

Systèmes de guidage parallèle pour tracteur

Technique et rentabilité

Holpp Martin, Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen
E-mail: martin.holpp@art.admin.ch



Fig. 1: Prototype d'un système de guidage automatique pour l'arboriculture d'Agroscope Reckenholz Tänikon ART: tracteur dans une plantation de pommiers.

Selon une enquête réalisée dans le monde agricole suisse, les agriculteurs et les entrepreneurs de travaux agricoles soutiennent le développement des composants électroniques sur les tracteurs. Les systèmes de guidage parallèle conviennent pour de nombreux travaux dans les grandes cultures et dans les herbages. Les agriculteurs et les entrepreneurs de travaux agricoles en attendent surtout un allègement de la conduite et une augmentation de la qualité du travail.

Il existe différents systèmes de guidage parallèle sur le marché. La plupart emploie le système de localisation par satellite (Global Positioning System GPS) pour repérer la voie de passage avec différents degrés de précision. Il existe aussi un système alternatif de guidage le long des rangées de plantes et le long des buttes à l'aide de détecteurs de position sans contact et de caméras. Avec les systèmes simples de guidage parallèle utilisant le GPS, la trajectoire se corrige à la main; avec les modèles plus sophistiqués, l'intervention se fait dans le système de guidage et la correction est automatique.

A partir des largeurs de travail habituelles en Suisse, soit 3 m à 4 m maximum, ces systèmes permettraient de gagner 3 à 6 min. de temps de travail par hectare et par an dans les cultures de blé d'automne. En ce qui concerne les herbages, les économies seraient comprises entre 15 et 30 min., indépendamment de la largeur de travail. Des économies supplémentaires peuvent être réalisées dans les cultures de céréales, sachant qu'avec un tel système, il faut moins de semences, moins de produits phytosanitaires et moins d'engrais. Dans l'ensemble, les économies potentielles sont comprises

entre environ 10 et 12 francs par hectare et par an pour le blé d'automne et représentent près de 9 francs pour les herbages.

Pour arriver à couvrir leur coût, les systèmes de guidage parallèle avec une correction manuelle de la trajectoire et un degré de précision simple ont besoin d'une surface de 100 ha, les systèmes de guidage automatique avec une précision de positionnement plus élevée, ont besoin, eux, d'environ 350 ha.

Sommaire	Page
Problématique/Méthodologie	2
Enquête	2
Vue d'ensemble des techniques de guidage parallèle	3
Fabricants de systèmes de guidage parallèle	6
Gestion du travail	7
Gestion de l'exploitation	8
Conclusions	10
Bibliographie	10



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Volkswirtschafts-
departement EVD
Forschungsanstalt
Agroscope Reckenholz-Tänikon ART

Problématique / Méthodologie

Dans les grandes cultures et les herbages, les tracteurs doivent souvent être guidés précisément en ligne droite ou le long des lignes de culture. La conduite exige donc une haute concentration, et ce, sur une longue durée. Souvent, elle ne laisse pas la place à d'autres activités, comme le contrôle des outils portés et du peuplement végétal.

Depuis quelques années, il existe différents systèmes de guidage parallèle pour tracteurs. Leur but est de soulager le conducteur dans les travaux de guidage, de mieux exploiter la largeur de travail des outils et d'atteindre une qualité de travail de haut niveau. Ils sont également sensés simplifier la conduite lorsque les conditions de visibilité sont mauvaises (contre-jour, brouillard, nuit) et permettre d'augmenter le taux d'utilisation des machines. Le chevauchement étant plus réduit, il est possible d'économiser du

temps de travail, des heures de machines et des moyens de production (carburant, produits phytosanitaires et engrais).

Suivant l'application recherchée et le budget disponible, il existe plusieurs modèles de systèmes de guidage parallèle et plusieurs catégories de performances. Ils sont surtout utilisés dans les grosses exploitations de grandes cultures. Conviennent-ils également pour l'agriculture suisse qui se caractérise par des structures plus petites?

Dans un premier temps, le rapport présente les résultats d'une enquête suisse sur l'utilisation de l'électronique sur les tracteurs. Puis il décrit la technique, les possibilités et les limites d'utilisation des systèmes de guidage parallèle. Enfin, il analyse les aspects liés à la gestion du travail et à la gestion de l'exploitation avant d'aboutir aux conclusions.

d'un système de gestion automatique des manœuvres en bout de champ et d'un tempomat. Les personnes interrogées attribuent une utilité relativement élevée aux composants électroniques qui équipent les tracteurs (fig. 2). De même, la satisfaction en ce qui concerne le maniement, la fiabilité et le rapport qualité-prix est généralement élevée.

En ce qui concerne l'influence de l'électronique sur les tracteurs, plus de trois quarts des personnes interrogées pensent que l'allègement de la conduite est élevé à plutôt élevé. Plus de la moitié des sondés en attendent des répercussions élevées à plutôt élevées sur la qualité du travail, le rendement à la surface et l'économie de carburant et de moyens de production. Enfin, un bon tiers des personnes interrogées pensent que l'augmentation des composants électroniques sur les tracteurs permettra d'obtenir une augmentation du taux d'utilisation des machines «plutôt élevée» à «élevée» (fig. 3)

Comment fonctionne le guidage parallèle aujourd'hui?

Les différentes techniques de guidage parallèle jouissent d'un succès variable. La satisfaction remportée par la méthode la plus employée (les traceurs utilisés pour mettre en place les voies de passage lors du semis) est très élevée. D'une part, les traceurs à mousse, les tâteurs, le point de fuite, le laser et le GPS sont peu utilisés et d'autre part, ils ne sont jugés satisfaisants que par environ la moitié des sondés.

Toutefois, les systèmes de guidage parallèle n'ont pas uniquement des avantages économiques. L'apport de confort et les atouts ergonomiques jouent sans doute un rôle plus important, tout comme c'est le cas pour l'air conditionné, les vitesses réglables en continu ou encore le système de gestion automatique des manœuvres en bout de champ.

Equipement, utilité et satisfaction

Les agriculteurs utilisent un nombre relativement important de tracteurs récents avec une puissance et un taux d'utilisation élevés. A partir de 90 kW de puissance, ces tracteurs sont de plus en plus souvent équipés d'un ordinateur de bord, de vitesses réglables en continu, d'un système de gestion du groupe moteur-boîte à vitesse,

Enquête

Durant l'automne 2004, Agroscope Reckenholz-Tänikon ART a réalisé une enquête pratique sur le thème suivant Opinions et attentes par rapport aux dispositifs électroniques installés sur les tracteurs et aux systèmes de guidage parallèle. Plus d'un tiers des 470 entrepreneurs de travaux agricoles et agriculteurs interrogés en Suisse alémanique et en Suisse romande ont renvoyé leur questionnaire. D'après le dépouillement, les personnes qui ont répondu sont relativement jeunes, bénéficient d'une bonne formation, possèdent souvent une entreprise de travaux agricoles et exploitent un domaine plus grand que la moyenne. Les résultats ne peuvent donc pas être appliqués à la moyenne des chefs d'exploitation suisses, mais ils permettent d'identifier certaines tendances pour l'avenir.

