

OUVRAGE COLLECTIF

LES LIAISONS TRACTEURS-OUTILS

**L'arbre de transmission
à cardans
quelle évolution ?**



LES LIAISONS TRACTEURS-OUTILS

**L' arbre
de transmission à cardans
quelle évolution ?**

LES LIAISONS TRACTEURS-OUTILS

L' arbre de transmission à cardans quelle évolution ?

Édition : Laurence Audenet-Verrier

Maquette et couverture : Françoise Prévost et Brigitte Mignotte

Photos : Rémy Bertre, Fabienne Gisselbrecht, Denis Laubenberger, Benoît Moreau, Jacques Moulin et www.troisiemepoint.net

Illustrations et schémas : Éric Souverbie et Mathieu Poussou (les figures 1, 3 et 4 ont été réalisées d'après des illustrations fournies par le Cemagref)

Les personnes qui ont participé à la réalisation de cet ouvrage sont nombreuses. Leurs noms et coordonnées sont fournis à la fin de l'ouvrage car elles peuvent être contactées si nécessaire pour des compléments d'information.

Aux termes du *Code de la propriété intellectuelle*, toute reproduction ou représentation, intégrale ou partielle, de la présente publication, faite par quelque procédé que ce soit (reprographie, microfilmage, scannérisation, numérisation...) sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite et constitue une contrefaçon sanctionnée par les articles L 335-2 et suivants du *Code de la propriété intellectuelle*.

L'autorisation d'effectuer des reproductions par reprographie doit être obtenue auprès du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC) – 20 rue des Grands-Augustins 75006 Paris – Tél : 01 44 07 47 70 / Fax : 01 46 34 67 19.



© Educagri éditions, 2007
ISBN 978-2-84444-541-4

Educagri éditions
BP 87999 - 21079 DIJON Cedex
Tél. 03 80 77 26 32/03 80 77 26 33 - Fax 03 80 77 26 34
www.editions.educagri.fr
editions@educagri.fr

S O M M A I R E

Introduction	7
CHAPITRE 1. Le système de transmission de puissance entre tracteur et outil et ses composants	9
1. Les éléments de transmission, côté tracteur	10
2. Le dispositif amovible de transmission mécanique : l'arbre à cardans	11
3. Les éléments de transmission, côté outils	15
4. Une protection complète du tracteur à l'outil	17
5. Les anomalies d'utilisation	18
6. La réglementation	19
CHAPITRE 2. Les conditions de travail	23
1. L'opérateur	24
2. La tâche	26
3. Le matériel	28
4. Le milieu	28
5. Les facteurs potentiels d'accidents	30
CHAPITRE 3. Une situation difficile	31
1. Une enquête nationale sur l'état des protecteurs	31
2. L'accidentologie	32
3. Les difficultés liées aux vérifications	34
CHAPITRE 4. Les bonnes pratiques	37
1. L'achat	37
2. L'adaptation	38
3. La mise en service	40
4. Le remisage	40
5. L'utilisation : des solutions simples	40
6. Le remplacement	41
7. L'entretien courant et la maintenance	41

CHAPITRE 5.	L'amélioration de l'existant	43
	1. Les facteurs de risque	43
	2. Les voies d'amélioration de la sécurité	44
CHAPITRE 6.	Les perspectives	49
	1. L'hydraulique : une vraie solution ?	50
	2. Une autre source d'énergie : l'électricité	56
	3. Le tracteur : une centrale d'énergie	58
	Conclusion	59
	Annexes	61
	Liste des participants	75

Introduction

La mécanisation de l'agriculture a été fulgurante depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale. La modernisation, d'une part, et la course à l'innovation et au gigantisme, d'autre part, ont favorisé l'apparition d'une multitude de machines dont l'objectif principal et essentiel était d'augmenter la productivité, la rentabilité et l'efficacité économique des exploitations.

Depuis l'introduction en agriculture de la réglementation relative à l'hygiène et la sécurité des travailleurs en 1976, et l'harmonisation européenne en 1992, on assiste à une amélioration de la conception des machines en terme de sécurité ; mais des progrès restent encore à réaliser dans ce domaine.

L'ouvrage *Pour des opérations d'attelage et de dételage aisées et sûres* de la série consacrée aux liaisons tracteurs-outils présente les risques, les dangers, les conditions de travail et les moyens de prévention relatifs aux opérations d'attelage et de dételage des outils¹ portés, traînés ou remorqués.

Cet ouvrage traite spécifiquement de la transmission mécanique de puissance entre tracteur et outil, via un arbre de transmission à cardans. Ce dispositif permet aux tracteurs d'être polyvalents tout en transmettant de fortes puissances aux machines attelées. Mais il reste dangereux – les statistiques le montrent – malgré la présence d'un protecteur qui recouvre la totalité des éléments tournants de la transmission. La technologie de fabrication des protecteurs ainsi que le matériau utilisé n'ont guère évolué depuis plusieurs années ; ces protecteurs restent fragiles et souvent d'un entretien difficile.

Une question se pose alors : peut-on envisager d'autres moyens de transmission de l'énergie qui pourraient remplacer l'arbre à cardans ?

Parmi les différents modes de transmission d'énergie, la pression hydraulique est maintenant utilisée dans de nombreux domaines, même dans des secteurs d'activités exigeant de fortes puissances, comme par exemple le bâtiment et les travaux publics. L'électricité est employée dans les systèmes de commandes et l'énergie pneumatique permet des usages spécifiques.

1. Par souci de cohérence avec le premier tome, les machines attelées au tracteur seront dénommées dans ce tome « outils », sauf dans la partie réglementaire où on emploie la dénomination juridique de « machines ».

Chaque mode, y compris la transmission mécanique de puissance, a ses avantages et ses inconvénients qui devraient déterminer son domaine d'utilisation. Or, en agriculture, plusieurs obstacles freinent l'émergence de l'utilisation des autres sources d'énergie et notamment de l'hydraulique.

Le présent ouvrage entend montrer que ces obstacles ne sont pas insurmontables et que l'arbre à cardans pourrait être avantageusement remplacé dans de nombreux cas. Cet arbre de transmission constituait une réponse technique à un moment donné de l'histoire du machinisme agricole, mais sa dangerosité doit inciter à utiliser d'autres techniques moins dangereuses apparues depuis. Il invite enfin à rechercher des solutions innovantes sur les liaisons tracteurs-outils en particulier et sur le machinisme agricole en général.

CHAPITRE 1

Le système de transmission de puissance entre tracteur et outil et ses composants

L'arbre de transmission à cardans (ATC) ou arbre à cardans est un dispositif amovible de transmission mécanique, relié au tracteur par la prise de force, et à l'outil par un arbre récepteur. On le dénomme, s'il y a lieu, « arbre à cardans primaire » pour le différencier de « l'arbre à cardans secondaire » qui est, lui, intégré dans un outil.

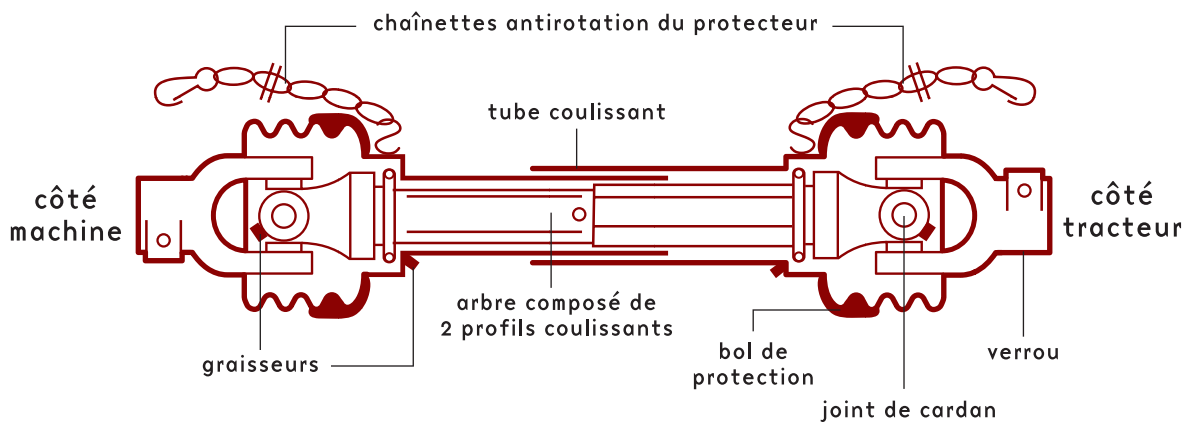


FIG. 1 : Schéma développé d'un arbre à cardans équipé de sa protection.

1. Les éléments de transmission, côté tracteur

>> 1.1. La prise de force

Par « prise de force », on entend la partie terminale de l'arbre de transmission du tracteur destinée à transmettre le mouvement à un outil. Elle est en général située à l'arrière du tracteur. Elle est caractérisée par son diamètre, ses cannelures et sa vitesse de rotation.

TAB. 1 : Les caractéristiques des types de force.

Type	Diamètre nominal (mm)	Nombre de cannelures	Vitesse nominale de rotation de la prise de force en tours/min*
1	35	6	540 et/ou 1 000
2	35	21	
3	45	20	

* À l'exception des prises de force dont la vitesse de rotation est liée à la vitesse du tracteur.

Source : Directive n° 86-297

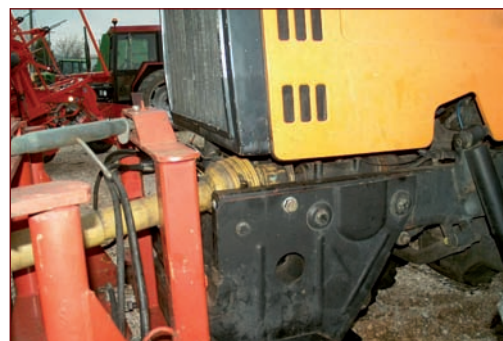


Prise de force classique à 6 cannelures, protégée par une échelle de chape.

Pour tenir compte de la variété des outils, il arrive qu'un manchon adaptateur soit monté sur la prise de force pour faire correspondre le nombre de cannelures de l'outil à celui du tracteur. Cette pratique est à proscrire en raison de la baisse de la résistance mécanique qu'elle est susceptible d'occasionner, de la diminution de la protection assurée par le bouclier de la prise de force ainsi que des vibrations qui risquent d'être causées par le défaut de centrage.

Il peut également exister deux prises de force au même emplacement pour tenir compte de la variabilité des usages.

Le tracteur peut aussi être équipé d'une prise de force à l'avant pour l'utilisation d'outils frontaux.



Arbre à cardans à l'avant du tracteur.

>> 1.2. Le protecteur de la prise de force

La prise de force du tracteur est protégée par un bouclier qui peut être constitué :

- d'une seule pièce ;
- ou d'une protection équivalente constituée d'un ensemble de pièces (voir photo de la prise de force ci-contre) comportant :
 - . les deux montants d'une échelle de chape,
 - . une plaque supérieure.



Prise de force protégée
par un bouclier.

2. Le dispositif amovible de transmission mécanique : l'arbre à cardans

>> 2.1. L'arbre à cardans proprement dit

L'arbre à cardans proprement dit est la pièce mécanique amovible qui assure la jonction entre le tracteur et l'outil. Il est constitué des éléments suivants :

Les joints de cardans

Joints de cardans simples

Les joints de cardans, situés à chaque extrémité, permettent à l'ensemble tracteur-outil d'effectuer des virages, des circulations en dévers, des passages dans les terrains accidentés, bref de s'adapter au plus grand nombre de situations possibles. Ils sont composés chacun de deux mâchoires et d'un croisillon permettant d'effectuer des mouvements (les « degrés de liberté ») dans un plan horizontal comme dans un plan vertical.

Un joint de cardan simple autorise un virage dans certaines limites angulaires. Dès qu'un cardan s'approche de l'angle maximal de transmission de puissance, il émet des claquements qui peuvent aboutir à son endommagement et se solder par son éclatement.

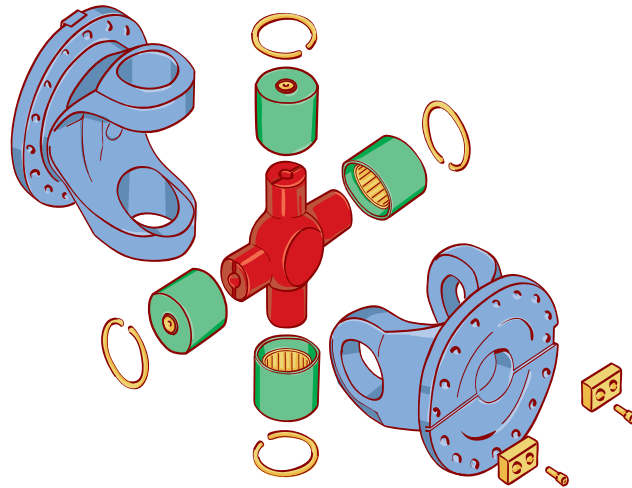


FIG. 2 : Schéma éclaté d'un joint de cardan simple (les cercles jaunes décrivent les deux degrés de liberté horizontal et vertical).

D'après le site Internet
MecFunNet.faii.etsii.upm.es

Joint double homocinétique ou « grand angle »

Le joint double homocinétique ou « grand angle » est destiné à permettre la transmission de puissance avec un angle supérieur à celui des joints de cardans simples.

Il est simplement constitué de deux joints de cardans accolés.

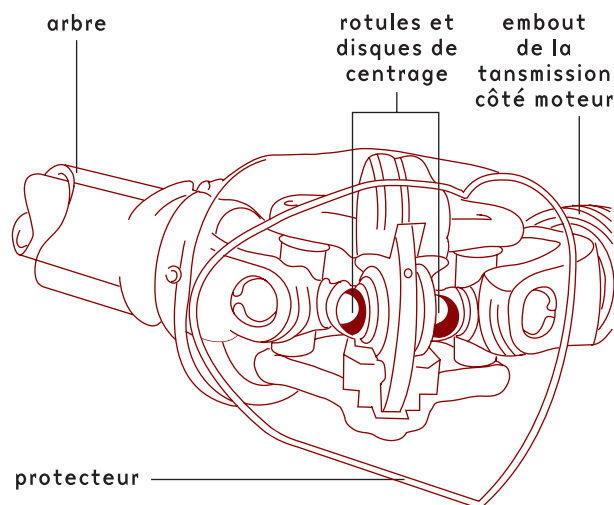


FIG. 3 : Schéma d'un joint double homocinétique.

Les embouts femelles

Les embouts femelles assurent la jonction de l'arbre à cardans avec le tracteur d'un côté et avec l'outil de l'autre côté. Ils sont équipés de pièces mécaniques (bouton-poussoir ou bague) qui

commandent le verrouillage et qui doivent être manœuvrées manuellement pour l'emboîtement dans la partie mâle. Cette opération est souvent délicate et difficile du fait de l'exigüité de l'espace arrière du tracteur, du poids de l'arbre à cardans et de son encombrement, ainsi que de l'état des pièces (calamine, salissures, usure, grippage, déformations).

L'emboîtement se fait :

- côté tracteur, sur la prise de force,
- côté machine, sur l'arbre récepteur.

L'emboîtement sur l'arbre récepteur peut être réalisé soit par les mêmes systèmes que ceux utilisés côté tracteur, soit par un boulon si l'arbre est destiné à rester sur l'outil.

Embout à bague coulissante.



Les profils couissants

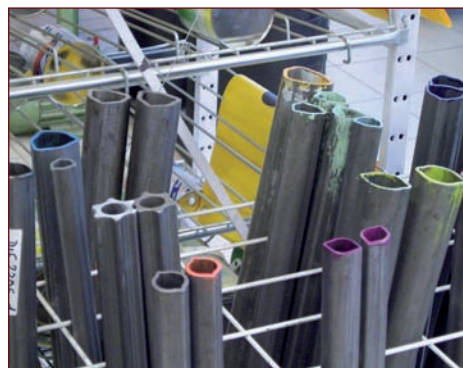
Le profilé des profils couissants¹ est fonction du couple à transmettre, de leur longueur, et des constructeurs :

- profils de type carré et citron : couple limite de 1 500 N.m ;
- profils de type triangle : couple limite de 3 000 N.m ;
- profils de type étoile : couple limite de 6 000 N.m.



Profil de type « carré ».

Profils de type « citron », « triangle » et « étoile ».



Les graisseurs

Le graissage régulier est absolument nécessaire pour maintenir les cardans en bon état. Or les bols protecteurs rendent l'accès aux graisseurs difficile. Pour tenir compte de ce problème, il existe sur le marché des protecteurs d'arbres conçus pour faciliter l'accès aux points de graissage sans altérer les bols de protection (bols rétractables, trappes d'accès, etc.).

Orifice de graissage à trappe.



1. Les profils couissants sont aussi appelés « tubes ». Cette terminologie est cependant impropre car elle se rapporte au protecteur.

Les dispositifs ou éléments de sécurité mécanique intégrés

Pour assurer la protection mécanique des organes du tracteur et du matériel (protection qui assure elle-même un environnement favorable à l'utilisateur), l'arbre à cardans peut être équipé, côté outil, soit d'un limiteur de couple, soit d'une roue libre. La réglementation interdit de disposer ces éléments du côté du tracteur.

Le limiteur de couple

Lorsque le couple résistant offert par l'outil devient trop important, lors d'un bourrage par exemple, le limiteur de couple interrompt la transmission du mouvement à l'outil afin d'éviter la détérioration des organes de l'outil, voire du tracteur.

Il en existe différents types, tous obligatoirement situés côté outil. Le choix dépend de l'outil. Les principaux sont :

- à boulon de rupture : le boulon se rompt dès que le dispositif est sollicité par un effort trop important ; il est de moins en moins utilisé car il nécessite de disposer d'un nombre suffisant de boulons de rupture correctement calibrés, en prévision du remplacement ;
- à friction : les deux éléments du dispositif se désolidarisent dès qu'il est sollicité par un effort important.

Il en existe d'autres moins utilisés. Pour mémoire, on citera :

- les limiteurs à cames ;
- les limiteurs élastiques : un ressort se déforme en fonction du couple ;
- les limiteurs à billes : les billes sont bloquées dans des alvéoles par des ressorts tarés ; lorsque le couple augmente, les billes sortent de leurs alvéoles en comprimant les ressorts.



**Limiteur de couple
à boulon de rupture.**

**Limiteur de
couple à
friction.**



**Limiteur de
couple
à cames.**



Source : Walterscheid

La roue libre

Située côté machine, la roue libre a pour rôle de transmettre le mouvement dans une seule direction (du tracteur vers la machine). Elle évite que la machine entraîne la prise de force et sa chaîne cinématique lorsque la prise de force n'est plus entraînée par le moteur du tracteur (c'est particulièrement important pour les machines avec une inertie importante des éléments entraînés en rotation).

>> 2.2. Le protecteur de l'arbre à cardans

Quelques rappels de physique :

- la vitesse de rotation de l'arbre à cardans est de 540 tours/minute, soit 9 tours/seconde ;
- on considère qu'un arbre à cardans a un rayon moyen de 3 centimètres ;
- en une seconde, un vêtement accroché aura parcouru $9 \times (\pi \times 2 \times 3) = 1,70$ m environ, soit environ 2 longueurs de bras enroulées en une seconde autour de l'arbre ;
- quels que soient la force et les réflexes de l'opérateur, l'accident est inévitable, si celui-ci s'approche d'un arbre à cardans non protégé.

La vitesse de rotation de l'arbre, donc la vitesse d'enroulement d'un vêtement, et les puissances engagées sont telles qu'un individu quel qu'il soit ne peut ni résister, ni avoir des réflexes suffisants pour se soustraire au danger. Cette réalité technique explique la gravité des accidents du travail. En conséquence, il est impératif que les pièces tournantes soient rendues inaccessibles.

Il importe donc d'envelopper totalement l'arbre à cardans afin qu'aucune partie tournante ne soit accessible.

L'enveloppe protectrice de l'arbre (voir fig. 4 p. 17) est constituée :

- de deux bols aux extrémités, recouvrant les joints de cardans ; ces bols sont également désignés sous le terme de « cônes » ;
- de deux tubes coulissants, situés au-dessus de l'arbre de transmission. Un recouvrement suffisant des deux parties est nécessaire afin d'éviter le déboîtement lors des virages serrés ;
- de bagues qui assurent la liaison entre l'enveloppe protectrice et l'arbre de transmission ;
- d'un ou, plus souvent, de deux systèmes de retenue empêchant l'enveloppe protectrice de tourner en même temps que l'arbre (chaînettes antirotatoires situées en général à chaque extrémité).

3. Les éléments de transmission, côté outils

>> 3.1. Les boîtiers mécaniques

À l'arrivée sur la machine, les boîtiers mécaniques transforment l'énergie rotative transmise par l'arbre à cardans afin de correspondre aux besoins de l'outil. On trouve ainsi :

- la transmission directe : si la vitesse de rotation de l'outil correspond à celle de la prise de force, la puissance et la vitesse de rotation sont transmises intégralement, sans modifications, sinon éventuellement par un renvoi d'angle ; elle a comme inconvénient de transmettre les chocs et les à-coups ;
- la transmission démultipliée : si les vitesses de rotation des pièces travaillantes de l'outil sont différentes du régime nominal de l'arbre à cardans (540 ou 1 000 tours/minute), l'outil est équipé d'un démultiplicateur mécanique ;

**Démultiplication
par engrenages.**



- le relais hydraulique : lorsque les mouvements sont effectués par des vérins ou des moteurs hydrauliques, l'arbre à cardans est connecté à une pompe hydraulique.



Entraînement
d'une pompe
hydraulique.

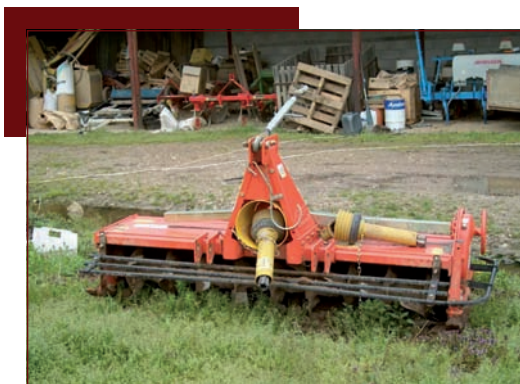
>> 3.2. La protection de la jonction entre l'arbre à cardans et le boîtier mécanique

Les facteurs de risques dépendent de la configuration de la jonction entre l'arbre à cardans et le boîtier mécanique, selon que l'outil est traîné, porté ou semi-porté.

