

Genres et agriculture : exigences en matière de force d'actionnement des machines (agricoles)

Katharina von Rymon Lipinski*, **Patrick Serafin**** et **André Klußmann****

*Commission pour la santé et la sécurité au travail et la normalisation (KAN) Sankt Augustin, Allemagne

**Institut de médecine du travail, d'ingénierie de sécurité et d'ergonomie (ASER), Wuppertal, Allemagne

Contexte

Le machinisme agricole a beaucoup évolué ces deux dernières décennies, les dimensions devenant plus grandes et le nombre d'éléments technologiques plus important. Sur certaines machines, les manœuvres sont assistées mécaniquement. Cependant, sur un pourcentage appréciable de machines, des opérations complètement manuelles sont encore nécessaires. Les opérateurs des équipements agricoles doivent exercer une certaine force pour manipuler des leviers, ouvrir des trappes, retirer des couvercles, positionner des échelles et les verrouiller, ou pour manipuler d'autres parties mobiles des machines.

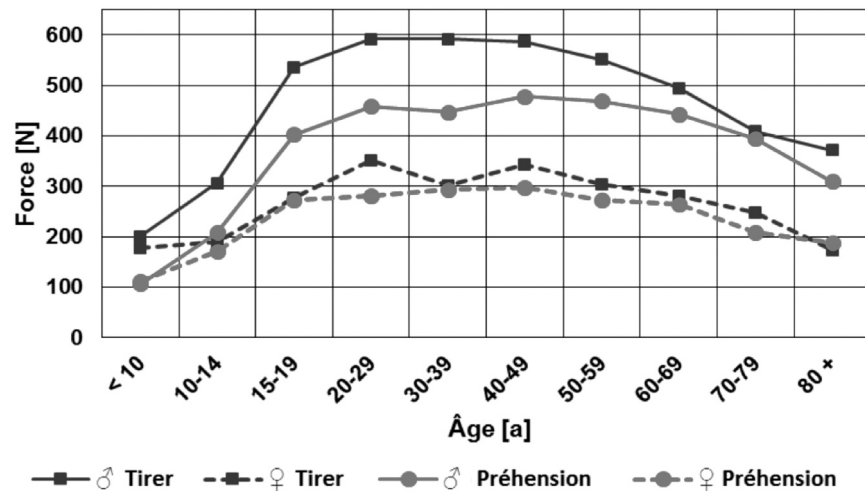
Par exemple :

- sur certaines moissonneuses, le broyeur de paille doit être ajusté manuellement, ce qui requiert beaucoup de force ;
- le réservoir de maïs s'ouvre et se ferme manuellement, ce qui nécessite aussi beaucoup de force ;
- lors de l'entretien de la machine, il faut pouvoir déplacer des échelles, ouvrir et fermer les trappes latérales et actionner des leviers (qui peuvent avoir rouillé avec le temps).

Les normes nationales et internationales sur le matériel agricole (par ex. ISO 4254 (ISO 2013-2019)) fournissent des indications claires quant aux exigences auxquelles sont soumises ces machines. Lors du processus de révision des normes, les experts en santé et sécurité au travail (SST) du comité de normalisation ont constaté que les exigences concernant les forces d'actionnement devaient être revues. Certaines normes stipulent que la force à exercer ne peut excéder 400 Newton (N). Or, les valeurs de 250 N comme force moyenne et 400 N comme force maximale semblent dépasser les capacités physiques de nombreux opérateurs. À titre d'exemple, en moyenne, la majorité des femmes n'est pas capable d'exercer une force de 400 N (voir figure 1). En général, lorsqu'il s'agit de déterminer quelles sont les forces maximales autorisables, il conviendrait de tenir compte de l'impact du sexe de l'opérateur et de son âge sur sa force physique. Une étude réalisée par Serafin *et al.* (2015) démontre qu'en moyenne les femmes atteignent 66 % de la force maximale des hommes. Il convient également de tenir compte du fait que la force diminue avec l'âge. En outre, les valeurs citées dans les normes ne reposent sur aucune base

scientifique (connue). Par ailleurs, à ce jour, aucune méthode de mesure qui permettrait aux fabricants ou aux inspecteurs des gouvernements de mesurer les forces d'actionnement de façon simple, peu coûteuse et néanmoins reproductible n'a été décrite.

