

ÉTUDE DE CAS : APPORTS ET LIMITES DE DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE SIMULATION DANS UN PROJET D'AMÉLIORATION D'UN POSTE DE CONDUITE D'UN VÉHICULE INDUSTRIEL

BEAUGRAND SYLVIE, LARUE CHRISTIAN, BELLEMARE MARIE

Institut de recherche Robert Sauvé en santé et sécurité du travail,
505 boul. de Maisonneuve Ouest, Montréal, Québec, H3A 3C2
beaugrand.sylvie@irsst.qc.ca,

VEZEAU STEVE

Université du Québec à Montréal, Groupe 3D, 1440 rue Sanguinet,
C.P. 8888, succ. Centre-Ville, Montréal, Québec, H3C 3P8

Résumé

Cette communication résume les principaux apports et limites de sept techniques de simulation et d'essai réalisées lors d'un projet d'amélioration d'un transporteur de creuset (TC). Ces techniques sont : cartes de visibilité, animation 3D par ordinateur, simulation dynamique, plans et mannequins 2D, dessins et maquettes grandeur réelle, essai en situation de référence et essai en cours de fabrication et après implantation. Globalement, toutes les techniques utilisées se sont avérées utiles pour faire progresser le design technique. Cependant, la simulation dynamique, qui permet de réaliser des activités réelles de travail avec une maquette de cabine montée sur le véhicule existant, est la seule qui a permis de mettre au jour les repères visuels essentiels à l'accomplissement du travail, repères qui n'avaient pu être identifiés ou verbalisés autrement. Cette simulation est aussi celle qui a eu le plus d'impact sur la dimension sociale du projet. De plus, ce projet a permis d'identifier certaines conditions qui permettent de mieux tirer profit des simulations et des essais.

Mots clés : simulation, véhicule, visibilité, TMS (troubles musculo-squelettiques)

CASE STUDY: CONTRIBUTIONS AND LIMITATIONS OF VARIOUS SIMULATION TECHNIQUES IN A PROJECT TO IMPROVE AN INDUSTRIAL VEHICLE DRIVER'S STATION

Abstract

This paper summarizes the main contributions and limitations of seven simulation and testing techniques used in a project designed to improve a crucible carrier. These techniques are visibility charts, computer-aided 3-D animation, dynamic simulation, 2-D plans and mannequins, life-size drawings and models, reference site testing, and in-process/post-implementation testing. In the main, all the techniques were found to be useful in pushing the design process forward. However, dynamic simulation, in which real-life work activities were carried out using a model cabin mounted on the vehicle, was the only method that brought to light the visual cues required for the work, which it had not hitherto been possible to identify or verbalize. Dynamic simulation was also the technique that had the greatest impact on the social aspect of the project. Further, this project led to the identification of a number of factors which could increase the benefits derived from the simulations and tests.

Key words: simulation, vehicle, visibility, MSD (musculo-skeletal disorders)

OBJECTIFS, CONTEXTE ET MÉTHODES

Cette communication présente les apports et limites de plusieurs techniques de simulations et d'essais utilisées dans le cadre d'un projet de transformation d'un poste de conduite d'un véhicule industriel. Ce projet de recherche s'est déroulé dans une aluminerie et visait à valider et enrichir les propositions du concepteur mandaté pour améliorer le poste de conduite d'un transporteur de creuset (TC). Le mandat des ergonomes était principalement centré sur l'évaluation du concept de structure de cabine, le choix du siège, des manettes et du volant. Pour réaliser ce mandat, une «équipe projet» composée des ergonomes, d'un technicien chargé de projet, d'un responsable de l'entretien, d'un instructeur de conduite et de trois opérateurs de transporteur, a été mise sur pied à la demande des ergonomes. Comme plusieurs modifications avaient déjà été proposées par le concepteur avant l'arrivée des ergonomes dans le projet, les efforts de l'équipe projet se sont principalement centrés sur la vérification de l'adéquation entre les propositions du concepteur - notamment l'élargissement de la cabine - et les exigences du travail et de sécurité.