Le boîtier mécanique est équipé d'un arbre récepteur cannelé, identique à celui de la prise de force. L'arbre récepteur de la machine doit être enfermé dans un carter de protection fixé sur la machine. Cette protection peut éventuellement être assurée par des éléments de l'outil tels que le timon.

Dans le cas des outils traînés, l'arbre à cardans est situé soit au-dessus, soit au-dessous du timon de l'outil. Dans le cas des outils portés ou semi-portés, la jonction se fait au niveau d'un cadre qui permet l'accrochage à l'attelage trois points du tracteur. Plusieurs configurations sont possibles :

- arbre à cardans au niveau du cadre restreint,
- arbre à cardans en retrait.



Arbre à cardans au niveau du cadre restreint.



Arbre
à cardans
en retrait.

>> 3.3. Le support d'arbre à cardans

Le support d'arbre à cardans, fixé sur la machine, a pour fonction d'éviter de laisser traîner l'enveloppe protectrice de l'arbre et de la détériorer, lorsque la machine est dételée.

Ses caractéristiques sont les suivantes :

- il ne doit pas détériorer l'enveloppe du protecteur, ce qui nécessite qu'il soit assez large et non anguleux ;
- il doit être conçu pour éviter tout contact avec le protecteur lors d'un mouvement de l'outil par rapport au tracteur (par exemple en étant escamotable).

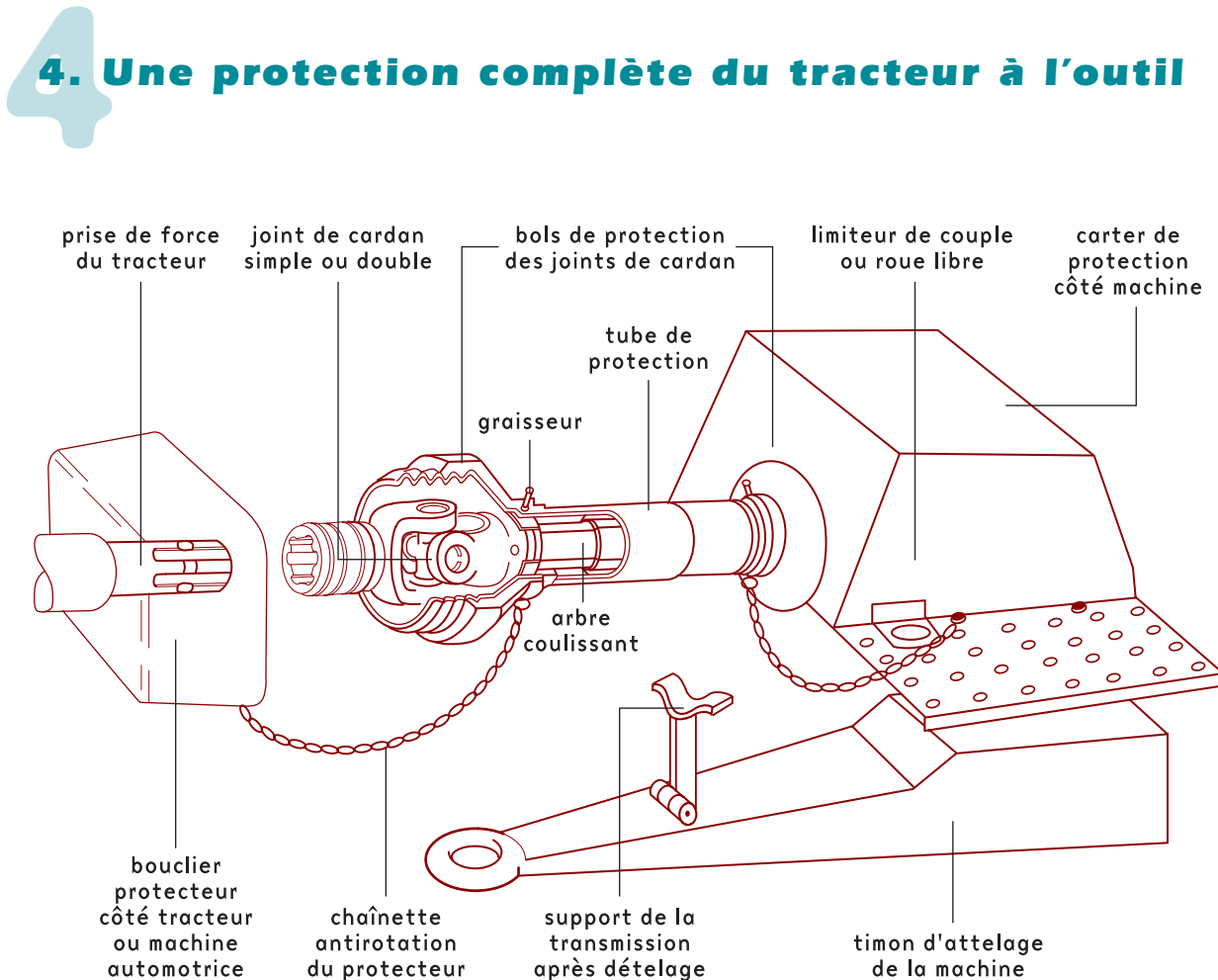


FIG. 4 : Schéma d'un arbre à cardans complet et conforme.

La protection complète comprend les éléments suivants :

- les bols (ou cônes) de protection des joints de cardans ;
- le tube de protection, constitué de deux parties coulissantes ;

- les chaînettes antirotation, côté tracteur et côté machine, qui empêchent la rotation du protecteur avec l'arbre ;
- le bouclier qui, avec le bol, doit assurer la protection totale du joint de cardans, côté tracteur ;
- le carter qui, avec le bol, doit également assurer la protection totale, côté machine ;
- le support d'arbre à cardans, côté machine.

5. Les anomalies d'utilisation

Dans les conditions habituelles d'utilisation, l'arbre à cardans subit des détériorations dues à l'usage, aux conditions d'utilisation, mais aussi à des adaptations. Par ailleurs, la nature de la jonction et la variabilité des configurations de liaisons entre tracteurs et outils de conception différente, aboutissent à des situations anormales ou entraînent des procédures de travail inappropriées qui augmentent les risques d'accidents.

On relève ainsi des anomalies au niveau :

- du carter de protection, côté machine (absence, enlèvement, modification, découpe) ;
- du bouclier ou de l'échelle de chape, côté tracteur (blocage ou enlèvement de la plaque supérieure) ;
- du ou des bols (absence, découpe pour accès, détérioration) ;
- des tubes protecteurs coulissants (mauvais recouvrement, tubes différents en diamètre, de type différent pour l'arbre, abîmés) ;
- des chaînettes (abîmées ou absentes, anneaux de fixation cassés) ;
- du support (abîmé, inexistant, enlevé, rafistolé, inapproprié) ;
- de la présence d'un adaptateur sur la prise de force qui éloigne le joint de cardan et entraîne une discontinuité de la protection entre le bouclier et le bol ;
- de l'ensemble de l'arbre (absence totale de protecteur).



Découpe d'un carter.



Agrandissement d'un trou de graissage.



La suspension par ficelle risque d'entraîner une usure prématurée du tube de protection.



Échelle de chape, avec plaque supérieure de protection relevée.



Tubes utilisés en raison des frottements sur le bâti de la machine.



Absence de support, cumulée avec l'absence de carter.

Ces différentes situations mettent en évidence deux types de problèmes :

- une conception du tracteur, de la transmission et de l'outil qui n'est pas toujours adaptée aux conditions normales d'utilisation ;
- un entretien et une maintenance insuffisants.



Absence de l'ensemble des éléments du protecteur.

6. La réglementation

>> 6.1. La mise sur le marché

L'arbre à cardans et son protecteur

Depuis le 1^{er} janvier 1993, l'article R. 233-83, 1^o du Code du travail¹ pris en application de l'article L. 233-5 considère comme « machine » un arbre à cardans reliant la prise de force d'un tracteur ou d'une machine automotrice à l'arbre récepteur d'une machine, ainsi que le dispositif de protection de cet arbre.

Lors de sa mise sur le marché à l'état neuf ou considéré comme neuf, cette « machine » doit respecter les règles techniques de conception et de construction définies à l'annexe I de l'article R. 233-84, (particulièrement le point 3.4.7).

Visés au point 16 de l'article R. 233-86 du Code du travail, l'arbre à cardans et son protecteur sont soumis à la procédure d'examen CE de type (ou à une autre procédure de portée équivalente) par laquelle un organisme habilité vérifie, préalablement à la mise sur le marché, la conformité aux exigences essentielles réglementaires, par des examens et des essais, et délivre une attestation d'examen CE de type.

Les normes européennes harmonisées, utilisables pour le respect des règles techniques, sont les suivantes :

- NF EN 12965 : 2003 et NF EN 12965A/1 : 2005 : Tracteurs et matériels agricoles et forestiers. Arbres de transmission à cardans de prise de force et leurs protecteurs. Sécurité ;
- NF EN ISO 5674 : janvier 2007 : Tracteurs et matériels agricoles et forestiers – Protecteur d'arbres de transmission à cardans de prise de force – Essais de résistance mécanique et d'usure et critères d'acceptation.

Un marquage CE de conformité doit être apposé sur le matériel (art. R. 233-74) complété par les indications prévues à l'article R. 233-84, annexe I, point 1.7.3.

Une déclaration CE de conformité (art. R. 233-73) et une notice d'instructions (art. R. 233-84, annexe I, 1.7.4) doivent être remises à l'acheteur du matériel. La déclaration CE de conformité porte notamment les références de l'attestation d'examen CE de type délivrée par un organisme notifié.

Le ministère de l'Agriculture procède à des contrôles de la conformité des matériels mis sur le marché, notamment par l'organisation de campagnes nationales. C'est ainsi qu'en 2002 plusieurs modèles d'arbres de transmission à cardans ont été interdits de mise sur le marché en France.

1. Sauf indication contraire, tous les articles cités dans ce tome sont ceux du Code du travail.

La protection de l'arbre récepteur de la machine

Les machines agricoles et forestières tractées sont aussi soumises au point 3.4.7 de l'annexe I précitée fixant les règles techniques de prévention des risques dus à la transmission de puissance entre une machine automotrice ou un tracteur et une machine réceptrice.

En particulier la protection de l'arbre récepteur doit être assurée, par construction, par un carter de protection fixé à la machine. Cette protection, montée sur les machines tractées ou portées, fait partie intégrante de ces matériels.

La protection de la prise de force du tracteur

Les caractéristiques technologiques de la prise de force et les prescriptions de sécurité, de construction et d'emplacement en qui concerne la zone de dégagement autour de celle-ci et à sa protection sont fixées par la directive 86/297/CEE du 26 mai 1986 modifiée, transposée par le décret N° 2005-1236 du 30 septembre 2005.

Des projets de modification de la directive 86/297/CEE prévoient de faire référence à certains éléments des normes de la série ISO 500 et ISO 8759 relatives aux prises de force montées à l'arrière et à l'avant des tracteurs.

Les procédures de réception CE ou d'homologation nationale d'un tracteur garantissent que la directive citée ci-dessus a été respectée.

>> 6.2. L'utilisation

La mise en service

En application de l'article L. 233-5-1, il est interdit de mettre en service ou d'utiliser un arbre à cardans neuf et son dispositif de protection s'ils ne répondent pas aux dispositions prévues ci-dessus.

Le maintien en état de conformité

Le chef d'établissement doit maintenir l'arbre à cardans, son dispositif de protection et les protections complémentaires côté tracteur et côté machine en état de conformité avec les règles techniques de l'annexe I (art. R. 233-1-1, al. 1^{er}), y compris au regard de la notice d'instructions (art. R. 233-90). Un protecteur détérioré devra être remplacé (article R. 233-1-1, alinéa 2). Les articles R. 233-15 et R. 233-17 relatifs aux protecteurs des éléments de transmission doivent également être respectés.

La vérification générale périodique

Par ailleurs, le chef d'établissement doit procéder ou faire procéder, par des personnes qualifiées, à une vérification générale périodique des arbres à cardans et de leurs dispositifs de protection afin que soit décelée en temps utile toute détérioration susceptible de créer des dangers (art. R. 233-11).

S'agissant des arbres à cardans et de leurs dispositifs de protection, cette vérification doit être effectuée depuis moins de douze mois au moment de leur utilisation (arrêté du 24 juin 1993 pris en application de l'art. R. 233-11). Toutefois, en application du 3^e alinéa de l'art. R. 233-11, cet intervalle peut être réduit sur mise en demeure de l'inspecteur ou du contrôleur du travail.

Le résultat de ces vérifications doit être consigné sur le registre de sécurité prévu à l'art. L. 620-6. L'ensemble de ces dispositions, applicables depuis le 1^{er} janvier 1993, a pour objectif la protection de l'ensemble de la transmission reliant un tracteur agricole ou forestier à une machine réceptrice, sur toute la longueur de l'arbre et de ses joints de cardans.

Pour déterminer la conformité de l'arbre à cardans, on dispose de trois méthodes :

- l'examen visuel de l'état du protecteur et de l'arbre à cardans ;
- le démontage du protecteur afin de vérifier les parties non visibles ou inaccessibles, en faisant attention à remonter correctement l'ensemble des pièces techniques ;
- la vérification par un organisme compétent.

Attention : Lorsque la vérification est demandée par l'inspection du travail (articles L. 233-5-2 et R. 233-80 à 82 du Code du travail), elle doit être effectuée par le Cemagref, seul organisme habilité en France.

CHAPITRE 2

Les conditions de travail

L'agriculteur qui achète un arbre à cardans neuf marqué CE acquiert un équipement réputé conforme à la réglementation qui théoriquement devrait éviter qu'il ne soit exposé à des risques.

Cependant, les conditions de travail en milieu agricole sont extrêmement variées, ce qui exclut de dresser des schémas types de procédures de travail. La tâche est modifiée sous l'influence de l'environnement (temps disponible, météo, flore, faune, risque biologique), ce qui oblige ainsi l'opérateur à une continuelle adaptation.

L'accouplement et le désaccouplement de l'arbre à cardans, côté tracteur comme côté outil, sont des opérations manuelles. Elles ne sont pas semi-automatisées comme l'accrochage d'un outil sur l'attelage trois points peut l'être.

Elles exigent une certaine force physique du fait du poids de la transmission et des contraintes posturales dues à l'espace de travail. L'expérience et l'ancienneté peuvent toutefois faciliter ces opérations. La tâche est également rendue délicate par la présence des moyens d'attelage (voir tome « Pour des opérations d'attelage et de dételage aisées et sûres »). L'augmentation de la puissance sollicitée par les outils exige des composants plus résistants, donc plus lourds et moins maniables. Le milieu dépend essentiellement des conditions climatiques et de la localisation précise du lieu de travail.

1

1. L'opérateur

>> 1.1. Les conditions physiques

Les manipulations et les attitudes corporelles qui dépendent de plusieurs facteurs se traduisent par une charge physique importante. Les utilisateurs en témoignent :

- ils doivent être physiquement puissants pour pouvoir manipuler les arbres à cardans ;
- cette exigence physique n'est pas brève mais dure le temps de la mise en place. L'utilisateur doit donc être capable de supporter le poids et de manipuler l'arbre à cardans ;
- les contraintes dues à l'exiguïté de la zone d'attelage augmentent la charge physique normale.



**Exiguïté de l'espace
laissé à l'opérateur,
sur un attelage court.**

La variabilité des outils (fonctions, puissances, formes) induit une variété correspondante d'arbres à cardans. Le lien de proportionnalité entre les puissances absorbées, la résistance mécanique à l'effort et le poids est évident. Certaines transmissions nécessitent même d'être manipulées par deux personnes. La forme influe sur la préhension de la transmission, c'est-à-dire sur la facilité de manipulation et la bonne tenue en main.

L'espace compris entre le tracteur et l'outil ou la zone des liaisons tracteur-outils, dans lequel évolue et travaille l'opérateur, dépend du système d'accrochage de l'outil. L'espace disponible pour la mise en place de l'arbre à cardans varie ainsi considérablement. Les postures peuvent ainsi être délicates, voire inconfortables. Bien qu'elles soient brèves et peu nombreuses sur une journée, elles contribuent, conjuguées aux autres postures, à une évolution défavorable des pathologies du rachis.

Ce poste de travail temporaire dépend de deux contraintes spatiales :

- un espace exigu entre le tracteur et l'outil qui impose des postures très inconfortables ;
- un espace plus ou moins encombré par les bras de relevage de l'attelage trois points, le timon et/ou les flexibles hydrauliques et autres câbles, qui oblige l'opérateur à se mouvoir dans de mauvaises conditions (enjamber un bras de relevage, ou se baisser en étant gêné par les flexibles, par exemple).

La mise en place de l'arbre côté tracteur, nécessite :

- de pousser et maintenir enfoncé un ou deux boutons-poussoirs ;
- de tourner ou de tirer la bague ;

afin de pouvoir :

- présenter l'embout de l'arbre à cardans face à la prise de force ;
- puis faire correspondre les cannelures en faisant légèrement tourner, le cas échéant, l'arbre à cardans ;
- et enfin l'emboîter dans un espace généralement exigu.

Il en est de même côté outil où la structure (le triangle d'attelage) et le carter sont souvent gênants.

Cette tâche exige :

- de tenir d’une main le cardan :
 - . difficilement accessible par la présence du bol,
 - . malaisé à tenir par son volume et son poids,
 - . difficile à maintenir du fait de la mobilité des joints de cardans ;
- de manoeuvrer le dispositif de verrouillage de l’autre main en exerçant :
 - . une pression sur le bouton-poussoir tout en bloquant le cardan,
 - . ou une force de rotation sur la bague,
 - . ou une force de traction.



Mise en place de l’arbre à cardans sur la prise de force.

De l’ensemble de ces facteurs découlent des attitudes qui conduisent généralement à effectuer les tâches d’accouplement et de désaccouplement dans des postures non ergonomiques.

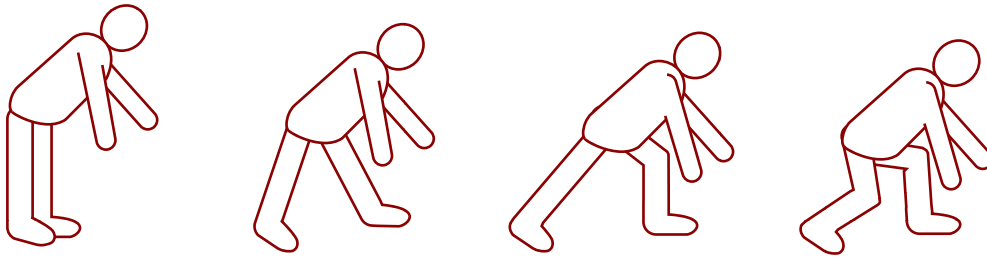


FIG. 5 : Mauvaises postures de l’opérateur.

Elles peuvent être exécutées de face ou avec des torsions du tronc. Le port de charges, loin du centre de gravité du corps de l’opérateur, entraîne une augmentation très sensible de la pression sur les disques intervertébraux et leur usure prématurée. Par ailleurs, ces opérations, souvent effectuées en l’absence de gants, peuvent entraîner des blessures aux mains.

>> 1.2. L’expérience et l’ancienneté

Sur le plan ergonomique, les postures adoptées, évoquées précédemment, présentent des risques pour l’opérateur, même expérimenté. Cependant, l’accouplement et le désaccouplement sont plus rapides grâce à des repères, des gestes plus adaptés, une connaissance plus précise des actes, des situations et des procédures.

L’expérience permet ainsi d’optimiser les manutentions. Elle peut compenser les effets du vieillissement, la perte des capacités physiques et les lésions musculo-squelettiques (lombalgies) ou dégénératives (arthrose).

Quand on les interroge, les utilisateurs précisent que :

- plus on vieillit, plus ces opérations d’accouplement et de désaccouplement deviennent difficiles, pénibles et longues ;
- ces opérations n’exigent pas une qualification importante ;

- on devient vite opérationnel et efficace ; par contre, l'âge, du fait de la baisse des capacités et des aptitudes physiques ainsi que des problèmes de santé, ne fait qu'accentuer la pénibilité de cette phase de travail.

2. La tâche

La tâche liée à l'arbre à cardans comprend les phases suivantes :

- la manutention du lieu de remisage à l'outil ou inversement ;
- les manipulations :
 - . l'accouplement,
 - . le désaccouplement,
 - . la dépose ;
- l'utilisation ;
- l'entretien/la maintenance.

>> 2.1. La manutention de l'arbre

L'arbre à cardans peut être attelé en permanence à l'outil ou non. S'il ne l'est pas, l'utilisateur peut être amené à effectuer de fréquentes opérations de manutention de son lieu de remisage à la machine.

>> 2.2. Les manipulations

L'accouplement consiste à engager l'embout femelle de l'arbre à cardans dans la partie mâle de la prise de force. Il comprend les phases suivantes :

- positionnement de l'utilisateur ;
- préhension de l'arbre et traction par glissement des tubes pour ajuster la longueur ;
- préhension du manchon ;
- poussée sur le bouton ou rotation de la bague ;
- mise en face des cannelures et poussée jusqu'au verrouillage.

La tâche de désaccouplement est similaire à celle de l'accouplement, à la différence près que l'utilisateur tire sur l'arbre et le dépose ou l'accroche sur son support. Elle consiste à retirer le manchon de la prise de force en appuyant sur le bouton ou en tournant la bague. Le danger survient lors de la traction par un déboîtement brutal dans un espace réduit, qui conduit à des chocs sur des pièces de la liaison tracteur-outil, et à une chute éventuelle de l'arbre à cardans sur l'opérateur.