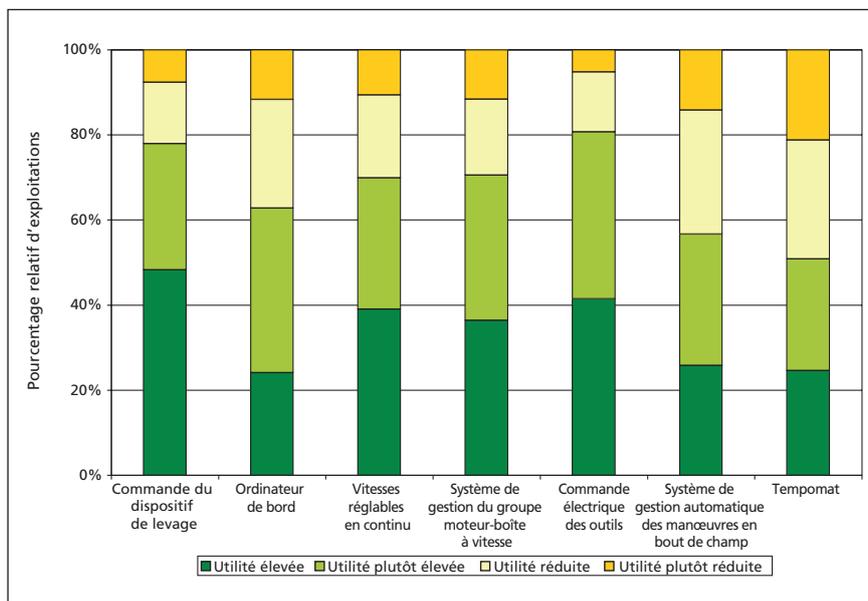


Fig. 2: Utilité des composants électroniques sur le tracteur.

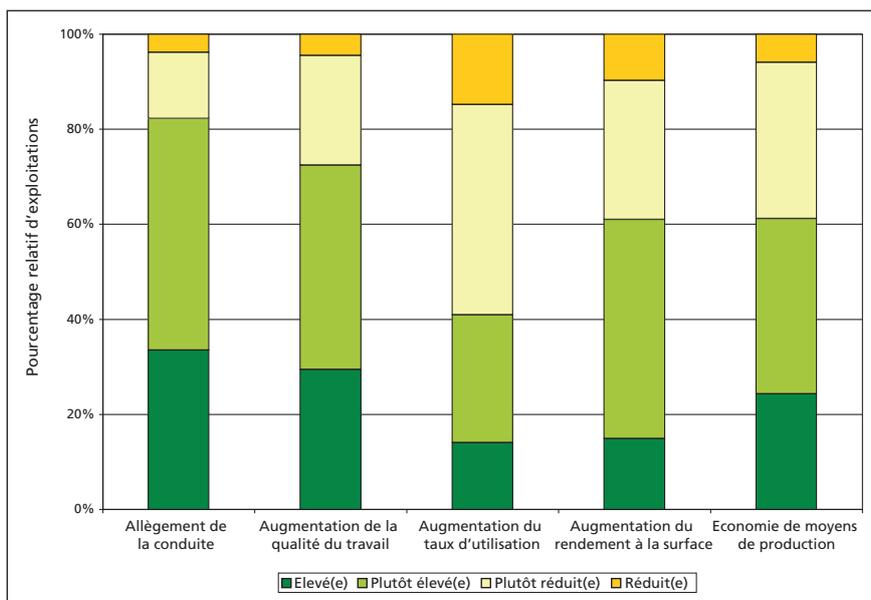


Fig. 3: Influence des composants électroniques supplémentaires du tracteur, sur l'allègement de la conduite, l'augmentation de la qualité du travail, du taux d'utilisation, du rendement à la surface et sur l'économie de moyens de production.

Aux dires des personnes interrogées, ils servent également au guidage en l'absence de voies de passage, par exemple pour le travail du sol, en général avec seulement de légers chevauchements.

Ce qu'on attend d'un système de guidage automatique

Les trois quarts des personnes interrogées attendent du système de guidage automatique qu'il permette d'alléger la conduite, tout au moins légèrement. Deux tiers des sondés peuvent envisager l'utilisation d'un système de guidage automatique pour le semis. Viennent ensuite la protection phytosanitaire, le travail du sol et la fumure minérale. Pour 80% des personnes interrogées, une précision de ± 5 cm est suffisante. Trois quarts des personnes interviewées seraient prêtes à investir jusqu'à 5000 francs dans un système de guidage automatique, seules quelques-unes iraient jusqu'à 10 000 francs.



Fig. 4: Antennes et récepteurs GPS de Trimble.

Les résultats de l'enquête montrent clairement que les entrepreneurs de travaux agricoles et les agriculteurs interrogés, au fait des progrès techniques, soutiennent la tendance au développement des composants électroniques, ainsi que les systèmes de guidage automatique sur les tracteurs.

Vue d'ensemble des techniques de guidage parallèle

Domaines d'application

Les systèmes de guidage parallèle avec GPS conviennent pour de nombreux travaux effectués à l'aide du tracteur, dans les

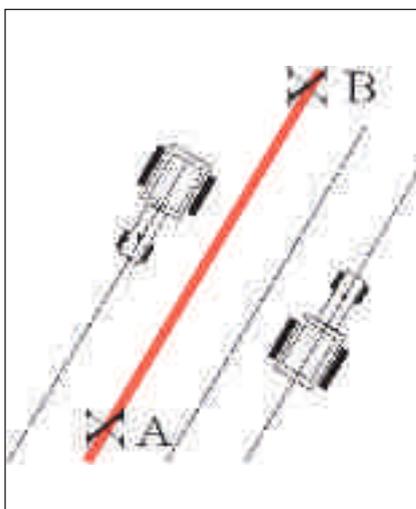


Fig. 5: Variantes de trajets: à gauche trajet de A à B, à droite suivi d'un tracé prédéfini.

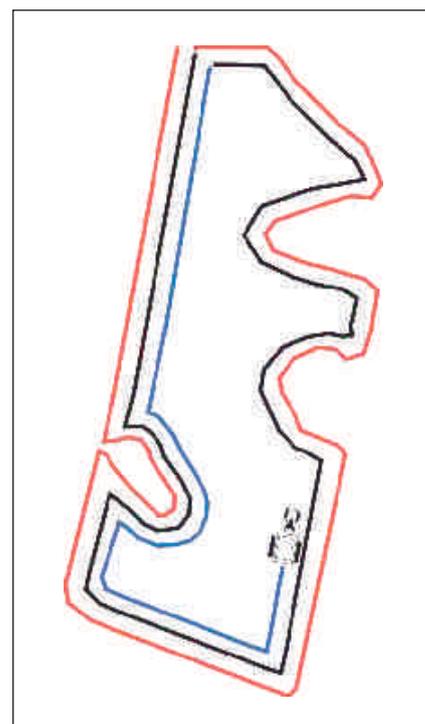
domaines du travail du sol, du semis/de la plantation, de la protection phytosanitaire et de la fertilisation.

