

**Zeitschrift:** Technique agricole Suisse  
**Herausgeber:** Technique agricole Suisse  
**Band:** 75 (2013)  
**Heft:** 11  
  
**Rubrik:** Sécurité

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 05.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**



Une telle combinaison convient bien sur des parcelles plates. Mais en pente, le porte-à-faux généré par l'outil frontal entraîne un déplacement du centre de gravité et accroît le risque de renversement. Avant de partir, le conducteur doit bien évaluer la situation pour savoir si sa sécurité est assurée. (Photos: Ruedi Gnädinger)

## Stabilité surveillée

L'agrandissement des domaines et des surfaces agricoles entraîne un usage accru de tracteurs, de remorques et de machines plus performants, mais dont la conception tient peu compte du risque de renversement. Il est donc d'autant plus important que les conducteurs et détenteurs de tracteurs soient conscients et informés de ce danger. Cet article montre les mécanismes qui conduisent un véhicule à se renverser, pour aider les opérateurs à évaluer correctement la stabilité d'un engin.

Ruedi Gnädinger

Les machines agricoles de montagne sont prévues pour les pentes. C'est une de leurs propriétés essentielles. On ne peut pas en dire autant des tracteurs, des remorques et autres machines récentes, qui ont même tendance à perdre en stabilité. Ces engins sont conçus pour des grandes surfaces de plaine, où l'on attend qu'ils

soient puissants, aient de grandes roues et une bonne garde au sol. De telles caractéristiques augmentent incontestablement le risque de renversement.

- **Inclinaison trop prononcée**
- **Chargement à problèmes ou**
- **Vitesse inadaptée**

Ce sont là les trois principales causes de renversement. Nous avons traité la question de la vitesse et de l'adhérence dans notre précédent article sur le dérapage; nous nous limiterons ici aux dangers liés à la pente et aux chargements, incluant la question du balancement du lisier dans les citernes à pression.



Deux types de facteurs sont à considérer pour évaluer le risque de renversement (ou la stabilité « résiduelle ») d'un engin : les facteurs d'ordre technique comme la position du centre de gravité, la voie (« largeur ») du véhicule, la souplesse des pneumatiques et les facteurs circonstanciels tels que la pente et l'état du sol.

### Arête de basculement et centre de gravité : deux notions-clés

Lorsqu'il se renverse, un véhicule pivote autour de ses points d'appui externes, comme ses roues ou la pointe du timon. En mécanique, on parle alors d'arête de basculement pour désigner le point où la ligne de pivotement. La figure ci-dessous montre, en coupe, l'arête de basculement à hauteur des pneus arrière d'un tracteur.

La deuxième notion est le centre de gravité. Comme son nom l'indique plus ou moins, le centre de gravité d'un objet est le point où se « concentre » son poids ou sa masse, point d'où vont s'exercer les forces pouvant provoquer un renversement. Un engin reste stable tant que son centre de gravité demeure au-dessus de la surface délimitée par ses arêtes de basculement, surface que l'on peut schématiquement assimiler à un « polygone de sustentation ». Si le centre de gravité s'approche trop d'une arête ou s'il sort de la verticale du polygone, l'objet se renverse ou, en tous les cas, sa stabilité est fortement compromise.

**Tableau 1 : comment améliorer la stabilité d'un véhicule**

Mesures	Effets
Augmentation de la voie/jumelage des roues arrière	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stabilité améliorée grâce au déplacement des arêtes de basculement du corps du tracteur. Son « polygone de sustentation » s'en trouve agrandi.</li> <li>Moins d'écrasement des pneumatiques côté aval.</li> </ul>
Augmentation de la voie/jumelage des roues avant	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stabilité améliorée de l'essieu avant par déplacement des arêtes de basculement (important si grandes roues avant).</li> <li>Moins d'écrasement des pneumatiques côté aval.</li> </ul>
Lestage de l'essieu avant en lieu et place de contrepoids	<ul style="list-style-type: none"> <li>La stabilité propre de l'essieu avant augmente.</li> <li>Les contrepoids, à l'inverse, réduisent la stabilité du corps du tracteur.</li> </ul>
Arrimage du relevage frontal à l'essieu et non au corps du tracteur	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le moment des forces de renversement des outils est reporté sur l'essieu avant, et le corps du tracteur, déjà moins stable, ne subit pas de contraintes supplémentaires.</li> <li>La stabilité de l'essieu doit être améliorée en utilisant des roues jumelées à l'avant.</li> </ul>
Outils avec faible porte-à-faux à l'avant	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ils entraînent un moindre déplacement vers l'avant du centre de gravité du tracteur.</li> </ul>
Pneus de faible diamètre	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le centre de gravité de l'ensemble du véhicule est abaissé.</li> </ul>
Dételage du chargeur frontal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le centre de gravité est abaissé, et les contraintes diminuent sur la partie frontale.</li> </ul>
Pression suffisante des pneus	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les pneumatiques côté aval fortement sollicités dans les dévers s'écrasent moins et n'accroissent pas l'inclinaison du véhicule.</li> </ul>