Les opérations de dépose consistent à retirer l'arbre à cardans de l'outil avant de le remiser. Les phases sont identiques à celles du désaccouplement côté tracteur. Le danger est similaire mais si l'opération de dételage est terminée et le tracteur déplacé, l'espace de travail est plus vaste. Les risques de chute de l'arbre sur les membres inférieurs et d'écrasement des doigts et des mains subsistent.

>> 2.3. L'utilisation

Lorsque l'utilisateur a attelé son outil et qu'il se rend sur le lieu de travail, on peut distinguer deux phases :

- le déplacement sur route ou chemin ; le déplacement ne présente aucun danger particulier car l'arbre à cardans est à l'arrêt ;
- l'exécution d'un travail (dans un champ, ou à la ferme, par exemple) :
 - . il n'y a pas de danger particulier tant qu'aucun poste de travail n'est situé à proximité de l'arbre à cardans,
 - . mais dès lors qu'un incident se produit, ou pour certaines opérations, l'utilisateur ou un autre opérateur peut être amené à entrer dans la zone de danger pour y remédier afin de pouvoir continuer le travail. Si l'arbre à cardans n'est pas correctement protégé, le risque d'enroulement ou de happement est élevé.

Les situations qui amènent l'opérateur à s'approcher de la zone dangereuse sont variées, notamment dans les situations suivantes :

- enlever de la ficelle, du foin, etc., enroulé autour de l'arbre ;
- enjamber l'arbre et le timon pour passer plus rapidement d'un côté à l'autre du tracteur ;
- vérifier un paramètre (niveau de pression sur un manomètre, par exemple) ;
- grimper le long de la face avant d'une remorque pour en vérifier le contenu ou rechercher la cause et la localisation d'un incident ;
- fixer une chaînette ;
- modifier des réglages.

En outre, quand un outil attelé au tracteur est utilisé à poste fixe (aplatisseurs à grains, fendeuses de bûches, enfonce-pieux, tarières, etc.), l'opérateur peut être amené à entrer dans la zone dangereuse si certaines phases de travail exigent d'être à proximité de l'arbre à cardans (surveillance de phases de travail, vérification d'indicateurs).

>> 2.4. L'entretien et la maintenance

L'accès difficile aux points de graissage et la mauvaise visibilité entraînent souvent :

- l'absence de graissage et par conséquent une détérioration rapide des joints de cardans et embouts ;
- une fréquence de graissage inférieure aux spécifications du constructeur ;
- l'enlèvement du bol de protection ou sa modification par l'agrandissement de l'orifice de graissage pour pouvoir accéder facilement aux graisseurs, exposant ainsi l'opérateur aux éléments mobiles dangereux.

Le poids et la mobilité de la tête d'arbre par rapport au tube imposent souvent de faire cette opération à deux personnes.

Des facteurs externes qui dégradent rapidement le matériel, comme la poussière, les branches, le foin et la ficelle, conjugués aux conditions météo, impliquent une surveillance renforcée et une maintenance régulière qui n'est pas toujours assurée durant les périodes d'activités intenses. Il arrive souvent que cette tâche soit négligée, ce qui accélère les dégradations, augmentant ainsi sensiblement les risques d'accidents.

Cette maintenance est pourtant indispensable pour garder en état de conformité l'arbre et son protecteur et assurer un bon fonctionnement ainsi qu'une protection efficace.

3. Le matériel

La variété importante de tracteurs et d'outils entraîne une variabilité aussi importante de modèles d'arbres à cardans et de protecteurs :

- nombre de cannelures (6, 20 ou 21) ;
- vitesses de rotation (540 ou 1 000 tours/min) ;
- profilés en fonction du couple à transmettre à l'outil (carré, citron, triangle ou étoile) ;
- longueurs des tubes (adaptables) ;
- formes des embouts et dispositifs de verrouillage (bouton-poussoir, bague rotative ou rétractable, boulon) ;
- formes des bols de protection ;
- formes et nature des boucliers et des carters (fixes, mobiles) ;
- dispositifs pour préserver l'intégrité mécanique (limiteurs de couple, roue libre, joint grand-angle) ;
- configuration arrière du tracteur ;
- adéquation tracteur-outil.

Cette grande variabilité des modèles d'arbres à cardans entraîne autant de procédés de travail que l'opérateur peut avoir du mal à maîtriser.

4. Le milieu

Le milieu est par essence un facteur externe, aux caractéristiques variées et changeantes, difficilement maîtrisable. Dans ses prises de décisions, l'utilisateur doit tenir compte de ces facteurs environnementaux et adapter sa tâche.

>> 4.1. La présence de tiers dans l'environnement

Le travail en équipe à l'occasion d'un chantier d'ensilage ou de fenaison, par exemple, crée des interférences entre les différents opérateurs et d'autres personnes présentes, en cas de récupération d'un incident par exemple. La présence d'un tiers auprès d'un arbre à cardans en mouvement, alors que l'opérateur habituel est sur le tracteur et n'y prête pas attention, est un facteur aggravant de risque.

>> 4.2. L'état du sol

Il est essentiellement variable, en ce sens que les opérations peuvent être faites aussi bien sur un sol parfaitement plat (sol bétonné, cour de ferme, etc.) que sur des terrains naturels accidentés ou instables (sol boueux, etc.).

>> 4.3. La visibilité

Une bonne visibilité permet d'apprécier avec exactitude et précision les différents facteurs et paramètres nécessaires au déroulement en sécurité de la tâche.

Plusieurs éléments sont à envisager :

– les obstacles visuels :

- . montants de la cabine ou de la structure de protection contre le renversement,
- . vitres sales,
- . reflets,
- . éléments de l'attelage qui suppriment ou réduisent la vue (géométrie de la liaison tracteur-outil),
- . flexibles hydrauliques et câbles,
- . exigüité entre le tracteur et l'outil ;

– l'éclairage :

- . naturel insuffisant impliquant une fatigue visuelle (mauvaise appréciation),
- . artificiel défectueux ou imparfaitement réparti (zone invisible),
- . éblouissant.

L'agriculteur peut être amené à travailler à l'aube ou au crépuscule, avec ou sans éclairage artificiel. La perception du risque peut être modifiée en fonction du niveau d'éclairement et des zones éclairées. La liaison tracteur-outil n'est pas une zone éclairée de manière habituelle.

>> 4.4. Les conditions météorologiques

Les mauvaises conditions météo (pluie, éblouissement par le soleil, orage) influencent le comportement de l'utilisateur en le forçant parfois à modifier sa tâche, à se hâter, à augmenter la cadence ou le rythme de ses interventions, ce qui accentue la dangerosité de ses actes (omission de la fixation de la chaînette, oubli d'arrêter la machine par exemple). Un vêtement flottant se trouvera plus facilement happé par l'arbre en rotation si celui-ci est encrassé par la boue.

5. Les facteurs potentiels d'accidents

Les conditions de travail liées à l'utilisation de l'arbre à cardans, qui impliquent un ou plusieurs opérateurs, une tâche réalisée avec un tracteur et un outil déterminé dans un milieu donné, génèrent des facteurs potentiels d'accidents comme le montre le schéma ci-dessous.

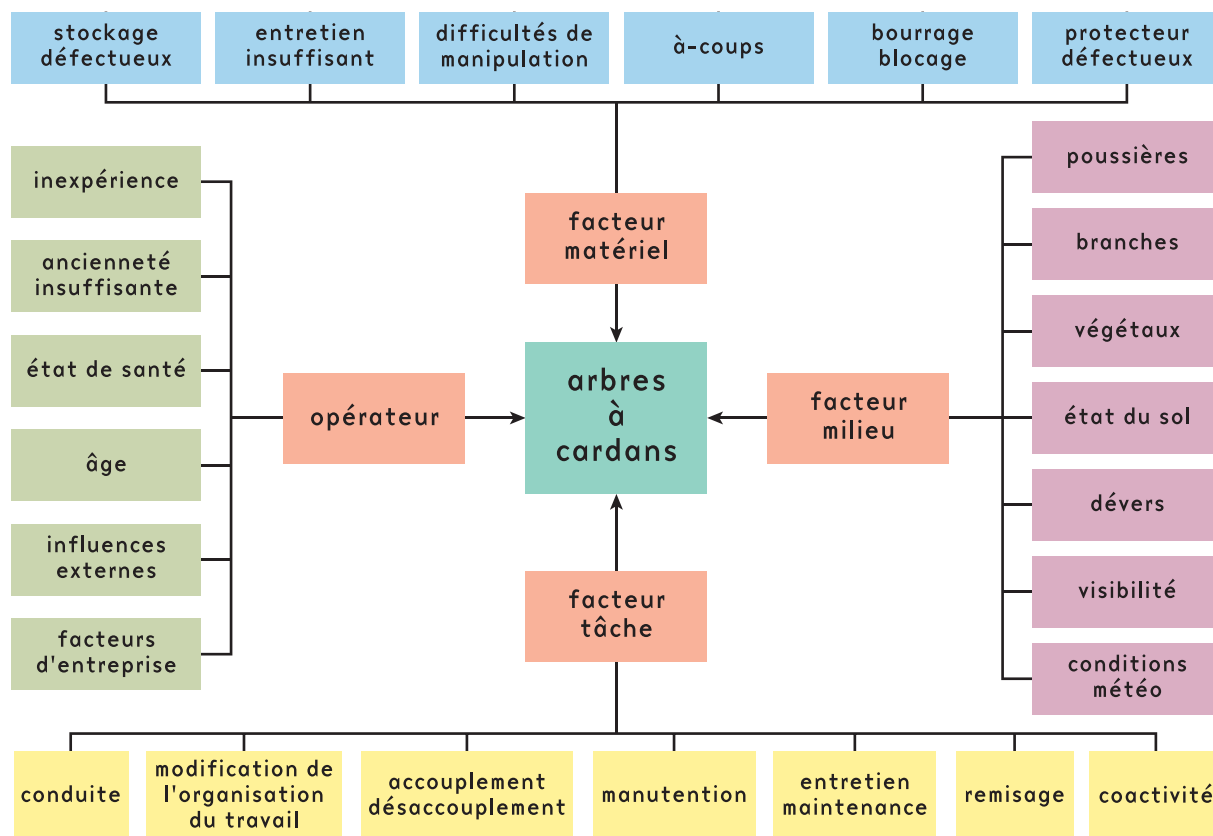


Fig. 6 : Les principaux facteurs potentiels d'accidents.

CHAPITRE 3

Une situation difficile

1. Une enquête nationale sur l'état des protecteurs

Une enquête a été réalisée en 2000-2001 sur l'état des protecteurs d'arbres de transmission à cardans en service, avec différents partenaires : le ministère de l'Agriculture et de la Pêche (MAP), la Caisse centrale de la mutualité sociale agricole (CCMSA), le Centre national du machinisme agricole, du génie rural, des eaux et des forêts (Cemagref), le bureau de coordination du machinisme agricole (BCMA) et Groupama. Le détail des résultats, présentés sous forme de graphiques, figure en annexe 1.

Cette enquête fait ressortir que :

- seuls 40 % des protecteurs sont complets ;
- 58 % ne sont pas conformes (13 % des arbres à cardans n'ont aucun protecteur et 45 % sont incomplets) ;
- les bols sont plus dégradés que les tubes ;
- 45 % des chaînettes sont absentes, essentiellement à cause de leur fragilité ;
- l'usure est la principale cause des détériorations avant la dégradation accidentelle ;
- dans de nombreux cas, l'utilisateur supprime tout ou partie du protecteur, suite à sa dégradation ou aux difficultés d'utilisation et d'entretien ;
- l'âge moyen d'un protecteur complet et en bon état est de 3 ans.

D'une manière générale, l'état des protecteurs n'est pas satisfaisant. Les utilisateurs insistent sur la fragilité de certains protecteurs selon les conditions d'utilisation. L'identification et l'examen d'adéquation des éléments sont souvent délicats, voire impossibles, aussi bien pour l'arbre à cardans que pour les protecteurs.

2. L'accidentologie

Les études d'accidents du travail de tracteurs et de machines mobiles agricoles réalisées par le ministère de l'Agriculture et de la Pêche en 1999 et 2002 montrent que le risque est toujours potentiellement présent, quel que soit l'outil entraîné par l'arbre à cardans.

Ces accidents sont avant tout des drames humains. Ils peuvent mettre en péril l'entreprise agricole et ils ont un coût. Ils sont évitables et la société les admet de moins en moins.

Les facteurs de risques qui conduisent à l'accident mettant en cause l'arbre à cardans sont en fait la résultante d'une combinaison des trois facteurs suivants :

- la liaison du tracteur et de l'outil inappropriée ;
- le mauvais état de l'arbre à cardans et des protecteurs ;
- des comportements à risque induits par des interventions nécessaires dans la zone dangereuse pour assurer le bon fonctionnement de l'outil, notamment lors d'incidents ou de récupération d'incidents.

D'autres types d'anomalies augmentent notablement les facteurs de risques, en raison notamment de la proximité de l'arbre à cardans. Sont concernés en particulier :



Boîtier de commande et nombreux flexibles situés à proximité de l'arbre à cardans.

- l'emplacement ou le positionnement inadapté de certains organes de service à proximité de l'arbre à cardans ;
- la conception de certains postes de travail nécessitant de travailler à proximité de l'arbre à cardans (par exemple : nécessité d'enjamber celui-ci pour accéder à une échelle de visite permettant d'observer l'intérieur d'une remorque) ;
- de mauvaises mesures organisationnelles impliquant la présence d'un tiers, pour des opérations de débouillage par exemple.



Échelle de visite nécessitant d'enjamber un arbre à cardans non protégé.

>> 2.1. Des accidents toujours graves

Le tableau ci-dessous a été réalisé à partir d'enquêtes d'accidents du travail menées par les services de l'inspection du travail, de l'emploi et de la politique sociale agricoles et les techniciens régionaux de prévention. Il montre à travers quelques cas l'extrême dangerosité de l'arbre à cardans et les graves conséquences (taux de gravité élevé) des accidents que subissent les victimes.

TAB. 2 : Descriptif de quelques accidents graves ou mortels.

Équipements de Travail	Causes	Éléments matériels	Conséquences	Non-conformités
Tracteur	Opération d'attelage vêtement happé	Prise de force	Fracture du bras droit	Absence de bouclier
Remorque basculante	Happement d'un vêtement par un boulon lors de l'actionnement d'une manette située près de l'arbre	Contact avec l'arbre à cardans	Brûlures sur le bras Torsion du coude	Absence des bols et du tube de protection
Pompe à lisier fixe	Happement d'un vêtement par le graisseur et le croisillon lors de la mise en route	Enroulement autour de l'arbre	Décès	Absence de protecteur
Gyrobroyeur	Entraînement de la jambe par une ficelle accrochée à l'arbre lors de la descente du tracteur par l'arrière	Enroulement de la jambe	Fracture du tibia	Absence de protecteur
Aplatisseurs à grains	Happement des vêtements lors de la dépose de sacs à proximité de l'arbre	Enroulement	Décès	Absence de protecteur
Aplatisseurs à grains	Happement lors de l'approvisionnement	Enroulement de la victime mineure	Amputation jambe, l'autre fracturée, poignet fracturé, enfonce ment de la poitrine	Absence de protecteur Absence de déro- gation machines dangereuses et de formation
Aplatisseurs à grains	Happement d'un vêtement lors du pelletage du grain moulu	Enroulement de la victime mineure	Fractures multiples	Absence de protecteur Absence de déro- gation machines dangereuses
Benne à vendanger	Happement par l'arbre à cardans alors que le salarié poussait le grain vers la benne	Vêtement happé par l'arbre à cardans	Décès	Absence de carter

Source : ministère de l'Agriculture - Bureau BRST, « Étude d'accidents du travail de tracteurs et de machines mobiles agricoles », 2002

Synthétiquement, l'analyse des accidents peut se résumer ainsi :

L'imputabilité des arbres à cardans dans la survenance des accidents du travail est la suivante :

23 % de ceux qui mettent en cause les équipements de travail sont dus aux arbres à cardans.

Un accident d'arbre à cardans est toujours grave :

- 40 % sont des fractures ;
- 23 % des accidentés subissent une amputation ;
- 37 % sont mortels.

>> 2.2. Statistiques nationales relatives aux salariés et non salariés agricoles

Les statistiques présentées en annexe 2 proviennent de la base de données de la caisse centrale de MSA, département « santé-sécurité au travail ». De l'ensemble des données disponibles concernant des opérations de mise en place et d'attelage-dételage d'outils, on retient des indicateurs de tendance.

Le tableau 3 indique le nombre d'accidents mortels de salariés et de non-salariés par happement par un arbre de transmission à cardans, entre 2000 et 2005. Pour les non salariés, les statistiques ne sont disponibles que depuis le 1^{er} avril 2002.

TAB. 3 : Accidents mortels par happement par un arbre de transmission à cardans.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Salarié	0	0	2	0	0	1
Non salarié	non disponible	non disponible	0 (entre le 1 ^{er} avril et le 31 décembre)	5	5	5

3. Les difficultés liées aux vérifications

>> 3.1. Les difficultés de la vérification générale périodique

L'obligation d'effectuer les vérifications générales périodiques n'est pas toujours respectée (voir p. 20).

Du côté de l'utilisateur, plusieurs freins sont constatés :

- la méconnaissance de la réglementation et des risques ;
- le coût de la vérification en cas de demande d'intervention d'une personne extérieure à l'entreprise ;
- le coût induit par l'augmentation de la fréquence de remplacement des protecteurs ou de renouvellement du parc.

Du côté des organismes vérificateurs, plusieurs facteurs n'incitent pas à développer cette activité dont :

- le nombre important d'arbres à cardans par exploitation ;
- l'éparpillement sur l'exploitation ;
- l'absence, parfois, de concordance entre les certifications des arbres à cardans et celles des protecteurs ;
- la mauvaise tenue dans le temps des marquages ;
- la difficulté de réaliser des vérifications sur certains limiteurs de couple et roues libres.

On remarquera toutefois qu'il n'est pas obligatoire de faire appel à un organisme agréé : le chef d'entreprise peut s'adresser à une personne compétente de son choix ayant des connaissances approfondies en la matière.

Cette vérification peut être finalement assez simple à réaliser. Si on se reporte aux éléments de l'enquête cités au point 1 du chapitre 3, un contrôle visuel permettrait de corriger plus de la moitié des défauts constatés.

>> 3.2. L'adéquation protecteur et arbre à cardans

L'arbre à cardans et son protecteur forment une seule et unique entité normative et réglementaire. Les difficultés apparaissent dès lors qu'un remplacement s'avère nécessaire :

- en général, à un type d'arbre correspond un type de protecteur ; mais il peut cependant exister un type de protecteur ou des pièces de protecteur qui conviennent à plusieurs types d'arbres à cardans ;
- étant donné que le marquage n'est pas indélébile, il devient difficile d'identifier l'arbre à cardans afin de pouvoir rechercher le protecteur approprié ;
- on peut ainsi parfois rencontrer, pour un arbre à cardans donné, une moitié de protecteur située du côté du tracteur d'un type différent de l'autre moitié qui se trouve du côté de l'outil. Le fait de recourir à des éléments de protecteurs inadaptés entre eux augmente les risques d'usure. Ces difficultés peuvent conduire à des constats de non-conformité tels que :
 - . l'absence de protecteur,
 - . l'absence de marquage sur le protecteur et/ou sur l'arbre à cardans,
 - . des protecteurs différents.

>> 3.3. L'adéquation arbre à cardans et outil

Les caractéristiques techniques de l'outil, notamment la puissance absorbée, la vitesse de rotation et les risques de bourrage, imposent au constructeur une typologie donnée au niveau de :

- la forme du profilé ;
- l'épaisseur du métal ;
- les caractéristiques des cardans.

En cas de renouvellement, l'utilisateur doit équiper l'outil d'un arbre à cardans présentant des spécifications techniques identiques. Les indications figurant sur le marquage de l'outil entraîné par l'arbre à cardan et qui doivent être reportées dans sa notice d'instructions serviront pour la vérification.

>> 3.4. Les cas particuliers

Les attelages courts

Les outils portés sur l'attelage trois points ont des arbres à cardans courts, difficiles à mettre en place. Il s'agit par exemple d'épandeurs d'engrais, de semoirs, de petites désileuses, de pailleuses.

Le contrôle approfondi (vérification du marquage, état de certaines pièces du protecteur) ne peut être réalisé que sur l'outil dételé (certains restent continuellement accrochés) ou remisé.

Cependant, en règle générale, les outils portés travaillent toujours en ligne et ont uniquement un débattement vertical. Par conséquent, ils ne subissent ni les virages qui sollicitent fortement les cardans, ni les frottements sur les pneus ou l'attelage trois points. De ce fait, ils souffrent moins, et leurs protecteurs ont ainsi une durée de vie nettement plus longue. Hormis l'inadéquation évoquée plus haut, on peut considérer que ce type d'utilisation n'entraîne pas une détérioration rapide.

La vigilance s'impose toutefois ; en effet, ces arbres à cardans souffrent souvent d'un manque d'entretien car l'accès y est difficile. Par ailleurs, selon la manière d'atteler, ils peuvent frotter contre le bâti (voir la photo des tubes usés p. 18).



Épandeur d'engrais, outil porté à attelage court.

En revanche, l'attelage court a pour avantage de décourager certaines pratiques à risque (enjambement, posture à proximité, etc.) en assurant de facto une protection par éloignement (présence des bras du système de relevage du trois points et distance horizontale supérieure ou égale à 550 mm).

Les limiteurs de couple

Ils doivent être du côté outil. En cas de tarage inapproprié du limiteur de couple, un incident tel qu'un bourrage ou une rupture de pièce peut conduire à des situations dangereuses pour l'utilisateur, en situation

de récupération d'incident, par exemple. La notice d'instructions ou technique lui indiquera les spécifications auxquelles doivent répondre ces organes de sécurité mécanique.

En cas d'emploi d'un boulon de cisaillement, s'il n'est pas d'origine, il convient de s'assurer, au vu de la facture, que ses caractéristiques sont conformes à celui d'origine.

CHAPITRE 4

Les bonnes pratiques

Les dangers inhérents à l'arbre à cardans nécessitent la mise en œuvre de bonnes pratiques destinées à maintenir un haut niveau de protection. Afin d'y parvenir, l'utilisateur dispose de différents moyens tout au long de la «vie» de l'arbre à cardans et de son protecteur.