Figure 1 Impact de l'âge et du sexe sur les forces de traction et de préhension (n=1,207)



Source : En accord avec Serafin *et al.* 2015

Afin d'établir une base solide qui permettrait de définir le contenu des normes, la Commission pour la sécurité et la santé au travail et la normalisation (KAN) a chargé l'institut de médecine du travail, d'ingénierie de sécurité et d'ergonomie (ASER) de Wuppertal (en Allemagne) de réaliser une étude sur les forces d'actionnement.

Objectifs de l'étude

Les objectifs de l'étude étaient les suivants :

1. Dresser l'état des lieux des bases scientifiques et des technologies employées actuellement pour mesurer les forces d'actionnement ;
2. Développer et évaluer une procédure de mesure réalisable qui permettrait de mesurer des forces d'actionnement sur des machines (agricoles) de façon simple, peu coûteuse et reproductible ; et
3. Examiner si les forces d'actionnement maximales (400 N maximum et 250 N en moyenne), souvent reprises dans les normes ISO concernant les machines agricoles mobiles, sont réalistes (particulièrement selon le sexe de l'opérateur) d'un point de vue ergonomique.

Méthodes

Tout d'abord, l'équipe du projet a étudié plusieurs scénarii incluant des engins agricoles (leviers, trappes, capots, pinces, verrous et autres composantes mobiles). Des procédures de mesure manuelle et automatique ont été développées afin de déterminer les forces d'actionnement (voir figure 2). Les mesures ont été réalisées de plusieurs façons. Dans le cas de la procédure manuelle, plusieurs sujets équipés d'un appareil de mesure portatif ont effectué des contrôles et ont manipulé les parties mobiles des machines dans différentes postures et en exerçant une force dans plusieurs directions. Afin d'évaluer la validité des mesures effectuées manuellement par les sujets, des mesures comparatives ont également été réalisées à l'aide d'un treuil connecté à l'élément mobile à manipuler par le biais d'un transducteur de force (procédure de mesure automatique). Dans l'ensemble, ce sont plus de 700 mesures de différents éléments d'actionnement qui ont été effectuées et répétées, à la fois dans des conditions réelles et en laboratoire, conformément à la norme ISO 5725-2 (ISO 1994) portant sur l'exactitude des méthodes de mesure, leur répétabilité et leur reproductibilité.

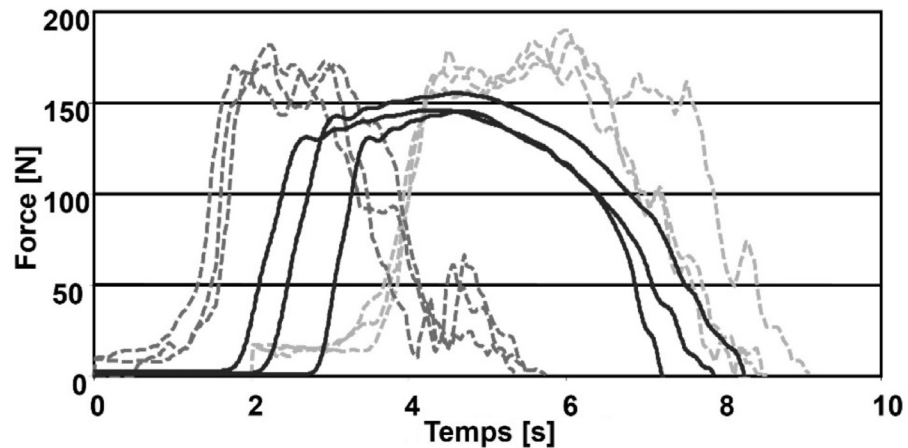
En outre, des mesures tridimensionnelles des forces physiques isométriques maximales dans des positions typiquement adoptées lors de l'actionnement des machines agricoles ont été réalisées par huit sujets (quatre femmes et quatre hommes) dans le but de déterminer quelles seraient les forces d'actionnement maximales réalistes pour des opérateurs hommes et femmes. Trois cas de sollicitations physiques (action d'un levier, ouverture et fermeture de trappes latérales et verrouillage d'une échelle) ont été examinés, chacun dans 3 à 15 positions représentatives des situations de manipulations manuelles, donnant lieu à plus de 3 000 mesures uniques dans 133 positions différentes.

