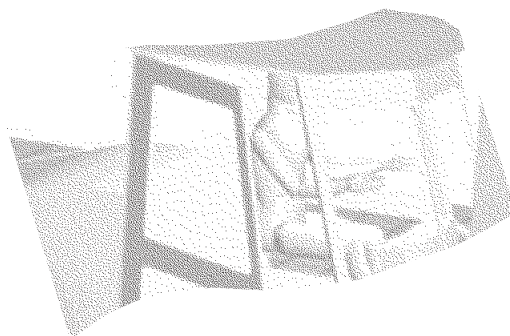


**Les simulations centrées
sur l'activité au cours
de l'accompagnement
ergonomique des projets
industriels :
deux cas de conception
de cabines de véhicule
dans l'industrie métallurgique**



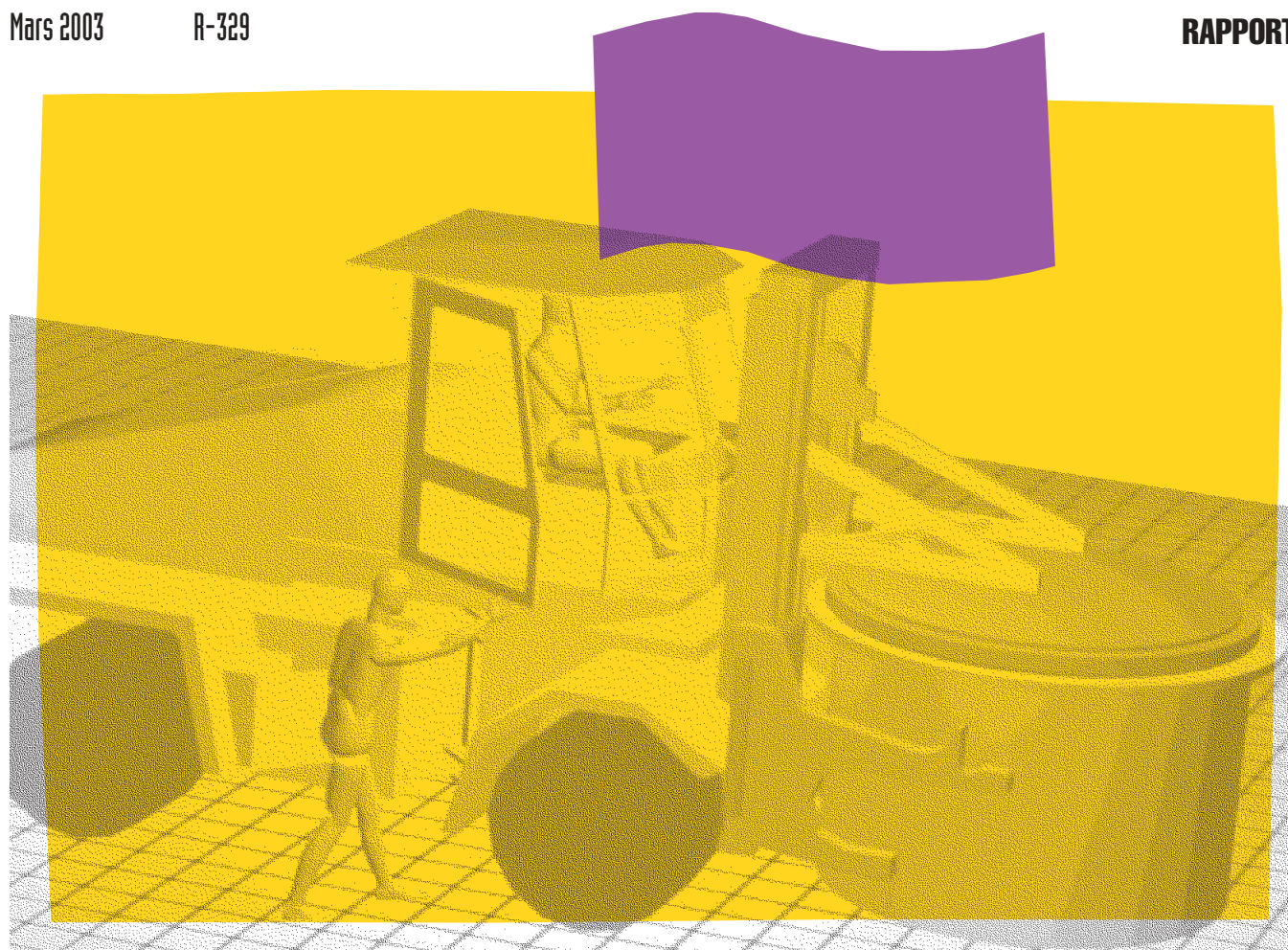
**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

Marie Bellemare
Sylvie Beaugrand
Micheline Marier
Christian Larue
Steve Vezeau

Mars 2003

R-329

RAPPORT





Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

NOS RECHERCHES *travaillent* pour vous !

MISSION

- ▶ Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes.
- ▶ Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.
- ▶ Assurer la diffusion des connaissances, jouer un rôle de référence scientifique et d'expert.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission de la santé et de la sécurité du travail.

POUR EN SAVOIR PLUS...

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour.
De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement.
www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par l'Institut et la CSST.
Abonnement : 1-817-221-7046

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec
2003

IRSST - Direction des communications
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1551
Télécopieur : (514) 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca

© Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
mars 2003.

**Les simulations centrées
sur l'activité au cours
de l'accompagnement
ergonomique des projets
industriels :
deux cas de conception
de cabines de véhicule
dans l'industrie métallurgique**

Marie Bellemare, ergonomiste chercheure¹,
Sylvie Beaugrand, professionnelle scientifique¹,
Micheline Marier, ergonomiste²,
Christian Larue, ingénieur¹,
Steve Vezeau, ergonomiste professeur³

¹ Sécurité-ergonomie, IRSST

² Université Laval

³ Design 3D, UQAM

Avec la collaboration de :
Nathalie Perron, ergonomiste, Alcan

RAPPORT

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca



Cette publication est disponible
en version PDF
sur le site Web de l'IRSST.

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSST

Les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document
ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

SOMMAIRE

Depuis les dernières décennies, les ergonomes sont appelés à non seulement réaliser des diagnostics, mais aussi à contribuer à l'implantation des recommandations qui en sont issues. Les ergonomes sont également de plus en plus nombreux à accompagner des projets d'entreprise : projets de construction de bâtiments, projets de réaménagement d'atelier, projets d'implantation de nouvelles technologies. Cette évolution de la pratique d'intervention se traduit par des développements théoriques et méthodologiques autour de la question suivante : comment intervenir dès la conception, afin de produire des situations de travail qui, tout en répondant à des critères de production, respectent la santé de ceux qui sont appelés à y œuvrer ?

Au cours des dernières années, nous avons mené des travaux visant à développer des moyens d'intervenir dans les processus de conception. Récemment, une recherche-intervention (Bellemare et coll., 2002) réalisée dans une entreprise de production de métal primaire, nous offrait la possibilité de suivre une variété de projets de transformation de situations de travail. La présente étude approfondit deux de ces projets qui portaient chacun sur la transformation d'équipement mobile : le poste d'opérateur de pont roulant et celui de conducteur de transporteur de creuset.

Dans les deux cas, des risques de troubles musculo-squelettiques ont d'abord été caractérisés par un diagnostic ergonomique. Une première analyse du travail a mis en évidence que ces problèmes découlent d'une part des postures contraignantes reliées à la recherche d'un champ de vision optimal par l'opérateur et d'autre part, à la répétition d'actions sur des commandes. Parmi les déterminants les plus importants de ces facteurs de risque on retrouve les caractéristiques des cabines de conduite. En effet, les possibilités limitées d'ajustement des différentes composantes du poste, la présence de vibrations lors des opérations et l'obstruction du champ visuel par des éléments de structure du véhicule représentent autant de pistes d'action pour l'amélioration des cabines et de là, pour la diminution des facteurs de risque de TMS.

Nous avons utilisé pour intervenir le modèle de l'activité future (Daniellou, 1987) et en particulier, le recours à des simulations de l'activité des opérateurs pour instruire les décisions prises par les responsables des projets. Compte tenu des contextes différents d'intervention, diverses techniques de simulation ont été utilisées : les cartes de visibilité réalisées par ordinateur; les simulations sur ordinateur en deux dimensions; les simulations animées sur ordinateur en trois dimensions; les simulations dynamiques avec une maquette grandeur réelle; les essais en situation de référence ; les essais en cours de fabrication et après implantation. Nous avons tenté de les mettre en perspective, de les discuter au regard de leur contribution aux résultats de ces deux projets. Une analyse ergonomique des nouvelles situations de travail issues de chacun des projets a été réalisée.

La méthodologie utilisée pour analyser chacune des interventions s'appuie sur un recueil des traces écrites produites au cours de chacun des projets : notes de terrain, outils préparés pour les simulations, comptes rendus de réunions. Les principales dimensions qui ont été documentées sont les suivantes : organisation de l'intervention (dispositif, acteurs, mandat des ergonomes); techniques utilisées et résultats produits par chacune d'elles. Chacune des interventions a ainsi été reconstituée dans son déroulement temporel et une première analyse intra-cas a permis de mettre en évidence les apports des différentes techniques utilisées dans le déroulement de chaque

projet de transformation. Nous avons considéré aussi bien l'apport au processus technique de définition des situations de travail que l'apport au processus social de conception et à la conduite de projets. Une seconde analyse a été faite en tentant de faire ressortir les similitudes et les différences entre les deux cas. Nous avons ainsi défini six types d'apports au processus technique et cinq types d'apports au processus social.

La typologie des apports au processus technique est liée à la logique de la définition de la situation de travail : faire émerger les contraintes et les exigences du travail ; générer des propositions; mettre au jour les avantages et les inconvénients d'une nouvelle option; définir des spécifications, c'est-à-dire préciser un design/ des critères de conception/ calculer, mettre au jour des inexactitudes sur les plans. Outre cette dimension technique par laquelle se définit progressivement l'objet de la conception, le processus de conception comporte également une dimension sociale où de multiples interactions participent à la construction du futur. Ainsi, les différentes techniques ont pu contribuer à informer, convaincre, aider à la prise de décision, faire participer les acteurs et construire la crédibilité. Le recours aux simulations, s'il peut produire à l'occasion des résultats assez percutants qui amènent les concepteurs à modifier leurs propositions, peut aussi s'avérer utile pour avancer plus sûrement dans le processus de conception en confirmant la pertinence des choix de conception déjà faits.

Le recours à ces techniques ne nous permet pas de faire l'économie de l'analyse ergonomique du travail, bien que l'étude du travail accompli à des postes de conduite de véhicules présente plusieurs défis pour les ergonomes : la complexité et la diversité des tâches, la mobilité du poste de travail, les savoirs intériorisés et difficiles à faire verbaliser figurent parmi les difficultés rencontrées pour réaliser l'analyse du travail. Il peut s'ajouter à cela des difficultés d'observation liées à l'exiguïté des cabines.

Les deux contextes de conception dans lesquels nous sommes intervenus comportaient une différence importante. En effet, la reconception de la cabine du transporteur de creuset a été entreprise dans un objectif de réduction des risques auquel sont venues se greffer des considérations relatives à l'entretien, à la production. Dans le cas du changement du pont roulant, la conception visait avant tout un objectif de production auquel devaient s'arrimer les objectifs de réduction des risques. La principale conséquence pour l'intervention ergonomique est que, dans ce dernier cas, les critères de conception relatifs à l'activité de travail étaient au second plan si on les compare à ceux relevant des objectifs techniques.

La planification de l'intervention ergonomique s'organise autour de l'objet à concevoir. Dans le cas d'un véhicule, il faut avoir à l'esprit que si on attend de l'ergonome qu'il intervienne sur le poste de conduite, d'autres aspects sont également touchés au cours du processus de conception. Ainsi les éléments suivants de la situation de travail peuvent influencer de manière importante le résultat de la conception du poste de conduite : formation donnée aux opérateurs, parcours, vitesse, choix des autres composantes du véhicule (suspension, direction, système de freinage). Par ailleurs, les activités liées à l'entretien du véhicule devraient également être traitées au cours de la conception.

Nous suggérons que se poursuive la recherche dans le domaine de l'ergonomie de conception et que soient rendus disponibles des outils d'aide à la décision pour aider les concepteurs dans leurs projets de transformation des situations de conduite. Par ailleurs, des travaux devraient être

entrepris en interdisciplinarité afin que puissent être mieux prévenus les risques associés aux vibrations dans les véhicules.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à souligner la contribution des collègues suivants :

- Sylvie Montreuil, professeur au département des relations industrielles, Université Laval, qui a supervisé la revue de littérature et assuré la gestion d'une partie du projet;
- Geneviève Nadeau, étudiante au 2^e cycle, département des relations industrielles de l'Université Laval pour la revue de littérature;
- Paul-Émile Boileau, chercheur à l'IRSSST, programme sécurité ingénierie, qui nous a offert son expertise en matière de vibrations;
- Jérôme Boutin, professionnel scientifique et Pierre Drouin, technicien, de l'IRSSST, programme soutien analytique, qui ont effectué des mesures de vibration sur le transporteur de creuset;

Cette étude n'aurait pas été possible sans la participation de nombreux collaborateurs de premier plan au cours des deux interventions rapportées ici. Nous tenons à remercier : les opérateurs qui ont fait partie de l'équipe projet et tous les opérateurs qui ont participé aux processus dans les deux usines, l'instructeur et le mécanicien membres de l'équipe projet de l'usine A, le mécanicien de l'usine B, les chargés de projet des deux usines, les représentants à la prévention des deux usines, le conseiller SST de l'usine B, le coordonnateur SST de l'usine A, les surintendant et superviseurs de l'usine A, le contremaître général de l'usine B, le fabricant et le fournisseur impliqués dans l'usine A, l'ergonome principal de l'Alcan et toutes les autres personnes qui ont contribué de près ou de loin à réalisation de cette étude.

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|-----------|
| SOMMAIRE | I |
| REMERCIEMENTS | V |
| INTRODUCTION | 1 |
| 1. PROBLÉMATIQUE..... | 3 |
| 1.1 LA MANIFESTATION DE PROBLÈMES MUSCULO-SQUELETTIQUES ET LA PRÉSENCE DE FACTEURS DE RISQUE.. | 3 |
| 1.2 LES DÉTERMINANTS À CIBLER LORS D'UNE TRANSFORMATION | 5 |
| 1.2.1 Les vibrations : repères pour la conception | 5 |
| 1.2.2 La visibilité, un déterminant important de l'accomplissement des activités de travail..... | 6 |
| 1.3 LE RECOURS AUX SIMULATIONS POUR UNE MEILLEURE DÉFINITION DES SITUATIONS DE TRAVAIL FUTURES . | 7 |
| 1.3.1 La conception , processus social..... | 8 |
| 1.3.2 La conception, processus délimité dans le temps | 8 |
| 2. MÉTHODOLOGIE | 11 |
| 2.1 ORIGINE DES DEUX DEMANDES D'ACCOMPAGNEMENT DE PROJETS | 11 |
| 2.1.1 La demande pour le projet TC de l'usine A | 12 |
| 2.1.2 La demande pour le projet PR de l'usine B..... | 13 |
| 2.2 L'ANALYSE DES INTERVENTIONS..... | 13 |
| 2.2.1 Analyse du cas transporteur de creuset..... | 14 |
| 2.2.2 Analyse du cas pont roulant | 15 |
| 3. LE CAS DU TRANSPORTEUR DE CREUSET | 17 |
| 3.1 DESCRIPTION DU TRANSPORTEUR DE CREUSET ET DU TRAVAIL FAIT PAR LES OPÉRATEURS..... | 17 |
| 3.1.1 Le transporteur de creuset | 17 |
| 3.1.2 Les tâches des opérateurs et l'organisation du travail | 17 |
| 3.1.3 Les caractéristiques du parcours..... | 18 |
| 3.1.4 Bref portrait des exigences du travail, des contraintes et des facteurs de risque | 18 |
| 3.2 ORGANISATION DE L'INTERVENTION | 19 |
| 3.2.1 Composition de l'équipe projet et de l'équipe de recherche..... | 20 |
| 3.2.2 Le mandat initial et l'échéancier | 20 |
| 3.3 L'INTERVENTION ERGONOMIQUE | 21 |
| 3.3.1 La démarche ergonomique dans son ensemble..... | 21 |
| 3.3.2 Les simulations et les essais | 24 |
| 3.3.3 Les simulations et l'implication des ergonomes : bilan par sous-projet..... | 32 |
| 3.3.4 L'implication technique des ergonomes par sous-projets..... | 34 |
| 3.4 LA CONDUITE DU PROJET ET LA DIMENSION SOCIALE DE L'INTERVENTION ERGONOMIQUE | 35 |
| 3.4.1 Le rôle des ergonomes dans la conduite de réunion et la gestion de projet..... | 35 |
| 3.4.2 Le déroulement des réunions..... | 35 |
| 3.4.3 Les éléments influençant le déroulement temporel du projet | 36 |
| 3.4.4 L'évolution du mandat des chercheurs..... | 37 |
| 3.4.5 L'évolution de la perception de l'équipe projet quant aux interventions des ergonomes..... | 39 |
| 3.4.6 L'implication du concepteur avec les différents acteurs..... | 41 |
| 3.4.7 Les prises de décision au sein de l'équipe projet..... | 41 |
| 3.5 DISCUSSION/CONCLUSION DU CAS TC | 42 |
| 3.5.1 La visibilité est-elle améliorée?..... | 43 |
| 3.5.2 Les contraintes musculo-squelettiques sont-elles diminuées?..... | 43 |
| 3.5.3 Les opérateurs sont-ils satisfaits des modifications? | 45 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 4. | LE CAS DU PROJET DE REMPLACEMENT DES PONTS ROULANTS..... | 49 |
| 4.1 | DESCRIPTION DU PONT ROULANT ET DU TRAVAIL DES OPÉRATEURS..... | 49 |
| 4.1.1 | Les tâches des pontiers et l'organisation du travail..... | 49 |
| 4.1.2 | Le pont roulant et les caractéristiques de son parcours..... | 49 |
| 4.1.3 | Exigences du travail de pontier et contraintes posées par la situation..... | 50 |
| 4.2 | ORGANISATION DE L'INTERVENTION..... | 51 |
| 4.2.1 | Composition de l'équipe projet et de l'équipe de recherche..... | 52 |
| 4.2.2 | Le mandat et l'échéancier..... | 52 |
| 4.3 | L'INTERVENTION ERGONOMIQUE..... | 52 |
| 4.3.1 | La démarche ergonomique dans son ensemble..... | 53 |
| 4.3.2 | Description et apport des techniques de simulation et d'essai..... | 56 |
| 4.3.3 | La nouvelle cabine - L'évaluation post-implantation..... | 61 |
| 4.3.4 | Les apports et limites des simulations et essais..... | 63 |
| 4.4 | LA DIMENSION SOCIALE DE L'INTERVENTION ERGONOMIQUE..... | 66 |
| 4.5 | CONCLUSION SUR L'INTERVENTION ERGONOMIQUE DANS LE PROJET DES PONTS ROULANTS..... | 67 |
| 5. | DISCUSSION..... | 69 |
| 5.1 | L'APPORT DES SIMULATIONS ET DES ESSAIS AU PROCESSUS DE CONCEPTION..... | 69 |
| 5.2 | LES LIMITES RELATIVES À CERTAINES TECHNIQUES..... | 76 |
| 5.3 | LES CONDITIONS POUR FAVORISER LES RETOMBÉES DES SIMULATIONS..... | 79 |
| 6. | CONCLUSION..... | 81 |
| 6.1 | ACCOMPAGNER UN PROJET DE CONCEPTION DE VÉHICULE..... | 81 |
| 6.2 | AU-DELÀ DE LA CONCEPTION DU POSTE DE CONDUITE, INTÉGRER D'AUTRES ÉLÉMENTS DE LA SITUATION DE TRAVAIL..... | 81 |
| 6.3 | LA COMMUNICATION AVEC LES CONCEPTEURS : QUELLES INFORMATIONS TRANSMETTRE ET SOUS QUELLE FORME ?..... | 82 |
| 6.4 | DES LIMITES À DÉPASSER PAR LA RECHERCHE ET L'EXPÉRIMENTATION..... | 82 |
| | RÉFÉRENCES..... | 84 |

LISTE DES TABLEAUX

| | | |
|-------------|--|----|
| Tableau 1. | Chronologie des interventions techniques des ergonomes | 23 |
| Tableau 2. | Exemples de scénarios servant à tester l'ouverture et la fermeture des portes du véhicule. Note : les combinaisons de toutes ces situations ont servi de base aux essais. | 27 |
| Tableau 3. | Exemples de scénarios visant à tester la visibilité. | 28 |
| Tableau 4. | Type de simulations et d'essais réalisés selon les sous-projets de conception. | 33 |
| Tableau 5. | Étendue de l'implication des ergonomes selon les sous-projets de conception | 34 |
| Tableau 6. | Définition du mandat, de l'implication et du rôle des chercheurs | 37 |
| Tableau 7. | Évolution du mandat, de l'implication et du rôle des chercheurs en cours de projet | 38 |
| Tableau 8. | Conséquences des modifications apportées au transporteur sur la présence de facteurs de risque musculo-squelettique. | 44 |
| Tableau 9. | Comparaison globale avant/après les changements apportés | 46 |
| Tableau 10. | Chronologie des méthodes utilisées dans le projet « Ponts roulants » | 54 |
| Tableau 11. | Étapes de simulation et critères recherchés | 57 |
| Tableau 12. | Apports des simulations à la dimension technique des deux interventions | 70 |
| Tableau 13. | Apports des techniques à la conduite de projet et au processus social | 72 |

ANNEXES AU RAPPORT DE RECHERCHE

| | | |
|------------|---|----|
| Annexe A - | Figures reliées au rapport de recherche..... | 1 |
| Annexe B - | Exemple de compte rendu de réunion, version validée par l'équipe projet. | 25 |
| | Exemple d'une page de journal de bord..... | 29 |
| Annexe C - | Exemples d'outils et de documents ayant servi dans l'intervention portant sur le transporteur de creuset..... | 31 |
| | Exemple de repères pour la conception..... | 33 |
| | Exemple d'un tableau d'aide à la décision | 35 |
| | Questionnaire ayant servi pour les entretiens de suivi après implantation | 37 |
| Annexe D - | Exemple d'outils et de documents ayant servi dans l'intervention portant sur le pont roulant - | |
| | Exemple de questionnaire utilisé lors du suivi post-implantation..... | 47 |

LISTE DES FIGURES

ANNEXES AU RAPPORT DE RECHERCHE

| | | |
|--------------|---|----|
| Figure 1 – | Le transporteur de creuset original | 3 |
| Figure 2 – | Principaux liens entre les membres de l'équipe projet et les acteurs externes | 4 |
| Figure 3 – | Carte de visibilité de la cabine élargie. Projection au mur (homme 50 percentile).... | 5 |
| Figure 4 – | Carte de visibilité de la cabine élargie. Projection au sol sur un plan à 3' (0,9 m) du sol (homme 50 percentile)..... | 5 |
| Figure 5 – | Animation 3D par ordinateur. Transporteur, avec cabine élargie, reconstitué en 3D | 6 |
| Figure 6 – | Simulation dynamique avec maquette grandeur réelle | 6 |
| Figure 7 – | Plan et dessin en 2D. Homme de 97,5 percentile dans la cabine posée sur suspension à coussin. Dégagement en hauteur insuffisant | 7 |
| Figure 8 – | Simulation avec maquette grandeur nature. Boîtier de contrôle d'ouverture des portes de garage..... | 7 |
| Figure 9 – | Essai en situation de référence. Véhicule à fourches avec manettes proposées | 8 |
| Figure 10 – | Essai en cours de fabrication . Nouveau siège, nouvelles manettes, nouveau volant..... | 8 |
| Figure 11 – | Type de pont roulant utilisé au Centre de coulée..... | 9 |
| Figure 12 – | Le parcours des ponts et de leur chariot..... | 9 |
| Figure 13 – | L'un des deux ponts roulants du Centre de coulée | 10 |
| Figure 14a – | Risques de TMS, structure de la cabine et emplacement des commandes | 11 |
| Figure 14b – | Commandes situées sur le côté | 11 |
| Figure 15a – | Actionnement des commandes, stéréotypes et contraintes posturales..... | 12 |
| Figure 15b – | Trois leviers commandent les déplacements du pont, du chariot porte-palan et de la charge | 12 |
| Figure 16a – | Les accès pour l'entretien du pont..... | 13 |
| Figure 16b – | Les zones de travail pour l'entretien sur les passerelles..... | 13 |

| | |
|---|----|
| Figure 17 – Principaux liens entre l'équipe de recherche, les membres de l'équipe projet et les autres acteurs impliqués dans la conception | 14 |
| Figure 18 – Le modèle de cabine utilisé avant l'essai sur prototype, avec une petite pontière sur le modèle de siège/consolles qui sera testé | 15 |
| Figure 19 – Déterminer la visibilité selon la hauteur des yeux dans la cabine | 16 |
| Figure 20 – La recherche progressive de compromis entre plusieurs critères | 17 |
| Figure 21 – Représentation de la vue, depuis la cabine du pont roulant | 18 |
| Figure 22 – Représentation 3D de la nouvelle cabine | 18 |
| Figure 23 – Essai de prototype par une pontière..... | 19 |
| Figure 24 – L'évolution du concept de rotation, du devis au prototype | 20 |
| Figure 25 – Erreur dans la représentation de l'axe de l'anse du creuset qui a mobilisé l'attention des opérateurs | 21 |

INTRODUCTION

Depuis les dernières décennies, les ergonomes sont appelés à non seulement réaliser des diagnostics, mais aussi à contribuer à l'implantation des recommandations qui en sont issues. Les ergonomes sont de plus en plus nombreux à accompagner des projets d'entreprise : projets de construction de bâtiments, projets de réaménagement d'atelier, projets d'implantation de nouvelles technologies. Cette évolution de la pratique d'intervention se traduit par des développements théoriques et méthodologiques autour de la question suivante : comment intervenir dès la conception, afin de produire des situations de travail qui, tout en répondant à des critères de production, respectent la santé de ceux qui sont appelés à y œuvrer ?

L'IRSSST a réalisé, au cours des dernières années, de nombreux travaux visant à développer les moyens d'intervenir dans des processus de conception. Le modèle de l'activité future (Daniellou, 1987) a été le point de départ de ces travaux. Nous avons d'abord expérimenté ce cadre théorique et méthodologique de l'activité future dans un projet de réaménagement d'un abattoir de volailles (Richard et Bellemare, 1995; Bellemare, Garrigou, Ledoux et Richard, 1995). Puis, à la demande du service Ergonomie d'une grande entreprise de production d'aluminium, nous avons développé des outils susceptibles de permettre aux acteurs de l'entreprise de mieux prendre en compte les conditions de réalisation du travail futur, lorsqu'ils élaborent des projets de transformation (Garrigou, Bellemare et Richard, 1995). Ensuite, nous avons mené, dans deux usines de cette entreprise, une recherche qui portait sur la transformation des situations de travail par une approche de formation-action. Nous avons alors pu étudier les processus de transformation de neuf situations de travail (Bellemare *et al.*, 2001). Deux d'entre elles ont retenu particulièrement notre attention : la conduite de deux véhicules industriels servant à transporter des creusets de métal en fusion. Dans le premier cas, l'opérateur conduisait un véhicule roulant au sol à la manière d'un chariot élévateur modifié alors que dans le second, la cabine de l'opérateur était située sur un pont roulant au-dessus des installations de la coulée.

Nous avons fait le choix de nous investir plus particulièrement dans ces deux projets de transformation et de documenter l'intervention que nous y menions. Des collaborateurs se sont donc joints à l'équipe de départ afin d'enrichir plus particulièrement ces deux projets.

Nous avons voulu dans le présent rapport, rendre compte de chacune des interventions et dans une approche réflexive (Shön, 1983; St-Arnaud, 1995), analyser les résultats finaux du projet à la lumière du processus mis en œuvre.

Les deux interventions dont il est question ont pour objet l'amélioration des situations de travail reliées à l'utilisation de deux équipements mobiles. Elles ont toutes deux comme enjeu la réduction des facteurs de risque de troubles musculo-squelettiques. Elles partagent également une autre caractéristique, de nature méthodologique : dans chacune d'elles, nous avons utilisé pour intervenir le modèle de l'activité future développé et en particulier, le recours à des simulations de l'activité des opérateurs pour instruire les décisions prises par les responsables des projets. Compte tenu des contextes différents d'intervention, diverses techniques de simulation ont été utilisées. Nous avons tenté de les mettre en perspective, de les discuter au regard de leur contribution aux résultats de ces deux projets.

Nous souhaitons que les lecteurs, praticiens et chercheurs, trouvent dans ce rapport de quoi enrichir leurs pratiques de même que leurs réflexions sur celles-ci. Nous allons d'abord exposer sommairement la problématique puis nous présenterons les deux cas d'intervention et la méthode retenue pour en faire l'analyse. Le premier cas est celui du projet de reconception de la cabine d'un transporteur de creuset dans l'usine A ; le second cas est celui du projet de remplacement d'un pont roulant dans l'usine B. Par la suite, les deux études de cas sont présentées en détails : on y décrit les méthodes et techniques utilisées et l'apport de chacune de ces techniques est examiné: Une discussion générale fait ressortir, à la lumière de ces deux cas, l'intérêt et les limites des différentes techniques et les conditions permettant d'en maximiser les retombées. En conclusion, nous proposons des pistes à développer pour mieux intervenir dans la conception de postes de conduite.

1. PROBLÉMATIQUE

Au cours d'une recherche récente (Bellemare et coll., 2002), deux postes de travail ont été ciblés, dans deux usines de production d'aluminium, comme devant faire l'objet d'une transformation : le poste d'opérateur de pont roulant et celui de conducteur de transporteur de creuset. Dans les deux cas, des risques de troubles musculo-squelettiques ont été caractérisés par un diagnostic ergonomique. Une première analyse du travail a mis en évidence que ces problèmes découlent d'une part des postures contraignantes reliées à la recherche d'un champ de vision optimal par l'opérateur et d'autre part, à la répétition d'actions sur des commandes. Parmi les déterminants les plus importants de ces facteurs de risque on retrouve les caractéristiques des cabines de conduite. En effet, les possibilités limitées d'ajustement des différentes composantes du poste, la présence de vibrations lors des opérations et l'obstruction du champ visuel par des éléments de structure du véhicule représentent autant de pistes d'action pour l'amélioration des cabines et de là, pour la diminution des facteurs de risque de TMS.

Une recension des écrits montre qu'il n'existe que peu d'études sur les ponts roulants et les transporteurs de creuset. Quelques avancées sont faites sur les thèmes de la vision et de la vibration mais encore bien peu d'études ont été réalisées sur les leviers de commande par exemple, ou encore sur les accès aux ponts roulants, sur les problèmes aux membres inférieurs reliés à l'utilisation des freins en permanence. Aucun texte n'a pu être trouvé sur les transporteurs de creuset. Malgré l'assimilation que l'on peut faire avec les chariots élévateurs, des différences importantes apparaissent.

Nous présentons ici des connaissances que nous suggère la littérature scientifique sur la conduite des véhicules industriels, en ce qui concerne la présence de facteurs de risque de troubles musculo-squelettiques, notamment les postures contraignantes et les vibrations, et en ce qui a trait à la visibilité, qui s'avère ici un déterminant important des activités de travail.

1.1 La manifestation de problèmes musculo-squelettiques et la présence de facteurs de risque

Bien qu'il y ait peu d'études spécifiques sur le type de véhicule qui nous intéresse ici, des travaux effectués sur des véhicules semblables (chariots élévateurs et grues) rapportent parmi les facteurs de risque de troubles musculo-squelettiques, les postures contraignantes, aggravées par le fait qu'elles sont statiques, et les vibrations.

À partir des études consultées, il semble que les caristes et les pontiers soient affectés par des problèmes musculo-squelettiques à la région lombaire et que les pontiers soient de plus touchés à la nuque, aux épaules et aux genoux. Cependant, l'importance des problèmes à la région lombaire comparativement à des groupes contrôles ne fait pas consensus chez les chercheurs. Les postures contraignantes, le travail sédentaire (ou les postures statiques) et les vibrations seraient en cause pour la présence de ces symptômes.

Burdorf et al. (1990, 1993) montrent une certaine prévalence des plaintes des grutiers concernant les problèmes lombaires au cours des douze mois précédant l'enquête et depuis leur début dans l'entreprise. Par contre, il leur est impossible de déterminer une relation entre les conditions de travail et les problèmes lombaires. Leurs observations montrent que les travailleurs adoptent très fréquemment des positions contraignantes, ils sont souvent en flexion ou extension du dos, et que les postures sont très statiques pour les grutiers tandis que les caristes et les employés de bureau peuvent changer de position. Ceci amène les auteurs à suggérer que le travail sédentaire combiné à des postures contraignantes soit un facteur de risque des problèmes lombaires. Eklund (1994) montrent d'ailleurs qu'il existe une association positive entre une position statique prolongée et des douleurs lombaires chez les opérateurs de grue.

L'étude de Dalton et al. (1992), rapporte qu'il n'y a pas de différence significative entre les pontiers et le groupe contrôle en ce qui concerne les problèmes lombaires. Ces chercheurs montrent cependant que les pontiers ont plus de problèmes à la nuque, aux épaules et aux genoux que le groupe contrôle.

Bongers et al. (1988a,b) ont mené leur étude auprès de sujets suivis médicalement pendant une période de dix ans. Dans leur première étude, ils proposent d'utiliser le nombre de rentes d'incapacité versées pour expliquer l'influence des vibrations. Ils montrent qu'il y a deux fois plus de probabilité de recevoir une rente d'incapacité pour les pontiers que pour le groupe contrôle. Cela augmente jusqu'à trois fois plus pour ce qui est de la dégénérescence des disques vertébraux. Dans la deuxième étude, la variable dépendante est la période d'absence en congé de maladie, celle-ci permettrait de faire ressortir l'incidence des vibrations sur les problèmes lombaires. Les résultats montrent qu'il y a une différence significative entre les pontiers et le groupe contrôle, seulement en ce qui concerne la première période d'absence pour maladie de plus de 28 jours pour les problèmes de disques intervertébraux, elle augmente encore plus pour les pontiers de plus de cinq ans d'expérience. Par contre, lorsque l'on considère tous les problèmes lombaires confondus il n'y a aucune différence entre les deux groupes.

Dans une étude comparative (Burdorf et Sorock, 1997) les auteurs ont recherché les relations positives, neutres ou négatives entre les lombalgies et la présence de certains facteurs de risque dont les vibrations au corps entier. Treize des quatorze articles analysés rapportent une association positive entre lombalgie et vibration. Même si la relation de cause à effet n'est pas faite, Burdorf signale tout de même que plusieurs des études analysées, utilisant des designs, des méthodes et des populations différentes, présentent des «évidences persuasives» pour les facteurs de risque mentionnés et même une tendance pour une courbe dose-réponse dans le cas des vibrations au corps entier. Cependant, il souligne que la plupart des travailleurs étudiés conduisaient des véhicules et que les longues heures passées en position assises sont également une cause de compression des disques lombaires.

En ce qui a trait aux chariots élévateurs, une étude épidémiologique (Bongers et al, 1992), a montré que les caristes se plaignent plus de problèmes lombaires que les sujets du groupe contrôle (plusieurs professions). Cette prévalence est plus élevée durant les cinq premières années d'exposition aux vibrations. Dans leur étude visant à évaluer différents sièges de chariots élévateurs, Donati et Patel (1999) notent que les caristes adoptent une position statique prolongée en conduisant et Laroche et Denis (2000) que le travail de cariste implique des mouvements

répétitifs de rotation du tronc pour assurer la sécurité à l'arrière de son véhicule ; les postures statiques prolongées et les mouvements répétés figurent parmi les facteurs de risque pour le développement ou l'aggravation de TMS (Kuorinka et Forcier, 1995).

1.2 Les déterminants à cibler lors d'une transformation

Si l'on souhaite diminuer les facteurs de risque de TMS dans un véhicule, il convient donc de comprendre ce qui est à l'origine des vibrations transmises à l'opérateur de même que ce qui l'amène à adopter des postures contraignantes : ce sont des déterminants de l'activité de conduite qui ont fait l'objet de quelques études. Nous avons tenté d'y trouver des repères qui pourraient nous guider au cours de la transformation en ce qui a trait à la visibilité et aux vibrations.

1.2.1 Les vibrations : repères pour la conception

Deux études de l'INRS (Boulanger et al., 1992, 1996) se penchent sur les contraintes vibratoires de chariots élévateurs et d'engins de chantier. Les auteurs ont comparé les engins entre eux afin d'évaluer les intensités vibratoires de chacun. Il en ressort que les petits chariots élévateurs sont conçus pour travailler sur des surfaces lisses mais que bien souvent ils roulent sur des surfaces irrégulières, ce qui augmente les contraintes vibratoires. En effet, ces chariots ne sont pas équipés de suspension et les pneus sont soit à bandage, soit à alvéoles. Ces deux types de pneus ne permettent pas l'absorption des vibrations. De plus, les cabines suspendues ne permettent pas une diminution efficace des vibrations, et ce à cause des irrégularités du terrain (Boulanger et al, 1992).

Les mesures de vibrations ont permis d'enregistrer six classes de spectre (Boulanger et al, 1996) dont trois classes concernent les chariots élévateurs : chariots de 1 à 5 tonnes, chariots de 5 à 10 tonnes, chariots de plus de 10 tonnes. Ces classes visent à tester en laboratoire des sièges destinés à chacun de ces types d'engins.

Donati (1993) et Hanley (1995) proposent des repères de conception afin de diminuer les vibrations des différents engins. Pour les ponts roulants, le démarrage et l'arrêt progressifs diminuent les vibrations tout comme la régularisation des chemins de roulement. La suspension de la cabine permet de diminuer les vibrations si celle-ci a une fréquence de résonance de moins de 2 Hz, sinon la suspension risque d'augmenter les vibrations. Ce phénomène est d'ailleurs très répandu sur le terrain. La cabine doit aussi être située aux extrémités des ponts pour diminuer les vibrations, et il faut savoir que les vibrations augmentent en même temps que la portée s'allonge. Pour ce qui est des chariots élévateurs, afin de diminuer les vibrations il faut améliorer l'état des sols afin de les rendre réguliers. Cette recommandation concerne surtout les chariots élévateurs de moins de 10 tonnes car ils n'ont pas de suspensions et sont équipés de pneus à bandage pleins ou de pneus alvéolés. Il faut aussi adapter la vitesse de conduite aux conditions du sol et utiliser des pneus adéquats pour la situation de travail. Les sièges suspendus sont aussi un moyen de diminuer les vibrations pour les deux engins. Il faut que le choix soit bien adapté à l'engin car trop souvent les sièges amplifient les vibrations. À ce sujet, Boileau et coll. (1995) précisent que «seul un siège dont la fréquence naturelle est inférieure à 1/1,414 fois la fréquence dominante des vibrations, au plancher du véhicule, sera capable d'atténuer les vibrations transmises au conducteur». Deux autres facteurs peuvent diminuer les vibrations des engins, l'entretien des

surfaces de roulement et de circulation, et l'entretien mécanique des engins (Donati et St-Ève, 1993 et Hanley et Bednall, 1995). Ces entretiens préventifs peuvent permettre, en plus, de préserver la durée de vie des éléments de véhicules. Finalement, la formation des opérateurs aux problèmes de vibration permet de diminuer l'exposition aux vibrations à condition que les informations qui leur sont communiquées soient mises en application.

Dans la perspective d'une transformation de la cabine et du poste de conduite, il faut donc retenir ici que : les cabines suspendues ne sont pas nécessairement garante d'une réduction des vibrations; une attention spéciale doit être accordée aux caractéristiques vibratoires du siège choisi afin qu'il atténue les vibrations plutôt que de les amplifier.

1.2.2 La visibilité, un déterminant important de l'accomplissement des activités de travail

Pour tout opérateur de véhicule, dont les caristes et les pontiers, la prise des informations visuelles est capitale pour accomplir des manutentions et des déplacements sécuritaires. La vision joue également un rôle clé sur l'orientation et le maintien de la posture (Wade et Jones, 1997). Par exemple, l'obligation de voir l'extrémité des fourches lorsqu'on approche de la palette et la conduite fréquente en marche arrière obligent les caristes à travailler aux limites des plages articulaires et à adopter des postures statiques pour pouvoir prendre l'information visuelle nécessaire, par exemple, une extension et une rotation simultanée du cou (Burgess-Limerick, 1998).