1. L'achat

Pour garantir la sécurité de l'utilisateur, il convient de s'assurer de l'adéquation entre les caractéristiques de l'arbre à cardans et :

- les exigences de l'outil (puissance absorbée, mouvements de travail, contraintes, nécessité d'un limiteur de couple, etc.);
- le protecteur de l'arbre (la certification de ce dernier est acquise pour un modèle donné, associé à un type d'arbre à cardans donné);
- les caractéristiques du tracteur (puissance délivrée à la prise de force, nombre de cannelures, dégagement autour de la prise de force).

Lorsque l'outil est vendu équipé d'un arbre à cardans, c'est le constructeur de l'outil qui choisit l'arbre approprié. Lors de l'achat d'un arbre à cardans mis isolément sur le marché, l'agriculteur doit, quant à lui, effectuer son choix en fonction de critères techniques et fonctionnels, mais aussi en fonction de critères ergonomiques de façon à faciliter les opérations d'accouplement et de désaccouplement.

Qu'il soit mis sur le marché à l'état neuf ou d'occasion, l'outil doit être équipé d'un arbre à cardans approprié :

- à l'état neuf : l'arbre à cardans parvient au constructeur de l'outil avec une déclaration CE de conformité. Cet arbre neuf, équipant un outil neuf que l'agriculteur vient d'acquérir, est présumé conforme aux règles techniques applicables et aux normes utilisées ;
- à l'état d'occasion : en général, le vendeur vend l'outil en même temps que l'arbre à cardans correspondant. L'un et l'autre doivent être conformes lors de la vente aux prescriptions techniques applicables aux équipements de travail d'occasion. Chacun doit être accompagné d'un certificat de conformité. L'acheteur doit demander ce certificat au vendeur.

En cas de détérioration de l'arbre à cardans, la solution la plus adéquate sur le plan de la prévention des risques est de changer l'arbre à cardans en même temps que son protecteur et de se procurer un ensemble neuf conforme.

Lorsque seul le protecteur est détérioré, il est possible d'acheter un protecteur neuf de remplacement. La vigilance s'impose alors, car l'utilisateur doit acquérir un protecteur marqué CE correspondant au type d'arbre qu'il possède.

Si le modèle identique au protecteur d'origine n'est pas disponible, l'acquéreur a deux solutions :

- soit il se procure un autre modèle, également certifié, compatible avec le type d'arbre à cardans qu'il possède ;
- soit il se procure un protecteur dit « universel », mais dans ce cas il doit s'assurer de la compatibilité de tous les outils et de tous les tracteurs susceptibles de recevoir la transmission à cardans ainsi protégée.

Dans certains cas, il n'est pas utile de remplacer le protecteur dans sa totalité, mais seulement une pièce (un bol, une bague, un tube, etc.). La partie neuve doit être identique à celle d'origine car des parties de protecteurs disparates sont des sources de risques, comme par exemple un mauvais coulisement des deux tubes, des roulements de spécifications différentes, un recouvrement imparfait des croisillons par les bols, des chaînettes inappropriées.

2. L'adaptation

L'adaptation est l'acte par lequel l'utilisateur modifie une partie de l'arbre à cardans afin qu'il puisse être mis en place et fonctionner normalement sans contraintes. Ce travail banal sur une exploitation agricole n'est pas un acte anodin pour la sécurité de l'utilisateur car il peut détériorer le niveau de sécurité offert par l'équipement.

La nécessité d'adapter est la résultante de différents facteurs :

- l'absence d'uniformisation liée à la problématique de la liaison tracteur-outil (voir le tome « Pour des opérations d'attelage et de dételage aisées et sûres » : trop grande variété de configurations des systèmes d'attelages) ;
- la difficulté ou l'impossibilité de trouver un arbre à cardans ou un protecteur identique à l'original ;
- les informations nécessaires pour acheter l'arbre à cardans approprié ne sont plus disponibles (marquage illisible ou absent ; absence de notices ou de spécifications techniques) ;
- l'achat d'un protecteur dit universel nécessite une adaptation préalable.

>> 2.1. La mise à longueur des tubes

Le coulisement correct des deux parties de l'arbre et du protecteur nécessite une coupe franche et nette et une longueur appropriée. Les diamètres des deux tubes de protection doivent correspondre. Il en sera de même pour les profils de l'arbre proprement dit.

Lorsque le tracteur et l'outil sont en ligne, le recouvrement doit être déterminé de telle sorte qu'il existe un débattement suffisant pour que, dans toutes les positions relatives du tracteur et de l'outil, la protection et le fonctionnement de l'outil restent assurés.

Les cotes sont normalement données par le constructeur, dans la notice d'instructions.

>> 2.2. L'adaptation côté tracteur

Pour résoudre des difficultés d'adaptation de l'arbre à cardans sur le tracteur, il arrive que les utilisateurs enlèvent la plaque du bouclier de prise de force. Cet acte doit être prohibé si le bouclier n'est pas remplacé par une protection équivalente, car il laisse la prise de force non protégée. La solution passe également par un meilleur choix de transmission.

>> 2.3. L'adaptation côté outil

Autant la géométrie et l'espace disponible sont relativement homogènes au niveau du tracteur, autant ils sont variables du côté des outils.

La mise en place d'un arbre à cardans non approprié entraîne parfois :

- une découpe du bol, en raison de l'exigüité du cadre d'attelage ;
- sa déformation afin de pouvoir l'insérer ;
- son enlèvement, par exemple dans le cas d'un changement de vitesse manuel qui nécessite de tourner l'arbre à cardans afin de mettre des engrenages en concordance ;
- l'emploi d'un instrument pour insérer le bol.

Ces découpes, déformations, suppressions d'un élément du protecteur sont prohibées car elles laissent l'arbre récepteur non protégé. La solution passe là aussi par un meilleur choix de transmission.

Il convient de noter que des constructeurs fabriquent maintenant des outils dont le carter permet une meilleure insertion de l'arbre au niveau du cadre d'attelage et des manipulations plus aisées.

3. La mise en service

Lors de sa mise en service, il est nécessaire de s'assurer que l'arbre à cardans peut fonctionner en toute sécurité. En règle générale, il est recommandé qu'un arbre à cardans ou un protecteur, neuf ou d'occasion, ou modifié pour adaptation, fasse l'objet d'un essai à vide, à vitesse de rotation nominale, en ligne et en virage à la limite de l'angle maximum prévu par le constructeur. En cas de dysfonctionnement, toute intervention pour y remédier devra être faite à l'arrêt.

4. Le remisage

Afin d'éviter qu'il ne traîne au sol (souillure, dégradation), l'arbre à cardans doit être remisé sur un support fixé sur l'outil.

Les caractéristiques de ce support sont les suivantes :

- sa surface d'appui doit être suffisante pour ne pas blesser le protecteur (sont donc à exclure les fils de fer, les arêtes d'un fer, les plats de fer étroits, les ficelles, etc.) ;
- il peut soit être fixé sur le timon de l'outil (l'arbre à cardans repose sur le support), soit être suspendu à la structure.



Un support fixé sur le timon.

5. L'utilisation : des solutions simples

L'utilisateur est quotidiennement confronté à des aléas peu maîtrisables. L'entretien et la maintenance constituent dès lors un facteur essentiel de la sécurité. L'arbre à cardans et son protecteur doivent rester opérationnels tout en restant sûrs.

Pour ce faire, les mesures techniques de prévention suivantes doivent être prises :

- vérifier régulièrement l'état du protecteur ;
- graisser régulièrement (un mauvais graissage ou son absence provoque une dégradation rapide des roulements et du protecteur qui n'assure plus son rôle) ;
- utiliser l'arbre à cardans prévu pour l'outil ;
- utiliser le protecteur approprié prévu pour l'arbre à cardans (en cas contraire, inefficacité, usure plus rapide ou détérioration) ;
- assurer l'entretien préconisé par le constructeur ;
- supprimer rapidement la cause de la détérioration ;
- dans un virage serré, effectuer une manœuvre supplémentaire pour éviter une sollicitation excessive des cardans ;

- utiliser un joint de cardans « grand angle » pour les outils traînés ;
- tarer correctement les limiteurs de couple ;
- mettre les limiteurs de couple, les roues libres, etc. côté outil ;
- disposer d'un support d'arbre à cardans rabattable et de forme non anguleuse.

6. Le remplacement

Le remplacement de l'arbre à cardans s'avère nécessaire notamment lorsque :

- un profil est détérioré ;
- la bague, ou le bouton-poussoir de l'embout, est endommagée ou grippée ;
- les croisillons sont abîmés, cassés, fissurés ;
- le limiteur de couple, le joint grand angle homocinétique ou la roue libre ne remplissent plus leur fonction ;
- la mâchoire est cassée.

Le remplacement du protecteur s'avère nécessaire lorsque :

- une ou plusieurs pièces sont cassées, fissurées, tordues, trouées, déformées, cassantes ;
- les chaînettes ou leurs anneaux de fixation sont cassés ;
- les graisseurs sont bouchés, détériorés et les roulements grippés ;
- l'un des tubes ou des bols ne correspond pas à la certification d'origine (marques et/ou certifications différentes).

7. L'entretien courant et la maintenance

Pour maintenir en conformité et en bon état de fonctionnement l'arbre à cardans, l'utilisateur doit se référer à la notice d'instructions, à un rapport de vérification, à un carnet de maintenance tenu à jour ou à des examens visuels réguliers.

L'entretien consiste essentiellement à :

- dépoussiérer les graisseurs et les croisillons ;
- assurer un graissage régulier selon la périodicité recommandée par le constructeur ;
- nettoyer l'arbre à cardans et le protecteur et ôter les corps étrangers coincés (végétaux, ficelle, etc.) ;
- réparer les chaînettes ou leurs anneaux de fixation.

La maintenance a essentiellement pour objet de remplacer des moyens de protection ou des pièces détériorés. L'utilisateur peut être amené à se poser la question du choix entre une réparation et le remplacement. Il est préférable d'opter pour ce dernier, car il assure un niveau de sécurité optimal.

La fréquence de l'entretien dépend du type d'outil utilisé et de son environnement. En effet, l'arbre à cardans est davantage sollicité dans des conditions limites avec un outil traîné qu'avec un outil porté, ou lorsqu'il tourne dans une zone à forte concentration de poussières, de projection de particules ou de pailles.

Il arrive que l'entretien et la maintenance soient plus ou moins négligés :

- sur les chantiers (ensilage par exemple) ;
- lors de périodes d'activités intenses (moisson, fenaison, etc.) ;
- dans des conditions climatiques difficiles (un facteur de risque non maîtrisable).

Dans ces cas-là, le report de la maintenance à une période plus calme augmente les probabilités d'accident. En cas de détérioration, l'utilisateur peut également être tenté de différer la réparation. S'il a plus ou moins conscience du risque et y fait tout d'abord attention, il peut aussi s'habituer à l'utilisation d'un arbre non protégé et ne plus percevoir le risque qu'il prend ou fait prendre à ses collaborateurs (salariés, enfants, stagiaires).

Dans le cas où l'outil est confié à un réparateur, celui-ci est responsable des modifications qu'il effectue, dans la limite de ce que lui a demandé le client. En cas d'intervention incorrecte sur du matériel entraînant un accident du travail, ou encore si le réparateur n'a pas informé son client des opérations restant à effectuer pour assurer la sécurité, sa responsabilité pénale pourrait être engagée. Dans ces conditions, il est fortement recommandé que l'arbre à cardans soit pris en charge de la façon suivante :

- l'outil doit être équipé de son arbre ;
- l'ordre de réparation doit indiquer les travaux nécessaires pour remédier aux défauts constatés ;
- lorsqu'un utilisateur omet de mentionner une quelconque détérioration de l'arbre à cardans, le responsable des travaux doit le signaler et proposer de l'inscrire sur l'ordre de réparation (il en est de même pour toute défectuosité ou anomalie constatée sur l'outil et relative à la sécurité) ;
- en cas de constat ultérieur, après la signature de l'ordre de réparation, le responsable doit en informer le propriétaire et solliciter la réparation ;
- la facture doit mentionner les tâches accomplies et les réparations non effectuées sur demande expresse du propriétaire.

CHAPITRE 5

L'amélioration de l'existant

L'arbre à cardans et son protecteur constituent un équipement de travail qui répond correctement aux exigences des utilisateurs. Il bénéficie encore d'améliorations qui contribuent à son efficacité, telles que l'augmentation des puissances transmises et le niveau de sécurité offert. Toutefois il reste dangereux : la protection contre les risques de happement reste imparfaite, malgré des progrès sensibles. Existe-t-il encore des possibilités d'évolution ?

1. Les facteurs de risque

Le schéma page suivante reprend selon un angle différent les principaux facteurs de risques déjà évoqués au chapitre 2 sur les conditions de travail. Il permet de mieux comprendre dans quels domaines les différents acteurs peuvent agir, que ce soit au niveau du constructeur ou de l'utilisateur, quelles sont les possibilités d'évolution et quels sont les différents points sur lesquels il est possible de faire avancer la prévention des accidents.

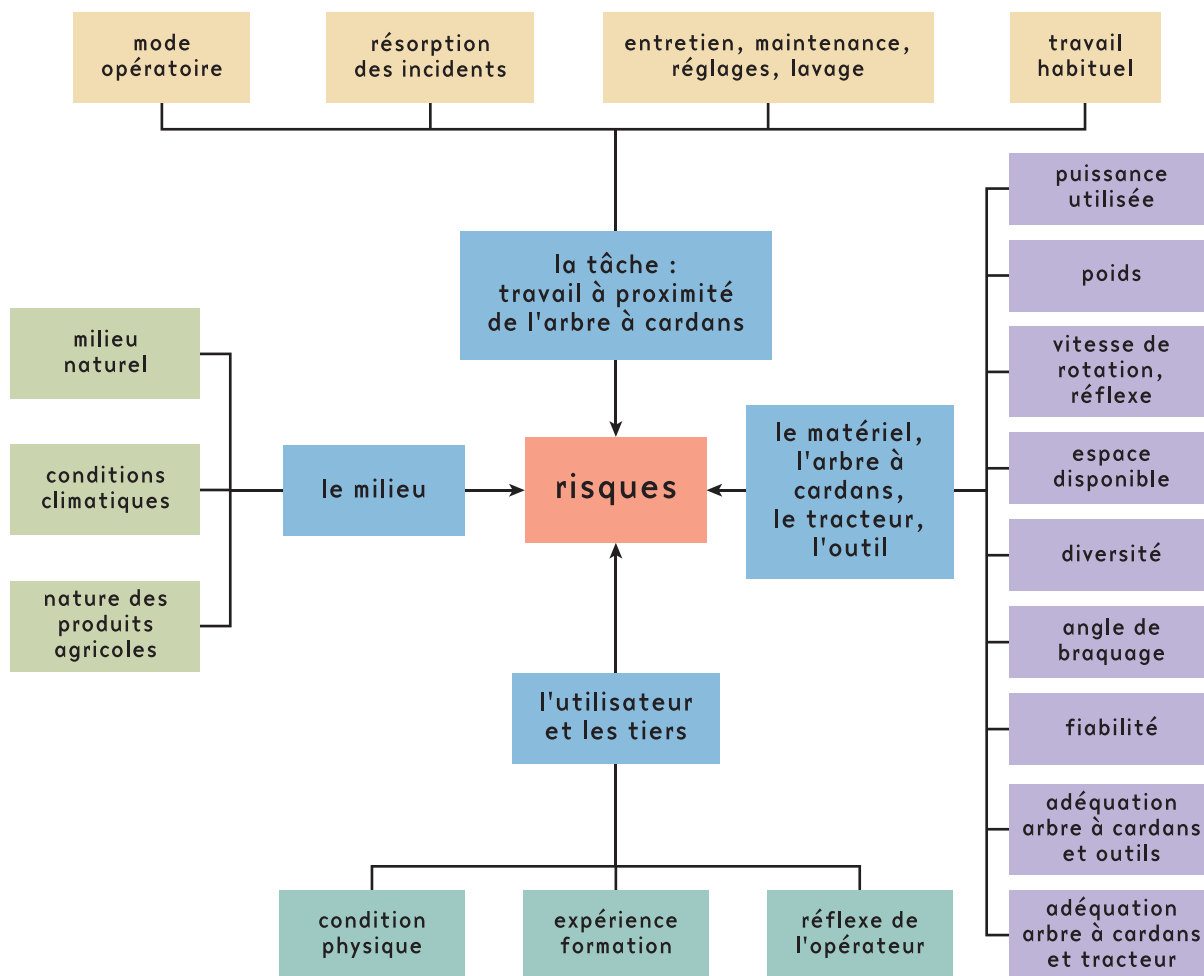


FIG. 7 : Les principaux facteurs de risques liés à l'utilisateur, à l'arbre, à la tâche et au milieu.

2. Les voies d'amélioration de la sécurité

>> 2.1. La voie réglementaire et normative

Le dispositif législatif, réglementaire et normatif d'origine européenne et française pourrait être amélioré. En effet, les protecteurs mis sur le marché à l'état neuf couvrent parfaitement l'arbre à cardans proprement dit, de telle sorte qu'aucune partie en mouvement n'est accessible. Par contre, l'enquête nationale décrite au chapitre 3 a mis en lumière les difficultés rencontrées pour maintenir les protecteurs en conformité. Les utilisateurs jugent notamment les protecteurs d'arbres à cardans trop fragiles par rapport aux conditions d'utilisation et peu fiables. Les conditions de travail y concourent, mais il serait souhaitable que les normes et essais en laboratoire prennent mieux en compte ces réalités du terrain. L'utilisation de machines directement confrontées aux aléas de la nature et au travail intensif exige des réponses appropriées que le protecteur de l'arbre à cardans, tel qu'il est conçu, ne paraît pas apporter.

Sur certains points, les normes pourraient faire l'objet d'améliorations pour prendre en compte le plus possible les conditions réelles d'utilisation, notamment :

- la facilité du graissage (accès aux points de graissage, graissage permanent) ;
- l'ergonomie (accès, postures, mise en place, dépose) ;
- l'importance du débatement de l'arbre à cardans autour de la prise de force du tracteur ;
- la trop grande diversité des hauteurs d'attelage et de l'environnement arrière des tracteurs.

>> 2.2. La conception des constituants de la liaison tracteurs-outils

Les arbres de transmission à cardans

Sur le terrain, la pérennité de la protection est souvent problématique ; l'état général, la fiabilité, l'efficacité, la durabilité du protecteur de l'arbre à cardans pourraient être améliorés.

- les graisseurs et les roulements :
 - . l'accès aux graisseurs n'est pas toujours aisé,
 - . il est souvent nécessaire d'être à deux pour pouvoir graisser,
 - . les opérateurs sont souvent tentés d'agrandir les ouvertures prévues, de découper le bouclier ou le bol,

. en cas de graissage insuffisant, les cardans et les roulements se détériorent et se grippent.

Il existe toutefois sur le marché des arbres à cardans sur lesquels on a réduit la fréquence du graissage ou pour lesquels des facilités d'accès aux points de graissage ont été prévues.

C'est ainsi que le service régional de l'inspection du travail et de la politique sociale agricoles de Poitou-Charentes, les caisses de la mutualité sociale agricole de la Vienne et de la Charente ont expérimenté en 2005 et 2006, en situation réelle, auprès d'agriculteurs, un protecteur dont la particularité est de ne nécessiter un graissage que toutes les 250 heures maximum. L'espacement entre deux graissages a eu pour effet de laisser la transmission plus propre, de faire baisser le temps passé au graissage et d'utiliser moins de graisse. Les utilisateurs ont exprimé leur satisfaction générale.

Sans être aussi fonctionnels, on trouve également sur le marché des modèles d'arbres à cardans qui constituent un progrès notable par rapport à la moyenne des modèles existants car leurs protecteurs disposent de bols rétractables ou de bols équipés de trappes de visites, facilitant l'accès aux graisseurs.

- le poids : l'augmentation de la puissance sollicitée conduit à fabriquer des arbres à cardans de plus en plus lourds, donc de plus en plus difficiles à manier, nécessitant souvent la présence d'une deuxième personne pour les mettre en place ;
- la solidité de la matière plastique utilisée pour la protection : dans les conditions normales de travail (poussières, température, rayonnements, frottements, périodes de pointe de travail, etc.), la matière plastique du protecteur est relativement fragile, mais la normalisation a nettement fait progresser sa résistance ;
- la fragilité des chaînettes :
 - . les matériaux utilisés résistent mal,
 - . les anneaux de fixation en plastique ne sont pas appropriés aux conditions réelles d'utilisation.

Si on conçoit que des améliorations technologiques sont possibles, il paraît malgré tout inévitable que la durée de vie d'un protecteur restera inférieure à celle de l'arbre à cardans lui-même. Le remplacement nécessaire du protecteur se heurte également au coût de celui-ci ; plus il est cher, et plus l'utilisateur sera tenté de différer la dépense correspondante.

La conception des outils

Les caractéristiques des outils déterminent le choix du moyen de transfert de l'énergie en provenance du tracteur. À l'heure actuelle, l'arbre à cardans est le moyen le plus couramment utilisé.

Dans la pratique, les constructeurs d'outils ont à leur disposition :

- l'énergie mécanique transmise par un arbre à cardans robuste et utilisable pour toutes les puissances ou couples nécessaires, mais limité dans ses mouvements et dangereux ;
- l'hydraulique, plus souple d'emploi et d'une dangerosité moindre, sans organes mécaniques dangereux en mouvement, mais le plus souvent réservée aux petites puissances.

Les outils peuvent ainsi recourir à différentes solutions, schématisées ci-après, faisant appel aux énergies mécaniques ou hydrauliques, utilisées isolément ou de manière combinée.



Fixation de la chaînette sur un anneau en plastique intégré au bol.

