

**La sécurité dans l'utilisation
des tracteurs agricoles
au Québec : principaux
risques et tendances
actuelles dans la conception**

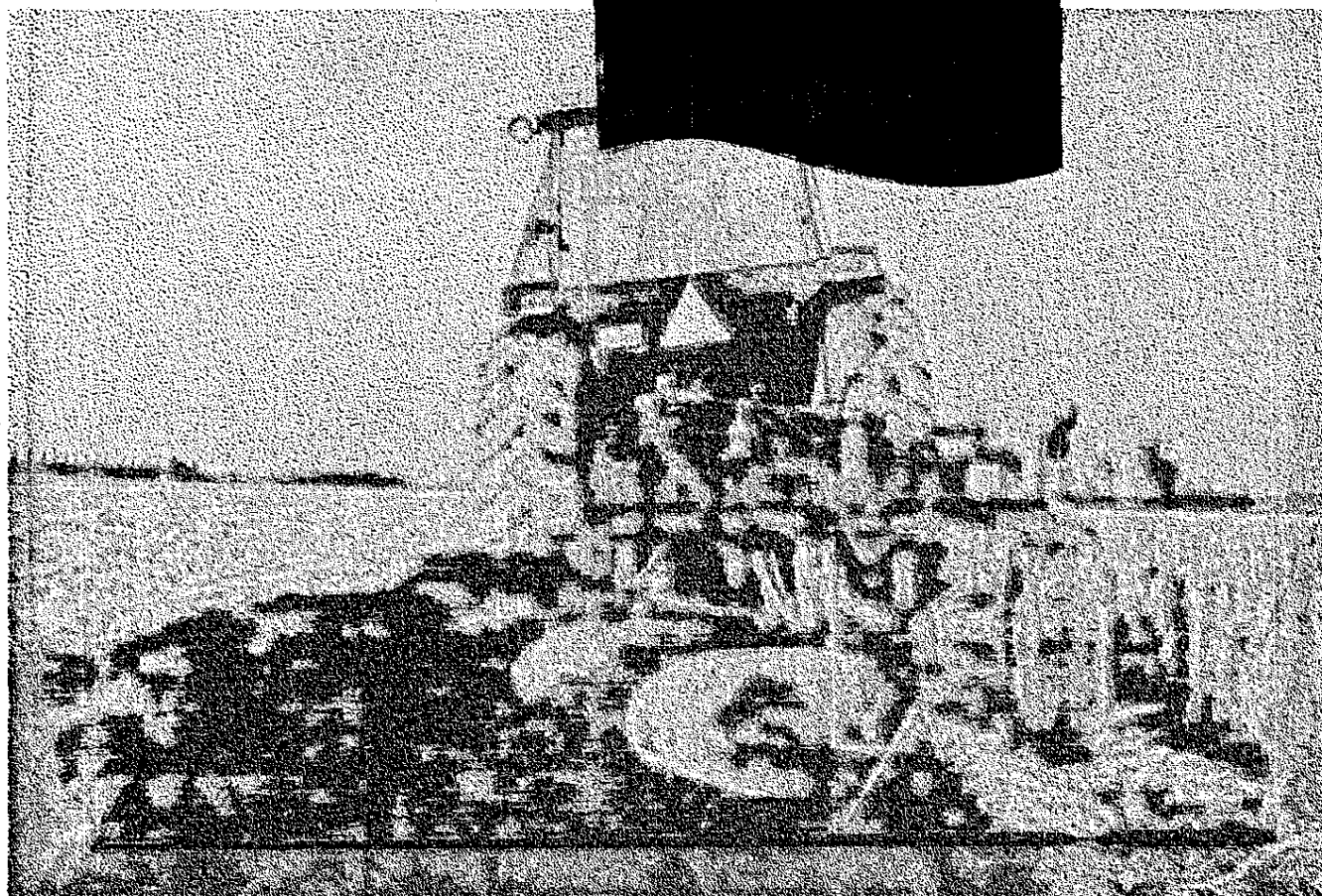
**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

François Charron
François Gauthier

Février 1998

R-180

RAPPORT



IRSST
Institut de recherche
en santé et en sécurité
du travail du Québec

La recherche, pour mieux comprendre

L'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST) est un organisme de recherche scientifique voué à l'identification et à l'élimination à la source des dangers professionnels, et à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes. Financé par la CSST, l'Institut réalise et finance, par subvention ou contrats, des recherches qui visent à réduire les coûts humains et financiers occasionnés par les accidents de travail et les maladies professionnelles.

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

Les résultats des travaux de l'Institut sont présentés dans une série de publications, disponibles sur demande à la Direction des communications.

Il est possible de se procurer le catalogue des publications de l'Institut et de s'abonner à *Prévention au travail* en écrivant à l'adresse au bas de cette page.

ATTENTION

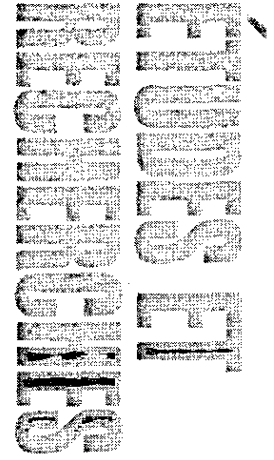
Cette version numérique vous est offerte à titre d'information seulement. Bien que tout ait été mis en œuvre pour préserver la qualité des documents lors du transfert numérique, il se peut que certains caractères aient été omis, altérés ou effacés. Les données contenues dans les tableaux et graphiques doivent être vérifiées à l'aide de la version papier avant utilisation.

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec

IRSST - Direction des communications
505, boul. de Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1 551
Télécopieur: (514) 288-7636
Site internet : www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche en santé
et en sécurité du travail du Québec,

**La sécurité dans l'utilisation
des tracteurs agricoles
au Québec : principaux
risques et tendances
actuelles dans la conception**

François Charron et François Gauthier
Université de Sherbrooke



RAPPORT

TABLES DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	3
2. RAPPEL DES OBJECTIFS DE CETTE ÉTUDE.....	5
3. MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE DE CETTE ÉTUDE.....	7
4. ÉTUDE ÉVALUATIVE PRÉLIMINAIRE.....	9
4.1 Visites sur le terrain	9
4.2 Analyse de la littérature et de la documentation	10
4.3 Analyse des tendances actuelles dans la conception des tracteurs agricoles	11
4.3.1 Poste de conduite	12
4.3.2 Contrôle et instrumentation.....	13
4.3.3 Conduite et transmission.....	14
4.4 Analyse préliminaire des besoins et des attentes des utilisateurs	15
4.5 Analyse des principaux risques d'utilisation des tracteurs agricoles.....	16
4.6 Analyse des principales technologies et solutions pour la maîtrise des risques	18
4.6.1 Renversement latéral et cabrage	18
4.6.2 Visibilité.....	20
4.6.3 Attelage trois points et système hydraulique	20
4.6.4 Barre de traction.....	20
4.6.5 Prise de force.....	21
5. ÉVALUATION SYSTÉMATIQUE DES BESOINS ET DES ATTENTES	23
5.1 Analyse fonctionnelle	23
5.1.1 Décomposition fonctionnelle du tracteur.....	23
5.1.2 Identification des systèmes importants du point de vue de la SST.....	25
5.1.3 Recherche des interacteurs des systèmes choisis	26
5.1.4 Recherche et ordonnancement des fonctions	26
6. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	29
7. RÉFÉRENCES	33
ANNEXE 1 RÉSULTATS DE L'ANALYSE DES RISQUES	
ANNEXE 2 MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE DE L'ANALYSE FONCTIONNELLE	
ANNEXE 3 DÉFINITION DES INTERACTEURS DES SYSTÈMES CHOISIS	
ANNEXE 4 ARBRES FONCTIONNELS DES SYSTÈMES CHOISIS	

SOMMAIRE

Le secteur de l'agriculture au Québec est un des moins performants en matière de santé et de sécurité au travail et le tracteur agricole est à la source d'un grand nombre d'accidents, souvent mortels. Ce projet de recherche visait principalement à établir une base de connaissances permettant d'élaborer des recommandations afin d'établir adéquatement les priorités de recherche en ce qui concerne le tracteur agricole.

Ce projet de recherche comportait cinq grands blocs d'activités : une étude évaluative préliminaire, une enquête téléphonique, une série d'entrevues personnelles et d'observations sur le terrain, le relevé des fabricants et des fournisseurs de tracteurs agricoles et enfin, les activités nécessaires à l'évaluation systématique des besoins et des attentes en groupes de travail, dont une analyse fonctionnelle des systèmes à risques du tracteur agricole.

Ce rapport présente les principaux résultats obtenus lors des activités auxquelles participait le GRIS, soit l'étude évaluative préliminaire et l'analyse fonctionnelle.

1. INTRODUCTION

Le secteur de l'agriculture au Québec est un des moins performants en matière de santé et de sécurité au travail [IRSSST, 1994]. Dans ce secteur particulier, le tracteur agricole est à la source d'un grand nombre d'accidents, souvent mortels. Parmi les accidents graves les plus fréquents, on retrouve le renversement du tracteur (latéral ou cabrage vers l'arrière), un accident qui est à la fois lié à la conception même de l'équipement et aux conditions d'utilisation. La prise de force est également à l'origine de blessures graves infligées aux opérateurs et aux personnes travaillant à proximité. Dans ce cas, les vêtements sont entraînés par les mécanismes en mouvement qui ne sont pas protégés ou qui sont protégés par des protecteurs inefficaces. Des blessures généralement moins graves mais beaucoup plus fréquentes sont infligées aux opérateurs lors de la montée et de la descente du poste de conduite des tracteurs agricoles. La mauvaise conception de l'accès à ces équipements semble être la source principale de ces accidents. Des problèmes reliés aux mauvaises postures et aux vibrations sont également recensés dans la littérature.

Ce projet de recherche visait à mieux connaître le tracteur agricole et son utilisation dans le contexte québécois, afin d'identifier les stratégies susceptibles d'améliorer la sécurité et les conditions de travail avec cet équipement. Ce rapport présente les résultats obtenus dans le cadre des activités pilotées par le Groupe de recherche en ingénierie simultanée de l'Université de Sherbrooke (GRIS).

2. RAPPEL DES OBJECTIFS DE CETTE ÉTUDE

Cette étude visait principalement à établir une base de connaissances permettant d'élaborer des recommandations concernant les tracteurs agricoles. Ces recommandations devaient nous permettre d'établir adéquatement les priorités en ce qui concerne les besoins de recherche dans le contexte particulier du secteur agricole au Québec. Les objectifs spécifiques suivants ont donc été poursuivis par le GRIS :

- Identifier les besoins fonctionnels et de sécurité des utilisateurs;
- Faire une analyse des principaux risques d'utilisation des tracteurs agricoles;
- Analyser les principales technologies et solutions pour la maîtrise des risques;
- Élaborer, à la lumière des informations recueillies, certaines recommandations sur les actions susceptibles d'améliorer la sécurité et les conditions de travail sur les tracteurs agricoles;
- Permettre de prioriser les axes de recherche et de développement pour l'amélioration à la source de la sécurité des tracteurs agricoles.

3. MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE DE CETTE ÉTUDE

Cette étude comportait cinq grands blocs d'activités. La participation du GRIS à ce projet de recherche était surtout concentrée dans trois de ces blocs d'activités.

Le premier, l'étude évaluative préliminaire, consistait à élaborer une base de connaissances à partir de visites sur le terrain et d'une revue de la documentation. Cette base de connaissances comprend, entre autres, les tendances actuelles dans la conception des tracteurs agricoles, une analyse des besoins et des attentes des utilisateurs, une analyse des principaux risques d'utilisation des tracteurs agricoles et des moyens de maîtrise de ces risques.

Le second bloc d'activités consistait en une série d'entrevues personnelles et d'observations sur le terrain. Ces rencontres visaient à favoriser une meilleure compréhension des informations obtenues précédemment, ainsi qu'à compléter ces informations au besoin.

Enfin, le troisième bloc comprenait les activités nécessaires à l'évaluation systématique des besoins et des attentes en groupes de travail formés d'utilisateurs. Parmi les activités de ce bloc, on retrouve, entre autres, une analyse fonctionnelle des systèmes à risques du tracteur agricole.

4. ÉTUDE ÉVALUATIVE PRÉLIMINAIRE

4.1 Visites sur le terrain

Dans le cadre de l'étude évaluative préliminaire, neuf visites sur le terrain ont été effectuées par les membres du groupe de recherche. Les producteurs agricoles sélectionnés pour ces visites étaient situés dans plusieurs régions de la province. Ils étaient également assez représentatifs des différents types de production agricole que l'on retrouve au Québec. Le tableau ci-dessous résume les principales caractéristiques des producteurs agricoles visités.

Visite	Région	Type de production	Nombre de tracteurs
1	Abitibi-Témiscamingue	Laitière	3
2	Côte-du-Sud	Laitière	1
3	Nicolet	Laitière	2
4	St-Jean-Valleyfield	Grandes cultures	3
5	Outaouais-Laurentides	Légumes de plein champ et serres	2
6	Beauce	Bovins de boucherie	2
7	St-Hyacinthe	Pommes	6
8	St-Jean-Valleyfield	Légumes de plein champ	plus de 10
9	Estrie	Forestière	n/d

Tableau 4.1 Principales caractéristiques des producteurs visités

Ces visites préliminaires avaient plusieurs objectifs spécifiques. Elles ont d'abord permis au groupe de recherche de se familiariser avec le milieu, de mieux connaître les habitudes de travail des utilisateurs de tracteurs agricoles et d'obtenir un aperçu des principales contraintes du métier. Ces visites ont également permis l'établissement d'une terminologie commune avec les utilisateurs de tracteurs agricoles. En effet, les termes employés par les personnes sur le terrain diffèrent souvent beaucoup de ceux que l'on retrouve dans la littérature et la connaissance du langage des utilisateurs est absolument nécessaire à la compréhension de leurs besoins. Ce dernier point, la cueillette et la compréhension des besoins, était un objectif important des visites préliminaires. Ce sujet sera vu plus en détail à la section 4.4. Ces visites nous ont également

permis d'identifier les principaux risques d'utilisation des tracteurs agricoles, dont une analyse est présentée à la section 4.5. Enfin, nous avons pu recueillir lors de ces visites quelques idées, suggestions et solutions proposées par les utilisateurs de tracteurs agricoles pour la maîtrise des risques ou la satisfaction de leurs besoins.

