

Utilité des systèmes de guidage automatique

Organisation du travail et ergonomie | Vue d'ensemble de la technique

Octobre 2012

Auteurs

Martin Holpp, Thomas Anken,
Monika Sauter, ART

Milan Kroulík, Zdeněk Kvíz,
Université tchèque des sciences
de la vie, Prague

Oliver Hensel, Université Kassel,
Technique agricole Witzenhausen

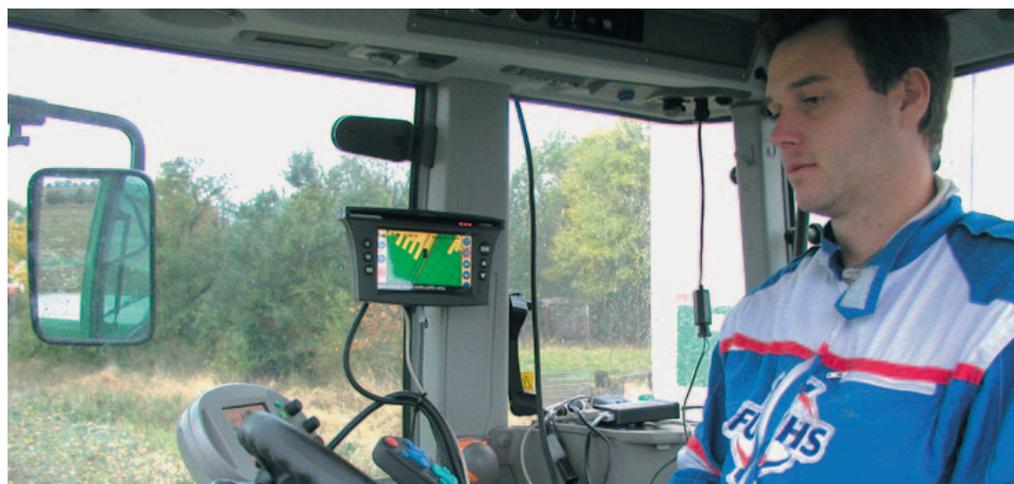
martin.holpp@art.admin.ch

Impressum

Edition:
Station de recherche Agroscope
Reckenholz-Tänikon ART,
Tänikon, CH-8356 Ettenhausen,
Rédaction: Etel Keller, ART
Traduction: Regula Wolz, ART

Les Rapports ART paraissent
environ 20 fois par an.
Abonnement annuel: Fr. 60.–.
Commandes d'abonnements
et de numéros particuliers: ART,
Bibliothèque, 8356 Ettenhausen
T +41 (0)52 368 31 31
F +41 (0)52 365 11 90
doku@art.admin.ch
Downloads: www.agroscope.ch

ISSN 1661-7576



Agroscope a étudié l'utilité des systèmes de guidage automatique précis en termes d'organisation du travail et d'ergonomie. (Photo: M. Kroulík)

Les systèmes de guidage automatique par satellite sont censés permettre une grande précision de manœuvre et faciliter la tâche du conducteur ou de la conductrice. Mais comment chiffrer leur impact sur l'organisation et l'ergonomie dans la pratique?

La station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART a étudié cette question en collaboration avec l'Université tchèque des sciences de la vie à Prague ainsi qu'avec l'Université de Kassel, Technique agricole Witzenhausen, dans le cadre d'un essai de terrain de grande envergure dans les conditions de la pratique. Dix-sept conducteurs ont été observés et évalués pendant les opérations de travail primaire du sol, de préparation du lit de semences, et de semis avec et sans système de guidage automatique. Les résultats ont montré que les vitesses de progression, les temps de manœuvre, et l'utilisation de toute la largeur de travail étaient parfois légèrement plus avantageux avec le système de guidage, mais ne se différenciaient pas de

manière significative. Les écarts dus au conducteur, à la forme de la parcelle et aux bordures de champ avaient un impact plus important sur les résultats que l'emploi des systèmes de guidage. Deux valeurs mesurées se distinguent cependant de manière significative. Premièrement, la précision de manœuvre s'est accrue avec le système de guidage. L'effet était nettement plus marqué avec les grandes largeurs de travail sans traceur que pour le semis avec des largeurs de travail moindres et avec traceur. Deuxièmement, les systèmes de guidage ont permis de soulager le conducteur. En cas de conduite avec système de guidage, la fréquence cardiaque, utilisée comme indicateur de la sollicitation du conducteur, était plus basse.

En résumé, les systèmes de guidage augmentent le confort et l'ergonomie des postes de travail à bord des tracteurs. Les conducteurs restent performants plus longtemps et la qualité du travail reste à un niveau élevé constant.



Problématique / Méthodologie

Les systèmes de guidage automatiques par satellite ont des répercussions sur les paramètres de l'organisation du travail et de l'ergonomie. Dans la littérature, on trouve quelques études sur l'exploitation des largeurs de travail, le temps nécessaire aux demi-tours et la précision de manœuvre, mais ces études ont généralement été réalisées dans des conditions expérimentales. On n'a trouvé aucune information relative à l'allègement de la charge du travail du conducteur, allègement pourtant régulièrement évoqué. Afin d'étudier de manière approfondie les effets organisationnels et ergonomiques des systèmes de guidage automatique, ART a réalisé un essai sur le terrain dans des conditions pratiques en collaboration avec d'autres partenaires.

