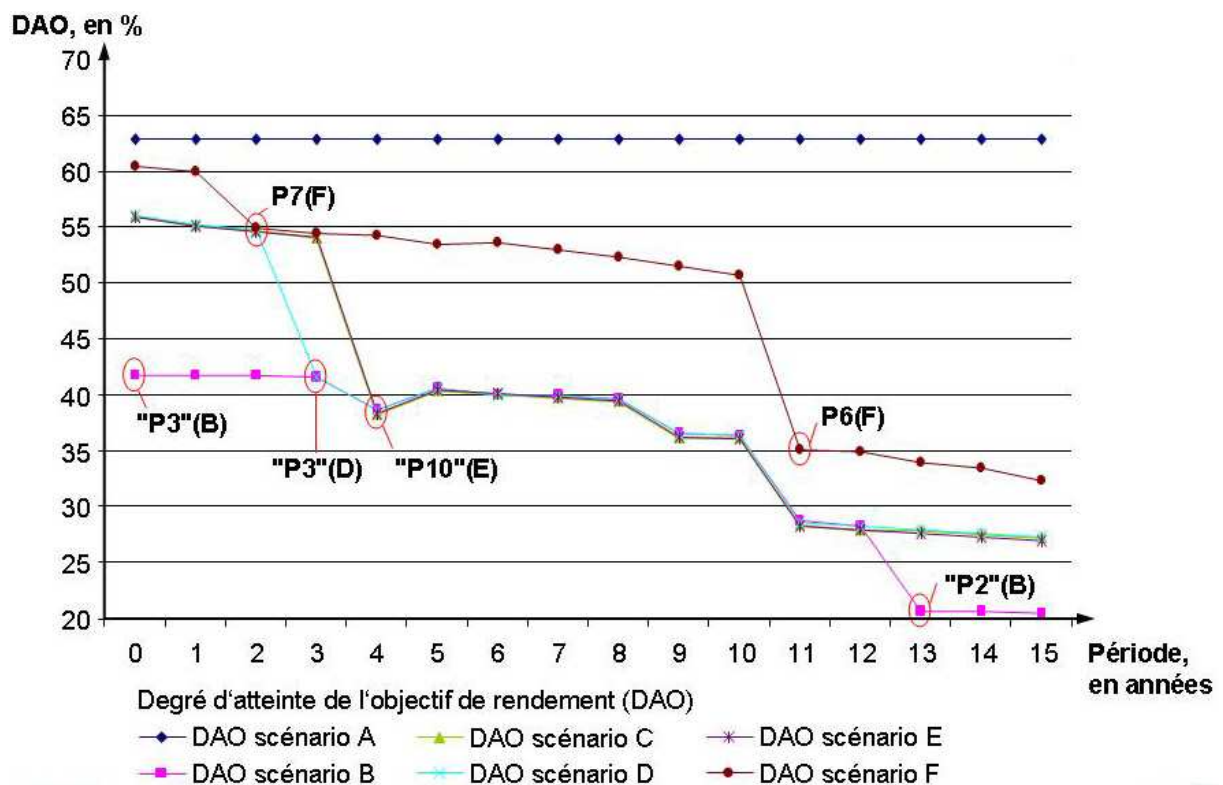


Figure 2: Evolution du degré d'atteinte de l'objectif de rendement dans un système d'assemblage (traduit de Zülch, Becker, & Linsenmaier 2009, p. 7)

Le deuxième exemple concerne le département chargé de l'organisation du travail dans une entreprise de production. Les activités effectuées ici sont plutôt routinières, telles que la préparation des plans opérations, la programmation informatisée de la commande ou bien le choix de moyens et d'outils de fabrication. A ce stade de connaissances, ces activités s'avèrent particulièrement appropriées pour analyser et modéliser les influences des changements de la capacité mentale sur la

productivité du système. Deux groupes de travail ayant un âge moyen différent sont examinés ici: le premier groupe peut être qualifié d'hétérogène quant à la structure d'âge (41,7 ans), le deuxième, en revanche, comme un groupe d'un âge plus avancé (52,6 ans).

Dans cet exemple, des scénarios du développement de la productivité au sein de ce département ont été simulés à l'aide du procédé décrit. Ceci a permis de pronostiquer pour la première fois l'évolution de la performance mentale sur plusieurs années. Pour simplifier, pour chaque tâche, on n'a sélectionné que la tendance respectivement dominante de la performance mentale. Comme dans les scénarios de le système d'assemblage, l'évolution du coefficient du temps est marquée par des variations légères, qui, pourtant, sont moins fortes que celles observées lors de la simulation des activités principalement physiques.

5. Conclusion et perspectives

En utilisant la procédure *ESPE-AS* il était possible la première fois de pronostiquer le rendement d'une groupe de travail vieillissante pour une longue période. Les études pilotes ont confirmés l'hypothèse selon laquelle l'évolution démographique aura des conséquences plus importantes dans les systèmes de travail caractérisés par des conditions physiques, que ce sera le cas avec des activités caractérisés par des exigences plus mentales.

