

Autoguidage par GPS

Une rentabilité variable

La précision d'un autoguidage assisté par GPS sous abonnement permet d'améliorer la qualité de travail en optimisant les passages de tracteur. Il apporte un réel confort à l'utilisateur par rapport à une conduite traditionnelle : plus de disponibilité pour surveiller les outils...

Le système de positionnement par satellites, GPS, est de plus en plus présent dans les exploitations agricoles : arpentage, cartographie de rendement, modulation des intrants et guidage plus récemment. Ce système américain s'appuie sur un réseau de 24 satellites. Développé en 1978 dans un but militaire, il est mis à disposition des utilisations civiles depuis 1994. Il permet à ses utilisateurs de connaître leur position, leur vitesse et l'heure à n'importe quel endroit du globe, 24 h/24. La précision du signal (sans correction) dépend de nombreux facteurs dont la qualité du récepteur utilisé, le nombre de satellites disponibles et leur positionnement. Elle varie de 1 à 15 m et n'est pas ou peu utilisable en agriculture en l'état. Depuis peu, nous bénéficions de la couverture du réseau GLONASS (système russe de positionnement par satellites) en complément du

système initial GPS, ce qui offre une panoplie de satellites plus importante à condition que l'utilisateur ait un récepteur compatible.

Six corrections différentielles disponibles en France

Quels que soient les récepteurs (GPS purs ou GPS et GLONASS), l'utilisation d'une correction (dGPS) est obligatoire pour des activités agricoles. Cette technique minimise les sources d'erreur dans la transmission du signal pour obtenir une précision inférieure à 1 m. Elle s'appuie sur des stations de référence dont la position est connue. À tout moment, la différence entre les coordonnées réelles de la station de référence et celles calculées est connue. Cette différence constitue la correction à appliquer à l'utilisateur au même

Chaque utilisation nécessite une précision spécifique.

L'autoguidage permet d'optimiser la largeur de la coupe de la moissonneuse, y compris lors de la vidange.



Thierry Franchet : « Plus que la rentabilité, l'autoguidage apporte une grande précision dans le travail. »

instant. La transmission des corrections à l'utilisateur se fait soit directement par une onde radio ou une connexion GSM pour le système RTK (Real Time Kinematic), soit en passant par un satellite géostationnaire pour le système dGPS (GPS différentiel).

En France, trois fournisseurs (ESA, Fugro et John Deere) offrent au total six corrections différentielles :

- le signal gratuit Egnos (European Geostationary Navigation Overlay Service) est développé par l'Agence spatiale européenne. Il est toujours en phase de test, ce qui se traduit parfois par une absence de signal pendant des durées variables et imprévues.

- les signaux de Fugro diffusés sous trois niveaux de précision fonctionnent sous abonnement :

- OmniSTAR VBS (Virtual base station) utilise une antenne mono fréquence.

- OmniSTAR XP et OmniSTAR HP (High performance) utilisent une antenne bi fréquence. Pour ce dernier, un temps d'initialisation est nécessaire à l'obtention d'une précision optimale, variant de 10 mn en statique à 45 mn en déplacement. Ce signal peut être perdu à proximité d'un masque (bois, bâtiment...), ce qui nécessitera une nouvelle initialisation.

- de son côté, John Deere propose deux signaux (SF1 et SF2) dédiés à l'antenne bi fréquence StarFire.

- Le signal SF1 est gratuit.

- Le signal SF2 est sous abonnement. Pour atteindre une préci-



« Confort de travail et précision »

Thierry Franchet est agriculteur à Châteaudun (28) où il exploite blé tendre, colza, orge d'hiver et pois de printemps.

Depuis combien de temps utilisez-vous la technologie GPS ?

J'ai investi en 2004 pour tester la modulation intra-parcellaire des apports d'azote et valoriser les conseils Farmstar. J'ai pris un abonnement SF2 de John Deere, que nous avons couplé avec un épandeur à engrais Sulky. J'ai profité du matériel pour faire du guidage manuel, ce qui m'a séduit. Puis, quand j'ai remplacé le tracteur à l'automne 2008, j'ai opté pour un John Deere équipé de série en autoguidage.

Pour quelles interventions l'utilisez-vous ?

J'ai commencé par les semis en ligne, puis je l'ai utilisé sur toute la campagne : pulvérisation, épandage d'engrais et déchaumage. C'est le même tracteur qui réalise toutes ces interventions.

Quels avantages y trouvez-vous ?

L'autoguidage apporte à la fois précision et confort de travail. Pour les semis, c'est beaucoup plus reposant, on ne fixe plus en permanence les traceurs. On garde toujours le cap. On peut commencer à n'importe quel endroit de la parcelle, on tombe toujours juste. En cas de poussière, ou de travail de nuit, ce qui est fréquent pour les semis, l'autoguidage apporte une précision appréciable.