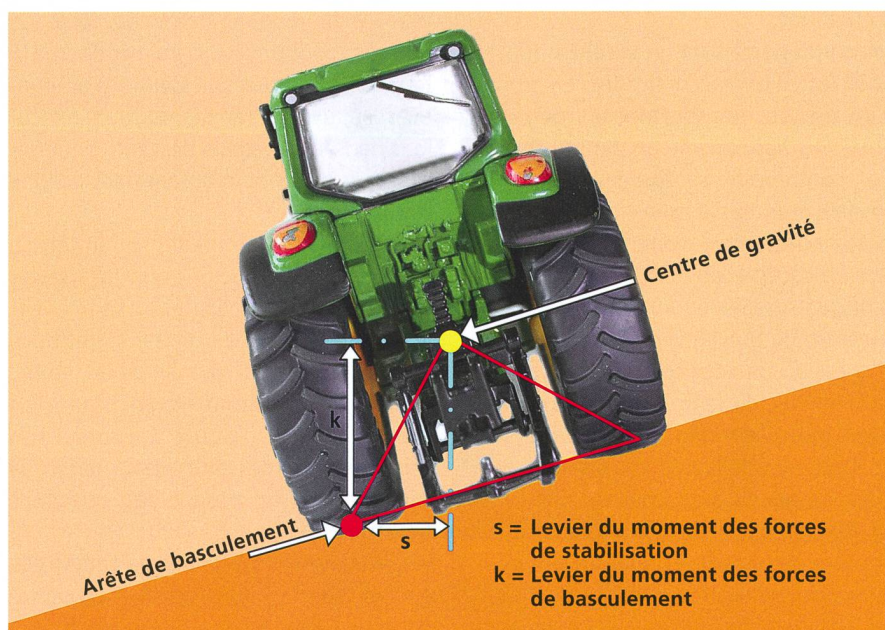
**Important :** Dès qu'un engin commence à verser, son centre de gravité s'élève, à la suite de quoi l'effet de levier provoquant le renversement s'amplifie. En même temps, le centre de gravité se rapproche de l'arête de renversement et l'effet de la force qui assure la stabilité de l'engin diminue. Si, suite à ce phénomène, une des roues du véhicule se soulève, il est à peu près sûr que le véhicule se retournera. Il n'y a que dans une courbe, où le soulève-

ment de la roue est dû à la force centrifuge, qu'un ralentissement ou un contrebraquage peut encore rétablir l'équilibre et la trajectoire du véhicule. Mais si c'est la partie du véhicule orientée vers l'amont de la pente qui se soulève dans un passage en dévers, le renversement devient inéluctable. En fonction de la dynamique engagée et de l'inclinaison de la pente, l'engin fera même plusieurs tonneaux.

### Les tracteurs : un cas particulier

Statiquement, un tracteur est constitué de deux éléments : le corps du véhicule lui-même et son essieu antérieur, qui sont réunis par un pivot mobile, pourvu de butées. Les deux éléments ont chacun leur propre centre de gravité et leurs arêtes de basculement. Celles du corps du tracteur forment un triangle (voir figures à la page suivante) dont les angles sont définis par les pneus arrière et l'axe de fixation de l'essieu frontal. Le corps du tracteur peut donc se renverser vers l'arrière (se « cabrer ») lorsqu'on lui attelle des outils trop lourds ou trop longs sans contrepoids à l'avant. Le même accident se produit quand un tracteur doit tirer une remorque trop lourde, que sa chape d'attelage est en position haute et le timon excessivement chargé.