Différentes techniques peuvent être utilisées pour estimer le champ de vision disponible ou les éléments qui sont explorés par l'opérateur lors de l'opération du véhicule, notamment, l'analyse de la direction des regards et l'utilisation d'une caméra oculométrique (Hella, 1991, Rötting et al, 2000), la simulation du champ de vision par ordinateur ou à l'aide de maquettes (Giguère et Larue 1992, Gibson et Scott, 1986).

Quelques études ont été recensées concernant la visibilité au poste de chariot élévateur dont les travaux de l'équipe de l'INRS dirigée par F. Hella. Pour accomplir son travail, tant le pontier que le cariste doit assurément se servir d'information visuelle. Hella (1993) a observé trois stratégies mises en place par les caristes pour chercher l'information visuelle lorsque le champ de vision est obstrué. Il s'agit du déplacement de la tête, de la modulation de la vitesse et de l'exploration visuelle (sans déplacement de la tête). Le déplacement de la tête n'est pas effectué par l'ensemble des sujets, seulement 45 à 70 % des sujets l'utilisent selon le type de caches mis en place. La stabilité de la tête peut être un indicateur de gêne perceptive imposée par les restrictions visuelles et donc correspondre à une rigidification de la posture. De plus, elle semble aussi influencer la stratégie de recherche d'information. En effet, lorsque les sujets ne bougent pas la tête ils recherchent l'information de proximité (stratégie de correction de trajectoire) plutôt que l'information éloignée (anticipation du parcours). Cette situation peut être dangereuse pour la sécurité, car il peut y avoir non-détection d'obstacles ou détection tardive de ceux-ci. Pour ce qui est de la vitesse, elle est modulée en fonction du parcours, c'est-à-dire que dans les courbes il y a une diminution de la vitesse, et dans les lignes droites il y a une augmentation de la vitesse. Cette modulation de la vitesse se fait aussi en fonction de la surface disponible de visibilité : moins il y a d'ouverture, plus la vitesse diminue et inversement. Malgré ces diverses stratégies

de recherche d'information il est essentiel, pour garantir la sécurité, d'avoir un minimum d'ouverture (Hella, Schouller et Tisserand, 1991). Les auteurs favorisent un axe horizontal de vision de 13°, axe passant dans la ligne d'horizon. De plus, ils montrent que le hublot central doit avoir une largeur minimale de 250 mm et une hauteur minimale de 500 mm dont 125 mm sous la ligne d'horizon. Il est aussi à considérer qu'une ouverture de 200 mm est plus efficace que deux ouvertures de 100 mm. Finalement, la sécurité des caristes ne semble pas être mise en jeu lorsqu'une charge vient obstruer une partie de la visibilité. En effet, les caristes changent simplement de stratégie de recherche d'information.

Pour améliorer la visibilité, des normes existent pour les constructeurs (ASME B56.11.6) et des recommandations sont faites par différents auteurs concernant particulièrement les chariots élévateurs, par exemple : l'ajout de miroirs, de caméras de recul (Fernandez, 1996; Hansson 1992), de systèmes de détection d'obstacle (Fernandez, 1996), l'utilisation d'un siège ou d'une cabine rotative (Hansson, 1992).

Il faut donc retenir que les postures du tronc et de la tête sont déterminées par la nature du travail, comme le suggèrent les études effectuées chez les grutiers et chez les caristes. De plus, le point de repère pour la conception le plus important à retenir est de maximiser la surface de vision pour les ponts roulants aussi bien que pour le transporteur de creuset.

1.3 Le recours aux simulations pour une meilleure définition des situations de travail futures

Compte tenu de l'importance de la prise en compte des activités de travail dans toute leur spécificité au cours de la conception, la littérature traitant du design de cabines de conduite, bien qu'abondante, n'est pas utilisable facilement par les concepteurs. En effet, bien que plusieurs normes et spécifications déjà publiées puissent être proposées aux concepteurs, l'adéquation entre les caractéristiques de la cabine et le travail à réaliser demeure une condition de réussite de la conception du véhicule. Or cette adéquation nécessite une bonne connaissance du travail et des conditions dans lesquelles les véhicules seront utilisés. C'est la raison pour laquelle nous utilisons le modèle de l'activité future (Daniellou, 1987). Ce concept théorique et méthodologique nous permet de centrer le processus de conception sur l'activité future des opérateurs et de contribuer ainsi à faire en sorte que les futures situations de travail soient le plus possible dépourvues de risque pour les opérateurs. Cette approche nous amène à appréhender les différentes propositions faites par les concepteurs sous l'angle des répercussions sur l'activité de l'opérateur. C'est dans l'analyse de la situation de travail de départ et dans l'analyse de situations de référence (situations qui ressemblent à celles qu'on projette) qu'on peut trouver des situations d'action caractéristiques (Jeffroy, 1987) qui serviront de base à l'élaboration de scénarios permettant de porter un jugement sur les futures situations de travail en terme d'impact sur l'activité de l'opérateur et ultimement, sur sa santé. Ces scénarios constitueront l'élément clé des simulations centrées sur l'activité. Rappelons que différents modèles d'intervention faisant intervenir les simulations en cours de conception sont discutés dans la littérature. Plusieurs d'entre eux font appel à la participation des utilisateurs. Toutefois, les scénarios développés par l'analyse de l'activité de travail permettent d'organiser la participation des opérateurs autour de données concrètes et de déplacer le centre de la conception de la technique vers l'activité réelle.

La simulation centrée sur l'activité constitue donc un moyen concret de valider les options qui s'offrent lors de la conception du véhicule (Maline, 1994; Béguin et Weill Fassina, 1997) et de les parfaire au besoin. C'est précisément par le recours aux simulations que nous avons tenté d'améliorer, en interaction avec des acteurs de l'entreprise et des concepteurs, les postes de conduite de deux véhicules.

Nous avons déjà mis au point un certain nombre d'outils pour enrichir les projets de conception (Bellemare, Garrigou, Richard et Gauthier, 1996). Certains de ces outils concernent justement les simulations : préparation de scénarios d'activité à partir de l'analyse de situations de travail existantes (situations à transformer ou situations de référence) ; animation des séances de simulation. Après avoir testé ces outils dans différentes situations de conception, il nous apparaît important de développer davantage l'aspect technique des simulations. En effet, leur réussite nécessite une bonne connaissance de la nature des problèmes rencontrés par les utilisateurs, de la variabilité des situations. De plus, deux aspects doivent être pris en compte pour maximiser l'impact des simulations centrées sur l'activité : la dimension sociale du processus de conception de même que son déroulement temporel.

1.3.1 La conception , processus social

Comme le soulignent plusieurs auteurs (par exemple Bucciarelli, 1988), la conception est un processus auquel des acteurs provenant de « mondes différents » sont appelés à travailler ensemble pour construire le futur. La simulation apparaît comme un moyen de mettre en discussion des logiques différentes pour arriver à définir des situations de travail répondant aux objectifs de production de l'entreprise tout en offrant aux utilisateurs (travailleurs affectés à l'opération et à l'entretien) sécurité et confort. Dans cette perspective, les simulations devront être conduites en étroite relation avec les fournisseurs de matériel (cabine, sièges, console de commandes), les chargés de projet de chaque usine et les utilisateurs.

1.3.2 La conception, processus délimité dans le temps

L'introduction de « simulations centrées sur l'activité » nécessite des plages de temps importantes dans un projet qui doivent être en phase avec l'activité des concepteurs. L'arrimage de l'analyse ergonomique au déroulement du projet doit se faire de manière à rendre disponibles aux acteurs concernés les données pertinentes au moment opportun. Au cours de l'exposé des cas, nous tenterons de reconstituer la dynamique temporelle des interventions et le phasage des techniques utilisées avec le processus de conception.

L'expérience nous montre également que des développements techniques et méthodologiques sont souhaitables pour maximiser l'efficacité des simulations, particulièrement lorsqu'on s'intéresse au champ visuel des opérateurs.

Cette activité de recherche a donc tenté de tirer parti de situations de conception particulières. L'entreprise manifeste en effet un intérêt pour l'intégration de simulations centrées sur l'activité de même que pour la participation des utilisateurs (opérateurs de production et d'entretien) à la conception de leurs futurs moyens de travail. Elle s'inscrit également dans une recherche plus

large de moyens d'assurer une meilleure prise en compte de la santé et de la sécurité au cours des projets de conception

Plusieurs techniques de simulation peuvent être utilisées dans les projets d'amélioration de véhicule tels les plans, les maquettes, les prototypes et les simulations à l'aide de logiciels (Maline, 1994). Bien que certaines études aient eu recours à plus d'une méthode (Stevenson, 2000, Wood et coll., 1988), il est rare qu'une intervention intègre simultanément de multiples techniques de simulation tel que nous avons tenté de le faire dans la présente recherche.

2. MÉTHODOLOGIE

Comme nous l'avons déjà mentionné, nous avons tenté ici d'analyser deux cas d'accompagnement ergonomique de projet de conception. Nous allons d'abord décrire l'origine de ces deux demandes d'intervention puis nous présenterons comment s'est effectué le recueil et l'analyse des données pour chacun des cas. Les détails sur le déroulement de chacune des interventions sont consignés dans les chapitres 3 et 4.

2.1 Origine des deux demandes d'accompagnement de projets

Une recherche intervention a débuté en 1997 dans deux usines d'une multinationale de production d'aluminium. Cette recherche avait pour but d'outiller les acteurs de différents centres de production à intervenir dans le cadre de projets de transformation, afin de mieux prévenir les troubles musculo-squelettiques¹. Pour ce faire, un programme de formation-action a été mis sur pied auquel ont participé une trentaine de membres du personnel dont des employés de production, des employés d'entretien, des superviseurs, des techniciens et des ingénieurs de projets de même que du personnel relevant de la fonction « santé et sécurité au travail » (SST). Ces personnes étaient regroupées en petites équipes hétérogènes (par exemple : un employé de production, un représentant SST, un technicien de projet) appelées « groupes Ergo ». Chacun de ces groupes devait, avec l'encadrement des ergonomes, analyser une situation de travail considérée comme étant à risque de TMS et cibler des déterminants à modifier pour diminuer ce risque. Des propositions de transformation étaient ensuite mises en forme et présentées, après validation auprès des travailleurs concernés, à un « comité de pilotage » dans chacune des usines. Ce comité se composait des représentants des parties sociales parmi lesquels on retrouvait les directeurs des centres de production, le directeur de l'ingénierie et les ergonomes. Les propositions acceptées par le comité de pilotage étaient ensuite considérées comme des projets du centre de production : des ressources humaines et financières étaient consacrées à leur réalisation. Les membres des groupes Ergo participaient au déroulement de ces projets, notamment en tentant d'assurer le maintien des objectifs de prévention des TMS à l'aide d'outils proposés par les ergonomes.

Cette recherche intervention a ainsi permis de travailler à l'amélioration de huit situations de travail réparties dans deux usines et relevant, pour la plupart, du secteur de l'électrolyse (production d'aluminium en fusion à partir d'alumine dans des cuves Soderberg) et du secteur de la coulée (production d'aluminium primaire sous forme de lingots ou de billettes). Parmi les tâches étudiées, deux consistaient à conduire un véhicule assurant la liaison entre le secteur électrolyse et le secteur coulée. À l'usine A, ce transport s'effectue par un véhicule roulant au sol, une sorte de chariot élévateur modifié, appelé « transporteur de creuset » (TC). Dans l'usine B, les creusets sont déplacés par voie aérienne à l'aide d'un pont roulant avec cabine (PR).

¹ Nous référons le lecteur qui souhaiterait plus d'information sur cette recherche aux différentes publications qui en font état, notamment le rapport R-292, publié en 2002.

2.1.1 La demande pour le projet TC de l'usine A

Lors de son acquisition, le véhicule pour transporter les creusets avait été l'objet de nombreuses modifications avec la participation de l'ergonome de l'entreprise. Au fil des ans, le véhicule est tout de même devenu la cible de nombreuses plaintes de la part des opérateurs. De plus, le médecin de l'usine constatait, depuis quelques années, une augmentation de cas de lésions aux membres supérieurs chez les opérateurs du transporteur de creuset. C'est ce qui a motivé l'usine à faire étudier ce poste de travail par un groupe Ergo dans le cadre de la recherche. Les membres du groupe (un représentant SST, un employé de production, un superviseur et un technicien de projet) ont donc analysé l'activité des opérateurs et esquissé un diagnostic qui mettait notamment en cause la cabine du véhicule : l'aménagement du poste de conduite (siège-commandes-pédales) ne permettait pas un ajustement adéquat ; la configuration de la cabine occasionnait des problèmes de visibilité à l'origine de postures contraignantes; les composantes mécaniques n'étaient pas optimales et obligeaient l'opérateur à exercer des actions répétées sur le volant pour chacun des virages par ailleurs fort nombreux ; les vibrations et secousses répétées lors des déplacements constituaient également une difficulté importante pour les opérateurs.

La demande a été faite aux ergonomes impliqués dans la recherche de travailler à l'amélioration du véhicule existant à titre d'experts. Le groupe Ergo avait fait l'étude, en parallèle, d'une autre situation de travail dont les transformations semblaient plus faciles à mener pour eux. Il nous faut mentionner qu'un accident s'est produit, trois mois après la présentation du diagnostic fait par le groupe Ergo, au cours duquel le conducteur du véhicule a été blessé gravement. La direction de l'usine a alors mis sur pied un groupe de travail pour réviser les mesures de sécurité entourant les déplacements du transporteur de creuset. Ce groupe s'est intéressé au diagnostic réalisé par le groupe Ergo et aux demandes de transformation qui avaient été faites quelques mois auparavant au directeur du centre de production mais qui ne s'étaient pas concrétisées. C'est ainsi que le superviseur du service « métal chaud » a confié à une équipe de l'IRSST le mandat d'améliorer la cabine du véhicule. Afin d'être en mesure de réaliser cette tâche les ergonomes ont fait deux demandes à l'usine. La première était de créer une «équipe projet» composée d'un opérateur de transporteur de creuset provenant de chacune des quatre équipes de travail, d'un travailleur affecté à la maintenance du véhicule, d'un chargé de projet et du représentant à la prévention. Les ergonomes ont également demandé que l'équipe projet s'intéresse aux différentes composantes du poste de conduite de manière simultanée. Cette exigence ne correspondait pas aux façons de faire de l'usine qui préconisait plutôt de traiter séparément et successivement des principales composantes à modifier dans la cabine.

Le travail d'accompagnement du projet a donc débuté en octobre 1998. L'équipe de l'IRSST était composée de deux ergonomes (dont une qui était responsable de l'équipe), d'un ingénieur spécialisé en simulations et d'un designer-ergonome. Le maître d'ouvrage (le superviseur métal chaud) aurait souhaité que les modifications à apporter à la cabine du véhicule soit prêtes pour décembre de la même année. L'élaboration d'une activité de recherche semblait pertinente puisque la réponse à cette demande permettait d'accroître l'expertise en matière de conception de véhicule et également en matière d'accompagnement ergonomique de projets industriels. De plus, l'opportunité d'accompagner, au même moment, un projet de remplacement d'un pont roulant permettait d'enrichir la recherche puisque ces deux cas de conception de véhicule

présentaient plusieurs paramètres différents, comme nous le verrons dans les paragraphes qui suivent.

2.1.2 La demande pour le projet PR de l'usine B

L'usine B projetait depuis quelques années de remplacer les deux ponts roulants de son centre de coulée. Les équipements existants ne permettaient plus de répondre aux exigences de production. De plus, les plaintes de troubles musculo-squelettiques se faisaient nombreuses de la part des pontiers. Ces deux faits ont donc amené le comité de pilotage à décider que la conduite du pont roulant serait une des tâches retenues pour faire l'objet d'un diagnostic dans le cadre de la recherche-intervention. De plus, le groupe Ergo a été constitué en incluant l'ingénieur chargé de mener ce projet pour lequel les études préliminaires avaient été faites mais qui demeurait en attente de financement. Il nous faut mentionner ici que la direction de l'usine avait exprimé clairement sa volonté de faire l'acquisition d'un nouveau pont roulant qui générerait le moins de risques possibles pour les opérateurs et avait d'ailleurs fait appel au service d'ergonomie de l'entreprise lors de la préparation des premiers devis.

Le diagnostic fait par le groupe Ergo, encadré par les ergonomes, a permis de mettre en évidence les postures contraignantes des membres supérieurs et inférieurs, du dos, en lien avec l'aménagement inadéquat du poste de travail. Comme dans le cas du transporteur de creuset, le manque de visibilité occasionné par le châssis de la cabine accentuait les problèmes de posture des opérateurs. Le groupe a donc élaboré une liste de changements à implanter dans la nouvelle cabine qui ont été discutés avec les opérateurs des différents quarts de travail.

Lorsque son projet s'est vu attribuer un budget, l'ingénieur chargé du projet a commencé le travail avec le fournisseur de nouveaux ponts roulants en traitant de la configuration de la cabine, soit les dimensions du plancher et des parois, les dimensions et le positionnement des parties vitrées. Il a fait une demande à l'IRSSST pour que soit vérifié au fur et à mesure l'impact des différentes propositions des concepteurs sur la visibilité. L'ingénieur spécialisé en simulation, en collaboration avec l'ergonome de l'entreprise et d'une ergonome impliquée dans la recherche principale a donc procédé à des simulations sur logiciel. L'IRSSST, en collaboration avec l'ergonome de l'entreprise, a également offert une expertise lors des visites de situations de référence et de la définition du poste de conduite.

2.2 L'analyse des interventions

La méthodologie utilisée pour analyser chacune des interventions s'appuie sur un recueil des traces écrites produites au cours de chacun des projets : notes de terrain, outils préparés pour les simulations, comptes rendus de réunions. Les principales dimensions qui ont été documentées sont les suivantes : organisation de l'intervention (dispositif, acteurs, mandat des ergonomes); techniques utilisées et résultats produits par chacune d'elles. Chacune des interventions a ainsi été reconstituée dans son déroulement temporel et une première analyse intra-cas a permis de mettre en évidence les apports des différentes techniques utilisées dans le déroulement de chaque projet de transformation. Nous avons considéré aussi bien l'apport au processus technique de définition des situations de travail que l'apport au processus social de conception. Une seconde analyse a été faite en tentant de faire ressortir les similitudes et les différences entre les deux cas.

Nous avons ainsi défini six types d'apports au processus technique et cinq types d'apports au processus social.

2.2.1 Analyse du cas transporteur de creuset

Dans le cas de la reconception de la cabine du transporteur de creuset, l'ergonome chargée de l'analyse de l'intervention était également l'ergonome responsable de l'intervention sur le terrain et des relations avec les acteurs impliqués dans la conception. Cette ergonome était présente à toutes les réunions de l'équipe projet.

En cours de projet, plusieurs moyens systématiques ont été utilisés pour garder des traces de l'intervention et ainsi faciliter l'analyse de l'intervention. Des comptes-rendus de réunion avec l'équipe projet (ou des rencontres sur le terrain) étaient rédigés après chaque visite de l'équipe de chercheurs (18 comptes-rendus différents). Deux versions de compte-rendu étaient préparées, une s'adressant à l'équipe projet et l'autre à l'équipe de chercheurs. Ces comptes-rendus étaient validés, respectivement, par les employés de l'usine ayant assisté à la réunion de l'équipe projet et par les ergonomes ayant participé à cette même réunion. Le compte rendu s'adressant à l'équipe projet (cf exemple en annexe B) comportait généralement les informations suivantes : date de la réunion, personnes présentes, objectifs et déroulement de la réunion, informations pertinentes recueillies à propos des différents sous-projets (ex. cabine, siège), information sur le déroulement du projet, suivis à faire. La version du résumé s'adressant aux chercheurs comportait en plus une section commentant le déroulement de l'intervention (ex. la dynamique de communication entre les acteurs impliqués dans la conception, les insatisfactions que semble manifester l'équipe projet au sujet du déroulement de l'intervention, des réflexions sur la démarche en cours,...).

Outre les comptes-rendus de réunion, plusieurs autres documents ont profité tant à l'intervention qu'à l'analyse de l'intervention, par exemple : des tableaux synthèses et d'aide à la décision pour différents sous-projets, des listes de repères pour la conception, des documents servant à communiquer à l'équipe projet la planification des futures étapes de l'intervention. Ces documents étaient également validés par les personnes concernées.

De plus, tout au cours de cette intervention, l'ergonome responsable du terrain a tenu un journal de bord dans lequel étaient inscrites des informations sur chaque communication tenue avec les acteurs impliqués dans la conception (membres de l'équipe projet, concepteurs, sous-traitant, fournisseurs) telle : les conversations téléphoniques, les courriers électroniques, les télécopies. Ce journal de bord (cf exemple en annexe B) comportait les rubriques suivantes : date de la communication, nom de l'interlocuteur et origine de la communication (l'initiative pour communiquer relève des chercheurs ou de l'interlocuteur), les informations échangées au cours de la communication et, lorsque pertinent, les commentaires de l'ergonome suite à cette communication. Au total, près de 120 échanges ont été documentés (sans compter les retours d'appels).

Les analyses ont été menées selon deux perspectives : le déroulement chronologique des étapes importantes de l'intervention et l'évolution des concepts par sous-projet.

2.2.2 Analyse du cas pont roulant

Lors de l'intervention portant sur le pont roulant, c'est l'ergonome de l'entreprise qui fut la principale responsable de l'intégration de la dimension ergonomique lors de la conception. Vu son implication importante dans de nombreux autres projets de l'entreprise, elle ne disposait pas des disponibilités suffisantes pour consigner en détail et systématiquement l'évolution de l'intervention ni pour analyser cette intervention. La reconstitution du cas du pont roulant a mis à contribution une ergonome qui n'a pas participé à l'intervention mais qui connaissait bien le poste de travail et les acteurs impliqués dans le projet. Des entretiens avec certains des acteurs du projet lui ont permis de compléter la descriptions et l'analyse du cas.

3. LE CAS DU TRANSPORTEUR DE CREUSET

3.1 Description du transporteur de creuset et du travail fait par les opérateurs

3.1.1 *Le transporteur de creuset*

Les transporteurs de creuset sont des chariots élévateurs spécialement modifiés pour transporter des creusets remplis d'aluminium en fusion (Figure 1, Annexe A). Ce sont des véhicules puissants dont la capacité est de plus de 14 tonnes (SI). Ces véhicules ont la particularité d'être articulés au centre : la cabine est rattachée à la section arrière du véhicule et pivote par rapport à la section avant lors des manœuvres pour tourner. Le transporteur est muni de deux accessoires mus hydrauliquement : les fourches, pour saisir les creusets, et un couvercle, pour réduire les risques de renversement de métal durant le transport du creuset plein. L'usine possède deux transporteurs, cependant, un seul est utilisé à la fois. Le transporteur en surplus sert à assurer la continuité des opérations en cas de défaillance ou d'entretien de l'autre véhicule.

3.1.2 *Les tâches des opérateurs et l'organisation du travail*

Le travail de l'opérateur du transporteur de creuset consiste globalement à aller chercher, au secteur de l'électrolyse, les creusets remplis de métal chaud et à les apporter au centre de coulée pour les déposer sur la balance du four principal. Le creuset une fois vidé, i.e. après que le «chauffeur du four» en ait siphonné le métal, est rapporté à l'électrolyse par l'opérateur. Seize creusets pleins, et seize vides, sont ainsi transportés à chaque quart de huit heures. Avant d'être déposé au four, un creuset sur quatre doit être amené au «TAC» pour que soit traité l'aluminium avec du lithium. De plus, une fois par quart, les quatre creusets de l'électrolyse doivent être nettoyés au «nettoyeur de creusets». Lorsqu'il y a production d'un surplus de métal ou que le métal ne peut être déposé dans le four, l'aluminium doit être déposé directement dans des moules à la section du «pannage». L'opérateur doit également aider le «chauffeur du four» en siphonnant lui-même quatre creusets durant son quart de travail.

Une cédule de siphonnage permet aux opérateurs de prévoir l'heure à laquelle les creusets seront prêts à chacune des huit bâtisses des quatre salles de cuves de l'électrolyse. Cependant, en raison de différents facteurs ou incidents, l'horaire et l'ordre de siphonnage peuvent varier (ex. : type de lingots produits petits/grands qui conditionnent la vitesse de vidange du four, production en surplus à l'électrolyse, coactivité retardant la circulation entre les deux départements,...). Les employés de l'électrolyse et les opérateurs de transporteur communiquent donc souvent entre eux au moyen d'un système de radio pour avertir, par exemple, qu'un creuset est plein à l'électrolyse ou que le creuset vide a été rapporté.

La journée de travail est divisée en trois quarts de huit heures. Cinq équipes d'employés font la rotation sur ces quarts en travaillant six jours consécutifs suivi de trois jours de congé. En début d'intervention, 15 employés étaient principalement affectés à la conduite du transporteur.

3.1.3 Les caractéristiques du parcours

Les opérateurs conduisent leur imposant véhicule dans des passages étroits et sinueux. Ils doivent manœuvrer en marche arrière et en marche avant dans des espaces souvent restreints par les équipements (ex. : fours, mélangeurs), l'architecture des lieux (ex. : colonnes, murs), les matériaux déposés au sol. De plus, les transporteurs de creuset circulent dans des zones où des travailleurs se déplacent à pied ou en véhicule; cette coactivité est particulièrement dense le matin. Pour franchir les différentes zones entre l'électrolyse et le secteur de la coulée, les conducteurs empruntent deux trajets passant à l'extérieur des bâtiments; ceci expose donc le véhicule aux intempéries. La circulation entre ces zones implique l'ouverture de portes de garage. Fait à noter, la hauteur de la cabine du transporteur est limitée par la hauteur restreinte des structures portantes du bâtiment.

3.1.4 Bref portrait des exigences du travail, des contraintes et des facteurs de risque

Les opérateurs de transporteur de creuset sont soumis à de nombreuses contraintes se traduisant en des facteurs de risque musculo-squelettique. Plusieurs de ces contraintes avaient été identifiées lors de l'analyse réalisée par le groupe Ergo et ont été corroborées par les chercheurs lors de l'analyse du travail.

La visibilité réduite. À tout moment, l'opérateur doit s'assurer visuellement qu'il peut se déplacer ou opérer sans risque pour la sécurité. La visibilité est réduite par le design du transporteur (ex. : mât, creuset transporté), par l'architecture des lieux (ex. : murs, fours, cheminées de ventilation), par les hauteurs de prise et de dépôt (ex. : hauteur du four). Pour pouvoir voir les fourches, les lieux de prise et de dépôt, les espaces où il circule, l'opérateur est forcé de changer constamment de posture et d'adopter des postures contraignantes (ex. : torsion du tronc et du cou pour regarder à l'arrière, se pencher pour voir les fourches). Les conditions d'éclairage ne favorisent pas toujours une bonne vision, par exemple lorsqu'il y a contraste de lumière entre l'intérieur et l'extérieur de l'usine (ex. soleil intense versus éclairage artificiel) et que certaines zones sont mal éclairées.

La simultanéité des tâches de conduite et de certaines tâches secondaires. Les opérateurs partagent leur attention entre la tâche principale de conduite pour laquelle ils devraient garder les yeux continuellement sur le trajet et des tâches secondaires tels les communications radio et l'ouverture/fermeture des portes de garage. Or, les appareils utilisés pour ces tâches nécessitent plusieurs actions de l'opérateur. Pour communiquer, ils doivent sélectionner la fréquence, tenir l'émetteur et appuyer sur le bouton. Pour ouvrir/fermer les portes ils doivent sélectionner la fréquence de la porte et appuyer sur les boutons «ouvrir», «fermer» ou «arrêt». Le peu d'espace disponible dans la cabine empêche la disposition adéquate de la radio et du boîtier d'ouverture des portes de garage (et de la cédule de siphonnage), occasionnant des postures contraignantes pour les atteindre et dirigeant l'attention sur les tâches secondaires plutôt que sur la conduite.

L'actionnement du volant. Les opérateurs de transporteurs conduisent rarement en ligne droite. Ils doivent donc actionner le volant de façon répétée. Le couplage («orbitrol») entre les roues et la colonne de direction est tel qu'il faut environ 6 tours de volant pour braquer les roues de

l'extrême droite à l'extrême gauche. Ceci occasionne donc une forte sollicitation des membres supérieurs. De plus, l'actionnement du volant exige un effort non négligeable particulièrement lorsque le véhicule est immobilisé ou circule à basse vitesse. Pour faciliter les manœuvres, les opérateurs utilisent un pommeau fixé au volant.

L'actionnement des pédales. Évidemment, les opérateurs se servent continuellement des deux pédales pour opérer le transporteur. La pédale de frein sert à freiner et à débrayer (la pédale complètement enfoncée met le transporteur au neutre). La pédale de l'accélérateur sert à monter le régime moteur pour faire avancer le véhicule ou pour actionner plus rapidement les accessoires (fourches et couvercle). Les opérateurs disent ressentir des douleurs à la jambe droite à cause de l'angle de la pédale d'accélérateur dans l'un des deux transporteurs.

L'actionnement des manettes. Tout en manœuvrant pour se positionner adéquatement au lieu de prise ou de dépôt, les opérateurs actionnent les leviers des fourches et du couvercle. Pour que ces accessoires bougent plus rapidement, ils pèsent sur l'accélérateur (alors que la transmission est au neutre) pour fournir plus de puissance aux accessoires. Ils doivent donc contrôler plusieurs actions simultanément.

Les vibrations et secousses : Les opérateurs sont soumis à des vibrations dans les axes vertical, frontal et latéral qui sont, cependant, de niveau peu élevé. Par ailleurs, ils sont exposés à des secousses latérales liées à ce type de véhicule articulé au centre puisqu'un petit déplacement angulaire entre les deux sections du véhicule engendre un déplacement tangentiel non négligeable de la cabine. Le siège d'origine installé dans le transporteur n'offre pas d'ajustement facile pour la suspension (également pour la hauteur et la distance avant/arrière) et n'est pas confortable selon les opérateurs.

Les contraintes thermiques : L'usine devient surchauffée durant l'été et la climatisation à l'intérieur du véhicule est déficiente. Durant l'hiver, les opérateurs sont exposés à des contrastes de températures puisqu'ils circulent tant à l'extérieur que près des zones très chaudes des cuves et des fours.

Le stress. Différentes conditions d'opération peuvent représenter un stress pour les opérateurs de transporteur de creuset. Le transporteur est un véhicule lourd qui peut occasionner des blessures graves en cas de collision. Le métal en fusion représente également un risque d'accidents graves. La conduite du véhicule se fait dans des conditions difficiles, par exemple : mauvaise visibilité, coactivité (surtout le matin). La gestion de la production (aller chercher le nombre de creusets requis dans le temps alloué et ce malgré les incidents) peut aussi constituer une source de stress chez les opérateurs moins expérimentés.

3.2 Organisation de l'intervention

Tel que mentionné à la dans la section méthodologie de ce rapport, c'est à la suite des analyses effectuées par le groupe Ergo dans le cadre d'un précédent projet de recherche et à un accident grave survenu lors de la conduite d'un transporteur, une équipe projet a été mise sur pied afin d'apporter des améliorations au transporteur actuel pour le rendre plus sécuritaire.

3.2.1 Composition de l'équipe projet et de l'équipe de recherche

La composition de l'équipe projet, quoique assez stable, a évolué au cours du projet. Initialement, cette équipe comprenait : un technicien chargé de projet, trois opérateurs de transporteur de creuset (d'équipes variées), un instructeur (opération du transporteur), un mécanicien responsable de l'entretien du transporteur, le représentant à la prévention du centre de coulée (qui était également sur le groupe Ergo). En cours de projet, le représentant à la prévention a cessé d'assister aux réunions. Le maître d'ouvrage, représenté par le superviseur du métal chaud, n'a participé qu'occasionnellement aux réunions. L'instructeur, parfois trop occupé par la formation de nouveaux opérateurs, n'était pas présent à toutes les réunions. Le changement majeur dans la composition du comité fut le départ à la retraite du chargé de projet à la 31^e semaine. Le rôle de chargé de projet fut ensuite attribué conjointement à l'un des opérateurs et à l'instructeur.

À l'occasion, différents spécialistes étaient invités à participer aux réunions, par exemple : concepteur, fournisseur de radio, fournisseur de système de ventilation, électronicien de l'entreprise, responsable des systèmes radio de l'entreprise.

De son côté, l'équipe de chercheurs de l'IRSST était composée de quatre ergonomes ou spécialistes ayant des responsabilités diverses : un ergonome responsable de la recherche, un ergonome responsable des relations avec l'équipe projet et du terrain, un ingénieur et un designer-ergonome. À chaque réunion de l'équipe projet, au moins deux chercheurs étaient présents. Il est à noter que des spécialistes en mesure des vibrations de l'IRSST ont également apporté une expertise en début de projet.

Notons que le concepteur (ou fabricant) mandaté pour la réalisation de ce projet a travaillé au concept du transporteur de creuset original et l'a construit. Notons également que le sous-traitant, qui est à l'emploi du fabricant, effectue également de la conception et de la fabrication pour des mandats définis (ex. siège, porte-mannettes).

Les principaux liens entre les membres de l'équipe projet et les acteurs externes impliqués dans la conception sont illustrés à la figure 2 (Annexe A).

3.2.2 Le mandat initial et l'échéancier

Le mandat initial des ergonomes, tel que défini dans la lettre du superviseur du secteur métal chaud et du représentant à la prévention était de : «trouver des solutions côté ergonomie de la cabine du transporteur de métal pour : la visibilité, le volant, le siège, les manettes et le système de communication». Ce mandat a cependant évolué au cours du projet tel qu'il sera décrit à la section 3.4.4. De plus, lors de la première réunion avec l'équipe projet, il y a entente sur le rôle des chercheurs : «évaluer les impacts positifs et négatifs sur le travail des différentes propositions». Il s'agissait donc à l'origine d'un mandat «réactif» et non «proactif» pour les chercheurs. En effet, lors de cette première réunion, le concepteur avait déjà fait une soumission pour répondre aux problèmes exprimés par l'usine. Les chercheurs intervenaient donc alors qu'un concept avait déjà été proposé.

Grosso modo, on peut considérer que le projet de modifications du transporteur de creuset a donné lieu à neuf sous-projets principaux, soit :

1. structure de cabine
2. système hydraulique et mécanique (valve de priorité, orbitrol, ajustement du régime moteur)
3. siège
4. volant
5. manettes et porte-manettes
6. radio
7. boîtier d'ouverture des portes de garage
8. aménagement général
9. autre (climatisation/ventilation, cédule de siphonnage,...)

Les chercheurs ont contribué à chacun de ces sous-projets.

L'échéancier initial, fixé par l'usine, pour en arriver à la conception détaillée du transporteur était d'environ 12 semaines. Comme nous le verrons plus loin, l'intervention se prolongera au-delà de cette durée.

3.3 L'intervention ergonomique

La réalisation de cette intervention ergonomique a nécessité l'emploi de plusieurs méthodes de recueil d'information et d'analyse. La démarche ergonomique globale sera d'abord exposée de façon sommaire et ensuite, la description et l'apport des différentes techniques de simulation et d'essai seront présentés avec plus de détails.

3.3.1 La démarche ergonomique dans son ensemble

La démarche ergonomique planifiée en début de projet s'est vue mainte fois révisée tant pour l'ordre de ses étapes que pour son échéancier. Ces ajustements nécessaires sont imputables à l'évolution du mandat des ergonomes ainsi qu'aux contraintes du terrain; ces aspects seront abordés ultérieurement. Sommairement, les principales méthodes utilisées pour documenter le travail, l'activité future et faire le bilan de l'impact des modifications sont les suivantes :

1. Les observations du travail et entretiens informels
2. Les mesures dynamométriques (transporteur original et transporteur modifié)
3. Les entretiens de groupe
4. Les mesures de vibration
5. Les simulations
6. Les essais en situations de références (i.e. des essais de composantes (ex. : sièges, manettes) ayant des caractéristiques semblables à celles recherchées dans le projet de conception) et les essais sur le transporteur modifié.
7. Les entretiens individuels de suivi après implantation

Toutes les interventions des ergonomes ont donné lieu à la génération de documents synthèses qui avaient pour but de : a) résumer et faire connaître les informations concernant le projet, b) faciliter la gestion du projet (ex. : tableau des repères pour la conception, Annexe C), c) aider à la prise de décision (ex. tableau d'aide à la décision, Annexe C).

Le tableau 1 présente de façon chronologique les différentes méthodes utilisées, les sous projets sur lesquels elles portaient et leur but. En résumé, les méthodes utilisées pour l'analyse de l'existant avaient pour but de documenter le travail actuel, ses contraintes, ses exigences, les facteurs de risque et les déterminants afin d'aborder la conception du transporteur avec la meilleure connaissance possible du travail réellement accompli par les utilisateurs du véhicule. Cette connaissance a permis entre autres de soulever des questions pertinentes lors de discussions sur les propositions, d'identifier les scénarios de travail les plus pertinents à simuler, de préparer des simulations réalistes, etc. Bien que ces analyses aient été surtout concentrées en début de projet, les ergonomes y ont eu recours également tout au long du projet pour apporter les informations complémentaires nécessaires. Les méthodes utilisées en cours de conception avaient principalement pour but de tester les propositions par rapport aux exigences du travail, de prédire les impacts de ces propositions sur le travail et la SST et d'identifier des pistes d'amélioration. Finalement, les méthodes utilisées suite à la réalisation des modifications sur le véhicule visaient à estimer l'impact réel des modifications sur le travail et la SST.

Tableau 1 Chronologie des interventions techniques des ergonomes

| | Type d'intervention «technique» des ergonomes | Sous projet(s) visé(s) | But visé | Semaine |
|----------------------------------|---|--|---|------------|
| Analyse de l'existant | Observation du travail des opérateurs et filmage | Tous | Comprendre le travail (exigences, contraintes, facteurs de risque, déterminants) pour soulever les bonnes questions Recueillir des données de référence (avant-après) Identifier des scénarios à simuler Préparer techniquement les simulations pour quelles soient réalistes. | 1, 3, 5, 7 |
| | Mesure de forces | Volant, manettes, pédales, portes | | |
| | Entretiens informels | Tous | | |
| | Entretiens de groupe | Tous | | |
| | Mesure des vibrations sur le véhicule existant | Structure de cabine Siège | Caractériser les vibrations pour vérifier si une suspension de cabine est nécessaire et pour faire le choix d'un siège qui n'amplifie pas les vibrations. | 9 |
| Analyses en cours de conception | Essais en situation de référence | Suspension de cabine | Identifier certains avantages et inconvénients d'une suspension de cabine. | 5 |
| | Simulation avec cartes de visibilité | Structure de cabine (Hauteur des pédales) | Représenter l'effet de la structure sur le champ de vision. | 10, 27 |
| | Simulation 3D par ordinateur | Structure de cabine | Vérifier l'impact de la structure proposée sur l'accès et sur différentes activités de travail. | 10 |
| | Recherche documentaire sur les sièges (élargissement du mandat) | Siège | Déterminer le choix du siège en fonction des critères d'utilisation spécifiques au transporteur de creuset et à ses utilisateurs. | 17 |
| | Essai en situation de référence | Siège | Identifier les avantages et les inconvénients de différents types de siège. | 22 |
| | Simulation dynamique | Structure de cabine | Vérifier l'impact de la structure proposée sur le champ de vision, sur l'accès et sur différentes activités du travail. Générer des concepts de solution pour l'accès. | 24 |
| | Essais (2) en situation de référence | Siège, volant, manettes, orbitrol | Identifier les avantages et les inconvénients des composantes essayées. | 26 |
| | Simulation avec plans 2D | Cabine, siège | Vérifier l'adéquation entre la posture des opérateurs de différentes tailles, le design de cabine, le choix et l'emplacement du siège. | 8, 21, 27 |
| | Vérifications en cours de modification (chez le fabricant) | Tous | Vérifier si les repères pour la conception ont été suivis et s'ils semblent adéquats. | 29 |
| | Simulation : maquettes sur papier | Boîtier de commande d'ouverture des portes | Aider au choix du meilleur design. | 30 |
| | Simulation avec maquette grandeur nature | Aménagement (boîtier d'ouverture des portes de garage, crochets, radio, cédule de siphon...) | Aider au choix du meilleur emplacement des composantes dans la cabine. | 34, 36 |
| Analyses suite aux modifications | Mesure des forces sur le transporteur modifié | Volant, manettes, portes | Vérifier si les changements apportés sont satisfaisants, identifier les points à améliorer. | 34, 35 |
| | Filmage des opérations avec le transporteur modifié | Tous | | |
| | Questionnaire pour le suivi après modifications | Tous | | |

3.3.2 Les simulations et les essais

Dans le cadre de cette intervention, plusieurs techniques de simulation et des essais ont été réalisées afin d'aider à instruire les choix, à générer des solutions ainsi qu'à démontrer à l'équipe projet l'impact de certains choix sur l'activité et la santé et la sécurité de l'opérateur. Sept techniques de simulations et d'essais ont été utilisées :

1. Les cartes de visibilité réalisées par ordinateur
2. L'animation par ordinateur d'un transporteur de creuset reconstitué en 3D.
3. La simulation dynamique avec une maquette de cabine grandeur réelle
4. Les simulations à l'aide de plans et de dessins de mannequins 2D
5. Les dessins sur papier et les maquettes grandeur nature
6. Les essais en situation de référence
7. Les essais en cours de fabrication et après implantation (transporteur modifié).