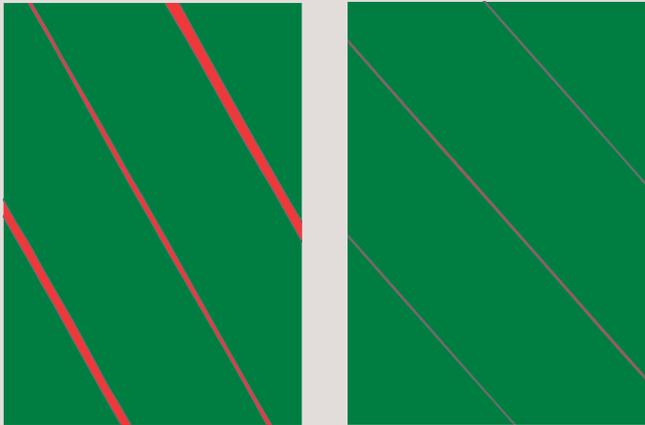
Pour le déchaumage, je peux travailler en biais par rapport au travail habituel, sans avoir besoin de repères. Puis, pour l'épandage des engrais de fond, je choisis encore un autre sens de travail. Quant au déchaumage chimique d'août, le travail est précis même sans repères dans la parcelle. Pour la pulvérisation et l'épandage d'engrais,

avant, je jalonnais au semis tous les 36 m (la largeur du pulvérisateur). Le doublage pouvait atteindre 50 à 70 cm. Aujourd'hui, il n'y a plus de recouvrement. La surface épandue mesurée par le pulvérisateur correspond plus précisément à la surface réelle de la parcelle. On y gagne en temps, mais aussi en intrants.

L'investissement est cher. Est-ce rentable ?

Comme j'ai acquis le matériel au fil des années, l'investissement était réalisable. Quant à la rentabilité, oui, elle existe ; la chiffrer n'est pas évident. Ce qui me satisfait, c'est surtout la grande précision, le confort et la qualité du travail. La rentabilité n'est pas ce qui m'a motivé le plus pour aller jusqu'à une automatisation complète du guidage. Le travail est précis, on apporte ce qu'il faut, là où il faut.

Figure 1 : Mesure des erreurs entre les passages en conduite traditionnelle (à gauche) et avec un autoguidage (à droite)



L'autoguidage laisse plus de disponibilité au chauffeur pour surveiller les outils et permet de travailler en condition difficile (poussière, nuit, brouillard...).

L'autoguidage réduit les recouvrements dans la parcelle (en rouge), de 13 % de la surface en travail du sol à 0,4 %.

sion suffisante avec le SF2, un temps d'initialisation équivalent à celui de OmniSTAR HP est nécessaire. Une perte temporaire du signal sur la bande L2 (lors du demi-tour du tracteur dans une parcelle bordée de bois) ne perturbe par le fonctionnement de l'autoguidage utilisant alors seulement la bande L1. Par contre, un stationnement prolongé de l'engin en conditions masquées se traduit par une nouvelle initialisation du signal.

Sans guidage, le jalonnage a une grande influence sur la précision des passages.

Chacune de ces corrections (dGPS ou RTK) est adaptée à une utilisation spécifique. Les corrections ayant une précision de 20 à 60 cm entre deux passages de tracteur (Egnos, VBS d'OmniSTAR et SF1 de John Deere) sont adaptées pour les systèmes d'aide au guidage. Ces systèmes (barre à diode et/ou écran) donnent une information au chauffeur, qui modifie sa trajectoire en fonction des informations données par le GPS. Ils sont particulièrement adaptés pour les interventions rapides en grande largeur : épandage ou pulvérisation. L'utilisation de corrections plus précises (HP d'OmniSTAR, SF2 de John Deere ou RTK) sur les systèmes d'assistance à la conduite manuelle ne sera pas valorisée à cause du temps de réaction du chauffeur, de la sensibilité des diodes... Ces qualités de corrections doivent donc être associées à

des systèmes de guidage automatique pour réaliser des interventions précises et lentes : semis par exemple. Le GPS gère seul la trajectoire du tracteur via le circuit hydraulique ou via un moteur électrique situé au niveau du volant. Le chauffeur ne reprend le volant que pour les demi-tours.

Sans GPS, jusqu'à 13 % d'erreur en travail du sol

Afin de calculer la rentabilité des autoguidages, les trajets des tracteurs ont été enregistrés chez des agriculteurs équipés d'autoguidages sous abonnement dGPS (HP OmniSTAR ou SF2 de John Deere) ou RTK. Parallèlement, chez des agriculteurs non équipés, les trajets des opérations culturales ont été enregistrés pour mesurer les erreurs réalisées entre les différents passages, toutes interventions confondues : semis, travail du sol, récolte, épandage et pulvérisation (figure 1). 3 700 ha ont été enregistrés.