Avec des mesures de ce type, le conducteur a une grande influence sur les résultats. Pour que les relevés soient fiables, les mesures devaient être répétées avec un nombre suffisant de conducteurs. Comme on ne disposait, à Tånikon et dans les environs, ni de suffisamment de conducteurs, ni de suffisamment de parcelles, les essais ont été réalisés en collaboration avec la faculté d'agronomie de l'Université tchèque des sciences de la vie à Prague. Les relevés ont eu lieu avec dix-sept conducteurs professionnels pour les opérations de travail primaire du sol, de préparation du lit de semences et de semis durant l'automne 2010 et le printemps 2011 dans différentes régions tchèques. Comme les systèmes de guidage ne présentent en général un avantage dans les grandes cultures qu'à partir de largeurs de travail supérieures à 3 m (rapport ART 659), les largeurs de travail utilisées dans l'étude étaient comprises entre 5 et 15 m. De telles largeurs s'emploient pour l'exploitation des herbages, pour la fertilisation et la protection phytosanitaire, de même que chez les entrepreneurs de travaux agricoles. Les 66 parcelles d'essai avaient une superficie de 1,2 à 15,7 ha (\varnothing 5,7 ha). Les systèmes de guidage utilisés étaient tous des systèmes Trimble EZG 500 d'une précision de $\pm 2,5$ cm. A une exception près (volant motorisé), les systèmes étaient commandés directement par l'hydraulique de guidage. Le rapport de mesure du temps de conduite avec et sans système de guidage était environ de 1:1. Les conducteurs conduisaient en général en alternance deux parcelles sans et deux parcelles avec système de guidage. Les relevés de position et de fréquence cardiaque (montre sportive Polar) ont servi à déterminer les **vitesse de progression** sur la parcelle et en bout de champ, les **durées de demi-tour**, l'**exploitation des lar-**

geurs de travail, la **précision de manœuvre** ainsi que la **fréquence cardiaque** sur la parcelle et en bout de champ. L'utilisation de systèmes de guidage propres à l'exploitation et la participation de conducteurs pour qui la manipulation de ces systèmes était familière sont deux facteurs qui ont permis d'exclure les effets liés à l'apprentissage. Pour éviter toute distraction, personne d'autre que le conducteur ne se trouvait sur le tracteur pendant les mesures. Ces dernières ont eu lieu pendant la journée de 07:00 à 00:00 heures. Aucun régulateur automatique de vitesse n'a été utilisé. A une exception près, les conducteurs ont circulé en lignes droites parallèles sur toutes les parcelles. Sur une parcelle, le conducteur a circulé en suivant les courbes de niveau et la voie précédente. Les conducteurs ont choisi comment faire leurs demi-tours en fonction des conditions spécifiques. Sans système de guidage, ils ont toujours tourné en traçant une courbe en oméga. Avec système de guidage, ils ont soit opté pour la courbe en oméga, soit sauté les voies. Le demi-tour en queue d'hirondelle fréquemment pratiqué avec les petites largeurs de travail ou avec des bouts de champs courts, n'a jamais été appliqué lors de l'essai (fig. 1).

Une évaluation statistique des mesures a été effectuée à partir des moyennes de toutes les opérations. Etant donné l'échantillon trop limité, il n'a pas été possible de différencier les opérations.

Résultats

Les **vitesse de progression** de quatorze conducteurs ne présentaient pas de différences statistiquement significatives. En bout de champ comme sur la parcelle, les vitesses de progression étaient pratiquement identiques avec et sans système de guidage. Cela vient peut-être du fait qu'indépendamment de l'utilisation d'un système de guidage, les conducteurs ont toujours tenté de travailler avec la vitesse maximale possible pour l'opération concernée. Le contrôle de la précision de raccord sur la parcelle n'a pas eu un effet limitatif.

Un total de 350 demi-tours effectués par six conducteurs a servi à calculer les **durées de demi-tour**. Sans système de guidage, le temps moyen nécessaire pour un demi-tour était de 30s, avec système de guidage, il était de 29s. Les différences n'étaient pas statistiquement significatives. Ce résultat vient du fait qu'avec le système de guidage, pour pouvoir s'adapter aux conditions topographiques, le conducteur devait parfois effectuer sur la même parcelle des

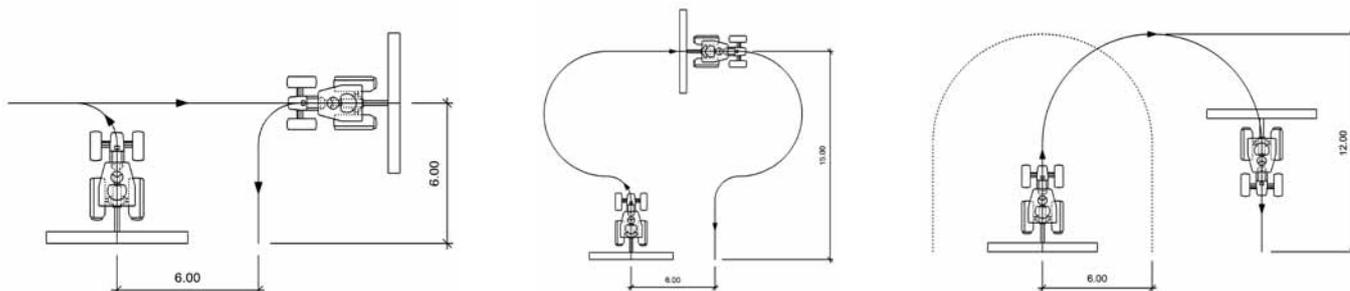


Fig. 1: A gauche, demi-tour en queue d'hirondelle, au centre, demi-tour en oméga avec raccord direct à la voie de passage précédente. A droite, demi-tour en sautant une voie de passage. Dimension du véhicule et de la voie à titre d'exemple. Source: Agroscope

demi-tours en suivant une courbe en oméga et en sautant des voies. Ces deux modes de demi-tour se distinguent à peine l'un de l'autre en ce qui concerne le temps requis. Les mesures tchèques qui indiquent une économie de temps de demi-tour d'environ 5 % confirment les résultats. L'effet d'économie avec un seul mode de demi-tour est minime. Des différences majeures apparaissent en revanche lorsque les demi-tours en queue d'hirondelle, qui prennent beaucoup de temps, sont remplacés par la méthode plus rapide qui consiste à sauter des voies.