Pour chacune de ces techniques, les aspects suivants seront traités : 1) moment auquel la technique a été introduite dans le processus, 2) aspects de la conception sur lesquels elle porte, 3) description de la technique, 4) acteurs ayant assisté ou participé à la simulation, 5) conclusions qu'on peut en tirer, 6) utilité de la technique pour les ergonomes, pour l'équipe projet et les concepteurs.

Les cartes de visibilité réalisées par ordinateur

La visibilité était un enjeu majeur pour le travail des opérateurs. Pour évaluer l'impact des propositions du concepteur sur cet aspect, des cartes de visibilité ont été réalisées par ordinateur. Le transporteur a d'abord dû être reconstitué en 3D (AutoCad) à partir des plans 2D (AutoCad) fournis par le dessinateur du fabricant. Le modèle 3D a ensuite été transféré dans un logiciel d'animation (3D Studio). Des mannequins (HumanCad System) ont également été importés dans ce logiciel afin de simuler la posture d'opérateurs de différentes statures (97,5 percentile homme, 50 percentile homme, 2,5 percentile femme) selon la posture recommandée pour ce type de véhicule (Humanscale- Dreyfuss). Une source lumineuse a ensuite été placée à la hauteur des yeux des mannequins pour simuler une vision cyclopéenne des opérateurs. La projection de la lumière sur les murs et au sol et les zones d'ombre donnent ainsi un aperçu des zones visibles et cachées pour l'opérateur. Les zones visibles sont évidemment attribuables aux parties vitrées de la cabine (sans tenir compte des miroirs) et les zones cachées se rapportent à la structure de la cabine ainsi qu'à tout le corps du véhicule (incluant le creuset). Les résultats de ces simulations ont été présentés à la 10^e semaine lors d'une réunion de l'équipe projet à laquelle assistaient : le chargé de projet, le responsable de l'entretien du véhicule, trois opérateurs et le concepteur. Les cartes de visibilité ont également été utilisées à la 27^e semaine pour montrer à l'équipe projet l'impact de l'abaissement des pédales (en vue de laisser un plus grand dégagement en haut de la tête des opérateur) sur la visibilité.

Projection sur le mur avant. Cette simulation consiste à identifier les zones visibles à l'avant du véhicule en étudiant les projections de lumière sur un mur situé à 3 pieds (0,9 m) à l'avant du creuset (soit à une distance d'environ 15 pieds ou 4,5 m par rapport à la position des yeux de

l'opérateur dans la cabine) (Figure 3, Annexe A). Cette technique a permis de montrer que la première proposition de cabine élargie avec suspension détériorait la visibilité à l'avant pour les personnes de grande taille. Cela était entre autres dû à une erreur sur le plan² et à la position rehaussée des opérateurs liée à la suspension de cabine (rehausse de 1,25 po. soit 3,2 cm).

Projection sur un plan parallèle au sol. Dans cette simulation, la lumière est projetée sur un plan parallèle au sol mais situé à 3 pieds (0,9 m)³ au-dessus du plancher (Figure 4, Annexe A). Sur la carte de visibilité ainsi dessinée, les objets de moins de 3' (0,9 m) de haut ne peuvent être vus par les opérateurs s'ils se situent dans les zones cachées et les objets de 3' (0,9 m) et plus peuvent être vus s'ils se situent dans les zones visibles⁴. La comparaison de la visibilité offerte dans la cabine originale et dans la proposition du concepteur a été faite sur la base d'une superficie globale de référence de 4600 pi² (427 m²). Sur cette base, la superficie visible de chaque option était similaire, soit d'environ 3350 pi² (311 m²). Bien que comparables en superficie globale visible, les deux options étaient différentes en terme de localisation des zones visibles et zones aveugles. En couplant les cartes de visibilité au modèle 3D du transporteur, il était possible de retracer les éléments du transporteur en cause dans la génération de zones aveugles. Notons que les cartes de visibilité ont été générées dans la condition où le devant du transporteur est aligné avec l'arrière comme c'est le cas lors d'un déplacement rectiligne. De ce fait, les pertes de visibilité lorsque le véhicule est braqué n'ont pas été évaluées à cette étape.

Trois actions ont été prises par les ergonomes suite à ces simulations : 1) communiquer les cartes de visibilité au concepteur pour l'aider à réduire les zones cachées, 2) discuter avec les opérateurs des zones critiques de visibilité lors de l'accomplissement de leurs tâches, 3) préparer les simulations dynamiques dans le but d'identifier l'impact des zones aveugles sur le travail des opérateurs.

À l'aide de ces cartes, les ergonomes ont donc pu identifier certaines composantes du véhicule qui faisaient obstacle à la visibilité et ainsi guider l'équipe projet dans les prochaines étapes de conception. Cependant, ces cartes ont été de peu d'utilité pour l'équipe projet : 1) la présentation des cartes a suscité peu de réaction et de questions, 2) ce support ne s'est pas démontré utile pour faire verbaliser les opérateurs sur leurs besoins du point de vue de la visibilité, 3) le concepteur qui devait utiliser ces cartes pour améliorer sa proposition ne semble pas s'en être servi (pas d'amélioration à la visibilité sur sa proposition subséquente). Ceci laisse donc voir que les cartes de visibilité sont des techniques de simulation qui ne sont pas facilement accessibles à des personnes qui n'ont pas développé certaines habiletés d'abstraction ou d'interprétation technique. De plus, les cartes de visibilité ne favorisent pas la verbalisation puisqu'elles ne procurent pas le contexte de travail permettant de référer aux repères visuels habituels. Enfin, les

² Une erreur dans le dessin faisait paraître la structure trop large.

³ Il a été choisi d'établir le plan à 3 pieds (0,9 m) du sol parce que les projections au sol semblaient un peu restrictives puisque les piétons et véhicules peuvent être détectés même s'ils ne sont pas vus en entier (pieds et roues).

⁴ Cependant, certains objets de moins de 3' (0,9 m) pourraient être vus dans des portions des zones visibles et certains objets de plus de 3' pourraient être visibles dans des sections des zones aveugles.

opérations effectuées pour conduire le véhicule font appel à des habiletés transformées en automatisme et sont difficilement verbalisables.

L'animation par ordinateur d'un transporteur de creuset reconstitué en 3D

Outre la visibilité, d'autres aspects du travail, tel l'accès au véhicule, ont été pris en compte lors de l'évaluation de la proposition du concepteur (fabricant). À partir des plans 2D, les ergonomes ont pu anticiper des problèmes pour l'accès au véhicule à cause de la largeur des portes et de la surface réduite des marches liée à l'élargissement de la cabine. Afin de mieux visualiser ces problèmes, et d'en discuter avec l'équipe projet, les ergonomes ont eu recours, à la 10^e semaine du projet, à des animations 3D par ordinateur. Les animations ont été réalisées avec un logiciel d'animation (utilisé pour les cartes de visibilité) et elles ont été présentées à l'équipe projet en même temps que les cartes de visibilité. Ces simulations permettaient de placer des mannequins articulés sur les marches du transporteur, d'ouvrir et de fermer les portes du transporteur, de tester différents types de portes, de comparer les propositions du concepteur à la situation existante (Figure 5, Annexe A). Les animations pouvaient être vues sous plusieurs angles. Ces simulations ont permis aux chercheurs de confirmer les problèmes d'accès liés à la cabine élargie. Elles ont aussi permis à l'équipe projet de bien voir les problèmes liés à la proposition de porte large et au positionnement des miroirs. Cependant, les simulations 3D par ordinateur ont amené peu de discussions de l'équipe projet sur les problèmes liés à la largeur de la cabine et les difficultés d'accès s'y rapportant (réduction de la surface utilisable de la marche la plus haute). Mentionnons également que le modèle 3D a permis aux chercheurs de : 1) prédire un léger gain de visibilité en éliminant les plaques métalliques des équerres de soutien du couvercle, 2) confirmer une détérioration de la visibilité, due à la structure portante horizontale du système de levage, advenant la réduction du mât.

Ces simulations fournissent un support de discussion plus concret et plus facile à interpréter que les plans 2D. Cependant, il semble qu'elles ne soient pas encore suffisamment près de la réalité des opérateurs pour amener de riches discussions sur le travail.

La simulation dynamique avec une maquette de cabine grandeur réelle

La simulation dynamique, réalisée à la 24^e semaine, visait à reproduire de la façon la plus réaliste possible le travail des opérateurs avec la nouvelle cabine proposée par le concepteur. Le but était d'enrichir notre compréhension en confrontant les travailleurs à la nouvelle proposition de cabine, plus particulièrement sur les aspects de visibilité et d'accès. À partir des plans fournis par le concepteur, les chercheurs ont construit une maquette de la cabine proposée, dans les dimensions réelles, avec des panneaux de carton plume (foamcore) et de bois (Figure 6, Annexe A). Cette construction en pièces détachées a été fixée par-dessus la véritable cabine du transporteur de creuset permettant ainsi d'en simuler l'élargissement. Une porte coulissante et une porte à charnière, toutes deux fonctionnelles, ont été installées. Ce montage permettait non seulement de monter dans le transporteur, mais également de conduire le véhicule tout en ayant l'impression d'être dans la cabine élargie. Après avoir monté la structure, des tests ont été effectués pour vérifier si la maquette tenait bien lorsque le véhicule tournait (véhicule articulé au centre). Ces tests ont permis de constater des erreurs entre les dimensions figurant sur le plan et les dimensions réelles du transporteur. En fait, les plans fournis par le concepteur ne

correspondaient pas en tout point au transporteur à l'étude. Ces plans se rapportaient probablement à un transporteur de creuset appartenant à une autre usine. La cabine dessinée était trop longue de 5 cm (distance avant/arrière), si bien que la maquette de cabine accrochait dans les cylindres de l'appareil de levage lors du braquage. Les chercheurs du projet ont donc modifié la maquette selon l'espace avant/arrière réellement disponible sur le transporteur. Notons qu'à la 21^e semaine, les chercheurs avaient noté une incohérence à propos de la longueur de cabine entre deux versions de plans et qu'ils en avaient fait part au concepteur. La plus longue dimension de cabine avait été alors retenue par le concepteur.

Les simulations ont été réalisées en deux étapes avec la participation du chargé de projet, de l'instructeur, du responsable de l'entretien du véhicule et de deux opérateurs. Une première étape, accomplie dans l'atelier d'entretien, visait principalement à identifier les problèmes liés à l'accès au véhicule (monter et descendre). La deuxième étape visait à recueillir les commentaires lors de la conduite du véhicule et tout particulièrement en ce qui a trait à la visibilité.

Simulation de l'accès au véhicule. Plusieurs scénarios représentant différentes situations de travail ont été simulées pour vérifier les problèmes liés à l'ouverture et la fermeture des portes, la localisation des prises, la surface disponible sur les marches, l'emplacement des miroirs (voir exemple au tableau 2).

Tableau 2 Exemples de scénarios servant à tester l'ouverture et la fermeture des portes du véhicule.

Note : les combinaisons de toutes ces situations ont servi de base aux essais

| Alignement du véhicule | Type de porte | Action sur la porte | Localisation de l'opérateur |
|--|-------------------|-----------------------|-----------------------------|
| Devant du transporteur aligné avec l'arrière | Porte à charnière | Ouverture de la porte | Opérateur dans le véhicule |
| Devant du transporteur braqué à gauche | Porte coulissante | Fermeture de la porte | Opérateur hors du véhicule |
| Devant du transporteur braqué à droite | | | |

Les participants étaient appelés à tour de rôle pour réaliser des essais et pour faire part de leur commentaires. Ces essais ont permis de : 1) confirmer les problèmes d'accès lors de l'utilisation d'une porte à charnière et la pertinence d'installer une porte coulissante, 2) confirmer l'impact de la réduction de la surface disponible de la marche supérieure lors de l'accès au véhicule et générer des solutions, 3) localiser les emplacements des prises pour monter dans le véhicule (et descendre), 4) élaborer des scénarios quant à l'emplacement des miroirs extérieurs afin qu'ils ne nuisent pas lors de l'accès au véhicule. Notons cependant qu'à cette étape certains opérateurs étaient prêts à assumer les difficultés liées à la réduction de la surface disponible de la marche supérieure afin de profiter de la cabine plus large.

Simulation de la visibilité en situation d'opération. Différents scénarios d'opération avaient également été planifiés pour cette étape de simulation (voir tableau 3). Cependant, une brève simulation de conduite, en effectuant une trajectoire non rectiligne en marche avant et en marche arrière, a été suffisante aux opérateurs pour mettre au jour d'importants problèmes de visibilité. Les autres scénarios n'ont donc pas été réalisés.

Tableau 3 Exemples de scénarios visant à tester la visibilité

| Action | Conditions d'exécution de l'action |
|--------------------|---|
| Avancer | En ligne droite En tournant (gauche/droite) |
| Reculer | En ligne droite En tournant (gauche/droite) |
| Faire le plein | À la station intérieure À la station extérieure |
| Prendre un creuset | Au sol Au four Au TAC Au nettoyeur de creuset Au pannage |
| Déposer un creuset | Idem à précédent |
| Circuler | Dans le couloir du transport Dans le couloir de contingence |
| | Conditions de coactivité : piéton autour du transporteur, autre véhicule autour du transporteur |

Les problèmes de visibilité mis en évidence étaient : la génération de nouvelles zones cachées à l'avant du véhicule lorsque le véhicule est braqué et des zones cachées à l'arrière du véhicule nuisant à la prise d'information lors de la marche arrière.

Notons que lorsque le concepteur avait simulé la cabine élargie, il avait conclu que la nouvelle structure de cabine ne générerait pas de nouvelles zones cachées à l'avant du véhicule puisque la structure coïncidait avec les mâts de l'appareil de levage. Le transporteur étant rarement complètement aligné, les chercheurs avaient alors soulevé la question de ce qu'il adviendrait lorsque le véhicule serait braqué. Dès la présentation des plans du concepteur, il était donc prévisible que la nouvelle structure engendrerait de nouvelles zones aveugles lorsque le véhicule serait braqué. Cependant, la question était de savoir si ces zones seraient suffisamment importantes pour nuire à l'accomplissement du travail des opérateurs. Les simulations dynamiques ont permis aux opérateurs de constater que ces zones étaient nuisibles (nécessita des modifications posturales pour prendre l'information et déconcentra les opérateurs car la structure est toujours en mouvement dans le champ visuel lors du braquage).

Du point de vue technique, ces simulations ont donc permis entre autres de :

- Mettre en évidence une erreur de conception sur les plans
- Confirmer des problèmes d'accès créés par le nouveau concept
- Discuter de solutions (ex. : emplacement des miroirs et des prises)
- Mettre en évidence que les nouvelles zones cachées à l'avant du véhicule, lorsque le véhicule ne circule pas en ligne droite, et à l'arrière nuisent à l'opération sécuritaire et efficace du véhicule en masquant des informations jugées indispensables pour la conduite.

Là où les méthodes habituelles de verbalisation (faire verbaliser les repères visuels à partir de vidéos ou lors de la conduite du transporteur) ont été de faible utilité pour prédire l'impact de la proposition sur la visibilité, la simulation dynamique a été déterminante. Tant l'équipe projet que les chercheurs ont bénéficié de cette simulation. Cependant, ce n'est que lorsque les participants ont constaté l'importance des problèmes de visibilité qu'ils ont vraiment compris ce que pouvait apporter cette technique. À ce moment, ils ont eu l'impression de «l'avoir échappé belle». Ils ont réalisé que la cabine élargie, qui leur semblait une excellente idée au départ, aurait été très désavantageuse dans l'accomplissement de leur travail. Suite à cette simulation dynamique, l'équipe projet a donc rejeté la proposition de cabine élargie. À partir de ce moment, l'équipe s'est donné pour mandat d'améliorer la cabine originale.

Les simulations à l'aide de plans et de dessins de mannequins 2D

Ce type de simulation a été utilisé à trois reprises dans la démarche de conception et ce, principalement pour vérifier l'adéquation entre la posture des opérateurs de différentes tailles, le design de cabine proposé par le concepteur, le choix et l'emplacement du siège. Notons que cette technique a également été utile pour vérifier l'emplacement des manettes et du volant. Ces simulations ont donc été réalisées : 1) après la première proposition qui comportait une suspension de cabine (8^e sem.), 2) après la proposition modifiée qui ne comportait plus cette suspension (21^e sem.), 3) lors du choix du siège et du calcul de sa position dans la cabine (27^e sem.).

Pour réaliser ces simulations en 2D par ordinateur, des mannequins de différentes tailles (97,5 percentile homme, 50 percentile homme et 2,5 percentile femme, étaient placés dans la cabine 3D selon la posture recommandée pour la conduite de ce type de véhicule. La procédure et les logiciels utilisés sont identiques à ceux ayant permis de générer les cartes de visibilité (voir section 3.2.1) Les dessins, visant à vérifier l'habitabilité des cabines proposées, n'ont pas été présentés à l'équipe projet. Seules les conclusions ont été présentées à cette équipe. Ainsi, il a pu être constaté que les opérateurs de très grande taille (97,5 percentile homme) ne pourraient être logés adéquatement dans une cabine sur suspension, cela étant dû à la rehausse de 1,25 po (3,1 cm) de l'ensemble du poste de conduite (Figure 7, Annexe A). Lors de la discussion sur la deuxième proposition du concepteur, ces simulations ont permis aux ergonomes de relever des incohérences entre les cotes sur les plans et les dimensions qui avaient été discutées avec le concepteur. Ces constatations, communiquées au concepteur, ont donné lieu à des vérifications puis à des modifications aux plans.

Les simulations concernant plus particulièrement les plages d'ajustement de différents sièges ont été présentées à l'équipe projet afin de démontrer l'utilité de bien documenter les choix. Cette démonstration a permis au responsable de l'entretien (mécanicien) d'aller plus loin et de faire des déductions sur l'impact de la position des manettes (à partir de la hauteur du coude des mannequins, le mécanicien a fait remarquer que c'est la variation en hauteur qui est la plus importante et non la variation avant/arrière). Ces simulations ont également aidé les chercheurs à calculer l'emplacement avant/arrière du siège ainsi que la hauteur de la rehausse (base du siège) nécessaire pour accommoder la plus grande population possible d'utilisateurs.

Les simulations avec plans et mannequins ont donc été particulièrement utiles aux chercheurs et elles ont permis de détecter des incohérences sur les plans du concepteur. La simulation portant sur les types de siège a permis de sensibiliser l'équipe projet à l'importance de documenter les choix et a même permis de tirer des conclusions allant au-delà de la démonstration (position des manettes).

Les dessins sur papier et les maquettes grandeur nature

Des dessins ainsi que des maquettes grandeur nature d'éléments à positionner dans la cabine ont été réalisés aux semaines 30, 34 et 36 afin, respectivement, d'aider au choix de design et d'aménagement dans la cabine. Une maquette a été construite pour la cédule de siphonnage⁵ et une autre pour la télécommande d'ouverture des portes de garage (Figure 8, Annexe A). Des équipements apportés par un fournisseur (boîtier, tuyau) ont également permis de simuler les éléments du système de communication (radio, micro). Ces supports ont été utiles pour faire évoluer les discussions, pour comparer différentes solutions entre elles, pour constater concrètement les dimensions des éléments à placer dans la cabine et pour déterminer leur emplacement. Par leur simplicité et leur caractère concret, ces simulations ont pu bénéficier tant aux membres de l'équipe projet qu'aux chercheurs.

Les essais en situation de référence

Dans ce projet, les chercheurs, le maître d'ouvrage et certains membres de l'équipe projet s'entendaient sur l'importance d'essayer les composantes du véhicule en faisant des essais en situation de référence. Plusieurs essais ont eu lieu grâce à l'initiative du concepteur. En effet, ce dernier a mené à trois reprises (sem. 5, 22 et 26) des véhicules comportant des composantes similaires aux modifications qu'il proposait ou souhaitées par l'équipe projet (Figure 9, Annexe A). Ces composantes sont : la suspension de cabine, le siège, les manettes, le volant et «l'orbitrol». Certains de ces essais ont été peu utiles puisque la situation testée était trop éloignée de la réalité de l'usine. À titre d'exemple, un véhicule à fourches monté sur suspension de cabine a été amené pour essai. Non seulement les caractéristiques du véhicule étaient très différentes de

⁵ Les cédules de siphonnage sont des tableaux, imprimés sur papier, comportant les informations suivantes : l'ordre des creusets à aller chercher au département de l'électrolyse, le numéro du creuset à aller chercher (ex. 105B, 104A) et l'heure à laquelle le creuset est généralement prêt à l'électrolyse. La cédule de siphonnage proposée par les chercheurs comprend également le numéro des quatre creusets pour permettre aux opérateurs de cocher ceux qui ont été nettoyés.

celles du transporteur, ce qui affectait le type de vibration émises et leur atténuation, mais il comportait également un siège de qualité supérieure à celui du transporteur. Ainsi, aucune conclusion valable ne pouvait être tirée de l'essai quant à la suspension du véhicule. Cependant, d'autres essais ont permis par exemple d'anticiper les problèmes de localisation des manettes et d'amplitude de mouvement des doigts et du poignet lors de l'actionnement des manettes.

L'essai ayant eu l'impact le plus important sur les choix à faire et sur la compréhension de la démarche d'ergonomie par l'équipe projet fut la démonstration de sièges organisée par le sous-traitant à l'intention première des ergonomes et du personnel d'usine. Cette démonstration faisait suite à une recherche documentaire des ergonomes; les critères importants à considérer pour le choix d'un siège avaient donc été identifiés avant la démonstration. Différents types de siège ont pu être essayés durant cette démonstration et le fournisseur canadien était présent pour répondre aux questions. C'est lors de cette démonstration que l'instructeur a pris conscience de la complexité du choix d'un siège.

Pendant les essais, le rôle principal des ergonomes était d'apporter un questionnement objectif pour guider les choix. Lors d'un essai auquel ils ne pouvaient pas assister, les ergonomes ont même fait parvenir à l'équipe projet une liste de questions critiques à se poser. Cependant, lors de leurs déplacements dans différentes usines pour des raisons extérieures au projet, les membres de l'équipe projet ont parfois fait l'essai de composantes sans le support des ergonomes. À titre d'exemple, les opérateurs ont essayé un siège presque en tout point semblable à leur siège original. Comme les opérateurs ont aimé ce nouveau siège et qu'il était, de plus, moins coûteux, ils se demandaient s'ils ne devaient pas l'acheter. Or, le siège original n'était pas du tout aimé des opérateurs et il ne répondait pas aux critères de conception conseillés par les ergonomes. L'équipe projet a donc éprouvé des difficultés à projeter les résultats des essais dans leur propre contexte d'utilisation, à tracer les limites d'interprétation et à évaluer la situation selon des critères précis. Cette expérience laisse supposer que le soutien des ergonomes est important pour que les essais en situation de référence conduisent à des choix appropriés.

Les essais sur le transporteur modifié : en cours de fabrication et après l'implantation

Les essais en cours de modifications. À la 29^e semaine, alors que les modifications sur le transporteur étaient en cours, les membres de l'équipe projet (y compris deux chercheurs) se sont rendus chez le fabricant pour commenter les modifications réalisées. Plusieurs points ont alors été vérifiés : les caractéristiques et l'emplacement du siège et du volant, des manettes et du portemanette (Figure 10, Annexe A). Cette visite a permis principalement de détecter des problèmes posturaux liés à la trop grande course des manettes et de prendre les actions nécessaires pour y remédier (faire modifier la course par le fabricant européen de manettes).

Les essais après implantation. L'usine a elle-même organisé et dispensé une formation d'une durée approximative d'une heure aux employés appelés à conduire le transporteur modifié (30^e sem.). Cette formation comprenait les volets suivants : explication des modifications apportées au transporteur, ajustement du siège, conduite sur un trajet extérieur, conduite sur le parcours habituel avec un creuset vide, conduite sur le trajet habituel avec un creuset plein. L'opérateur conduisait ensuite le transporteur modifié pour la durée de son quart. Suite à ces premiers essais,

l'instructeur rapporte les constats suivants : il ne semble pas y avoir de problème pour rencontrer les objectifs de production et ce, même si certains opérateurs doivent conduire à vitesse réduite pour bien contrôler le transporteur. Durant cette période de formation et d'adaptation, les opérateurs disent ne plus avoir les mêmes repères pour la conduite et doivent parfois s'arrêter pour tourner. Le siège et le volant sont beaucoup appréciés mais le volant grince. Les opérateurs voudraient pouvoir tourner le volant et utiliser les accessoires simultanément mais il n'y aurait pas suffisamment de débit hydraulique pour les accessoires lorsque le volant est actionné car la priorité de débit va à la direction. Des problèmes mécaniques ont également été identifiés et corrigés suite aux premières utilisations du transporteur. L'instructeur ne semble pas inquiet pour la sécurité en général, il croit qu'il faut laisser le temps pour une période d'adaptation normale.

Les ergonomes ont ensuite évalué l'impact des modifications après une période d'adaptation à la conduite du transporteur modifié d'environ un mois (35^e sem.). Pour ce faire, les opérateurs ont été filmés durant l'utilisation du transporteur modifié, des mesures dynamométriques ont été faites pour estimer les efforts requis entre autres pour actionner le volant et les manettes et la perception des opérateurs a été documentée au moyen d'entretiens semi-dirigés individuels (voir le questionnaire à l'annexe C). Cinq opérateurs d'équipe, de taille et d'expérience variées ont participé aux entretiens. Les opérateurs étaient d'abord rencontrés une première fois pour prendre connaissance des objectifs de l'entretien et du type de questions qui leur seraient posées. Les opérateurs effectuaient ensuite un minimum de 45 minutes de travail au volant du transporteur modifié, soit le transport normal de 3 à 6 creusets, dans le but d'actualiser leur commentaires (prise de conscience sur l'impact des modifications) et de faciliter ensuite les verbalisations. Les opérateurs étaient également filmés durant l'exécution de leur travail afin de faire une évaluation succincte des facteurs de risque apparents. Sommairement, le bilan effectué est positif et la perception des opérateurs est très bonne face aux changements apportés. Les résultats plus détaillés de ces essais et des entretiens sont rapportés aux sections 3.5.2 et 3.5.3.

3.3.3 Les simulations et l'implication des ergonomes : bilan par sous-projet

En examinant les efforts investis par sous-projets on peut constater que l'expertise et les moyens déployés ont été considérables pour faire progresser le concept «structure de cabine». Les sections suivantes donnent plus de détails sur les simulations utilisées et l'implication des ergonomes dans chaque sous-projet.

Les simulations et les essais par sous-projet

Le tableau 4 résume les techniques de simulation et d'essai utilisées dans les différents sous-projets. Mis à part le sous-projet de climatisation/ventilation, pour lequel aucune simulation n'a été faite⁶, tous les sous-projets ont fait l'objet d'au moins une simulation. Les simulations ont particulièrement été nombreuses et variées pour tester différents aspects du nouveau concept de cabine.

⁶ Une rencontre avec le représentant de la compagnie a été jugée suffisante par le groupe pour conclure sur les ajustements nécessaires au système de climatisation.

Tableau 4 Type de simulations et d'essais réalisés selon les sous-projets de conception.

| Objets de conception (sous-projets) | Cartes de visibilité | Animation 3D par ordinateur | Dynamique avec maquette grandeur réelle | Plans et dessins de mannequins 2D | Dessins et maquettes grandeur réelle | Sites de référence | Essai suite à des modifications | Aucune |
|---|--|-----------------------------|---|---|--|--|-----------------------------------|--------|
| Structure de cabine | 10 ^e , 27 ^e sem. | | 24 ^e sem. | | | | 35 ^e | |
| • Visibilité | | | | | | | | |
| • Accès | | 10 ^e sem. | 24 ^e sem. | 8 ^e sem. | | | 29 ^e , 35 ^e | |
| • hauteur du dégagement intérieur | 10 ^e , 27 ^e sem. | | | 8 ^e , 21 ^e , 27 ^e sem. | | | 29 ^e , 35 ^e | |
| • suspension | | | | | | 5 ^e sem. | | |
| Système hydraulique et mécanique (valve de priorité, orbitrol, ajustement du régime moteur) | | | | | | 26 ^e sem. | 35 ^e | |
| Siège | | | | 27 ^e sem. | | 22 ^e , 26 ^e sem. | 29 ^e , 35 ^e | |
| Volant | | | | | | 26 ^e sem. | 29 ^e , 35 ^e | |
| Manette et porte manettes | | | | 27 ^e sem. | | 26 ^e sem. | 29 ^e , 35 ^e | |
| Boîtier d'ouverture des portes de garage | | | | | 34 ^e sem. | | | |
| Aménagement général | | | | | 30 ^e , 34 ^e sem. | | | |
| Radio | | | | | 36 ^e sem. | | | |
| Climatisation/ventilation | | | | | | | | X |
| Cédule de siphonnage | | | | | 34 ^e sem. | | | |

3.3.4 L'implication technique des ergonomes par sous-projets

Tel qu'en fait état le tableau 5, certains de ces sous-projets ont impliqué une participation plus importante des chercheurs. Les interventions des chercheurs ont été classifiées en trois catégories :

- 1) les intervention majeures, soit une intervention qui comporte principalement de la recherche documentaire et des simulations (tout en soulevant des questions pertinentes pour la prise en compte de l'ergonomie, de la SST et de la production);
- 2) les interventions «conseil» seulement, soit une intervention où les chercheurs soulèvent des questions visant à prendre en compte les aspects d'ergonomie, de SST et de production, assistent le groupe lors d'une visite de site de référence, fait des vérifications après implantation,...
- 3) Aucune intervention des chercheurs sur les aspects ergonomie, production ou SST.

Tableau 5 Étendue de l'implication des ergonomes selon les sous-projets de conception

| Principaux sous-projets de la conception | Intervention majeure des ergonomes (ex. recherche documentaire, simulation) | Intervention «conseil» des ergonomes (ex. questionnement, visite de sites de référence, vérification après implantation) |
|---|---|--|
| Structure de cabine | X | |
| Système hydraulique et mécanique (valve de priorité, orbitrol, ajustement du régime moteur) | | X |
| Siège | X | |
| Volant | | X |
| Radio | | X |
| Manette et porte manettes | X | |
| Boîtier d'ouverture des portes de garage | X | |
| Aménagement général | X | |
| Climatisation/ventilation | | X |
| Cédule de siphonnage | X | |

Les résultats présentés au tableau précédent montrent l'implication des chercheurs dans tous les sous-projets. Le sous-projet le plus important en terme de temps investi et également en terme d'étendue des techniques utilisées (voir aussi le tableau 4) est le projet de structure de cabine. Les enjeux pour l'opération du véhicule et les considérations économiques justifiaient ces investissements de temps, de ressources et de moyens. De plus, ce sous-projet, une fois réalisé, était celui qui était le plus difficilement réversible.

3.4 La conduite du projet et la dimension sociale de l'intervention ergonomique

Tout au long du projet, les ergonomes ont tenu des registres (journal de bord, comptes rendus,...) permettant de faire un bilan de l'évolution de la conduite de projet. Ces registres témoignent également des efforts investis pour assurer le suivi des actions et les liens entre les acteurs.

3.4.1 Le rôle des ergonomes dans la conduite de réunion et la gestion de projet

Durant toute l'intervention, les ergonomes ont rencontré l'équipe projet à 21 occasions échelonnées sur une période de 38 semaines. Les réunions de travail⁷ avec l'équipe projet avaient pour but de : recueillir des informations utiles sur le travail en relation avec l'opération et l'entretien du transporteur de creuset, valider les informations recueillies, discuter des solutions possibles, procéder aux simulations, planifier les étapes méthodologiques, faire part des informations découlant des recherches et des analyses, faire le suivi sur les nouveaux développements et sur les modifications. Mise à part la toute première réunion, les ergonomes ont joué le rôle d'animateur des réunions de l'équipe projet tout au long de l'intervention. Ce rôle n'avait pas été attribué au départ; les chercheurs avaient plutôt prévu fournir leur expertise en participant aux réunions au même titre que les autres membres de l'équipe projet. C'est à défaut d'avoir un animateur venant de l'usine que les ergonomes ont assumé ce rôle d'animation.

Vers la fin de l'intervention, les ergonomes ont tenu un rôle non officiel de gestionnaire de projet en raison du départ à la retraite du chargé de projet. Les responsabilités du chargé de projet avaient été attribuées conjointement à deux participants de l'équipe projet. Ces remplaçants n'avaient cependant pas les libérations nécessaires et n'étaient pas suffisamment au fait des détails des dossiers pour faire progresser rapidement le projet.

3.4.2 Le déroulement des réunions

Chaque fois qu'une réunion était jugée nécessaire, l'équipe projet était mobilisée sans aucune difficulté. Cependant, malgré la transmission d'un ordre du jour, le contenu des réunions était souvent modifié par l'équipe projet. Par exemple, à la première réunion, les ergonomes n'ont pu exposer leurs objectifs ni leur planification. Certains intervenants s'ajoutaient parfois sans que cela ait été prévu et parfois d'autres manquaient. De temps à autre, des interlocuteurs n'ayant pas participé au processus ou aux réunions précédentes ont fait basculer les décisions prises antérieurement.

⁷ Soit 14 réunions de travail et sept rencontres visant principalement à recueillir des informations sur le terrain (impliquant la participation des membres de l'équipe projet ou d'autres opérateurs).

Les réunions étaient généralement très longues (deux heures et plus) car, outre l'ordre du jour généralement chargé, il y avait de nombreuses discussions directement ou indirectement liés aux points à traiter. Ces réunions servaient de lieu d'échange d'information sur des sujets liés au travail mais non liés au projet. Il semble que les réunions étaient un lieu privilégié d'échange d'information entre les personnes réunies. L'absence d'un véritable animateur mandaté pour orienter la nature des propos est un élément en cause dans cette dynamique.

3.4.3 Les éléments influençant le déroulement temporel du projet

Tel que mentionné à la section 3.2.2, la durée initiale du projet ne devait être que de 12 semaines. Pour différentes raisons qui seront exposées dans cette section, la durée réelle du projet jusqu'à la prise de décision pour le choix de cabine a été de 26 semaines. La durée totale du projet, incluant le suivi après implantation, a été de 38 semaines.

En début de projet, le concepteur avait déjà fait une proposition avant même que l'analyse du travail ne soit faite. Pour pouvoir être en mesure de bien instruire les choix, les ergonomes ont donc dû procéder à l'analyse du travail avant de se prononcer sur la proposition. Cette analyse de même que les mesures de force et de vibration et la préparation des simulations 3D et cartes de visibilité ont donc placé l'équipe projet en attente (semaines 1 à 10). Cependant, certains délais ont été occasionnés durant cette période par l'attente des plans que le chargé de projet et le concepteur devaient faire parvenir aux ergonomes pour qu'ils puissent réaliser leurs simulations. Les cartes de visibilité ont ensuite été envoyées au concepteur qui devait produire une proposition de cabine à visibilité améliorée (sem.10-11). Les plans issus de cette nouvelle proposition devaient être envoyés aux ergonomes pour vérification de la visibilité et pour préparer la maquette pour la simulation dynamique. Or, pour des raisons administratives relatives au budget et surtout à cause de problèmes de communication entre le chargé de projet et le concepteur, les nouveaux plans ne furent transmis aux ergonomes qu'à la vingtième semaine (sem.11-20). Une semaine supplémentaire a également été nécessaire au concepteur pour corriger une erreur détectée sur les plans par les ergonomes (sem. 21). La préparation pour les essais dynamiques s'est faite au cours des semaines 20 à 22, mettant en attente l'équipe projet pour faire le choix de la cabine. La décision concernant la cabine a pu être prise suite à la simulation dynamique tenue la 24^e semaine.

D'autres facteurs sont venus influencer le déroulement du projet. Par exemple, la définition non claire du mandat des ergonomes a eu pour effet que la recherche documentaire sur les sièges n'a débuté qu'à la 17^e semaine, suite à l'élargissement du mandat des ergonomes par l'équipe projet (i.e. les ergonomes font maintenant une recherche pour des sièges qui ne sont pas proposés par le concepteur). Les ergonomes ont effectué leur recherche sur les sièges durant les semaines 17 à 23 puis ont présenté le résultat de leurs recherches à l'équipe projet. Certains délais durant la recherche sont attribuables à la difficulté d'avoir des informations sur la fréquence de résonance des sièges. Le chargé de projet a ensuite pris sa décision quant au choix du siège à la 26^e semaine. Le siège n'a pu être installé dans la cabine du transporteur modifié qu'à la 33^e semaine parce qu'il n'était pas disponible chez le fournisseur. Des délais similaires imputables à la non-disponibilité des pièces chez le fournisseur ont retardé l'installation de la pompe et de l'orbitrol (sem. 18-27) et la modification de la course des manettes (sem. 29-38).

Finale­ment, des considérations ayant trait à la production ont conditionné l'envoi du transporteur chez le concepteur pour fins de modification. Par exemple, le chargé de projet voulait s'assurer de minimiser le temps où le transporteur serait chez le concepteur pour fins de modification; le chargé de projet a donc retardé l'envoi du transporteur après la période de Pâques. De plus, il n'était pas souhaitable de faire modifier le transporteur juste avant ou pendant les vacances estivales puisque le personnel régulier, familier avec la conduite du transporteur ou avec l'entretien du transporteur, risquait d'être en vacances.

Dans l'ensemble, on peut constater que l'intervention des ergonomes a généré certains délais dans le processus de conception en début de projet, lors de l'analyse du travail. Les autres délais étaient principalement imputables à des lacunes dans les communications entre le concepteur et le chargé de projet, aux délais pour la prise de décision et à la non disponibilité des composantes chez le fournisseur.

3.4.4 L'évolution du mandat des chercheurs

Au fil du projet, le mandat et le rôle des chercheurs a évolué. On peut classer ce rôle selon les catégories apparaissant au tableau suivant.

Tableau 6 Définition du mandat, de l'implication et du rôle des chercheurs

| Objet du mandat des ergonomes | Type d'implication | Rôle dans la conduite de projet |
|--|--|---|
| Exemples : <ul style="list-style-type: none"> • Cabine • Volant • Siège • Manettes | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Réactif</i> : analyse les propositions du concepteur • <i>Proactif</i> : fait des recherches pour amener des propositions. | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Participant</i> (apporte l'expertise ergonomique à l'équipe projet) • <i>Animateur</i> • <i>Chargé de projet</i> |

Le mandat, l'implication et le rôle des chercheurs se sont étendus en cours de projet (tableau 7). En début de projet, le mandat formulé par l'usine se limite à certaines composantes du véhicule. Lors de l'analyse du travail, les chercheurs élargissent ce mandat et tiennent compte d'autres composantes ou d'autres problématiques qui semblent importantes dans les activités des opérateurs des transporteurs. Puisque les chercheurs ont été impliqués dans le projet alors que des propositions avaient déjà été faites par le concepteur, ils ont joué un rôle réactif en début de projet, se concentrant sur la vérification des propositions du concepteur. Spontanément, et également à la demande de l'équipe projet pour le choix du siège, les chercheurs ont ensuite contribué à la recherche de proposition de transformation.