4.2 Analyse de la littérature et de la documentation

L'analyse de la littérature menée par le GRIS dans le cadre de ce projet avait quatre objectifs principaux. Le premier objectif était de donner un aperçu des tendances générales actuelles dans la conception des tracteurs agricoles. Le second objectif était d'identifier les principaux besoins fonctionnels des utilisateurs, compte tenu des conditions d'opération et de la technologie disponible. Le troisième objectif poursuivi par l'analyse de la littérature et de la documentation était d'identifier les accidents les plus graves et les plus fréquents impliquant les tracteurs agricoles, ainsi que d'analyser les circonstances de ces accidents. Enfin, le quatrième objectif était l'analyse des technologies et des solutions (nouvelles et existantes) pour la maîtrise des risques inhérents à l'utilisation des tracteurs agricoles.

Type de documents	Nombre de documents consultés
Rapports de recherche	3
Rapports d'accidents (CSST)	19
Publications scientifiques	53
Documents techniques de fabricants (1993 à 1995)	24
Brevets (US, 1982 à 1995)	54
Autres documents	6

Tableau 4.2 Documents consultés pour l'analyse de la littérature et de la documentation

Les informations issues de ces analyses visaient principalement à compléter et appuyer les informations obtenues lors des visites sur le terrain. Ces informations sont donc intégrées aux résultats présentés aux trois prochaines sections de ce chapitre. Le tableau 4.2 présente les types de documents consultés. Une bibliographie complète est également présentée à la fin du rapport.

4.3 Analyse des tendances actuelles dans la conception des tracteurs agricoles

Les documents consultés pour cette analyse étaient surtout des documents techniques des modèles 1993 à 1995 des principaux fabricants de tracteurs agricoles. Certaines publications scientifiques, issues de ces mêmes fabricants, ont également été consultées. Parmi les marques des tracteurs étudiés, on retrouve:

- Agco Allis
- Belarus
- Case International
- Fiat
- Ford (New Holland)
- Kioti
- Kubota
- Landini
- Massey Ferguson
- John Deer
- White

À l'analyse de ces documents, nous avons pu constater que certaines tendances générales se retrouvent chez tous les fabricants. Par exemple, **l'électronique embarquée** est maintenant chose courante dans la conception de la grande majorité des tracteurs, du moins à partir des modèles intermédiaires. On l'utilise pour le contrôle électrohydraulique de l'attelage trois points, pour la transmission, pour les fonctions de sécurité, pour les commandes, etc. La compagnie Massey Ferguson utilise l'électronique dans la conception de ses tracteurs depuis plus de 15 ans.

Tous les fabricants semblent également de plus en plus préoccupés par la **facilité de maintenance** de leur produits. Les documents publicitaires de la majorité des fabricants insistent sur les nouvelles caractéristiques permettant de faciliter les opérations de vérification et de maintenance routinières, notamment au niveau de l'accès au moteur (Case International, Fiat, Ford), etc.. Cette préoccupation pourrait être «imposée» par la complexité grandissante des tracteurs agricoles face au désir constant des utilisateurs de faire eux-mêmes les opérations de vérification et de maintenance habituelles¹.

¹ Selon la compagnie Massey Ferguson, les coûts d'entretien d'un tracteur agricole peuvent dépasser les 25% de son prix d'achat (pour sa durée de vie).

Nous avons aussi pu constater une certaine tendance généralisée à intégrer des **éléments de sécurité** dans la conception. Ces éléments partagent toutefois une caractéristique commune : ils ne favorisent pas la prévention intrinsèque (élimination des risques à la source), mais la réduction de la probabilité d'occurrence des événements à risque. Ce sont généralement des solutions obtenues par des systèmes électroniques (système permettant le blocage en position élevée de l'attelage trois points, systèmes qui empêchent le démarrage du tracteur si la PDF est embrayée, etc.).

Plusieurs autres tendances de conception ayant des impacts sur la satisfaction des besoins fonctionnels des utilisateurs ont été observées suite à l'analyse des documents techniques des fabricants. Elles sont présentées aux paragraphes ci-dessous pour les principaux systèmes du tracteur.

4.3.1 Poste de conduite

La caractéristique principale des nouveaux postes de conduite des tracteurs agricoles est **l'isolation des vibrations** par le découplage entre la structure du tracteur et le poste de conduite. Plusieurs fabricants disent offrir un poste de conduite suspendu qui isole l'opérateur des vibrations occasionnées par le sol et par le moteur (Fiat, Landini, John Deer, Agco Allis) [KOMP, H-J., 1987] [BROWN, R.K. et al. 1983]. On peut toutefois se questionner sur l'efficacité de ces «suspensions» à la lumière de récentes recherches menées par l'INRS [DANIÈRE, P. et al., 1992].

La notion de **confort** et d'**ergonomie** est également très présente dans la littérature (généralement plus que dans la conception^{1/4}) des divers fabricants. Des cabines isolées, ventilées, chauffées et climatisées sont maintenant offertes en option sur la majorité des tracteurs. Les fabricants semblent aussi porter une attention particulière à **l'isolation acoustique** des cabines. Le niveau acoustique à l'intérieur de la cabine est de plus en plus spécifié dans la littérature des fabricants. Ainsi, certaines cabines Landini offrent des niveaux acoustiques de 83 dB A (en charge), Massey Ferguson 73 dB A, et John Deer 72 dB A.

Les **volants télescopiques et réglables** sont maintenant offerts en équipement standard, même sur plusieurs tracteurs de bas de gamme (Agco Allis, Belarus, Ford, Kubota). Les **sièges réglables avec amortisseurs de chocs** mécaniques sont aussi de plus en plus communs sur les modèles intermédiaires (Belarus, Case International). Quelques modèles de sièges à suspension pneumatique sont également disponibles. Sur certains de ses modèles haut de gamme, Ford offre une console de commande dont la position peut être ajustée en fonction des goûts de l'opérateur. Sur ces tracteurs, le siège et la console de commande peuvent aussi pivoter de 28° vers la droite, de façon à faciliter la surveillance des équipements à l'arrière lors de la conduite. Enfin, la compagnie Massey Ferguson offre, sur certains modèles et pour des applications spéciales, la possibilité d'un **poste de conduite inversé** (installation en usine).

L'**accès** au poste de conduite ou à la cabine ne semble pas être une préoccupation importante pour la majorité des fabricants. Mis à part la compagnie John Deere qui offre des marches d'accès ajustables, aucun autre fabricant n'offre de caractéristiques nouvelles ou intéressantes sur ce point. Toutefois, il est à noter que les cabines des tracteurs Ford ont des portes d'accès sur les deux côtés.

Des améliorations importantes ont été apportées à la **visibilité**. On dénote une augmentation significative de la surface vitrée des cabines chez la majorité des fabricants. Certains ont également profilé les carrosseries de façon à offrir une meilleure visibilité, notamment lors des travaux avec équipements avant (Case International, Ford). Plusieurs tracteurs John Deere ont maintenant leur tuyau d'échappement qui suit le montant vertical de la cabine, de façon à ne pas gêner la vue de l'opérateur. La compagnie Case International a apporté des modifications permettant une meilleure visibilité en hauteur lors du travail avec une chargeuse. Enfin, la majorité des tracteurs sont maintenant offerts avec la possibilité d'installer des phares supplémentaires (avant, arrière, côtés) pour le travail de nuit.

4.3.2 Contrôle et instrumentation

L'électronique offre aux fabricants plusieurs nouvelles possibilités en contrôle et en instrumentation. L'**affichage du tableau de bord**, de plus en plus complet même sur les modèles intermédiaires, est maintenant souvent digital (Massey Ferguson, Ford, Case

International). Certaines caractéristiques intéressantes sont également proposées par quelques fabricants. On parle, entre autres, des **tachymètres radar** qui permettent de réduire le patinage des roues sur sol glissant (Massey Ferguson). Plusieurs des tracteurs haut de gamme sont maintenant équipés d'un système de **contrôle et de diagnostic** des composantes principales (Massey Ferguson, Ford). Des systèmes électroniques permettent également le blocage et le déblocage automatique des différentiels (avant et arrière) en bout de champ (pour faciliter le virage), à haute vitesse ou au freinage, etc. (Massey Ferguson). Finalement, on semble aussi porter une attention particulière à la position et à la **facilité d'actionner les commandes**. Par exemple, l'embrayage du pont avant (modèles à quatre roues motrices) se fait maintenant de plus en plus par une simple pression d'un bouton, sans avoir à immobiliser le tracteur (Case International, Fiat).

4.3.3 Conduite et transmission

La tendance générale en ce domaine est certainement la très grande **diversité des possibilités** de transmission de puissance et de boîtes de vitesses offertes à l'achat d'un tracteur agricole. Chaque tracteur peut être équipé de différentes façons, en fonction des besoins spécifiques de son utilisateur. La majorité des modèles intermédiaires sont offerts en version deux ou quatre roues motrices.

La possibilité de blocage du différentiel arrière de l'intérieur du poste de conduite est très répandue. Le déblocage se fait généralement automatiquement par simple pression sur les pédales de freins. Certains modèles à quatre roues motrices offrent la possibilité de blocage du différentiel avant, pour une meilleure traction sur des sols mous ou glissants (Fiat, Kubota). Plusieurs fabricants mettent des efforts importants pour réduire le rayon de virage des tracteurs, même pour les modèles à quatre roues motrices (par exemple, l'essieu avant *Supersteer* de Ford, le *Bi-Speed Turn* de Kubota et le *Caster/Action* de John Deer).

Certains modèles haut de gamme de Ford offrent la **transmission sans embrayage** (semi-automatique) à contrôle électronique et programmable, et la transmission automatique pour circulation sur la route. Finalement, la grande majorité des fabricants ont augmenté

significativement la **capacité de freinage** de leurs tracteurs, notamment par des systèmes de freinage aux quatre roues.

4.4 Analyse préliminaire des besoins et des attentes des utilisateurs

Les visites sur le terrain étaient la principale source d'information concernant les besoins des utilisateurs de tracteurs agricoles. Les neuf visites préliminaires nous ont permis de recueillir plus de 70 observations et commentaires rattachés aux besoins fonctionnels et de sécurité des utilisateurs de tracteurs agricoles. Ces observations et commentaires, ainsi que les informations obtenues par l'analyse de la littérature, nous ont permis d'identifier leurs principaux besoins. Le tableau suivant présente les besoins identifiés et classés par affinité. Il est important de mentionner que cette liste n'est que préliminaire et que les besoins qui s'y trouvent n'ont pas été validés ou pondérés par les utilisateurs. Elle n'est établie que pour servir de base à l'analyse fonctionnelle.

Achat du tracteur	Commandes	Maintenance du tracteur
<ul style="list-style-type: none"> • Prix raisonnable • Proximité du concessionnaire • Disponibilité du concessionnaire • Bon service du concessionnaire 	<ul style="list-style-type: none"> • Accès facile aux commandes • Commandes faciles à actionner • Démarrage commandé par l'embrayage 	<ul style="list-style-type: none"> • Avoir un plan d'entretien détaillé • Vérification périodique rapide et facile • Maintenance normale facile
Prise de force (PDF)	Hydraulique et attelage 3 points	Poste de conduite
<ul style="list-style-type: none"> • Arrêt d'urgence de la PDF à l'arrière du tracteur • Arrêt d'urgence de la PDF dans le poste de conduite • Pouvoir embrayer la PDF graduellement • Garde de PDF solide • Garde de PDF ne gênant pas le branchement 	<ul style="list-style-type: none"> • Pouvoir opérer l'hydraulique de l'attelage trois points à partir de l'arrière du tracteur • Identifier facilement les entrées et les sorties des utilitaires hydrauliques 	<ul style="list-style-type: none"> • Bonne visibilité à l'arrière • Bonne visibilité à l'avant • Accès facile au poste de conduite • Être isolé des vibrations • Voir tourner la PDF à partir du poste de conduite • Ajustements du siège robustes • Pouvoir pivoter (le siège..) pour voir à l'arrière • Volant ajustable • Avoir une structure de protection en cas de renversement
Cabine	Freinage	Divers
<ul style="list-style-type: none"> • Grande ouverture des fenêtres de la cabine • Être isolé du bruit • Température confortable • Bonne ventilation 	<ul style="list-style-type: none"> • Bonne capacité de freinage • Système de freinage fiable • Permet de connecter des freins aux remorques 	<ul style="list-style-type: none"> • Pouvoir adapter l'empattement en fonction de la largeur des rangs de culture • Bon éclairage avant et arrière • Tracteur silencieux • Être bien vu sur la route • Rayon de virage court

Tableau 4.3 Liste préliminaire des principaux besoins identifiés

4.5 Analyse des principaux risques d'utilisation des tracteurs agricoles

La méthode d'analyse des risques utilisée pour l'identification des risques est l'analyse des incidents critiques [STEPHANS, R.A., TALSO, W.W., 1993]. Cette méthode utilise les

données historiques d'utilisation d'un produit et l'expérience des personnes qui l'utilisent pour identifier les risques, leurs causes et les situations potentiellement à risques.