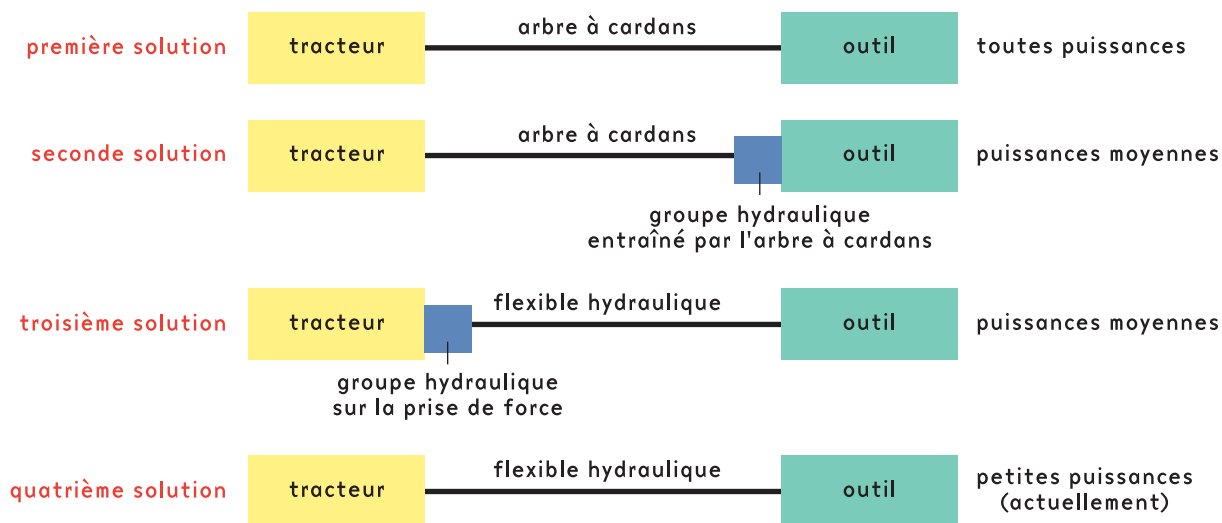


Fig. 8 : Différentes configurations de transmission de l'énergie.

L'introduction de l'hydraulique, soit en mode de transmission principal, soit en secondaire, est une réalité qui traduit la volonté d'utiliser toutes les techniques mises à disposition des constructeurs. Selon les constructeurs d'outils, le principal frein à l'évolution de l'énergie hydraulique vers une utilisation plus courante provient de la faiblesse de la puissance hydraulique délivrée par le tracteur qui constitue actuellement un facteur limitant.



Exemple d'installation hydraulique directe.

Pourtant, une étude de la liaison tracteur-outil vue sous l'angle de la facilité d'utilisation et de l'ergonomie (espace de travail disponible, par exemple) devrait conduire à repenser la conception des outils.

La conception des tracteurs

La liaison tracteur-outil, composée du système trois points, de modes d'attelages divers et de l'arbre à cardans, existe depuis de nombreuses décennies. Il y a certes eu évolution, mais pas révolution. Les constructeurs de tracteurs et d'outils ont introduit massivement l'électronique, l'informatique et les automatismes, mais le progrès de la liaison tracteur-outil n'a pas évolué au même rythme.

L'un des principaux freins à la fourniture d'une puissance hydraulique élevée à la sortie des tracteurs vient du fait que le parc des outils existants continue d'utiliser très majoritairement la puissance mécanique. Le marché de l'hydraulique n'arrive donc pas à trouver sa place.

Les constructeurs de tracteurs ne trouvant pas de marché porteur ne se lancent pas dans l'hydraulique et réciproquement les constructeurs d'outils ne trouvant pas de tracteurs fournissant une puissance hydraulique suffisante continuent de construire des outils utilisant la puissance mécanique.

L'interface « liaison tracteur-outil »

Chaque constructeur (d'arbre à cardans, d'outils, de tracteurs) se préoccupe, à juste titre, de son produit. Chacun attend de l'autre qu'il engage quelque innovation. Il en résulte que la transmission de puissance entre le tracteur et l'outil demeure essentiellement mécanique.



Utilisation d'un arbre à cardans pour animer une pompe hydraulique sur l'outil.



Utilisation de l'hydraulique pour le relevage.

La complexité de l'interface entre tracteur et outil rend toute innovation radicale très difficile :

- elle demande des modifications substantielles ;
- le parc existant doit pouvoir continuer à être utilisé.

Une jonction hydraulique interchangeable amovible formant un lien commun entre le tracteur et l'outil ne pourrait-elle pas faire évoluer cette interface ?

>> 2.3. L'implication des utilisateurs

Les remarques des utilisateurs concernent notamment :

- la fiabilité dans les conditions réelles d'utilisation ;
- le poids ;
- les difficultés de l'accouplement et du désaccouplement (poids, place disponible, perte de temps) ;
- les difficultés de réglage de la liaison tracteur-outil (bras de relevage par exemple) ;
- les difficultés de graissages.

Aux dires de certains utilisateurs, la sécurité n'est pas un argument de vente. En revanche, un système présentant des avantages évidents en termes de réduction de la pénibilité devrait être attractif, sous réserve qu'un marché stable de tracteurs et d'outils compatibles se constitue.

>> 2.4. Une nécessaire évolution

Le machinisme agricole évolue très rapidement par l'intégration de l'informatique et des automates dans la conception des outils attelés et des tracteurs. L'adaptation de la liaison tracteur-outil, et notamment de l'arbre à cardans, est alors primordiale et nécessaire, mais celui-ci apparaît aujourd'hui comme un frein au progrès dans son ensemble.

L'achat d'une machine neuve n'est quasiment jamais précédé par la rédaction d'un cahier des charges qui devrait mettre en avant les conditions d'utilisation. On constate que les aspects économique et technique (coût, efficacité, rendement) priment sur les conditions d'utilisation et les contraintes qui constituent pourtant également un coût pour les entreprises.

La prévention des risques professionnels des non-salariés de l'agriculture permettra, parallèlement aux actions ciblant les salariés de ce secteur, de sensibiliser cette population à la réalité des risques et des accidents qui ne constituent pas une fatalité. D'autres attitudes, comportements et types d'organisations du travail moins dangereux sont possibles.

Les exigences de sécurité d'une part et les opportunités des technologies modernes d'autre part, ne pourraient-elles pas constituer une opportunité pour faire évoluer le machinisme agricole vers des machines qui soient à la fois plus opérationnelles et plus sûres ?

CHAPITRE 6

Les perspectives

L'arbre à cardans est-il la seule réponse au problème de la transmission d'une puissance du tracteur à un outil ? Existe-t-il une technologie utilisée dans d'autres secteurs d'activités qui pourrait remplacer, autant que faire se peut, l'arbre à cardans ?

L'évolution du machinisme agricole, notamment celle du système tracteur-outil dans lequel le tracteur est une centrale d'énergie polyvalente, ne pourrait-elle pas recourir à d'autres types de transmissions de puissance ?

Les technologies faisant appel à l'hydraulique ou à l'électricité, présentées ci-après, existent et sont transposables.

Cependant, malgré les accidents graves ou mortels générés par les arbres à cardans, la situation évolue peu du fait de l'inertie du marché. L'arbre à cardans est un équipement de travail apparemment banal qui ne fait pas partie des préoccupations premières des utilisateurs au moment de l'achat car il n'a pas d'effet immédiat sur l'efficacité et le rendement, contrairement à l'outil. Ce n'est pas un argument de vente pour le vendeur.

Quant aux utilisateurs, ils sont de plus en plus demandeurs d'innovation dans ce domaine mais, d'un côté, leurs opinions sont négatives vis-à-vis de l'arbre à cardans, et de l'autre, ils ne s'engagent pas vraiment vers des solutions alternatives. Pourtant, il ne fait aucun doute que les constructeurs de tracteurs et d'outils, qui utilisent déjà des technologies innovantes mais avec parcimonie, feront preuve d'imagination et d'innovation si la demande existe.

La réglementation et les actions de sensibilisation, de formation et de prévention des risques professionnels pourront permettre d'infléchir les mentalités et les habitudes et d'introduire d'autres techniques moins dangereuses.

Les exigences essentielles de sécurité et de santé des directives européennes, et les spécifications techniques des normes qui en découlent, demandent aux constructeurs de prendre en compte dans leur analyse des risques :

- la connaissance des situations réelles d'utilisation ;
- les utilisations prévisibles.

Les principes généraux de prévention du Code du travail demandent aux utilisateurs :

- de procéder à « l'évaluation préalable des risques » ;
- de « combattre les risques à la source » ;
- de « tenir compte de l'état d'évolution de la technique » ;
- de « remplacer ce qui est dangereux par ce qui n'est pas dangereux ou par ce qui est moins dangereux ».

La question est donc de savoir, par rapport à ces principes, s'il existe une technologie actuelle, susceptible d'être une alternative à l'arbre à cardans.

1. L'hydraulique, une vraie solution ?

L'énergie hydraulique peut être utilisée dans de nombreux domaines, couvrant un large éventail des puissances, des vitesses d'animation ou de déplacement dans ses moindres composantes. La flexibilité des usages offerts par les différents composants d'une installation hydraulique et leur pilotage par l'électronique fait de l'énergie hydraulique une technologie de transmission de puissance de premier ordre.

Largement utilisée dans de nombreux secteurs d'activités, notamment les bâtiment et travaux publics (BTP), par exemple, qui demandent des puissances nettement supérieures à celles utilisées en agriculture, elle a une place encore bien modeste dans le machinisme agricole.

Cette technologie peut-elle être adaptée et utilisée pour la transmission mécanique entre tracteur et outil ? Quelles seraient les modifications nécessaires sur le tracteur et l'outil ?

Serait-elle susceptible de baisser la dangerosité de la « liaison tracteur-outil » en supprimant l'arbre à cardans, tout en offrant les mêmes services aux utilisateurs ?

Pour l'instant, son usage est quasiment généralisé dans le levage et se développe dans le déplacement et l'animation des mouvements des outils attelés ou des machines automotrices ; mais les constructeurs d'outils sont encore souvent obligés d'adopter, dans certaines configurations, des solutions mixtes qui ne vont pas dans le sens de la simplicité et qui peuvent augmenter à la fois les risques et les coûts de fabrication.

>> 1.1. Les utilisations de l'hydraulique en milieu agricole

L'énergie hydraulique est utilisée dans différents secteurs d'activités agricoles où elle a différentes fonctions :

- la traction dans les déplacements des véhicules ;
- l'actionnement de vérins ;
- l'entraînement de mouvements de rotation ou alternatifs de différentes natures ;
- le levage.



Traction sur un enjambeur.



Retourneur d'andains.



Godet de désilage sur chargeur frontal.



Mélangeuse-distributrice.



Manutention de balle ronde.



Levage sur benne.

L'évolution des techniques a permis de mettre sur le marché des gammes très étendues en puissance, en vitesse de rotation, en pression, en couple, en différenciation de mouvements et en débit susceptibles de convenir à toutes les situations.

>> 1.2. Les atouts de l'énergie hydraulique

Une installation utilisant l'hydraulique comme moyen d'animer un outil en lieu et place de l'arbre de transmission à cardans présente les avantages suivants :

- la technologie est maîtrisée : beaucoup de machines et d'installations l'utilisent ;
- il n'y a dans certains cas que deux flexibles légers et souples à manipuler ;
- la connexion peut être plus rapide et plus aisée : le flexible n'a pas la lourdeur d'un arbre à cardans ; il n'y a pas de cannelures à faire coïncider avec la prise de force, ni de bouton à pousser, ni de bague à tourner ;
- l'entretien est réduit : il n'y a ni graisseurs ni roulements ;
- elle est moins dangereuse : il n'y a pas de pièces en mouvement ;
- elle n'est pas limitée en puissance : les constructeurs de moteurs et de pompes hydrauliques assurent pouvoir fournir toutes les catégories nécessaires au bon fonctionnement de toutes les machines (débit, pression et vitesse de rotation) ;
- elle permet un pilotage différencié des différents mouvements présents sur une machine ;
- elle permet l'amélioration de la sécurité en rendant possible l'utilisation de dispositifs de verrouillage et d'interverrouillage des protecteurs mobiles sur les machines ;
- elle offre la possibilité d'inverser le sens de rotation des éléments mobiles de l'outil afin de faciliter les débourages.

>> 1.3. Les précautions à prendre dans l'usage de l'hydraulique

L'énergie hydraulique nécessite cependant vigilance et rigueur afin d'assurer la fiabilité, la sécurité et la pérennité de l'installation :

- au niveau de la conception :
 - . protection des organes contre les risques externes de détérioration et contre les risques de projection d'huile,
 - . limitation des risques d'usure (éviter les frottements des flexibles dans des gaines et les flexions répétées, par exemple),
 - . compatibilité entre tracteurs et outils (faire attention aux mélanges d'huiles présentant des caractéristiques différentes par exemple) ;
- au niveau de la maintenance et de l'entretien :
 - . la filtration (qualité de fonctionnement et rendement des pompes),
 - . les caractéristiques techniques des huiles, de la plage de viscosité et de la température de service, ce qui exclut certains mélanges (type et/ou viscosité différents),
 - . l'état des flexibles,
 - . la propreté des raccords,
 - . le rangement.

Les exigences ci-dessus supposent que les utilisateurs soient méthodiques et précautionneux, mais elles sont beaucoup moins contraignantes que celles des transmissions à cardans.

>> 1.4. Les freins et les limites

Malgré sa souplesse d'emploi et sa dangerosité réduite, l'utilisation de l'énergie l'hydraulique a peu progressé dans le machinisme agricole pour la fourniture de puissance aux outils attelés, contrairement à d'autres secteurs d'activités. Seules des applications particulières, peu exigeantes en puissance, se développent lentement. Quels sont les freins, les réticences qui expliquent ce phénomène ? Comment expliquer cet attachement à un arbre à cardans dangereux, difficile à manipuler et dont le protecteur est fragile ? Quelles sont les limites, réelles ou imaginaires, objectives ou subjectives, qui bloquent ou freinent l'innovation, la recherche d'autres voies ?

Les freins sont à la fois de nature économique, technique, culturelle et psychologique.

La première objection majeure apportée autant par les constructeurs de tracteurs que par les fabricants d'outils porte sur les problèmes de concurrence.

En effet, les uns et les autres peuvent présenter sur le marché des tracteurs et des outils équipés pour un usage hydraulique, mais les modifications nécessaires par rapport au parc actuel entraîneraient un surcoût et donc une distorsion de compétitivité, pour le constructeur innovant, par rapport à ses concurrents. A contrario, les innovations relatives à la technologie actuelle de l'arbre à cardans et de son protecteur ne sont plus fondamentales et ne nécessitent plus guère de recherches en bureau d'études, ce qui représente un coût réduit sur ce poste. La mutation de l'arbre de transmission à cardans vers l'énergie hydraulique nécessiterait toutefois dans le machinisme agricole des recherches, des études coûteuses et des modifications structurelles des outils. En outre, l'internationalisation des marchés et la taille de plus en plus importante des quelques constructeurs présents sur les marchés mondiaux induisent une certaine inertie au changement et à l'innovation dans ce domaine.

Pour l'utilisateur, les progrès au niveau de la traction et des systèmes de commandes, l'augmentation des puissances nécessaires pour entraîner les outils, la sophistication des outils, impliquent une nette progression des coûts d'investissements en matériels dans une exploitation agricole. L'augmentation des surfaces cultivées par exploitation a sans aucun doute permis de compenser ces hausses mais néanmoins l'éventuel surenchérissement des coûts dû à l'utilisation de l'hydraulique peut être susceptible de freiner son usage.

Sur le plan technique, une installation hydraulique peut imposer cependant des contraintes relatives :

- à la nécessité de modifier ou d'adapter le parc existant des tracteurs ou des machines (pompe sur la prise de force, séparation de l'huile du pont de celle utilisée pour le fonctionnement des outils, réservoir d'huile et radiateur) ;
- à la nécessité d'augmenter la puissance de base du tracteur pour compenser les pertes de charge ;
- à la rigueur et à la vigilance indispensables dans l'entretien et la maintenance (éviter les fuites d'huile et les corps étrangers dans les circuits).

Cependant ces inconvénients doivent être relativisés, comme en témoignent certaines expériences menées sur le terrain (voir p. 55 et 56).

En ce qui concerne les tracteurs, toute la technologie actuelle découle des fonctions primordiales de traction et de transmission. Alors que la quasi-totalité de la puissance du moteur du tracteur peut être transmise par l'arbre à cardans, seule une petite partie d'entre elle est actuellement transmise par la pompe hydraulique, soit en moyenne 22,6 kW pour un tracteur d'une puissance de 100 kW (136,5 CV; voir annexe 3). La pompe hydraulique d'un tracteur, dans sa conception actuelle, permet l'utilisation du vérin dans sa fonction de relevage ainsi que quelques applications annexes. L'utilisation de l'huile du pont et du relevage ne permet pas de transmettre des puissances conséquentes, ce qui interdit de l'utiliser pour actionner des machines importantes. Seules quelques applications spécifiques, peu consommatrices d'énergie, utilisent cette technique (entraînement d'une pompe à lisier par exemple). La généralisation de la technologie hydraulique nécessiterait donc une modification substantielle de la conception du tracteur, de sa pompe et du réservoir d'huile.



Exemple de prises d'huiles.

En ce qui concerne les freins culturels et psychologiques, la connaissance parfaite des procédés de fabrication de l'arbre à cardans par les constructeurs et la maîtrise de son utilisation par les utilisateurs ont certainement contribué à conserver des acquis techniques dont l'efficacité était reconnue. En outre, l'accident du travail ou la maladie professionnelle sont encore trop souvent perçus comme une fatalité et non comme des arguments susceptibles d'influer sur le choix d'un équipement. La sécurité est rarement le souci primordial lors d'un achat. La prise de conscience des risques liés aux machines est récente et la méconnaissance relative de l'hydraulique par rapport à l'arbre à cardans contribue vraisemblablement à figer la situation actuelle.

>> 1.5. Exemples d'utilisation de l'énergie hydraulique

Des utilisations

Des initiatives diverses de constructeurs et d'utilisateurs montrent que l'énergie hydraulique peut dans bien des cas être utilisée à la place de l'arbre à cardans, même si celui-ci reste omniprésent.

Le levage et la manutention

La fonction levage est assurée par l'hydraulique depuis longtemps. Hormis le cas des chargeurs frontaux, la pompe est en général actionnée par l'arbre à cardans.

L'entraînement de mouvements

Certains travaux, tels la distribution d'engrais, ne demandant pas de puissance élevée (inférieure à 20 kW environ), peuvent être effectués par des outils travaillant à l'hydraulique.



Un distributeur à engrais à plateaux entraînés par l'hydraulique.

Le choix entre l'hydraulique et l'arbre à cardans

Certains outils qui absorbent une puissance faible bénéficient d'une double installation et sont proposés soit en version « arbre à cardans » soit en version « hydraulique ». L'exemple le plus frappant est la tonne à lisier.

Solutions mixtes

Certains constructeurs équipent leurs outils ou leurs remorques d'une installation hydraulique entraînée par l'arbre à cardans, car elle est la plus appropriée pour animer certains organes. Si le tracteur pouvait fournir la puissance hydraulique suffisante, celle-ci pourrait être distribuée directement à l'outil ou à la remorque sans qu'il soit nécessaire de passer par cette technologie lourde, complexe et dangereuse.



Arbres secondaires et pompe hydraulique.

Des exemples d'initiatives

On rencontre aussi, ici ou là, des initiatives d'agriculteurs visant à remplacer l'arbre à cardans par l'hydraulique.



Modification d'une bétonnière.

Cas d'une bétonnière

Un agriculteur a eu comme objectif d'assurer sa sécurité en supprimant l'arbre à cardans sur une bétonnière actionnée par un tracteur. Sa prise de conscience du danger avait été tardive car longtemps « endormie » par le caractère très occasionnel de l'utilisation de la bétonnière et la lente dégradation de l'arbre.

Cas d'une planteuse en CUMA

Un président de CUMA, soucieux de sa responsabilité, voulait aussi s'épargner du temps de travail, car il vérifiait toujours l'état des outils à leur retour. Les sociétaires n'étaient pas toujours attentifs à rendre un outil dans l'état dans lequel ils l'avaient pris. C'est dans cet état d'esprit qu'il a fait réaliser une planteuse alimentée à l'énergie hydraulique par un artisan local.



Modification d'une planteuse.

Un témoignage

Un agriculteur, dans l'Eure, a réalisé plusieurs interventions faisant appel à l'hydraulique. Voici son témoignage à travers quatre exemples :

Premier exemple

« À l'occasion d'une panne d'une pompe hydraulique sur une de mes bennes, et après discussion avec un conseiller de prévention et le réparateur de matériel agricole, j'ai choisi de remplacer l'arbre à

cardans par des flexibles hydrauliques. Je me suis aperçu que l'opération était plus simple et moins onéreuse que je l'imaginais au départ ; il suffisait simplement de venir relier la canalisation fixe du vérin au distributeur du tracteur au moyen d'un flexible hydraulique. Cette modification n'entraîne pas de problèmes d'huiles hydrauliques du fait de leur miscibilité (mes cinq tracteurs utilisent la même huile et ont des capacités d'huile suffisantes). »

Deuxième exemple

« La mise en place de pick-up "spécifique lin" sur des enrouleuses classiques a pu se faire en utilisant des moteurs hydrauliques à variation de vitesse par potentiomètre. J'ai réalisé moi-même ces installations avec l'aide de mon fournisseur de composants hydrauliques. »

Troisième exemple

« Grâce, entre autres à l'hydraulique, j'ai pu adapter une récolteuse de pommes de terre en ramasseuse à cailloux et résoudre les problèmes de bourrages de l'élévateur en isolant ce dernier de la table de nettoyage. Cette modification a rendu la machine plus fonctionnelle, plus sûre en allégeant au maximum les interventions humaines. La plupart des débourrages se font depuis le poste de conduite du tracteur. »

Quatrième exemple

« Pour m'éviter de descendre dans de la végétation traitée j'ai équipé mon pulvérisateur d'un vérin qui me permet d'agir sur la manette qui enclenche ou déclenche le DPA (débit proportionnel à l'avancement) à partir du poste de conduite du tracteur. »

Une initiative

La Mutualité sociale agricole de l'Aisne avait, à partir de 1981, subventionné un kit hydraulique à installer sur des bennes, des tonnes à lisier ou des pulvérisateurs. 778 remorques ont ainsi été équipées de 1981 à 1997. Les avis recueillis auprès des utilisateurs sont tous positifs.