Un tel changement du mode de demi-tour a permis des économies de l'ordre de 35 % ou de 8 secondes dans le cadre d'essais de semis et de sarclage de betteraves sucrières réalisés en Bavière. Des essais effectués en Autriche avec cultivateur attestent d'une économie de temps de 15 % pour les demi-tours.

L'exploitation de la largeur de travail totale sur la base des données de six conducteurs était très élevée dans les deux cas. Sans système de guidage, les conducteurs circulaient avec un léger chevauchement correspondant à 1 % de la largeur de travail, avec système de guidage, le chevauchement n'était que de 0,2 %. Pour une largeur de travail moyenne de 8,5 m, ils ont donc exploité les outils quatre bons centimètres de plus avec système de guidage que sans. Les différences n'étaient cependant pas statistiquement significatives. Le fait que la largeur de travail ait été aussi bien exploitée sans système de guidage vient de ce que les conducteurs étaient des professionnels qui travaillaient de grandes superficies et qui étaient en mesure de tirer parti au mieux de la largeur de travail, même en guidage manuel. Ceci explique également pourquoi les valeurs mesurées sont plus basses que dans les essais allemands avec un taux d'exploitation supérieure de 6 à 15 cm. La **précision de guidage** a été analysée à partir de 201 pas-

sages sur la surface principale réalisés par cinq conducteurs au printemps 2011. Pour le travail primaire du sol et la préparation du lit de semences, les conducteurs circulaient plus précisément avec système de guidage que sans. Le gain de précision augmentait avec la largeur de travail. Dans le cas du semis sans système de guidage mais avec traceur, les deux conducteurs circulaient tout aussi précisément qu'avec système de guidage, c'est-à-dire dans une plage de précision semblable à celle des conducteurs ayant effectué le travail primaire du sol et la préparation du lit de semences avec système de guidage. La figure 2 indique l'écart des points de position par rapport à la voie de passage cible (ligne noire épaisse à zéro). Sans système de guidage, l'écart était de l'ordre de +/-20 cm dans 50 % des cas, avec des valeurs maximales de +/-75 cm. Avec système de guidage, l'écart était de l'ordre de +/-7 cm dans 50 % des cas, avec des valeurs maximales +/-38 cm. Les différences étaient significatives. Comme on s'y attendait et comme le confirment d'autres essais, les conducteurs avec systèmes de guidage ont atteint des degrés de précision plus élevés que sans. Dans le cas du travail primaire du sol et de la préparation du lit de semences effectués sans traceur, l'effet était très marqué. Dans le cas du semis avec traceur, l'effet était faible. Il semble plausible d'affirmer que les traceurs permettent de travailler dans une plage de précision semblable à celle des systèmes de guidage. A la condition est que les marquages soient bien visibles, comme c'était le cas ici pour le semis qui a suivi la préparation du lit de semences.

Pour la moyenne des quatorze conducteurs évalués, la **fréquence cardiaque** s'élevait à 84 pulsations/min dans la surface principale et à 86 pulsations/min en bout de champ. Aucune tendance à une corrélation entre la fréquence cardiaque et le type de travail n'a pu être identifiée. Avec sys-

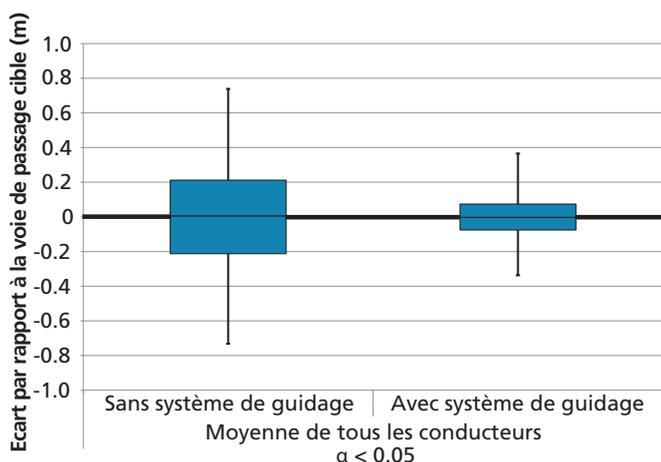


Fig. 2: La précision de manœuvre avec et sans système de guidage varie de manière significative: le diagramme indique l'écart des points de position par rapport à la voie de passage cible (ligne noire épaisse à zéro). Sans système de guidage, l'écart était de l'ordre de +/-20 cm dans 50 % des cas, avec des valeurs maximales de +/-75 cm. Avec système de guidage, l'écart était de l'ordre de +/-7 cm dans 50 % des cas, avec des valeurs maximales +/-38 cm.