La littérature est très riche en information sur les accidents graves et décrit généralement assez objectivement les circonstances entourant ces événements. Dans le cadre de cette analyse, une soixantaine de publications et rapports de recherche ont été consultés. Une vingtaine de rapports d'accidents graves ou mortels de la CSST ont également été examinés². L'analyse de ces documents nous a permis de recueillir un maximum d'informations utiles pour l'analyse des risques.

Par ailleurs, les personnes rencontrées lors des visites préliminaires sur le terrain nous ont également fait part de leur expérience en matière de sécurité des tracteurs agricoles. La majorité des personnes rencontrées affirment avoir vécu des situations de quasi-accidents («passer-proche») ou connaître des personnes qui ont été victimes d'accidents graves ou mortels. Certaines de ces personnes ont elles-mêmes été victimes d'accidents impliquant des tracteurs agricoles, heureusement sans conséquences fâcheuses. Leur expérience dans le domaine était donc une importante source d'informations pour l'analyse des risques.

Suite à la collecte des informations (les facteurs de risque), nous avons procédé à leur classification. Les facteurs de risque identifiés ont été classifiés selon la description des risques proposée dans la norme européenne EN 292 «Sécurité des machines - Principes fondamentaux, principes généraux de conception» [EN 292-1, janvier 1991]. Cette classification aborde les risques selon leur nature (mécanique, électrique, thermique, etc.). D'autre part, les facteurs de risque identifiés comprennent généralement des risques proprement dits, leurs causes possibles et les situations potentiellement dangereuses pouvant être à la source même de celles-ci. Dans bien des cas, la distinction entre le risque, les causes et les potentiels de dangers n'était pas faite par les utilisateurs ou dans la littérature. Cependant, cette distinction est primordiale dans le cadre d'une recherche qui vise à éliminer les risques à la source. C'est pourquoi une classification

² Il est important de mentionner que plusieurs des activités présentées dans ce rapport ont été menées conjointement avec les autres membres du groupe de recherche.

supplémentaire, qui associe les risques à leurs causes et les causes à leurs sources, c'est-à-dire les potentiels de dangers, a également été utilisée. Une telle classification des risques permet non seulement de faire le lien entre les risques et leurs multiples causes, mais favorise aussi la recherche de d'autres risques, qui n'auraient pas été identifiés dans la littérature ou verbalisés par les utilisateurs.

Plus de 30 risques spécifiques à l'utilisation des tracteurs agricoles ont été identifiés et rattachés à leurs causes. Il est à noter cependant qu'aucune évaluation de la probabilité d'occurrence et de la gravité des conséquences des risques n'a été réalisée dans le cadre de cette recherche. Les tableaux de l'annexe 1 présentent, selon la classification proposée ci-dessus, les risques identifiés par la méthode de l'analyse des incidents critiques. Il est important de mentionner que les causes des risques présentées dans ces tableaux doivent, dans certains cas, être additionnées pour engendrer le risque auquel elles se rattachent.

4.6 Analyse des principales technologies et solutions pour la maîtrise des risques

Tout comme pour l'analyse des tendances actuelles de la conception des tracteurs agricoles, la littérature et les documents techniques des fabricants ont été analysés afin de faire ressortir les principales technologies et solutions pour la maîtrise des risques identifiés à la section précédente. Ces technologies et solutions sont répertoriées dans la dernière colonne des tableaux de l'annexe 1, et les prochains paragraphes présentent les plus importantes parmi celles-ci.

4.6.1 Renversement latéral et cabrage

Au chapitre des renversements (latéral ou cabrage), la littérature abonde de technologies et d'idées pour réduire la probabilité d'occurrence de ces risques ou pour réduire la gravité de leurs conséquences. Les solutions qui visent à réduire la gravité des conséquences des renversements tournent généralement autour de la conception de la structure de protection (*ROPS* ou *Roll-Over Protection Structure*) ou du poste de conduite. En effet, tous les fabricants offrent différentes structures de protection, allant du simple arceau de protection à la cabine fermée, en passant par la structure de protection à quatre membrures [GIRARD, S. et al. 1992] [FRITZ, E.A., et al. 1991]. Parmi les innovations, on retrouve l'arceau de protection repliable de la compagnie John

Deer qui permet de ne pas avoir à enlever complètement la structure³ pour utiliser le tracteur dans des endroits à faible hauteur [JENKINS, G.W., 1992]. Certains chercheurs se sont aussi penchés sur la problématique du renversement complet du tracteur (tonneau) et ont proposé des conceptions de structures de protection qui préviennent ces situations [CHRISTOFFERSEN, J.L., 1989] [JACKSON, W.C., 1985]. D'autres ont étudié les risques d'éjection et d'écrasement de l'opérateur par la structure de protection lors du renversement. Ils en sont arrivés à la conclusion que face au risque d'écrasement de l'opérateur lors du renversement, les arceaux de protection étaient moins dangereux que les structures de protection à quatre membrures [WEISS, J.M. et al., 1991].

Afin de réduire les risques d'éjection de l'opérateur lors d'un renversement, la majorité des fabricants offrent la ceinture de sécurité sur tous leurs tracteurs. Des chercheurs auraient développé des concepts de ceintures plus efficaces et plus faciles d'utilisation (plus faciles à mettre et moins contraignantes) [BEAUCHAMP, Y. et al., 1992]. Toutefois, à notre connaissance aucun fabricant n'a apporté des améliorations significatives à ses ceintures. De plus, les résultats de l'étude évaluative préliminaire nous portent à croire que le port de la ceinture de sécurité ne sera probablement jamais accepté par les utilisateurs de tracteurs agricoles.

Les solutions qui visent à réduire la probabilité d'occurrence sont celles qui permettent d'éliminer ou de réduire les causes des renversements. Plusieurs ont proposé des systèmes électroniques permettant de détecter automatiquement les situations à haut potentiel de renversement [GOLDBERG, J.H., et al. 1985] [MURPHY, D.J., et al. , 1985]. S'ils étaient installés, ces systèmes pourraient intervenir automatiquement afin de prévenir les situations dangereuses, ou bien, avertir l'opérateur avant le moment critique afin de lui donner le temps nécessaire pour prendre les actions correctives. D'autres solutions, plus conventionnelles, sont également proposées dans la littérature. L'utilisation de chaînes ou de pneus spéciaux pourrait permettre des virages plus précis et ainsi éviter les dépressions du terrain qui sont souvent la cause directe des renversements [BEAUCHAMP, Y. et al., 1992]. L'élargissement des voies

³ Avec le risque que celle-ci ne soit jamais réinstallée par la suite.

avant et arrière est aussi souvent proposé pour augmenter la stabilité intrinsèque du tracteur [BEAUCHAMP, Y. et al., 1992] [CSST, UPA]. Enfin, plusieurs technologies sont proposées pour permettre un meilleur contrôle du freinage des équipements tractés, réduisant ainsi les pertes de contrôle dans les pentes et, par le fait même, les risques de renversement latéral [ENDRESS, D.K., et al., 1992].

4.6.2 Visibilité

La mauvaise visibilité est un des facteurs de risque les plus présents dans les accidents impliquant des tracteurs agricoles. Ainsi, plusieurs fabricants se sont efforcés d'améliorer cet aspect de leur conception, spécialement sur les tracteurs équipés de cabine. Tel qu'il en a été fait mention à la section 4.3, les améliorations les plus intéressantes concernent la position de la prise d'air, du silencieux et du tuyau d'échappement [KETTERLING, E. et al., 1984].

4.6.3 Attelage trois points et système hydraulique

Le système de commande de l'hydraulique est maintenant de plus en plus électronique [HENKE, R., 1987]. Plusieurs éléments de sécurité ont donc pu y être incorporés. Par exemple, la compagnie Fiat a développé un système permettant le blocage en position élevée de l'attelage trois points, notamment lors de l'arrêt et du démarrage du tracteur. De plus, la mise au neutre du système hydraulique externe se fait automatiquement à l'arrêt du moteur [JENKINS, G.W., 1992] [KETTERLING, E. et al., 1984] [OTTEN, L.R., et al. 1990]. On observe aussi de plus en plus la présence de commandes de l'attelage trois points à l'arrière du tracteur, sur un ou les deux côtés (Ford, John Deer, Case International) [ENDRESS, D.K., et al., 1992]. Cette dernière caractéristique est très importante puisqu'elle évite à l'opérateur d'avoir à actionner le levier de commande situé dans le poste de conduite à partir de l'arrière, ce qui accroît le risque d'être entraîné par la prise de force en mouvement.

4.6.4 Barre de traction

L'attachement et le détachement d'équipements tractés est une cause importante d'accidents [SUUTARINEN, J. 1992]. C'est pourquoi on retrouve plusieurs systèmes d'attache rapide, qui permettent d'attacher et de détacher des équipements tractés sans avoir à quitter le poste de

conduite. La compagnie québécoise Attach Matic a breveté un tel système, dont les performances en matière d'efficacité et de sécurité ont été évaluées par une étude de l'Université du Wisconsin [SCHULER, R.T., 1994]. Les résultats de cette étude démontrent que pour une culture moyenne de maïs, le système pouvait éviter annuellement 780 opérations d'attachement ou de détachement d'équipements, et le même nombre de montées et de descentes du poste de conduite.

4.6.5 Prise de force

La prise de force (PDF) étant un des systèmes les plus dangereux, il est également celui pour lequel le plus grand nombre de solutions ont été proposées. La solution la plus connue est évidemment le traditionnel garde de PDF. Les gardes moins récents gênent la connexion des équipements, avec pour conséquence qu'ils sont souvent enlevés par les utilisateurs. Depuis quelques années cependant, les gardes sont mieux conçus, plus solides et ils peuvent être repliés le temps d'effectuer la connexion des équipements. Au niveau de la connexion des équipements à la PDF, un nombre impressionnant de brevets propose différents systèmes. Ces systèmes peuvent soit faciliter la connexion de l'arbre de transmission à la PDF, ou permettre la connexion automatique de l'attelage trois points et de la PDF sans que l'opérateur doive quitter le poste de conduite [COLEMAN, L. 1994] [McLEAN, K.W., 1992] [RICHARDSON, C.A. et al., 1988] [BUTHE, T. et al., 1988] [HERCHENBACH, P., et al., 1985] [MIJNDERS, G.J., et al., 1983] [KOSTAMO, P., 1989] [RIDGWAY, D.M., 1988] [SUGAWARA, T., TANAKA, Y., 1990] [FUKUTANA, T. et al., 1989] [RICHARDSON, C.A., 1989] [YUKINO, H., 1989].

D'autres solutions aux risques engendrés par la PDF sont apparues depuis quelques années. Ainsi, certains fabricants proposent des boutons de commande de la PDF plus sécuritaires qui ne peuvent pratiquement pas être actionnés involontairement [ENDRESS, D.K., et al., 1992]. Leurs formes et leurs couleurs les rendent également plus faciles à repérer en cas d'urgence (Ford, John Deer). Certains fabricants, dont Fiat et Ford, proposent également l'engagement progressif de la PDF, ce qui réduit les risques associés au démarrage soudain de celle-ci. Plusieurs fabricants ont développé des systèmes qui empêchent le démarrage du tracteur si la PDF est embrayée, ou qui débrayent la PDF automatiquement à bas régime ou à l'arrêt du tracteur [ENDRESS, D.K., et al.,

1992] [OTTEN, L.R., et al. 1990] [JENKINS, G.W., 1992] [PETERSON, R.A., 1987]. Un brevet américain présente un système de détecteurs de présence qui débraye la PDF lorsqu'une personne s'approche de l'arrière du tracteur [STABENOW, E.E., 1994]. Enfin, la compagnie John Deere offre, sur certains modèles intermédiaires, un siège à détection de présence qui déclenche une alarme si la PDF est en fonction lorsque l'opérateur quitte le poste de conduite [JENKINS, G.W., 1992].

5. ÉVALUATION SYSTÉMATIQUE DES BESOINS ET DES ATTENTES

5.1 Analyse fonctionnelle⁴

5.1.1 Décomposition fonctionnelle du tracteur

Le tracteur agricole a été décomposé en ses principaux systèmes. Cette décomposition fonctionnelle par systèmes avait deux objectifs. D'abord, elle permettait de faciliter la recherche des fonctions. De plus, à la lumière des résultats obtenus lors de l'étude évaluative préliminaire, les systèmes du tracteur ne sont pas tous également importants d'un point de vue SST. La décomposition fonctionnelle ainsi que les résultats de l'étude évaluative préliminaire nous ont donc aussi permis d'identifier les systèmes sur lesquels l'analyse fonctionnelle devait être menée. La figure 5.1 présente les principaux systèmes d'un tracteur agricole, et le tableau 5.1 contient la définition sommaire de ces systèmes. Les systèmes définis ont été traduits sous forme fonctionnelle pour faire abstraction des solutions ou des moyens, et pour l'élaboration de l'arbre fonctionnel.

⁴ La méthodologie générale de l'analyse fonctionnelle est présentée à l'annexe 2.