Dans le cas du cultivateur avec de grandes largeurs de travail, ces systèmes permettent de raccorder précisément les passages, de réduire le chevauchement et d'éviter les bandes non travaillées. Pour la protection phytosanitaire ou l'épandage d'engrais en prélevée et sur les herbages, ils aident à conserver la trace et à la retrouver après avoir refait le plein. Pour le semis direct, les traceurs pénètrent à peine dans le sol. Ils représentent donc la solution idéale pour s'orienter. Il n'est plus nécessaire de faire concorder la prochaine voie de passage avec la précédente. Les systèmes de guidage permettent de sauter des voies de passage et de réduire le temps de manœuvre en bout de champ.

Associé à un terminal ISOBUS adapté, le signal GPS peut également être utilisé pour documenter les travaux effectués.

Fonctionnement des systèmes GPS

La plupart des systèmes de guidage parallèle naviguent avec le système de localisation par satellite GPS (Global Positioning System). Le tracteur équipé d'une antenne et d'un récepteur (fig. 4) reçoit les signaux des satellites GPS. Ces derniers permettent de calculer la position actuelle du véhicule,



puis de déterminer la voie de passage du tracteur.

Il existe plusieurs possibilités de guidage en parallèle. En Europe, on pratique essentiellement les trajets en ligne droite de A à B, le suivi d'un tracé prédéfini, ainsi que des trajectoires vers des objectifs précis (fig. 5)

Précision de guidage

La marge d'erreur de localisation par signaux GPS est d'environ ± 3 à 5 m en raison des conditions techniques et atmosphériques, ce qui est trop imprécis pour guider des manœuvres. La précision peut être améliorée en continu grâce aux signaux de correction émis par les satellites ou par des stations radio terrestres.

Avec les systèmes simples qui reçoivent des signaux de correction gratuits, il est possible de travailler avec une précision de ± 20 à 30 cm: ils conviennent pour les grandes largeurs de travail utilisées pour l'épandage des engrais verts ou des engrais organiques, où le chevauchement ne pose pas de problème (tab. 1).

Pour le travail du sol (herse à disques, cultivateur, systèmes combinés pour lits de semences) avec de grandes largeurs de travail et un raccordement précis des voies de passage, il est recommandé d'utiliser le deuxième niveau de système de guidage qui emploie des services de correction payants et travaille avec une précision de ± 5 à 10 cm.

Pour les opérations précises de semis, de plantation et de sarclage, comme dans les cultures maraîchères par exemple, il est possible d'employer des systèmes très précis avec une exactitude de ± 1 à 2 cm.

Des capteurs d'inclinaison permettent de compenser la déclivité et les oscillations dues à la progression de la machine. La technique utilisée à cet effet est complexe et onéreuse. Sur les terrains en pente, les systèmes de guidage par traceur qui n'utilisent pas cette technique ont tendance à dévier vers le bas de la pente ou à dessiner des lignes sinueuses. Il faut également tenir compte d'une chose: l'antenne étant placée sur le tracteur, les valeurs GPS sont généralement valables pour le tracteur et non pour l'outil. Même si le tracteur circule correctement sur la pente, l'outil porté est toujours tiré latéralement et dérive vers le bas, ce qui produit un écart supplémentaire. Cette dynamique du système d'attelage fait qu'il n'est jamais possible d'atteindre la même précision pour l'outil que pour l'antenne.

La précision de la position GPS dépend largement du nombre et de la position des sa-

Tab. 1: Répartition des systèmes de guidage parallèle en systèmes manuels, systèmes avec assistance de guidage et systèmes de guidage automatique

	Systèmes manuels	Systèmes avec assistance de guidage	Systèmes de guidage automatique
Correction de la trajectoire	Manuelle	Automatique	Automatique
Précision absolue	De 0,5 à 2 m	De 0,10 à 0,80 m	De 0,02 à 0,05 m
Précision «voie à voie»	De 0,10 à 0,30 m	De 0,05 à 0,20 m	De 0,01 à 0,02 m
Domaines d'application	Grandes largeurs de travail, engrais verts, fumure organique, herbage, pas pour le semis	Grandes largeurs de travail, travail du sol, parcelles plates et longues, semis, mise en place de cultures en lignes (pommes de terre, betteraves)	Pour tous les travaux, également pour le semis/la plantation dans les cultures maraîchères ainsi que pour les largeurs de travail plus réduites
Allègement de la conduite	Réduit	Elevé	Très élevé
Signal de correction	Par satellite p.ex. Egnos ou disp. relié à la terre, p. ex. Beacon ¹	Par satellite, p. ex. Starfire ou Omnistar, parfois également Egnos	Propre station de correction ou SRV ²
Coûts du signal de correction	Aucun	Aucun ou Fr. 1000.– à 3000.–/an	Propre station de correction env. Fr. 20 000.– SRV Swisstopo gratuit, frais de liaison de Fr. 0.05 à 0.30/min. en fonction du mode de transmission et de l'abonnement téléphonique
Investissements nécessaires	De Fr. 3000.– à 6000.–	De Fr. 15 000.– à 30 000.–	De Fr. 30 000.– à 40 000.–

¹ Signal de correction pour la navigation, disponible partout en Allemagne

² SRV = station de référence virtuelle, signal de correction de Swisstopo ou Omnistar

tellites qu'il est possible de recevoir, du récepteur GPS et des systèmes de correction utilisés. Plus la position doit être précise et stable, plus la technique de réception et de correction nécessaire est complexe.

Pour mieux différencier les systèmes, on distingue la précision absolue et la précision «voie à voie». La précision absolue indique avec quelle précision retrouver une position après quelques jours ou après quelques années. Avec le signal de correction gratuit Egnos, la précision absolue est par exemple de ~ 2 m. Pour la plupart des applications agricoles, c'est la précision dans les minutes qui suivent qui est intéressante, c'est-à-dire la précision «voie à voie». Elle est atteinte, lorsque le tracteur est capable de circuler le long de la voie de passage précédente dans les 15 minutes qui suivent le passage antérieur. Avec Egnos, elle est comprise entre 20 et 30 cm.

Limites du GPS

Le signal GPS n'est pas toujours disponible avec la même qualité. D'une part, la précision du signal dépend du nombre de satellites visibles dans le ciel, d'autre part, il peut arriver que le signal soit interrompu en bordure de forêts et par des groupes d'arbres. Plus le signal est précis, plus sa réception est sensible. Après une coupure, la réception est rétablie très rapidement. Par contre, il faut

compter entre 5 et 10 min. avant de recevoir de nouveau le signal de correction. Ces périodes de coupure sont compensées en partie grâce aux calculs du logiciel, en partie grâce à l'utilisation de boussole.

Dans l'ensemble, on ne peut donc pas compter sur une disponibilité à 100 % du signal GPS. C'est pourquoi les systèmes de guidage alternatifs comme les traceurs demeurent nécessaires.

Alternatives au GPS

Lorsque le tracteur doit s'orienter non pas par rapport à une voie de passage théorique définie par le GPS, mais par rapport à un peuplement végétal réel, comme c'est le cas lors du sarclage dans les rangées de légumes, les plantes doivent être détectées directement. Dans les plantations fruitières où les arbres et les filets de protection contre la grêle perturbent la réception, on circule également juste au milieu des rangées d'arbres pour les applications de produits phytosanitaires ou le mulchage. Des capteurs détectent les plantes et permettent de calculer la voie de passage. Les détecteurs permettent de circuler très précisément sur la parcelle à l'aide d'une technique très simple.