2. Une autre source d'énergie : l'électricité

L'électricité est essentiellement utilisée pour la signalisation, les commandes et les automates. Elle n'est pratiquement jamais utilisée comme source de puissance et cela ne pourrait évoluer significativement dans l'avenir que si on arrivait à miniaturiser suffisamment les batteries pour les rendre moins lourdes et encombrantes.

Le voltage délivré est celui de la batterie, soit 12 volts. Dans les configurations actuelles, il s'agit donc de la très basse tension (TBT). Cette énergie est facile à mettre en œuvre et présente peu de dangers. Les normes électriques existent et sont applicables au machinisme agricole. La sécurité des utilisateurs y est intégrée. La signalisation constitue la première utilisation généralisée de l'électricité comme moyen de satisfaire le Code de la route et les exigences de travail nocturne :

– signalisation avant et arrière du tracteur ;

- gyrophare ;
- éclairage spécifique sur le tracteur ou la machine automotrice ;
- barre de signalisation à l'arrière des outils ;
- balisage de dimensionnement.

Comme les machines ont de plus en plus de fonctions ou de réglages permettant de gérer efficacement le travail qu'elles doivent fournir, elles sont équipées d'informatique et d'automates qui utilisent l'électricité pour leur fonctionnement. Grâce à l'électronique embarquée, les machines agricoles peuvent être pilotées automatiquement selon des programmes prédéfinis (dialogues entre l'outil et le tracteur : systèmes BusCAN ou ISOBUS), et utiliser des logiciels spécifiques ainsi que des applications comme la localisation géographique. Les commandes électroniques peuvent être situées dans la cabine du tracteur ou à proximité, permettant des réglages lors de la conduite ; elles peuvent être situées sur la machine en cas de travail à poste fixe ou d'un ensemble avec poste de travail sur la machine en déplacement. La présence des automates et de l'informatique embarqués nécessite d'être vigilant quant à l'application des règles de l'art et exigences réglementaires en matière de compatibilité électromagnétique, afin d'éviter des interférences néfastes susceptibles de provoquer des incidents éventuels de fonctionnement, sources d'accidents potentiels.

Dans le cadre d'une évolution possible du tracteur vers une centrale multi-énergies, de nombreuses pièces d'outils pourraient être animées par des moteurs électriques avec ou sans réducteurs. Ainsi certaines fonctions ou certaines opérations élémentaires sur les outils habituellement entraînés par des engrenages, des poulies, des courroies, des chaînes pourraient être remplacées par des moteurs électriques, lorsque le type de travail effectué le permet (absence d'à-coups ou de sollicitations brusques par exemple).

En outre le recours à l'énergie électrique permettrait la mise en place de dispositifs d'asservissement assurant automatiquement la sécurité des utilisateurs. Ils agissent de différentes manières :

- en détectant la présence de l'opérateur sur son siège et en arrêtant l'outil de coupe avant que celui-ci descende de l'engin par exemple ;
- en interdisant un accès ;
- en interdisant une utilisation.

Le verrouillage et l'interverrouillage de protecteurs mobiles qui interdisent l'accès à la zone dangereuse en présence du risque (arrêt d'un organe en mouvement par exemple) utilisent par exemple ces fonctions. Les asservissements électriques de sécurité peuvent être associés étroitement à l'usage de l'hydraulique.

Quelques initiatives ont déjà été prises dans ce domaine.

Ainsi, selon le témoignage d'un technicien de prévention, des tracteurs enjambeurs ont été équipés dans les années 1980 d'une génératrice de 28 ch, fournissant une tension de sortie de 660 volts, actionnant des moteurs électriques triphasés, équipés de disjoncteurs différentiels 30 milliampères et équipés d'arrêts d'urgence devant chaque moteur. Le tracteur enjambeur était équipé d'un broyeur à sarments (puissance requise 25 ch), d'une rogneuse électrique, d'un pulvérisateur actionné par moteur électrique (pompe et ventilateurs électriques sur rampe

pendulaire dans les rangs). Ce type de transmission permettait des branchements rapides, moins de bruit, de la sécurité et de la fiabilité, tout en procurant une puissance suffisante.

Il y a aujourd'hui d'autres techniques qui commencent à se développer pour des vérins électriques en 12 ou 24 volts ou commandes de distributeurs d'engrais en faible puissance sur moto-tracteur. C'est ainsi qu'un adaptateur d'outils sur tracteurs à chenilles est en train d'utiliser, pour des puissances de quelques chevaux, la basse tension en sulfatage. Des ventilateurs de refroidissement des moteurs des voitures (12 V qui ont une puissance d'environ 1 ch) ont été repris sur une rampe de pulvérisation. Ces moteurs sont alimentés par un moteur auxiliaire qui actionne un alternateur basse tension.

Enfin, un fabricant d'outils pour la viticulture a conçu une écimeuse électrique. Les couteaux sont entraînés par des moteurs électriques alimentés par un alternateur de 3 ou 9 kW monté sur la prise de force avant du tracteur.

3. Le tracteur : une centrale d'énergie

Le frein à l'évolution de l'utilisation de l'hydraulique ou de l'électricité comme vecteurs de transmission d'énergie, en remplacement ou en complément de l'arbre à cardans, est sans conteste à rechercher du côté du tracteur ; il reste le facteur limitant.

Les progrès les plus récents dans ce domaine ont essentiellement concerné les boîtes de vitesses hydrauliques, et les commandes et automates pilotés par l'électronique dont l'outil attelé bénéficie actuellement. L'électronique ouvre des possibilités d'évolution considérables pour l'outil ; mais pour cela, l'outil doit pouvoir utiliser des énergies plus souples et plus sûres que l'énergie mécanique transmise par l'arbre à cardans.

Un tracteur innovant ne pourrait-il pas être conçu comme une centrale d'énergies, capable de satisfaire non seulement les besoins de traction mais aussi les exigences et les besoins des outils ?

Ce nouveau type de tracteur serait ainsi d'une conception différente dont le caractère le plus novateur serait la séparation entre les fonctions de traction et de transmission d'énergie aux outils.

Le moteur thermique pourrait, selon les cas, fournir l'énergie :

- de traction telle qu'elle existe actuellement ;
- à une pompe hydraulique capable d'entraîner la majorité des outils, c'est-à-dire de délivrer la même puissance qu'un arbre à cardans pour une même puissance de tracteur ;
- à un générateur électrique couvrant tous les besoins (circuits de puissance et de commandes, l'informatique embarquée, les automates et la robotique) ;

Les avantages apportés par ce nouveau concept de tracteur pourraient concilier à la fois les exigences de sécurité et les exigences de l'exploitation agricole car, en facilitant les opérations d'attelage et de dételage, et en permettant d'agir de manière différenciée sur les différentes composantes de l'outil, il devrait apporter une plus grande souplesse et une plus grande précision en y associant une analyse économique et environnementale.

Conclusion

L'arbre de transmission à cardans demeure un équipement dangereux malgré les exigences draconiennes, notamment réglementaires, relatives à la protection des parties mobiles, que ce soit pour le constructeur ou pour l'utilisateur. La variabilité des conditions de travail sur le terrain et la conception même des éléments de cette transmission sont des facteurs qui concourent à cette situation.

Les facteurs d'accidents générés par l'utilisation de l'arbre à cardans doivent être diminués. Deux axes principaux ont été identifiés :

- améliorer la sécurité de l'arbre de transmission à cardans, l'amont (le tracteur) et l'aval (l'outil) ;
- chercher d'autres voies que la transmission mécanique de puissance.

Les énergies hydraulique et électrique sont techniquement au point et peuvent être utilisées dans le machinisme agricole. Elles pourraient permettre de concevoir des machines plus souples d'utilisation et plus sûres qu'actuellement. Les utilisateurs sont favorables à leur utilisation mais la percée des énergies hydraulique et électrique est limitée par la faiblesse de la puissance fournie par les tracteurs actuels. Or l'état du marché ne favorise pas l'innovation dans ce domaine.

Ces solutions alternatives ne se développeront de manière significative que si tous les partenaires concernés, constructeurs, utilisateurs, préventeurs, laboratoires de recherche et pouvoirs publics sont convaincus de leur intérêt pour la sécurité comme pour l'économie et ont la possibilité de s'investir dans cette voie.

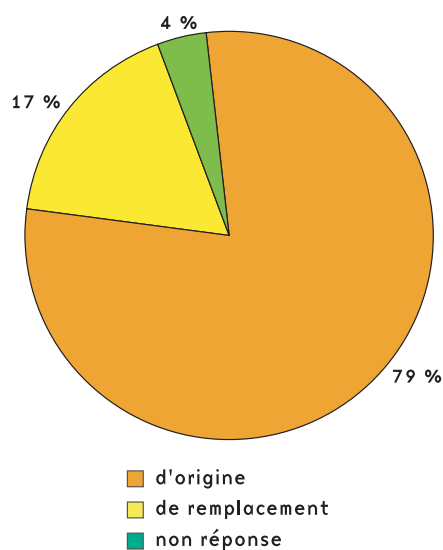
Une recherche globale sur le concept de liaison tracteur-outil, dans le cadre d'un partenariat entre le ministère en charge de l'agriculture, la Caisse centrale de mutualité sociale agricole et le Cemagref, est en cours pour permettre de rationaliser cette interface.

Gageons qu'elle pourra aboutir à une sensible amélioration des conditions de travail des agriculteurs.

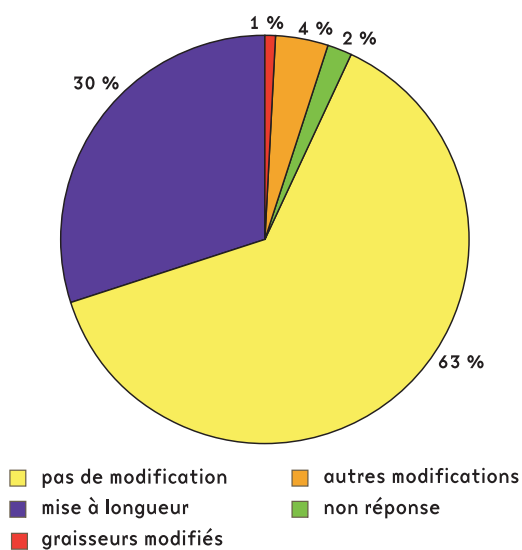
Annexes

ANNEXE 1 ENQUÊTE SUR L'ÉTAT DES PROTECTEURS D'ARBRES À CARDANS

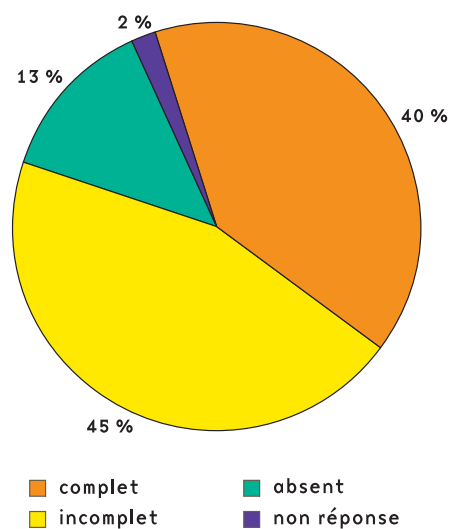
L'ensemble des graphiques de cette annexe est tiré de l'*Enquête 2000-2001 sur l'état des protecteurs d'arbre de transmissions à cardans en service* (MAP-CCMSA-Groupama-BCMA-Trame) dont on peut consulter la synthèse sur le site de la MSA : www.msa.fr



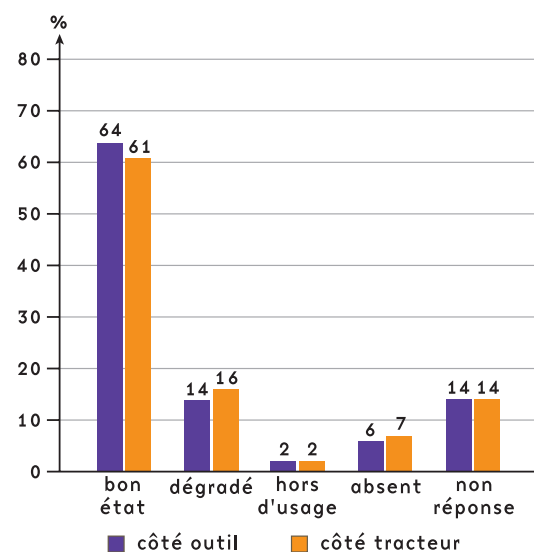
1 : Origine des transmissions.



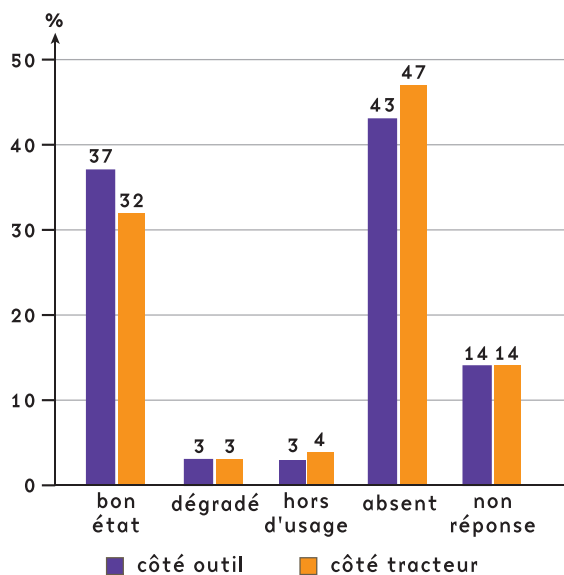
2 : Modifications des protecteurs.



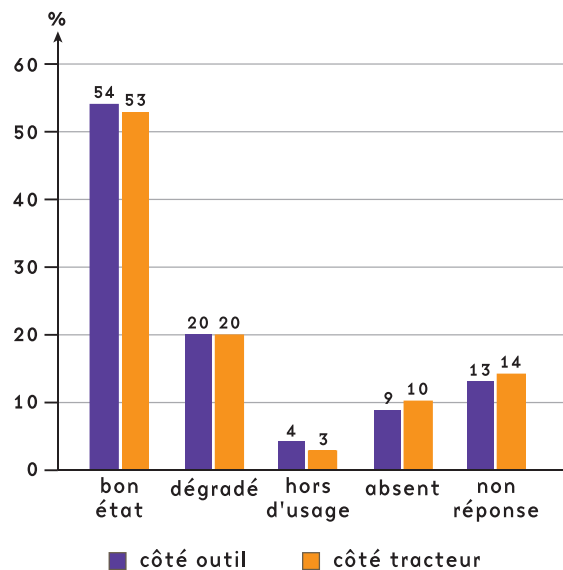
3 : Intégrité des protecteurs.



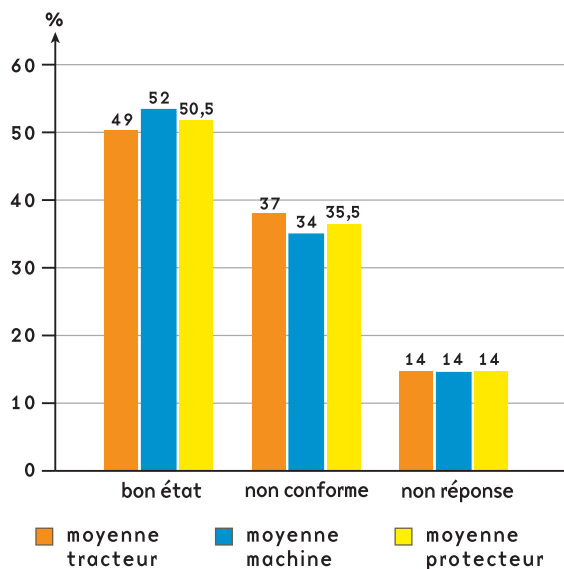
4 : État du tube.



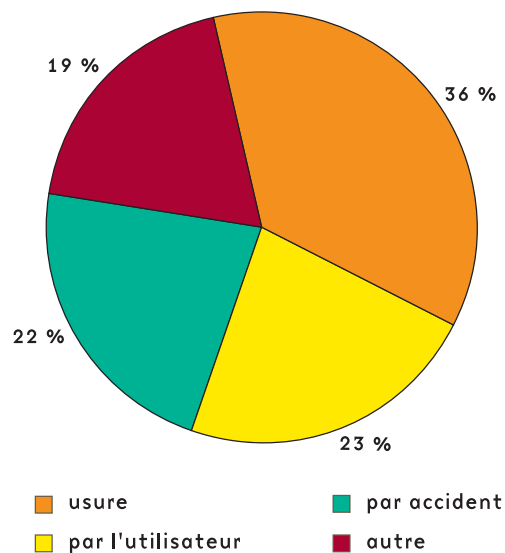
5 : État de la chaîne.



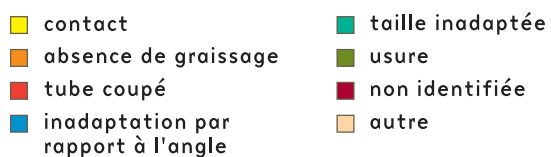
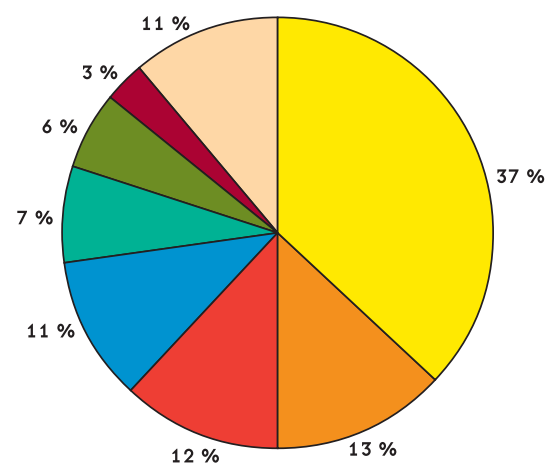
6 : État du bol.



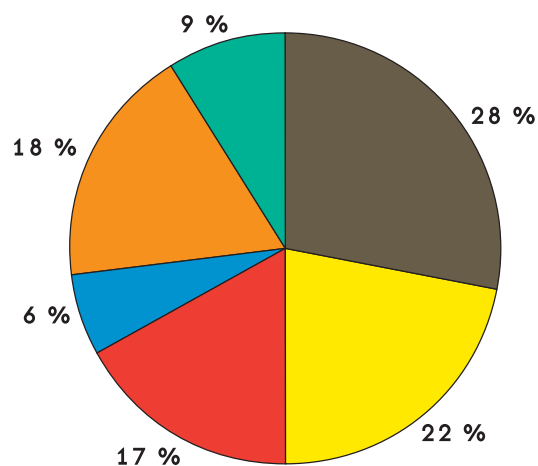
7 : État de conformité des protecteurs.



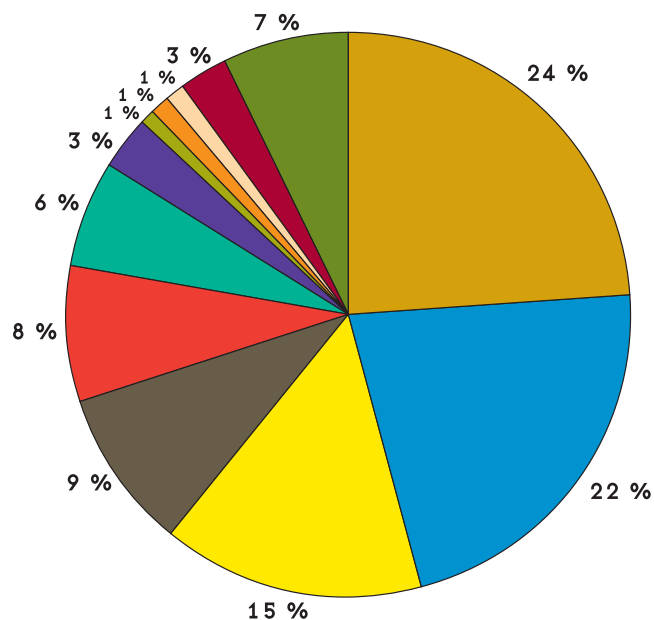
8 : Origine de l'absence totale du protecteur.



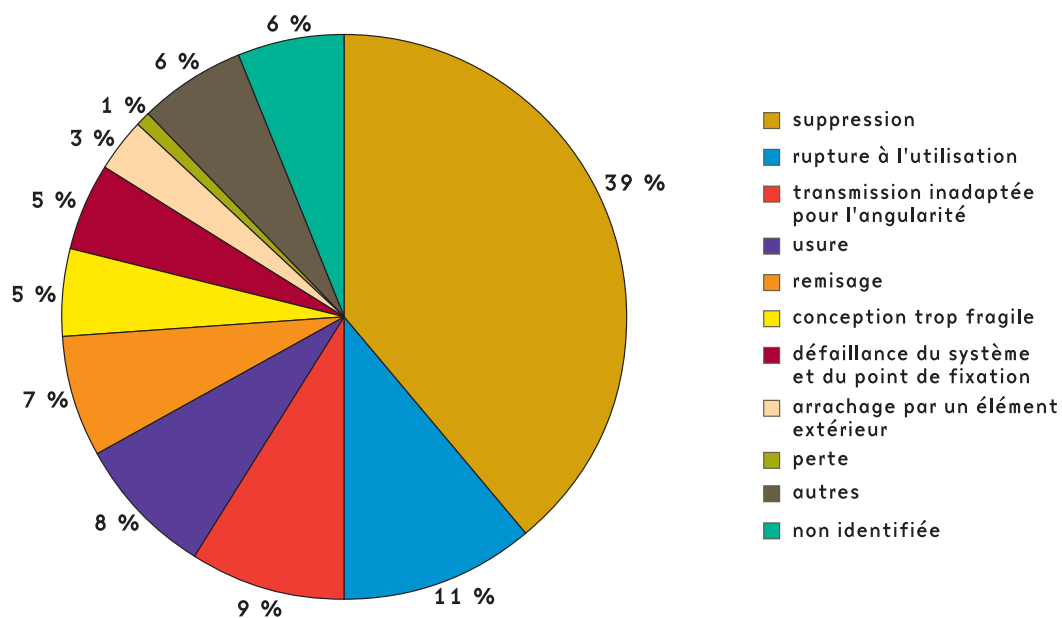
9 : Origine de la déficience du tube.