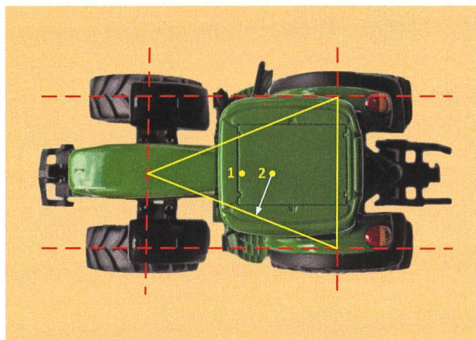
En réalité, dans les pentes, le renversement latéral du corps du tracteur, entraînant avec lui l'essieu avant, est bien plus fréquent que le cabrage, car l'arête de basculement latérale est bien plus proche



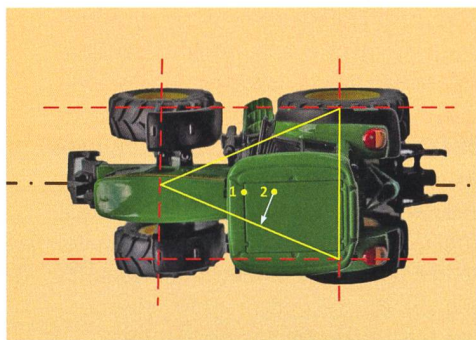
Un centre de gravité bas, éloigné de l'arête de basculement, améliore la stabilité d'un objet. Mais si l'inclinaison augmente, le centre de gravité va s'élever, et le levier exercé par les forces de basculement va s'allonger (longueur  $k$ ). En même temps, la distance entre le centre de gravité et la verticale de l'arête de basculement se réduit, tout comme l'effet levier des forces de stabilisation qui maintient le tracteur debout (longueur  $s$ ).



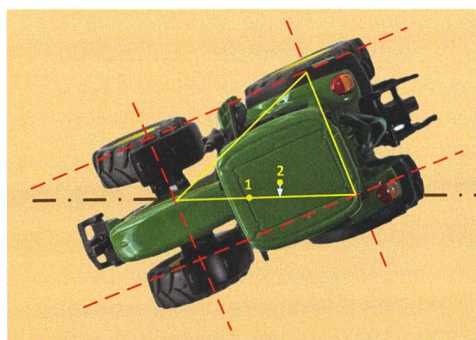
du centre de gravité que l'arête postérieure, comme le décrivent les dessins. On voit aussi sur ces images que descendre une pente en biais est une des manœuvres



Les arêtes de basculement (lignes jaunes) du corps du tracteur forment un triangle entre les points de contact des pneus arrière et le pivot de fixation de l'essieu avant. Si l'on attelle des outils frontaux ou des contrepoids à l'avant, le centre de gravité (point jaune) du corps du tracteur se déplace et se rapproche des arêtes de basculement. Le risque de renversement latéral augmente.



Lorsque le tracteur roule en dévers, la distance entre le centre de gravité et l'arête de renversement latérale se réduit. Le risque de renversement latéral augmente.



Par rapport à un trajet en dévers « horizontal » (pointillés bruns), une trajectoire en biais vers l'aval de la pente entraîne un rapprochement encore plus marqué du centre de gravité et de l'arête de basculement. Le centre de gravité va même dépasser cette ligne si le poids du véhicule est surtout réparti vers le haut. On n'est pas loin d'un accident.

les plus critiques qui soit, car le centre de gravité se rapproche dangereusement de l'arête de basculement.

L'essieu avant est le second élément du tracteur. Sa stabilité est déterminée par la hauteur de son centre de gravité et sa voie. Il doit, d'autre part, absorber les contraintes exercées par le corps du tracteur via le point de fixation. Sur les tracteurs à quatre roues motrices avec leurs grandes roues avant et leur transmission centrale, le centre de gravité et le point d'attache de l'essieu sont placés beaucoup plus haut que sur les anciens tracteurs. Le point de fixation représente aussi l'extrémité de l'arête de renversement du corps du tracteur. Surélevé, il améliore un peu la stabilité du corps du tracteur, mais pèse nettement la résistance au renversement de l'essieu avant, du fait que le levier de la force provoquant le renversement est rallongé.

### Comment améliorer la stabilité des tracteurs

Les freins, les sécurités antirenversement, l'adhérence et l'état de la surface enherbée sont les principaux équipements et facteurs à même d'agir sur la stabilité du tracteur. Le tableau 1 décrit schématiquement les mesures à mettre en œuvre.