Tableau 7 Évolution du mandat, de l'implication et du rôle des chercheurs en cours de projet

| Semaine | Objet du mandat | Type d'implication | Rôle dans la conduite de projet |
|---------|---|--|--|
| 1 | <i>Défini par l'usine :</i> <ul style="list-style-type: none"> • Visibilité, • volant, • siège, • manettes, • système de communication | | |
| 2 | | <i>Réactif :</i> les ergonomes sont impliqués alors qu'il y a déjà une proposition du concepteur. Analyse des avantages et des inconvénients de cette proposition. | <i>Participant</i> au même titre que les autres membres de l'équipe mais apporte l'expertise en ergonomie. (Rôle tenu tout au cours du projet). |
| 5, 7 | <i>Élargissement du mandat par les ergonomes.</i> Ceux-ci considéreront l'ensemble des problèmes relatifs au véhicule mentionnés lors des entretiens de groupe ce qui ajoute <i>par exemple :</i> <ul style="list-style-type: none"> ▪ accès, ▪ climatisation, ▪ ouverture des portes de garage ▪ pédales | | <i>Animation,</i> convocation des réunions. (Rôle tenu tout au cours du projet). |
| 10 | | <i>Proactif :</i> Génération de proposition (porte coulissante pour améliorer l'accès à la cabine élargie). | |
| 17 | | <i>Proactif :</i> recherche documentaire pour évaluer des sièges non proposés par le concepteur. | |
| 26 | | <i>Proactif :</i> proposition de solution pour le porte-manettes | |
| 30 | | <i>Proactif :</i> proposition de solution pour la télécommande d'ouverture des portes de garage. | |
| 31 | | | <i>Rôle de chargé de projet</i> (après le départ du chargé de projet initial) : communique avec les fournisseurs, relance les responsables de l'équipe projet quant à l'avancement des travaux, décide des prochaines étapes, fait le bilan des réalisations,... |
| 35 | | <i>Réactif :</i> évaluation du transporteur modifié avec plusieurs utilisateurs. | |

3.4.5 L'évolution de la perception de l'équipe projet quant aux interventions des ergonomes

Tout au long de l'intervention, la perception, ou l'intérêt, de l'équipe projet quant aux interventions de l'équipe de recherche a évolué. À partir des commentaires émis par les participants lors des réunions ou lors d'échanges téléphoniques avec les chercheurs, nous avons tenté de caractériser la perception des participants vis-à-vis des différentes techniques d'intervention utilisées. De façon générale, on peut dire que l'intérêt de l'équipe projet s'est développé tout au cours du projet en passant de l'analyse du travail aux contributions plus concrètes.

L'analyse du travail. Les premières étapes de la démarche ergonomique qui consistaient à documenter le travail, ses exigences et ses difficultés semblent avoir été perçues inutiles et longues pour les participants de l'équipe projet. Différentes raisons peuvent expliquer cette attitude. Premièrement, le groupe Ergo du centre de coulée avait déjà étudié certains aspects du travail des opérateurs de transporteur de creuset. Deuxièmement, un accident grave avait suscité une vague d'intérêt pour rendre le transporteur plus sécuritaire et le désir d'agir vite. Troisièmement, les discussions autour des problèmes associés au transporteur étaient amorcées depuis déjà plusieurs mois et avaient créé des attentes. L'équipe projet semblait donc attendre des chercheurs qu'ils se prononcent rapidement sur les propositions (les approuvent) ou qu'ils donnent des solutions «ergonomiques».

La recherche documentaire. À l'instar de l'analyse du travail, la recherche documentaire sur les sièges a été perçue très longue (semaines 3, 5, 7, 9). Certains participants ne comprenaient pas pourquoi il était utile d'identifier les critères spécifiques relatifs à l'usage du transporteur et de documenter les caractéristiques des sièges avant de les essayer. Par exemple, certains auraient souhaité faire venir plusieurs fournisseurs en même temps, essayer leur siège et faire le choix sur place. Ce n'est que lors de la démonstration de siège faite par le sous-traitant⁸, que l'attitude face à la démarche a changé (semaine 22). Les plus sceptiques membres de l'équipe ont alors réalisé et ont reconnu la difficulté de faire un choix adéquat.

Les simulations. La simulation dynamique avec maquette de cabine grandeur réelle a constitué un point tournant de l'intervention (semaine 24). Après avoir simulé la cabine élargie en situation de conduite, les opérateurs ont réalisé que la proposition du concepteur n'était pas avantageuse pour la visibilité. Dès lors, l'équipe projet témoigne d'une forte reconnaissance unanime face aux chercheurs. Les membres de l'équipe projet ont l'impression de l'avoir échappé belle car, la cabine élargie qu'ils jugeaient très intéressante, vient tout à coup de leur paraître très désavantageuse sur un aspect crucial du travail : la visibilité. Ils estiment avoir évité des dépenses importantes liées aux coûts de construction d'une cabine plus large et aux corrections qui auraient été nécessaires pour tenter à posteriori de gagner la visibilité perdue. Les membres ajoutent que, avant la réalisation de cette étape, ils ne comprenaient pas toute l'importance que pouvait avoir la simulation.

⁸ Cette démonstration a eu lieu après que l'ergonome eut documenté les caractéristiques des sièges et qu'il les ait comparées avec les besoins pour la conduite du transporteur.

L'élaboration de concepts de solutions. Tel que mentionné précédemment, les chercheurs ont également joué un rôle dans la génération de propositions de transformation. Par exemple, lorsque les chercheurs génèrent des concepts de solution pour les portes de la cabine élargie (porte coulissante) ou pour le porte-manettes, on peut noter que l'équipe projet et même le concepteur sont très réceptifs et montrent leur satisfaction face à l'intervention (ex. : semaines 10, 26, 30).

Les synthèses écrites et les outils d'aide à la décision. Tout au long de l'intervention, des synthèses, des aides à la décision et des outils de gestion du projet (ex. : liste des repères pour la conception, Annexe C) ont été remis à l'équipe projet. Ces documents ont été utiles mais semblent insuffisants pour aider le chargé de projet. Le premier document résumant les avantages et inconvénients de la cabine élargie (semaine 10) a fait prendre conscience au chargé de projet qu'il n'avait pas les arguments suffisants pour faire passer la proposition de cabine élargie et donc qu'il était utile de continuer à en démontrer les avantages par des simulations. La liste des repères a été utile au chargé de projet pour émettre des billets de travail et faire le suivi (semaine 24). Elle lui a également permis de réaliser que beaucoup de modifications pouvaient être exécutées à l'usine.

La participation à la formation des opérateurs. Les ergonomes ont offert leur support à plusieurs reprises pour aider à l'élaboration du contenu de formation à donner suite à l'implantation du transporteur modifié. Cependant, l'usine a préféré préparer seule cette formation et la contribution des ergonomes s'est limitée à la génération de brefs documents expliquant comment ajuster le siège, le volant et les manettes.

Le rôle d'animateur et de gestionnaire de projet. Tel que mentionné, tout au long du projet les chercheurs ont assumé un rôle de planification et d'animation. Après le départ à la retraite du chargé de projet, les ergonomes ont assumé temporairement des tâches de gestion de projet pour faire avancer le dossier. À l'annonce de la fin de la participation des ergonomes, on sent l'inquiétude de la part des chargés de projet substitués quant au suivi de l'évolution du projet; ils semblent compter encore sur le support des chercheurs (semaines 33, 36, 38).

La contribution aux justifications en vue de l'autorisation des dépenses. L'intervention des ergonomes a permis au chargé de projet d'apporter certaines justifications nécessaires pour faire autoriser les dépenses liées aux modifications retenues. Le chargé de projet semble avoir apprécié cette contribution indirecte (semaine 10).

Impact de l'implantation et du suivi. Après l'implantation du transporteur modifié et les commentaires très positifs des opérateurs, le représentant à la prévention qui n'assistait plus aux réunions depuis plusieurs mois a décidé de s'impliquer à nouveau dans le projet. La satisfaction semble s'étendre au-delà de l'équipe projet : non seulement les chercheurs mais également les participants de l'équipe projet semblent avoir gagné de la crédibilité de la part du personnel de l'usine.

Il semble que toutes les interventions très concrètes et reflétant bien la réalité des situations de travail sont celles qui ont été les plus appréciées par l'équipe projet telles : les simulations dynamiques, la démonstration de sièges, la participation au développement de concepts de

solutions. Ces interventions ont donc eu un impact important tant au niveau social que technique. Cependant, d'autres interventions, moins estimées par le groupe, ont eu des impacts importants dans les choix de conception et ne peuvent donc pas être négligées. À titre d'exemples, l'analyse du travail n'a pas suscité beaucoup d'intérêt cependant elle s'est avérée essentielle pour mettre en contexte les simulations et soulever les questions pertinentes lors de la conception.

3.4.6 L'implication du concepteur avec les différents acteurs

La réalisation de ce projet a nécessité la participation soutenue du chargé de projet, des opérateurs et du mécanicien. La participation du concepteur aux échanges avec l'équipe projet n'a été que fragmentaire et ceci, pour différentes raisons. Le concepteur était affecté à plusieurs projets simultanés, il était basé loin de l'usine, le chargé de projet lui laissait une grande marge de manœuvre et ne faisait pas de suivi serré. Les chercheurs ont d'abord suggéré à quelques reprises d'inviter le concepteur pour le faire participer aux réunions et le mettre au courant des décisions. Puis, pour pallier à l'absence du concepteur et aux lacunes des communications entre celui-ci et l'équipe projet, les chercheurs ont opté d'informer directement le concepteur et le sous-traitant, par téléphone, des raisons qui motivaient les choix de l'équipe projet et également pour leur faire préciser certains aspects des concepts qu'ils proposaient. Notons cependant que, les chercheurs ont eu des contacts très fréquents avec le sous-traitant au sujet du choix du siège. Celui-ci était également impliqué dans le design de la cabine élargie et du porte-manettes. Mise à part la démonstration de sièges, ce sous-traitant n'a jamais assisté aux réunions de l'équipe projet. Faute d'avoir été informé par l'équipe projet, ce sous-traitant s'est adressé aux chercheurs par téléphone pour connaître les raisons du rejet de la proposition de cabine élargie.

3.4.7 Les prises de décision au sein de l'équipe projet

En cours de projet, les membres de l'équipe projet ont été amenés à faire des choix, à prendre des décisions, particulièrement par rapport aux différentes pistes de solutions possibles. Pour plusieurs raisons, deux dynamiques de prise de décision très différentes ont coexistées dans ce projet : 1) la prise de décision hâtive, 2) la prise de décision extensive. Les raisons probables de ces dynamiques sont expliquées dans les paragraphes qui suivent. Le cas particulier de la prise en compte de différentes dimensions du travail est également abordé dans ce texte.

La prise de décision hâtive

Certaines contraintes, non connues au départ par les ergonomes, ont fait prendre des décisions précipitées au chargé de projet. Par exemple, en début de projet, pour des raisons administratives, le chargé de projet désirait passer rapidement les commandes pour faire autoriser les budgets avant une certaine date fixée par l'usine. Une autre raison a semblé pousser le chargé de projet à faire accélérer certaines étapes : son départ à la retraite. Les chercheurs ont été mis au courant de ce fait moins d'un mois avant son départ.

Au début du projet, certains opérateurs voulaient prendre des décisions rapidement et étaient peu enclins à prendre en compte les considérations du responsable de l'entretien lorsque cela pouvait influencer le choix du type de cabine. De plus, la complexité de certains choix n'était pas toujours comprise (vibrations, siège) ce qui amenait l'équipe projet à vouloir prendre des

décisions rapides sans bien se documenter. Finalement, les pressions des travailleurs de l'usine pour la concrétisation rapide du projet poussaient l'équipe projet à prendre des décisions hâtives.

La prise de décisions extensive

Il s'est parfois écoulé des périodes importantes (quelques jours à quelques semaines) entre le moment où les informations étaient disponibles pour faire un choix et le moment de la prise de décision. Plusieurs raisons peuvent expliquer ces délais : les politiques de l'organisation, le grand nombre d'informations à prendre en compte simultanément, la difficulté des décideurs à établir des priorités. Des exemples sont rapportés ci-dessous.

En cours de projet, les nouvelles politiques de l'entreprise visant à restreindre les dépenses ont obligé le chargé de projet à fournir une très bonne justification de toutes les dépenses. Ceci a eu une incidence sur le processus de décision.

Bien que les documents synthèse fournis par les chercheurs étaient jugés utiles et bien faits par le chargé de projet, celui-ci éprouvait quand même des difficultés à prendre des décisions. L'ampleur des informations à considérer pour que la solution convienne aux travailleurs, à la production et à l'organisation est ici probablement en cause. Par exemple, pour le choix du siège, il semblait difficile pour le chargé de projet d'établir les compromis acceptables et de fixer des priorités quant aux critères à privilégier.

La considération de différentes dimensions (travail et autres) lors de la prise de décision

Une difficulté, particulièrement présente en début de projet, était la prise en compte de plusieurs critères simultanément pour faire un choix. Lorsqu'il y avait une décision à prendre, certains membres semblaient se baser sur un ou deux aspects et en oublient les autres ; si bien que certains inconvénients étaient minimisés ou oubliés (ex. : entretien des portes coulissantes, accès à la cabine élargie).

Comme cela a été mentionné plus haut, certains opérateurs de l'équipe projet avaient aussi tendance au début du projet, à ne considérer que leurs propres besoins lors des prises de décision et à exclure les besoins du personnel d'entretien. Plus tard en cours de projet, les opérateurs ont censuré parfois leur choix en fonction de considérations monétaires ou de maintenance des pièces (ex. boîtier d'ouverture des portes de garage, style «membrane»). Les opérateurs ont donc restreint leur choix pour des questions ne relevant pas simplement de leur travail.

3.5 Discussion/Conclusion du cas TC

Plusieurs changements techniques ont été apporté au transporteur de creuset lors de la réalisation de ce projet. Ces changements ont amené une amélioration générale des conditions d'opération. L'impact de ces transformations est ici discuté en regard premièrement de la visibilité, deuxièmement des contraintes musculo-squelettiques et troisièmement de la satisfaction des opérateurs. Finalement, le déroulement réel de l'intervention est comparé au modèle théorique décrivant la place des simulations dans le processus de conception.

3.5.1 La visibilité est-elle améliorée?

La visibilité a été un facteur préoccupant tout au cours de ce projet puisqu'elle est en lien direct avec des facteurs de risque posturaux pour l'opérateur et qu'elle est déterminante dans la genèse d'accidents. Dès les premières étapes, la visibilité était au centre des discussions. Par exemple, l'analyse du travail a amené des discussions sur la possibilité de réduire les mâts du transporteur ce qui aurait pu améliorer considérablement la visibilité à l'avant du véhicule. Cependant, après évaluation, il a été conclu que, malgré l'abaissement de la balance du four 7 et la réduction des mâts, la structure supportant les crochets et le couvercle du creuset nuirait quand même à la visibilité. Les propositions d'amélioration de la visibilité venaient ainsi de se restreindre presque exclusivement à l'amélioration de la cabine. Les nombreuses simulations, et plus particulièrement la simulation dynamique, ont ensuite démontré que la proposition du concepteur, soit la cabine élargie, détériorait la visibilité ; ce concept a donc été rejeté. Une légère amélioration de la visibilité a été réalisée en éliminant les plaques métalliques intérieures aux équerres de soutien du couvercle.

Au terme de ce projet, la visibilité a donc très peu changé puisque la configuration de la cabine n'a pas été modifiée. Les efforts ont alors été consacrés à ne pas détériorer la visibilité par exemple, lors de l'aménagement intérieur du véhicule. Toutefois, puisque la position de l'opérateur s'est modifiée par l'introduction d'un nouveau siège, d'un nouveau volant et de nouvelles manettes, certains opérateurs considèrent que la visibilité s'est améliorée. D'autres ont noté des différences dans la présentation des repères visibles habituels sans signifier pour autant que cela nuisait à leur travail.

Les simulations ont joué un rôle essentiel dans l'évaluation des impacts des modifications sur la visibilité. En effet, sans les simulations dynamiques, il aurait été quasi impossible de déterminer les avantages et les inconvénients réels de la proposition de cabine élargie sur la visibilité. De plus, les simulations par ordinateur ont permis de prédire l'impact de l'enlèvement des plaques métalliques avant d'initier les modifications.

3.5.2 Les contraintes musculo-squelettiques sont-elles diminuées?

L'évaluation post-implantation montre que, globalement, les modifications apportées au poste de conduite se sont traduites par une diminution des contraintes musculo-squelettiques. Les principales améliorations sont rapportées au tableau suivant.

Tableau 8 Conséquences des modifications apportées au transporteur sur la présence de facteurs de risque musculo-squelettique.

| Principales modifications techniques apportées au véhicule | Conséquences sur la présence de facteurs de risque musculo-squelettique |
|--|--|
| <p>«Orbitrol» 3 tours plutôt que 6 tours</p> <p>Valve de priorité pour acheminer de façon prioritaire le débit hydraulique à la direction.</p> | <p>Près de 2 fois moins de rotation du volant pour effectuer une même manœuvre (fréquence des mouvements divisée par 2).</p> <p>Effort pour actionner le volant est diminué.</p> |
| <p>Volant inclinable (diamètre du volant inchangé).</p> | <p>Diminution de l'angle de flexion à l'épaule.</p> |
| <p>Siège avec une suspension réglable selon le poids de l'opérateur et avec une fréquence de résonance convenant au véhicule.</p> <p>Siège permettant d'ajuster facilement différents réglages (ex. : angle du dossier, hauteur des appuis-bras, angle de l'assise).</p> | <p>Meilleure protection contre les vibrations verticales.</p> <p>Possibilités d'ajustement pour le confort des utilisateurs. (ex. : changement de posture facilité, moins de contraintes dans la position de conduite).</p> |
| <p>Manettes actionnées par les doigts ou la main.</p> <p>Position des manettes et appui-bras (réglable).</p> | <p>Effort pour actionner les manettes est diminué (selon les mesures dynamométriques).</p> <p>Amélioration de la posture générale du corps : permet d'actionner les manettes sans devoir se pencher (pour baisser les fourches ou le couvercle).</p> <p>Inconvénient possible (prévu par les ergonomes et discuté avec l'équipe projet) : sollicite davantage les structures plus faibles (doigts-main plutôt que épaule) et génère une flexion importante du poignet chez certains opérateurs pour tirer les manettes (lever les fourches ou le couvercle). Note : les chercheurs ont recommandé la réduction de la course des manettes, cependant, lors du retrait des chercheurs, la course des manettes n'avait pas encore été modifiée.</p> |
| <p>La pédale d'accélérateur</p> | <p>Réduction de la course totale de la pédale, rendant ainsi plus confortable l'angle à la cheville.</p> |

Ces résultats positifs ont été obtenus grâce à l'utilisation des plusieurs techniques qui ont permis d'évaluer ce qu'il adviendrait des contraintes dans le travail futur : l'analyse du travail, la recherche documentaire, les visites de sites de référence, les simulations à l'aide de plans et de dessins de mannequins et les mesures et les vérifications techniques (mesure des vibrations, mesures dynamométriques, calcul de la dimension et de la localisation des composantes). Les simulations et les essais ont aussi permis de caractériser certaines postures de travail et la sollicitation du système musculo-squelettique (exemple : impact du type de manettes sur la

postures des poignet et la sollicitation des groupes musculaires). Cependant, plusieurs facteurs ont réduit la possibilité de prédire, lors des simulations (et donc avant l'implantation), l'impact des changements planifiés sur les sollicitations musculo-squelettiques : 1) les composantes n'étaient pas disponibles avant l'implantation (siège, porte-manettes, manettes, volant), 2) les caractéristiques de certaines composantes n'étaient pas connues ou facilement prévisibles (ex. effort pour actionner le volant), 3) la construction de maquettes représentant les composantes aurait représenté des difficultés très importantes.

3.5.3 Les opérateurs sont-ils satisfaits des modifications?

Des entretiens semi-dirigés individuels ont été réalisés au moyen d'un questionnaire (voir section 3.2.7 et Annexe C). Ce questionnaire visait à faire une évaluation rapide de la perception des travailleurs face aux changements apportés au transporteur. Cinq opérateurs d'équipe, de taille et d'expérience variées ont participé aux entretiens. Dans un premier temps, les opérateurs étaient rencontrés pour prendre connaissance des objectifs de l'entretien et du type de questions qui leur seraient posées. Les opérateurs effectuaient ensuite un minimum de 45 minutes de travail au volant du transporteur modifié, dans le but d'actualiser leur commentaires (prise de conscience sur l'impact des modifications) et de faciliter ensuite les verbalisations. Les opérateurs étaient ensuite rencontrés pour l'entretien semi-dirigé.

Le questionnaire utilisé pour ces entretiens était divisé en six grandes sections :

1. Caractéristiques de l'opérateur : taille, expérience de conduite avec le transporteur original et le transporteur modifié
2. Les ajustements du siège, volant, manettes : type d'ajustement nécessaires en début de quart et en cours de journée, difficultés associées à ces ajustements.
3. Inconforts ou douleurs ressentis : présence d'inconfort, localisation et intensité des inconforts comparaison avec le transporteur original, identification des causes probables des inconforts.
4. L'aménagement de la cabine et l'exécution du travail : facilité d'accès au véhicule, facilité d'exécution du travail, sentiment de sécurité
5. Échelle de comparaison du transporteur original et du transporteur modifié : siège, volant, manettes, accès, visibilité, exécution du travail
6. Autres commentaires

Ces entretiens ont également permis de recueillir des suggestions pour d'autres améliorations.

Sommairement, la perception des opérateurs est très positive face aux changements apportés. Une comparaison globale entre le transporteur modifié et le transporteur original a été faite à partir d'une échelle de perception. Tel que le montre le tableau 9, 87 % des réponses obtenues se situent dans les catégories «légère amélioration» et «nette amélioration».

Tableau 9 Comparaison globale avant/après les changements apportés

| | Pire qu'avant | Pas de différence | Légère amélioration | Nette amélioration | Commentaires (positifs +, négatifs -) |
|---|----------------|-------------------|---------------------|--------------------|--|
| Siège (MSG 95A/31) | | | | 5 | Plus d'ajustements possibles (+) |
| Volant et «orbitrol» | | | 1 | 4 | Moins de tour de volant pour manœuvrer (+). Plus facile pour l'accès (+) |
| Manettes des fourches et du couvercle | | | 3 | 2 | Se penche moins pour actionner les manettes (+) Course des manettes est trop grande (-) |
| Accès au véhicule | 1 | | 3 | 1 | Plus facile à cause du volant (+) Les portes sont dures à fermer (-) Peu d'espace pour monter et descendre (-) |
| Visibilité | | 3 | | 2 | Voit mieux (vitres sur le côté, siège) (+) |
| Facilité d'exécution du travail | | | 2 | 3 | Brassage latéral moins important (+). Moins forçant pour tourner le volant et moins de rotation du volant (+) Les manettes ne peuvent être actionnées en même temps qu'on tourne le volant (-) |
| <i>Total des réponses par catégorie</i> | <i>1 (3 %)</i> | <i>3 (10 %)</i> | <i>9 (30 %)</i> | <i>17 (57 %)</i> | |

Quelques commentaires spécifiques aux autres sections du questionnaires sont rapportés ci-dessous.

Ajustements : les ajustements du siège et du porte-manette sont faciles. L'ajustement de l'inclinaison du volant est difficile à cause du mécanisme et du manque de repère pour savoir dans quelle direction tirer le bras d'ajustement. Les chercheurs notent que des ajouts de formation sur les ajustements de tous ces éléments sont nécessaires.

Douleurs : il y a diminution des douleurs au dos et à l'épaule grâce respectivement au nouveau siège et au nouveau volant-«orbitrol».

Accès au véhicule et sécurité : L'accès au véhicule n'est pas facilité. Il est plus difficile de descendre ou de monter du côté droit à cause de la présence des manettes. De plus, les opérateurs doivent bouger le volant pour pouvoir sortir du véhicule. Malgré ces inconvénients, les opérateurs se disent satisfaits. Les opérateurs croient que la sécurité, tant pour eux que pour les autres travailleurs circulant aux abords du véhicule, n'est pas différente suite aux modifications. Ils mentionnent qu'il s'agit de s'adapter à cette nouvelle façon de conduire (due principalement au nouvel «orbitrol») pour ne pas qu'il y ait plus de risque.

4. LE CAS DU PROJET DE REMPLACEMENT DES PONTS ROULANTS

Les deux ponts roulants desservant un Centre de coulée doivent être changés car leur capacité ne permet plus de rencontrer les besoins de la production ni de respecter les exigences de sécurité. Cette section décrit l'intervention de l'équipe de recherche menée dans le cadre du projet de conception des ponts roulants.

4.1 Description du pont roulant et du travail des opérateurs

4.1.1 Les tâches des pontiers et l'organisation du travail

Les deux ponts roulants desservent essentiellement le « secteur chaud » du Centre de coulée. Chaque pontier travaille sur l'un ou l'autre pont. Au quotidien, ils transfèrent les creusets depuis les portes des salles de cuves vers le «TAC», le four, puis le nettoyeur de creuset, pour ensuite les retourner aux salles de cuves. À l'occasion, ils transportent aussi d'autres équipements lourds d'un point à l'autre de l'usine.

Le département de l'électrolyse compte six salles de cuves (12 portes). Chaque salle de cuves fournit 10 creusets par quart de travail; le Centre de coulée reçoit donc 60 creusets remplis de métal chaud par quart. Le rythme de travail des pontiers varie beaucoup et dépend notamment de la cadence à laquelle les salles de cuves produisent le métal. Des lumières blanches et vertes, au dessus des portes des salles de cuve – et à l'intérieur de celles-ci – signalent la présence de creusets pleins à transporter ou de creusets vides à reprendre. Les pontiers communiquent aussi avec le sol, et entre eux, par radio. Ainsi, des coopérations entre pontiers permettent de diminuer certaines manœuvres : par exemple, dégager un four d'un creuset vide permet à l'autre pontier, qui amène un creuset plein, de le poser directement au four, au lieu de le poser au sol en attente, de prendre sur le four et poser au sol le creuset vide pour ensuite reprendre le plein et le poser sur le four.

Les pontiers travaillent par quart de douze heures. Ils travaillent à deux aux périodes de pointe (tôt le matin, pour préparer la journée) et prennent pauses et repas à tour de rôle, aux périodes plus tranquilles. Lorsqu'un seul pont est en opération, ils conduisent en alternance, pendant des sessions de deux heures. Ils effectuent une rotation aux deux jours sur ce poste, et travaillent aussi aux autres postes du secteur froid. Ils travaillent trois jours, ont deux jours de repos, travaillent deux autres jours suivis de deux jours de repos.

4.1.2 Le pont roulant et les caractéristiques de son parcours

La cabine des ponts roulants du Centre de coulée est fixe (Figure 11, Annexe A). Les deux ponts - avec leur cabine - circulent sur un axe est-ouest et leurs chariots porte-palan se déplacent sur l'axe nord-sud (Figure 12, Annexe A). Leur cabine est adossée aux salles de cuve et le pontier fait face au centre de coulée (Figure 13, Annexe A). Les creusets sont transportés presque à la hauteur de la cabine, à droite du conducteur, le palan étant de ce côté. Sous le passage du pont un « chemin du métal chaud » est délimité : il s'agit d'une zone où, pour des raisons de sécurité, le passage des piétons est interdit. Chacun des ponts peut couvrir tout l'axe est-ouest;

généralement, ils fonctionnent simultanément. Des débarcadères aux extrémités de l'axe est-ouest, permettent d'y accéder.

4.1.3 Exigences du travail de pontier et contraintes posées par la situation

Visibilité - La conduite des ponts exige une bonne vue d'ensemble du Centre, pour organiser le travail des minutes à venir, détecter la présence de personnes au sol ou sur un équipement. Les pontiers doivent regarder sur leur droite et leur gauche, en haut « derrière » pour détecter le signal lumineux d'une porte de salle de cuve, ou en bas sur le chemin de métal chaud que surplombe la cabine - et le creuset - pour détecter la présence d'une personne ou d'un véhicule. Le chariot porte-palan se déplace dans un axe Nord-sud situé à droite de la cabine. Les charges sont montées et descendues pour être déposées puis reprises aux différents équipements. Le châssis de la cabine crée de nombreux obstacles visuels et la configuration de certains équipements au sol peut masquer la tâche à réaliser. Cela cause des torsions et flexions prononcées, fréquentes ou prolongées, du cou et du dos (Figure 14a, Annexe A). La saleté des vitrages et la présence de reflets peuvent diminuer la visibilité. La disposition de certains objets au sol rend difficile leur perception.

Précision des manœuvres - Certaines manœuvres demandent beaucoup de précision : poser le creuset sur une surface étroite; contourner des structures avec le moufle pour aller accrocher la charge. L'instructeur des ponts souligne la difficulté de «couper le swing» : l'apprenti pontier doit maîtriser le balancement du moufle pour devenir autonome. Des caractéristiques de l'équipement influent aussi sur la capacité de répondre à l'exigence de précision : le système de freinage et la possibilité d'anticiper l'endroit exact où s'arrêtera le pont dans sa course sur l'axe est-ouest ; la coordination nécessaire entre les deux mains pour manœuvrer simultanément le mouvement nord-sud du chariot et haut-bas du palan afin d'aller poser la charge directement, sans répéter la manœuvre. Certains équipements disposent de butées pour faciliter le positionnement du creuset. Par contre, pour le dépôt des creusets sur d'autres équipements, au TAC par exemple, la surface prévue pour le dépôt est étroite et entourée d'équipements électroniques délicats : il faut arrêter le pont à un endroit très précis devant l'équipement et aller poser le creuset sans le balancer, pour éviter tout débordement de métal en fusion. Il faut noter que les creusets ne sont pas couverts pendant leur transport

Rapidité des manœuvres – Les exigences de production nécessite une certaine rapidité dans les manœuvres. Il arrive que plusieurs creusets attendent en même temps aux portes des salles de cuve ; les pontiers ne peuvent pas les laisser trop longtemps avant d'aller les porter au TAC puis au four, parce qu'ils risquent de « blanchir », c'est-à-dire de figer. Lorsqu'un pontier est seul, il doit donc couvrir l'ensemble des salles de cuves pour ramasser les creusets puis leur faire passer les différentes étapes, dans un délai limité. Cela le contraint, pour chaque tâche, à réduire le plus possible les manœuvres.

Actionnement des commandes, boutons et pédale – Les ponts fonctionnent en marche continue : pour les garder arrêtés, à moins de couper la commande, il faut maintenir enfoncée la pédale de frein, ce qui crée pour la jambe droite un travail statique assez important (Figure 15a, Annexe A). Par ailleurs, trois leviers différents commandent les mouvements dans les trois axes; la main gauche actionne deux manettes, celle du déplacement est-ouest du pont et celle du mouvement

haut-bas de la charge (Figure 15b, Annexe A). La manette du palan se trouve sur le côté de la cabine et son actionnement cause une déviation cubitale du poignet gauche. La localisation loin derrière le pontier de boutons de commande, pour allumer ou éteindre les lumières des portes de salles de cuve (Figure 14b, Annexe A) ou pour actionner le TAC, entraîne une torsion du dos et extension de l'épaule. Le maniement du micro occupe une main et la communication avec le sol peut ainsi interférer avec la conduite du pont.

Exigences mentales et stress – Le travail des pontiers demande beaucoup de concentration : détecter les différentes lumières et avertisseurs; détecter les présences de personnes ou de véhicules sur le passage du creuset ou dessous, sur le chemin de métal chaud; organiser plusieurs « run » de creusets à la fois, c'est-à-dire faire passer chacun aux différentes étapes, en limitant les déplacements du pont à vide pour ne pas perdre de temps, en tenant compte de l'autre pontier ou en s'organisant seul. Ce travail est stressant car il comporte plusieurs enjeux de sécurité et de productivité : ne pas heurter de personne ou d'équipement, ne pas renverser de métal en fusion sur des personnes ou sur des équipements (en particulier les composantes électroniques des TAC), ne pas laisser « blanchir » de creuset... Les obstacles à la visibilité, la difficulté d'opérer certaines manœuvres avec précision, l'organisation de la production dans les salles de cuve et entre les pontiers sont autant de contraintes de la situation qui génèrent du stress.

Entretien – Le projet de remplacement des ponts visait aussi à intégrer les exigences du travail d'entretien dans la conception, au moins de la cabine. Les employés d'entretien rencontrent de nombreuses contraintes dans l'accès aux passerelles où se trouvent les équipements mécaniques et électrique du pont et de par l'exiguïté des espaces qui les entourent (Figure 16 a et b, Annexe A).

4.2 Organisation de l'intervention

Contrairement à la situation qui prévalait dans le cas du transporteur de creuset, l'intervention dans le projet pont-roulant s'est greffée à un projet planifié de longue date par l'établissement. Il s'agit d'un projet de grande envergure qui visait le remplacement complet des deux ponts roulants desservant un centre de coulée. L'ergonome de l'entreprise avait déjà participé à l'élaboration du premier devis à la demande du chargé de projet. De plus, la direction de l'établissement souhaitait que les opérateurs participent au projet de conception et c'est la raison pour laquelle le poste de « conduite du pont roulant » avait été retenu comme objet d'étude dans une démarche de formation-action. Un groupe Ergo, constitué de l'ingénieur chargé du projet de remplacement des ponts roulants, d'un conseiller SST de l'établissement de même que d'un pontier, avait réalisé un diagnostic TMS, encadré par les ergonomes.

La fin de la démarche de diagnostic a coïncidé avec le redémarrage du projet, jusque là en attente d'autorisation. C'est donc à partir de ce moment que l'équipe de recherche s'est impliquée dans un des sous-projets soit celui de la conception des cabines des ponts roulants. Nous considérons ici que l'accompagnement ergonomique du projet de remplacement du pont roulant a commencé en mai 1998, au moment où démarrait l'ingénierie préliminaire : le projet venait de recevoir l'autorisation de financement de la part de la direction de l'établissement.

4.2.1 Composition de l'équipe projet et de l'équipe de recherche

Dans ce projet, l'équipe de recherche a été en contact avec l'ingénieur chargé du projet et pas du tout avec le reste de l'équipe projet. C'est donc le chargé de projet qui était en contact avec la maîtrise d'ouvrage, le surveillant principal de chantier et les fournisseurs. Les deux ponts roulants étaient fabriqués par une entreprise québécoise et c'est le chargé de projet qui était, la plupart du temps, en lien avec ce fournisseur. L'ergonome de l'entreprise a joué un rôle important dans l'accompagnement du projet notamment à cause de sa présence sur les lieux et de sa participation à l'avant-projet. Elle était à l'interface entre le chargé de projet, l'équipe de recherche et elle était également en contact avec les utilisateurs (Figure 17, Annexe A).

L'équipe de recherche regroupait deux chercheurs de l'IRSST (un ingénieur expert en simulations informatiques et l'ergonome responsable de la recherche) et travaillait en étroite collaboration avec l'ergonome de l'entreprise et le chargé de projet. À certains moments, les membres de l'équipe de recherche ont rencontré des fournisseurs et des pontiers, mais ces rencontres étaient organisées par le chargé de projet ou par l'ergonome de l'entreprise.

4.2.2 Le mandat et l'échéancier

Le mandat de l'équipe de recherche était ici de fournir l'expertise pour élaborer et valider les spécifications nécessaires à la conception de la nouvelle cabine des ponts roulants, incluant la structure de celle-ci, le choix des composantes du poste de conduite, et l'aménagement de l'ensemble. Ainsi, tout au long de l'élaboration du devis détaillé, le chargé de projet relayait à l'équipe de recherche des demandes précises et renvoyait les résultats de simulation sous forme de demandes de modifications. L'ergonome effectuait des simulations avec les chercheurs de l'IRSST et assurait la validation par les pontiers impliqués dans le projet des résultats intermédiaires des simulations. En ce qui concerne le processus décisionnel, le chargé de projet est resté « maître à bord » du début à la fin du projet.

L'échéancier du projet prévoyait que les ponts soient installés sept mois plus tard, en décembre; les plans de la cabine pouvaient en principe être modifiés jusqu'en août, ce qui donnait un délai de quatre mois pour conduire cette intervention axée sur la simulation des activités dans la future situation de travail. Comme on le verra, la cabine a été encore modifiée passé ce délai.

4.3 L'intervention ergonomique

Plusieurs méthodes ont été utilisées afin de mener à bien l'intervention ergonomique. Dans cette section, ces méthodes seront listées et situées dans le déroulement du projet. Puis, l'apport de chaque méthode, au processus de conception, sera brièvement abordé. L'évaluation post-implantation sera ensuite présentée suivie d'une discussion sur les apports et les limites des techniques utilisées.

4.3.1 La démarche ergonomique dans son ensemble

Plusieurs méthodes ont été utilisées pour documenter le travail, ses exigences et ses contraintes, pour évaluer et faire évoluer les concepts proposés par le concepteur : la recherche documentaire, les mesures instrumentées, l'analyse des statistiques d'accidents et incidents du travail, les observations du travail et entretiens informels, les entretiens de groupe et validations, le remue-méninges et tamisage de solutions et finalement l'évaluation post-implantation. De plus, trois techniques de simulation et d'essai ont été utilisées :

1. les visites de sites de référence
2. les simulations en trois dimensions par ordinateur (et les simulations 2D découlant de celles-ci)
3. les essais sur prototype

Ces méthodes ont été mises en œuvre de mai à novembre 1998, pendant la phase d'ingénierie détaillée. Le tableau suivant montre de façon chronologique, l'utilisation des méthodes, le but poursuivi et les acteurs impliqués.

Tableau 10 Chronologie des méthodes utilisées dans le projet « Ponts roulants »

| | Méthode | Acteurs participants et but visé | Mois |
|------------------------------------|---|--|-------------------|
| Devis | Recherche documentaire | Ergo d'entreprise | 8-9 /97 |
| | Observations et entretiens individuels avec pontiers Mesures instrumentées | Donner au chargé de projet des recommandations pour le devis spécifique du pont roulant | |
| Formation-action | Pré-analyse des statistiques d'accidents Observations & prise de photos Entretiens individuels | Ergos IRSST Choisir les postes pour la formation-action du PREC | 8-10 /97 |
| | Analyse des statistiques d'accidents Entretiens individuels Observation + analyse sur vidéo des facteurs de risque et des déterminants Validations avec les pontiers | Groupe Ergo Diagnostic TMS de la cabine des ponts. A permis de déterminer des priorités d'action et des tâches critiques à simuler | 11 /97 à 2 /98 |
| | Remue-méninges, tamisage et validation des propositions de transformation Choix du type simulation et exercice sur scénarios | Groupe Ergo Plan d'action. Prévoit comme méthodes d'analyse la simulation 3D et la visite de sites de référence. | 3-5/98 |
| | Visite d'un site de référence (pour les tâches d'entretien des ponts) | Chargé de projet « ponts roulants » Lister les améliorations à apporter pour l'entretien | 5 /98 |
| Suivi de projet simulations | Recherche documentaire | Ergo d'entreprise Préciser les critères d'aménagement des cabines et accès | 5 /98 |
| | Validation des tâches du pontier Définition des repères à illustrer dans les simulations | Groupe Ergo Préparer les simulations 3D | 5 /98 |
| | Visite de 4 sites de référence (conduite des ponts) | Groupe Ergo Connaître les points forts et faibles des différents concepts Choisir les composantes de base du système cabine /siège /console /pédales Préparer les simulations (dimensions des composantes choisies comme référence) | 5 – 6 /98 |
| | Simulations 3D et 2D | Équipe simulations (+ groupe Ergo, fournisseurs) Visibilité et ajustements dimensionnels | 6 – 9 /98 |
| | Essai prototype par opérateurs | Équipe simulations (+ groupe Ergo) Ajustements et efforts requis | 10 /98 |
| | Simulation 3D et 2D | Équipe simulations Nouvelles plages d'ajustement du siège | 11 / 98 |
| Suivi d'implantation | Aide-mémoire réglages | Ergo entreprise Formation des pontiers | 1-2 /99 |
| | Mesures instrumentées, prise de photo | Ergo entreprise + ergonomes de IRSST Suivi d'implantation | 1-2 /99 |
| | Évaluation cabine et pont | Ergonomes IRSST Suivi d'implantation | 3 /99 |

La recherche documentaire

Une recherche documentaire sommaire a été effectuée en début de projet, au stade de la rédaction du devis spécifique, pour l'élaboration des principes, des objectifs et des critères de conception. Les devis d'autres ponts roulants ont été consultés à ce moment et la plupart des différents concepts en sont issus. Une autre recherche documentaire a eu lieu au moment du démarrage du projet pour préciser certains critères d'aménagement des cabines et de leur accès.

Les observations du travail et les entretiens informels

L'observation du travail des pontiers a eu lieu à deux moments par les ergonomes : lors de la préparation du devis spécifique et au cours de la formation-action par le groupe Ergo.

Dans le premier cas, l'observation s'est située dans le cadre de l'expertise effectuée à la demande du chargé de projet. L'objectif était d'adapter le pont au travail réalisé au Centre de coulée. Il s'agissait de relever les principales caractéristiques de l'utilisation des ponts, pour orienter le devis. Plusieurs concepts, dont celui de la rotation du siège, ont été introduits suite à cette analyse.