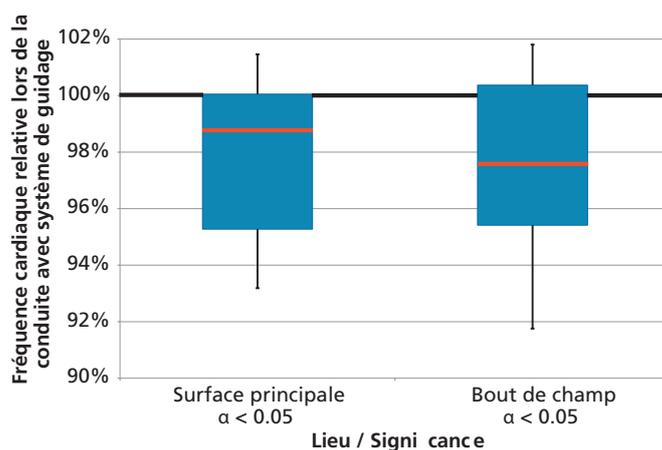


Fig. 3: La fréquence cardiaque lors de la conduite avec et sans système de guidage se distingue de manière statistiquement significative: le diagramme indique la fréquence cardiaque lors de la conduite avec système de guidage par rapport à la conduite sans système de guidage (=100 %). Avec système de guidage, la fréquence cardiaque a baissé à 98,5 % dans la surface principale et à 97,5 % en bout de champ (=ligne rouge dans le rectangle bleu). Dans les deux cas, cela correspond à une réduction de deux battements/min. La baisse de sollicitations entre la conduite avec et sans système de guidage équivaut à la baisse de sollicitations entre la conduite en bout de champ et sur la surface principale.

tème de guidage, la fréquence cardiaque a baissé en moyenne de 2 pulsations/min dans la surface principale comme en bout de champ. Le soulagement du conducteur était légèrement plus élevé en bout de champ avec 2,5 % que dans la surface principale avec 1,5 % (fig. 3). Les différences étaient toujours significatives. Cette réduction moyenne de la fréquence cardiaque en cas de conduite avec système de guidage est du même ordre que les variations de fréquence cardiaque en cas d'adaptation à de nouvelles situations dans la circulation routière, lorsqu'il faut changer de file, dépasser un véhicule ou tourner. Les différences mesurées semblent minimes, mais il faut savoir que les systèmes de guidage ne changent pratiquement pas l'ampleur de l'effort physique et que la fréquence cardiaque indique en premier lieu la variation de la sollicitation mentale. Deux pulsations/min correspondent à la différence de fréquence cardiaque mesurée lors de la conduite entre la surface principale et le bout de champ avec ou sans système de guidage. Par conséquent, la différence de sollicitations entre la conduite avec et sans système de guidage équivaut à la différence de sollicitations entre la conduite en bout de champ et sur la surface principale. Cette baisse des sollicitations est perçue de manière positive par les conducteurs.

Conclusion

Lors de la présente étude avec dix-sept conducteurs effectuant le travail primaire du sol, la préparation du lit de semences et le semis, les effets relevés des systèmes de guidage étaient généralement minimes. Les vitesses de progression en bout de champ et sur la surface principale, les temps de demi-tour et l'exploitation de la largeur de travail des outils étaient parfois légèrement plus avantageux avec système de guidage que sans, mais ne se distinguaient pas de manière significative. Les largeurs de travail, les conducteurs et les données topographiques, tout comme la forme de la parcelle et les stratégies qui en découlent pour effectuer les demi-tours au mieux exerçaient une influence nettement plus grande sur les paramètres de mesure dans l'essai pratique que l'emploi du système de guidage.

Pour optimiser le temps nécessaire aux demi-tours, il est important de changer de méthode : fini les demi-tours en queue d'hirondelle, il faut passer aux courbes en oméga ou sauter une voie de passage. Pour cela, il n'est pas forcément nécessaire d'avoir un système de guidage. Les tracteurs qui ont un grand angle de braquage et qui peuvent faire une courbe en oméga sur un espace réduit permettent d'obtenir le même effet. Les systèmes de guidage peuvent toutefois être intéressants dans les cultures en lignes notamment pour retrouver les voies de passage pour le sarclage par exemple. Ils offrent des avantages nettement plus conséquents en cas de travail sans traceur et pour les grandes largeurs de travail que pour les semis avec traceur et des marquages de voie bien visibles. Les systèmes de guidage offrent des avantages pour le semis lorsque le marquage des voies est à peine visible, dans le cas du travail de nuit par exemple ou pour le semis direct. Les lignes de semis droites et continues constituent un autre aspect positif de l'emploi des systèmes de guidage. Elles permettent

une utilisation plus aisée des outils de contrôle mécanique des adventices ou des droplegs pour les outils de protection des plantes, qui réduisent la quantité épandue tout en augmentant la qualité de l'épandage.

L'effet de soulagement du conducteur confirmé par l'étude montre que les systèmes de guidage accroissent le confort et l'ergonomie des postes de travail dans les tracteurs. Les conducteurs restent performants plus longtemps et la qualité du travail demeure à un niveau élevé constant. Il faut ajouter que l'essai n'a pas permis d'enregistrer l'effet longue durée. Les périodes d'observation par conducteur étaient comprises entre une bonne heure et près de trois heures. On peut supposer que les effets positifs des systèmes de guidage comme la précision de manœuvre et l'exploitation de la largeur de travail des outils auront tendance à prendre plus d'importance avec des travaux de plus longue durée et en cas de conduite par mauvaise visibilité.