Outre la démarche ergonomique générale visant à documenter le travail, sept techniques de simulation et d'essai ont été utilisées en cours de projet. Ces techniques se résument comme suit. Les cartes de visibilité, sont des projections sur deux plans perpendiculaires (un plan parallèle au sol et un plan face à l'opérateur) des zones visibles par l'opérateur et des zones aveugles. Ces zones dépendent de la structure du véhicule et de la position des yeux du conducteur dans la cabine. Les cartes de visibilité sont générées par ordinateur à partir des dessins 3D du TC et de mannequins anthropomorphiques de différentes tailles (2,5 percentile femme à 97,5 percentile homme) (1). L'animation par ordinateur d'un transporteur reconstitué en 3D est une reconstruction virtuelle du TC qui permet par exemple de visualiser l'ouverture des portes du véhicule, le braquage du véhicule, la présence d'un opérateur sur les marches du véhicule,... Cette simulation permet aussi de voir le véhicule sous différents angles. La simulation dynamique est réalisée au moyen d'une cabine grandeur réelle fabriquée, selon les plans du concepteur, en carton plume et en bois et installée par-dessus le TC original. Cette construction permet de réaliser des activités de travail avec la nouvelle cabine dans des situations réelles (ex. conduite, accès, prise et dépôt d'un creuset). Les simulations à l'aide de plans et de dessins de mannequin 2D sont réalisées par ordinateur et visent principalement à caractériser les dimensions du poste de travail. Les dessins sur papier et les maquettes grandeur nature simulent des éléments (ex. télécommande d'ouverture des portes de garage) à placer dans la cabine. Les essais en situation de référence sont des essais de composantes existantes utilisées dans d'autres types de véhicules ou dans d'autres contextes. Finalement, les essais en cours de fabrication et après implantation sont respectivement des vérifications et des expérimentations faites sur le TC modifié par le concepteur en tenant compte des repères fournis par l'équipe projet. Plusieurs simulations ont été réalisées tant avec le TC original qu'avec le TC modifié. Basé sur des entretiens collectifs et sur des observations, une liste «exhaustive» de scénarios représentant les situations courantes et les situations rares a été dressée afin d'identifier, lors des simulations dynamiques, le plus grand nombre possible de limites liées au design de la cabine proposée par le concepteur. Le déroulement technique et social de l'intervention a été consigné dans un journal de bord et dans des comptes rendus de réunion.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les exigences du travail

Sommairement, l'analyse du travail révèle que plusieurs exigences, contraintes et facteurs de risque caractérisent le travail des opérateurs de transporteur de creuset : la visibilité restreinte qui induit des postures contraignantes du dos, du cou et des épaules, la répétition des mouvements et les efforts pour actionner le volant, le stress lié aux aspects de sécurité

et de production (circuler avec un véhicule puissant et un creuset rempli de métal en fusion alors que les voies de circulation sont étroites et qu'il y a de la coactivité), les secousses latérales caractéristiques de ce véhicule articulé au centre.

Apport des simulations aux dimensions technique et sociale de l'intervention

Les simulations et les essais ont généré des retombées variables et variées tant sur le plan des connaissances techniques que sur les aspects sociaux de l'intervention (voir tableau 1).

Tableau 1 : Apports des différentes simulations aux dimensions technique et sociale de cette intervention

Type d'apport		Carte de visibilité	Animation 3D ordinateur	Plan 2D	Simulation dynamique	Dessin et maquette grandeur réelle	Essai en situation de référence	Essai en cours de fabrication et après implantation
Dimension technique	<i>Faire émerger les contraintes et les exigences du travail</i>				✓	✓		
	<i>Confirmer (vérifier des points précis déjà identifiés et arriver au même résultat)</i>		✓		✓			✓
	<i>Mettre au jour les avantages et les inconvénients d'une nouvelle option</i>	✓		✓	✓	✓	✓	✓
	<i>Préciser un design/ calculer des repères précis</i>	✓		✓	✓	✓		
	<i>Générer des solutions</i>			✓	✓	✓		
	<i>Mettre au jour des inexactitudes sur les plans</i>			✓	✓			
Dimension sociale	<i>Informier/démontrer</i>	✓	✓	✓	✓			
	<i>Convaincre/ justifier (fournir des arguments qui ont convaincu l'équipe projet ou qui ont permis de soutenir le chargé de projet pour l'autorisation des budgets)</i>		✓	✓	✓			✓
	<i>Décider (choisir entre plusieurs options, choisir d'exclure une solution ou de réaliser une solution)</i>			✓	✓	✓		
	<i>Faire participer les principaux intéressés et stimuler leur intérêt pour la démarche</i>				✓	✓	✓	✓
	<i>Construire une crédibilité (au bénéfice des ergonomes ou de l'équipe projet)</i>				✓		✓	✓