Dans le second cas, l'observation a eu lieu dans le cadre de la formation-action pour la prise en compte des TMS dans la conception. L'objectif était de mettre en évidence les facteurs de risque de TMS et leurs déterminants, puis d'assigner un ordre de priorité d'amélioration aux principales actions à risque de TMS (par ordre décroissant : freiner le pont, déclencher la lumière des transferts, monter et descendre la charge, déplacer le pont E-O & N-S.) Cet exercice a permis au groupe Ergo de détailler cinq tâches différentes concernant le transport des creusets : l'accrochage dont un à partir d'un chariot de transfert, la pose d'un creuset à différents endroits, tels le nettoyeur, les fours, le TAC. Le chargé de projet a repris ces tâches pour mesurer ou estimer les distances du creuset par rapport au mur et au sol qu'il faudrait considérer lors des simulations.

Les observations ont aussi permis au groupe Ergo d'illustrer sur un croquis les principaux obstacles visuels découlant de la configuration de la cabine.

Le remue-méninges et le tamisage de solutions

Le remue-méninges a constitué un moment fort de génération de solutions, en lien avec des problèmes relevant d'éléments extérieurs à la cabine (ex. : faisceau du TAC trop étroit étant donné la précision du freinage ou position du numéro de creuset). Bien que le tamisage ait recentré le groupe Ergo sur son mandat « cabine », plusieurs de ces solutions ont été réalisées.

Quant aux concepts proposés lors du remue-méninges concernant la cabine, la plupart étaient déjà au devis (tels les vitrages élargis et la rotation du siège pour limiter les angles morts, sources de contraintes posturales); il est vrai que le chargé de projet participait à l'exercice. Un nouveau concept a été amené : placer la cabine le plus près du mur pour faciliter la vision des tâches de près.

Le tamisage a ensuite permis de fixer des objectifs précis quant aux TMS et parfois à la sécurité.

La prise de mesures instrumentées

Des mesures ont été prises sur les manettes, à l'aide d'un dynamomètre, au stade du devis technique, lors de l'essai sur prototype et lors de l'implantation des nouveaux ponts. Des mesures d'angle des manettes ont aussi été effectuées, sur le prototype. Cela s'est avéré précieux pour vérifier si les exigences d'actionnement respectaient les recommandations quant à la capacité physiologique et pour justifier des demandes de modification aux fournisseurs.

4.3.2 Description et apport des techniques de simulation et d'essai

Le but des simulations et des essais

Les étapes de simulation ont été déterminées en fonction des phases de conception du projet. Selon l'étape, l'attention de l'équipe de simulation était dirigée en alternance sur les critères de visibilité, les critères de confort postural et les critères d'accessibilité bien que ces critères soient tous étroitement liés. En effet, modifier un élément de l'ensemble cabine /siège /consoles /pédales pour répondre à l'un de ces critères

La première étape de simulation, correspondant à la période de dessin de la cabine proposée. Elle a consisté à vérifier la visibilité dans la nouvelle cabine par rapport à l'ancienne, en positionnant les opérateurs selon l'emplacement des pédales. À ce stade, il était prévu d'effectuer les simulations dans la cabine proposée et dans l'ancienne pour vérifier ce que la cabine proposée améliore et ce qu'elle masque. Faute de temps, les simulations ont été conduites seulement avec la cabine proposée.

La deuxième étape : Les visites de sites de référence ont permis d'enrichir le devis relativement aux considérations d'entretien et ont permis de faire le choix de composantes de départ telles la cabine, le siège, la console et les pédales pour préparer les simulations.

Troisième étape : Suite au choix d'un siège parmi deux modèles, les simulations 3D ont consisté à modifier ce siège (son emplacement) pour permettre à une majorité de pontiers, des grands aux petites, d'optimiser leur position et leur posture dans la cabine.

Enfin, avec les dernières étapes, il s'agissait de vérifier les nouveaux plans avec le logiciel 2D et de tester le prototype avec tous les pontiers. L'impact sur la visibilité de la nouvelle cabine (parois perpendiculaires au plancher) a aussi été vérifié par simulation 3D, au moment de l'essai sur prototype.

Le tableau suivant présente de façon chronologique ces étapes de simulation et d'essai.

Tableau 11 Étapes de simulation et critères recherchés

| Étape | But de la simulation | Type | Critères recherchés | Étapes du projet |
|----------------------------------|---|--------------------------------|---|--|
| 1 ^{ière} : juin-août | Vérifier la visibilité que permet la structure de la cabine proposée, après avoir déterminé la position des yeux d'un homme grand et d'une femme petite à partir de celle des pédales - simulation avec creuset à 9' (2,74 m) et 19' (5,79 m) du mur : confirmation d'obstruction visuelle à 9' (2,74 m) (figure 19) - simulation de manipulation d'un creuset sur un four: problème non causé par la structure de la cabine; | 3D | Visibilité et structure de cabine : seuls les yeux et la tête bougent pour suivre la charge avec limitation de l'angle de rotation et de flexion du cou | Plans de la cabine |
| 2 ^{ème} : sept-oct. | Choisir le siège et le placer dans la cabine; déterminer les ajustements relatifs des éléments de l'ensemble siège /consoles /pédales 1° étude des sièges : aucun des deux modèles ne correspond aux critères posturaux → modifier l'un d'eux pour le faire correspondre aux critères 2° simulation du déplacement avant-arrière console re barre d'appui (trois positions pivot) + rotation : - sans rotation, obstruction visuelle tâche de près (creuset 7,5' ou 2,29 m); - avec rotation et pivot arrière pour homme grand : perte visibilité ou pieds hors cabine sur côté (figure 20) → confirmation nécessité de rotation; ajouter barre circulaire pour pieds (aide rotation) 3° simulation hauteur console vs hauteur siège pour tâches de près (creuset 7,5' ou 2,29 m); avec et sans rotation → consoles plus hautes (rejoindre les manettes) et plus étroites (diminuer obstacle visuel en bas) | 3D | Fonctionnalité, critères posturaux, visibilité : - confort et facilité d'opération liés à la relation SRP ⁹ / yeux / pieds / plancher; -plages d'ajustement pour population entre F 2,5% et H 97,5% -ensemble siège / consoles / pédales tourne de 135° côté accès à la cabine | Fabrication de la cabine Plans du siège |
| 3 ^{ème} : oct. | Valider les nouveaux plans de cabine (droite au lieu inclinée) et consoles (plus hautes, plus étroites, inclinées) et choisir position et inclinaison des freins : - simulation re postures (mannequins) - simulation re visibilité (3D, pas trace électronique) Valider les ajustements, efforts dynamiques et accès avec chaque pontier (fig.23) : essai prototype avec questionnaire par chaque pontier → détermination blocage rotation selon côté accès /corrections hauteur console /corrections forces | 3D 2D Proto- type | Fonctionnalité, critères posturaux, visibilité Idem, + confort, efforts dynamiques et accessibilité | Fabrication du siège <i>Modification des plans de la cabine et du siège</i> |
| 4 ^{ème} : oct. | Déterminer de nouveaux ajustements avant-arrière et de la pédale de frein | 3D | Critères posturaux : cohérence siège-frein | |

⁹ SRP : Seat Reference Point : point de rencontre du siège et du dossier, d'où partent les distances aux autres éléments

On peut remarquer que des modifications ont été apportées aux plans de la cabine et du siège alors qu'ils étaient en cours de fabrication. Certaines modifications ont eu lieu même après le départ de l'équipe de simulation; il n'a donc pas été possible de les valider avant implantation.

Les visites de situations de référence

Quatre visites de situations de références ont été organisées auxquelles ont participé les membres du groupe Ergo. Il s'agissait de visites dans deux usines de l'entreprise, dans une autre usine cliente du fournisseur du futur pont roulant et dans l'atelier du fournisseur. Une cinquième visite a été effectuée par le chargé de projet, auprès d'un service d'entretien.

Le principal apport des visites à la génération des concepts a été de fournir les composantes de départ du système « cabine /siège /consoles /pédale ». Le rapport des visites indique quelques concepts nouveaux (ex : des vitrages en lexan collés, qui masquent peu le champ de vision; ce concept n'a pas été retenu après examen). La rencontre d'une équipe d'entretien a permis de préciser plusieurs exigences d'entretien des cabines et des ponts.

Ces visites ont aussi permis d'illustrer l'intérêt et les limites de certains concepts, de confirmer des problèmes qui avaient été soulevés, de préciser des critères de conception. Par exemple, le devis recommandait de minimiser le plus possible la force de 10 à 25 kg-f requise pour actionner les freins. Les visites de sites ont permis de préciser que le frein devait être actionné par le bout du pied; la force d'actionnement se trouvait donc limitée entre 2 et 4,4 kg-f. Les visites ont aussi permis de suggérer certaines précautions, comme de prévoir un mécanisme actionné par le pied afin de barrer le mécanisme de rotation.

Les visites de sites de référence ont aussi permis de vérifier plusieurs aspects relatifs à la visibilité. Par exemple, lors d'une visite des obstacles structurels ont été identifiés : les côtés de l'une des cabines étaient trop larges pour la vision. Les visites de site ont confirmé l'intérêt d'agrandir le vitrage sur les côtés et le bas (plancher), tel que recommandé au devis. De plus, les visites ont permis de préciser l'intérêt des vitres collées de manière à maximiser le champ de vision. Les visites de sites ont également confirmé l'importance, tel que spécifié au devis, du positionnement des sources lumineuses et du type de peinture appliquée dans la cabine pour éviter les reflets et l'importance que l'entretien ne détériore pas la transparence des vitrages.

Les simulations en trois et en deux dimensions par ordinateur (3D et 2D)

Les simulations en 3D par ordinateur ont été réalisées en utilisant les mêmes logiciels que ceux décrits dans l'étude de cas du transporteur de creuset. Ces simulations utilisent entre autres une reconstitution de la cabine en 3D ainsi que des mannequins anthropométriques (figure 18, Annexe A). Les simulations du dimensionnement en 2D ont été produites à partir de projections faites dans le logiciel 3D. Les chercheurs ont recréé la cabine proposée par le fournisseur et l'environnement de travail au sol pour être en mesure de prévoir les zones cachées ou non visibles causées par la nouvelle structure de la cabine. Les simulations ont permis de tester le choix du siège, les plages d'ajustements et le positionnement relatif des éléments siège/console/pédales.

Les simulations ont essentiellement été conduites par l'ingénieur de l'équipe de recherche assisté par l'ergonome de l'entreprise. Les résultats des simulations étaient transmis au chargé de projet.

Les tâches simulées : Pour réaliser les simulations 3D et les centrer sur l'activité, les chercheurs et l'ergonome de l'entreprise ont déterminé, avec l'aide des pontiers, un certain nombre de manœuvres critiques du point de vue de la vision. Par exemple, la vision a été simulée avec un creuset situé à différentes distances du mur. L'accrochage d'un creuset près d'un four et à partir d'un chariot de transfert ont été simulés de même que le déplacement Est-ouest du pont et son impact sur les mouvements de la tête. Quant aux tâches qui n'ont pas été simulées, certaines, comme le remplacement des siphons, ont été écartées car les problèmes à résoudre ne relevaient pas de la conception de la cabine.

Apport global : Cet exercice a permis de déterminer dans quelle mesure la cabine proposée par le fournisseur éliminait ou réduisait les zones cachées (Figure 19, Annexe A). En simulant les différents scénarios d'activité critiques, des ajustements ont pu être apportés aux plans des fournisseurs. La simulation en trois dimensions a également été utile pour vérifier que certaines des améliorations proposées étaient justifiées, par exemple, la nécessité d'ajustement avant/arrière du module siège-commandes dans la cabine.

Les simulations 2D et 3D, ont permis d'approcher de manière très précise dans la conception du poste de conduite des ponts (cabine et ensemble siège /consoles /pédales) la problématique croisée des critères de visibilité, de posture et de plages d'ajustements anthropométriques, ainsi que d'accès. Cela a permis de vérifier, dans quelle mesure, pour chaque concept, les critères étaient respectés les uns par rapport aux autres, et par là, de confirmer les choix effectués lors de la rédaction du devis et dans les étapes précédentes du processus.

Plus précisément :

La simulation 3D a permis de modifier fondamentalement un concept de départ. Le devis recommandait que le « bloc » siège / consoles / appuie-pieds se déplace ensemble sur l'axe avant-arrière. Or, la vision nécessaire aux tâches effectuées près de la cabine exigeait que le siège soit le plus proche possible du vitrage avant, alors que l'appuie-pieds en caillebotis bloquait l'avancée du siège contre la fenêtre. Un autre concept l'a remplacé : le siège avancerait ou reculerait librement par rapport à l'appuie-pieds. La simulation a confirmé ce concept du point de vue postural et visuel.

Les simulations ont aussi permis de trouver des combinaisons d'ajustements des composantes du poste de travail qui améliorent la visibilité et l'accommodement postural tout en simplifiant le concept (Figure 20, Annexe A). Certaines de ces combinaisons d'ajustements sont optimales, d'autres ont signifié l'adoption d'un compromis. Ainsi, pour certains ajustements, il a fallu resserrer la fourchette de la population prise en compte de 95 %, qui est le critère de l'entreprise, à 90%¹⁰.

¹⁰ Pour ajuster les dimensions d'équipement à un groupe de travailleurs, on détermine comme critère le pourcentage de la population des travailleurs qui pourront ajuster cet équipement de manière optimale, par

Lors du remue-méninges, le groupe Ergo soulignait l'importance de la position relative par rapport au travail, en proposant de placer la cabine le plus au nord possible pour faciliter la vision des tâches de près. Les simulations 3D ont permis de confirmer la plupart de ces concepts, et d'en abandonner ou modifier certains (il n'a pas été possible de placer la cabine plus près du mur).

De façon générale, les images tirées des simulations n'ont pas permis aux pontiers d'explicitier leurs repères visuels. Par contre, une représentation 3D partielle d'une situation critique du point de vue de la visibilité, a tout de même permis l'identification de l'origine des zones cachées (Figure 21, Annexe A). En effet, la simulation de la manutention de creusets au four 14, qui ne présentait ni le siphon, ni l'escalier, ni le crochet, a permis à l'un des pontiers et au chargé de projet de conclure que le problème de visibilité se situait au four lui-même et que la structure de la cabine n'y changerait rien. Cela a conduit le groupe Ergo à recommander à l'usine de tenir compte du critère de visibilité pour le pontier dans la conception et le positionnement des équipements au sol.

La simulation a également permis de détecter une inexactitude sur les plans. Une section non vitrée sur les plans aurait dû être vitrée en réalité (Figure 22, Annexe A).

Finalement, suite aux essais du prototype siège-commande, une nouvelle vérification a été faite à l'aide d'une simulation sur logiciel en trois dimensions et s'est avérée concluante pour la visibilité.

Les essais sur prototype

Description de l'essai :

Les données recueillies et les repères identifiés par les différentes techniques (ex. : modèle de siège, arrangement des commandes et de la pédale de frein, amplitude des plages d'ajustement) ont permis la fabrication d'un prototype du module siège/pédales/console, incluant des manettes et des appuie-pieds (Figure 23, Annexe A). Ce prototype a été installé dans un atelier adjacent au centre de coulée. Tous les pontiers ont pu l'essayer. Des ajustements et des modifications ont été apportées à chacun des essais. Lors de ces essais, les pontiers devaient remplir un questionnaire détaillé portant sur différentes caractéristiques telles les dimensions, forces d'actionnement, etc.

Les apports :

L'essai sur prototype a permis de valider avec l'ensemble des pontiers les critères de posture, de plages d'ajustements et d'accès. Il a aussi permis d'aborder les questions du confort du poste et des efforts dynamiques de maniement des commandes (manettes et pédales). Par exemple, l'essai sur prototype a permis de vérifier l'amplitude des manettes et de suggérer des modifications de

rapport à leur taille, ou autre dimension corporelle pertinente. Un critère de 95% de la population, signifie qu'on tient compte de tous les individus sauf les 2,5 % plus grands (appelé 97,5 percentile) et les 2,5% plus petits (appelé 2,5 percentile). Passer à un critère de 90% de la population de référence signifie que l'on resserre la fourchette entre les 5% plus petits et les 95% plus grands. La population de référence de l'entreprise est tirée de Human scale, le logiciel utilisé est Human cad.

position. Les pontiers ont aussi pu évaluer l'effort « instantané » de maniement des manettes, ce qui a permis de proposer des corrections.

Quant à la vision et l'accès, les essais du prototype ont permis de vérifier plusieurs ajustements. Par exemple, le devis proposait une rotation totale du module siège/commandes de 60° (Figure 24, Annexe A). Au début du processus de simulation, les fournisseurs proposaient 270°, pour permettre un accès au siège par les deux côtés de la cabine. Le chargé de projet a ramené cette amplitude de rotation à 180°, car dans chaque cabine, l'accès se ferait d'un seul côté. L'essai du prototype a finalement ramené l'amplitude de rotation à 120°, soit 75° du côté de la porte de la cabine et 45° de l'autre côté.

Enfin, lors de l'essai sur prototype, les employés d'entretien ont été invités à faire leur remarque quant au futur siège /console /pédales. Ils ont pu apporter des correctifs visant à faciliter l'entretien du système, par exemple, en faisant boulonner l'avant des consoles qui devaient être soudés.

4.3.3 La nouvelle cabine - L'évaluation post-implantation

Deux mois après la mise en service du premier pont roulant, 2 ergonomes ont réalisé des observations auprès de 3 pontiers [deux hommes dont la taille était 1,70 m (5'7'') et 1,85 m (6'1'') et une femme de 1,64 m (5'4,5'')], sur deux quarts de travail différents. Chaque ergonome tenait une chronique d'activités en accompagnant un pontier pendant une période de 2 heures au cours de laquelle le pontier observé était invité à commenter son activité (Grille d'observation et de verbalisation à l'Annexe D). Au terme de cette période, un entretien individuel permettait d'apporter des précisions supplémentaires. Des photographies ont également été prises. Au moment de la pause, un entretien collectif était mené avec les pontiers présents (dont ceux qui n'étaient pas affectés ce jour-là à la conduite du pont roulant) afin de connaître la perception que les pontiers avaient de leur nouvel équipement. Les éléments suivants ont été documentés pour faire l'objet d'une comparaison avant-après :

- Impression générale
- Conduite et dynamique du pont
- Précision et réactivité des commandes
- Vitesse de déplacement
- Confort général
- Visibilité générale et des repères visuels
- Réglages du siège
- Commandes manuelles
- Commandes au pied
- Espace à l'intérieur de la cabine
- Environnement (air climatisé, filtration de l'air, bruit, éclairage, reflets)
- Actions des membres supérieurs (gauche et droit) et douleurs ressenties
- Actions des membres inférieurs (gauche et droit) et douleurs ressenties
- Posture du cou et du dos et douleurs ressenties

L'évaluation de la conception des cabines nouvellement implantées montre une amélioration générale et importante de la visibilité et du confort postural, avec quelques bémols qui seront explicités dans la suite du texte.

L'accès

Lors de l'évaluation, la cabine nouvellement installée était plus étroite de 11 pouces (28 cm) par rapport aux plans fournis pour les simulations avec la cabine droite. Pour accéder au siège depuis la porte de la cabine, il fallait dorénavant enjamber la console. Cela montre la limite d'un processus de simulation qui s'arrête avant la fin de la fabrication d'un équipement.

La posture et le confort

Lors de l'évaluation, la plupart des ajustements posturaux donnaient satisfaction, sauf pour les appuis-bras. Deux pontiers de taille plus petite (5'4,5'' et 5'6'' soit 1,64 m et 1,68 m) ont fait part de l'impossibilité d'ajuster les appuis-bras lorsque le siège est en position basse. Cet ajustement n'a pas été simulé sur ordinateur mais testé sur prototype et les corrections demandées au fournisseur ne précisaient pas les cotes exactes à réaliser. Cet exemple illustre l'importance de donner aux fournisseurs un niveau de précision élevé, que permettent les simulations 2D et 3D.

Certaines caractéristiques de la nouvelle cabine (accroissement de la surface vitrée et siège pivotant) offrent au pontier un champ de visibilité accru et diminuent les postures contraignantes du cou et du dos. Par contre, il est difficile de prévoir si les opérateurs auront effectivement recours au pivotement du siège qui entraîne un changement important dans la façon de conduire et de réaliser les manœuvres. Il est trop tôt pour se prononcer quant à l'impact des nouveaux dispositifs de commande sur les mouvements de membres supérieurs mais les premières constatations indiquent que les gestes sont moins contraignants, notamment pour les épaules et les poignets. Cependant, après l'installation du pont, il s'est avéré que le déplacement le long de l'axe Est-ouest posait un problème sérieux de travail statique en supination du poignet droit; le bras droit étant celui qui commande la manette de déplacement du pont. La conception de la manette ne tenait pas suffisamment compte de cette charge statique. L'évaluation en situation réelle a donc permis de révéler cette contrainte : le transfert du travail statique de la jambe pour maintenir le frein au poignet et à l'avant-bras pour maintenir les manettes.

En ce qui concerne l'entretien, le nouvel équipement a été conçu avec le double objectif de rendre les éléments accessibles et de permettre le travail dans des postures acceptables. Les nouvelles situations de travail des employés d'entretien n'ont pas été l'objet d'observation mais leurs commentaires sont très positifs.

La visibilité

La vue « réelle » du creuset lorsque le siège est tourné sur le côté correspond bien à ce qu'annonçait la simulation 3D. Le crochet et le rebord haut du creuset sont bien visibles, mais non pas la base du creuset. Or, l'évaluation post-implantation a révélé qu'il s'agit là d'un repère visuel important lors du dépôt du creuset sur un chariot de transfert : trop sur le bord, il peut

basculer. De plus, l'évaluation a révélé des obstacles visuels imprévus. Ces deux exemples témoignent des difficultés à faire émerger les exigences du travail et, plus particulièrement, les repères visuels.

Le freinage – les secousses

L'évaluation a révélé également que le freinage par renverse, tel que prescrit, crée beaucoup de secousses potentiellement nuisibles pour le dos. Des ajustements ont été apportés au cours des premiers mois d'utilisation pour limiter les secousses.

4.3.4 Les apports et limites des simulations et essais

En résumé, différentes méthodes ont contribué à l'évolution des concepts :

- trois méthodes ont contribué à la génération des concepts : la recherche documentaire (incluant l'utilisation des devis d'autres ponts), le remue-méninges et les visites de sites de référence;
- la recherche documentaire, l'observation du travail, les visites de site, l'essai sur prototype et les simulations, ont permis de baliser le projet en définissant et en précisant les critères de conception;
- les visites de site de référence ont permis d'initier la vérification de la fonctionnalité des futurs ponts, les simulations en ont constitué le nœud, l'essai sur prototype et l'évaluation post-implantation a permis de la compléter.

Cependant, différents aspects liés à la conduite des simulations doivent être discutés.

L'explicitation des repères visuels

Les simulations et les visites de site de référence ont permis de vérifier les concepts et de les faire évoluer. Cependant, l'utilisation de ces techniques n'a pas permis de tout prévoir. Par exemple, l'évaluation après implantation a révélé certains obstacles visuels qui n'avaient pas été identifiés par ces moyens. De même, bien que la simulation ait permis de bien reproduire la vue « réelle » du creuset lorsque le siège est tourné sur le côté, ce n'est que lors de l'évaluation post-implantation que l'on s'est rendu compte que la base du creuset, non-visible, était un repère important lors du dépôt du creuset sur un chariot de transfert. À cette étape, seule l'activité de prise du creuset a été simulée, pas celle du dépôt du creuset, ce qui peut expliquer cette lacune.

La question des repères visuels a été ramenée plusieurs fois au cours du processus de simulation, sans qu'il ne soit possible de les expliciter. Et, au préalable, ni les observations menées au cours de la formation-action ni les visites de sites n'avaient permis de le faire. Les images tirées des simulations ont permis de corriger certains éléments de la réalité, mais pas de dire s'il s'agissait de repères visuels, ni de préciser en quoi ces corrections étaient importantes. Il est possible que ce soit là l'une des limites du processus de simulation, qui présente une représentation « hors contexte » des situations de travail, autant pour les simulations 3D que pour l'essai du prototype. Pour tenter, entre autres, de faire expliciter ces repères, l'ajout sur la cabine d'une structure en

carton-plume (foamcore) simulant la cabine future a été envisagée, mais des difficultés techniques majeures ont empêché sa réalisation.

Cela montre la capacité théorique d'anticiper le réel à l'aide d'une simulation par ordinateur, à condition de connaître les repères visuels nécessaires pour la réalisation du travail. Il serait donc pertinent de revoir les critères de sélection des scénarios à simuler et les modes de questionnements afin de faire émerger le plus d'informations possibles sur les repères implicites nécessaires à l'accomplissement du travail pour les opérateurs.

La dynamique de conduite

L'évaluation a révélé que les principales difficultés des opérateurs avec les nouveaux équipements relevaient de la dynamique de conduite. Certaines de ces insuffisances renvoyaient à des questions de mécanique, d'autres au contexte d'utilisation.

L'agencement des manettes, la dynamique et le travail statique

L'agencement des manettes du nouveau pont correspondait à celle de l'un des sites de référence, mais la visite n'avait montré aucun problème d'utilisation. Or, tout un pan de la problématique est demeuré obscur jusqu'à l'évaluation en situation réelle : Le travail statique de la jambe pour maintenir le frein pendant les arrêts a été transféré au poignet pour maintenir la commande durant les déplacements. En effet, le nouveau pont resterait naturellement arrêté, à moins que la commande de déplacement ne soit actionné, alors que l'ancien pont devait être maintenu à l'arrêt en appuyant sur le frein. Ce choix avait été dicté par un impératif de sécurité : limiter le risque de heurt d'une personne ou d'un équipement. Mais après l'installation du pont, il s'est avéré que le déplacement le long de l'axe Est-ouest posait un problème sérieux de travail statique en supination du poignet droit. La conception de la manette ne tenait pas suffisamment compte de cette charge statique.

Ce problème n'avait pas été révélé par les visites de site, peut-être parce que les distances à parcourir étaient plus courtes ou que le pont était plus rapide, exigeant un temps de maintien de la manette plus court. La situation d'ensemble n'était sans doute pas la même, concernant les déterminants de la dynamique de conduite. Cela suggère que le choix de la situation de référence puisse se baser sur des critères de conception relevant d'exigences du travail, faute de quoi une simple visite peut rester aveugle à des indices qui permettrait de les faire ressortir, ou à des différences de contexte déterminantes.

Les simulations 3D n'ont pas permis de pronostiquer un tel transfert de travail statique, car même si elles étaient animées, elles représentaient un contexte relativement statique. Les données telles la vitesse de déplacement du pont, du chariot, du palan et d'autres composantes du contexte dynamique (distance à parcourir, durée des séances de travail des pontiers) n'ont pas pu être simulées. On peut se demander dans quelle mesure l'animation 3D ne donne pas une fausse représentation de la dynamique temporelle. La représentation de celle-ci impliquerait de développer l'analyse de la dynamique temporelle réelle.

Finalement, l'essai sur prototype a permis de vérifier certaines caractéristiques des manettes (ex. : amplitude des manettes, effort d'actionnement) et de suggérer des modifications mais n'a pas soulevé le problème du maintien statique. Encore une fois, le choix des scénarios à tester peut être ici discuté : un scénario de maintien statique pendant toute la durée d'un trajet, lorsque le pontier est seul, aurait-il permis d'anticiper la douleur résultant d'une séance de travail de deux heures?

Cette problématique du travail statique a pu être intégrée dans la conception des manettes des ponts roulants d'autres établissements de l'entreprise. En quelque sorte, cette cabine a servi de prototype pour les équipements ultérieurs.

Le freinage, les vibrations et la double exigence de vitesse et de précision

Le devis recommandait de diminuer le plus possible l'effort de freinage. Il proposait également de choisir un siège absorbant les vibrations et de prévoir des appuis latéraux gonflables. En quelque sorte, la question du freinage et celle des vibrations étaient traitées séparément, alors que l'évaluation suggère que ces questions auraient du être traitées ensemble. Les secousses sont importantes, potentiellement nuisibles pour le dos. De plus, elles sont telles que les manœuvres délicates deviennent plus difficiles à opérer. Le freinage par renverse, qui est prescrit, crée beaucoup de brassage.

L'évaluation révèle une double exigence de précision ou de vitesse du freinage du pont, qui avait été mentionnée implicitement au cours du diagnostic et lors de la visite de l'un des sites de références, par le constat de stratégies différentes selon les pontiers ou les situations : les pontiers freinaient tantôt par renverse, tantôt par le frein à pédale, selon qu'ils avaient besoin de vitesse ou de précision. Lors de la présentation du diagnostic du groupe Ergo, cela avait entraîné une discussion entre un ancien pontier, qui parlait d'une question de swing, et d'un mécanicien, pour qui il s'agissait d'un problème de formation. La problématique n'a pas été analysée plus avant, le groupe Ergo reprenant à son compte la recommandation prescrite de freiner par renverse. L'évaluation a fait ressortir les mêmes exigences - de freiner tantôt rapidement (urgence) ou tantôt avec beaucoup de précision (lors du positionnement de la charge sur une surface précise) - et les mêmes stratégies. Si elle avait été analysée et formulée en exigence du travail, cette problématique de vitesse / précision aurait peut-être permis d'interroger les capacités du pont concernant la douceur de freinage.

Cet exemple montre la limite des simulations : le problème des secousses, qui a pu être résolu plusieurs mois après l'installation du pont, n'avait pas été anticipé. Comment simuler à l'avance le comportement dynamique d'un équipement mécanique? Dans ce cas, la clé réside sans doute davantage dans la visite de situations de références du point de vue de l'ingénierie, ainsi que dans l'amélioration successive des équipements.

La problématique « Entretien »

La problématique de l'entretien des ponts a été prise en compte à deux reprises dans le processus de conception : lors d'une visite d'un site de référence et lors des essais sur prototype. Cependant, les modifications apportées en faveur du travail d'entretien n'ont pas tenu compte de certaines exigences du travail d'opération, par exemple :

- Le nettoyage de l'appuie-pieds (un caillebotis) étant difficile, le service d'entretien l'a masqué d'un carton (ou autre matériau de ce genre) masquant ainsi une zone vitrée pouvant être utile aux opérateurs.
- Un « pare-chocs » a été posé contre le montant horizontal bas de la cabine, pour prévenir le risque de bris en cas de heurt par le creuset. Ce pare-chocs aggrave donc le problème d'obstacle visuel en élargissant la structure de la cabine à un endroit critique.

Comment intégrer cette double problématique de l'entretien dans la conception d'une cabine de conduite? Cette question renvoie à la complémentarité des méthodes utilisées en ergonomie, pour générer des concepts de solution et les faire évoluer.

4.4 La dimension sociale de l'intervention ergonomique

Il est difficile de relater précisément comment ont évolué les dimensions autres que techniques dans ce projet, compte tenu du caractère « éclaté » de l'intervention. En effet, les acteurs du projet les plus importants pour mener à bien les simulations, c'est-à-dire le chargé de projet, l'ergonome de l'entreprise et le personnel d'exploitation étaient regroupés sur place, dans une région éloignée du lieu où se réalisait les simulations sur ordinateur. Plusieurs volets de l'intervention ont été assumés par l'ergonome sur place et la trajectoire de l'intervention reconstituée après coup. Il nous faut souligner également qu'à cause du court laps de temps au cours duquel les simulations se sont déroulées, l'équipe de recherche a choisi de mettre l'accent sur la production de résultats utiles en consacrant moins d'énergie à la conservation de traces.

Le contexte social de cette intervention apparaît différent de celui exposé dans le cas précédent. Nous sommes en présence d'un projet plus formalisé, mené par un professionnel de la gestion de projet qui détient un mandat clair de la part de la direction de l'établissement. L'équipe de recherche a donc joué un rôle plus technique, coordonné par le chargé de projet. La présence de l'ergonome de l'entreprise sur place, bien que ses affectations aient été multiples, en faisait une ressource précieuse pour le chargé de projet.

Lorsque nous avons entamé la formation-action, il nous est apparu important que le chargé de projet participe à la formation. Nous avons alors l'hypothèse implicite que le chargé de projet, sensibilisé à l'ergonomie, pourrait agir comme un « leveur de drapeau » pour anticiper, en cours de projet, les difficultés auxquelles les opérateurs futurs pourraient être confrontés. Nous avons pu noter, au cours de la période de quelques mois où le projet a redémarré et que le groupe Ergo poursuivait ses rencontres, que pour bien jouer son rôle de chargé de projet, l'ingénieur ne pouvait s'investir avec les autres membres du groupe, dans une démarche ergonomique. De plus, il ne semblait pas très convaincu non plus de l'intérêt d'avoir recours au groupe qui avait analysé le travail de pontier pour jouer un rôle actif dans le projet comme par exemple dans la préparation des simulations. Il faut préciser que, selon les règles de fonctionnement de l'usine, le temps où les opérateurs sont libérés de leur travail régulier pour participer à des réunions représente des coûts qui sont imputées au projet.

Nous avons néanmoins constaté que la démarche de formation-action amorcée dans les mois qui ont précédé les études d'ingénierie de détail a permis un rapprochement certain entre l'ingénieur chargé de projet et le personnel d'exploitation du centre. Rappelons que les groupes Ergo étaient

des groupes hétérogènes (personnel d'opération et d'entretien, personnel cadre des opérations, de l'entretien, de l'ingénierie, de la santé et sécurité du travail). Il s'est développé une coopération entre l'ingénieur et le personnel qui s'est poursuivie au-delà de la conception de l'équipement, au cours de la période de démarrage où de nombreux ajustements ont été réalisés. L'apprentissage de différentes notions d'ergonomie présentés dans la formation s'est actualisé et prolongé dans le déroulement de ce projet industriel dans la mesure où plusieurs des personnes formées ont pu y apporter une contribution.

4.5 Conclusion sur l'intervention ergonomique dans le projet des ponts roulants

Il faut noter que les différentes étapes de conception, quand elles sont terminées, peuvent se « rouvrir » et exiger de revenir sur certaines simulations. Ainsi, alors que la fabrication de la cabine était commencée, le fournisseur a dû modifier les plans, soit pour répondre à certaines exigences d'ergonomie apparues entre temps, soit pour répondre à d'autres exigences, de sécurité, ou autre par exemple en proposant une cabine avec des côtés droits et des consoles plus étroites. Lors de ces corrections, l'activité de simulation était encore en cours et le chargé de projet a demandé à l'ingénieur de l'IRSST de vérifier l'impact de ces modifications.

D'autres modifications peuvent avoir lieu après coup, alors qu'il n'y a plus de simulations. Par exemple, lors de l'évaluation, on constatera que la cabine est plus étroite de 11 pouces que sur les plans qui ont servi aux simulations. L'accès au poste depuis la porte de la cabine impliquera d'enjamber la console. L'impact de ce rétrécissement n'a pas été vérifié par simulations. Il serait alors ressorti la nécessité de trouver un compromis acceptable, si ce rétrécissement était impératif, par exemple pour des raisons de sécurité.

Par ailleurs, une démarche de conception si respectueuse des besoins des opérateurs qu'elle soit, ne permet pas l'économie de la formation des opérateurs. Concernant les ajustements généraux, lors de l'évaluation, deux pontiers de taille moyenne ou grande (5'7'' et 6'2'') ajustaient leur poste confortablement; et modifiaient même au besoin certains ajustements en conduisant, de manière quasiment automatique. Par contre, la pontière de 5'4,5'' n'arrivait pas à rejoindre la barre d'appui-pieds. Elle travaillait sur ce nouveau pont depuis deux jours seulement et disait ne pas avoir le temps de chercher les bons réglages. Est-ce une question de *formation* à l'ajustement ou de *possibilités* d'ajustements? La seule façon de le savoir aurait été de prendre le temps avec elle, hors situation de travail, pour trouver les ajustements adéquats et de voir ensuite en situation réelle si ces ajustements lui permettaient d'adopter des postures confortables. Il n'a pas été possible de le faire lors de l'évaluation, pas plus qu'il n'a pas été possible de donner une formation de ce type, car le deuxième pont qui devait permettre la formation a dû être remplacé plus tôt que prévu pour des raisons de sécurité.

5. DISCUSSION

À la lumière des deux cas que nous venons d'exposer, nous allons discuter ici de l'intérêt de recourir aux simulations et aux essais centrés sur l'activité au cours d'un processus de conception de cabine de véhicule. Nous aborderons également les limites relatives à ces techniques pour ensuite proposer certaines conditions qui nous apparaissent en accroître les retombées.

5.1 L'apport des simulations et des essais au processus de conception

Les deux études de cas ont montré en quoi les techniques de simulation et d'essai ont contribué, d'une part à la progression des concepts techniques, et, d'autre part, à la conduite de projet et au processus social. Les apports de certaines de ces techniques ont parfois été en deçà ou parfois plus importants que ceux prévus par les chercheurs. Par ailleurs, le recours à certaines techniques a eu un impact déterminant dans l'avancement des interventions. Ces techniques ont aussi profité à, ou mis à contribution, différents acteurs. La présente section traite des différentes facettes de ces apports.

Les résultats issus des deux études de cas montrent que toutes les techniques de simulation et d'essai ont contribué à préciser et à enrichir les propositions des concepteurs et, à l'occasion, à générer de nouvelles propositions. Le recours à ces techniques a également contribué à la conduite de projet et à la dimension sociale du processus de conception. Bien que ces deux dimensions (technique et sociale) de l'intervention soient fortement liées, nous présentons dans deux tableaux distincts comment les techniques utilisées ont contribué à chacune de ces dimensions. Ces tableaux, résumant l'apport des différents essais et simulations, sont construits à partir des informations détaillées que l'on retrouve dans les deux études de cas (sections 3 et 4).

Le tableau 12 concerne la dimension technique des interventions en présentant l'apport que chaque type de simulation a eu dans la définition de la situation de travail future. La typologie des apports est liée à la logique de la définition de la situation de travail : faire émerger les contraintes et les exigences du travail ; générer des propositions; mettre au jour les avantages et les inconvénients d'une nouvelle option; définir des spécifications, c'est-à-dire préciser un design/ des critères de conception/ calculer ; mettre au jour des inexactitudes sur les plans (ou des erreurs de design). Dans ce tableau, comme dans le suivant, seules les contributions les plus importantes ont été prises en compte. L'absence de crochet ou d'astérisque ne signifie donc pas absence de retombée ni absence de potentiel de la technique. De plus, il faut noter que dans un contexte autre que celui de ces interventions, les retombées auraient pu être différentes.

Tableau 12 Apports des simulations à la dimension technique des deux interventions

| Apports | Exemple de résultats (tiré du cas transporteur de creuset) | Techniques ayant le plus contribué | | | | | | | | |
|---|--|------------------------------------|----------------------------------|---------------|---------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--|----------------|
| | | Cartes de visibilité (TC) | Animation 3D ordinateur (TC, PR) | Plans 2D (TC) | Visite de situation de référence (PR) | Simul. dynamique (TC) | Maquettes grandeur réelle (TC) | Essais en situation de référence (TC) | Essais en cours de fabrication et après impl. (TC) | Prototype (PR) |
| <i>Faire émerger les contraintes et les exigences du travail</i> | Émergence des repères visuels importants en masquant certaines parties du champ de vision avec la nouvelle structure de cabine (lors de simulation dynamique). | | | | | ✓ | ✓ | | | |
| <i>Générer des propositions (stimuler la créativité et tester rapidement une idée)</i> | Génération des propositions d'emplacement de prises qui facilitent l'accès au véhicule (lors de simulation dynamique). | | * | ✓ | * | ✓ | ✓ | | | * |
| <i>Mettre au jour les avantages et les inconvénients d'une nouvelle option</i> | Mise au jour de l'amplitude trop grande d'actionnement des manettes proposées (essais en situation de référence). | ✓ | * | ✓ | * | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | * |
| <i>Confirmer (vérifier des points précis déjà identifiés et arriver au même résultat)</i> | Confirmation des problèmes d'accès liés à la porte à charnière dans une cabine élargie déjà identifiés avec les plans 2D (l'animation 3D et simulation dynamique). | | ✓ * | | | ✓ | | | ✓ | * |
| <i>Préciser un design/ des critères de conception/ définir des spécifications</i> | Calcul de la position du siège dans la cabine au moyen des simulations 2D | ✓ | * | ✓ | * | ✓ | ✓ | | | * |
| <i>Mettre au jour des inexactitudes sur les plans (ou des erreurs de design)</i> | Longueur de cabine trop grande sur les plans par rapport aux possibilités réelles du véhicule lors du braquage | | * | ✓ | * | ✓ | | | | |
| <p>✓ technique qui a contribué significativement au développement de cette dimension pour l'intervention transporteur de creuset.</p> <p>* technique qui a contribué significativement au développement de cette dimension pour l'intervention pont roulant</p> <p>Note : les techniques utilisées dans les deux études de cas ne sont pas les mêmes à l'exception des simulations 3D par ordinateur.</p> | | | | | | | | | | |

Ce tableau nous indique que certaines techniques se sont avérées plus profitables que d'autres. Ceci ne devrait pas permettre pour autant d'exclure les techniques moins performantes.