Figure 2 Procédures automatique (haut) et manuelle avec deux examinateurs (bas)



Résultats

Figure 3 Courbe typique de la force dans le temps lors de la procédure manuelle pour trois mesures répétées effectuées par deux examinateurs différents (traits gris discontinus) et lors de la procédure automatique (traits noirs) pour le même objet de test



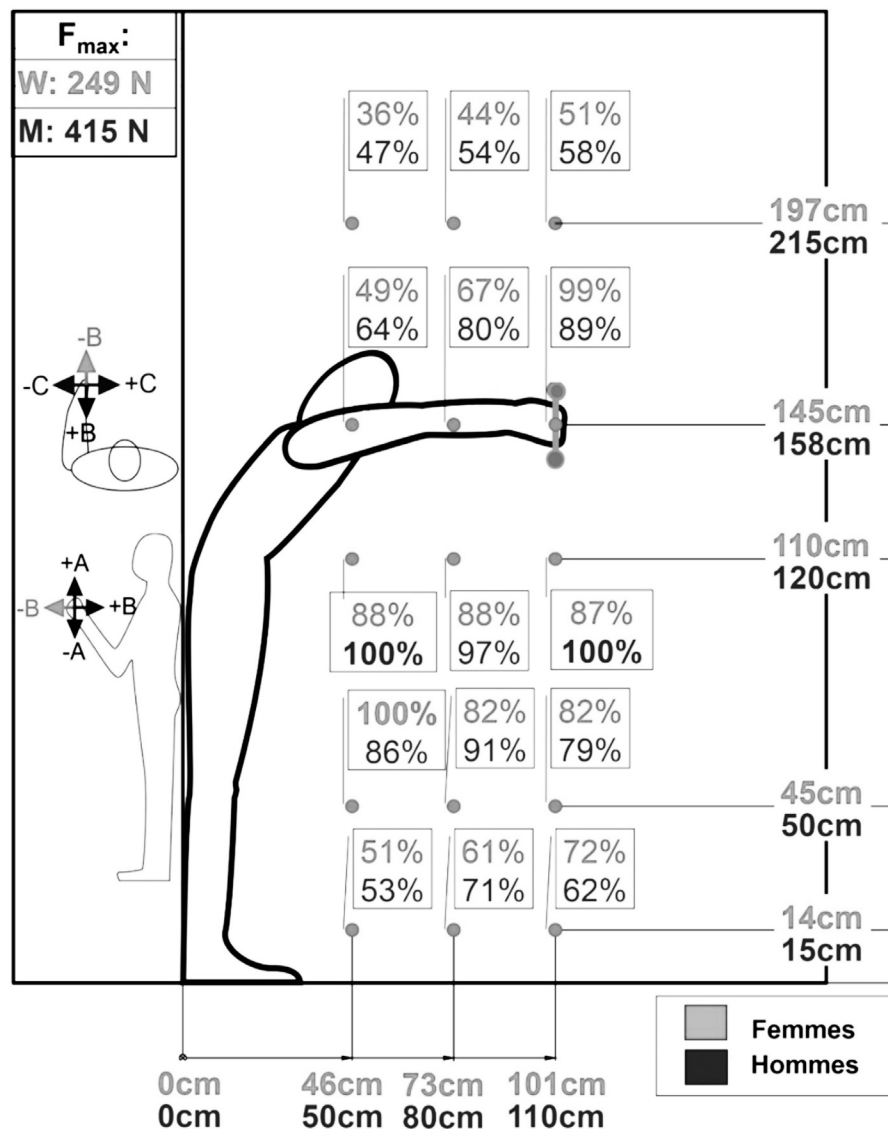
Les résultats moyens de répétabilité et de reproductibilité des mesures effectuées en conditions laboratoires sont repris dans le tableau 1. Les deux méthodes de mesure donnent des résultats généralement comparables. La procédure automatique donne un degré de précision plus élevé, tandis que la procédure manuelle est plus facile à appliquer, tout en fournissant des résultats exploitables et légèrement plus élevés que la procédure automatique. De plus, des tests ont démontré que la procédure manuelle devait impérativement être encadrée par des examinateurs expérimentés afin de donner des résultats précis.