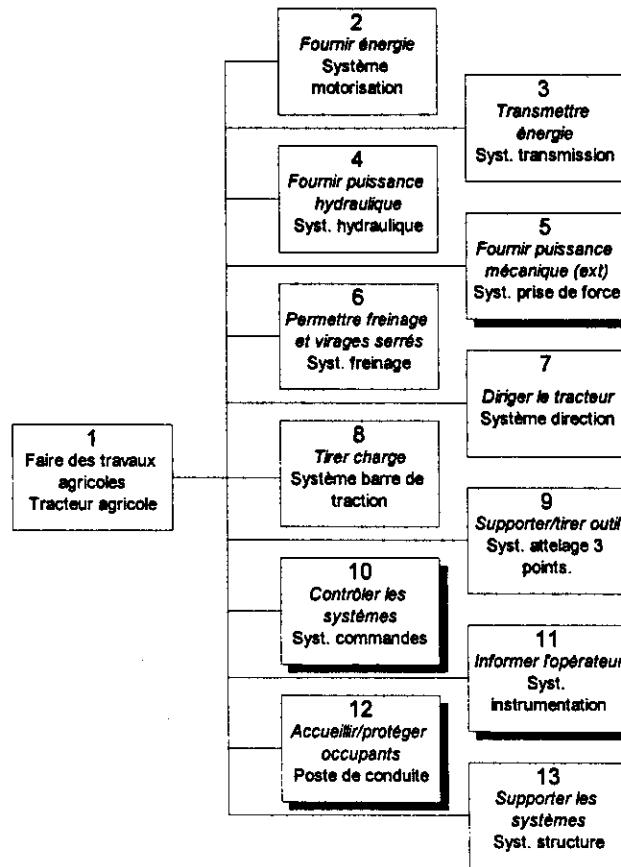


Figure 5.1 Décomposition fonctionnelle du tracteur agricole⁵

⁵ Les cases ombragées identifient les systèmes pour lesquels l'analyse fonctionnelle a été réalisée.

Fonction	Système	Définition sommaire
<i>Fournir énergie</i>	Motorisation	Comprend le moteur et ses principaux sous-systèmes.
<i>Transmettre énergie</i>	Transmission	Comprend l'embrayage, la transmission, les différentiels, les roues, etc.
<i>Fournir puissance hydraulique</i>	Hydraulique	Comprend les pompes, canalisations et accessoires (ex. clapets antiretour), et connections pour les accessoires hydrauliques.
<i>Fournir puissance mécanique externe</i>	Prise de force	Comprend les arbres de prises de force (indépendante à 540, 750 ou 1000 RPM ou plus, proportionnelle à l'avancement, 6 ou 21 cannelures, avant, arrière), et leurs gardes.
<i>Permettre freinage et virages serrés</i>	Freinage	Comprend la mécanique et l'hydraulique des freins, incluant le frein à main.
<i>Diriger le tracteur</i>	Direction	Comprend le volant et le mécanisme de direction.
<i>Tirer charge</i>	Barre de traction	Comprend la barre longitudinale au tracteur qui permet l'attache d'équipements remorqués.
<i>Supporter/tirer outil</i>	Attelage trois points	Comprend les 3 points d'attache et les cylindres permettant l'attache et la levée des outils portés ou semi-portés.
<i>Contrôler les systèmes</i>	Commandes	Comprend les pédales, les leviers de vitesse, les commandes (manuelles ou automatiques) de tous les systèmes à l'intérieur ou à l'extérieur du poste de conduite, les manettes et boutons, et les systèmes électroniques.
<i>Informar l'opérateur</i>	Instrumentation	Comprend les cadrans et les jauges qui fournissent de l'information à l'opérateur ou au personnel d'entretien.
<i>Accueillir/protéger occupants</i>	Poste de conduite	Comprend l'accès, la structure de protection, le siège, la cabine et ses accessoires, les miroirs, etc.
<i>Supporter les systèmes</i>	Structure	Comprend le châssis et les éléments permettant l'ajout d'accessoires (ex. chargeuse).

Tableau 5.1 Définition sommaire des principaux systèmes d'un tracteur agricole

5.1.2 Identification des systèmes importants du point de vue de la SST

Tout effort pour maîtriser les risques inhérents à un outil, une machine ou un procédé doit se faire en tenant compte du temps et des ressources disponibles. Il est donc nécessaire d'identifier les éléments de la conception qui sont à la source des risques les plus critiques. Dans le cas du tracteur agricole, bien que tous les systèmes ont à un moment ou un autre été impliqués dans des accidents, seulement quelques-uns peuvent être considérés comme critiques d'un point de vue

SST. Dans le cadre de ce projet, l'équipe de recherche a identifié ces systèmes à la lumière des informations obtenues lors de l'étude évaluative préliminaire. Les systèmes choisis, qui ont un impact important sur la sécurité, sont présentés au tableau 5.2. Dans le but de faciliter l'analyse, le système de commande et le système d'instrumentation ont été décomposés en leurs principaux sous-systèmes. Enfin, en fonction des ressources disponibles dans le cadre du présent projet, la dernière colonne du tableau indique les systèmes pour lesquels a été réalisée l'analyse fonctionnelle.

Fonction	Système	Analyse fonctionnelle dans ce projet
<i>Accueillir et protéger les occupants</i>	Poste de conduite	X
<i>Fournir puissance mécanique externe</i>	Prise de force	X
<i>Permettre freinage et virage serré</i>	Freinage	
<i>Contrôler systèmes</i>	Commandes	
<i>Contrôler système motorisation</i>	Commandes motorisation	X
<i>Contrôler système prise de force</i>	Commandes prise de force	X
<i>Contrôler système attelage 3 points</i>	Commandes attelage 3 points	X
<i>Contrôler système hydraulique</i>	Commandes hydraulique	
<i>Contrôler système freinage</i>	Commandes freinage	
<i>Informers l'opérateur</i>	Instrumentation	
<i>Informers l'opérateur sur la prise de force</i>	Instrumentation de la prise de force	X
<i>Informers l'opérateur sur l'hydraulique</i>	Instrumentation de l'hydraulique	

Tableau 5.2 Systèmes les plus importants du point de vue de la SST

5.1.3 Recherche des interacteurs des systèmes choisis

Prélude à la recherche des fonctions proprement dite, la recherche des interacteurs est la première étape de la méthode de l'analyse de l'environnement qui a été utilisée pour la recherche des fonctions. L'annexe 3 présente la liste des interacteurs trouvés par l'équipe de recherche ainsi que leurs définitions.

5.1.4 Recherche et ordonnancement des fonctions

À partir des éléments obtenus par les activités précédentes, l'analyse de l'environnement a été

appliquée afin d'identifier les fonctions de service des systèmes choisis. Une séance d'identification des fonctions a permis d'identifier un total de 192 fonctions, dont la répartition est présentée au tableau suivant.

Systeme	Nombre de fonctions identifiées
Poste de conduite	84
Prise de force	33
Fonctions communes à tous les systèmes de commandes	25
Commandes motorisation	9
Commandes prise de force	8
Commandes attelage 3 points	9
Fonctions communes à tous les systèmes d'instrumentation	20
Instrumentation de la prise de force	4

Tableau 5.3 Nombre de fonctions identifiées pour les systèmes choisis

Ces fonctions ont par la suite été organisées en plusieurs **arbres fonctionnels**. L'annexe 4 présente les arbres fonctionnels pour les systèmes choisis élaborés à partir des fonctions émises par l'équipe d'analyse fonctionnelle.

6. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'analyse des tendances actuelles dans la conception des tracteurs agricoles nous a permis de constater certaines orientations chez la majorité des constructeurs. D'abord, l'électronique embarquée est désormais indissociable de la conception des tracteurs, ce qui devrait en augmenter la fiabilité et, par le fait même, le niveau de confiance des utilisateurs pour cette technologie. Elle est de plus en plus utilisée au niveau des commandes et de l'instrumentation, et elle offre plusieurs possibilités dans les fonctions de sécurité. Par ailleurs, le poste de conduite est certainement un des systèmes ayant le plus évolué au cours des dernières années, notamment au niveau du confort, de l'ergonomie et de la visibilité. Cette tendance pourrait, à moyen terme, contribuer à réduire les risques pour la santé et la sécurité des utilisateurs de tracteurs agricoles. Enfin, au niveau de la conduite, la diminution du rayon de virage et l'augmentation de la capacité de freinage des tracteurs sont parmi les améliorations les plus marquantes que nous avons relevées. Ces caractéristiques sont elles aussi susceptibles de réduire les risques, notamment les risques de renversements latéraux des tracteurs agricoles.

L'analyse préliminaire des besoins et des attentes des utilisateurs a fait ressortir des points importants au niveau des caractéristiques de sécurité attendues par les utilisateurs de tracteurs agricoles. La prise de force semble être une préoccupation importante des utilisateurs qui souhaitent que les tracteurs soient équipés de boutons d'arrêt d'urgence de la PDF à l'arrière du tracteur et dans le poste de conduite. La visibilité au poste de conduite des tracteurs avec cabine et la facilité de maintenance sont aussi des caractéristiques recherchées par les utilisateurs consultés.

Au niveau des risques et des principales technologies de maîtrise de ceux-ci, nous retenons que les points présentés aux paragraphes suivants sont ceux pour lesquels la recherche et/ou le développement de solutions semblent les plus opportuns.

Les risques de renversement latéral et de cabrage, ainsi que le risque d'écrasement de l'opérateur lors de ces événements sont certainement ceux qui doivent faire l'objet des recherches les plus poussées. Bien que les structures de protection équipent maintenant tous les tracteurs neufs, elles ont une efficacité limitée à réduire la gravité des conséquences des accidents de renversements.

Par ailleurs, peu a été fait pour réduire les risques à la source, c'est-à-dire de prévenir le renversement ou le cabrage. À première vue, c'est certainement l'électronique qui semble la piste de solution la plus prometteuse. Les systèmes électroniques de surveillance des conditions de stabilité proposés par certains auteurs semblent prometteurs [GOLDBERG, J.H., et al. 1985] [MURPHY, D.J., et al. , 1985]. D'autres solutions peuvent également être envisagées pour, à la fois, réduire la probabilité d'occurrence des risques et pour en diminuer la gravité des conséquences. La recherche et le développement de ces solutions devraient faire partie des priorités de recherche pour assurer une plus grande sécurité d'utilisation des tracteurs agricoles.

La prise de force des tracteurs a bénéficié de plusieurs améliorations au niveau de la sécurité. Les gardes sont, en général, plus fonctionnels et moins sujets à être enlevés qu'auparavant. Des systèmes électroniques de débrayage automatique de la PDF à l'arrêt du tracteur équipent maintenant plusieurs modèles et devraient réduire les risques de démarrage intempestif de la PDF. D'autres systèmes électroniques qui avertissent l'opérateur que la PDF est en fonction lorsqu'il quitte le poste de conduite ou qui débrayent la PDF s'il s'en approche sont aussi proposés, mais leur acceptation par les utilisateurs reste à vérifier.

Avec ces améliorations, le plus grand risque se situe maintenant non pas sur l'arbre de PDF du tracteur lui-même, mais surtout au niveau des arbres des équipements qui y sont connectés. En effet, c'est souvent cet arbre, dont les protections ont été retirées pour diverses raisons, qui entraîne l'opérateur qui a le malheur de voir ses vêtements s'y accrocher. Le développement d'un arbre sécuritaire qui ne comporterait pas de garde amovible ou qui ne pourrait agripper les vêtements serait une amélioration majeure à la sécurité des tracteurs et des équipements agricoles en général. Par ailleurs, tel qu'il a été demandé par les utilisateurs eux-mêmes, un système d'arrêt d'urgence de la PDF devrait être développé et ses commandes installées à l'arrière du tracteur et dans le poste de conduite.

L'écrasement d'une personne par un mouvement intempestif du tracteur est un accident relativement fréquent. Plusieurs causes sont à la source de ces accidents : le tracteur laissé en marche sans conducteur, le démarrage du moteur en dehors du poste de conduite, la possibilité de démarrage du moteur avec la transmission engagée, le frein de stationnement non mis à l'arrêt,

etc. Il semblerait que plusieurs des solutions de maîtrise de ce risque, apparemment simples, n'ont pas été envisagées par les constructeurs de tracteurs agricoles. Il serait relativement facile, et certainement profitable, de développer et de tester quelques-unes de ces solutions (par exemple, un siège type «homme mort» relié au frein de stationnement).

Le poste de conduite des tracteurs est à la source d'un certain nombre de problèmes de santé et de sécurité. Ces risques, dont les conséquences sont généralement moins spectaculaires, ne devraient pas pour autant être oubliés. D'abord, les fréquentes montées et descentes du poste de conduite sont une cause importante d'accidents occasionnant des blessures de toutes sortes. L'accès au poste de conduite, qui ne semble pas avoir fait l'objet d'études approfondies de la part des constructeurs, devrait être analysé afin d'en optimiser les caractéristiques ergonomiques.

Par ailleurs, les effets combinés de la mauvaise posture (nécessaire à la conduite avec équipements tractés) et des vibrations devraient être pris en compte dans la conception du poste de conduite. Plusieurs recherches sur le sujet ont déjà été menées (pour les chariots élévateurs et les engins de chantiers), notamment à l'INRS [DANIÈRE, P., et al., 1992]. Les résultats de ces recherches devraient être concrétisés par le développement d'un poste de conduite et d'un siège qui tiendrait compte des contraintes spécifiques des tracteurs agricoles. Il s'agit là, cependant, d'un objectif à plus long terme.

7. RÉFÉRENCES

Rapports de recherche

BEAUCHAMP, Y. MARCHAND, F., NGÔ, A.D. (avril 1993) Rapport synthèse de la littérature sur la sécurité dans l'utilisation des tracteurs agricoles, Équipe de recherche en sécurité du travail, École de technologie supérieure, 37 p.

SCHULER, R.T. (1994) Automatic Hithing Systems, University of Wisconsin, Agricultural Engineering Department, Rapport de recherche non publié.

GIRARD, S.A., GINGRAS, S., VÉZINA, M., PATRY, L. (octobre 1992) Évaluation des effets du programme d'intervention concernant les tracteurs agricoles, Rapport final, Groupe interdisciplinaire de recherche sur l'organisation, la santé et la sécurité du travail, Université Laval, 47 p.