Les tâteurs mécaniques fonctionnent de la même manière que les tâteurs placés sur les becs à maïs des récolteuses-hâcheuses servant à l'identification des lignes. Ils peu-



Fig. 6: Systèmes de guidage parallèle sans GPS: à gauche détecteur à ultra-sons de Reichhardt-Steuerungstechnik pour l'identification des voies de passage, à droite caméra Eco-Dan pour le guidage de la sarleuse entre les lignes.



Fig. 7: Prototype ART pour les cultures fruitières: à gauche circuit test, le long d'arbres et de haies reconstitués, à droite détecteur à ultra-sons pour les surfaces des feuilles (en haut) et détecteur laser pour les troncs d'arbres (en bas) en montage frontal.



Fig. 8: Systèmes de guidage parallèle manuels avec indicateur lumineux: à gauche Centerline 220 de LH Agro, à droite Outback 5 d'Agrocom.

vent être utilisés en présence d'une ligne de référence, telle qu'une rangée de plantes (p. ex. des haies de petits fruits et du maïs), une butte de terre ou un sillon dans le sol. **Les détecteurs à ultra-sons** balayent sans contact de grandes surfaces homogènes, comme les surfaces de feuilles dans les plantations fruitières et les vignes, les andains de foin ou les sillons au sol. Les lignes de référence peuvent également être identifiées optiquement à l'aide de **caméras digitales** bi- et tridimensionnelles. Ces

systèmes sont surtout utilisés dans les cultures maraîchères pour guider les outils de sarclage entre les lignes, mais peuvent également guider le tracteur (fig. 6). Dans les plantations fruitières, il existe par exemple des troncs très fins et de grands espaces intermédiaires. Le système de guidage automatique développé par Agroscope Reckenholz-Tänikon ART est équipé de **détecteurs laser** qui travaillent rapidement et sans contact et qui permettent d'appréhender ces objets sans problème (fig. 7)

Guidage manuel ou automatique?

Suivant la façon dont la trajectoire du tracteur est corrigée, on distingue les systèmes manuels, les systèmes avec assistance de guidage et les systèmes automatiques. Avec les systèmes **manuels**, un indicateur lumineux ou un moniteur indique le degré de déviation et le conducteur corrige lui-même. Parfois, le système fonctionne également de manière acoustique, c'est-à-dire



Fig. 9: Guidage directement sur le volant de direction : à gauche Trimble EZ-Steer, au centre John-Deere AutoTrac Universal, à droite prototype d'Agroscope Reckenholz-Tänikon.

que des sons plus ou moins élevés indiquent le degré de déviation (fig. 8).

Même si le système permet de mieux exploiter les largeurs de travail, de sauter des voies de passage et de circuler de manière plus précise, le conducteur doit toujours se concentrer sur l'affichage. L'allègement de la conduite est minime et ne libère aucun temps supplémentaire, pour effectuer par exemple d'autres opérations de contrôle en plus. Les systèmes manuels sont souvent vendus comme des systèmes d'initiation pouvant être complétés ultérieurement par un module intervenant dans les opérations

Tab. 2: Fabricants et distributeurs de systèmes de guidage parallèle pour tracteurs

Fabricants	Distributeurs ¹
Agco www.fendt.com	GVS Agrar, Schaffhausen Tél. 052 631 19 00 – www.gvs-agrar.ch
Agrocom ² www.agrocom.com	Serco, Niederbipp Tél. 032 636 66 66 – www.serco.ch
Autofarm www.gpsfarm.com	AutoFarm Europe Office (DE) Tél. +49 6155 60 53 62 SatPlan (FR) Tél. +33 344 10 17 90 – www.satplan.fr
John-Deere www.deere.com	Matra, Lyss Tél. 032 387 28 28 – www.matra.ch
LH Agro www.lh-agro.com	TeeJet LH Agro Product Center (DE) Tél. +49 5161 4816 0 info.central.europe@teejet-lhagro.com LH Agro/TeeJet SWE (FR) Tél. +33 2 3869 7066 – info.france@lh-agro.com
Trimble www.trimble.com	Allnav, Zurich Tél. 043 255 20 20 – www.allnav.com
Reichhardt-Steuerungstechnik ³ www.reichhardt.org	Reichhardt-Steuerungstechnik (DE) Tél. +49 6043 96 45 0 – www.reichhardt.org
WTK www.wtk-elektronik.de	Hansenhof electronic (DE) Tél. +49 37367 779 710 – www.field-operator.com

¹ Distributeur suisse si possible, sinon le plus proche

² Solution modulaire par GPS et caméra

³ Solution modulaire par GPS, ultrasons, caméra et tâteur

Tab. 3: Variantes dans les cultures céréalières: trois largeurs de travail, quatre tailles de parcelles et trois catégories de précision par rapport au guidage manuel

Largeur de travail théorique	Ecart par rapport au guidage manuel	Précision avec guidage parallèle		
		+/- 0,3 m	+/- 0,15 m	+/- 0,05 m
3 m	+/- 0,1 m	Pour des parcelles de 1 / 2 / 5 / 10 ha		
4 m	+/- 0,2 m			
6 m	+/- 0,4 m			

de guidage. Pour des questions de prix, ces systèmes sont équipés de récepteurs simples d'une précision relative sans compensation d'inclinaison. Ils s'utilisent avec les grandes largeurs de travail pour le travail du sol, ainsi que pour l'épandage d'engrais dans les grandes cultures et les herbages. Equipés du dispositif correspondant, ils peuvent par exemple servir à reprendre l'épandage au bon endroit après avoir rempli le distributeur d'engrais.

Les systèmes avec assistance de guidage traduisent directement l'écart de position en corrigeant la trajectoire. La plupart des systèmes guident les vérins de commande par le biais d'une soupape hydraulique supplémentaire. Sur d'autres systèmes, un moteur électrique pourvu d'une roue de friction commande directement le volant de direction. Certains fabricants proposent d'échanger le volant de direction de série par un volant de direction avec entraînement motorisé intégré (fig. 9). De cette manière, le système de guidage peut être installé rapidement d'un tracteur sur un autre. Il n'est plus nécessaire alors de monter des éléments de guidage fixes supplémentaires. Les systèmes avec assistance de guidage fonctionnent de la même manière que les systèmes manuels, mais déchargent davantage le conducteur, car ce dernier

n'a plus besoin de se concentrer sur un affichage. Les manœuvres en bout de champ se font manuellement. L'intervention directe sur la trajectoire permettant de réagir plus vite que les systèmes manuels, ces systèmes sont en mesure de tirer un meilleur parti des récepteurs GPS haute définition.

Les systèmes de guidage automatique aident à diriger le tracteur même en bout de champ. A partir d'un certain angle de braquage, ils remettent automatiquement le véhicule dans la bonne voie. Sur la parcelle, le véhicule est toujours remis dans la voie de passage, après qu'il ait évité un obstacle par exemple.