Tableau 1 Moyennes des coefficients de variation (CV), de la répétabilité et de la reproductibilité pour l'ensemble des mesures de forces d'actionnement en laboratoire

	CV répétabilité moyenne	CV reproductibilité moyenne
Procédure automatique	2,8 %	2,9 %
Procédure manuelle	4,4 %	6,6 %

Les forces d'actionnement maximales réalistes pour des opérateurs hommes et femmes sont représentées dans la figure 4. Les résultats montrent que les sujets femmes atteignent une force maximale plus faible que les sujets hommes (environ 60 %). Selon la position physique, la direction de la force à exercer et les caractéristiques personnelles des opérateurs, il apparaît que les forces maximales d'actionnement, telles que citées dans les normes, sont trop élevées pour être exécutées par la plupart des opératrices et une partie des opérateurs hommes.

Figure 4 Résumé des forces de poussée à une seule main dans la zone de manutention humaine pour les sujets femmes et hommes



Note : Les valeurs exprimées en pourcentage correspondent au pourcentage de la force maximale dans la position la plus favorable (en haut à gauche).

Discussion

L'étude a confirmé ce que pressentaient les experts, c'est-à-dire que les valeurs annoncées dans les normes sont beaucoup trop élevées et correspondent à des forces que seule une poignée (minorité) d'individus serait capable d'exercer. Ces valeurs devraient également tenir compte des capacités physiques des femmes et des ouvriers agricoles plus âgés.

Le champ de cette étude ne permettait pas de déterminer quelles valeurs seraient adéquates pour quel scénario particulier et devraient être reprises dans les normes. Au vu de l'ensemble limité de données, les valeurs déterminées ne peuvent servir que de recommandations. Pour pouvoir déterminer des valeurs plus robustes, l'ensemble des données devrait être beaucoup plus important.

Néanmoins, l'étude fournit des recommandations constructives sur les instruments et les méthodes de mesure à employer. Les instruments portatifs connectés à un ordinateur fournissent des mesures fiables. Puisque leur coût n'est pas très élevé, ils pourraient très bien être utilisés par les autorités de surveillance du marché, ainsi que par les assurances accidents et les fabricants. Les résultats de cette étude peuvent aussi être transposés aux engins mobiles utilisés dans d'autres secteurs, comme les machines de chantier.

Conclusions pour la normalisation et la pratique

Les valeurs de force prises en compte dans les normes relatives aux machines agricoles sont trop élevées. La priorité est maintenant de poursuivre le développement de l'approche décrite dans l'étude. L'activité de normalisation exige soit des valeurs robustes fondées sur un ensemble étendu de données, soit elle doit rechercher d'autres solutions permettant de formuler des exigences, même en l'absence de valeurs spécifiques, afin de permettre à tous les utilisateurs de machines agricoles de travailler avec elles de manière sûre et ergonomique.

Le rapport complet de cette étude est disponible sur le site internet de KAN en allemand (Klußmann *et al.* 2013a) et en anglais (Klußmann *et al.* 2013b). Aucune étude n'a été publiée sur le sujet depuis 2013. Les normes publiées après 2013, notamment la norme 15077 2020 relative aux tracteurs et machines agricoles automotrices - Commandes de l'opérateur - forces de manoeuvre, déplacements, emplacements et mode de fonctionnement, ne prennent pas en compte les résultats de cette étude.