### Le lestage frontal

Vu la méconnaissance qui règne à propos de l'influence et des effets secondaires des contrepoids et de l'essieu avant, examinons quelques points concernant cette thématique.

Les contrepoids sont un excellent moyen pour lester efficacement l'essieu frontal d'un tracteur transportant un long outil porté ou supportant un timon chargé. Ces contrepoids se fixent à l'avant de l'essieu, leur masse exerce un effet levier, ils n'ont pas besoin d'être très lourds pour être efficaces. Problème : ce lest ne reposant que sur l'essieu antérieur, il déplace le centre de gravité vers l'avant et allège le corps du tracteur et son essieu. La stabilité latérale du véhicule s'en trouve diminuée, puisqu'elle dépend essentiellement de l'aplomb du corps du tracteur (voir aussi les dessins à gauche).

En lieu et place de contrepoids, il est possible de remplir les pneus avant de liquide, de jumeler les roues ou de les lester pour stabiliser l'essieu. Ce type de lestage de l'essieu frontal ne pèse pas la résistance du corps du tracteur au renversement, à l'inverse des classiques contrepoids.

Les constructeurs de tracteurs spéciaux pour les pentes n'arriment pas le relevage frontal au corps du tracteur mais à l'essieu (voir le Rigitrac). Ce type de construction a le même effet que le lestage de l'essieu ; il permet, en outre, un meilleur guidage des outils portés dans les inégalités du terrain.

### Comment rouler en pente avec tracteurs et remorques ?

Les autochargeuses, les citernes à pression et les épandeurs à fumier sont les outils les plus utilisés dans les terrains pentus. Il s'agit donc surtout de remorques à un essieu, éventuellement double pour les grands modèles. Leurs arêtes de basculement dessinent des lignes conduisant des pneumatiques à l'attelage et dessinent un triangle comme sur le tracteur. Et là aussi, les descentes en biais sont particulièrement critiques, du fait que le centre de gravité tend à s'approcher des arêtes de basculement.

Les demi-tours dans le sens de la descente, en bouts de lignes, présentent des risques majeurs : dans cette trajectoire à 180°, le centre de gravité du tracteur et de la remorque se rapproche à deux reprises des arêtes de basculement. Si la remorque se met à pousser le tracteur – phénomène fréquent – ou si la vitesse de l'attelage augmente en raison de l'état de la prairie, l'accident est quasi programmé !

Bien sûr, ce n'est pas toujours possible – ni souhaitable – de tourner dans la direction de la montée, faute de force de traction ou pour ne pas abîmer l'herbe. Il faut donc adopter des solutions alternatives, par exemple en manœuvrant à reculs dans le sens de la descente pour ensuite s'engager en montant dans la ligne suivante.

Avant même de s'engager sur un terrain en pente, le conducteur doit déjà savoir comment il va y circuler et où se trouvent les endroits critiques. Et s'il se retrouve malgré cela dans une situation limite, qu'il réfléchisse avant d'agir ! Et tant pis pour le temps « perdu ». Il assurera son véhicule et en descendra pour jauger la situation en se posant les questions suivantes :

- L'inclinaison du véhicule se situe-t-elle encore dans la « zone verte » ? Le centre de gravité doit encore se trouver bien à l'intérieur de l'arête de basculement.
- Y a-t-il des signes indicateurs d'une situation incertaine ? L'inclinaison du véhicule est-elle supérieure à celle de la pente



parce que les pneus avants sont écrasés ou enfoncés dans le sol ? Le chargement a-t-il bougé ?

- Les traces du véhicule indiquent-elles que le véhicule pourrait glisser ?
- Comment la situation évolue-t-elle si on continue d'avancer : va-t-elle en s'améliorant ou s'aggrave-t-elle ? Et la portance du sol ?
- Que faire si la situation est ou devient trop peu sûre ? Les mesures prises sont-elles suffisantes et améliorent-elles la sécurité ?

On ne poursuivra sa route que si cette évaluation est clairement positive à tous points de vue. Peut-être convient-il de faire fi des contraintes horaires et d'assurer le véhicule, de demander de l'aide ou de prendre d'autres mesures. La sécurité doit primer sur tout le reste. Un peu de temps ou de récolte perdus sont toujours moins fâcheux que les dégâts provoqués par un accident.