Publications scientifiques

AYERS, P. D. «Data Gathering Techniques to accurately Direct a Farm Safety Program.» Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. 1989; 32(2):p. 443-446.

BASHFORD, L. L. AL-HAMED. S., JENANE C. «Effect of tire Size and Inflation Pressure on Tractive Performance.» Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. 1993; 9(4):p. 342-348.

BOBICK, T. G. MYERS J. R. «Agriculture-related Sprain and Stain injuries», 1985-1987. International Journal of Industrial Ergonomics. 1994(14):p. 223-232.

BOWEN, H. M., MAURO C. L., OLIVER R. J. «Application of User Merit Index to Tractor Cab Evaluation and Development». Paper - American Society of Agricultural Engineers. 1984 (paper no 84-1643).

CASEY, S. M., KISO J. L. «The Acceptability of Control Locations and Related Features in Agricultural Tractor Cabs». Proceedings of the Human Factors Society 34th Annual Meeting. 1990; p. 743-747.

CHRISTOFFERSEN, J. «Overturning of Tractors.» Ingenieur-Archiv. 1989(59); p. 357-361.

CLARK, R. L., VANDE LINDE G. «A Rapid Automatic Tractor Ballast System». Paper - American Society of Agricultural Engineers. 1986 (paper no. 86-1550).

CSST, UPA. Les tracteurs agricoles et les renversements. (DC-100-110).

- DANIÈRE, P., BOULANGER, P., DONATI, P., GALMICHE, J.P., (1992) Environnement acoustique et vibratoire aux postes de conduite des chariots élévateurs, INRS, CDU 629.111.3: 628.517/4.
- DOYLE, Y. CONROY R. A «One Year Survey of Accidents on Irish Farms and Their Medical Outcome.» Journal of Occupational Accidents. 1988(10); p. 199-208.
- DUQUET, E. «Suspension évoluée pour cabine de tracteur agricole.» Revue française de mécanique. 1993(3); p. 445-454.
- ELKIN, P. D. «Correspondance between Knowledge, Attitudes, and Behavior in Farm Health and Safety Practices.» Journal of Safety Research. 1993; 24(3):p. 171-179.
- ENDRESS, D. K., MARTENAS W. B., SIEMS G. E. «Mid-Size Agricultural Tractors for Worldwide Markets.» SAE Technical Paper Series. 1992 (921683).
- ETHERTON, J. R., MYERS J. R. «Machine Safety research at NIOSH and the Future Directions.» International Journal of Industrial Ergonomics. 1990(6); p. 163-174.
- FIELD, W. E. «Agricultural-related Disabilities in China, A Perspective.» RESNA - Proceedings of the 10th Annual Conference on Rehabilitation Technologies. 1987; p. 756-758.
- FRITZ, E. A., CASE J. J., SWITALSKI W. G. «Small Agricultural Tractor ROPS - New Operator Protective Zone.» SAE Transactions. 1991; 100(sect. 2); p. 201-218.
- GOLDBERG, J. H., MURPHY D. J. «Safer Tractor Operation Through Improved Stability/Instability Feedback.» Paper - American Society of Agricultural Engineers. 1985 (paper 85-5515).
- GRISSE, R. D., MORGAN D. L., SHROPSHIRE G. J., ROCKWELL S. K. «What Information Helps a Farmer Purchase a Tractor.» Applied Engineering in Agriculture. 1988; 4(3); p. 197-200.
- HAMILTON, G. R. «A Reliability Survey of Tractors. 8th Conference on Engineering in Agriculture» Conference Publication - Institution of Engineers, Australia. 1992(92); p. 377.
- HAMMER, W., SCHMALZ U. «Human Behaviour when Climbing Ladders with Varying Inclinations.» Safety Science. 1992; 15(1):p. 21-38.
- HENKE, R. «Hydraulic System Trends : Part VIII, Developments in Agricultural Equipment.» Diesel Progress North American. 1987; 53(9):p. 44-48.
- HOWARD, W. J. «How is Technology Advancing in Agricultural Equipment.» Agricultural Engineering. 1987; 68(2):p. 10-12.

- IKEGAMI, S., MATSUSHITA Y., OSUGA, M. «The Kubota's New "Bi-Speed Turn" Mechanism.» SAE Transactions. 1990; 99(sect. 2), p. 516-523.
- JACKSON, W. C. «A Historical Review of the Evolution of Farm Tractors, Earthmoving Machines, and Concurrent Evolution of Safety and Operator Rollover Protection.» SAE Technical Paper Series. 1985 (851498):p. 1-16.
- JENKINS, G. W. «New John Deere Tractors 60-145 PTO HP.» SAE Technical Paper Series. (921685).
- KETTERLING, E., LEMKE J., HORSCH J. «New Series of Large Row Crop Tractors From Case IH.» SAE Technical Paper Series. 1987 (971641).
- KIM, K. U., REHKUGLER G. E. «A Review of Tractor Dynamics and Stability.» Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. 1987; 30(3);p. 615-623.
- KOLCHINSKY, A. E. «Electrohydraulic Control of Transmissions.» Diesel Progress, Engines and Drives. 1993; 59(7):p. 14-15.
- LACHANCE, A. «Tracteurs agricoles : On renverse la vapeur.» Prévention au travail. 1993; p. 4-5.
- LATIF, N., CHRISTIANSON L. L. «Cab Accessibility: How Important is it?» Transactions of the ASAE. 1988; 31(1); p. 5-8.
- LUNDQVIST, P., GUSTAFSSON B. «Accidents and Accident Prevention in Agriculture: A Review of Selected Studies.» International Journal of Industrial Ergonomics. 1992; 10(4); p. 311-319.
- MACQUEENE, J., SCHWARZ P., NIELSEN B. «Development of the Electronic Draft Control System for the Ford New Holland 8210 Tractor.» SAE Transactions. 1990; 99(sect. 2); p. 327-339.
- MCKNIGHT, R. H., HETZEL G. H. «Annual Trends in Farm Tractor and Machinery Deaths 1975-1981.» Paper - American Society of Agricultural Engineers. 1984 (84-5507).
- MEYERS, J., BLOOBERG L. «Farm Industry Slips Through Cracks.» Occupational Health and Safety. 1993; 62(11); p. 56-60.
- MURPHY, D. J., BEPLER D. C., SOMMER H. J. «Tractor Stability Indicator.» Applied Ergonomics. 1985; 16(3); p. 187-191.
- O'CONNOR, T. A., GORDON J. E., BARNETT M. «Agricultural Injury Surveillance Using a State Injury Registry.» Journal of Safety Research. 1993; 24(3):p. 155-166.
- OTTEN, R. L., WRISBERG W. V. «New Series of Mid-size Agricultural Tractors Engineering for Worldwide Markets.» SAE Technical Paper Series (901677); p. 603-627.

- PIERCY, L. R., STALLONES L. «Fatal accidents on Kentucky Farms.» Paper - American Society of Agricultural Engineers 1984 (84-5508).
- PIERCY, L. R., TURNER G. M. «Teaching Tractor Safety with Scale Models.» Paper - American Society of Agricultural Engineers. 1986 (86-5510).
- ROSS, L. F., PANOUSHEK D. W. «Adaptive Electronic Tractor Shift Control System.» SAE Technical Paper Series. 1990 (901592).
- SCHRAMM, H. J. «Critical Information Needs for Machinery.» Agricultural Engineering. 1988; 69(1); p. 10-13.
- SCHUMACHER, L. G., FRISBY J. C., HIRES W. G. «Tractor PTO Horsepower, Filter Maintenance, and Tractor Engine Oil Analysis.» Applied Engineering in Agriculture. 1991; 7(5); p. 625-629.
- SHINOHARA, E., INAMORI I., URA T., IMAMURA T. «New Kubota Midsize Farm Tractor.» SAE Technical Paper Series. 1991 (911880).
- SINDEN, J. V., BECKER W. J., SHOUP W. P. «The Effects of Psychological Load and Speed on Tractor Operator Error.» Applied Ergonomics. 1985; 16(3);p. 183-185.
- SUUTARINEN, J. «Tractor accidents and their Prevention.» International Journal of Industrial Ergonomics. 1992; 10(4); p. 321-329.
- THURBER, S. «Farmers Face Four Growing Hazards.» Safety + Health. 1994; 149(4);p. 50-54.
- WANG, G., ZOERB G. C. «A Farm Tractor Driver's Information System.» Computers and Electronics in Agriculture. 1990; 4(3); p. 191-207.
- WEISS, M., McCARTHY KOST G., MERALA R. J., ROBINSON J. N. «Accident Mode Risk Analysis of Agricultural Tractors.» Engineering Application of Risk Analysis III: Winter Annual Meeting of the American Society on Mechanical Engineers. 1991; p. 33-37.
- WIKSTROM, B. O. «Effects from Twisted Postures and Whole Body Vibration During Driving.» International Journal of Industrial Ergonomics. 1993; 12(1-2); p. 61-75.
- WOOD, R. K., MANGIONE D. A. «Tractive Benefits of Properly Adjusted Inflation Pressures: Farmer Experiences.» Applied Engineering in Agriculture. 1994; 10(1); p. 13-16.
- YOUREN, B., LEVITICUS L. I. «Analysis of Tractor Test procedure at the Nebraska Tractor Test Laboratory.» Agricultural Mecanization in Asia, Africa and Latin America. 1990; 21(1); p. 15-20.
- ZHANG, N., CHANCELLOR W. «Automatic Ballast Position Control for Tractors.» Transaction of the American Society of Agricultural Engineers. 1989; 32(4); p. 1159-1164.

ZHANG, Y., KUSHWAHA R. L., BIGSBY F. W. «Design of Common-Center-Steering Systems of Tractors.» Transaction of the American Society of Agricultural Engineers. 1988; 31(4); p. 1015-1019.

Documents techniques de fabricants

Agco Allis:	·Série 5600 ·Série 6600 ·Série 7600 ·Série 8600	Belarus:	·Modèle 5150 ·Modèle 5170 ·Modèle 5180 ·Modèle 5190 ·Modèle 6100
Case International:	·Série 3200 ·Série 4200	Fiat:	·Série 56 ·Série 93
Ford New Holland:	·Série Genesis ·Série Powerstar	John Deer:	·Série 7000
Kioti:	·Gamme de 22 à 28 HP	Kubota:	·Série M80
Landini:	·Série 80 ·Série Advantage ·Série Blizzard	Massey Ferguson:	·Série 300 ·Série 3600
White:	·Série 6100		

Brevets

BROWN, R.K., CONNER, J., CROOKES, W.E., PURCELL, W.F., THOMPSON, R.D., WOODS, T.W., WRIGHT, D.L. (1983) Suspended Operator Station, Brevet US No.: 4392546.

BUTHE, T. et al. (1988) Drive Shaft Coupling, Brevet US No.: 4792006.

COLEMAN, L. (1994) Quick Attaching Power Take Off, Brevet US No.: 5303790

FUKUTANA, T., HORIE, F., KAWAHARA, Y., NOZAKA, K. (1989) Device for Connecting Work Machine to Tractor, Brevet US No.: 4887680.

HERCHENBACH, P., VOLLMER, J.L., (1985) Disengageable Coupling Mechanisim for a Drive Shaft Assembly, Brevet US No.: 4560300.

KOMP, H-J. (1987) Device for the Cushioned Mounting of a Tractor Cab, Brevet US No.: 4638878.

KOSTAMO, P.J. (1989) Tractor Attachment, Brevet US No.: 4804055.

- McLEAN, K.W. (1992) Primary Drive Line and Coupling for Agricultural Implements, Brevet US No.: 5158500.
- MIJNDERS, G.J., VISSERS, H.H. (1983) Power Transferring Coupling Device for a Tractor and an Implement Hitched, Brevet US No.: 4366877.
- PETERSON, R.A. (1987) Interlock Circuit for Tractor PTO, Brevet US No.: 5314038.
- RICHARDSON, C.A. et al. (1988) Hitch and Drive Structure for PTO-Driven, Semi-Integral Implement, Agricultural Implement Requiring Power Delivered Towing Tractor, Brevet US No.: 4793430
- RICHARDSON, C.A. (1989) Hitch Adapter for Use in Connecting Semi-Integral, PTO-Driven Implements to Tractor Three-Point Hitch, Brevet US No.: 4805927.
- RIDGWAY, D.M. (1988) Implement Hitch, Brevet US No.: 4763743.
- STABENOW, E.E. (1994) Power-Take-Off Safety System, Brevet US No.: 5311961.
- SUGAWARA, T., TANAKA, Y. (1990) Device for Connecting Working Implement to Tractor, Brevet US No.: 4934471.
- YUKINO, H. (1989) Device for Mounting an Implement on a Tractor, Brevet US No.: 4799563.

Autres documents

- CSST (mars 1993) Évaluation du programme d'intervention concernant les tracteurs agricoles, Vol. 1, No. 1, 8 p.
- EN 292 (1991) Sécurité des machines - Principes fondamentaux, principes généraux de conception, Comité européen de normalisation.
- FORTIER, P. (avril 1995) Recherche sur la sécurité dans l'utilisation des tracteurs agricoles au Québec, Rapport d'analyse, Le groupe Léger & Léger, 28 p.
- IRSST (1994) Sécurité dans l'utilisation des tracteurs agricoles au Québec, Protocole de recherche.
- OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY DIVISION (août 1988) Roll-Over Protective Structures: A Guide to the ROPS Regulation, Ontario Ministry of Labour.
- STEPHANS, R.A., TALSO, W.W. (1993) System Safety Analysis Handbook, s.l., System Safety Society, 489 p.