Aperçu technique

Comment les systèmes de guidage automatiques fonctionnent-ils? A quoi faut-il veiller? Les pages suivantes donnent un aperçu des principaux aspects.

Positionnement par satellite

La plupart des systèmes de guidage utilisent le système de navigation globale par satellite (Global-Navigation-Satellite-System, GNSS) pour identifier les voies de passage. Les signaux des satellites GNSS sont reçus grâce à une antenne et un récepteur placés sur le tracteur. Ces signaux permettent de calculer la position actuelle du véhicule et de déterminer ensuite la voie de passage du tracteur. Il existe différentes variantes de conduites en parallèle. En Europe, les variantes les plus fréquentes sont la conduite en ligne droite d'un point A vers un point B et la conduite selon les courbes de niveau le long des voies de passage précédentes (fig. 4).

Quel doit-être le degré de précision?

Pour des raisons techniques et atmosphériques, l'écart de positionnement par rapport aux signaux GPS est généralement de +/-3 à 5m. ce qui est trop imprécis pour pouvoir diriger des manœuvres. La précision est donc augmentée par des signaux de correction émis par les satellites ou par des stations radio terrestres (fig. 5). Plus la position doit être précise et stable, plus la technique de

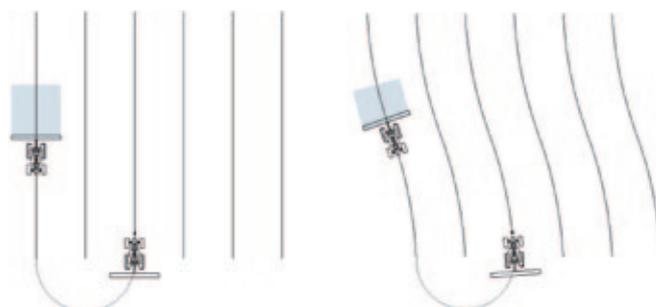


Fig. 4: Variantes de conduite: à gauche circuit A-B en ligne droite, à droite conduite le long des courbes de niveau. Source: Agroscope

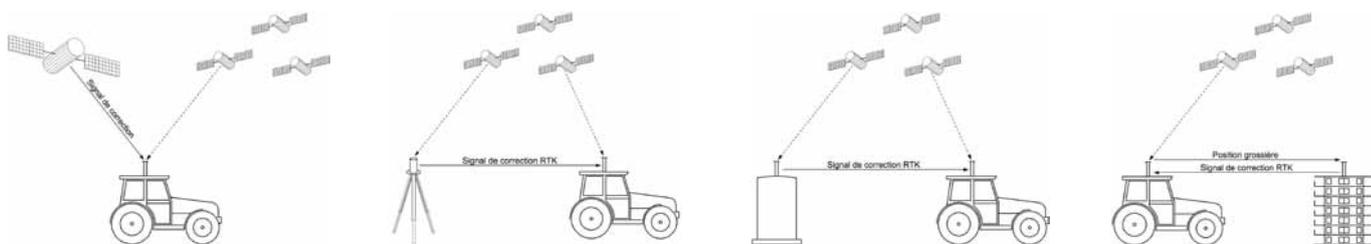


Fig. 5: Variantes de correction par GPS, de gauche à droite: par satellite de correction, par station de base mobile en bordure de champ, par station de base fixe la ferme ou chez un prestataire, système de référence virtuel VRS avec réseau de stations de base du prestataire. Source: Agroscope

réception et de correction nécessaire est complexe. Afin de mieux classer les systèmes de guidage, on distingue la précision absolue de la précision entre voies. La précision absolue indique avec quel degré de précision une position peut être retrouvée après quelques jours ou même quelques années. Avec le signal de correction gratuit Egnos, cette précision est par exemple d'environ deux mètres. Pour la plupart des applications agricoles, c'est plutôt la précision relative durant les prochaines minutes qui est importante, c'est-à-dire la précision entre voies. Elle est atteinte lorsqu'il faut moins de 15 minutes au tracteur pour se positionner et circuler le long de la voie de passage précédente. Avec Egnos, elle est comprise entre 20 et 30cm. Avec de petites vitesses de progression, comme dans les cultures maraîchères, cette plage de temps est souvent dépassée. Dans ce cas, c'est la précision absolue du système qui importe.

Egnos est utilisé avec les systèmes simples qui conviennent pour les grandes largeurs de travail, pour la fertilisation de base et la fumure organique avec des profils d'épandage qui se chevauchent et pour lesquels ce degré de précision suffit. Ce signal de correction par satellite peut être saisi par tous les outils actuels. Toutefois, il n'est disponible que moyennant réception du satellite de correction. Des perturbations peuvent limiter l'effet.

Pour le travail du sol (herse à disques, cultivateur, combinaisons pour la préparation des lits de semences) avec de grandes largeurs de travail et des raccords de conduite précis, il faut avoir recours au niveau supérieur de services de correction par satellite, le niveau payant et une précision entre voies de +/-10cm.

Pour semer, planter et sarcler avec exactitude, il faut être encore plus précis. C'est le domaine de la cinématique en temps réel (Real-Time-Kinematik, RTK) qui fournit à la fois une précision voie à voie et une précision absolue de +/- 2,5cm. De tels systèmes RTK ont également été utilisés dans l'essai décrit plus haut.

Avec l'augmentation des exigences en termes de précision, de disponibilité des signaux, l'élargissement de l'offre de services de correction RTK et la baisse des prix, les services payants de correction par satellite perdent en importance.