La simulation permet d'évaluer aussi des mesures de compensation appropriées. Par exemple, une répartition différente des opérations de travail sur les employés peut entraîner des améliorations. Et il ne faut pas procéder à une stricte répartition, le changement des tâches menant aussi à des solutions améliorées, surtout dans les secteurs marqués par des activités fortement répétitives.

Ainsi, la productivité d'un système de travail dépend également du planning du personnel à court terme. Pour cela, à l'heure actuelle, on complète les stratégies de gestion du personnel déjà implémentées dans le procédé *ESPE-AS*, en suivant l'approche de l'affectation du personnel différenciée selon l'âge, sur la base de profils de capacités évoluant d'après ce critère. Selon les règles de priorité choisies pour répartir les tâches de manière adéquate, on obtient ainsi différents schémas d'affectation du personnel au cours du temps.

Bibliographie

- Baines, T., Mason, S., Siebers, P.-O., & Ladbrook, J. (2004). Humans: the missing link in manufacturing simulation? *Simulation Modelling Practice and Theory*, 12(7-8), 515-526.
- Doerr, K.H., Mitchell, T.R., Schriesheim, C.A., Freed, T., & Zhou, X. (2002). Heterogeneity and variability in the context of flow lines. *The Academy of Management Review*, 27(4), 594-607.
- Fletcher, S.R., Baines, T.S., & Harrison, D.K. (2008). An investigation of production workers' performance variations and the potential impact of attitudes. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 35, 1113-1123.
- Heitz, M.-J. (1994). *Ein engpaßorientierter Ansatz zur simulationsunterstützten Planung von Personalstrukturen*. Dissertation, Universität Karlsruhe, Karlsruhe.
- Hunter, J.E., Schmidt, F.L., & Judiesch, M.K. (1990). Individual differences in output variability as a function of job complexity. *Journal of Applied Psychology*, 75(1), 28-42.
- REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation (Eds.). (1991). *Planung und Steuerung, Teil 2*. Munich: Hanser.
- REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation (Eds.). (1992). *Datenermittlung*. Munich: Hanser.
- REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation (Eds.). (1994). *Ausgewählte Methoden des Arbeitsstudiums*. Munich: Hanser.

- Schaie, K.W. (2005). *Developmental Influences on Adult Intelligence. The Seattle Longitudinal Study*. New York, NY: Oxford University Press.
- Schaie, K. W., & Willis, S.L. (1996). *Adult Development and Aging*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hill.
- Warr, P. (2001). Age and Work Behaviour: Physical Attributes, Cognitive Abilities, Knowledge, Personality Traits and Motives. In C.L. Cooper & I.T. Robertson (Eds.), *International Review of Industrial and Organizational Psychology* (pp. 1-36). London: Wiley.
- Zülch, G. (1995). Techniques de simulation pour l'organisation du travail en groupe. In I.L.S. (Innovation Logiciel Système) de la Chambre de Commerce et d'Industrie de Bayonne Pays Basque Université Paris V (Eds.), *Ergonomie et production industrielle: L'homme dans les nouvelles organisations* (pp. 87-94). Biarritz: I.L.S.
- Zülch, G. (2004). Modélisation des Ressources Humaines dans des Procédées de Simulation - La Directive de l'Association des Ingénieurs Allemands (VDI). In Rey, Paule, Ollagnier, Edmée, Gonik, Viviane & Ramaciotti, Daniel (Eds.), *Ergonomie et normalisation* (pp. 263-272). Toulouse: Octarès Éditions.
- Zülch, G., & Becker, M. (2006a). Simulationsunterstützte Prognose der Leistungsfähigkeit von Fertigungssystemen beialternder Belegschaft. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, (60)3, 151-159.
- Zülch, G., & Becker, M. (2006b). Qualification-Based Manufacturing Planning Based on Computer-Supported Modelling and Simulation. In Dolgui, A., Morel, G. & Pereira, C. (Eds.), *Information control problems in manufacturing 2006. Volume II: Industrial Engineering* (pp. 181-186). Oxford: Elsevier Science.
- Zülch, G., & Becker, M. (2007). Computer-supported competence management: Evolution of industrial processes as life cycles of organizations. *Computers in Industry*, 58(2), 143-150.
- Zülch, G., Becker, M., & Linsenmaier, W. (2009). *Modelling and simulation of human performance changes in assembly systems due to aging*. Paper presented at the 17th World Congress on Ergonomics IEA, Beijing.
- Zülch, G., Vollstedt, T. (2001): *Planning de structures de personnel encourageant la qualité en production*. In: *Les transformations du travail - enjeux pour l'ergonomie - Ergonomics for changing work*. Communication présentée au congrès conjoint - Joint Conference Proceedings SELF ACE, Montréal, 2001.