Références

- ISO (1994) ISO 5725-2 : 1994. Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure – Partie 2 : Méthode de base pour la détermination de la répétabilité et de la reproductibilité d'une méthode de mesure normalisée, Genève, Organisation internationale de normalisation.
- ISO (2013-2018) ISO 4254. Matériel agricole – Sécurité - Parties 1 à 16, Genève, Organisation internationale de normalisation.
- Klußmann A., Serafin P., Schaefer A., Keuchel M., Neumann B. et Lang K.H. (2013a) *Betätigungskräfte an Landmaschinen: Analyse und Messung von Handbetätigungskräften und abgeleitete Empfehlungen.*
www.kan.de/fileadmin/Redaktion/Dokumente/KAN-Studie/de/2013_KAN-Studie_Betaetigungskraefte.pdf

- Klußmann A., Serafin P., Schaefer A., Keuchel M., Neumann B. et Lang K.H. (2013b)
Operating forces on agricultural machinery : analysis and measurement of manual
operating forces. [www.kan.de/fileadmin/Redaktion/Dokumente/KAN-
Studie/en/2013_KAN-study_operatingForces-en.pdf](http://www.kan.de/fileadmin/Redaktion/Dokumente/KAN-Studie/en/2013_KAN-study_operatingForces-en.pdf)
- Serafin P., Muehlemeyer C., Levchuk I., Lang K.H., Gebhardt H. et Klußmann A. (2015)
Physical strength of a German population sample: differences in age, gender and
hand preference, *Occupational Ergonomics*, 12 (1-2), 49-59.

Annexe

La Commission pour la sécurité et la santé au travail et la normalisation (KAN) a pour rôle de faire valoir les aspects de sécurité et santé au travail (SST) dans les travaux de normalisation et de veiller à ce que ces aspects de SST soient bien pris en compte.

Les partenaires sociaux, l'État, l'Assurance sociale allemande des accidents du travail et des maladies professionnelles (DGUV) et l'Institut allemand de normalisation (DIN) sont représentés au sein de la KAN. La commission regroupe les points de vue des différentes parties prenantes de SST (sur base consensuelle) et exprime la position résultante par des commentaires et des contributions aux travaux de normalisation en cours et futurs, ainsi que sur des normes existantes par l'intermédiaire de DIN. La KAN représente également le point de vue du monde allemand de la santé et de la sécurité au travail dans les débats sur les politiques de normalisation. Néanmoins, il convient de noter que la KAN n'est pas un organisme de normalisation en tant que tel.

La KAN a été fondée en 1994. La Commission dépend de l'Association pour la promotion de la sécurité au travail en Europe (VFA) et est soutenue financièrement par le ministère fédéral allemand du Travail et des Affaires sociales. Ses membres sont des institutions d'assurance accidents sociales des secteurs commercial, industriel et public.

Depuis 1976, l'**Institut de médecine du travail, d'ingénierie de sécurité et d'ergonomie (ASER)** poursuit des projets de développement et de recherche fondamentale et appliquée dans les domaines des sciences du travail, de la sécurité de l'information et des transports. On retrouve parmi ses domaines de travail traditionnels l'analyse scientifique du travail et l'organisation du travail, ainsi que la recherche fondamentale dans le domaine des sciences du travail et de la sécurité au travail dans le but d'identifier les relations de cause à effet au moyen d'études sur le terrain et en laboratoire. Les projets de recherche et de développement de produits ou de conception de produits sont toujours effectués avec, à l'esprit, la poursuite d'objectifs d'ergonomie, de sécurité et de psychologie du travail. Au début des années 1990, un domaine de travail supplémentaire est apparu : celui du transfert efficace et efficient d'informations et de connaissances en sciences du travail, de la sécurité et du transport. Ce domaine de travail bénéficie aux experts des petites et moyennes entreprises, ainsi qu'aux citoyens, et a rapidement donné lieu à la création d'un réseau de recherche et à des développements de systèmes durables.