Avec les systèmes équipés d'un dispositif de correction automatique, il se peut que la conduite devienne monotone, ennuyeuse et le conducteur risque de s'assoupir. Comme il faut toujours intervenir manuellement pour éviter les obstacles qui se présentent sur le parcours, ce risque n'est pas négligeable.

Fabricants de systèmes de guidage parallèle

Désormais, presque tous les fabricants de tracteurs proposent des systèmes de gui-

dage parallèle. Mais il existe aussi des maisons qui proposent des systèmes indépendants de tout fabricant, qui peuvent être installés a posteriori. Les principales entreprises sont répertoriées au tableau 2.

Etant donné l'ampleur de l'offre, il n'est pas possible de comparer tous les systèmes en détails ici. Pour de plus amples informations sur le sujet, il est conseillé de s'adresser au Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft KTBL (www.ktbl.de). Par ailleurs, les magazines spécialisés dans la technique agricole comme DLZ (www.dlz-agrarmagazin.de) et Profi (www.profi.com) publient régulièrement des rapports comparatifs sur les systèmes de guidage parallèle.

Gestion du travail

Les systèmes de guidage automatique augmentent la qualité du poste de travail du conducteur, facilitent les demi-tours et réduisent le chevauchement. Les données figurant dans la littérature pour l'évaluation de ces facteurs sur le plan économique sont variables. En Allemagne, on part du principe que le chevauchement diminue d'environ 5 à 10 %, permettant des économies de moyens de production, de carburant et de temps de travail en conséquence. Suivant l'assolement et l'intensité d'exploitation, il est donc possible d'économiser entre Fr. 8.– et 45.–/ha. En fonction du prix d'achat du système de guidage, la surface agricole utile nécessaire à son amortissement est comprise entre 180 et 300 ha.

Pour pouvoir appliquer ces résultats à la Suisse, différentes variantes ont été calculées dans les cultures céréalières et les herbages à l'aide du système de simulation PROOF pour l'organisation du travail, mis au point par Agroscope Reckenholz-Tänikon ART.

Cultures céréalières

Dans les cultures céréalières, on a pris l'exemple du blé d'automne mis en place sans labour: travail primaire du sol au cultivateur, préparation du lit de semences associée au semis, passage du rouleau, fumure organique à base de fumier, fumure minérale et protection phytosanitaire. Dans l'ensemble, ce sont dix passages sur lesquels un système de guidage parallèle exerce une influence. En réalité, il n'intervient que pour quatre passages, car la protection phytosanitaire et la fumure minérale s'orientent par rapport aux voies de passage.

Tab. 4: Comparaison du pourcentage de chevauchement entre le guidage manuel et les systèmes de guidage parallèle. Valeurs négatives = le chevauchement est plus réduit avec le guidage manuel qu'avec les systèmes de guidage parallèle, valeurs positives = le chevauchement est plus réduit avec les systèmes de guidage parallèle qu'avec le guidage manuel.

Largeur de travail théorique	Différences de chevauchement en pourcentage entre le guidage manuel et les systèmes de guidage parallèle		
	Précision +/- 0,3 m	Précision +/- 0,15 m	Précision +/- 0,05 m
3 m	-6,7 %	-1,7 %	1,7 %
4 m	-2,5 %	1,3 %	3,8 %
6 m	1,7 %	4,2 %	5,8 %

Tab. 5: Variantes dans les herbages: trois largeurs de travail, quatre tailles de parcelles et trois catégories de précision par rapport au guidage manuel

Largeur de travail théorique	Largeur de travail effective en cas de guidage manuel	Précision avec guidage parallèle		
		+/- 0,3 m	+/- 0,15 m	+/- 0,05 m
Réduite	90 %	Pour des parcelles de 1 / 2 / 5 / 10 ha		
Moyenne	90 %			
Elevée	90 %			

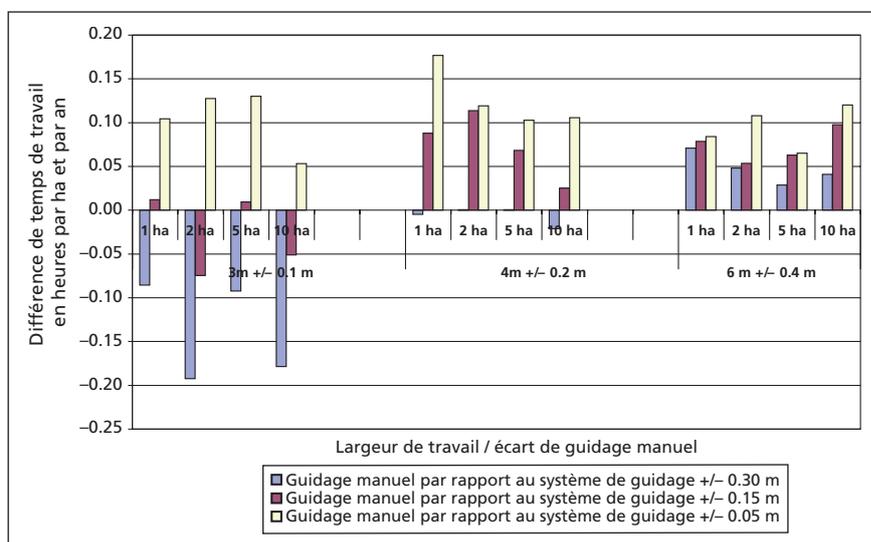


Fig. 10: Différence de temps de travail dans les cultures céréalières, comparaison entre le guidage manuel et le système de guidage parallèle, base: dix passages.

Trois systèmes de guidage parallèle de précision différente avec trois largeurs de travail et quatre tailles de parcelles ont été comparés à la précision de guidage manuel (tab. 3). On a choisi une largeur de travail inhabituelle en Suisse, soit 6 m et une taille de parcelle de 10 ha pour mieux représenter les économies d'échelle. Les largeurs de travail utilisées pour la fumure et la protection phytosanitaire étaient cinq fois supérieures à celles utilisées pour le travail du sol et le semis, elles étaient de 15, 20 et 30 m. On est parti du principe que les surfaces non travaillées sont à éviter, mais qu'un chevauchement peut être toléré. La largeur de travail effective était donc calculée à partir de la largeur de travail théorique moins l'écart de guidage.

Exemple: Une largeur de travail théorique de 3 m donne une largeur de travail ef-

fective de 2,90 m en cas de guidage manuel et une largeur de travail effective de 2,70 m en cas de guidage parallèle avec une précision de +/-0,3 m. La largeur de travail est donc mieux exploitée avec le guidage manuel qu'avec le système de guidage parallèle. Une largeur de travail théorique de 4 m donne une largeur de travail effective de 3,80 m en cas de guidage manuel et une largeur de travail effective de 3,95 m en cas de guidage parallèle avec une précision de +/-0,05 m. Dans ce cas, c'est avec le système de guidage parallèle que la largeur de travail est la mieux utilisée.

Le tableau 4 donne une vue d'ensemble des différentes valeurs. Le système de guidage parallèle n'est supérieur au guidage manuel aidé des instruments traditionnels que lorsque les valeurs sont positives. Le guidage manuel est supérieur à un système de gui-

dage parallèle impliquant de gros écarts, notamment lorsque les largeurs de travail sont réduites.