✓ : technique qui a contribué significativement à cette dimension de l'intervention

Sommairement, les cartes de visibilité ont été utiles aux ergonomes pour comparer les zones aveugles du TC original à celles liées aux propositions du concepteur et pour communiquer au concepteur les zones où la visibilité pourrait être améliorée. Cependant, le concepteur n'a pas utilisé cet outil pour améliorer la conception de la cabine. De plus, la présentation de ces cartes a suscité peu de questions de la part de l'équipe projet et cela a été peu utile pour faire verbaliser les opérateurs sur leurs besoins du point de vue de la visibilité. L'animation 3D par ordinateur a peu contribué à enrichir l'intervention. Des hypothèses peuvent expliquer ce manque de retombée, premièrement l'animation 3D ne mettait pas le TC dans le contexte de l'usine, le TC était présenté dans une scène vide ce qui ne permettait pas facilement à

l'équipe projet d'imaginer les liens avec le travail, deuxièmement, l'engouement des opérateurs pour une cabine élargie les rendaient peut-être un peu moins critiques par rapport à ce concept. La simulation dynamique, réalisée au moyen d'une maquette grandeur réelle installée sur le TC original, a permis aux ergonomes de mettre au jour une erreur dans les dimensions figurant dans les plans du concepteur, de confirmer concrètement les avantages et problèmes d'accès qui avaient déjà été pressentis à l'aide d'autres techniques de simulation, de discuter et de générer des solutions relativement à l'accès et surtout de faire émerger les inconvénients liés à la visibilité qui n'avaient pu être identifiés avec précision au moyen de verbalisation ou d'autres techniques. Cette simulation a permis aux membres de l'équipe projet de constater l'importance des problèmes de visibilité et de réaliser que la proposition de cabine élargie, qui leur semblait une excellente idée au départ, aurait été très désavantageuse dans l'accomplissement de leur travail. Ils ont eu l'impression de «l'avoir échappé belle». Cette simulation a constitué le point tournant de l'intervention tant du point de vue technique que social. En effet, elle a permis à l'équipe projet de se prononcer unanimement sur le rejet du concept de cabine élargie et du même coup l'équipe projet a attribué beaucoup de crédit à la démarche des ergonomes et l'équipe projet a gagné de la crédibilité de la part de ses pairs dans l'usine. Les plans 2D, générés par ordinateurs, ont été très utiles aux ergonomes à plusieurs reprises principalement pour vérifier et pour préciser des repères quant au dimensionnement de la cabine et de ses composantes. Ils ont aussi permis de soumettre au concepteurs certaines incohérences dans les dimensions figurant sur différents plans. De plus, ces plans ont servi à plusieurs reprises comme moyen pour communiquer des informations à l'équipe projet. Les dessins et maquettes grandeur réelle ont permis entre autres de tester des idées quant à l'aménagement de la cabine. Les essais en situation de référence ont apporté des résultats limités puisque le contexte d'utilisation était souvent trop éloigné de la situation de conduite du TC pour permettre de prévoir le comportement du véhicule. Les essais en cours de fabrication et après implantation ont surtout permis de faire des vérifications.

Ces simulations ont fait intervenir des acteurs différents. Les cartes de visibilité et les plans ont été faits par les ergonomes et n'ont pas mis à contribution l'équipe projet. Par contre, les simulations dynamiques, les maquettes et dessins grandeur réelle, les essais en situation de référence et les essais en cours et après implantation ont demandé une contribution majeure de l'équipe projet pour la réalisation des essais (le matériel requis était préparé par les ergonomes et le déroulement était planifié et coordonné par ceux-ci). De façon générale, les simulations exigeant une participation active de l'équipe projet sont celles qui ont été aussi les plus appréciées par celle-ci.

L'ensemble des simulations a permis d'élaborer des repères pour la conception de la cabine et de l'aménagement (siège, volant, manettes, ...). Le transporteur a donc été modifié en tenant compte de la plupart de ces repères. Dans l'ensemble, les modifications apportées ont été appréciées par les opérateurs et une analyse sommaire des facteurs de risque de TMS montre une diminution de la répétition, de l'effort et des contraintes posturales. La conception de la cabine et les possibilités de réglage du siège, du volant et du porte-manettes permettent d'accommoder tant les femmes de taille 5 percentile que les hommes de 95 percentile.