La précision ne fait pas tout

Les systèmes de guidage par GPS se définissent souvent par leur précision. Ce n'est toutefois qu'un aspect parmi d'autres. La disponibilité et la sécurité de fonctionnement sont également primordiales. Il faut distinguer le domaine des satellites et celui des signaux de correction.

Pour les satellites: plus il y en a, mieux c'est. Indépendamment de la précision du système, il faut au moins quatre

satellites et une vue dégagée vers le Sud pour déterminer une position. Les bâtiments, les lisières de forêts et les groupes d'arbres gênent en revanche la réception, moins de satellites sont visibles et le système de guidage peut éventuellement tomber en panne. Dans ce cas, il faut un meilleur récepteur capable de traiter non seulement les données des satellites américains (GPS), mais celles des satellites russes (= GLONASS). En moyenne, ce système permet de recevoir environ 50 % de satellites en plus – la disponibilité du système de guidage dans les zones de réception critique s'en trouve considérablement accrue.

Les perturbations interrompent également la réception des signaux de correction envoyés par satellite. Surtout pour les signaux à haute précision de +/-10cm, il peut s'écouler plusieurs minutes suivant les récepteurs jusqu'à ce que la précision souhaitée soit de nouveau disponible. Des périodes de perturbation courtes de l'ordre de quelques secondes peuvent être compensées par calcul à l'aide d'un logiciel ou d'une boussole. Lorsque le signal de correction disparaît pendant plus longtemps, il n'y a plus qu'à travailler avec une précision réduite. Avec les systèmes RTK, le signal est généralement de nouveau disponible quelques secondes après les brouillages ou les pannes. Pour les travaux qui requièrent une grande précision, cette disponibilité élevée est capitale.

Systèmes de correction RTK

Les systèmes RTK utilisent pour la correction des points de référence fixes qui se trouvent à quelques kilomètres du tracteur. Aux points de référence se situe un récepteur GNSS, aussi appelé station de base. Les corrections du récepteur sont transmises par radio au tracteur et permettent de corriger la position après comparaison avec les données de localisation du récepteur GNSS placé sur le toit du tracteur. Il existe différentes variantes de correction RTK (fig. 5):

- La station de base du client est installée dans la parcelle avant le début des travaux. Une fois mis en marche, le système est disponible en l'espace de quelques minutes. La transmission des données entre la base et le tracteur se fait par radio. La portée des émissions radio est généralement suffisante sur une parcelle. Des problèmes de réception peuvent éventuellement se produire sur les parcelles découpées et en cas de perturbations dus à des rangées d'arbres, notamment lorsque la visibilité n'est plus assurée.
- Il y a de nombreux avantages à placer la station de base en hauteur comme sur un silo de la ferme: il n'est plus nécessaire de monter et de démonter sans cesse la station de base, la portée de la visibilité augmente et le



Fig. 6: En haut: Guidage arrière Trimble TrueTracker. Deux antennes permettent de maintenir le tracteur et l'outil attelé simultanément sur la voie. En bas: Le cadre de réglage hydraulique PSR Slide corrige les écarts de l'outil attelé. Source: Geo-Konzept, Reichhardt

signal de correction peut plus aisément être utilisé simultanément par plusieurs tracteurs.

Certains fabricants de systèmes de guidage montent par exemple des stations de base chez des revendeurs de technique agricole et réalisent un réseau de correction en utilisant plusieurs stations pour tirer parti de cet avantage. Le client économise ainsi l'achat d'une station de base personnelle et reçoit le signal de correction par le réseau de radiocommunication mobile à titre de prestation. Avec plusieurs stations de base disponibles, le rayon d'action augmente, ce qui est important notamment lorsque les parcelles de l'exploitation sont dispersées ainsi que pour les entreprises de travaux agricoles.

- Les systèmes de référence dits virtuels (VRS), initialement utilisés par les métrologues, reposent sur des stations de base RTK espacées de 20 à 30 kilomètres. Ces dernières forment un réseau national ou régional. Le tracteur dispose d'une liaison mobile permanente avec le centre de calcul du prestataire pour la transmission des données. A partir de la position grossière du tracteur, les données des stations de base voisines permettent de calculer le signal de correction qui est ensuite envoyé au véhicule. Le gros avantage est que le signal de correction est disponible sur toutes les surfaces qui ont une réception de radiocommunication mobile. L'emploi d'antennes haut de gamme fait que la réception sur une machine agricole est nettement meilleure qu'avec un téléphone portable.

– La solution RTK est-elle adaptée à l'exploitation ? Cela dépend des conditions locales. Lorsque l'offre régionale de signaux de correction et que la stabilité de réception des appareils radio ou des signaux de radiocommunication mobile sont suffisantes sur les parcelles, il n'est pas absolument nécessaire d'avoir une station de base personnelle. Sur les terrains difficiles parce que vallonnés ou plantés d'arbres, il peut éventuellement arriver, sur de longues parcelles, qu'aucune solution ne fonctionne de manière satisfaisante. Des systèmes alternatifs comme les traceurs ou les marqueurs à mousse peuvent donc continuer à être nécessaires.

En cas de pente et de dérive

Des capteurs de déclivité compensent l'effet de la pente du terrain et des mouvements d'inclinaison pendant le trajet. Ils maintiennent le tracteur stable et évitent une dérive dans le sens de la pente ou dans le sens des courbes de niveau. Même si le tracteur suit exactement la voie de passage dans les terrains vallonnés il peut arriver que l'outil attelé ne suive pas aussi exactement. Cela peut venir du fait qu'en règle générale, l'antenne est montée sur le tracteur et non sur l'outil. Etant donné la dynamique du système d'attelage, on n'obtient jamais la même précision sur l'outil attelé que là où est positionnée l'antenne.