ANNEXE 1

RÉSULTATS DE L'ANALYSE DES RISQUES

TABLEAU 1 RISQUES DE NATURE MÉCANIQUE

Types de risques	Risques identifiés	Causes possibles	Potentiels de danger	Solutions répertoriées (références)
Risques d'écrasement et/ou Risques de chocs	Renversement latéral	Perte de contrôle de la vitesse	<ul style="list-style-type: none"> • Fatigue de l'opérateur • Circulation à haute vitesse • Opérateur inexpérimenté 	<ul style="list-style-type: none"> • Capteurs d'orientation [BEAUCHAMP, Y. et al., 1992] • Capteurs d'accélération • Capteurs de vitesse • Formation et information • Système de feedback à l'opérateur sur l'état de stabilité [GOLDBERG, J.H., et al. 1985] [MURPHY, D.J., et al., 1985] • Système auto de détection et de prévention des situations à haut potentiel de renversement [MURPHY, D.J., et al., 1985]
		Perte de contrôle de la direction		
		Temps de réaction trop long		
		Virage sur sol incliné	<ul style="list-style-type: none"> • Circulation sur des terrains en pente • Circulation avec chargeur avant en position élevée • Obstacle au sol 	•
		Freinage inégal	<ul style="list-style-type: none"> • Circulation à haute vitesse • Usure inégale des freins 	<ul style="list-style-type: none"> • Couplage des freins à vitesse élevée [CSST, UPA]
		Glissement dans une dépression du terrain	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise adhérence des roues avant en virage • Profil des pneus inadéquat • Pression inadéquate dans les pneus • Attention divisée entre pilotage et rétro vision • Circulation près de fossés et de dépressions • Mauvaise visibilité • Conditions environnementales difficiles • Sol glissant • Circulation sur plan d'eau gelé (bris de la glace) 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation de chaînes • Utilisation de pneus spéciaux [BEAUCHAMP, Y. et al., 1992] • Élargissement des voies aux abords des fossés [CSST, UPA]
		Stabilité insuffisante	<ul style="list-style-type: none"> • Circulation avec chargeur avant en position élevée • Charge non équilibrée • Manque de poids dans les roues 	<ul style="list-style-type: none"> • Élargissement de la voie avant • Élargissement de la voie arrière [BEAUCHAMP, Y. et al., 1992] [CSST, UPA]
Défaillance mécanique de la conduite				
Perte de contrôle d'une remorque		<ul style="list-style-type: none"> • Freinage inadéquat • Mauvaise répartition du freinage entre le tracteur et la remorque • Pente abrupte 	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle de freinage de remorque hydraulique [ENDRESS, D.K., 1992] 	

TABEAU 1 RISQUES DE NATURE MÉCANIQUE (suite)

Types de risques	Risques identifiés	Causes possibles	Potentiels de danger	Solutions répertoriées [références]	
Risques d'écrasement et/ou Risques de chocs (suite)	Renversement vers l'arrière (cabrage)	Défaillance mécanique			
		Biocage de la charge tractée	<ul style="list-style-type: none"> • Attache de remorquage trop haute • Circulation sur terrain encombré (souches...) • Absence de contrepoids à l'avant 		
		Charge trop lourde	<ul style="list-style-type: none"> • Pente abrupte (monter) • Déplacement du CG par l'ajout d'équipements • Attache de remorquage trop haute • Absence de contrepoids à l'avant 	<ul style="list-style-type: none"> • Lestage de l'avant [BEAUCHAMP, Y. et al., 1992] [CSST, UPA] 	
		Départ brusque	<ul style="list-style-type: none"> • Pente abrupte (monter) 		
		Charge de remorque mal équilibrée (poids vers l'avant)			
		Renversement vers l'avant (basculement)	Défaillance mécanique		
	Écrasement de l'opérateur par le tracteur (renversement)	Éjection de l'opérateur hors du poste de conduite lors d'un renversement			<ul style="list-style-type: none"> • Cabine [GIRARD, S. et al. 1992] • Structure de protection à 2 montants arrière [WEISS, J.M. et al., 1991]
		Absence de structure de protection	<ul style="list-style-type: none"> • Structure de protection enlevée 	<ul style="list-style-type: none"> • Cabine • Structure de protection [GIRARD, S. et al. 1992] [FRITZ, E.A., et al. 1991] • Structure de protection repliable [JENKINS, G.W., 1992] 	
		Ouverture des portes de la cabine sous impact			
		Déformation excessive ou bris de la structure de protection			
		Omission du port de la ceinture de sécurité	<ul style="list-style-type: none"> • Absence de ceinture de sécurité • Ceinture contraignante 	<ul style="list-style-type: none"> • Formation et information [GIRARD, S. et al. 1992] • Ceinture de sécurité moins contraignante [BEAUCHAMP, Y. et al., 1992] 	
		Renversement complet			<ul style="list-style-type: none"> • Structure empêchant les tonneaux (à l'envers) [CHRISTOFFERSEN, J.L., 1989] [JACKSON, W.C., 1985]
		Choc ou écrasement d'une personne par les équipements	Personne à proximité des équipements		<ul style="list-style-type: none"> • Équipement en fonction et opérateur hors du tracteur • Travail à plusieurs • Circulation piétonnière importante
	Erreurs de communication et de coordination			<ul style="list-style-type: none"> • Bruit excessif 	

TABLEAU 1 RISQUES DE NATURE MÉCANIQUE (suite)

Types de risques	Risques identifiés	Causes possibles	Potentiels de danger	Solutions répertoriées [références]
Risques d'écrasement et/ou Risques de chocs (suite)	Écrasement d'une personne par le tracteur en mouvement	Mauvaise visibilité	<ul style="list-style-type: none"> Mauvaise conception du poste de conduite Structure de protection trop encombrante (visuellement) Essuie-glace inefficaces Vitres sales ou endommagées Mauvais éclairage 	<ul style="list-style-type: none"> Silencieux et prise d'aire sous le capot [KETTERLING, E., 1984] Tuyau d'échappement positionné derrière un des montants de la cabine [KETTERLING, E., 1984]
		Chute d'une personne transportée	<ul style="list-style-type: none"> Transport de passagers 	
		Erreur de conduite	<ul style="list-style-type: none"> Fatigue de l'opérateur Attention divisée entre pilotage et rétrovision 	<ul style="list-style-type: none"> Conception plus ergonomique des commandes [SUUTARINEN, J. 1992]
		Erreurs de communication et de coordination	<ul style="list-style-type: none"> Bruit excessif 	
		Malaise de l'opérateur	<ul style="list-style-type: none"> Opérateur en mauvaise santé Fatigue de l'opérateur 	
		Frein de stationnement non engagé	<ul style="list-style-type: none"> Frein de stationnement défectueux 	
		Mouvement intempestif du tracteur	<ul style="list-style-type: none"> Tracteur laissé en marche sans conducteur Démarrage du moteur en dehors du poste de contrôle Possibilité de démarrage avec transmission engagée 	
	Écrasement d'une personne entre le tracteur ou un équipement et un autre objet	Mauvaise visibilité	<ul style="list-style-type: none"> Mauvaise conception du poste de conduite Structure de protection trop encombrante (visuellement) Essuie-glace inefficaces Vitres sales ou endommagées Mauvais éclairage 	<ul style="list-style-type: none"> Silencieux et prise d'aire sous le capot [KETTERLING, E., 1984] Tuyau d'échappement positionné derrière un des montants de la cabine [KETTERLING, E., 1984]
		Vitesse excessive		
		Erreur de conduite	<ul style="list-style-type: none"> Fatigue de l'opérateur Attention divisée entre pilotage et rétrovision 	<ul style="list-style-type: none"> Conception plus ergonomique des commandes [SUUTARINEN, J. 1992]
		Frein de stationnement non serré à l'arrêt	<ul style="list-style-type: none"> Frein de stationnement défectueux 	
		Mouvement intempestif du tracteur	<ul style="list-style-type: none"> Tracteur laissé en marche sans conducteur Démarrage du moteur en dehors du poste de contrôle Possibilité de démarrage avec transmission engagée 	
		Erreurs de communication	<ul style="list-style-type: none"> Bruit excessif 	
	Écrasement d'une personne par la chute d'un objet transporté par le tracteur	Erreur de manipulation	<ul style="list-style-type: none"> Mauvaise conception des commandes Fatigue de l'opérateur 	
		Personne à proximité du tracteur	<ul style="list-style-type: none"> Travail à plusieurs 	
	Collision avec un autre véhicule	Vitesse excessive		
		Défaillance mécanique		
		Erreur de conduite	<ul style="list-style-type: none"> Fatigue de l'opérateur Attention divisée entre pilotage et rétrovision Circulation fréquente voies rapides 	<ul style="list-style-type: none"> Gyrophare [visites]
		Mauvaise visibilité	<ul style="list-style-type: none"> Mauvaise conception du poste de conduite Structure de protection trop encombrante (visuellement) Essuie-glace inefficaces Vitres sales ou endommagées Mauvais éclairage Intersections inadéquates (entre bâtiments...) 	

TABEAU 1 RISQUES DE NATURE MÉCANIQUE (suite)

Types de risques	Risques identifiés	Causes possibles	Potentiels de danger	Solutions répertoriées [références]	
Risques de chute ou de glissade de personnes	Chute lors de l'accès ou de la descente au/du poste de conduite	Glissade sur le marchepied	<ul style="list-style-type: none"> • Fréquentes montées et descentes du poste de conduite • Mauvaise conception des portes de la cabine • Présence de glace, neige, boue sur les marches 	<ul style="list-style-type: none"> • Échelle ergonomique [HAMMER, W., et al., 1992] 	
		Empoigner le tuyau d'échappement	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise conception des marches d'accès 		
		Pied pris dans un endroit exécut	<ul style="list-style-type: none"> • Marches glissantes • Marches endommagées 		
		Prises mal saisies	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise conception du poste de conduite 		
		Débalancement du corps	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise conception des prises (poignées) 		
		Saut du poste de conduite	<ul style="list-style-type: none"> • Sol glissant 		
Risques d'entraînement ou d'emprisonnement	Entraînement par la prise de force (PDF) ou Entraînement par l'arbre d'un équipement attaché à la PDF	Entraînement des vêtements	<ul style="list-style-type: none"> • Vêtements lâches • Absence de garde de PDF • Garde de PDF amovible • Arbres de transmission non recouverts • Joints non recouverts 	<ul style="list-style-type: none"> • Formation et information [BEAUCHAMP, Y. et al., 1992] • Gardes de protection • Arrêt d'urgence de la PDF à l'arrière [visites] 	
		Personne à proximité de la PDF	<ul style="list-style-type: none"> • PDF en fonction et opérateur hors du tracteur • Travail à plusieurs • Mauvaise perception des risques • Absence de commande du système de levée hydraulique à l'arrière 		<ul style="list-style-type: none"> • Siège à détection de présence [JENKINS, G.W., 1992] • Arrêt auto de la PDF à bas régime [JENKINS, G.W., 1992] • Commande de l'hydraulique des deux côtés à l'arrière [ENDRESS, D.K., 1992]
		Démarrage intempestif de la PDF			
	Entraînement par composantes mobiles du moteur	Entraînement des vêtements	<ul style="list-style-type: none"> • Vêtements lâches 		
		Composantes mobiles non recouvertes		<ul style="list-style-type: none"> • Moteur complètement enfermé [KETTERLING, E., 1984] 	
		Personne à proximité du moteur	<ul style="list-style-type: none"> • Tracteur en marche et opérateur hors du tracteur • Travail à plusieurs 		
	Entraînement par composantes mobiles des équipements	Entraînement des vêtements	<ul style="list-style-type: none"> • Vêtements lâches 		
		Composantes mobiles non recouvertes			
		Personne à proximité des équipements	<ul style="list-style-type: none"> • Équipement en fonction et opérateur hors du tracteur • Travail à plusieurs 		

TABLEAU 1 RISQUES DE NATURE MÉCANIQUE (suite)

Types de risques	Risques identifiés	Causes possibles	Potentiels de danger	Solutions répertoriées [références]	
Risques de cisaillement, de coupure, de sectionnement et/ou de happement	Partie du corps happée ou écrasée	Composantes mobiles non protégées		• Moteur complètement enfermé [KETTERLING, E., 1984]	
		Mouvement intempestif du système de levée hydraulique 3 points		• Commandes hydrauliques électroniques [HENKE, R., 1987] • Mise au neutre des commandes hydrauliques à l'arrêt du moteur [JENKINS, G.W., 1992] [KETTERLING, E., 1984] [OTTEN, L.R., et al. 1990]	
		Accrochage et décrochage d'équipements		• Système d'attache rapide [SUUTARINEN, J. 1992]	
	Happement par un équipement	Composantes mobiles non recouvertes			
		Personne à proximité de l'équipement		• Équipement en fonction et opérateur hors du tracteur • Travail à plusieurs	
Risques d'éjection de fluide sous pression	Éclatement d'un boyau de fluide hydraulique				

TABLEAU 2 RISQUES DE NATURE ÉLECTRIQUE

Types de risques	Risques identifiés	Causes possibles	Potentiels de danger	Solutions répertoriées [références]
Risques de contacts de personnes avec des parties actives (normalement ou non)	Contact du tracteur avec lignes électriques	Lignes électriques trop basses	• Travail avec chargeuse	