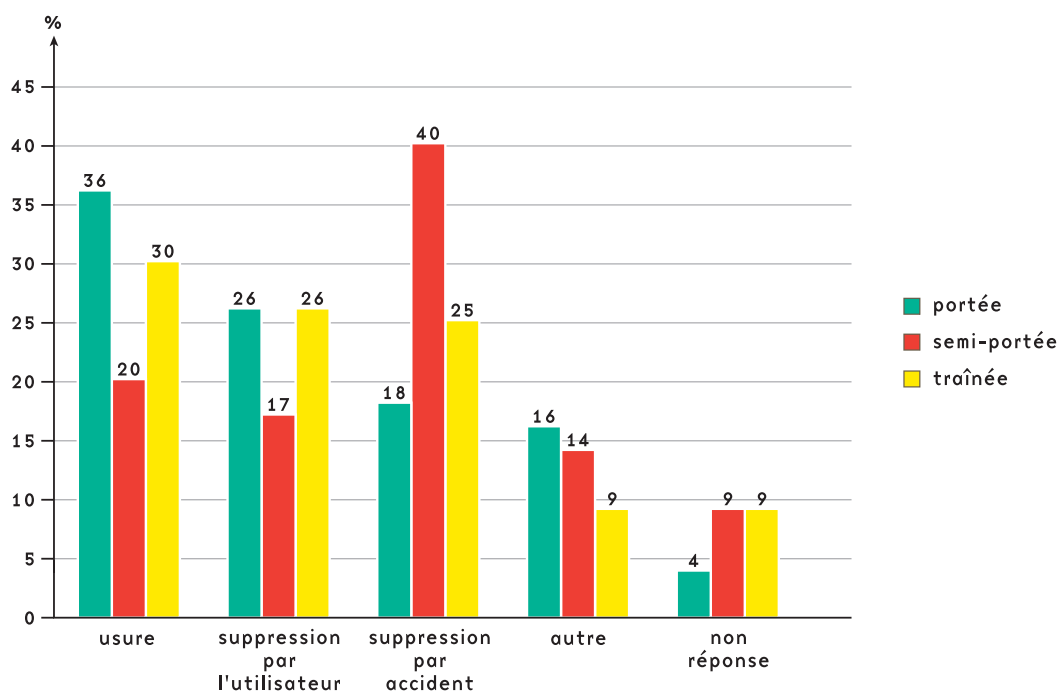
10 : Détail des contacts du tube sur des éléments.



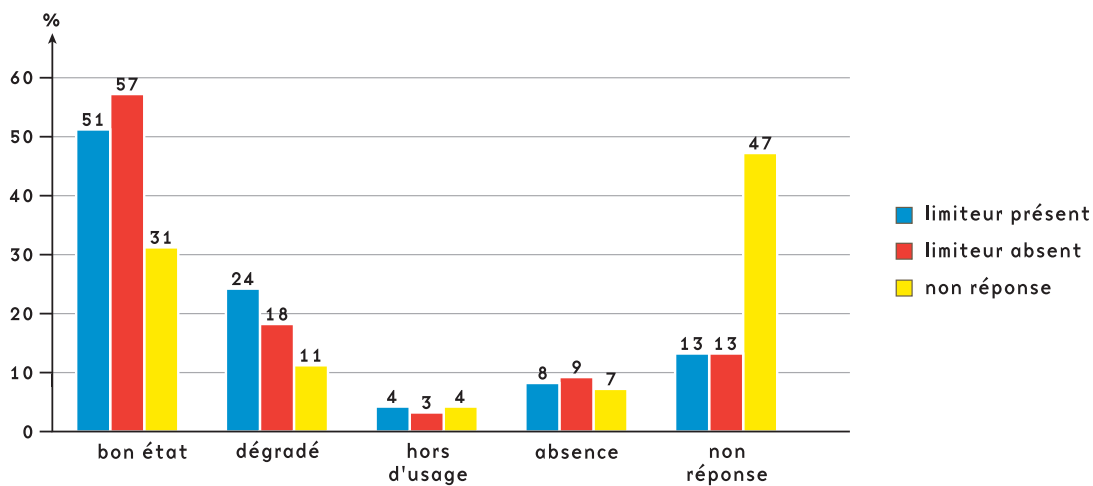
11 : Origine des déficiences du bol.



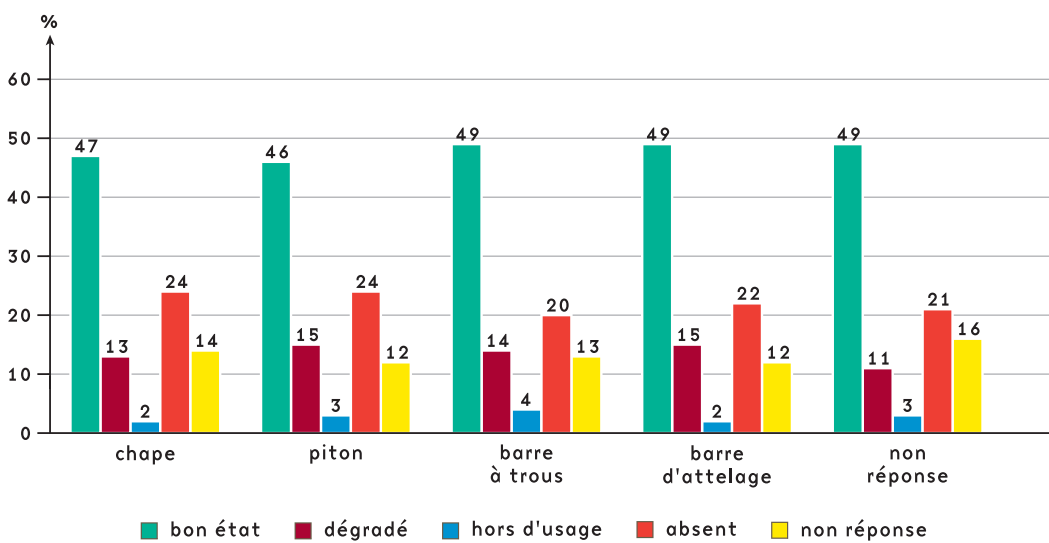
12 : Origine des déficiences des chaînes.



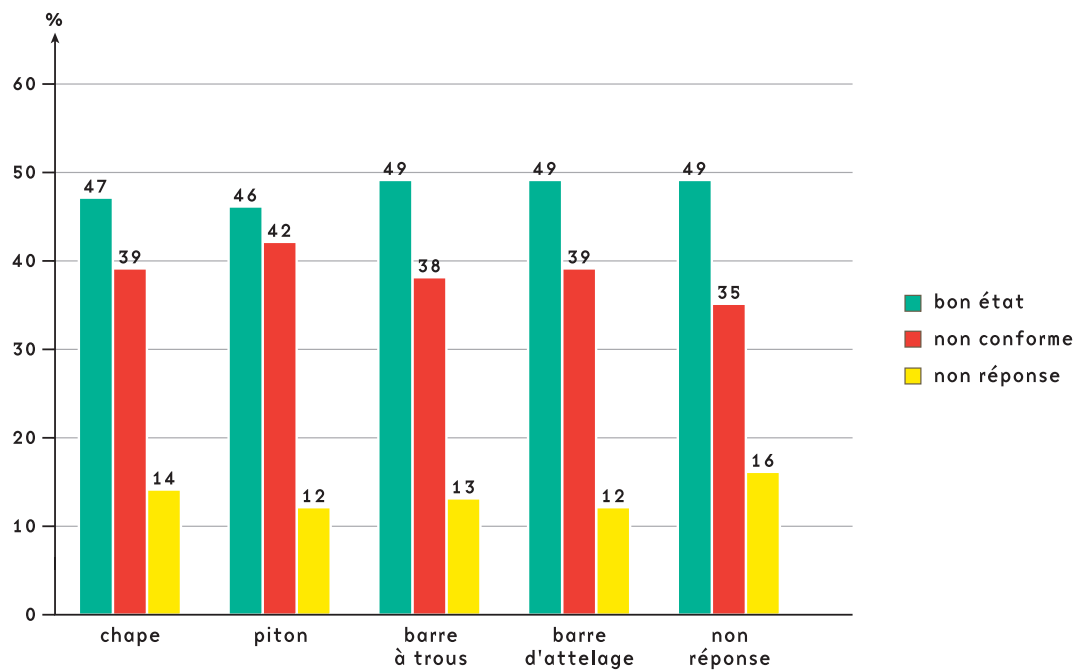
13 : Cause de l'absence du protecteur selon le type d'attelage.



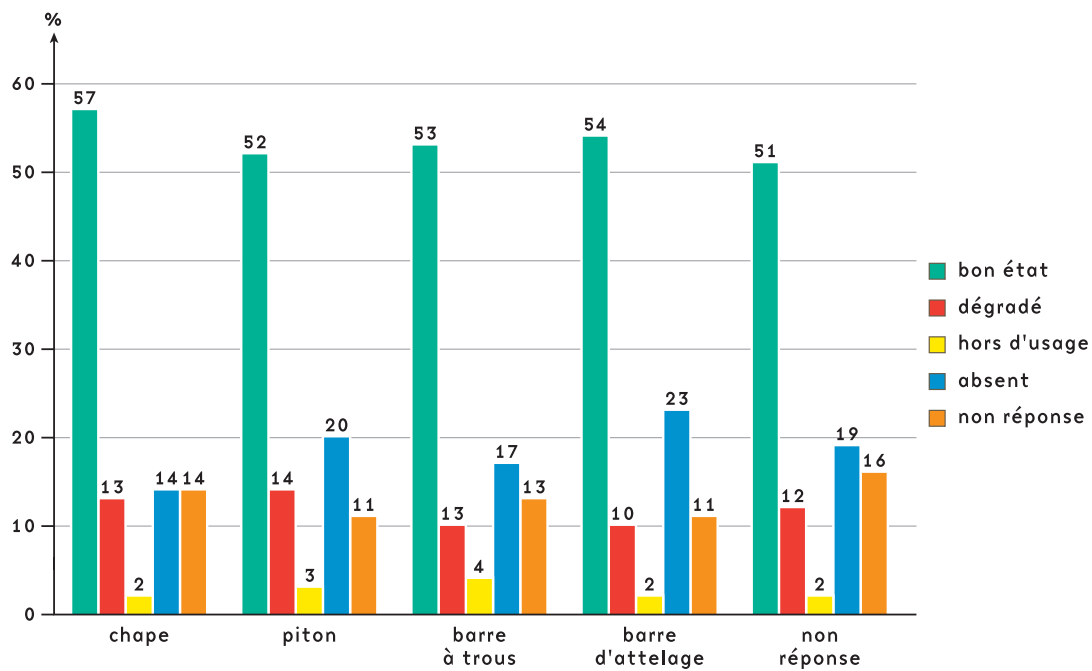
14 : État du protecteur en fonction de la présence d'un limiteur de couple.



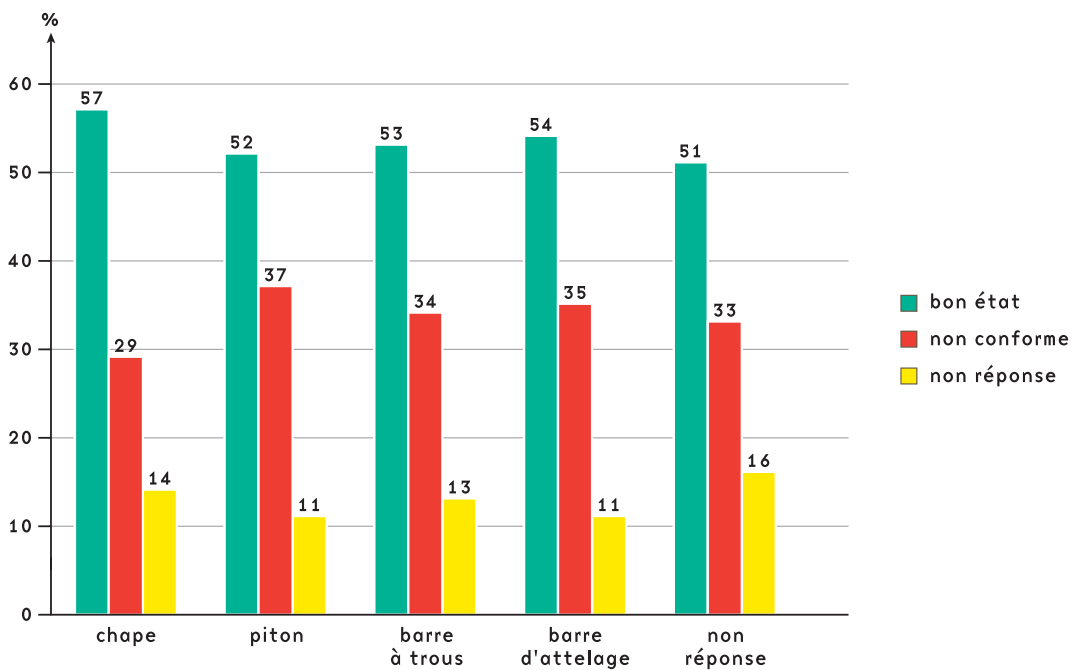
15 : État des protecteurs selon le type d'attelage, côté tracteur.



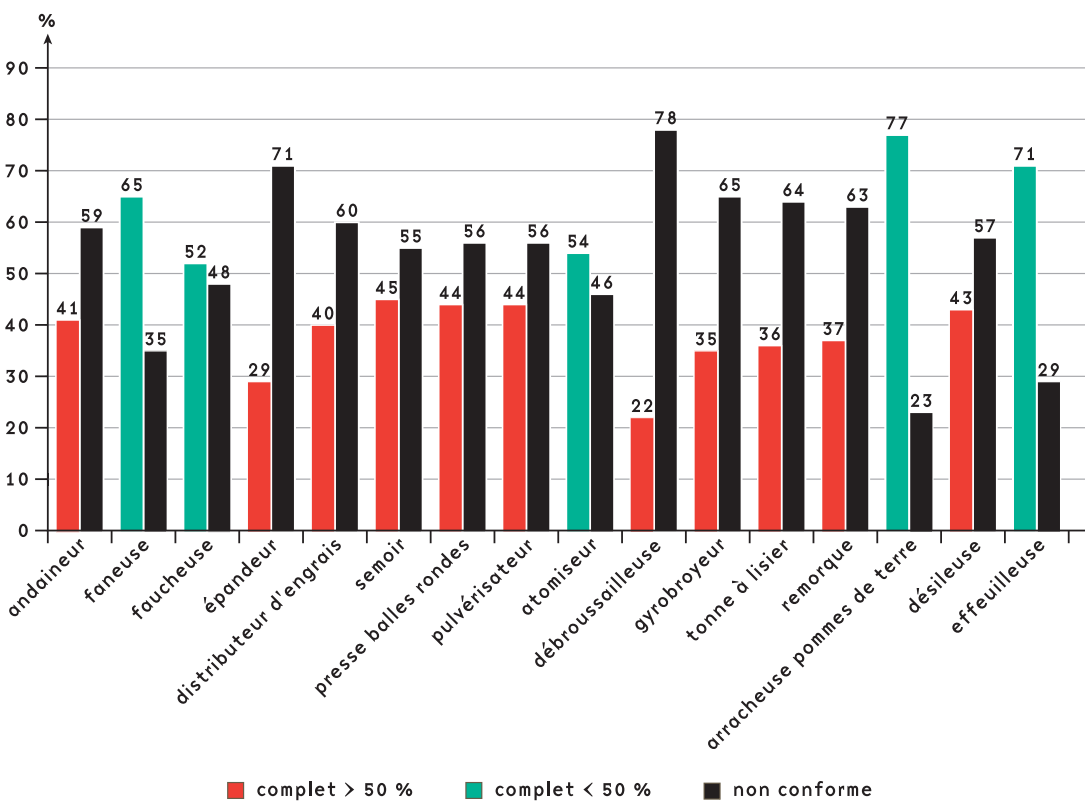
16 : Conformité des protecteurs selon le type d'attelage, côté tracteur.



17 : État des protecteurs selon le type d'attelage, côté machine.



18 : Conformité des protecteurs selon le type d'attelage, côté machine.



19 : État du protecteur selon la machine (quelques exemples).

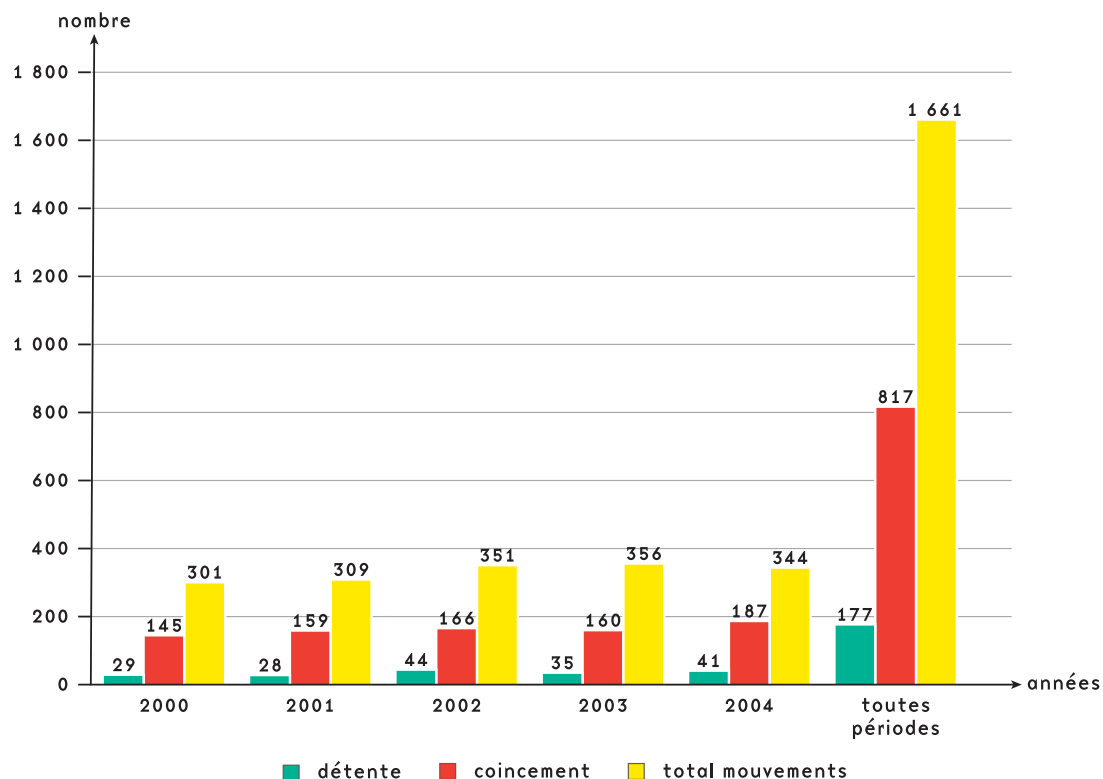
ANNEXE 2

STATISTIQUES RELATIVES AUX ACCIDENTS DU TRAVAIL DES SALARIÉS DE L'AGRICULTURE

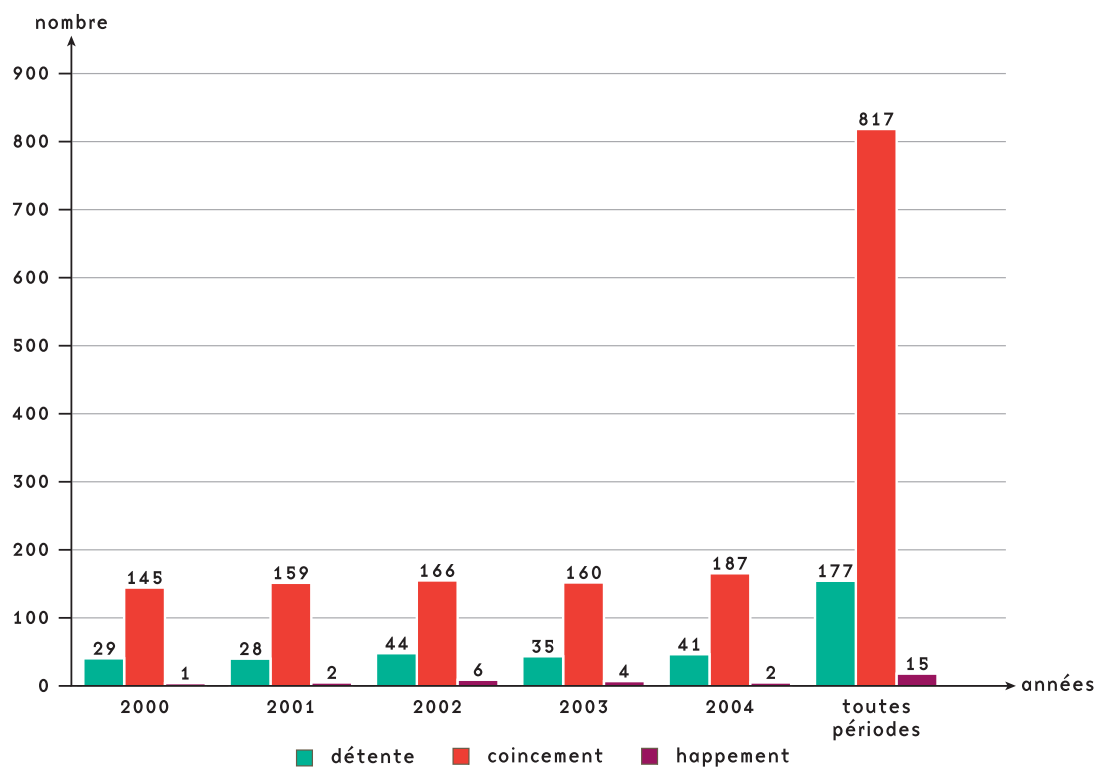
L'ensemble des graphiques de cette annexe est fourni par la CCMSA – Santé-sécurité au travail. Les graphiques 20 à 24 concernent les accidents liés aux mouvements d'objets. Ils sont généralement regroupés en trois catégories :

- happement : contact avec happement par un mécanisme ;
- détente : heurt par détente, mouvement d'objet ;
- coincement : écrasement, coincement par objet.