Pour corriger, les machines peuvent être équipées d'un système de navigation supplémentaire. La position est corrigée par des coutres à disques ou via un cadre de réglage hydraulique fixé aux trois points. Pour les machines tractées, il existe des systèmes de guidage arrière qui veillent à ce que l'outil suive directement les traces du tracteur (fig. 6).

Direction automatique ou manuelle?

Suivant le mode de correction appliqué, on distingue plusieurs types de systèmes de guidage : les aides manuelles à la conduite parallèle et les systèmes automatiques d'assistance de guidage. Tout d'abord, quiconque veut conduire de manière exacte a besoin d'un système avec correction de guidage intégrée. Pour les travaux précis, seuls les systèmes automatiques d'assistance de guidage conviennent. Les aides manuelles à la conduite parallèle ne sont employées que pour des précisions de ± 30 cm. Une barre lumineuse ou un écran permettent de visualiser le degré d'écart et le conducteur corrige lui-même. Le conducteur doit bien se concentrer sur l'affichage pour sauter les voies de passage et conduire avec précision. Le soulagement est limité et il n'y a pas non plus de temps supplémentaire pour effectuer d'autres tâches de contrôle. Les systèmes manuels sont souvent vendus pour débiter avant d'envisager l'achat ultérieur d'un système de guidage. Ils sont utilisés pour les grandes largeurs d'outil dans le travail du sol, l'épandage d'engrais dans les grandes cultures et les herbages. Equipés d'une fonction de marquage, ils peuvent par exemple être employés pour poursuivre au bon endroit après avoir rempli le distributeur d'engrais.

Les systèmes d'assistance mettent directement l'écart de position en pratique en corrigeant la direction. Sur la plupart des systèmes, le volant est directement dirigé par un moteur électrique avec roue de frottement. Certains fabricants remplacent même le volant de série par un volant équipé d'un entraînement à moteur intégré (fig. 7).



Fig. 7: A gauche, moteur à roue de frottement, à monter sur le volant; au centre, volant avec entraînement motorisé intégré à monter à la place du volant d'origine; à droite, intégration du logiciel de guidage en parallèle dans un terminal ISOBUS. Source: Geo-Konzept, Reichhardt

De cette façon, le système de guidage peut être installé rapidement d'un tracteur à l'autre. Il n'est plus nécessaire d'équiper la machine d'éléments de guidage fixes. Les systèmes d'assistance de guidage ont la même fonction que les systèmes manuels, mais déchargent nettement le conducteur qui n'a plus besoin de se concentrer sur un écran. Les manœuvres en bout de champ se font de manière manuelle. Comme les interventions de guidage directes sont plus rapides que les interventions manuelles, ces systèmes permettent d'exploiter davantage la plus grande précision des récepteurs satellites haut de gamme. Les systèmes avec correction de guidage intégrée ont des avantages et des inconvénients. D'une part, le conducteur a plus de capacité pour l'essentiel, car il peut se concentrer complètement sur le travail de la machine. D'autre part, le travail peut devenir monotone sur les longues parcelles, le conducteur peut alors s'ennuyer et avoir tendance à s'endormir. Or, si des obstacles se présentent sur le parcours, il faut toujours pouvoir les éviter manuellement. Ce point ne doit donc pas être négligé.

Coûts et rentabilité

Les coûts des systèmes de guidage dépendent des fonctions proposées, de la précision, de l'équipement initial du tracteur et du fabricant. Les aides de conduite parallèle de précision simple coûtent environ 1000 francs, les systèmes

d'assistance de guidage d'une précision simple sont disponibles à partir d'environ 10000 francs et les systèmes de guidage automatiques RTK de haute précision à partir d'environ 20000 francs.

Le taux d'utilisation nécessaire à la surface a diminué suite à la chute des prix des systèmes de guidage. Actuellement, il oscille entre moins de cent et plusieurs centaines d'hectares. Pour les dispositifs au coût le plus avantageux, la décision d'achat dépend avant tout du gain de confort. Pour les dispositifs les plus chers, il est nécessaire pour chaque exploitation d'évaluer les conditions et la rentabilité d'un tel investissement. Nous renvoyons nos lecteurs au rapport ART 659 «Systèmes de guidage parallèle pour tracteur – Technique et rentabilité» (Holpp 2006) et au cahier 67 du KTBL 67 «Parallelfahrssysteme» (Systèmes de guidage parallèle) (Niemann et al. 2007).

Fabricants de systèmes de guidage

Il existe un grand nombre de fabricants de systèmes de guidage. Le choix de systèmes professionnels est de plus en plus vaste, de même que les possibilités de trouver des solutions spécifiques à l'exploitation. Les fonctions comme la documentation sur le terminal, l'accès à distance du technicien de service aux réglages du système de guidage, l'intégration du dispositif dans le terminal ISOBUS (fig. 7), la combinaison avec une commande de largeur partielle

Tab. 1: Fabricants de systèmes de guidage.