TABLEAU 3 RISQUES DE NATURE THERMIQUE

Types de risques	Risques identifiés	Causes possibles	Potentiels de danger	Solutions répertoriées [références]	
Risques de projection de flammes et d'explosion	Incendie dans le tracteur ou Incendie déclenché par le tracteur	Production d'étincelles par le tracteur	• Présence de matières inflammables sur les éléments du tracteur	• Extincteur dans le tracteur [AYERS, P.D. 1989]	
		Production de chaleur par le moteur du tracteur	• Présence de matières inflammables sur le sol ou autour du tracteur		
		Production de chaleur par le silencieux du tracteur			
		Production de flammes par le tracteur	• Silencieux défectueux		
	Explosion du carburant	Fuite de carburant lors du remplissage d'un réservoir			
		Surchauffe du réservoir de carburant Fuite du réservoir de carburant			
Risques pour la santé engendrés par un environnement de travail chaud ou froid	Exposition de l'opérateur à la chaleur	Transmission de la chaleur du moteur à l'opérateur			
	Exposition de l'opérateur à un environnement chaud ou froid			• Cabine fermée et tempérée [visites]	

TABLEAU 4 RISQUES ENGENDRÉS PAR LE BRUIT

Types de risques	Risques identifiés	Causes possibles	Potentiels de danger	Solutions répertoriées [références]
Risques de troubles de l'équilibre ou de la vigilance et/ou Risques de détérioration permanente de l'acuité auditive et/ou Risques d'interférence avec la parole ou les signaux acoustiques	Exposition de l'opérateur au bruit	Moteur bruyant		• Cabine isolée [BEAUCHAMP, Y. et al., 1992]
		Équipements bruyants		
	Interférence avec les signaux auditifs			

TABLEAU 5 RISQUES ENGENDRÉS PAR LES VIBRATIONS

Types de risques	Risques identifiés	Causes possibles	Potentiels de danger	Solutions répertoriées [références]
Risques de fatigue de l'opérateur et/ou Risques pour la santé de l'opérateur	Exposition de tout le corps de l'opérateur aux vibrations	Circulation sur terrain accidenté	<ul style="list-style-type: none"> • Suspension inadéquate • Mauvaise pression des pneus arrière • Circulation à vitesse élevée 	<ul style="list-style-type: none"> • Siège avec amortissement dynamique des vibrations [BEAUCHAMP, Y. et al., 1992] • Cabine à suspension évoluée [DUGUET, E., 1993]

TABLEAU 6 RISQUES ENGENDRÉS PAR LES MATÉRIAUX ET PRODUITS

Types de risques	Risques identifiés	Causes possibles	Potentiels de danger	Solutions répertoriées [références]
Risques de contacts de personnes avec des matériaux ou des produits	Exposition de l'opérateur aux pesticides			• Cabine fermée [visites]
Risques d'inhalation	Exposition de l'opérateur aux gaz d'échappement	Émission de gaz de combustion polluants		• Microfiltres spéciaux sur tuyau d'échappement [BEAUCHAMP, Y. et al., 1992]

TABLEAU 7 RISQUES ENGENDRÉS PAR LE NON RESPECT DES PRINCIPES ERGONOMIQUES

Types de risques	Risques identifiés	Causes possibles	Potentiels de danger	Solutions répertoriées [références]
Risques d'effets physiologiques sur des personnes dus à des postures défectueuses	Maux de cou ou de dos (lombalgie, dorsalgie, cervicalgie)	Manipulation manuelle d'objets lourds dans le cadre du travail avec le tracteur		
		Mouvement de torsion de la tête		
		Postures statiques		
		Mouvement de torsion du dos		• Siège pivotant à 20° [BEAUCHAMP, Y. et al., 1992]
	Effets combinés de mauvaises postures et de vibrations			
Risques d'effets psychophysiologiques	Risque de réduction de l'habileté à la conduite ou de diminution de l'attention	Effets combinés des émanations, des vibrations, du bruit, du froid, ou de la chaleur		
Risques d'erreurs humaines	Risque de réactions inadéquates	Surcharge psychologique	<ul style="list-style-type: none"> • Circulation à haute vitesse • Problèmes de santé 	<ul style="list-style-type: none"> • Système auto de détection et de prévention des situations à haut potentiel de renversement [MURPHY, D.J., et al., 1985] • Système d'avertissement de l'opérateur des situations à haut potentiel de renversement des situations à haut potentiel de renversement [MURPHY, D.J., et al., 1985]

ANNEXE 2

MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE DE L'ANALYSE FONCTIONNELLE

Définition et principes de base de l'analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle est une méthode systématique d'expression des besoins qu'un produit, un système ou un processus doit rencontrer **en termes d'usages et non de moyens** pour satisfaire un utilisateur¹. Elle permet de faire abstraction de solutions ou de moyens pour bien cerner les véritables enjeux. C'est donc une analyse systématisée du produit et des besoins des utilisateurs. De façon générale, lorsqu'un problème est complexe, il est avantageux de le décomposer en plusieurs parties au lieu de l'attaquer de front. Avec l'analyse fonctionnelle, le même principe est appliqué; face au besoin qui est souvent complexe et flou, on le décompose en passant par les fonctions à remplir pour satisfaire ce besoin.

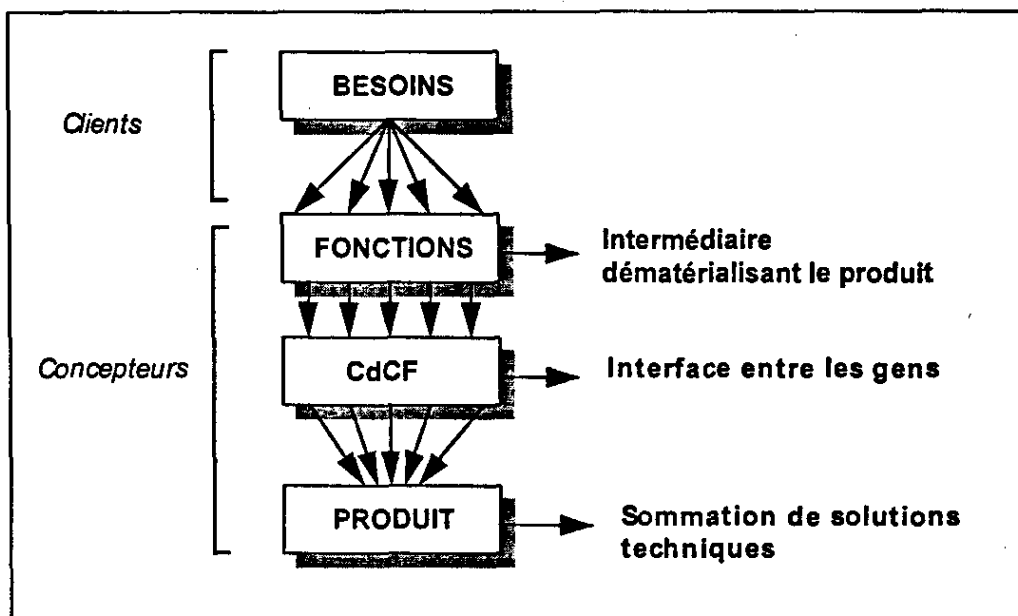


Figure 1 Relations besoins - fonctions - produit.

De façon générale, il existe certaines attractions ou impulsions qui poussent un client vers un produit. Le client éprouve donc un besoin, un désir ou une nécessité. Dans le but de satisfaire ce besoin, les concepteurs auront à concevoir un produit. Pour ce faire, l'analyse fonctionnelle propose un intermédiaire servant à dématérialiser le produit, soit

¹VALOREX inc. (1993) *Programme de formation à l'analyse de la valeur*, Longueuil, Valorex inc., 93 p.

les fonctions. Les fonctions sont, par définition, les actions d'un produit, ou de l'un de ses constituants, exprimées en terme de finalité en faisant abstraction de toute référence à des solutions. Après avoir identifié ces fonctions, un cahier des charges fonctionnel (CdCF) peut être rédigé pour diriger la conception du produit à l'intérieur de l'entreprise, ou servir de document de référence pour la conception entre l'entreprise et ses sous-traitants. Le produit fourni au client sera une réponse technologique au besoin par l'intermédiaire des fonctions assurées.

La démarche de l'analyse fonctionnelle se décompose en cinq phases. Ces dernières consistent à **rechercher, ordonner, caractériser, hiérarchiser et valoriser** les fonctions de service d'un produit. Les trois premières étapes représentent la formulation fonctionnelle, et les deux dernières représentent l'évaluation fonctionnelle. Dans le cadre de ce projet, et selon le processus de réalisation de produit proposé, les deux premières étapes seulement ont été réalisées.

Rechercher les fonctions

Cette étape consiste à identifier les fonctions d'un produit et à rédiger l'énoncé de chaque fonction. Les fonctions sont exprimées par deux mots seulement:

- un verbe actif qui précise l'action de la fonction
- un nom qui précise sur quoi agit la fonction

exemple: Supporter un poids
 Résister au gel

On exprime les fonctions par deux mots d'abord pour obliger à penser en termes d'usages et non de solutions. De plus, cette formulation exige de la précision et force à décomposer le problème ou le produit en ses éléments les plus simples. Ceci permet d'éviter la combinaison de fonctions, de réduire les malentendus et oblige à penser plus

profondément. Il est à remarquer que les fonctions sont indépendantes des solutions et qu'une composante peut avoir plus d'une fonction.

Au niveau de la recherche des fonctions, il existe différents outils ou méthodes en fonction des contextes d'étude. La figure suivante présente donc une liste de ces différentes méthodes.

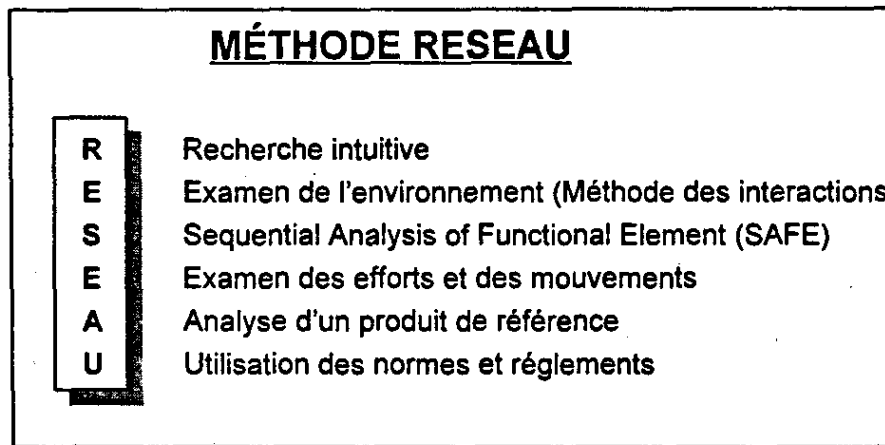


Figure 2 Les méthodes de recherche des fonctions ².

Pour les fins du présent projet, la **méthode de l'examen de l'environnement (méthode des interactions)** a été utilisée. Cette méthode consiste tout d'abord à trouver et définir en groupe l'ensemble des interacteurs du produit. Ces interacteurs sont les éléments internes ou externes qui forment l'environnement du produit dans ces conditions d'utilisation et qui agissent ou créent des relations avec celui-ci. Ces éléments peuvent être composés d'individus ou de choses qui sont en relations directes ou indirectes avec le produit durant tout son cycle de vie

Ordonner les fonctions

Cette étape consiste à regrouper les fonctions par famille (groupes fonctionnels ou systèmes) et à analyser les interdépendances entre elles. Pour réaliser cet

²VALOREX inc. (1993) *Programme de formation à l'analyse de la valeur*, Longueuil, Valorex inc., 93 p.

ordonnancement, il existe un outil très puissant utilisé en Europe, appelé l'arbre fonctionnel. Ce dernier est un graphe qui permet d'ordonner entre elles les différentes fonctions identifiées, de développer l'analyse fonctionnelle (exploitation descriptive pour les produits existants ou créative par l'arborescence) et de représenter l'analyse fonctionnelle et les interdépendances entre les fonctions. Cela permet des niveaux d'explicitation conscients en contrôlant l'arborescence de l'arbre. Plus l'arborescence sera grande, plus on détaillera, plus on émettra des fonctions techniques et plus on limitera la liberté du concepteur.

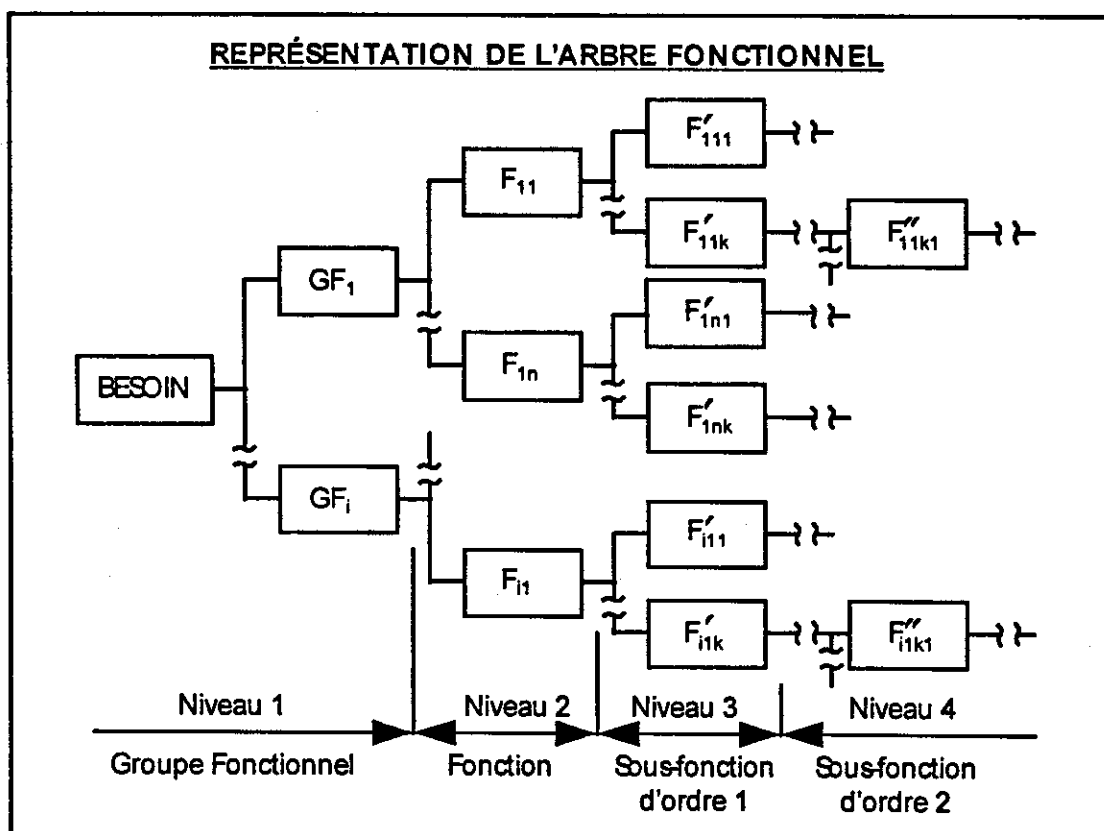


Figure 3 L'arbre fonctionnel³

Ce diagramme permet l'organisation des fonctions, identifie les caractéristiques fondamentales du sujet, stimule la créativité et fait ressortir les fonctions inutiles et

³BRUN, G. (1993) *Analyse fonctionnelle et le cahier des charges fonctionnel, notes de cours.*

manquantes. L'élaboration de l'arbre fonctionnel est basée sur deux questions principales s'adressant aux fonctions, soit:

- 1- Comment réalise-t-on la fonction ?
- 2- Pourquoi réalise-t-on la fonction ?