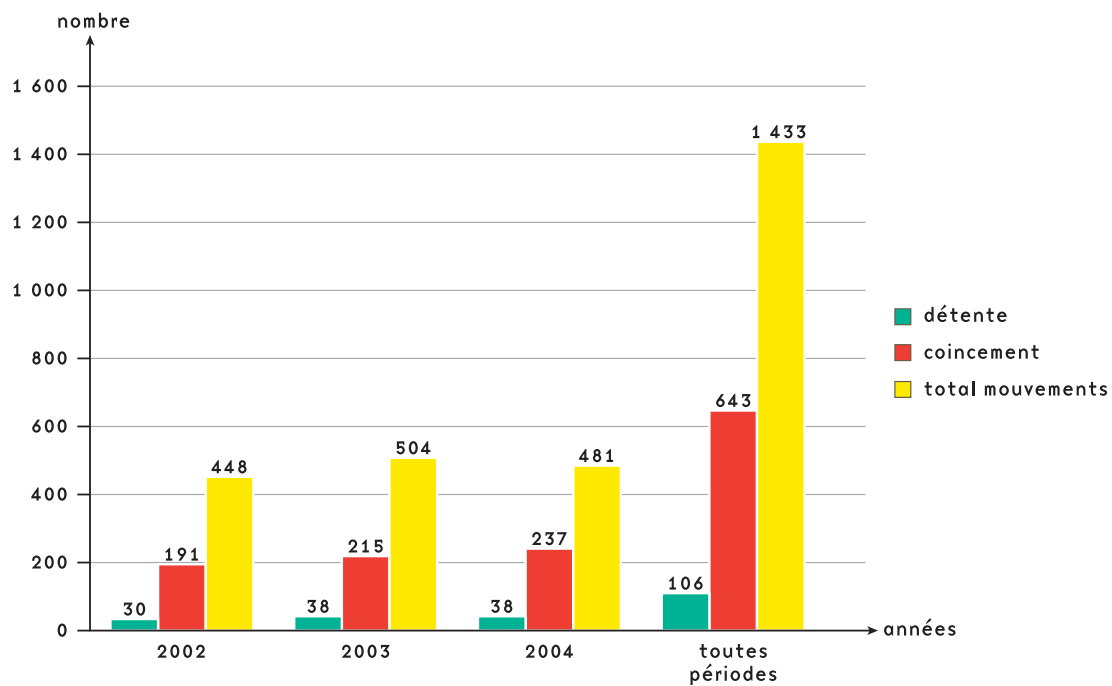
Les graphiques 25 et 26 concernent, quant à eux, les accidents liés aux éléments matériels, tracteurs agricoles et forestiers.



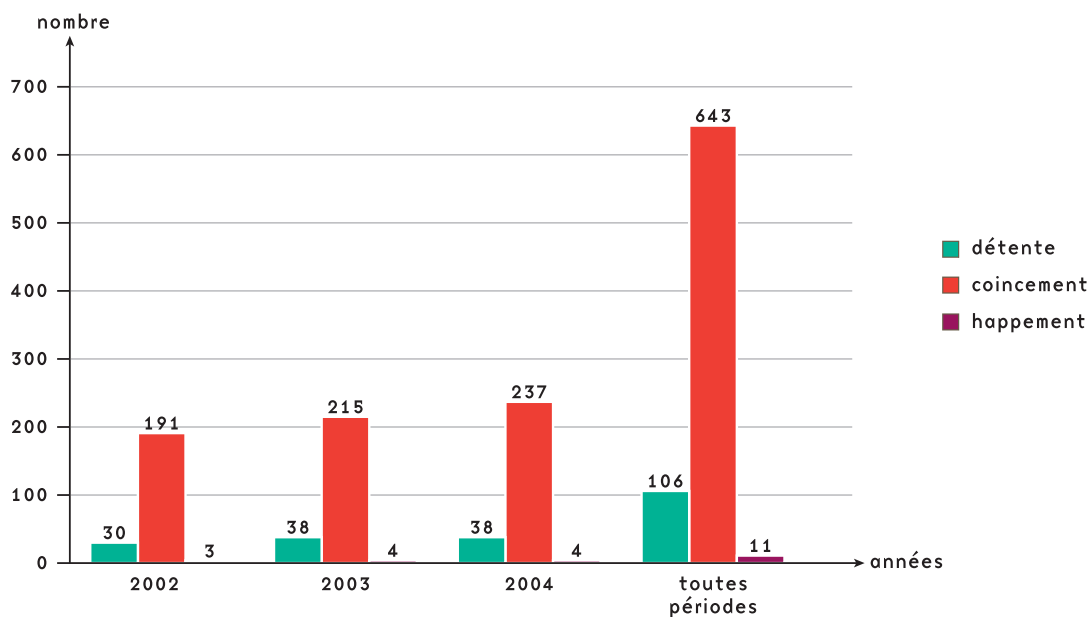
20 : Salariés agricoles/mouvements d'objets.



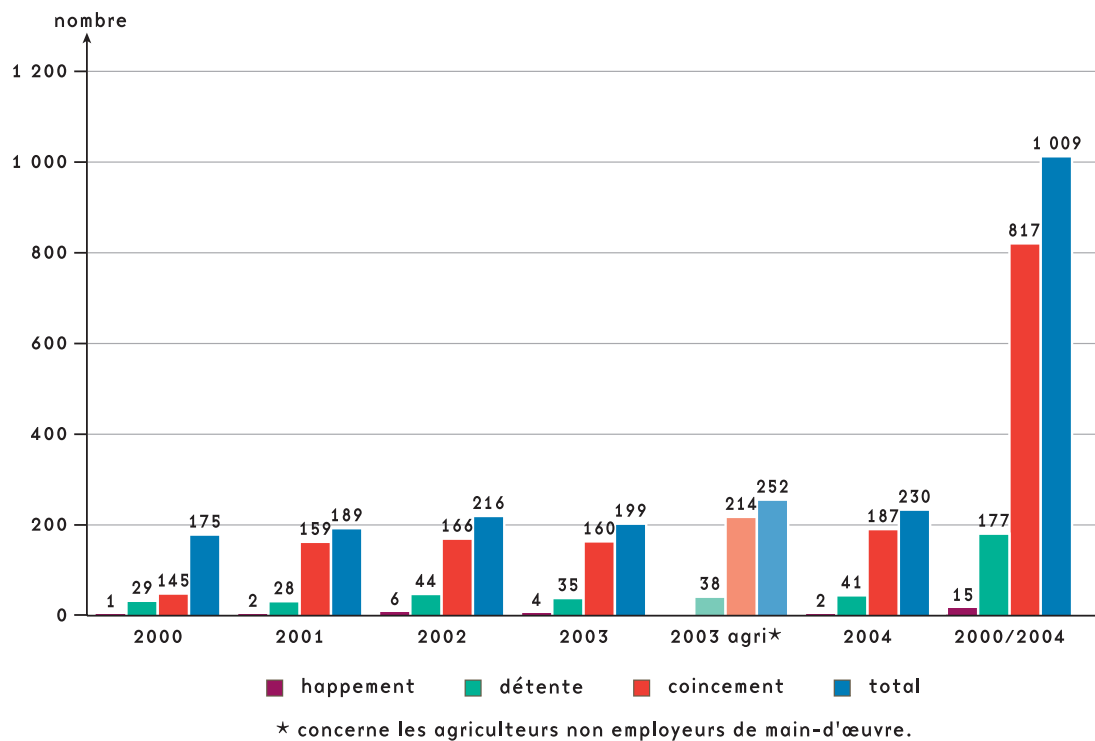
21 : Salariés agricoles/mouvements d'objets et accidentés.



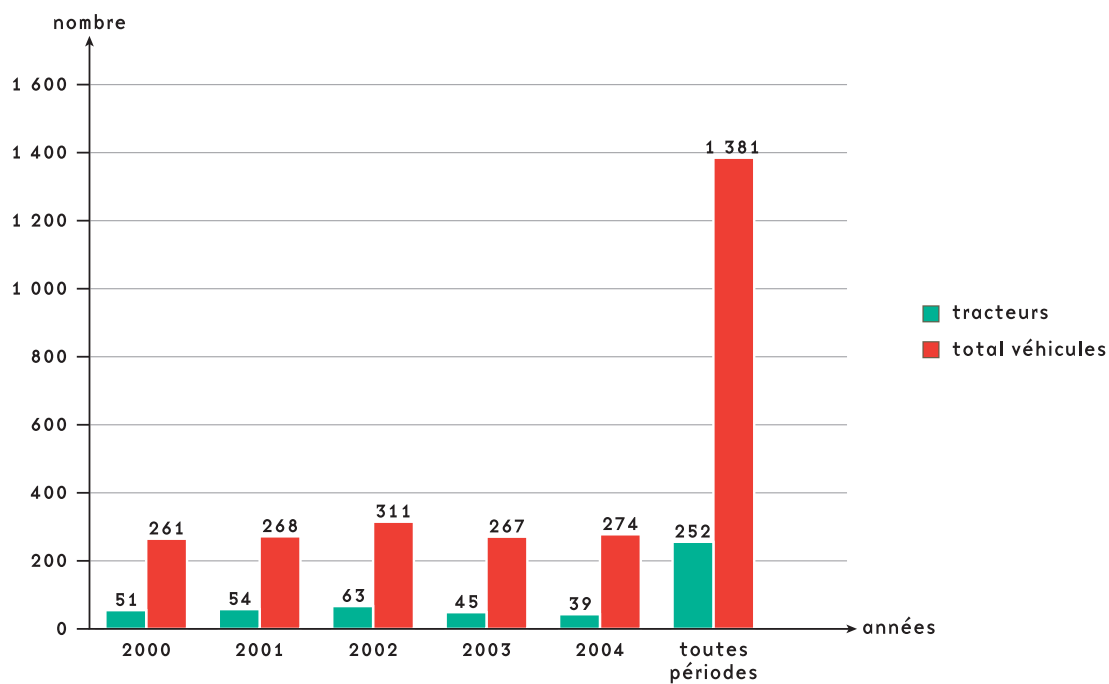
22 : Non salariés agricoles/mouvements d'objets.



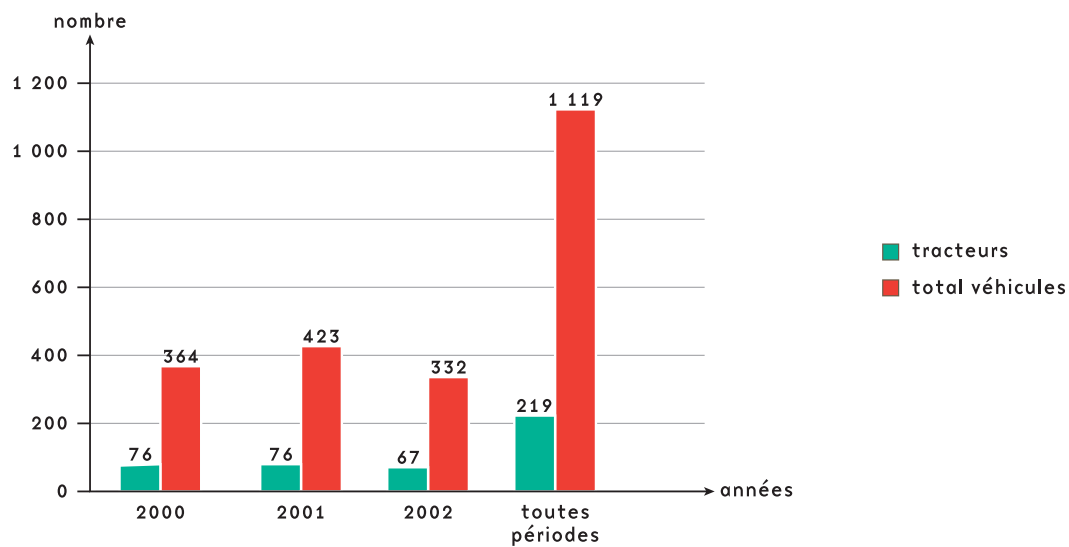
23 : Non salariés agricoles/mouvements d'objets et accidentés.



24 : Salariés et non salariés agricoles/mouvements d'objets.



25 : Salariés agricoles/tracteurs agricoles et forestiers.

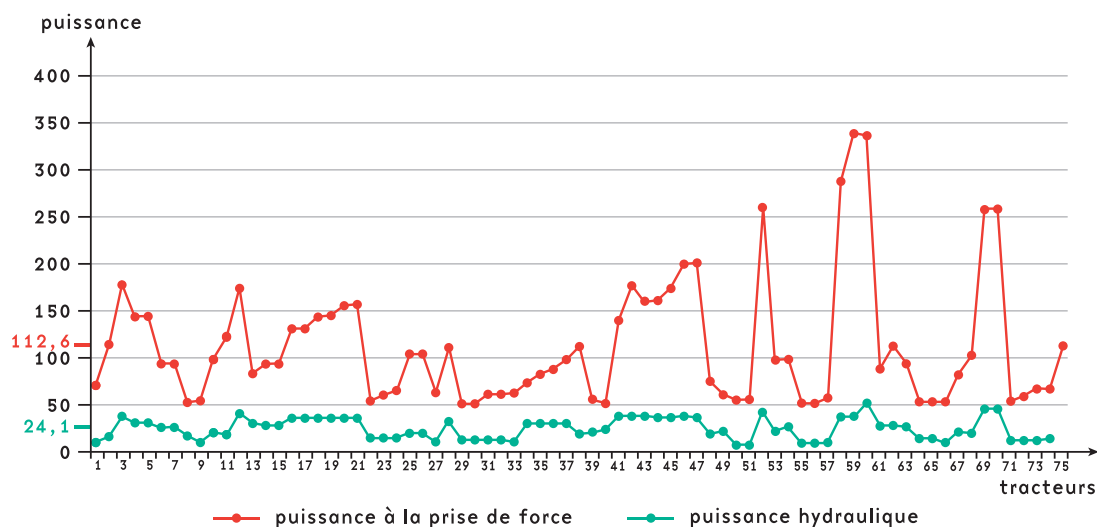


26 : Non salariés/tracteurs agricoles et forestiers.

ANNEXE 3

COMPARATIF DES PUISSANCES SUR PRISES DE FORCES ET HYDRAULIQUE DES TRACTEURS ACTUELS

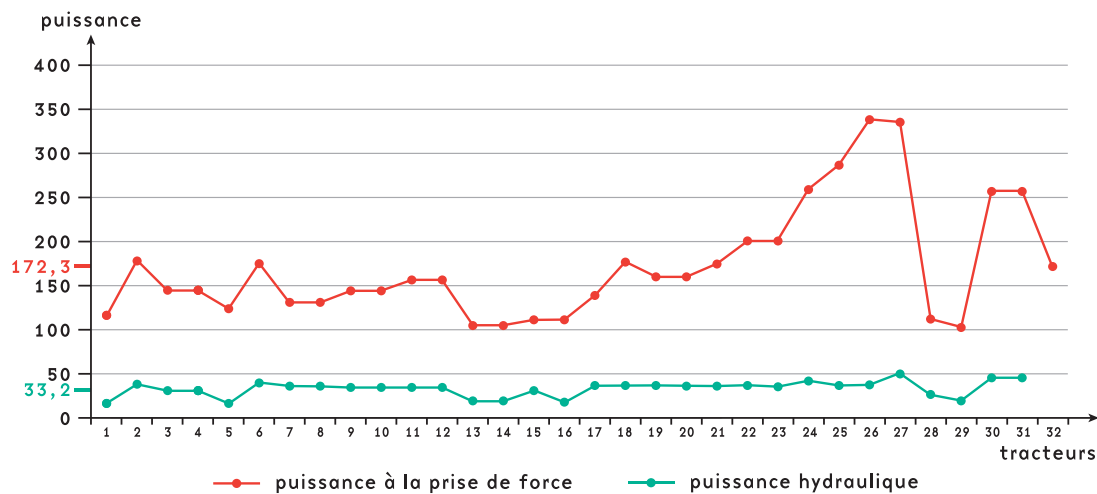
Les deux graphiques de cette annexe proviennent du Cemagref.



27 : Comparatif des puissances entre prise de force et hydraulique, tracteurs de plus de 50 kW.

Les puissances moyennes pour les tracteurs de plus de 50 kW sont :

- à la prise de force : 112,6 kW;
- à la prise hydraulique : 24,1 kW.



28 : Comparatif des puissances entre prise de force et hydraulique, tracteurs de plus de 100 kW.

Les puissances moyennes pour les tracteurs de plus de 100 kW sont :

- à la prise de force : 172,3 kW;
- à la prise hydraulique : 33,2 kW.

Liste des participants

Bruno Banas

Ministère de l'Agriculture et de la Pêche
Direction générale de la forêt et des affaires
rurales

Sous-direction du travail et de l'emploi
Bureau réglementation et sécurité du travail
19 avenue du Maine
75015 Paris
Tél. : 01 49 55 82 17 – fax : 01 49 55 59 90
bruno.banas@agriculture.gouv.fr

Rémy Bertre

CMSA de Haute-Normandie
32 rue Politzer
27036 Évreux Cedex
Tél. : 02 32 23 42 89 – fax : 02 32 28 00 98
bertre.remy@hautenormandie.msa.fr

Mickaël Bouvard

Service régional de l'inspection du travail, de
l'emploi et de la politique sociale agricoles
d'Île-de-France
18 avenue Carnot
94234 Cachan Cedex
Tél. : 01 41 24 17 83 – fax : 01 41 24 17 85
mickael.bouvard@agriculture.gouv.fr

François Coroenne

Service régional de l'inspection du travail,
de l'emploi et de la politique sociale agricoles
de Picardie
518 rue Saint-Fuscien
BP 69
80092 Amiens Cedex 3
Tél. : 03 22 33 55 83 – fax : 03 22 33 55 38
francois.coroenne@agriculture.gouv.fr

Denise Derdek

Ministère de l'Agriculture et de la Pêche
Direction générale de la forêt et des affaires
rurales
Sous-direction du travail et de l'emploi
Bureau réglementation et sécurité du travail
19 avenue du Maine
75015 Paris
Tél. : 01 49 55 44 42 – fax : 01 49 55 59 90
denise.derdek@agriculture.gouv.fr

Dominique Dufumier

Ministère de l'Agriculture et de la Pêche
Direction générale de la forêt et des affaires
rurales
Sous-direction du travail et de l'emploi
Bureau réglementation et sécurité du travail
19 avenue du Maine
75015 Paris
Tél. : 01 49 55 59 80 – fax : 01 49 55 59 90
dominique.dufumier@agriculture.gouv.fr

Marc Gallien

Service régional de l'inspection du travail,
de l'emploi et de la politique sociale agricoles
de Haute-Normandie
Cité Administrative
2 rue Saint-Sever
76032 Rouen Cedex
Tél. : 02 32 18 95 54 – fax : 02 35 18 95 46
marc.gallien@agriculture.gouv.fr

Emmanuel Hugo

Cemagref

Unité de recherches « Technologie pour la sécurité et les performances des agroéquipements »

BP 44

92163 Antony Cedex

Tél. : 01 40 96 61 58 – fax : 01 40 96 61 62

emmanuel.hugo@cemagref.fr

Denis Laubenberger

Service régional de l'inspection du travail,
de l'emploi et de la politique sociale agricoles
de Franche-Comté

Immeuble Orion

191 rue de Belfort

25043 Besançon Cedex

Tél. : 03 81 47 75 65 – fax : 03 81 47 75 66

denis.laubenberger@agriculture.gouv.fr

Benoît Moreau

Caisse centrale de mutualité sociale agricole

Les Mercuriales

40 rue Jean Jaurès

93547 Bagnolet Cedex

Tél. : 01 41 63 82 27 – fax : 01 41 63 83 83

moreau.benoit@ccmsa.msa.fr

Anne-Marie Penzo

Service régional de l'inspection du travail,
de l'emploi et de la politique sociale agricoles
du Nord-Pas-de-Calais

Cité administrative

BP 505

59022 Lille Cedex

Tél. : 03 20 96 42 43 – fax : 03 20 96 42 49

anne.marie.penzo@agriculture.gouv.fr

Notes

Notes

Notes

LES LIAISONS TRACTEURS - OUTILS

L'arbre de transmission à cardans quelle évolution ?

Le développement très important de la mécanisation de l'agriculture a favorisé l'apparition de machines toujours plus perfectionnées pour permettre d'augmenter la productivité, la rentabilité et l'efficacité économique des exploitations.

Depuis l'introduction en agriculture de la réglementation sur l'hygiène et la sécurité des travailleurs en 1976, et l'harmonisation européenne en 1992, on assiste à une amélioration de la conception des machines en terme de sécurité ; mais des progrès restent encore à réaliser dans ce domaine.

En particulier la transmission mécanique de puissance entre tracteur et outil, via un arbre de transmission à cardans, qui permet aux tracteurs d'être polyvalents tout en transmettant de fortes puissances aux machines attelées, reste dangereuse.

Il est donc souhaitable d'envisager d'autres moyens de transmission de l'énergie qui pourraient remplacer l'arbre à cardans. La pression hydraulique, par exemple, est maintenant utilisée dans de nombreux domaines, y compris dans des secteurs d'activités exigeant de fortes puissances, comme par exemple le bâtiment et les travaux publics.

Le présent ouvrage a pour objectif de montrer que l'arbre à cardans pourrait être avantageusement remplacé dans de nombreux cas. Cet arbre de transmission a constitué une réponse technique à un moment donné de l'histoire du machinisme agricole, mais sa dangerosité doit inciter à utiliser d'autres techniques plus sûres apparues depuis.

Prix : 20 €

ISBN 978-2-84444-541-4



educagri
éditions

26, Bd Docteur Petitjean - BP 87999

21079 DIJON CEDEX

Tél. 03 80 77 26 32 - 03 80 77 26 33

Fax 03 80 77 26 34

editions@educagri.fr

www.editions.educagri.fr