On notera également que les techniques utilisées dans le projet du transporteur sont plus variées. En effet, plusieurs d'entre elles n'ont pas été utilisées dans le projet du pont roulant : les cartes de visibilité, les plans 2D, la simulation dynamique, les maquettes grandeur réelle, les essais en situation de référence et les essais en cours de fabrication. Cela tient surtout à la contrainte temporelle plus forte qui pesait sur l'équipe de recherche : le chargé de projet tenait fortement au respect du calendrier et le temps requis pour la simulation 3D était important à cause de leur complexité : les nombreuses composantes du poste de travail devaient être conçues simultanément et était chacune appelée à évoluer au cours du processus. On peut se poser la question également de savoir si le recours aux autres techniques aurait été pertinent ? Probablement que des essais en situation de référence aurait permis aux pontiers de mettre au jour des différences fondamentales entre la dynamique temporelle de leur travail et celle rencontrée dans les sites de référence. On se rappellera que la longueur des déplacements du pont roulant au centre de coulée était de beaucoup supérieure à celle retrouvée dans les sites de référence et cette exigence du travail ne s'est révélée pertinente que lors de l'implantation des nouveaux ponts. Cela nous amène à réitérer l'importance d'avoir une bonne connaissance des contraintes et exigences du travail et à souligner que l'analyse ergonomique du travail constitue un élément majeur de l'accompagnement de projet. On remarquera d'ailleurs que les techniques de simulation ont peu contribué à faire émerger les exigences et contraintes du travail. On doit voir cette analyse des situations réelles de travail comme devant se faire au fur et à mesure de l'accompagnement du projet plutôt qu'au préalable. Par contre, dans les situations de conduite de véhicule, la compréhension de la dynamique temporelle de l'activité apparaît comme devant se faire tôt dans le projet : à la fois la compréhension de la dynamique existante et celle de la dynamique future. Toutes les simulations 3D ont été réalisées sans que ne soit prise en compte la durée future des déplacements laquelle allait d'ailleurs être accrue (dans le cas du pont roulant) par la diminution de la vitesse prescrite.

On retrouve dans le tableau 13 en quoi les différentes techniques ont pu contribuer à la conduite de projet et au processus social par exemple pour informer, convaincre, aider à la prise de décision, faire participer et construire une crédibilité.

Tableau 13 Apports des techniques à la conduite de projet et au processus social

| Apports | Exemple de résultats (tiré du cas transporteur de creuset) | Techniques ayant le plus contribué | | | | | | | | |
|--|--|------------------------------------|----------------------------------|---------------|---------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--|----------------|
| | | Cartes de visibilité (TC) | Animation 3D ordinateur (TC, PR) | Plans 2D (TC) | Visite de situation de référence (PR) | Simul. dynamique (TC) | Maquettes grandeur réelle (TC) | Essais en situation de référence (TC) | Essais en cours de fabrication et après impl. (TC) | Prototype (PR) |
| <i>Informer</i> | Les cartes de visibilités ont permis de montrer les avantages et inconvénients de l'installation d'une cabine plus haute (en raison d'une nouvelle suspension) sur la visibilité d'opérateurs de différentes tailles. | ✓ | ✓ * | ✓ | * | ✓ | | | | |
| <i>Convaincre/ justifier (fournir des arguments qui ont convaincu l'équipe projet ou qui ont permis de soutenir le CP pour l'autorisation des budgets)</i> | L'animation 3D a permis de convaincre et de justifier le concept de porte coulissante pour régler certains problèmes d'accès au véhicule. | | ✓ | ✓ | | ✓ | | | ✓ | |
| <i>Décider (choisir entre plusieurs options, choisir d'exclure une solution ou de réaliser une solution).</i> | Les simulations 2D ont permis d'établir une liste de critères permettant le choix d'un siège convenant aux opérateurs et à leur travail. | | * | ✓ | | ✓ | ✓ | | | |
| <i>Faire participer les principaux intéressés et stimuler leur intérêt pour la démarche.</i> | Les simulations dynamiques ont fait intervenir les opérateurs, l'instructeur, le mécanicien. Leur intérêt et leur implication étaient importants lors de ces simulations. | | | | * | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| <i>Construire une crédibilité : équipe projet, ergonomes</i> | Suite à la simulation dynamique, l'équipe projet qui ne semblait jusqu'alors pas convaincue de l'utilité de la démarche des ergonomes, réalisent que sans cette simulation, ils auraient pu faire un choix de cabine qui aurait été très désavantageux du point de vue de la visibilité. | | | | | ✓ | | ✓ | ✓ | |

✓ technique qui a contribué significativement au développement de cette dimension pour l'intervention transporteur de creuset.
* technique qui a contribué significativement au développement de cette dimension pour l'intervention pont roulant

Note : les techniques utilisées dans les deux études de cas ne sont pas les mêmes à l'exception des simulations 3D par ordinateur.

Comme nous l'avons mentionné précédemment, il nous est plus difficile d'évaluer l'impact du recours aux techniques de simulation sur le processus social dans le cas du pont roulant. C'est une des raisons pour lesquelles le projet du transporteur est plus souvent mentionné comme ayant bénéficié des interventions. Par ailleurs, on peut considérer également que le projet du transporteur se caractérise par une conduite moins formalisée, mettant davantage à contribution les acteurs de l'usine, en particulier les opérateurs et le mécanicien d'entretien. De plus, la place occupée par les ergonomes y était plus importante à cause de l'origine du projet : le but premier était d'améliorer la santé et la sécurité liée à l'opération du véhicule alors que dans le projet du pont roulant, qui était d'ailleurs de plus grande envergure, le même objectif était présent mais parmi beaucoup d'autres. Ajoutons que la complexité technique de l'objet à concevoir (un pont roulant complet) nécessitait la participation de plusieurs experts (électricité, structure, etc.), dont les ergonomes. Dans ce projet les ergonomes ne faisaient pas partie de l'équipe projet et n'avaient de liens qu'avec le chargé de projet (et les opérateurs, mais aucun d'eux ne faisait partie de l'équipe projet).

Un apport moindre ou plus important que ce qui avait été escompté

Les ergonomes ont choisi d'utiliser les différentes techniques de simulation et d'essai parce qu'ils prévoyaient que chacune d'elles contribuerait à faire évoluer les concepts proposés. Implicitement, les ergonomes avaient certaines attentes concernant les retombées des simulations. Or, les résultats obtenus ont parfois été en deçà de ceux escomptés ou ils ont parfois dépassé les attentes.

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 ces résultats 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.

Dans l'intervention sur le transporteur de creuset, l'animation 3D par ordinateur a peu contribué à enrichir l'intervention. À l'inverse, dans l'intervention du pont roulant, l'animation 3D a largement contribué au design de la cabine en permettant de visualiser les impacts du nouveau concept de cabine et du bloc siège/console/appuie-pieds sur la visibilité. Cette technique présente un bon potentiel pour faire progresser un design, mais l'apport peut se révéler plus ou moins important selon le contexte d'utilisation.

Dans le cas du TC, différentes raisons peuvent expliquer le peu de retombées des simulations avec cartes de visibilité et l'animation en 3D. Premièrement, l'animation en 3D présentait le véhicule dans une scène vide ce qui ne permettait pas facilement à l'équipe projet d'imaginer les liens avec le travail. Les cartes de visibilité présentaient la même lacune, le contexte de travail n'y est pas représenté. Deuxièmement, la lecture de ces cartes est exigeante pour qui n'a pas l'habitude de la technique. Troisièmement, l'enthousiasme des opérateurs pour une cabine élargie les rendaient peut-être un peu moins critiques par rapport à ce concept et limitait probablement leurs commentaires. Face à cette situation, les ergonomes auraient peut-être eu davantage d'essayer différents types d'animation pour stimuler les réflexions de l'équipe projet.

Finalement, le manque d'interaction régulière et officielle avec le concepteur pourrait expliquer que celui-ci n'aient pas utilisé les cartes de visibilité.

Plusieurs des simulations visaient à faire expliciter aux opérateurs les repères visuels auxquels ils ont recours lors de la conduite ou encore lors de la réalisation de certaines tâches. Dans l'ensemble, la verbalisation des repères visuels est limitée car ce type de connaissances est implicite et a été intégré à la manière d'un automatisme (Vermersch, 1991). De plus, dans le cas de la simulation 3D de la prise du creuset avec le pont roulant, une erreur dans la représentation de l'anse du creuset a mobilisé l'attention des opérateurs et rendu difficile la poursuite de l'exercice (Figure 25, Annexe A). La mise en situation semblait impossible à cause de cette erreur.

Par ailleurs, des gains plus importants que ceux escomptés ont été faits lors de certaines simulations. Les simulations sur plan 2D qui ne visaient qu'à informer l'équipe projet des variables importantes pour le choix d'un siège, a permis à un responsable de l'entretien d'aller au delà de la démonstration et de déduire les variables critiques pour les plages d'ajustement du porte-manettes. Lors de l'animation 3D du pont roulant, une représentation incomplète de l'environnement de travail (four) a quand même permis au chargé de projet et à un pontier d'identifier la cause de problèmes de visibilité (structure de l'escalier du poste de siphonnage). De plus, bien que cela n'ait pas été un objectif des simulations, les plans 2D, les cartes de visibilité, l'animation 3D et les simulations dynamiques ont permis aux ergonomes de mettre au jour des inexactitudes ou des erreurs dans les concepts proposés par les concepteurs. L'identification de ces erreurs a permis de faire rectifier les dessins avant la finalisation des concepts. Du point de vue du déroulement social, la simulation dynamique du transporteur de creuset a eu un impact plus important que prévu 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.

Les techniques ayant le plus contribué à l'avancement des deux interventions

La simulation dynamique, réalisée au moyen d'une maquette grandeur réelle installée sur le transporteur de creuset 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. Du même coup, les membres de l'équipe projet ont attribué beaucoup

de crédit à la démarche des ergonomes et ont gagné en crédibilité auprès de leurs pairs dans l'usine.

Dans le cas du pont roulant, les simulations 3D ont été efficaces pour ce qui est de l'évolution du concept. Les moments forts du projet sont plutôt ceux où l'ensemble des opérateurs ont été mis à contribution. L'essai sur prototype peut ainsi être considéré comme un moment fort du projet, à l'image d'autres étapes en début de projet. La validation des difficultés rencontrées par les opérateurs puis le remue-méninges auquel ont participé les personnels de chacun des quarts dans le cadre d'une réunion formelle ont en effet constitué des moments clés.

La contribution des simulations et des essais est variée et variable selon l'intervention. Cela peut s'expliquer entre autres par :

- la complexité du projet de conception : le nouveau concept de pont roulant impliquait des modifications majeures sur une multitude d'aspects techniques et organisationnels alors que le nouveau concept de transporteur de creuset apportait un nombre plus limité de changements techniques et aucun changement organisationnel significatif.
- les acteurs impliqués, leurs connaissances, leur rôle, leur pouvoir et leurs interactions : dans le cas du pont roulant les interactions étaient serrées entre l'ingénieur chargé des simulations par ordinateur, le chargé de projet qui suivait de très près les propositions des concepteurs, l'ergonome d'usine. Dans le cas du transporteur de creuset, les liens entre les ergonomes et le chargé de projet étaient forts mais ni les ergonomes ni le chargé de projet suivaient de près ou interagissaient de façon régulière et planifiée (règles d'échange entendues d'avance) avec le concepteur.

Pour l'intervention sur le TC, la simulation dynamique avec maquette grandeur réelle est le type de simulation qui a eu le plus d'impact tant pour le volet technique de l'intervention que pour le volet social de celle-ci. Pour une intervention comme celle du TC où 1) il était possible d'installer facilement et à faible coût une maquette grandeur réelle sur le transporteur original, 2) les repères visuels étaient difficiles à identifier, 3) l'équipe projet semblait peu convaincue de la démarche, il semble avantageux de procéder promptement dans la démarche à des essais dynamiques afin de satisfaire rapidement aux besoins techniques et sociaux. Dans une intervention, telle celle du PR, où une maquette grandeur nature est difficilement réalisable et coûteuse, il est utile de tester et de raffiner les nouveaux concepts à l'aide de moyens techniques telles les animations 3D par ordinateur avant d'entreprendre des simulations dynamiques.

Des acteurs et bénéficiaires variés

Les simulations et les essais utilisés ont fait intervenir différents acteurs. Par exemple, les cartes de visibilité et les plans ont été préparés par les ergonomes et n'ont pas mis à contribution l'équipe projet. Par contre, les simulations dynamiques, les maquettes et dessins grandeur réelle, le prototype, 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.

Du point de vue des connaissances générées, les simulations n'ont pas profité également 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 qui permettraient de se replacer dans leur situation de travail, soit la simulation dynamique et les simulations avec les maquettes grandeur réelles.

Les concepteurs qui préparaient les plans détaillés de la cabine du pont roulant ont quant à eux profité des simulations 3D. En effet, plusieurs ajustements ont été progressivement apportés, à mesure que les plans se précisaient. Le chargé de projet pouvait s'assurer d'une certaine compatibilité des différents critères. Les simulations avec mannequin virtuel ont permis de montrer par exemple que le module du poste de conduite dans son positionnement initial entraînait l'opérateur en dehors de la cabine : le poste a donc été repositionné dans la cabine et ce nouveau positionnement a fait l'objet du test de visibilité. La simulation a donc contribué grandement à rendre itérative la démarche entre le chargé de projet, le concepteur et les chercheurs.

Les essais sur prototype, en plus d'être utiles pour les chercheurs afin de finaliser les spécifications à transmettre au concepteur, ont permis également à l'ensemble des opérateurs de se familiariser avec le nouveau poste de travail, et ce, plusieurs mois avant son implantation.

5.2 Les limites relatives à certaines techniques

La possibilité d'utiliser certaines simulations ou les retombées possibles des simulations peuvent être limitées par la technique elle-même, le contexte, ou les conditions d'expérimentation. Certaines de ces limites sont exposées ici.

L'écart entre le dimensionnement anthropométrique fait à l'aide de mannequins et les besoins pour répondre aux caractéristiques réelles de la population de travailleurs

Les mannequins anthropométriques ont été d'une grande utilité pour déterminer la position et les dimensions de nombreuses composantes de deux véhicules (ex. : siège, console, manettes) et les dimensions des cabines. Cela a permis de fournir des données chiffrées précises utiles aux concepteurs. Cependant, en se basant uniquement sur le rang centile de la taille des mannequins on peut passer à côté de particularités présentes dans la population de travailleurs (ex. quelqu'un qui a les bras courts et qui est ventru). Par exemple, lors des premiers essais avec le nouveau pont roulant, une pontière de petite taille ne pouvait trouver les ajustements nécessaires pour satisfaire son confort en exécutant son travail. Il est probable que les possibilités de réglage de la console ne lui permettaient pas de satisfaire certaines caractéristiques anatomiques (ex. longueur des bras). Ceci avait été remarqué lors de l'essai mais les spécifications transmises au concepteur ne précisait pas la valeur inférieure qui devait être respectée. Les données anthropométriques sont donc très utiles comme point de départ mais des essais avec la population réelle sont nécessaires pour confirmer le design. De plus, l'intervention réalisée ici nous montre l'importance de la transmission des exigences ou des spécifications selon un mode qui permette au concepteur d'affiner son concept de manière satisfaisante.

La difficulté de simuler et de prévoir le comportement dynamique des composantes

La conduite d'un véhicule implique un grand nombre d'actions exécutées par le conducteur et des réactions dynamiques provenant du véhicule ou de l'environnement. Pour prédire les chances de succès d'un concept, il est donc nécessaire de bien évaluer ces comportements dynamiques. Or, lorsque le concept n'existe pas déjà ou que les situations de références sont trop éloignées de la situation réelle de travail, il devient très difficile d'évaluer ces comportements dynamiques. De plus, les caractéristiques techniques des composantes mécaniques, électriques ou hydrauliques ne sont pas toujours disponibles, ce qui limite la possibilité d'induire le comportement dynamique et ses répercussions sur l'activité de travail. En outre, même si ces informations étaient facilement accessibles, la construction de prototypes permettant de tester les aspects dynamiques présente des défis techniques importants. Dans le cas du pont roulant, le prototype a permis de réaliser des essais qui ont fait progresser les concepts. Cependant, il s'agissait d'essais statiques, qui ne permettaient aucunement d'anticiper les difficultés occasionnées par la dynamique temporelle ou le comportement des composantes mécaniques. Ainsi, la durée excessive de maintien de la commande de déplacement est-ouest de même que la lenteur des réaction des manettes et les secousses lors du freinage ne seront découvertes par l'ensemble des acteurs que lors de la mise en marche. Pour le poste de conduite du transporteur de creuset, plusieurs comportements dynamiques n'ont pu être testés, par exemple, l'impact du changement de l'orbitrol, du circuit hydraulique et des manettes et les réactions s'y rapportant comme les vibrations, les secousses, les vitesses et les accélérations. À défaut de pouvoir simuler ces comportements dynamiques, les chercheurs et l'équipe projet ont eu recours aux projections du concepteur et à des essais pour tenter de se faire une idée du comportement futur. Ces méthodes comportent cependant des limites. Par exemple, un essai sur un véhicule ayant un orbitrol modifié a été réalisé mais les conditions d'utilisation étaient sensiblement différentes pour le transporteur de creuset, ce qui limitait l'interprétation possible pour la situation future.

Dans le cas du pont roulant, il aurait également été avantageux de tester certains comportements dynamiques, en particulier le freinage et les manœuvres de déplacement du creuset. Les visites de situation de référence auraient nécessité, comme dans le cas du transporteur de creusets, une forme de « transposition » qui aurait pu permettre de tirer des conclusions plus pertinentes. Les conditions de transposition des situations de référence constituent également un thème à développer dans des recherches futures.

Les possibilités restreintes d'utiliser des maquettes de cabine pour réaliser les essais dynamiques

Dans les deux projets, les ergonomes souhaitaient tester les nouveaux concepts de cabine dans les situations réelles de travail, en construisant une maquette grandeur réelle. Dans le cas du TC, cela a été réalisé facilement dans la mesure où le concept de cabine proposé était plus large que la cabine originale : il a suffi d'ajouter une maquette en carton plume sur la cabine existante pour que toutes les manœuvres puissent être réalisées dans cette situation quasi réelle. Dans le cas du pont roulant, la construction d'une maquette était beaucoup plus coûteuse en argent et en temps : il aurait fallu construire la maquette complète et la suspendre. Étant donné que les questions de

visibilité étaient cruciales et que la configuration de la cabine était toujours en évolution, la simulation virtuelle a semblé plus appropriée. Les résultats obtenus le confirment.

Le contexte souvent très différent en situation de référence

Les visites et les essais en situation de référence ont été utiles entre autres pour mettre au jour les avantages et inconvénients de certaines composantes proposées. Dans le cas de composantes d'un type nouveau ou complexes (ex. orbitrol, système hydraulique), les essais en situation de références sont vite limités parce que le contexte d'utilisation est souvent trop différent de la situation de travail future. Par exemple, pour le transporteur de creuset, l'essai d'un camion à fourches monté sur une suspension de cabine avec un siège très différent de celui du TC original et sur un parcours non habituel ne permettait de tirer aucune conclusion sur l'utilité de la suspension de cabine (véhicule différent, siège différent, parcours différent). Dans le cas du pont roulant, aucun essai n'a été réalisé en situation de référence. Les visites ont toutefois permis aux pontiers de l'usine de discuter avec d'autres pontiers. Les problèmes concernant la dynamique de conduite et de maintien des manettes, n'ont pu être anticipé puisque le contexte d'utilisation différait sans que l'on connaisse l'impact de ces différences.

Une autre limite de ce type d'essai était qu'en l'absence de l'ergonome, le questionnement sur les exigences du travail était insuffisant. Par exemple, nous avons pu constater que lorsqu'une composante testée présentait un intérêt en soi, les membres de l'équipe projet du transporteur de creuset avaient tendance à être d'emblée favorables à cette option et oubliaient de considérer certains éléments du travail importants par ailleurs. Pour aider les utilisateurs à faire un choix éclairé lors des essais en situation de référence auxquels ne peuvent assister les ergonomes, il s'avère très important de soutenir les opérateurs à l'aide d'une liste de critères et de scénarios pour tenir compte des exigences de leur travail.

Les coûts élevés de certaines simulations

Certaines simulations réalisées dans le cadre de ce projet ne sont pas accessibles à tous en raison des coûts qu'elles représentent en temps, en expertise, en matériel et en logiciel.

Les simulations utilisant l'informatique, particulièrement les animations 3D et les cartes de visibilité, nécessitent un investissement de départ important en temps (plusieurs jours pour construire le TC en 3D), expertise (compétences pointues en informatique), matériel (ordinateur pouvant supporter les logiciels et assez rapide pour faire des animations) et logiciel (AutoCad, 3D studio, Mannequin) pour générer les véhicules en 3D et pour reproduire, si désiré, certains éléments du contexte de l'usine. Cela implique évidemment que l'on dispose de plans à jour de ces éléments, ce qui ne va pas de soi, particulièrement pour ce qui est pour les installations ou les équipements qui datent de plusieurs années et qui ont subi de nombreuses modifications sans que les plans n'aient été retouchés.

À moins de disposer au préalable de plans à jour en 3D et d'une équipe entièrement consacrée au développement des simulations, le temps requis pour développer et réaliser les simulations peut être un obstacle important dans le cas de projets de très courte durée.

5.3 Les conditions pour favoriser les retombées des simulations

En cours de projet, certaines conditions se sont avérées importantes pour la réalisation de la démarche. Certaines étaient bien connues au départ alors que d'autres se sont révélées plus importantes que prévues.

Des éléments de contexte représentés avec le plus de justesse possible

Dans les simulations, le manque d'illustration d'éléments du contexte de travail semble limiter l'émergence de commentaires des opérateurs. Cependant, lorsque des éléments du contexte sont illustrés, il est important que ce soit avec le plus de fidélité possible. En effet, les animations 3D du pont roulant ont permis de constater que les opérateurs s'attardaient à une fausse représentation de l'anse du creuset ce qui s'est avéré un obstacle pour la poursuite de la simulation (figure 25, Annexe A).

L'intérêt de l'analyse de la situation de départ

L'analyse de la situation de travail à transformer n'est pas toujours reconnue comme pertinente dans le cadre d'un projet : on presse les ergonomes de s'intéresser plutôt à la situation future puisque selon les acteurs du projet, le futur sera « complètement différent ». Les ergonomes doivent maintenir et même renforcer leur intérêt pour les situations de départ en particulier pour trois raisons qui ressortent clairement de ces deux interventions : la mise au jour des exigences de l'activité; l'élaboration de scénarios d'activité transposables dans le futur; l'évaluation des nouvelles propositions.

La mise au jour des exigences de l'activité

L'analyse de la situation de départ permet de mettre en évidence les exigences inhérentes à l'activité de travail. La connaissance de ces exigences est importante puisque qu'elles peuvent permettre d'orienter les concepts dès le départ. Dans le cas de la conduite des véhicules, les exigences de vision sont primordiales et c'est la situation existante qui nous indique quels sont les repères les plus importants. Par contre, certaines caractéristiques du travail ne deviennent des exigences à prendre en compte que lorsqu'on les compare à d'autres activités semblables, effectuées dans des contextes différents. Dans le cas du pont roulant par exemple, une des situations de référence était caractérisée par des déplacements du pont sur de courtes distances. Jusque là, le fait de « parcourir de longues distances » n'était pas apparu comme une exigence du travail. C'est bien l'éclairage de la situation de référence qui a fait ressortir cette exigence de la situation à transformer. Cela renforce tout de même l'idée que la connaissance approfondie de l'existant est nécessaire et que des retours vers la situation à transformer font partie du processus itératif de la conception.

L'élaboration de scénarios d'activité transposables dans le futur.

L'élaboration de scénarios d'activité future demeure la pierre angulaire des simulations centrées sur l'activité : «l'efficacité du support dépend non seulement de ses caractéristiques intrinsèques

mais également et surtout de la pertinence des scénarios qui auront été élaborés antérieurement et à partir desquels il y aura simulation» (Maline, 1997).

Il est primordial de viser une certaine exhaustivité et de considérer non seulement les scénarios critiques mais également l'ensemble des scénarios courants (ex. : la vision et l'accès lors du braquage). Même les scénarios les plus banaux devraient être simulés puisque, particulièrement pour la visibilité, les opérateurs ont du mal à exprimer les exigences relatives aux prises d'informations visuelles et que c'est seulement dans le contexte réel de travail qu'ils sont en mesure de se prononcer sur les problèmes soulevés par un concept. Par exemple, le fait d'avoir oublié de tester le scénario «déposer un creuset » a empêché de mettre au jour des problèmes de visibilité avec le nouveau pont roulant. Autre exemple, le concepteur du transporteur de creuset avait simulé la nouvelle cabine par-dessus le transporteur original et concluait que la visibilité à l'avant ne serait pas détériorée car la structure de la cabine se superposait à celle du mât et des cylindres. Or, cela n'était vrai que lorsque le véhicule était en ligne droite. Les ergonomes auraient pu également faire les cartes de visibilité en simulant le braquage des roues. Peut-être que les opérateurs auraient pu alors faire des commentaires sur les désavantages que cela présentait pour eux. Notons que bien que les ergonomes avaient fait la liste la plus exhaustive possible des scénarios lors des essais dynamiques avec le transporteur de creuset, la vérification systématique de tous ces scénarios était quasi-impossible avec le groupe de participants présents. Néanmoins, le fait de les avoir listés a permis d'en vérifier un grand nombre.

L'existant comme référence pour évaluer de nouvelles propositions

Il est très utile de posséder une base de comparaison (par exemple, le TC original et le 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 de l'activité de travail. Lorsque l'entreprise doit faire l'acquisition de plusieurs exemplaires du nouveau véhicule, le premier qui est fabriqué peut être testé alors que les véhicules existants sont encore en service. Des comparaisons précises peuvent alors être faites.

6. CONCLUSION

Cette recherche nous a permis d'approfondir la réflexion sur la méthodologie d'intervention ergonomique lors des projets de conception. En reconstituant a posteriori deux cas d'intervention dans la conception de véhicules, nous avons pu discuter les différentes techniques de simulation et d'essai permettant d'appréhender le futur et d'influencer ainsi le cours de la conception. Rappelons que le processus de conception dont nous parlons ici comporte une dimension technique par laquelle se définit progressivement l'objet de la conception mais comporte également une dimension sociale où de multiples interactions contribuent à la construction du futur. Nous avons tenté de montrer que les simulations centrées sur l'activité constituent un moyen de contribuer aux deux processus et d'enrichir ainsi le résultat de la conception. Le recours aux simulations, s'il peut produire à l'occasion des résultats assez percutants qui apportent des modifications aux propositions des concepteurs, peut aussi s'avérer utile pour avancer plus sûrement dans le processus de conception en confirmant la pertinence des choix de conception déjà faits.

6.1 Accompagner un projet de conception de véhicule

L'étude du travail accompli à des postes de conduite de véhicules présente plusieurs défis pour les ergonomes. La complexité et la diversité des tâches, la mobilité du poste de travail, les savoirs intériorisés et difficiles à faire verbaliser figurent parmi les difficultés rencontrées pour réaliser l'analyse du travail. Il peut s'ajouter à cela des difficultés d'observation liées à l'exiguïté des cabines. Dans le cas du transporteur de creusets, la présence d'un observateur au côté de l'opérateur interférait avec le déroulement de son activité et ne permettait qu'un recueil limité de données (posture non favorable pour la prise de notes et l'observation). L'enregistrement des activités réelles à l'aide d'une caméra vidéo était également limité car la caméra ne pouvait être suffisamment éloignée de l'opérateur pour permettre un plan d'ensemble. De plus, le rythme de déroulement des projets limitait également le temps disponible pour réaliser l'analyse du travail, ce qui est très fréquent dans les projets de conception. Dans un tel contexte, les simulations peuvent s'avérer intéressantes, non seulement pour vérifier l'impact de différentes propositions sur l'activité de travail mais aussi pour faire ressortir certaines des exigences du travail. Il nous faut tout de même insister sur le fait que, très tôt dans les projets de conception de véhicule, il faut s'intéresser à la dimension temporelle de l'activité, celle qui prévaut dans l'existant et celle qui est appréhendée pour le futur.

6.2 Au-delà de la conception du poste de conduite, intégrer d'autres éléments de la situation de travail

La planification de l'intervention ergonomique s'organise autour de l'objet à concevoir. Dans le cas d'un véhicule, il faut avoir à l'esprit que si on attend de l'ergonome qu'il intervienne sur le poste de conduite, d'autres aspects sont également touchés au cours du processus de conception. Ainsi les éléments suivants de la situation de travail peuvent influencer de manière importante le résultat de la conception du poste de conduite : formation, parcours, vitesse, choix des autres composantes du véhicule (suspension, direction, système de freinage). Par ailleurs, la dimension de l'entretien du véhicule devrait également être traitée au cours de la conception.

L'analyse des deux cas fait ressortir l'importance de définir et circonscrire le mandat, sachant qu'en cours de route, il peut s'avérer nécessaire d'élargir le champ d'intervention. Dans les deux projets, le mandat se limitait à la cabine où se trouve le poste de conduite. L'étude de ces cas nous indique que d'autres caractéristiques du travail se trouvaient modifiées par le projet mais n'ont pas été prises en compte. Dans le cas du transporteur de creuset, l'objet même de la conception était réduit à la cabine et même, à la cabine existante. Dans le cas du pont roulant l'objet de la conception était beaucoup plus large puisqu'il incluait une modification importante de l'organisation du travail : la réduction de la vitesse de déplacement. Comme nous l'avons montré, ce changement de la dynamique temporelle de l'activité est venu atténuer l'impact des changements apportés pour réduire les facteurs de risque.

Les deux contextes de conception dans lesquels nous sommes intervenus comportaient une différence importante. En effet, la reconception de la cabine du transporteur de creuset a été entreprise dans un objectif de réduction des risques auquel sont venues se greffer des considérations relatives à l'entretien, à la production. Dans le cas du changement du pont roulant, la conception visait avant tout un objectif de production auquel devaient s'arrimer les objectifs de réduction des risques. La principale conséquence pour l'intervention ergonomique est que, dans ce dernier cas, les critères de conception relatifs à l'activité de travail étaient au second plan si on les compare à ceux relevant des objectifs techniques. Cette caractéristique met en relief la difficulté de l'intervention ergonomique à établir une sorte de hiérarchie des recommandations à faire pour améliorer les situations de travail futures et distinguer ainsi les éléments qui « doivent absolument » être pris en compte de ceux qui « auraient intérêt » à être pris en compte.

6.3 La communication avec les concepteurs : quelles informations transmettre et sous quelle forme ?

Le travail de remodelage des propositions des concepteurs qui est réalisé au cours de l'intervention soulève la question du type de communication qui doit s'établir avec le concepteur, celui qui pose les gestes qui modifie l'objet de la conception. La compréhension de la structure de projet et celle des enjeux doit se faire de façon continue afin d'avoir toujours en tête quels sont les leviers disponibles pour influencer le projet.

De plus, en début d'intervention, il faut souvent convaincre de la pertinence d'intervenir tôt dans le projet, de même que de l'intérêt de recourir à l'analyse du travail et aux simulations. Peut-être y aurait-il lieu de développer des « projets-démonstration » c'est à dire à produire des documents (audio-visuels, par exemple), qui rendraient compte de projets où une intervention ergonomique a donné des résultats satisfaisants et qui montreraient en quoi les différentes techniques utilisées ont permis de bonifier les situations de travail et comment différentes données ont été transmises et éventuellement intégrées à la conception.

6.4 Des limites à dépasser par la recherche et l'expérimentation

Nous avons mis en évidence plusieurs des limites des différentes techniques utilisées au cours de ces deux interventions. Nous avons traité de la difficulté de référer aux normes anthropométriques établies parce que, souvent, elles ne rendent pas compte des extrêmes présents dans les populations pour lesquelles sont conçus les véhicules. Nous avons également

souligné la difficulté d'appréhender le comportement des nouvelles composantes mécaniques d'un véhicule et leurs conséquences pour l'activité de l'opérateur. Si les essais en situation de référence peuvent être utiles, ceci doit être confirmé par des études sur l'impact à plus long terme des changements implantés. D'ailleurs, l'évaluation de l'issue de la conception a été réalisée peu de temps après la réalisation des changements ce qui nous limite dans la généralisation des conclusions. On peut se demander par exemple si le concept d'un siège qui peut effectuer une rotation (cas du pont roulant) est concluant à long terme. De la même façon, la diminution observée des facteurs de risque se traduit-elle par une réduction des symptômes à plus long terme ? L'évaluation à plus long terme des améliorations apportées serait de nature à enrichir les réflexions sur la portée des simulations réalisées.

En ce qui concerne la compréhension des situations de conduite de véhicule, nous avons déjà choisi de retenir deux pistes que nous comptons explorer dans des projets prochains. D'abord, le recours à la caméra oculométrique comme outil pour analyser les prises d'information au cours de la conduite des véhicules. Nous prévoyons également approfondir dans une perspective interdisciplinaire, la réduction des risques associés aux vibrations dès la conception.

En terminant, mentionnons que la conception des véhicules industriels constituent un terrain de choix pour améliorer les pratiques d'intervention en ergonomie et contribuer ainsi à la réduction des risques dès la conception. Les travaux que nous poursuivrons au cours des prochaines années s'appuieront sur les interventions qui ont été présentés ici et permettront d'approfondir certaines dimensions de la pratique ergonomique en conception : c'est le cas de la question de la transmission des données utiles au concepteur, de même que la transposition des situations de référence. Bien que l'étude présentée ici comporte plusieurs limites, nous croyons qu'elle nous permet de poser certains jalons pour des interventions et des recherches futures.

RÉFÉRENCES

- ASME (1992), Evaluation of Visibility From Powered Industrial Trucks, B56.11.6-1992 (R2000).
- Béguin, P. Weill-Fassina (1997) La simulation en ergonomie : connaître, agir et interagir, Octares, Toulouse,
- Bellemare, M., Montreuil, S., Marier, M., Prévost, J., Allard, D. (2001) L'amélioration des situations de travail par l'ergonomie participative et la formation. *Relations Industrielles / Industrial Relations*, vol. 56, no 3 : 470-490
- Bellemare, M., Marier, M., Montreuil, S., Allard, D. et Prévost, J. (2002) La transformation des situations de travail par une approche participative en ergonomie : une recherche intervention pour la prévention des troubles musculosquelettiques. Rapport de recherche, Montréal : IRSST.
- Bellemare, M., Garrigou, A., Ledoux, E., Richard, J.G. (1995) « Les apports de l'ergonomie dans le cadre de projets industriels ou architecturaux » *Relations industrielles*, vol. 50, no 4, pp. 768-788
- Bellemare, M., Garrigou, A., Richard, J.-G., Gauthier, S. (1996) "Improving health and safety in an industrial project: tools for design participants" in Ozok, A and G. Salvendy, *Advances in Applied Ergonomics*, Proceedings of the 1st International Conference on Applied Ergonomics, (ICAE'96), Istanbul, Turkey, May 21-24, pp. 1076-1079
- Boileau, P.-E., Gratton, L., Rakheja, (1995) Principes et critères de sélection de sièges à suspension pour véhicules, Études et recherches, Fiche technique, RF-095, décembre 1995, IRSST, Montréal, 6p.
- Bongers, P.M. Boshuizen, H.C., Hulshof, C.T.J. (1992), Self-reported back pain in fork-lift truck and freight-container tractor drivers exposed to whole-body vibration, *Spine*, vol. 17, no.1, 59-61.
- Bongers, P.M. Boshuizen, H.C., Hulshof, C.T.J, Koemeester, A.P. (1988a), Back disorders in crane operators exposed to whole-body vibration, *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 60, no. 2, 129-137.
- Bongers, P.M. Boshuizen, H.C., Hulshof, C.T.J, Koemeester, A.P. (1988b), Long-term sickness absence due to back disorders in crane operators exposed to whole-body vibration, *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 60, no. 1/2, 59-64.
- Boulanger, P., Danière, P., Donati, P., Galmiche, J.P., (1992), Environnement acoustique et vibratoire aux postes de conduite des chariots élévateurs, Note documentaire, ND 1889-146-92, Cahier de notes documentaires, no 148, 3^e trimestre, 33-39.
- Boulanger, P., Donati, P., Galmiche, J.P., (1996), L'environnement vibratoire aux postes de conduite des mini-engins de chantier, Note documentaire, ND 2011-162-96, Cahier de notes documentaires, no 162, 1^{er} trimestre, 33-39.
- Bucciarelli, L.L. (1988) An ethnographic perspective on engineering design. *Design Studies* vol. 9, no 3, pp. 159-168

- Burdorf, A., Zondervan, H., (1990), An epidemiological study of low-back pain in crane operators, *Ergonomics*, vol. 33, no 8, 981-987.
- Burdorf, A., Sorock, G., 1997, Positive and negative evidence of risk factors for back disorders, *Scand. J. Work Environ, Health*, 23, 243-256.
- Burdorf, A., De Groot, H.C.W.M., Naaktgeboren, B., (1993), Occupational Risk for Low Back Pain Sedentary Workers, *Journal of Occupational Medecin*, vol. 35, no 12, decembre, 1213-1220.
- Burgess-Limerick, R (1998), Ergonomic case study : Forklifts.
http://www.uq.edu.au/~hmrburg/Case_Studies/Forklift/forklift.html
- Dalton, J., Grogan, D., Wells, R., (1992), The Health Effects of Whole Body Vibration on Overhead Crane Operators, Actes du 25^e congrès de l'Association canadienne d'ergonomie / Human Factors Association of Canada, ACE/HFAC, 277-282.
- Daniellou, F., (1987) Les modalités d'une ergonomie de conception. Introduction dans la conduite des projets industriels **Cahiers de notes documentaires** no 129, 4e trimestre 1987, pp. 517-523
- Donati, P. Saint-Eve, P., (1993), Prévention des risques dorso-lombaires liés à la conduite de chariots élévateurs, Documents pour le médecin du travail, no 54, 2^e trimestre, Institut national de recherche et de sécurité, Paris, 141-148.
- Donati, P., Patel, J.A., (1999), Subjective assessment of fork-lift truck seats under laboratory conditions, *Applied Ergonomics*, 30, 295-309.
- Eklund, J., Odenrick, P., Zettergren, S., Johansson, H., 1994, Head Posture measurements among work vehicle drivers and implication for work and workplace design, *Ergonomics*, 37 (4), 623-639
- Fernandez, J.C., 1996, Prévention des accidents causés par le recul des machines mobiles. INRS, Étude no. 2665, 34p.
- Garrigou, A., Bellemare, M., Richard, J.G. (1995) *La simulation dynamique des activités futures, une démarche et des outils en ergonomie permettant une meilleure prise en compte de la santé et de la sécurité dans les projets de conception*, IRSST, 97 pages.
- Gibson, S.A., Scott, T., (1986) Field of Vision Requirements for Train Drivers : How Computer Aided Design May Help. Proceeding of the conference on vision and vehicles, Nottingham, 9-13 september 1985, p 297-304.
- Giguère, D., Larue, C., (1992), Field of Visibility Evaluation of Industrial and Commercial Road Vehicles : An Ergonomic Review, Actes du 25^e congrès de l'Association canadienne d'ergonomie/Human Factors Association of Canada, ACE/HFAC, 7-12.
- Hanley, P, Bednall, A.W., (1995), Lift trucks : vibration and related ergonomic hazards, Specialist Inspector Reports, no 49, Health & Safety Executive, 55p.
- Hansson, J.E., 1992, Ergonomic Design of Industrial Trucks and Other Material Handling Vehicles, Practical Guidelines, NIOSH, 56p.
- Hella, F., Tisserand, M., Schouller, J.F., (1991), Analysis of eye movements in different tasks related to the use of lift trucks. *Applied Ergonomics*, vol. 22, no 2, 101-110.