### Déplacer le centre de gravité lors du chargement

Le centre de gravité d'une remorque chargée est déterminé par le centre de gravité de la remorque elle-même et par celui de son chargement. L'exemple suivant montre comment calculer la hauteur du centre de gravité d'un véhicule chargé :

- Masse (poids) à vide du véhicule = 2000 kg
- Hauteur de son centre de gravité à vide = 0,8 m
- Masse (poids) du chargement = 4000 kg
- Hauteur du centre de gravité du chargement = 2 m
- **Hauteur du centre de gravité de la remorque chargée = 1,6 m**  
 $(2000 \times 0,8 + 4000 \times 2) / (2000 + 4000)$

Les remorques pour les matériaux en vrac volumineux (ensilages...) ont des ridelles hautes. Le déplacement du centre de gravité est important et modifie profondément leur comportement. Il est impératif d'aborder les virages à vitesse réduite. De nombreux renversements se produisent parce qu'un chargement a bougé ou s'est renversé au cours du trajet. L'arrimage des charges est souvent négligé ; On pense qu'elles ne se déplacent guère raison de leur poids élevé. Pourtant, les forces centrifuges et les forces latérales sont proportionnelles au poids du chargement ! La tableau ci-après montre à quelle vitesse une charge glisse en fonction du type de surfaces en présence. Les ponts métalliques sont particulièrement traîtres. Un calcul indicatif montre que du bois chargé sur une remorque à fond métallique peut déjà se mettre à glisser

**Tableau 2 : coefficients de friction entre différentes surfaces de matériaux**

Surfaces	Coefficients de friction
Bois sur bois	0,3-0,4
Bois sur métal	0,2
Métal sur métal	0,2
Béton sur bois	0,5
<b>Tapis antidérapants</b>	<b>0,6</b>

lorsque l'inclinaison atteint 20 %. Les charges doivent donc être assurées par des moyens qui neutralisent les forces déjà citées.

Plus l'effet de friction est faible, plus il faut de forces pour que la charge appuie et soit immobilisée sur le pont.

### L'effet sournis des oscillations dans les citernes

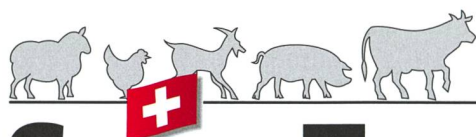
Les citernes des camions sont cloisonnées pour empêcher leur contenu de balancer dans les tournants, lors de freinages ou d'accélération. La citerne est donc divisée en cellules que seules de petites ouvertures relient entre elles. Le niveau de liquide dans les cellules reste ainsi relativement immobile en cours de route. Un tel cloisonnement n'est pas possible dans les citernes à lisier car les petites ouvertures se boucheraient.

Si l'on modifie la vitesse ou la trajectoire d'une citerne à pression partiellement pleine, le lisier se déplace vers une cloison du réservoir et est ensuite stoppé brutalement par la paroi opposée. L'énergie emmagasinée dans le lisier est transformée en une puissante force qui peut conduire au renversement de la citerne ou du véhicule tracteur. Plus les citernes sont grandes, et surtout plus elles sont longues, et plus les forces augmentent et, avec elles, le risque d'accident. En outre, les réservoirs sont inclinés vers l'arrière pour faciliter leur vidange : c'est une raison de plus pour rouler très prudemment dans les dévers. Si la voie suivie lors de l'épandage commence à s'inscrire dans le sens de la descente, le tonneau plonge vers l'avant et l'effet de vague du contenu va être particulièrement violent. Il n'y a donc rien d'étonnant à voir des citernes à pression se renverser dans des pentes pourtant modérées. ■



Il y a un marché de niche pour des tracteurs bien adaptés aux pentes. Le relevage frontal est solidaire de l'axe avant, un concept qui a fait ses preuves sur les faucheuses à deux essieux.





# SUISSE TIER

Foire nationale pour la production animale  
22 au 24 novembre 2013 | Messe Luzern

## Exposition spéciale «La production de lait aujourd'hui»

Pour la première fois en Suisse:  
robots trayeurs pour troupeaux  
de vaches.