Par rapport à une fonction définie, il faut placer à gauche celle qui répond à la question "pourquoi" et à droite celle qui répond à la question "comment".

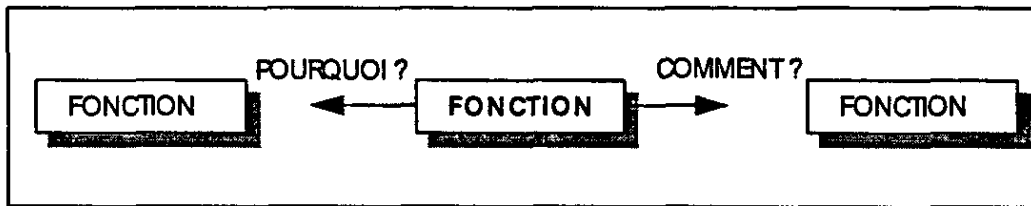


Figure 4 L'élaboration de l'arbre fonctionnel.

On construit l'arbre en passant du niveau N au niveau N+1 en répondant à la question COMMENT ? Et on valide la construction en passant du niveau N+1 au niveau N en répondant à la question POURQUOI ?

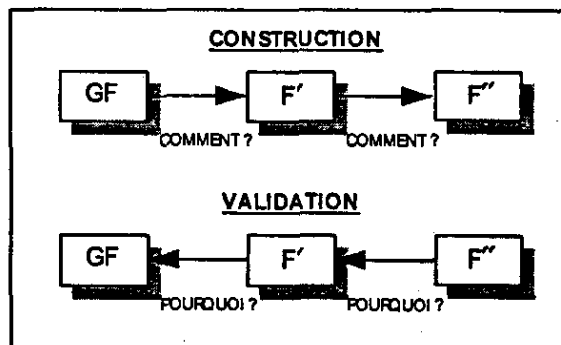


Figure 5 L'élaboration et la validation de l'arbre fonctionnel.

ANNEXE 3

DÉFINITION DES INTERACTEURS DES SYSTÈMES CHOISIS

Interacteurs des principaux systèmes

<u>Poste de conduite</u>	<u>Prise de force</u>	<u>Système de freinage</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Aide à l'opérateur • Animaux • Attelage 3 points • Autres personnes • Autres véhicules • Balles de foin • Barre d'attache • Bâtiments • Branches • Brouillard • Bruit • Chaleur • Commandes • Convoyeurs • Enfants • Équipements arrière • Équipements avant • Fils électriques • Fossés • Froid • Glace • Insectes • Instrumentation • Nature du sol • Neige • Opérateur • Plans d'eau • Pluie • Pneus • Ponceaux • Poussière • Prise de force • Produits chimiques • Rigoles • Soleil • Structure • Topographie • Vêtements • Voie ferrée 	<ul style="list-style-type: none"> • Aide à l'opérateur • Arbres de transmission • Attelage 3 points • Autres personnes • Barre d'attache • Boue • Branches • Eau • Enfants • Équipements arrière • Équipements avant • Fossés • Froid • Glace • Graisse • Matière ligneuse • Neige • Noirceur • Opérateur • Pluie • Pneus • Rouille • Structure • Système de freinage • Terre • Transmission • Usure • Vêtements 	<ul style="list-style-type: none"> • Autres véhicules • Chaleur • Équipements arrière • Équipements avant • Froid • Glace • Nature du sol • Neige • Pluie • Poussière • Produits chimiques • Rouille • Suspension des roues • Topographie • Usure

Interacteurs de tous les systèmes de commandes et d'instrumentation

<ul style="list-style-type: none">• Aide à l'opérateur• Autres personnes• Branches• Brouillard• Chaleur• Enfants• Équipements arrière	<ul style="list-style-type: none">• Équipements avant• Froid• Garde-boue• Glace• Impact• Motorisation• Neige	<ul style="list-style-type: none">• Noirceur• Opérateur• Pluie• Poste de conduite• Poussière• Prise de force• Produits chimiques	<ul style="list-style-type: none">• Soleil• Structure• Système de freinage• Système hydraulique• Transmission• Vêtements• Vibrations
---	--	--	--

Interacteurs supplémentaires

<p><u>Commandes de freinage</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Direction	<p><u>Instrumentation de la prise de force</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Arbre de la PDF• Bruit• Capteurs
--	--

DÉFINITION DES INTERACTEURS

Aide à l'opérateur:	Personne qui assiste l'opérateur du tracteur dans ses diverses occupations.
Animaux:	Animaux de ferme ou autres animaux qui peuvent se trouver autour du tracteur.
Arbre de la PDF:	L'arbre de prise de force peut être indépendant à 540, 750 ou 1000 RPM ou plus, proportionnel à l'avancement, à 6 ou 21 cannelures, à l'avant ou à l'arrière.
Arbres de transmission:	Arbres de transmission des équipements qui se branchent à la PDF.
Attelage 3 points	L'attelage à trois points, assisté hydrauliquement, permettant l'attachement et la traction d'outils.
Autres personnes:	Autres personnes que l'opérateur et son aide qui peuvent avoir un contact avec le tracteur.
Autres véhicules:	Autres véhicules moteurs qui peuvent se trouver dans l'entourage du tracteur.
Balles de foin:	Les balles de foin traditionnelles, cylindriques ou rectangulaires.
Barre de traction:	Barre longitudinale au tracteur qui permet l'attache d'équipement remorqués.
Bâtiments:	Les bâtiments dans lesquels ou autour desquels peut se trouver un tracteur.
Boue:	Amalgame de terre pouvant être humide ou séchée.
Branches:	Branches de diamètre généralement inférieur à 2.5 cm, de différentes longueurs et de différentes essences.
Brouillard:	Eau sous forme de vapeur ou de fine bruine en suspension dans l'air.
Bruit:	Bruit émanant ou rayonnant des différents systèmes et de leurs interactions lors de l'opération du tracteur.
Capteurs:	Éléments servant à recueillir de l'information (vitesse, température, RPM, etc.).
Chaleur:	Chaleur ambiante ou susceptible d'être dégagée par les différents systèmes du tracteur.
Clôtures:	Clôtures de différents matériaux, électrifiées ou non.
Commandes:	Comprend les commandes (manuelles ou automatiques) de tous les systèmes à l'intérieur ou à l'extérieur du poste de conduite, les manettes et boutons, et les systèmes électroniques.
Convoyeurs:	Équipement servant à faire monter les produits de la ferme (fumier, foin, grain) à un site de stockage en hauteur.
Direction:	Système comprenant le volant et le mécanisme de direction.
Eau:	H ₂ O liquide pouvant s'accumuler ou s'infiltrer dans les systèmes du tracteur.

Enfant:	Personne de 6 mois à 12 ans pouvant se trouver autour, sur ou dans le tracteur.
Équipements arrière:	Équipements attachés ou attelés à l'arrière du tracteur (remorque, faucheuse, voiture, convoyeur, etc..)
Équipements avant:	Équipements attachés ou attelés à l'avant du tracteur.
Fils électriques:	Fils électriques aériens ou souterrains.
Fossés:	Tranchées longitudinales de profondeurs variables servant à recueillir et à diriger le surplus d'eau contenue dans la terre, et autour desquelles doit évoluer le tracteur.
Froid:	Basse température à laquelle sont susceptibles d'évoluer les différents systèmes du tracteur.
Garde-boue:	Éléments recouvrant les roues arrière du tracteur et servant principalement à empêcher la projection de terre, de roches ou de boue par les roues en rotation.
Glace:	Glace pouvant se former sur les différents systèmes du tracteur et pouvant nuire à son fonctionnement.
Graisse:	Produits servant à diminuer la friction entre deux surfaces mobiles.
Huile:	Produits servant à diminuer la friction entre deux surfaces mobiles et pouvant s'accumuler et former une pâte dure si mélangée avec de la terre.
Interface homme/machine:	Élément de contact (tactile, auditif ou visuel) entre l'homme et la machine.
Impact:	Choc résultant de la collision entre, par exemple, le tracteur et un équipement ou occasionné par les inégalités du sol.
Insectes:	Insectes pouvant se trouver dans l'environnement du tracteur et pouvant s'infiltrer dans ses systèmes ou gêner l'opérateur.
Instrumentation:	Comprend les cadrans et les jauges qui fournissent de l'information à l'opérateur ou au personnel d'entretien sur tous les systèmes du tracteur.
Liens:	Éléments de liaison (électrique, hydraulique, etc.) entre les éléments de commande ou d'instrumentation d'un système du tracteur.
Matière ligneuse:	Bois, branches, arbustes, paille, foin, herbes longues, etc.
Motorisation:	Comprend le moteur et ses principaux sous-systèmes.
Nature du sol:	Asphalte, terre, boue, glaise, glacé, enneigé, herbes longues, etc..
Neige:	Neige de diverses consistances pouvant s'accumuler sur le tracteur ou les équipements.
Noirceur:	État d'éclairage naturel insuffisant au travail sécuritaire.

Opérateurs:	Personnes responsables d'inspecter, de préparer, de mettre en marche et d'opérer le tracteur et ses systèmes.
Plan d'eau:	Étendue d'eau de profondeur variable, avec ou sans courant, gelée ou non.
Pluie:	Précipitation liquide d'eau atmosphérique sous forme de gouttes pouvant survenir dans l'environnement de fonctionnement et de déplacement du tracteur et pouvant s'accumuler sur ou dans les systèmes de celui-ci.
Pneus:	Éléments du système de transmission servant à la traction sur le sol, à donner une certaine suspension et à donner un contrepoids au tracteur.
Ponceaux:	Structure de faible longueur permettant au tracteur de passer par-dessus une dépression du sol ou un cours d'eau. L'angle de descente ou de montée vers un ponceau est généralement assez prononcé.
Poste de conduite:	Comprend l'accès, la structure de protection, le siège, la cabine et ses accessoires, les miroirs, etc.
Poussière:	Fines particules soulevées du sol qui peuvent être en suspension dans l'air, gêner les personnes ou s'infiltrer dans les systèmes du tracteur.
Prise de force:	Système comprenant les arbres de prises de force (indépendante à 540, 750 ou 1000 RPM ou plus, proportionnel à l'avancement, 6 ou 21 cannelures, avant, arrière), et leurs gardes.
Produits chimiques:	Substances généralement liquides pouvant attaquer les composantes du tracteur ou présenter des risques pour la santé des personnes.
Rigoles:	Petits fossés.
Rouille:	Corrosion des composantes en acier ou en fonte du tracteur et pouvant nuire à leur bon fonctionnement.
Structure:	Comprend le châssis du tracteur et les éléments permettant l'ajout d'accessoires (ex. chargeuse).
Soleil:	Le soleil, pouvant altérer certaines composantes du tracteur, gêner la vision de l'opérateur ou occasionner des brûlures.
Suspension des roues:	Mécanisme de suspension du tracteur.
Suspension du poste de conduite:	Éléments permettant d'isoler, du moins en partie, le poste de conduite des vibrations occasionnées par le tracteur ou les inégalités du sol.
Système de freinage:	Comprend la mécanique et l'hydraulique des freins, incluant le frein à main.
Système hydraulique	Comprend les pompes, canalisations et accessoires (ex. clapets antiretour), et connexions pour les accessoires hydrauliques.
Terre	Tous les types de terreaux recouvrant le sol et pouvant s'accumuler sur les composantes du tracteur.

Topographie	Géométrie du terrain (pente montante, descendante, latérale, inégalités du sol, labour, etc..)
Transmission	Comprend l'embrayage, la transmission, les différentiels, les roues, etc..
Usure	Phénomène de dégradation des matériaux généralement occasionné par le contact de surfaces en mouvement et pouvant nuire au bon fonctionnement des systèmes du tracteur.
Vêtements	Vêtements d'été ou d'hiver, incluant les chaussures et les gants ou mitaines, des personnes se trouvant dans l'environnement du tracteur.
Vibrations	Mouvement oscillatoire rapide et périodique d'un système autour de sa position d'équilibre.
Voie ferrée	Rails de chemin de fer (à passage à niveau ou non) dans l'environnement du tracteur agricole.

ANNEXE 4

ARBRES FONCTIONNELS DES SYSTÈMES CHOISIS