C'est également ce que montre le calcul de la différence de temps de travail à la figure 10. Ici, on est parti du principe que les temps nécessaires aux manœuvres en bout de champ avec un système de guidage par traceur étaient inférieurs de 15 %.

Le système de guidage parallèle n'est supérieur au guidage manuel que lorsque les valeurs sont positives. Cela signifie notamment qu'un système de guidage qui affiche une précision de +/-0,3 m ne devient intéressant que lorsqu'il est utilisé avec de grandes largeurs de travail.

Dans l'ensemble, on peut économiser environ 3 à 6 minutes par hectare et par an.

Herbages

L'exploitation des herbages comprenait cinq coupes, quatre apports d'engrais organiques et un apport d'engrais minéraux. Ces opérations représentaient un total de 28 passages permettant d'utiliser le système de guidage parallèle.

Les largeurs de travail des machines comme la faucheuse, la pirouette et le giro-andaineur ne sont pas homogènes. C'est pourquoi on a regroupé les machines en largeurs de travail réduites, moyennes et élevées (tab. 5). Dans le cas du guidage manuel, on considère que la largeur de travail est exploitée à 90 %. Pour le système de guidage parallèle, on a effectué les calculs à partir des mêmes catégories de précision que pour les cultures céréalières.

Contrairement aux cultures céréalières, dans les herbages, un système de guidage permet toujours d'économiser du temps de travail, quelle que soit la variante considérée (fig. 11.) L'économie représente entre 30 et 60 min. par hectare et par an, soit env. 3 à 6 min. par passage, ce qui veut dire une économie relative de temps de travail de 1-2 %.

Des économies de temps de travail supplémentaires peuvent éventuellement être réalisées dans les herbages comme dans les cultures céréalières, lorsque la vitesse de travail moyenne augmente suite à l'emploi d'un système de guidage parallèle.

Gestion de l'exploitation

Pour évaluer le système par rapport à la gestion de l'exploitation, il faut examiner d'une part, les coûts annuels du système de

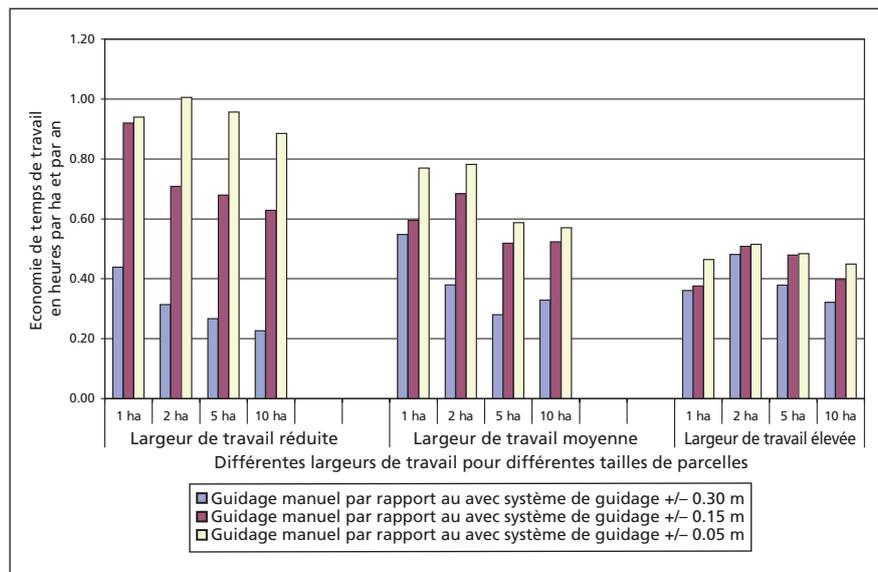


Fig. 11: Différence de temps de travail dans les herbages, comparaison entre le guidage manuel et le système de guidage parallèle, base: 28 passages; largeurs de travail: faucheuses 3 m/6 m/8,3 m; pirouettes 4,7 m/6,8 m/8,8 m; andaineurs 3,3 m/4,5 m/6,5 m.

Tab. 6: Calcul du coût des systèmes de guidage parallèle

	Systèmes manuels de guidage parallèle +/- 0,30 m	Système avec assistance de guidage +/- 0,30 m	Système avec assistance de guidage +/- 0,10 m	Système de guidage automatique +/- 0,02 m
Correction de la trajectoire	Manuelle	Automatique	Automatique	Automatique
Précision «voie à voie» [m]	De 0,10 à 0,30	De 0,10 à 0,30	De 0,10 à 0,20	De 0,02 à 0,05
Prix d'achat [Fr.]	5000	16000	23000	50000
Durée d'amortissement [années]	10	10	10	10
Coûts fixes ¹ [Fr./an]	615	1968	2829	6150
Réparations [Fr./an]	150	480	920	2000
Abonnement Signal de correction [Fr./an]	0	0	1500	0
Coûts totaux [Fr./an]	765	2448	5249	8150

¹ Coûts fixes: amortissement 10,0 %, taux d'intérêt moyen 2,1 %, assurance incendie 0,2 %

guidage parallèle et d'autre part, les économies potentielles.

Coûts des systèmes de guidage parallèle

Le tableau 6 présente, à titre d'exemple, les coûts annuels de quatre systèmes de guidage parallèle. Les coûts totaux par année se composent des amortissements, des taux d'intérêt, de l'assurance-incendie, des coûts de réparation et des coûts du signal de correction.

Les coûts annuels oscillent entre 765 francs pour un dispositif manuel de guidage parallèle présentant un faible degré de précision et 8150 francs pour un système de guidage automatique de haute précision.

Possibilités d'économies

Dans les cultures céréalières comme dans les herbages, l'utilisation plus efficace des largeurs de travail et la réduction de la durée des manœuvres en bout de champ permettent d'économiser du temps de travail et des heures de machines. Ce sont principalement les heures de tracteur qui sont importantes. L'équipement machines pèse moins lourd dans la balance des coûts. Le temps de travail économisé n'a pas plus été pris en compte dans les calculs. Par contre, lorsque les unités de main-d'œuvre sont rémunérées directement ou lorsque du temps de travail peut être libéré et utilisé ailleurs de manière lucrative, il faut en tenir compte (tarif ART: Fr. 26.- de l'heure).