- Hella, F.,(1993), Visibilité au poste de conduite et sécurité du déplacement des engins industriels et de chantier, no 63, mars-avril, Performances Humaines & Techniques, 38-44.
- Hella, F., Schouller, J.F., Tisserand, M., (1991), Study of the visual exigencies in several driving situations using a fork-lift truck, Vision in vehicles, vol. III, sous la direction de A.G. Gale et al., Editeur North-Holland, New-York, 409-414.
- Jeffroy, F. (1987) Maîtrise de l'exploitation d'un système microinformatique par les utilisateurs non-informaticiens. Analyse ergonomique et processus cognitifs. Thèse de doctorat d'ergonomie, Université Paris XIII, 286p.
- Kuorinka, I., Forcier, L. (scientific editors) (1995), Work Related Musculoskeletal Disorders (WMSDs), A Reference Book for Prevention, Taylor & Francis, 421p.
- Laroche, C., Denis, S., (2000). Bilan des connaissances sur la signalisation acoustique et les chariots élévateurs, IRSST, GAUM, 64p.
- Maline, J. (1994) Simuler le travail, une aide à la conduite de projet. Éditions ANACT, Montrouge.
- Richard, J.-G., Bellemare, M. (1995) *Intégration de l'ergonomie au processus de conception d'une usine d'abattage de volailles*. Études et Recherche, Rapport R-113, IRSST, Montréal
- Rötting, M., Rösler, D., Lohse, K., Göbel, M., 2000 Activity and eye movement analysis as basis of vehicle cabine design, Proceedings of the IEA 2000/HFES 2000 Congress, 3, 341-344.
- Schon, D.A. (1983) The reflexive practitioner : how professionals think in action. New-York : Basic Books, 374p.
- St-Arnaud, Y. (1995) L'interaction professionnelle : efficacité et coopération. Montréal : Les presses de l'Université de Montréal, 223 p.
- Stevenson, M.G., Coleman, N., Long, A.F., Williamson, A.M., (2000), Assessment, re-design and evaluation of changes to the driver's cab in a suburban electric train, Applied Ergonomics, 31, 499-506.
- Wade, M.G., Jones, G. 1997, the role of vision and spatial orientation in the maintenance of posture. Phys Ther., 77, 619-628.
- Wood, I.E., Fraser, N.B., Wilson, A.D., 1988, The ergonomic design of a tube train driver's cab, Contempory ergonomics. Proceedings of the Ergonomics Society's 1988 Annual Conference, Manchester, England, 11-15 april 1988, edited by E.D. Megaw, Taylor & Francis, London, p279-284.

ANNEXE A – FIGURES RELIÉES AU RAPPORT

Figure 1 – Le transporteur de creuset original



Figure 2 – Principaux liens entre les membres de l'équipe projet et les acteurs externes

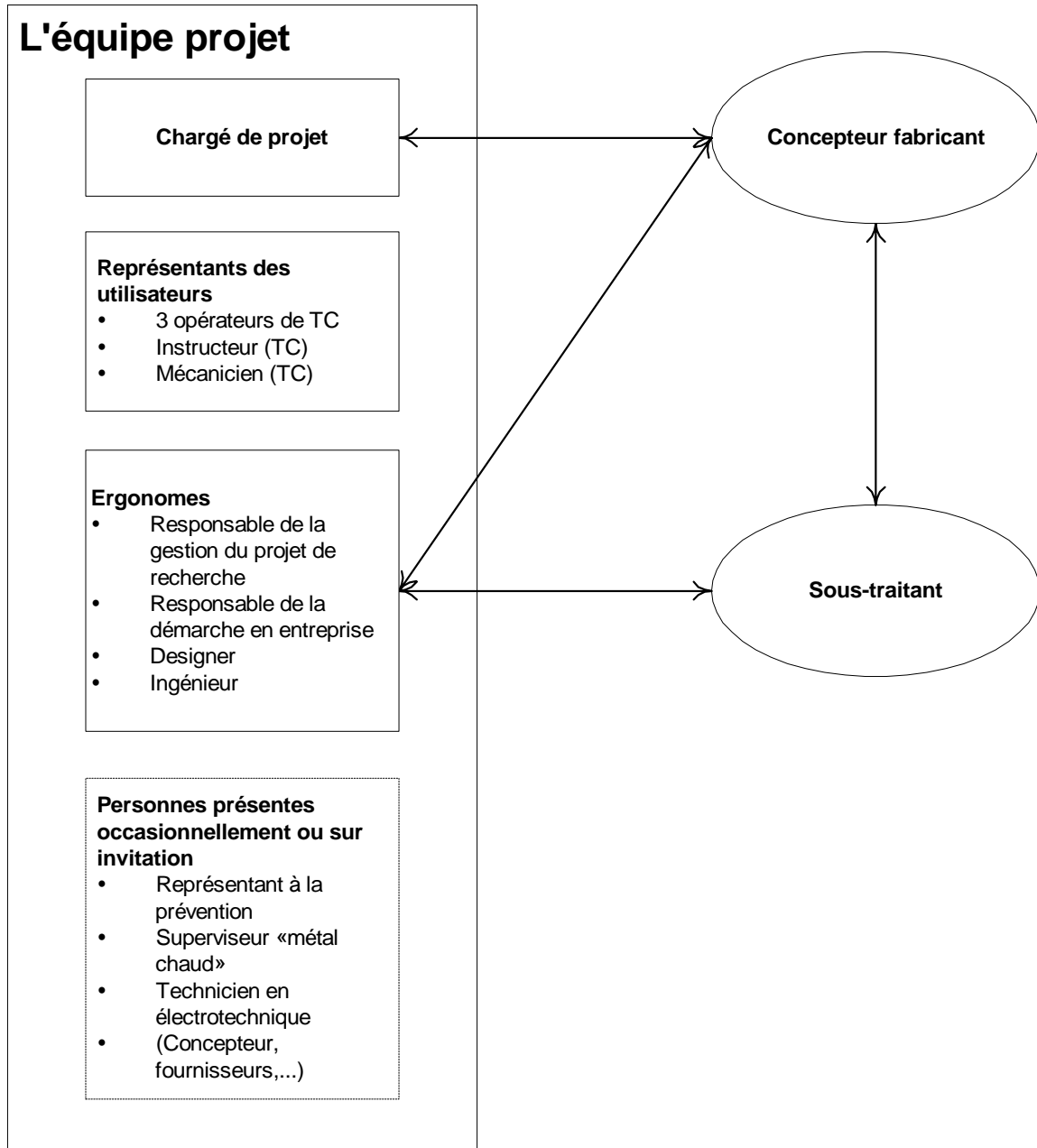


Figure 3 – Carte de visibilité de la cabine élargie. Projection au mur (homme 50 percentile)



Figure 4 – Carte de visibilité de la cabine élargie. Projection au sol sur un plan à 3' (0,9 m) du sol (homme 50 percentile)

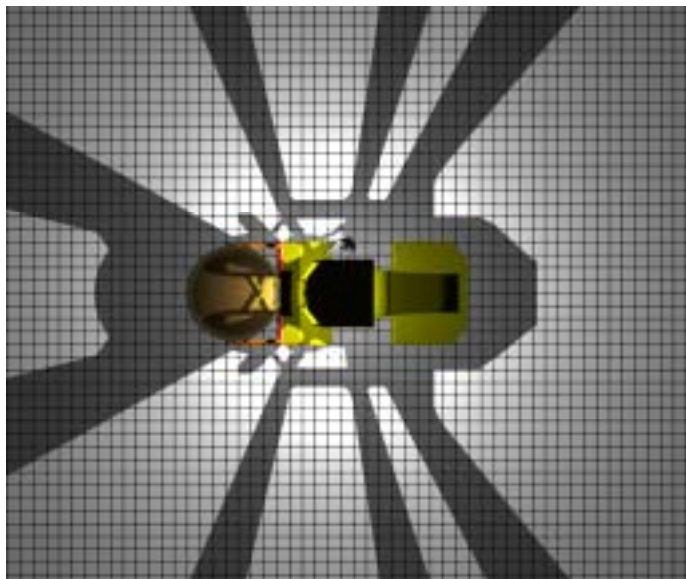


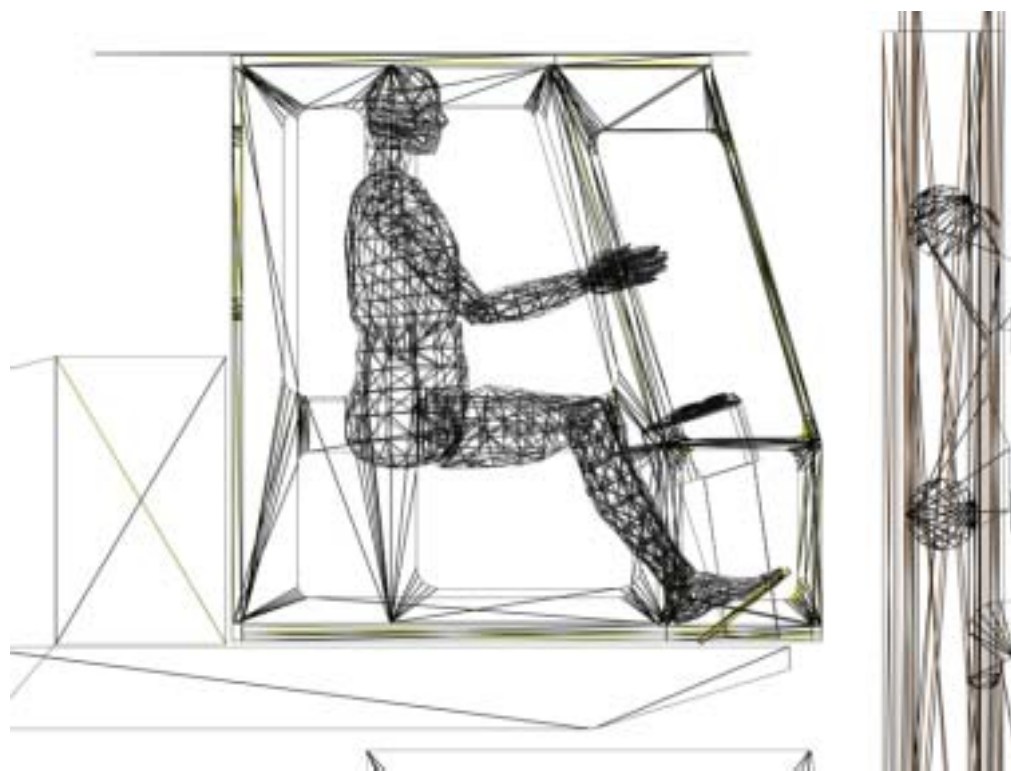
Figure 5 – Animation 3D par ordinateur. Transporteur, avec cabine élargie, reconstitué en 3D



Figure 6 – Simulation dynamique avec maquette grandeur réelle



Figure 7 – Plan et dessin en 2D. Homme de 97,5 percentile dans la cabine posée sur



suspension à coussin. Dégagement en hauteur insuffisant

Figure 8 – Simulation avec maquette grandeur nature.



Boîtier de contrôle d'ouverture des portes de garage

Figure 9 – Essai en situation de référence. Véhicule à fourches avec manettes proposées



Figure 10 – Essai en cours de fabrication. Nouveau siège, nouvelles manettes, nouveau volant



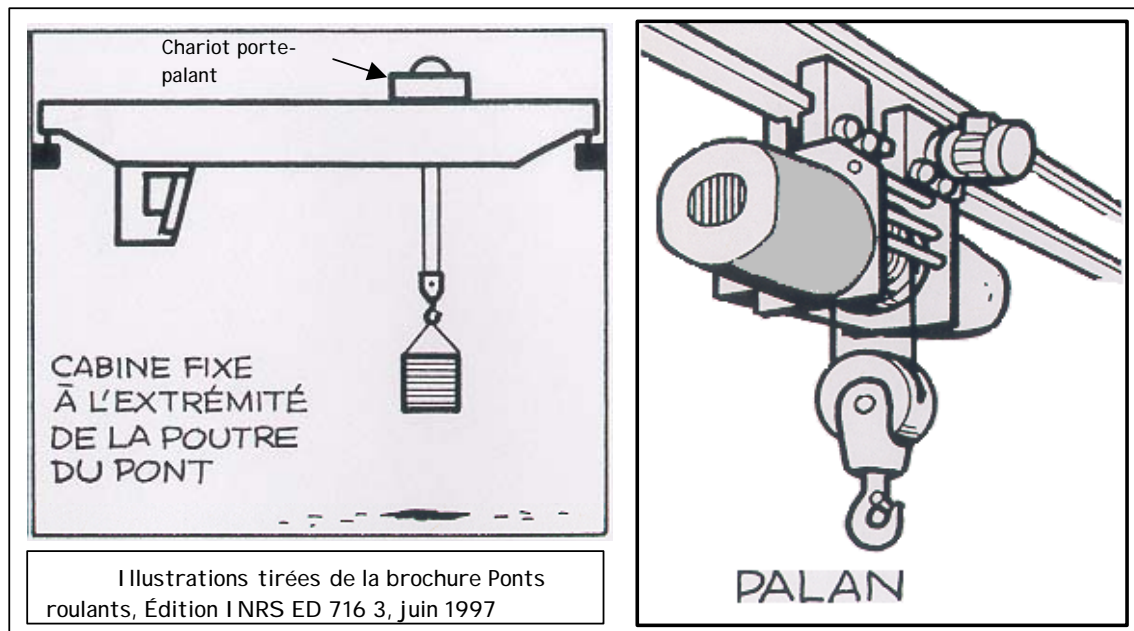


Figure 11 – Type de pont roulant utilisé au Centre de coulée

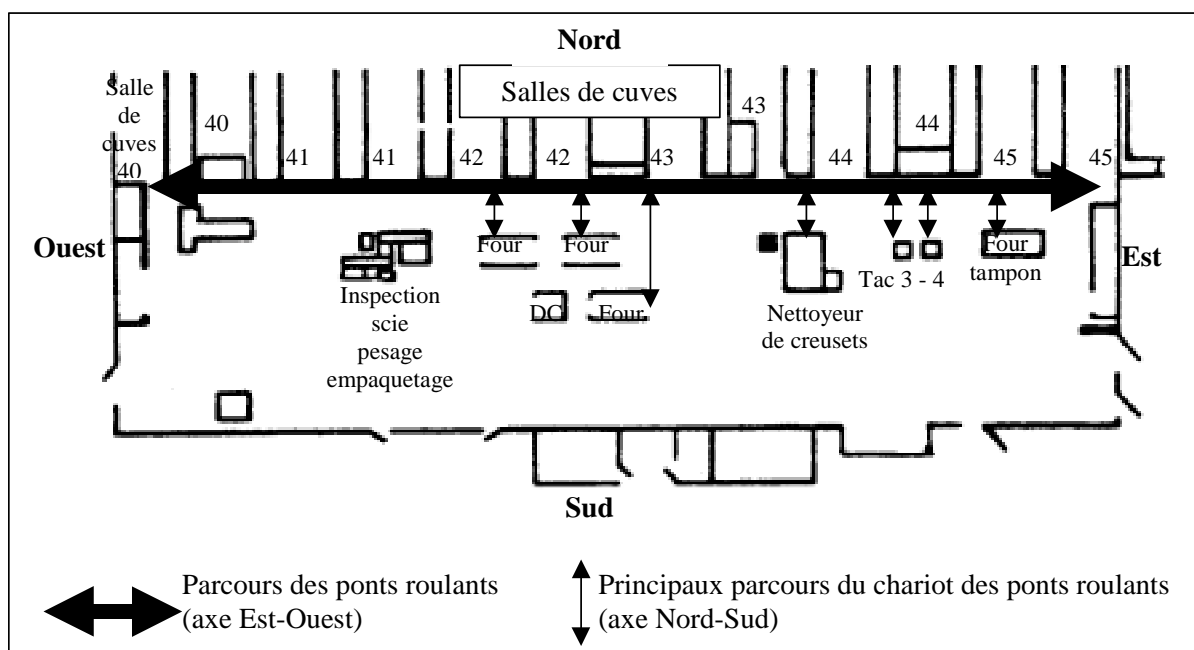
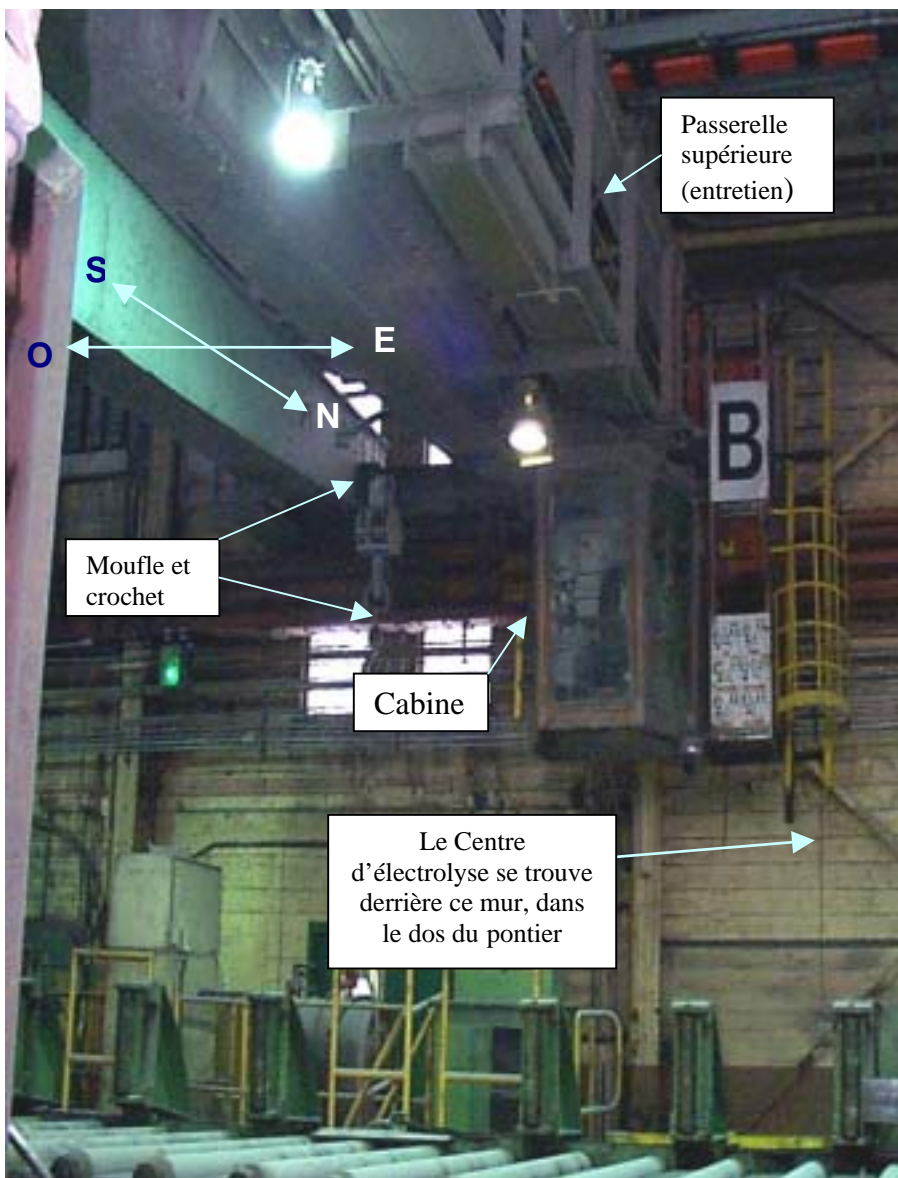


Figure 12 – Le parcours des ponts et de leur chariot

Figure 13 – L'un des deux ponts roulants du Centre de coulée



Sur l'axe nord-sud, déplacements du chariot porte-palan et de son crochet

Sur l'axe est-ouest, déplacements du pont et de sa cabine

Figure 14a – Risques de TMS, structure de la cabine et emplacement des commandes

Le châssis de la cabine des ponts roulants crée de nombreux obstacles visuels. Cela induit des facteurs de risque de TMS, telle le maintien et la fréquence de postures en torsion et en flexion du dos.

Les montants latéraux et la base de la cabine constituent un obstacle visuel dans l'accomplissement de plusieurs tâches de manutention des creusets.



Figure 14b – Commandes situées sur le côté



Certaines commandes sont situées sur le côté, parfois presque derrière le pontier, comme ici l'interrupteur des lumières des portes de salles de cuves. Cela crée d'autres torsions du dos et extensions de l'épaule.

Figure 15a – Actionnement des commandes, stéréotypes et contraintes posturales

Pour garder les ponts arrêtés, il faut, à défaut de couper la commande, maintenir enfoncée la pédale de frein. Cela crée un travail statique important de la jambe droite. L'absence d'appuie-pieds cause une autre contrainte aux deux jambes.

**Figure 15b – Trois leviers commandent les déplacements du pont, du chariot porte-palan et de la charge**

Trois leviers commandent les déplacements du pont, du chariot porte-palan et de la charge.

La main droite commande le déplacement du chariot sur un axe nord-sud.

L'actionnement des deux manettes (déplacement est-ouest du pont et haut-bas de la charge) sollicite particulièrement le membre supérieur gauche.

L'espace devant le siège laisse peu de place aux jambes.

Figure 16a – Les accès pour l'entretien du pont

L'accès aux passerelles situées au-dessus de la cabine, où se trouvent les mécanismes et composants du pont, crée un risque de chute pour les employés d'entretien.

**Figure 16b – Les zones de travail pour l'entretien sur les passerelles**

Les zones de travail pour l'entretien, sur les passerelles, sont souvent exigües et mal éclairées. Cela cause plusieurs postures contraignantes, comme celle-ci.

Figure 17 – Principaux liens entre l'équipe de recherche, les membres de l'équipe projet et les autres acteurs impliqués dans la conception

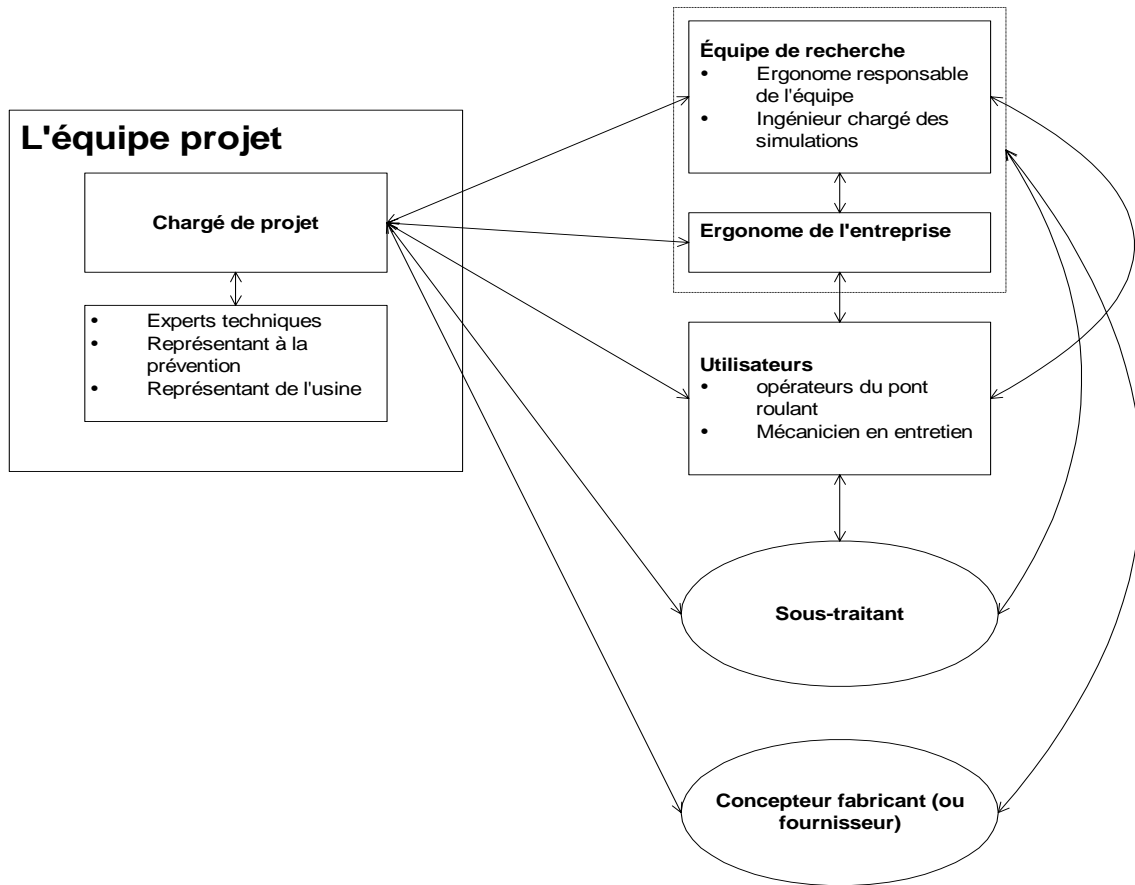


Figure 18 – Le modèle de cabine utilisé avant l’essai sur prototype, avec une petite pontière sur le modèle de siège/consoles qui sera testé

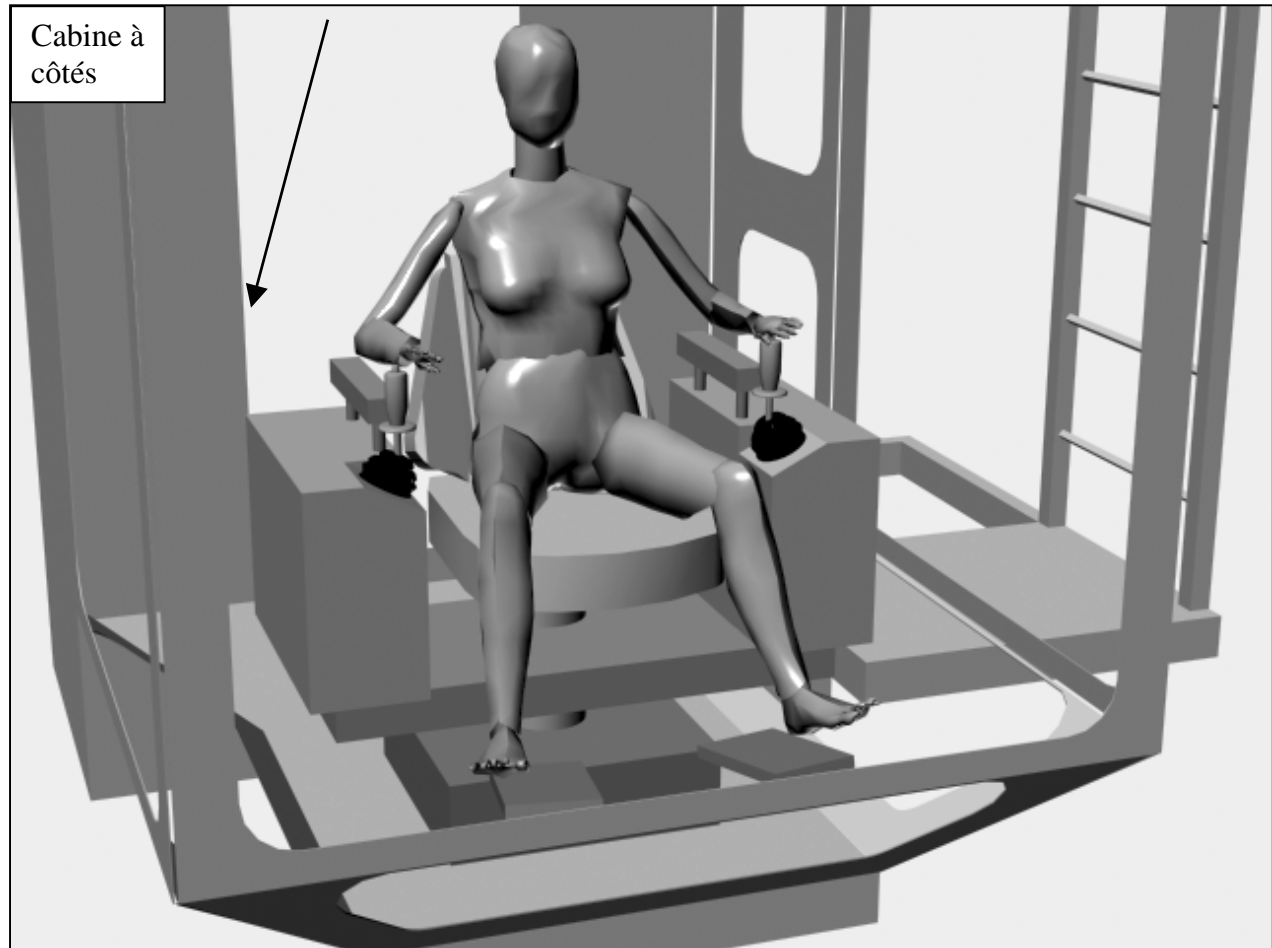
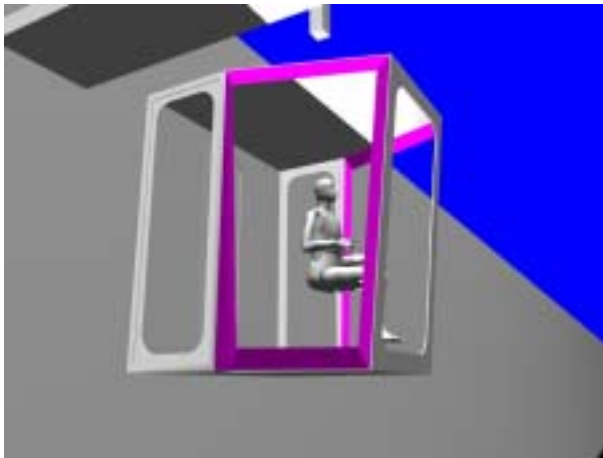
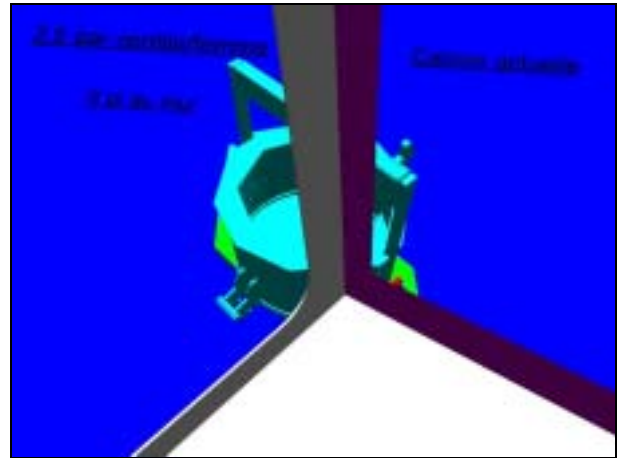


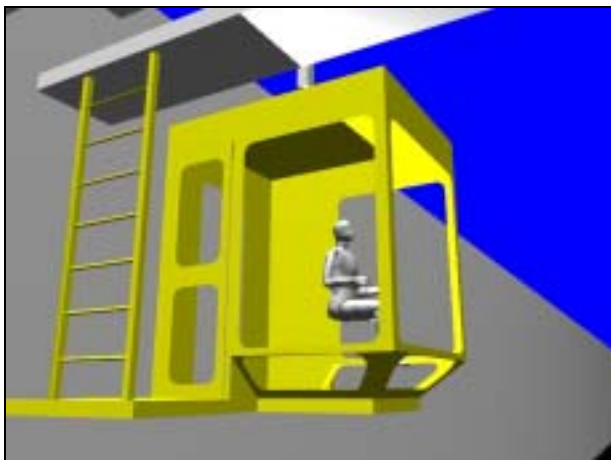
Figure 19 – Déterminer la visibilité selon la hauteur des yeux dans la cabine



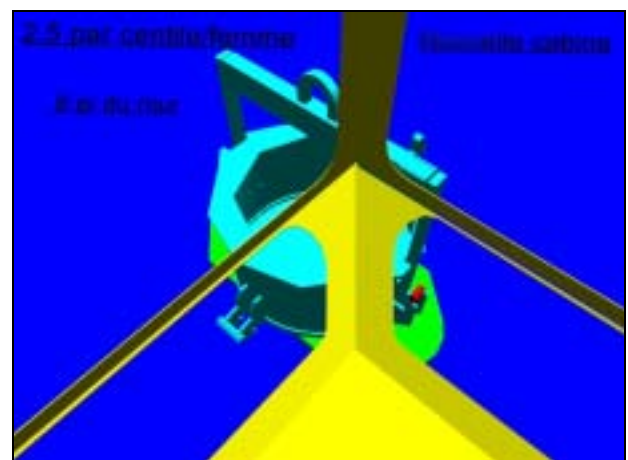
Un homme grand ou une femme petite est mis dans la cabine selon la position des pédales.



Vision simulée d'un creuset à 9' du mur, pour une petite femme, dans la cabine actuelle.



Ici, un homme grand est placé dans la cabine proposée, toujours selon les pédales.

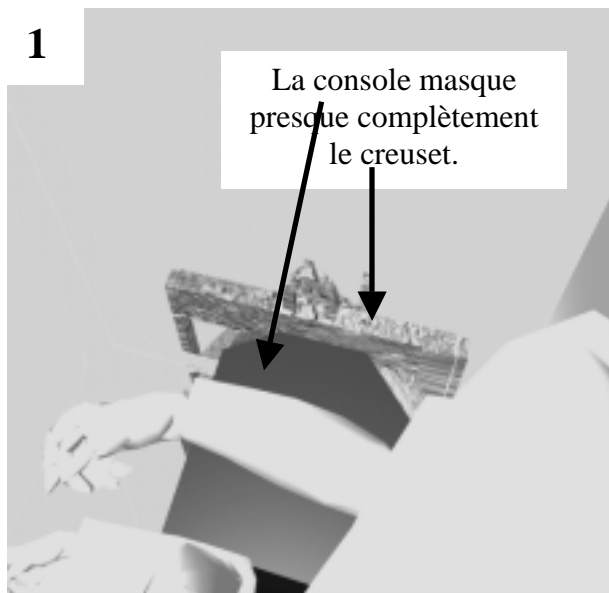


Vision simulée du creuset à 9' du mur, dans la cabine proposée, pour une petite femme.

La cabine proposée sert de modèle de base pour la conception de la future cabine. Elle est plus spacieuse et plus fine que l'ancienne. Ses côtés et l'avant sont inclinés vers le plancher et sont vitrés.

Cette première étape suggère que l'obstruction visuelle est moins importante avec la cabine proposée, mais qu'il y a toujours un masquage partiel des tâches de près. En outre, il faudra placer un faux plancher pour hausser le siège par rapport au bas de la cabine.

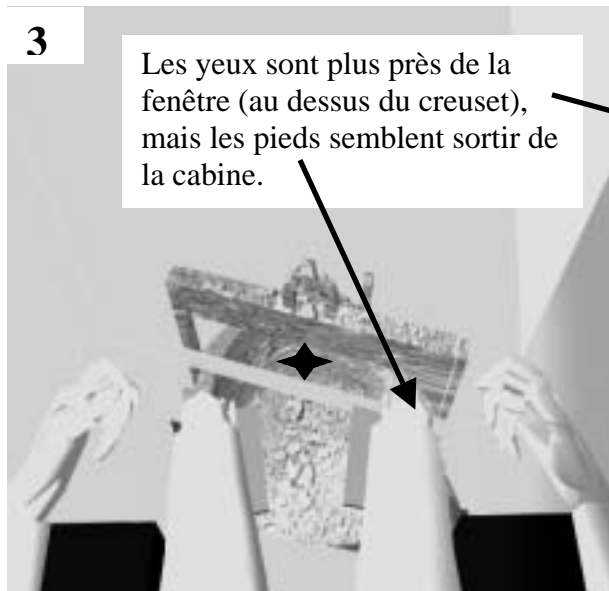
Figure 20 – La recherche progressive de compromis entre plusieurs critères



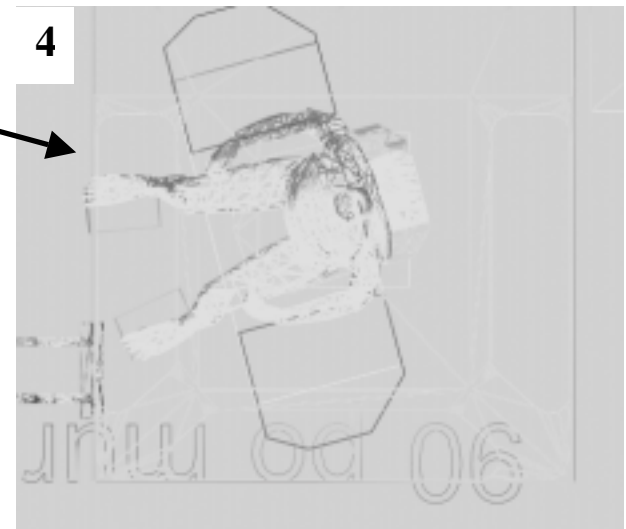
Siège reculé; tête tournée (50°) vers le creuset.



Siège reculé et tourné de 75°. Le pontier étant derrière le pivot, la rotation l'éloigne de la fenêtre.



Essai de placer le pontier sur le pivot en avançant la console autant que le siège recule.



Le plan correspondant à la simulation de gauche confirme que les pieds dépassent de la cabine et montrent que les consoles en frôlent les côtés.

Une série de simulations 3D a permis de rechercher les meilleurs compromis entre la dimension de la cabine, les ajustements de la position du siège et des consoles aux différences anthropométriques des pontiers et le critère de visibilité de l'objet manipulé.

Ici, recherche d'un compromis d'ajustement avant-arrière du siège pour un homme grand (97,5 percentile), en recherchant une visibilité optimale lors de la manipulation d'un creuset près de la cabine et une fonctionnalité de rotation du siège. La fourchette de la population de référence prise en compte a du être resserrée des hommes grands de 97,5 à 95 percentile.

Figure 21 – Représentation de la vue, depuis la cabine du pont roulant

Représentation de la vue, depuis la cabine du pont roulant, d'un creuset posé sur la balance d'un four avec un opérateur sur la plate-forme de siphonnage. Il manque le siphon, dont le plan n'a pas pu être transmis à l'ingénieur de l'IRSST, l'escalier d'accès et le crochet. Cela a fourni un support suffisant pour que le chargé de projet et l'un des pontiers présents concluent que le masquage du creuset était causé par la structure de l'escalier du poste de siphonnage à ce four.

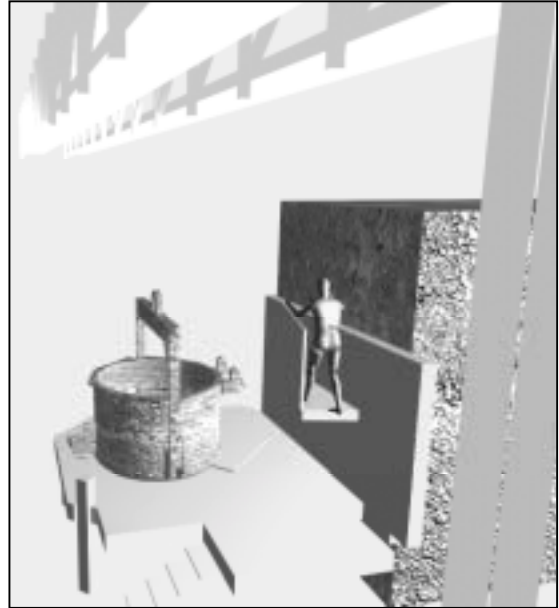
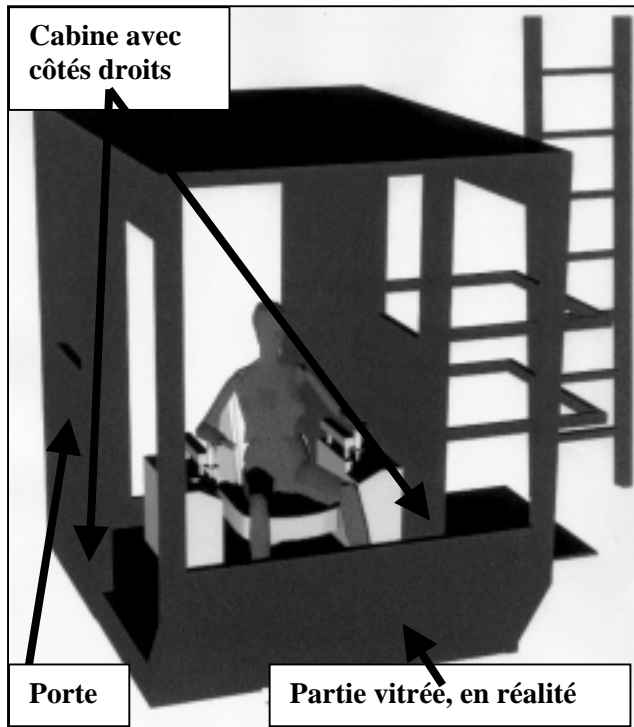


Figure 22 – Représentation 3D de la nouvelle cabine



Représentation 3D de la nouvelle cabine, faite d'après les plans fournis. Détection d'une inexactitude sur le plan concernant le vitrage.