Certaines limites des simulations

Du point de vue des connaissances générées, les simulations ne profitent pas de façon égale à tous les acteurs. Les ergonomes ont bénéficié de l'ensemble de ces simulations alors que l'équipe projet semble n'avoir tiré profit que des simulations les plus concrètes les replaçant dans leur situation de travail, soit la simulation dynamique et les simulations avec les maquettes grandeur réelles. De plus, les simulations ne sont pas accessibles à tous en raison de leur coût en temps, en expertise, en matériel et en logiciel. Des limites techniques

peuvent également s'ajouter : dans ce projet, il a été possible d'installer la maquette de cabine grandeur réelle par-dessus la cabine originale, ce qui n'est pas toujours possible. De plus, les simulations réalisées dans ce projet ne permettaient pas de prévoir le comportement dynamique du nouveau système de direction (volant et orbitrol) ni celui des manettes. Finalement, l'impact social de la simulation dynamique sur l'équipe projet a été important entre autres parce que cette simulation a permis d'identifier des problèmes majeurs de visibilité. Cependant, si cette simulation n'avait que confirmé que la cabine était adéquate, il est probable que l'impact social aurait été moindre, et ce, même si la simulation demeurerait tout aussi importante pour s'assurer de l'adéquation entre le nouveau concept de cabine, les exigences du travail et la sécurité. Ceci est probablement vrai aussi pour tout autre type de simulation.

Des conditions à respecter pour rentabiliser les efforts

De cette intervention émergent quelques conditions qui semblent importantes pour tirer profit des simulations. Premièrement, il est primordial de considérer non seulement les scénarios critiques mais également l'ensemble des scénarios courants (ex. : la vision et l'accès lors du braquage). Deuxièmement, il est très utile de posséder une base de comparaison (TC original et TC modifié) pour pouvoir faire émerger les avantages et les désavantages d'une proposition ainsi que pour amener des discussions concrètes avec les opérateurs sur les gains et les pertes du point de vue du travail. Troisièmement, lors des essais en situation de référence auxquels ne peuvent assister les ergonomes, il s'avère très important de supporter les opérateurs à l'aide d'une liste de critères afin de les aider à évaluer les options en tenant compte des exigences de leur travail.

Dans cette intervention, contrairement à ce que les ergonomes prévoient, certains types de simulation n'ont pas eu l'impact escompté, notamment : 1) le concepteur ne s'est pas aidé des cartes de visibilité pour améliorer sa proposition et 2) l'animation 3D par ordinateur a peu servi à faire discuter l'équipe projet sur les avantages et inconvénients de la cabine plus large. L'efficacité des techniques utilisées peut dépendre de leurs caractéristiques intrinsèques mais également de la mise en place de la démarche (2). Afin de tirer profit du potentiel offert par ces techniques, il est nécessaire de se questionner sur les conditions optimales pour les introduire, par exemple : assurer un meilleur suivi et support auprès du concepteur, ajouter des éléments de contexte de travail, adapter les modes d'animation des questionnements déjà proposés (3).

Finalement, pour pouvoir satisfaire promptement à plusieurs besoins sociaux et techniques, il paraît avantageux de recourir rapidement à des simulations dynamiques lorsque le coût de construction d'une maquette grandeur réelle est peu élevé. Les autres types de simulation sont cependant des atouts pour évaluer différents concepts et pour les raffiner, particulièrement lorsque le coût d'une maquette est élevé.

RÉFÉRENCES

(1) Larue, C., Bellemare, M., Beaugrand, S. (1999): Integration, into a design process, of simulation centered on work activities : case study of two molten metal transporters. Proc. International Computer-Aided Ergonomics and Safety Conference, Barcelone, 1999. Sur CD-ROM, ISBN 84-699-0852-9.

(2) Maline, J., (1994), Simuler le travail : une aide à la conduite de projet. Ed. ANACT. Lyon-Montrouge.

(3) Garrigou, A., Bellemare, M., Richard, J.G., (1998), Une démarche de simulation des activités futures au sein des projets de conception. Performances Hum. & Tech., Nov-Déc. 1998, n°97, 30-39.