A partir des économies réalisées sur le plan

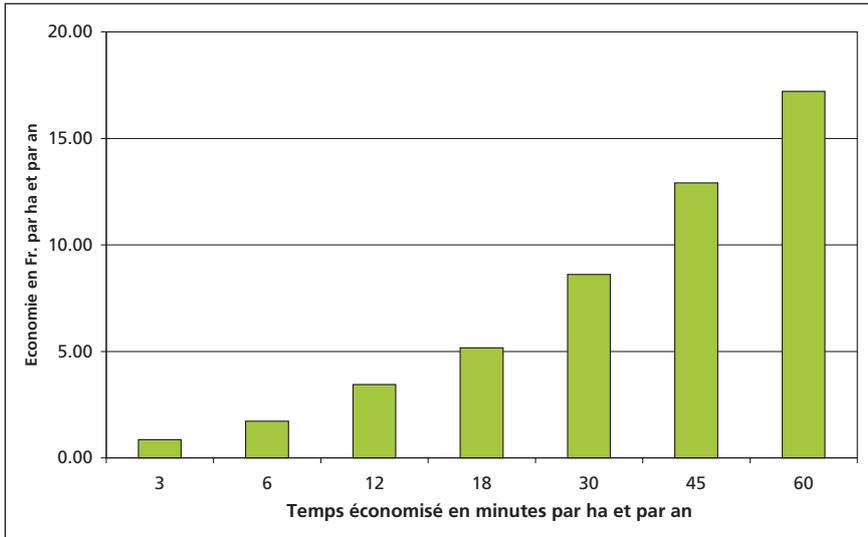


Fig. 12: Economie sur les coûts du tracteur par hectare et par an en fonction du temps économisé par hectare et par an (calcul effectué à partir de deux tracteurs de 50 et 85 kW, coûts des carburants et des réparations).

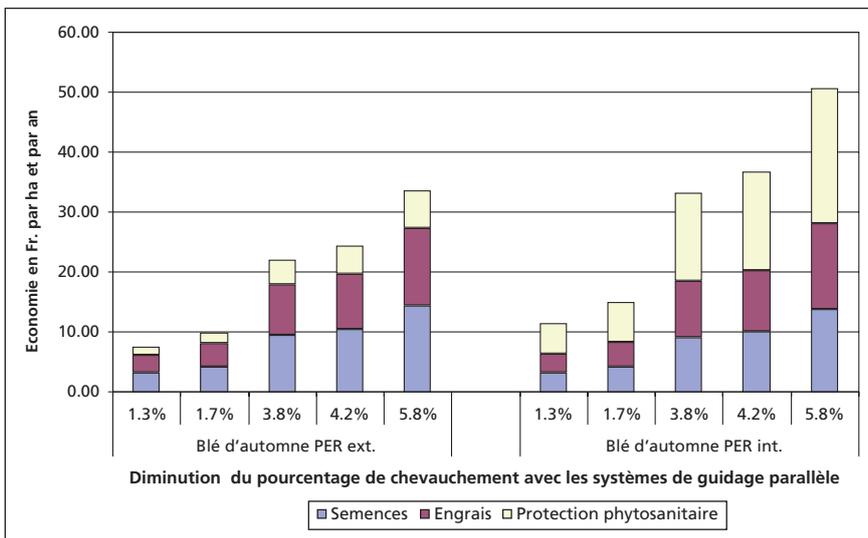


Fig. 13: Economies réalisées sur le coût des semences, des engrais et des produits phytosanitaires, grâce à la réduction du chevauchement avec le système de guidage parallèle dans le blé d'automne PER ext. et dans le blé d'automne PER int. Valeurs à atteindre pour le chevauchement, cf. fig. 11.

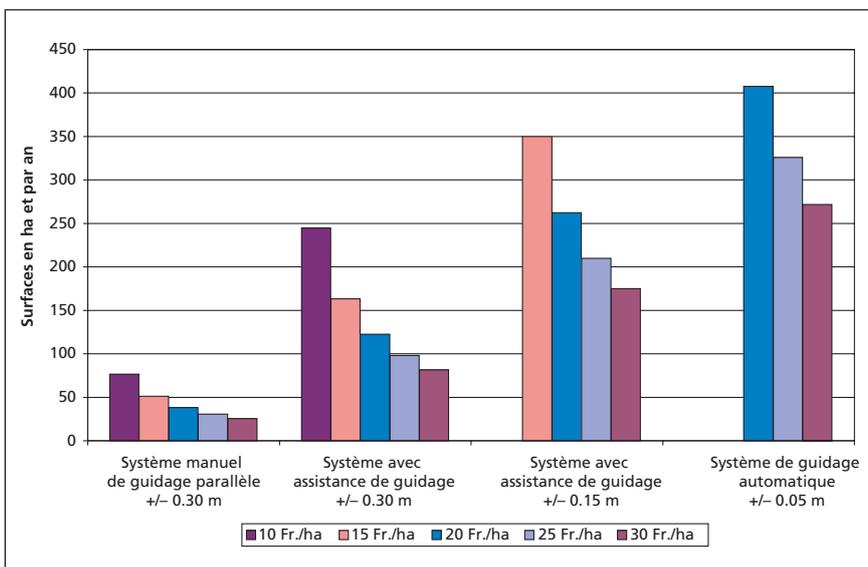


Fig. 14: Taux d'utilisation nécessaire à la surface pour rentabiliser le système en fonction des coûts économisés par hectare et par an pour différents systèmes de guidage parallèle. Exemple de lecture: un système avec assistance de guidage et une précision de +/-0,15 m peut être utilisé de manière rentable moyennant une économie de Fr. 15.- par hectare et par an, à partir d'une surface de 350 ha par an. Avec une précision de +/-0,15 m, la valeur correspondant à Fr. 10.-/ha disparaît, avec une précision de +/-0,05 m, c'est le cas des valeurs correspondant à 10 et 15 francs, car le taux d'utilisation nécessaire à la surface dépasse déjà 450 ha par an.

de la gestion du travail, il est possible de déduire les coûts économisés pour les tracteurs (fig. 12). Une réduction de temps de travail de l'ordre de 6 min. par hectare et par an dans les cultures céréalières permet donc d'économiser environ Fr. 1.50 par hectare et par an. Dans les herbages, une réduction de l'ordre de 18 min. par hectare et par an permet d'économiser environ Fr. 8.50 par hectare et par an.

Pour obtenir ces résultats, le système de guidage parallèle doit être utilisé seulement lors de quatre passages dans les cultures céréalières, tandis qu'il doit être utilisé lors de 28 passages dans les herbages. Le taux d'utilisation du système est donc nettement plus élevé dans le deuxième cas.

Dans les cultures céréalières, les largeurs de travail se chevauchant moins, des économies ont également pu être réalisées sur les semences, les engrais et les produits phytosanitaires.

Ces économies ne sont pas les mêmes si le blé est cultivé de manière intensive ou s'il est cultivé de manière extensive (fig. 13). Avec un chevauchement limité de 1,7 % (ce qui correspond à une largeur de travail de 4 mètres et un système de guidage parallèle d'une précision de +/- 0,15 m – cf. fig. 11), il est possible d'économiser jusqu'à Fr. 10.– par hectare et par an dans les cultures de blé extensives et jusqu'à Fr. 12.– par hectare et par an dans les cultures de blé intensives. Ce n'est qu'avec des largeurs de travail élevées et un guidage de haute précision qu'il est possible d'économiser jusqu'à 20 francs et plus.

L'utilisation du système associé à la réduction des heures de tracteurs permet donc de réaliser des économies de l'ordre de Fr. 11.50 à 13.50 par hectare et par an dans les cultures céréalières.