Figure 23 – Essai de prototype par une pontière



Figure 24 – L'évolution du concept de rotation, du devis au prototype

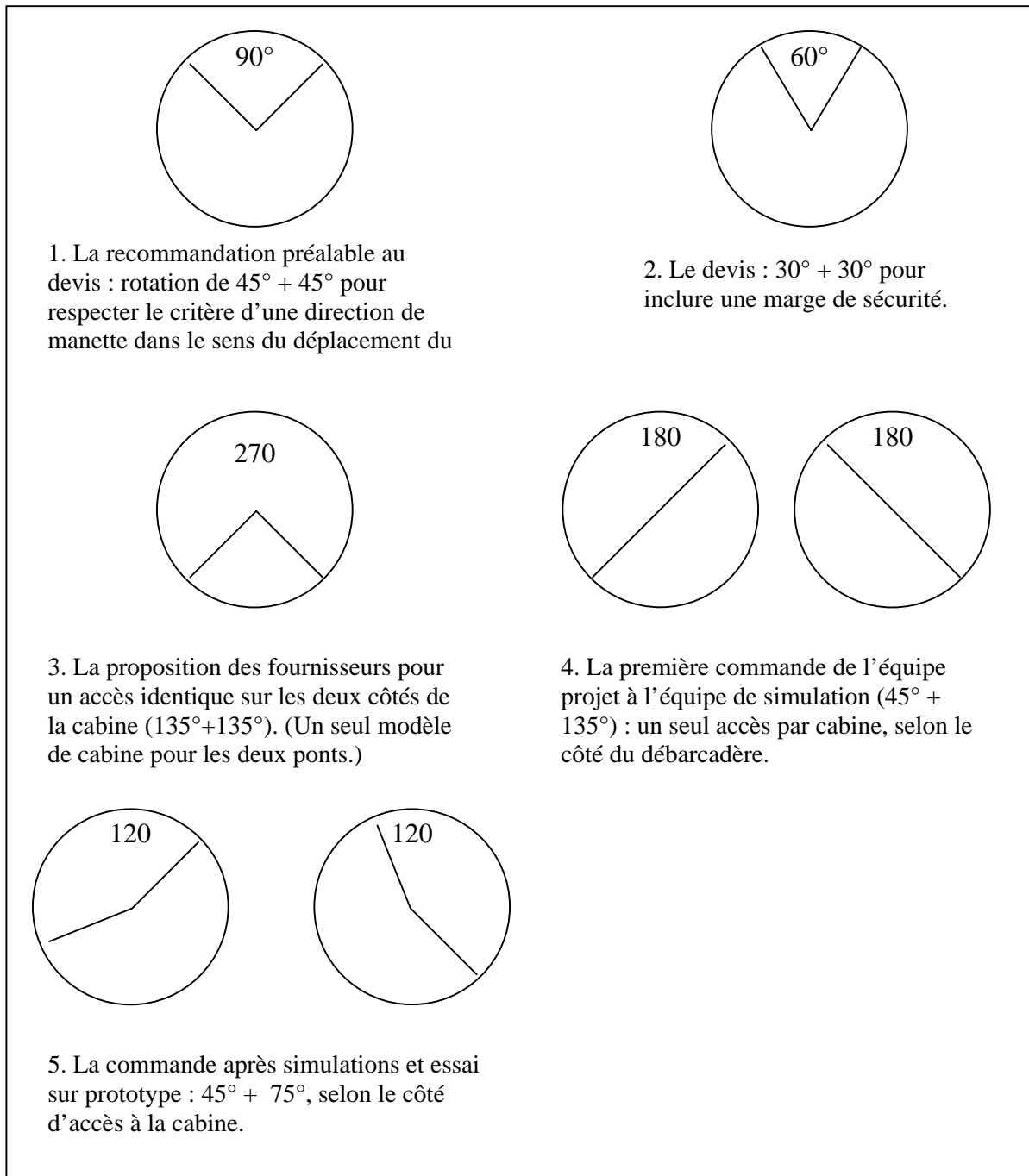
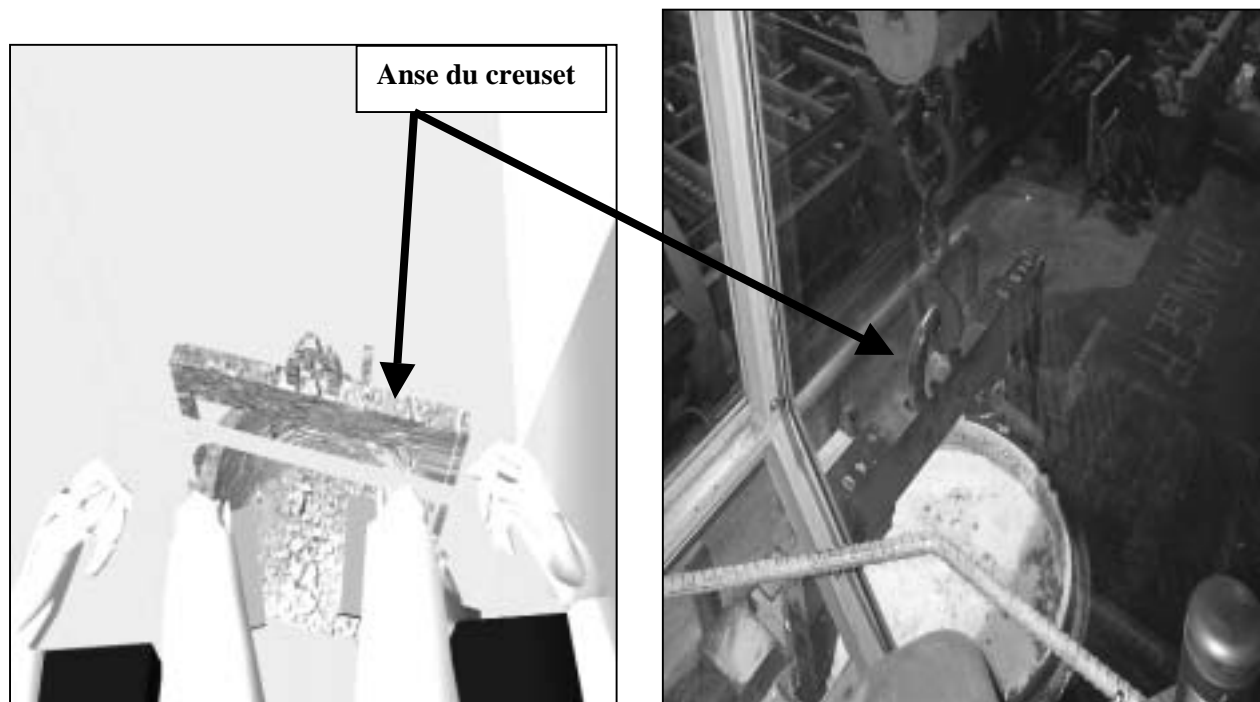


Figure 25 – Erreur dans la représentation de l'axe de l'anse du creuset qui a mobilisé l'attention des opérateurs



ANNEXE B –

EXEMPLE DE COMPTE RENDU DE RÉUNION, VERSION VALIDÉE PAR L'ÉQUIPE PROJET

Exemple d'une page du journal de bord visant à répertorier les communications entre les chercheurs, les membres de l'équipe projet et les concepteurs.

Activité transporteur de creusets, Alcan Shawinigan

Compte rendu de la réunion du 25 mars 1999 (version usine)

Étaient présents :

Gestionnaire de projet

Instructeur-opérateur (absent lors des discussions sur l'aménagement de cabine)

Opérateur-1

Opérateur-2

Opérateur-3

(Représentant à la prévention est venu faire un petit tour lors des discussions sur la cabine élargie)

Représentant du fabricant

Ingénieur IRSST

Ergonome-1 IRSST

Objectifs et déroulement de cette réunion

13h30 à 14h45 Discussions au sujet du bilan des simulations de la cabine élargie.

14h45 à 17h00 Essai du véhicule à fourches amené par le fabricant.

17h00 à 18h30 Discussion sur l'aménagement de la cabine (position des manettes, de l'appui-bras, du contrôle des portes, de la radio, type d'air climatisé,...)

Décision concernant la cabine élargie

Suite à la simulation de la cabine élargie et au bilan des points positifs et négatifs issu de cette simulation, il a été décidé de ne pas choisir la cabine élargie. Le principal point négatif étant la détérioration de la visibilité à l'avant (lorsque le véhicule n'est pas parfaitement aligné) et à l'arrière sur les ailes. Une augmentation de la surface vitrée de la cabine élargie pourrait probablement améliorer la visibilité mais nuirait au placement des accessoires. Les efforts seront donc mis sur l'amélioration de la cabine actuelle.

Essai du véhicule à fourches et discussions sur les éléments de cabine

Orbitrol compensé 3 tours : Bien que le véhicule à fourches soit différent du transporteur et que les essais aient été faits sans charge, les changements apportés au système hydraulique semblent très positifs (diminution des efforts et du nombre de tours de volant) et laissent présager que le temps d'adaptation n'aura pas besoin d'être trop long.

Volant Eaton : Le volant s'incline peu vers l'opérateur (peut-être -30° par rapport à l'horizontal). Les opérateurs auraient préféré un volant plus vertical. Lorsque complètement relevé, le volant penche légèrement vers l'avant du véhicule (angle de $+10^\circ$ par rapport à l'horizontale?) – cette position ne sera jamais utilisée par les opérateurs. Cependant ceci présente l'avantage de bien libérer l'espace pour monter et descendre. Pour modifier l'inclinaison du volant, il faudrait

incliner davantage la colonne de direction. Ceci présente les problèmes suivants : plus cette colonne est inclinée, plus elle prend de la place dans la cabine, plus elle est dans les jambes de l'opérateur et plus l'orbitrol est incliné sous la cabine. Le fabricant ne croit pas que la colonne puisse être inclinée davantage dans le transporteur actuel.

Siège : Le transporteur sera envoyé chez le fabricant pour modification le 6 avril et devrait être livré à l'usine au plus tard le vendredi 16 avril. Comme le **siège Grammer Maximo** devrait être disponible au début d'avril, il a été décidé de le faire installer dans le transporteur modifié (plutôt que le siège ElCamino).

Le siège Grammer sera installé tel quel, c'est-à-dire que l'orientation de l'isolateur (présentement avant-arrière) ne sera pas modifiée. Le fabricant dit que l'isolateur pourra être mis latéralement ultérieurement si l'usine le désire.

Manettes : Un bloc pour 3 manettes sera installé même si présentement les besoins sont de 2 manettes (prévision de besoins futurs). Sur le véhicule à fourches, les manettes semblent trop rapprochées les unes des autres; il faudrait donc s'assurer que l'écartement soit approprié. Une proposition de solution à étudier est de laisser un emplacement libre au centre afin d'espacer les manettes (une manette, un trou, une manette).

Appui-bras et position des manettes : Les manettes sont placées sur une base fixée au plancher. Lorsque les opérateurs avancent ou reculent leur siège, les manettes ne suivent pas et leur actionnement se fait donc dans des postures contraignantes de membres supérieurs. Le fabricant propose que les manettes soient mises au bout de l'appui-bras droit et que celui-ci soit réglable selon plusieurs axes comme ce qu'a fait le sous-traitant pour le poste d'emballage des billettes. Les opérateurs au poste d'emballage semblent plus ou moins satisfaits car les systèmes de réglage se désajustent facilement même si le siège n'est pas soumis à des vibrations ou des impacts. Le fabricant demandera au sous-traitant de travailler sur un concept d'appui-bras semblable mais plus solide (ex. roues dentelées, cylindres).

Il est également question d'intégrer à l'appui-bras le boîtier de contrôle d'ouverture des portes et le bouton de la radio. Il manque plusieurs précisions concernant le boîtier de contrôle, ce qui empêche de prendre des décisions précises quant à sa localisation.

Pédales : Selon le fabricant, il est toujours possible d'abaisser les pédales sous le plancher de la cabine actuelle afin d'accommoder les opérateurs de grande taille. Cette option est à étudier : 1) impacts sur la visibilité (car abaisse la ligne de vision des opérateurs); 2) impacts sur l'entretien (l'accès sous le véhicule sera-t-il plus restreint? Y a-t-il plus de chance que les tuyaux hydrauliques frottent sur cette partie surbaissée?); 3) impacts sur la sécurité?

Air climatisé : Le fabricant mentionne qu'il existe un grand nombre de systèmes d'air climatisé et qu'il serait probablement possible de trouver quelque chose qui convienne aux besoins (grosseur, puissance). Il croit possible d'installer des diffuseurs (déflecteurs, fan et ducts). Il envisage de placer la boîte de climatisation sous le siège. Une autre possibilité à envisager est de placer la boîte à l'extérieur de la cabine (sur le côté arrière de la cabine). Il faudrait vérifier les impacts de cette solution sur la visibilité et sur l'ouverture des portes (mettre la boîte du côté

droit pour moins de gêne). Comme il y a trop de recherche à faire pour la climatisation, celle-ci ne pourra pas être modifiée pour le premier transporteur. Ce sera fait dans la deuxième vague de modifications.

Système radio : Aucun développement n'a été fait de ce côté. Le fabricant mentionne qu'un système de radio à main libre a été installé dans le pont roulant de la salle de cuves à l'usine C et que ce système semble apprécié par les opérateurs.

Boîte de contrôle d'ouverture des portes de garage : Le nouveau boîtier proposé mesure 4" x 10" et comporte 5 séries de 3 boutons (ouvrir/arrêt d'urgence/fermer ; 3 fréquences utiles et 2 au cas où). Cette boîte semble un peu grosse pour l'intégrer au système d'appui-bras. Le fabricant suggère au chargé de projet de contacter M. «X» de la compagnie «Y».

Suivi

Le fabricant dit qu'il demandera au dessinateur d'envoyer à l'IRSST le plan en 3D de l'installation des manettes.

Il est convenu que le personnel de l'usine et de l'IRSST pourra se rendre à l'usine du fabricant lors des modifications sur le transporteur afin de prendre connaissance des modifications dans l'aménagement de la cabine et d'apporter des suggestions d'améliorations s'il y a lieu.

La prochaine réunion aura lieu le jeudi 1er avril à 13h00. Durant cette réunion, il sera entre autres question de la planification des étapes à venir, de discussions sur les éléments à intégrer dans la cabine, des recherches qui doivent être faites pour certains éléments (chauffage, climatisation, radio, contrôle de l'ouverture des portes,...). Ce sera également le moment de faire le suivi de l'avancement des travaux (basé sur la liste des éléments à considérer dans la conception du transporteur).

EXEMPLE D'UNE PAGE DE JOURNAL DE BORD

| | | | | |
|------------|-----------------------|---------------------------|---|-----------------|
| 4 fév. 99 | Téléphone | Au sous-traitant | Je confirme que je serai présente à la présentation sur les sièges le 25 février prochain à 13h00. Le sous-traitant me demande si je viendrai seule. Je lui dis qu'il est possible qu'un collègue vienne et qu'il devrait y avoir des représentants de l'usine mais que ça reste à confirmer. Le sous-traitant me rappellera pour me dire où se tiendra exactement la réunion.. | Ergonome-1 |
| 5 fév. 99 | Téléphone | Du fournisseur du siège Y | Madame X me laisse un message sur ma boîte vocale. Elle n'a pas les informations concernant la fréquence de résonance des sièges Y . Elle m'invite à l'appeler si je veux d'autres informations. | Ergonome-1 |
| 8 fév. 99 | Courrier | Du sous-traitant | Dépliants sur les sièges modèles A, B et Z | Ergonome-1 |
| 8 fév. 99 | Fax | Du sous-traitant | Me confirme la présentation sur les sièges, le 25 février à 13h00 et donne les coordonnées. Précise le déroulement de la rencontre. | Ergonome-1 |
| 9 fév. 99 | Fax | Au chargé de projet | J'envoie les informations que le sous-traitant m'a communiquées au sujet de la présentation sur les sièges. | Ergonome-1 |
| 10 fév. 99 | Téléphone | Du fabricant | Dit qu'il envoie les plans de la cabine. Le détail des rails de la porte coulissante n'ont pas été dessinés. Il dit que cette porte s'ouvrira à 50%. | Ingénieur IRSST |
| 10 fév. 99 | Courrier électronique | Du fabricant | Envoi des plans 3D de la cabine élargie avec une porte coulissante | Ingénieur IRSST |
| 11 fév. 99 | Téléphone | Au sous-traitant | <p>Je veux des précisions sur les sièges modèles A et B. Les glissières pour les ajustements avant/arrière du siège sont au-dessus de la suspension et cela pour répondre à une norme américaine sur l'arrachement du siège. Les sièges modèle C de modèle américain ont été modifiés pour répondre à cette norme (glissières au-dessus plutôt qu'en dessous de la suspension comme dans le modèle européen). Le fournisseur me dit que les sièges, même s'ils sont décentrés par rapport à la suspension, ne sont pas sujets au tangage.</p> <p>L'ajustement de la hauteur des sièges modèles A et B est pneumatique et se fait à l'aide d'un seul gros bouton. La hauteur du siège est indépendante de la suspension, c'est-à-dire que le siège ne se durcit pas lorsqu'on l'ajuste plus haut. La suspension s'ajuste automatiquement au poids de l'opérateur. Il existe un mécanisme pour éviter que les opérateurs plus lourds cognent au fond de la suspension (rend la suspension plus dure?). Le modèle B vient tel quel, avec un dossier de 22,9". Le sous-traitant ne connaît pas la plage d'inclinaison de l'assise du siège (incohérence sur le dépliant : 3° à 11° avec 4 incréments de 2,5°).</p> | Ergonome-1 |

ANNEXE C –

**EXEMPLES D'OUTILS ET DE DOCUMENTS AYANT SERVI DANS
L'INTERVENTION PORTANT SUR LE TRANSPORTEUR DE CREUSET**

EXEMPLE DE REPÈRES POUR LA CONCEPTION

EXEMPLE DE TABLEAU D'AIDE À LA DÉCISION (LES SIÈGES)

**QUESTIONNAIRE AYANT SERVI POUR LES ENTRETIENS DE SUIVI APRÈS
IMPLANTATION**

EXEMPLE DE REPÈRES POUR LA CONCEPTION

Repères modifiés suite à la réunion du 15 juin 99

| | Éléments, difficultés, besoins | Repères | Remarques/ responsable | Échéancier |
|------------|--|---|---|-------------------------|
| 11 (41) | Manettes des fourches et du couvercle <i>La course est trop grande (TC1)</i> | Vérifier si les modifications apportées par le fabricant (réduction de 33 %) sont suffisantes lorsque les manettes seront livrées (Italie). | Les manettes devraient être livrées chez le fabricant le 17 juin 99 | |
| 12 (45) | Volant – système hydraulique <i>Lorsque que l'opérateur appuie sur le frein (neutre) et qu'il exerce une force sur le volant sans le faire tourner, le transporteur tourne quand même (TC1).</i> | Faire des tests et vérifier avec le fabricant ? | M. A vérifiera avec M. B chez le fabricant | |
| 13 (24) | Volant - klaxon <i>Klaxon : grosse flûte trop puissante et bouton mal positionné</i> | Installer un Klaxon 12 V sur le volant | À faire sur TC2 | Fait sur TC1 (convient) |
| 14 (25) | Levier de transmission – position <i>Dans le transporteur modifié (TC1), les grands opérateurs se cognent le genou sur le levier.</i> | Bouger le levier vers l'avant afin que les grands opérateurs ne se cognent pas le genou (TC1). | À vérifier lors des modifications sur le TC2 | Fait sur TC1 |
| 15 (20) | Cylindres de direction <i>Impacts latéraux dus à l'articulation centrale du véhicule et des corrections rapides de direction</i> | Poser une système d'amortissement sur les cylindres qui contrôlent la rotation du véhicule. (Il y aurait déjà des coussins sur les cylindres). | M. C vérifiera avec M. A | |

EXEMPLE D'UN TABLEAU D'AIDE À LA DÉCISION

Avantages et inconvénients comparatifs entre les modèles A, B, C et D

| | Avantages | Inconvénients |
|---|--|---|
| Modèles A et B | <ol style="list-style-type: none"> 1. Plage d'ajustement avant/arrière répond au besoin 2. Hauteur réglable du dossier du modèle A 3. Construit pour véhicules industriels 4. Moins dispendieux de 1 000 \$ que modèle C 5. Boutons de réglage peu nombreux 6. Possibilité de transformer l'isolateur avant/arrière en isolateur latéral | <ol style="list-style-type: none"> 1. Plage d'ajustement en hauteur : manque 1" 2. Demande d'actionner un bouton pour ajuster la suspension 3. Modèle B : Dossier trop haut? Possibilité de le modifier? 4. Fréquence de résonance non connue 5. Coussins rigides 6. Bouton de réglage mal identifiés |
| Modèle C | <ol style="list-style-type: none"> 1. Plage d'ajustement en hauteur répond au besoin 2. Système d'évacuation/admission rapide d'air pour faciliter l'accès au véhicule 3. Aucune action nécessaire pour ajuster la suspension 4. Fréquence de résonance connue et adéquate 5. Appuis latéraux au dossier 6. Semble plus confortable que le modèle A 7. Boutons de réglage assez bien identifiés | <ol style="list-style-type: none"> 1. Plage d'ajustement avant/arrière : manque 1" 2. Dossier trop haut? Possibilité de le modifier. 3. Moins robuste que les modèles A et B (conçu au départ pour véhicules routiers) 4. 1 000\$ de plus que les autres modèles 5. Boutons de réglage nombreux 6. Pas possible de transformer l'isolateur avant/arrière en isolateur latéral |
| Modèle D (selon le concepteur, le modèle D serait identique au modèle actuellement dans la cabine, à l'exception de quelques améliorations apportées au dossier) | <ol style="list-style-type: none"> 1. Fréquence de résonance connue et adéquate 2. Hauteur du dossier connue et adéquate 3. Solidité connue (par expérience avec le modèle actuel). Est-elle <i>satisfaisante???</i> 4. Modèle D neuf a été essayé par quelques opérateurs et jugé confortable 5. Prix peu élevé (moins de 1 000 \$?) 6. Manettes de réglage peu nombreuses | <ol style="list-style-type: none"> 1. Plage d'ajustement avant/arrière : manque 4" 2. Plage d'ajustement en hauteur : manque 1" 3. Ajustement de la suspension dépend de l'opérateur. 4. L'ajustement de la suspension joue sur l'angle de l'assise et sur le confort du siège 5. Modèle actuel usagé jugé inconfortable par les opérateurs 6. Manettes de réglage (hauteur et avant/arrière) difficiles à bouger (force) sur le modèle actuel usagé. <p><i>(informations incomplètes sur plusieurs caractéristiques, ex : supports lombaires, ajustement de l'angle et de la longueur de l'assise, isolateur avant/arrière).</i></p> |

QUESTIONNAIRE AYANT SERVI POUR LES ENTRETIENS APRÈS IMPLANTATION**Transporteur de creusets****Questionnaire pour les essais dynamiques**

Code d'identification de l'employé : _____ Taille : _____

Expérience de conduite *ancien* transporteur (an, mois) : _____Expérience de conduite *nouveau* transporteur (jour) : _____Date : _____ Heure de **début** de l'essai : _____Heure de **fin** l'essai : _____

1. Diriez-vous que les activités de travail que vous avez accomplies aujourd'hui avec le transporteur étaient :

- Plus difficiles que vos journées habituelles
- Moins difficiles que vos journées habituelles
- Représentative de vos journées habituelles

Commentaires : _____

Les ajustements des composantes : siège, volant, manettes

2. **Quels ajustements avez-vous faits** en début de quart ? Pendant le quart ?

| Ajustements | Au début du quart | | Pendant le quart | | Commentaires |
|----------------------------------|-------------------|-----|------------------|-----|--------------|
| | oui | non | oui | non | |
| 1. Suspension | | | | | |
| 2. Hauteur du siège | | | | | |
| 3. Distance avant/arrière | | | | | |
| 4. Inclinaison du dossier | | | | | |
| 5. Support lombaire | | | | | |
| 6. Hauteur de l'appui-bras (dr.) | | | | | |
| 7. Position des manettes | | | | | |
| 8. Inclinaison du volant | | | | | |
| 9. Autres (précisez) | | | | | |

3. Quelles **raisons** vous ont amené à modifier les ajustements du siège durant votre quart de travail (ex. : inconforts, visibilité, accès au véhicule, atteinte des pédales, ...) :

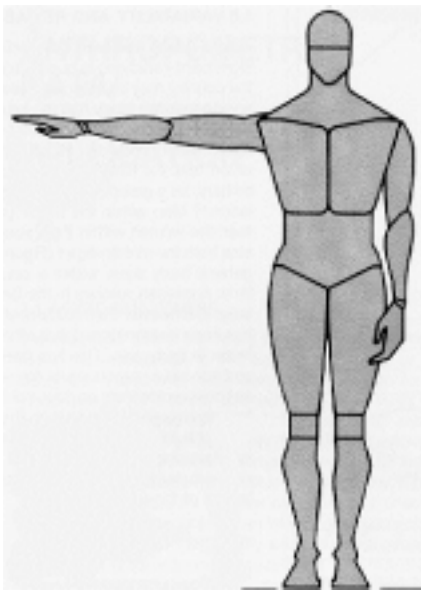
4. **Difficultés techniques** que vous avez rencontrées :

| Avez-vous éprouvé des difficultés avec : | oui | non | Si oui, précisez pourquoi. |
|--|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Les ajustements du siège (pour trouver un posture confortable) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| La position des boutons d'ajustements du siège (facilité à les rejoindre, facilité à connaître leur utilisation et à ajuster,...) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| Les ajustements du volant (pour trouver un posture confortable) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| La position du levier d'ajustements du volant (facilité à connaître son utilisation et à ajuster,...) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| Les ajustements de l' appui-bras et du porte-manettes du couvercle et des fourches (pour trouver un posture confortable) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| La position des ajustements de l' appui-bras et du porte-manettes du couvercle et des fourches (facilité à les rejoindre, facilité à connaître leur utilisation et à ajuster,...) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |

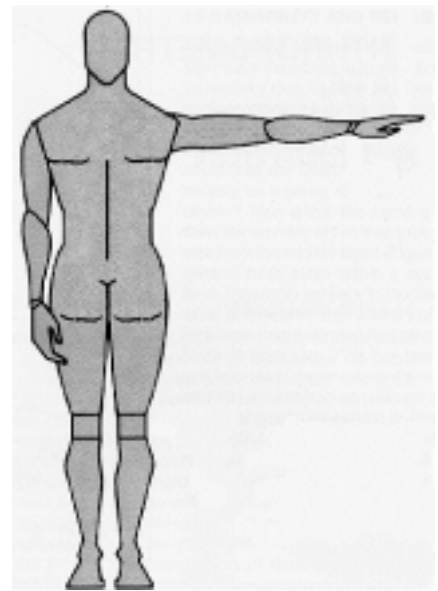
Les inconforts ou douleurs ressentis

5. Après ou durant la conduite du véhicule, avez-vous ressenti de l'inconfort ou de la douleur ?
- Inconfort Douleur Ni inconfort
Ni douleur

6. Sur les schémas suivants, encerclez les parties du corps pour lesquelles vous ressentez de l'inconfort ou de la douleur.



Vue de face

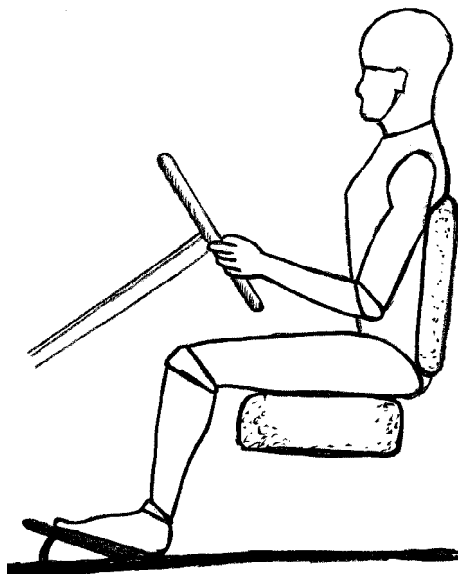


Vue de dos

7. Pour chaque partie du corps que vous avez encadrée, précisez sur le schéma le **niveau d'inconfort ou de douleur** :
- s'il s'agit d'une douleur (ou inconfort) faible (1), moyenne (2), forte (3) ou intolérable (4) et
 - si cette douleur (ou inconfort) est plus intense (+), moins intense (-) ou égale (=) à celle ressentie avec les anciens équipements (siège et volant).

8. Les causes probables de ces inconforts ou douleurs ?

Schéma du siège + volant + pédales + manettes :



Le siège :

Si ces douleurs (ou inconforts) sont liées au siège (l'assise et le dossier), indiquez sur le schéma ci-dessus la ou les partie (s) du siège qui est (sont) à l'origine de la douleur (ou de l'inconfort). Puis, précisez quelles caractéristiques du siège sont en cause (cochez les cases qui s'appliquent) :

- rembourrage : Précisez : _____
(Ex. : fermeté, transpiration, ...)
- ajustements : Précisez : _____
- tissus : Précisez : _____
(Ex. : trop glissant, accrochant, ...)
- coutures saillantes : Précisez : _____
- suspension : Précisez : _____
(Ex. : trop molle, elle cogne, ...)
- autres : Précisez : _____
- Je ne sais pas :

Le volant :

Si ces douleurs (ou inconforts) sont liées au volant, précisez quelles caractéristiques du volant sont en cause (cochez les cases qui s'appliquent) :

- inclinaison : Précisez : _____
- forme : Précisez : _____
- diamètre : Précisez : _____
- efforts à déployer : Précisez : _____
- nombre de tours : Précisez : _____
- autres : Précisez : _____
- Je ne sais pas :

Les manettes

- localisation (hauteur, distance par rapport au siège, éloignement des 2 manettes) :
 Précisez : _____
- forme (grosueur, diamètre) Précisez : _____
- efforts à déployer : Précisez : _____
- course : Précisez : _____
- autres : Précisez : _____
- Je ne sais pas :

Les pédales

Si ces douleurs (ou inconforts) sont liées aux pédales, précisez quelles caractéristiques des pédales sont en cause (cochez les cases qui s'appliquent) :

- angle lorsque le pied appuie au fond : Précisez : _____
- effort à déployer : Précisez : _____
- autres : Précisez : _____
- Je ne sais pas :

Autres causes de douleurs ou inconforts :

- se retourner pour reculer : Précisez : _____
- se pencher pour voir : Précisez : _____
- Autres (précisez) : Précisez : _____

L'aménagement de la cabine et l'exécution du travail

9. Accès au véhicule (monter et descendre) : Facile? Difficile?

- Devez-vous bouger le volant?
- Devez-vous bouger le siège?
- L'accès bloqué à droite vous gêne-t-il?
- Facilité/difficulté pour ouvrir/fermer les portes (effort, type de mécanisme)?

10. Facilité d'exécution du travail et sécurité

- Le nouveau volant (orbitrol), le nouveau circuit hydraulique (volant/manettes) posent-ils des problèmes de vitesse/précision dans la conduite et l'accomplissement du travail?
- La conduite de ce transporteur cause-t-elle du stress ou des problèmes pour rencontrer la production?
- Pensez-vous que ce véhicule est plus/moins sécuritaire pour vous et pour les autres que l'ancien transporteur (renversement de métal, coup brusques,...)?
- Incidents?

11. Autres aspects

- Aménagement général de la cabine
- Visibilité
- Insonorisation
- Climatisation/chauffage/ventilation (qualité de l'air)
- Éclairage intérieur/éblouissement (ex. gyrophares)

Comparaison des deux transporteurs

| 12. En comparaison à l'ancien transporteur constatez-vous des améliorations avec : | Pire qu'avant | pas de différence | légère amélioration | nette amélioration |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Siège | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Volant | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Manettes des fourches et du couvercle | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Accès au véhicules | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Visibilité | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Facilité d'exécution du travail | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Autres commentaires?

Merci d'avoir répondu à ce questionnaire.

Les résultats des essais vous seront bientôt communiqués.

ANNEXE D –

**EXEMPLE D'OUTILS ET DE DOCUMENTS AYANT SERVI DANS L'INTERVENTION
PORTANT SUR LE PONT ROULANT – EXEMPLE DE QUESTIONNAIRE UTILISÉ
LORS DU SUIVI POST-IMPLANTATION**

Évaluation du pont roulant

Date :

Ergonome :

Pontier :

Taille :

**Expérience comme pontier :
du nouveau pont :**

Déroulement proposé :

- 1- Consignes au pontier, présentation de la nouvelle cabine (par lui)
- 2- Observations du travail Types de run : Charger les fours (10, 13, 14, 15) : approvisionner, dumper
 - Manutentionner au nettoyeur creuset
 - Remplacer siphons (début de quart)
 - Transporter et remplacer tables coulées (quotidien)
 - Transférer chariot transfert
 - Autres
- 3- Entretien avec le pontier (Six tableaux)

Consigne préalable au pontier :

Nous indiquer quelle tâche il va faire, à quel four ou endroit, ces remarques en cours de travail

| Temps | Tâche et lieu | Action Freiner stationner, repartir Lumière transfert, Tac Monter, descendre charge Déplacer chariot N-S Déplacer pont E-O | Observations Postures, incidents | Verbalisations Efforts, postures, vibrations, air froid Changement dans conduite (vision, atteinte...) |
|--------------|----------------------|---|--|---|
| | | | | |

1 - Action : freiner, stationner et repartir

| Actions et contextes | Cible TMS, facteurs de risque et déterminants | | Modifications des repères et pratiques des opérateurs |
|--|--|---|---|
| | Avant | Après | |
| En général | Travail statique jambe gauche Douleurs : genoux – jambe droits | | |
| Freinage du pont (dépl. EO) : utilisation pédale vs renverse - sur courte distance (puissance) - quand frein usé (puissance) - à endroit précis (précision) - retard production (rythme) - dans zone à énergie 0 (risque de heurt personnes) - avec creuset plein | <u>Posture</u> : - genou & cheville droits : flexion - extension - pied : tout le pied? <u>Effort</u> : - genou & cheville droits : effort dynamique continu | <u>Posture</u> : <u>Effort</u> : | Utilisation renverse vs pédale? Sentir le freinage Avoir le swing Précision /vitesse |
| Stationnement du pont : maintien du frein (pédale) | <u>Posture et pression mécanique</u> : - appui genou droit sous levier <u>Effort</u> : - effort statique de moitié par rapport au freinage | <u>Posture</u> : <u>Effort</u> : | Utilisation du frein de stationnement? |
| Redémarrage du pont : désengager frein avec pied droit | <u>Posture</u> : <u>Effort</u> | <u>Posture</u> : <u>Effort</u> : | |

Modifications techniques réalisées : appui-pieds pleine largeur pour les deux pieds
frein électrique à pédale solidaire du pivot du siège + dispositif par renverse
frein électrique de stationnement supplémentaire
distance pédale – siège ajustable avant-arrière et en hauteur
optimisation de l’angle et de la force du frein
faisceau TAC remplacé par système à ondes

Catégories d’exigences de l’activité : voir, entendre, communiquer, sentir, accéder, temporalité

2 - Action : Déclencher la lumière des transferts et le TAC

| Action et contexte | Cible TMS, facteurs de risque et déterminants | | Modifications des repères et pratiques des opérateurs |
|--|---|--|---|
| | Avant | Après | |
| En général : commande sur la gauche | <u>Douleurs?</u> <u>Postures :</u> - bras tendu à l'horizontale - épaule en extension - dos et cou en torsion <u>Effort :</u> - statique? | <u>Douleurs :</u> <u>Postures :</u> <u>Efforts :</u> | |
| Lorsque retard dans la sortie des creusets (fréquence plus élevée) | | | |

Modifications techniques réalisées : commande près des appui-bras

Catégories d'exigences de l'activité : voir, entendre, communiquer, sentir, accéder, temporalité

3 - Action : Monter et descendre la charge

| Action et contexte | Cible TMS, facteurs de risque et déterminants | | Modifications des repères et pratiques des opérateurs |
|---|---|---|--|
| | Avant | Après | |
| En général | <u>Douleurs</u> dos, cou. poignet? <u>Posture</u> : - poignet gauche dévié descente - épaule sollicitée (bras en angle) - cou et dos en torsion flexion <u>Effort</u> : - épaule : statique | <u>Douleurs</u> dos, cou. poignet? <u>Posture</u> : <u>Effort</u> : | Utilisation de la rotation du siège? Communication avec le sol? Maintien des stéréotypes acquis? Utilisation des réglages du système siège-console? |
| Prise ou dépôt creuset - au transfert - aux fours - au TAC | | | Angle mort en bas : voir anse <u>et</u> base creuset? |
| Dumper creuset | | | |
| Changer siphons | | | |

Modifications techniques réalisées : commande joystick dans prolongement appui-bras (à gauche avec déplacement EO?)
vitrage augmenté, mais barre transversale et hauteur console
rotation siège et ajustement avant-arrière
 position cabine plus près du mur au nord

Catégories d'exigences de l'activité : voir, entendre, communiquer, sentir, accéder, temporalité

4 - Action : Déplacer le chariot nord-sud

| Action et contexte | Cible TMS, facteurs de risque et déterminants | | Modifications des repères et pratiques des opérateurs |
|---|--|---|--|
| | Avant | Après | |
| En général commande à droite | <u>Douleurs</u> : ? <u>Postures</u> : - épaule droite : flexion extension - cou, dos : torsion <u>Efforts</u> - pousser commande - maintien statique épaule si pas utilisation appui-bras, ni ajustement siège | Douleurs <u>Postures</u> : <u>Efforts</u> : | Maintien stéréotypes acquis? Utilisation réglages du système siège-console? |
| Creuset plein, vide - au TAC - aux fours - au nettoyeur? | | | Angles morts? |
| Retard production | | | Temporalité? |

Modifications techniques réalisées : diminution de la vitesse du palan?
 commande joystick dans prolongement appui-bras (à droite?)
 vitrage augmenté, mais barre transversale et hauteur console
 rotation siège et ajustement avant-arrière
 position cabine plus près du mur au nord

Catégories d'exigences de l'activité : voir, entendre, communiquer, sentir, accéder, temporalité

5 - Action : Déplacer le pont Est - Ouest

| Action et contexte | Cible TMS, facteurs de risque et déterminants | | Modifications des repères et pratiques des opérateurs |
|---------------------------------|--|---|--|
| | Avant | Après | |
| En général commande à gauche | <p><u>Douleurs</u> :</p> <p><u>Postures</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - épaule gauche : flex – ext - bras gauche tendu <p><u>Efforts</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - pression sur frein, à l’arrêt - maintien statique épaule gauche | <p><u>Douleurs</u> :</p> <p><u>Postures</u> :</p> <p><u>Efforts</u> :</p> | <p>Utilisation rotation siège?</p> <p>Maintien stéréotypes acquis?</p> <p>Utilisation des réglages du système siège-console?</p> |
| Creusets plein ou vide | | | Vision chemin métal chaud |
| Retard production | | | Temporalité |
| Zone à énergie 0 | | | Vision des personnes ? (chemin, sommet fours, etc.) |

Modifications techniques réalisées : Klaxon
 diminution de la vitesse du pont?
 Commande joystick dans prolongement appui-bras (à gauche?)
vitrage augmenté, mais barre transversale et hauteur console
rotation siège et ajustement avant-arrière
 position cabine plus près du mur au nord

Catégories d’exigences de l’activité : voir, entendre, communiquer, sentir, accéder, temporalité

Confort général

| Dispositif | Confort & utilisation | Impact sur travail | Commentaires |
|---|----------------------------------|---------------------------|---------------------|
| Vitrage et position cabine | | | |
| Réglages du siège - dossier - appuis-bras - distance dos - siège - distance siège - pédales - appui lombaire et latéraux | | | |
| Commandes - distance entre manettes - joystick - stéréotypes (normes et acquis) | | | |
| Dimensions cabine - deux personnes - accès et rotation siège | | | |
| Environnement - air climatisé (position) - filtration - bruit - couleurs /éclairage /reflets | | | |
| Klaxon sur manette | | | |
| Micro sur tige | | | |