Agco www.agcocorp.com	Müller Elektronik www.mueller-elektronik.de
Autofarm www.gpsfarm.com	Reichhardt www.reichhardt.org
Case New Holland www.cnh.com	Same Deutz-Fahr www.samedeutz-fahr.com
Claas www.claas-agrosystems.com	Teejet www.teejet.com
John Deere www.deere.com	Topcon www.topconpa.com
Leica Geosystems www.leica-geosystems.ch	Trimble www.trimble.ch

des pulvérisateurs phytosanitaires ou encore des capteurs supplémentaires, mécaniques ou à ultra-sons pour une orientation directe sur le peuplement végétal viennent compléter l'offre.

Les principaux fabricants sont répertoriés dans le tableau 1. Etant donné la diversité de l'offre, il n'est pas possible ici de présenter tous les systèmes de manière détaillée et de les comparer. Des informations complémentaires sur le sujet sont disponibles sur le site du Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft KTBL (www.ktbl.de); enfin, les revues scientifiques de technique agricole en Allemagne publient régulièrement des comparaisons de systèmes de conduite parallèle.

Bibliographie

- Amiama-Ares C., Bueno-Lema J., Alvarez-Lopez C. J. u. Riveiro-Valiño J. A., 2011. Manual GPS guidance system for agricultural vehicles. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9 (3), S. 702–712.
- Berning F., 2011. Ganz genau geradeaus? *Top Agrar*, Nr. 3, S. 116–123.
- Böhrnsen A. u. Holtmann W., 2011. Präzision kostet. *Profi*, Nr. 6, S. 82–86.
- De Waard D., 1996. The Measurement of Drivers' Mental Workload. Dissertation, Wageningen, 136 S.
- Demmel M., 2007. Automatische Spurführung von Landmaschinen Systeme, Einsatzbereiche, Wirtschaftlichkeit. *Landtechniktagung 26.01.2007*, Präsentation, Schönbrunn.
- Dikow A., 2010. Ergonomische Aspekte der Arbeit. *Vorlesungsreihe Arbeitswissenschaft 2010*, Präsentation, Rostock.
- Gomez-Gil J., San-Jose-Gonzalez I., Nicolas-Alonso L. F. u. Alonso-Garcia S., 2011. Steering a Tractor by Means of an EMG-Based Human-Machine Interface. *Sensors*, 11 (7), S. 7110–7126.
- Holpp M., 2006. Systèmes de guidage parallèle pour tracteur. *Technique et rentabilité. Rapports ART (auparavant: rapports FAT)*, 659, p. 12. Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Ettenhausen.
- Holpp M., 2010. Präzise Lenksysteme im Überblick. *Schweizer Landtechnik*, Nr. 2, S. 37–43.
- Holpp M., 2012. Untersuchungen zu Controlled Traffic Farming und automatischen Lenksystemen. Dissertation, DE-Witzenhausen/CH-Ettenhausen, 150 S.
- Keller J. 2005. Auto-Guidance-System – Effiziente Flächenbearbeitung, Dieselverbrauchsoptimierung, Steigerung der Wirtschaftlichkeit. *Landtechnik für Profis*, Magdeburg, Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI, VDI-Berichte, 1868, VDI Verlag GmbH, S. 106.
- Kroulik M., Kumhala F., Hula J. u. Honzik I., 2009. The evaluation of agricultural machines field trafficking intensity for different soil tillage technologies. *Soil & Tillage Research*, 105 (1), S. 171–175.
- Macak M. u. Nozdrovicky L., 2011. Economic Benefit of the Automated Satellite Guidance of the Field Machines. *Acta technologica agriculturae* 14 (2), Nitra.
- Moitzi G. u. Heine E., 2006. GPS kontra Mensch. *Der Fortschrittliche Landwirt*, Nr. 5, S. 38–42.
- Moitzi G., Heine E., Refenner K., Paar J. u. Boxberger J., 2007. Automatisches Lenksystem im Einsatz auf kleinen Flächen – Untersuchungen zum Arbeitszeit- und Kraftstoffaufwand sowie zur Systemgenauigkeit. 15. Arbeitswissenschaftliches Seminar 05./06.03.2007, Präsentation, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Niemann H., Schwaiberger R. u. Fröba N. [Hrsg.], 2007. Parallelfahrssysteme. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Nr. 67, KTBL, Darmstadt, 54 S.
- Paridon H., 2006. Herzrate und Blickverlauf: Wie reagieren junge Fahrer? *AkademieJournal*, Nr. 3, S. 7.
- Reimer B., Mehler B. u. Coughlin J. F., 2010. An Evaluation of Driver Reactions to New Vehicle Parking Assist Technologies Developed to Reduce Driver Stress. MIT AGE-LAB, Cambridge, Massachusetts, USA.
- Reimer B., Mehler B., Coughlin J. F., Roy N. u. Dusek J. A., 2011. The impact of a naturalistic hands-free cellular phone task on heart rate and simulated driving performance in two age groups. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 14 (1), S. 13–25.
- Rüegg J., Total R., Holpp M., Anken T. u. Bachmann T., 2011. Satelliten-gesteuerte Lenksysteme im Feldgemüsebau – Stand der Technik, praktische Erfahrungen und Empfehlungen. *ACW-Flugschrift, Forschungsanstalt Agroscope Changions-Wädenswil ACW, Wädenswil* 14 S.
- Schulten-Baumer F., Schmsittmann O. u. Schulze Lammer P., 2009. Parallelfahrssysteme – Akzeptanz und Nutzen. *Landtechnik*, Nr. 1, S. 61–63.
- Winner H., Halkuli S. u. Wolf G., 2009. *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Vohweg + Teubner, Wiesbaden, 697 S.