Taux d'utilisation élevé nécessaire pour couvrir les coûts

Le taux d'utilisation nécessaire pour couvrir les coûts d'un système de guidage dépend des économies réalisées par hectare (fig. 14). Couvrir les coûts veut dire que les coûts annuels du système de guidage sont compensés par les économies qu'il permet de réaliser. Un dispositif manuel simple de guidage parallèle sans correction automatique de la trajectoire, qui convient bien pour les herbages avec des largeurs de travail moyennes à élevées et permet d'économiser environ Fr. 10.– par hectare et par an, devient rentable à partir d'une surface de 100 ha. Pour parvenir à un tel résultat, il faut

néanmoins que le système soit utilisé quel que soit le tracteur, pour toutes les opérations portant sur le travail de la parcelle (par exemple pour la fumure et l'andainage, mais pas pour le chargement).

Un système avec assistance de guidage et une précision de +/- 0,15 m, qui permet d'économiser environ Fr. 15.– par hectare et par an dans les cultures céréalières, requiert une surface de 350 ha pour être rentable.

Conclusions

Il existe plusieurs modèles de systèmes de guidage parallèle pour divers domaines d'application. Avant de se décider pour tel ou tel système, il est important de bien définir les exigences individuelles de l'exploitation.

Avec les largeurs de travail les plus fréquemment utilisées en Suisse, allant jusqu'à 3 m, maximum 4 m, les systèmes de guidage parallèle doivent fonctionner avec une haute précision pour augmenter la précision de la conduite par rapport aux systèmes manuels.

L'emploi de détecteurs supplémentaires comme les ultra-sons, les tâteurs et les caméras a permis d'élargir le domaine d'application des systèmes et de mieux les rentabiliser.

Les systèmes de guidage parallèle permettent d'économiser sur les produits auxiliaires et sur les coûts variables de machines. Par contre, les coûts du système ne sont pas négligeables. Ils ne sont couverts par les économies réalisées sur les produits auxiliaires et sur les coûts variables de machines, que s'ils sont utilisés sur de grandes surfaces et que si la compression des coûts est en conséquence. C'est le cas surtout dans les cultures intensives de céréales qui sont travaillées avec des machines affichant de grandes largeurs de travail. En principe, pour pouvoir couvrir les coûts du système de guidage, il est nécessaire d'avoir un taux d'utilisation à la surface élevé à très élevé. En outre, l'utilisation du système devrait permettre d'employer ailleurs le temps de travail libéré, et ce, de manière lucrative, ou de réduire les coûts salariaux directement attribuables. Les systèmes de guidage parallèle onéreux sont intéressants dans les cultures maraîchères par exemple, lorsqu'ils permettent de supprimer la deuxième personne qui conduit la sarcluse ou de renoncer à l'opération complexe qui consiste à guider au laser le véhicule nécessaire à la mise en place de lignes droites.

L'aspect touchant l'ergonomie et le confort des systèmes de guidage parallèle ne doit pas être sous-estimé, notamment pendant les longues journées de travail. Toutefois, il ne peut que difficilement être évalué sur le plan économique. D'après les résultats de l'enquête, les agriculteurs et les entrepreneurs de travaux agricoles équipent leurs tracteurs de composants électroniques avant tout dans le but d'augmenter le confort du conducteur en simplifiant la conduite, et moins dans l'attente d'avantages économiques. Le système de guidage parallèle peut sans doute être classé dans la même catégorie que l'air conditionné, la commande électronique du dispositif de levage, les vitesses réglables en continu ou encore le système de gestion automatique des manœuvres en bout de champ, qui avec le temps font partie de l'équipement standard des plus gros tracteurs.

Bibliographie

- Ammann H., 2005. Coûts-machines 2006; rapport FAT n° 643.
- Döll H. et al., 2005. Die unsichtbare Spur; Neue Landwirtschaft 2/2005.
- Ehrl M., 2006. Schlag für Schlag – immer auf dem optimalen Kurs; Eilbote 5/2006.
- Holpp M., 2005. Automatisches Lenksystem für den Obstbau; Schweizer Landtechnik 11/2005.
- Keller J., 2005. Auto-Guidance-System – Effiziente Flächenbearbeitung, Dieserverbrauchsoptimierung, Steigerung der Wirtschaftlichkeit; Landtechnik für Profis 2005, VDI-Verlag.
- Kloepfer F., 2005. Parallelfahreinrichtungen und ihre ökonomische Bewertung; KTBL.
- Moitzi G. et al., 2006. GPS kontra Mensch; Der fortschrittliche Landwirt 5/2006.
- Noak P.O., 2004. GPS gestützte automatische Lenksysteme; Landtechnik 5/2004.
- Noak P.O., 2005. 16 Parallelfahrssysteme im Überblick; DLZ 2/2005.
- Schick M. et al., 2002. Chiffres-clefs de l'organisation du travail pour la récolte du fourrage grossier. Temps nécessaire et rendements des différents procédés pour la

récolte de foin et d'herbe ensilée; rapport FAT n° 588.

Schick M. et al., 2003. Chiffres-clefs de l'organisation du travail pour la culture céréalière. Du travail du sol à la gestion; rapport FAT n° 604.

LBL, 2005. Deckungsbeiträge – Ausgabe 2005.

Weltzien C., 2003. GPS-Empfänger-Vergleich; DLG-Prüfbericht 5148 F.

Des demandes concernant les sujets traités ainsi que d'autres questions de technique et de prévention agricoles doivent être adressées aux conseillers cantonaux en machinisme agricole indiqués ci-dessous. Les publications peuvent être obtenues directement à la FAT (Tänikon, CH-8356 Ettenhausen). Tél. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90, E-Mail: doku@fat.admin.ch, Internet: <http://www.fat.ch>

FR	Berset Roger, Institut agricole, 1725 Grangeneuve	Tél. 026 305 58 49
GE	AgriGenève, 15, rue des Sablières, 1217 Meyrin	Tél. 022 939 03 10
JU	Fleury-Mouttet Solange, FRI, Courtemelon, 2852 Courtételle	Tél. 032 420 74 38
NE	Benoît Steve, CNAV, 2053 Cernier	Tél. 032 854 05 30
TI	Müller Antonio, Office de l'Agriculture, 6501 Bellinzona	Tél. 091 814 35 53
VD	Louis-Claude Pittet, Ecole d'Agriculture, Marcelin, 1110 Morges	Tél. 021 801 14 51
	Hofer Walter, Ecole d'Agriculture, Grange-Verney, 1510 Moudon	Tél. 021 995 34 57
VS	Roduit Raymond, Ecole d'Agriculture, Châteauneuf, 1950 Sion	Tél. 027 606 77 70
SRVA	Mouchet Pierre-Alain, CP 128, 1000 Lausanne 6	Tél. 021 619 44 61
SPAA	Grange-Verney, 1510 Moudon	Tél. 021 995 34 28

Impressum

Edition: Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen

Les Rapports ART paraissent environ 20 fois par an. – Abonnement annuel: Fr. 60.–
Commandes d'abonnements et de numéros particuliers: ART, Bibliothèque, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen, Tél. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90, E-Mail: doku@art.admin.ch, Internet: <http://www.art.admin.ch>

Les Rapports ART sont également disponibles en allemand (ART-Berichte).
ISSN 1661-7576

Les Rapports ART sont accessibles en version intégrale sur notre site Internet (www.art.admin.ch).