## Exposition spéciale «Énergie»

Exposition spéciale complète sur le  
thème «Énergie à la ferme»

- 180 exposants
- Importante exposition d'animaux
- Forums spécialisés sur des thèmes d'aujourd'hui
- Concours d'innovations «Nouveautés pour l'avenir»

[www.suissetier.ch](http://www.suissetier.ch)

## > PRODUITS ET OFFRES PUBLITEXTE

### McCormick série X50 avec moteur Tier 4 Interim

La série X50 est composée de quatre modèles de 88 à 113 ch. Ces tracteurs se caractérisent par un nouveau moteur, une construction compacte, une technique avancée et un tout nouveau design.

Le nouveau moteur Perkins Common-Rail correspond aux normes antipollution Tier 4 Interim.

La série X50 présente de nouvelles dimensions très compactes, avec une hauteur de 2,55 mètres, une pneumatique de 540/65R34 et un poids de 3800 kg. Le X50 est caractérisé par une garde au sol élevée, une grande maniabilité et un fonctionnement économe. Une autre particularité importante des modèles X50.20, X50.30, X50.40 est le système «Power Plus» qui utilise le contrôle électronique du moteur pour augmenter automatiquement la puissance et le couple à la prise de force et en transport.

La transmission du X50 dispose de trois gammes de quatre vitesses syn-

chronisées, de trois vitesses Powershift, ainsi que d'un inverseur hydraulique Powershuttle modulable, donnant un total de 36 rapports en marche avant et 12 en marche arrière. Sur demande, les X50 peuvent être équipés d'un groupe de vitesses rampantes qui augmente le nombre de rapports à 48 en marche avant et 16 en marche arrière. De plus, le X50 offre trois rapports de prise de force: 540, 750 et 1000 t/min. Finalement cette série dispose d'un blocage 100% avant et arrière, ainsi que de freins à disques de type humide.

Le relevage arrière est réglé électroniquement par les bras inférieurs. Avec deux cylindres supplémentaires, la capacité de levage maximale est de 4750 kg. Le relevage arrière et la prise de force peuvent également être actionnés de l'extérieur sur les deux gardes boues.

**STAUFFER EXPO 2013**  
5/6/7/8 décembre de 9 à 18 h



Distribution pour la Suisse:

**Samuel Stauffer & Cie**  
1607 Les Thioleyres/VD  
Tél. 021 908 06 00  
Fax 021 908 06 01  
[info@stauffer-cie.ch](mailto:info@stauffer-cie.ch)  
[www.stauffer-cie.ch](http://www.stauffer-cie.ch)

## > PRODUITS ET OFFRES PUBLITEXTE

### Nouveaux trends AMAZONE dans la technique de protection des plantes



Encore et toujours, lors de l'acquisition d'une nouvelle machine, les exploitations agricoles suisses choisissent les pulvérisateurs portés. Les régions aux surfaces limitées ou à la topographie difficile misent particulièrement, et à juste titre, sur les appareils portés.

Avec des cuves pouvant contenir de 900 à 1800 litres, ces appareils sont hautement performants. Combiné avec une cuve frontale de 1000 litres, on obtient une «machine automotrice» avec un véhicule porteur au lestage et au contrepoids optimaux.

Afin d'exploiter et de profiter au maximum de la maniabilité de cette combinaison ainsi que du confort de ces tracteurs modernes, il est judicieux d'y ajouter quelques options supplémentaires.

### Voici quelques options qui figurent en-haut de la liste des clients:

- le système GPS permettant une coupe des tronçons automatisée (GPS-Switch)
- le système de circulation continue dans les conduites de pulvérisation (DUS)
- le guidage de rampe automatique (Distance Control)
- le système d'éclairage pour rampe (éclairage individuel des buses par LED)
- le système de nettoyage automatique (Pack Confort)
- l'assistance au guidage (GPS-Track)
- les roulettes de manutention et le triangle d'attelage qui permettent un maniement pratique et simple de la machine.

Profitez dès maintenant des conditions avantageuses d'avant-saison pour les pulvérisateurs et les distributeurs d'engrais.

Pour de plus amples informations sur les machines de qualité AMAZONE, veuillez vous adresser à votre agent OTT ou directement chez nous:

**Ott**  
Industriestrasse 49  
3052 Zollikofen  
Tél. 031 910 30 10  
Fax 031 910 30 19  
[www.ott.ch](http://www.ott.ch)  
[mail@ott.ch](mailto:mail@ott.ch)