Les erreurs réalisées en conduite traditionnelle sont systématiquement en recouvrement, quelle que soit l'intervention culturale. Il est en moyenne de 40 cm lors de l'épandage ou de la pulvérisation (largeurs variant de 12 à 42 m). Il atteint 10 cm lors des semis (blé,

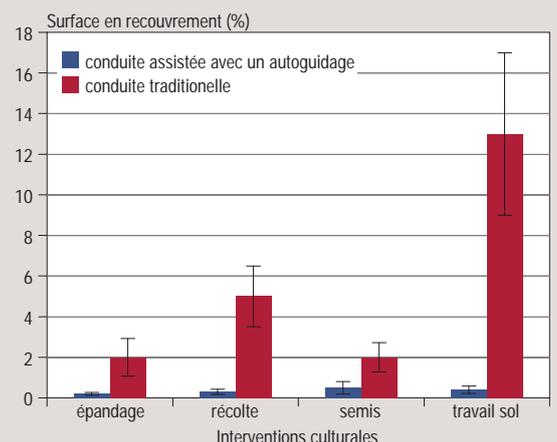


© C. Desbrières, ANVA, IS, Institut du végétal

colza et maïs), 60 cm lors des travaux du sol et 35 cm lors de la récolte (barre de coupe supérieure à 7 m). Si cette erreur ne représente que 2 % de la surface de la parcelle pour l'épandage ou le semis, elle atteint 13 % pour le travail du sol et 5 % pour la récolte (figure 2). Cette erreur moyenne est réalisée à chaque passage. Par exemple, pour une parcelle comprenant dix passages de pulvérisateur, le recouvrement cumulé sera de 4 mètres sur toute la longueur du passage. Pour la pulvérisation ou l'épandage, la variabilité est importante entre les parcelles : de 20 cm à plus de 80 cm. Elle ne s'explique pas par la largeur du matériel, mais surtout par le type de jalonnage : 45 cm en moyenne lorsque le chauffeur utilise les traces laissées lors du semis et 15 cm lorsqu'un jalonnage spécifique est réalisé (compas, décimètre ou au pied...). Avec un jalonnage spécifique, l'erreur de mesure est réalisée une seule fois. Avec les traces laissées par le semis, on cumule les erreurs : 7 fois pour un pulvérisateur de 28 m et un semoir de 4 m.

En conduite traditionnelle, l'erreur est systématiquement en recouvrement. Elle est la plus importante en travail du sol et lors de la récolte.

Figure 2 : Pourcentage de surface en recouvrement en conduite traditionnelle et en conduite assistée par un autoguidage



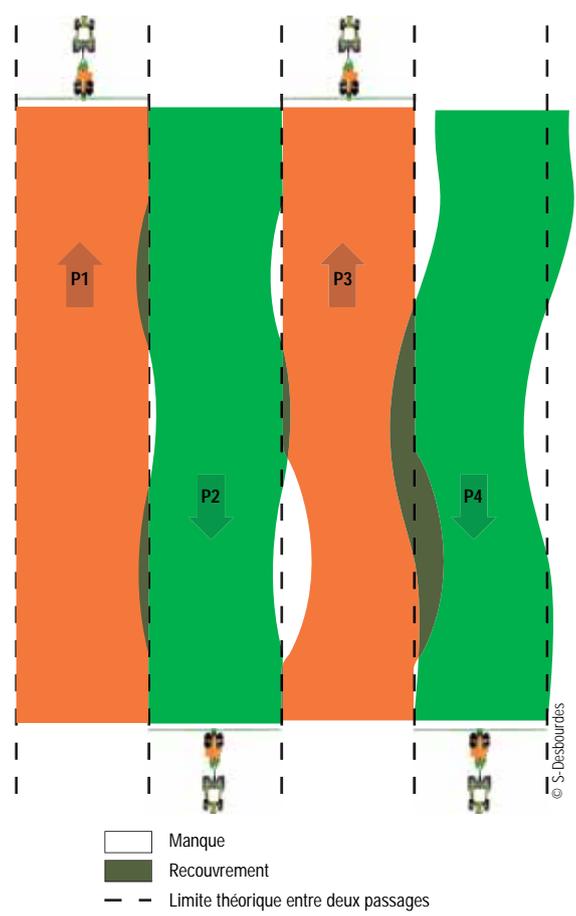
L'autoguidage réduit les erreurs

Avec un autoguidage sous abonnement dGPS ou en RTK, la distance entre les passages du tracteur est régulière. Le tracteur slalome autour de la trajectoire idéale rectiligne (figure 3). L'amplitude de ce slalom dépend du type de correction (RTK ou dGPS) et de l'asservissement (hydraulique ou commande sur le volant) : le slalom sera plus faible avec une correction RTK qu'avec le dGPS, même si la moyenne des erreurs est identique. Une erreur de 5 cm en manque sur un passage de tracteur peut se traduire par une erreur de 10 cm en manque sur le terrain si ce manque se cumule avec le passage suivant. Il en est de même pour les recouvrements.

En relatif, il y a peu de différence entre RTK et dGPS.

Lors d'un semis, 0,9 % de la surface de la parcelle est en erreur (0,45 % en manque et 0,45 % en recouvrement). Dans nos mesures, cela représente une erreur de $\pm 2,5$ cm. Pour l'épandage, 0,4 % de la surface est en erreur : ± 5 cm entre chaque passage. Lors de la récolte, 0,6 % de la surface est en erreur, soit ± 5 cm. En travail du sol, le recouvrement est de 0,4 % de la surface ($\pm 2,5$ cm.). Pour éviter les manques dans la parcelle, la pratique consiste à paramétrer le guidage avec une largeur d'outil inférieure à la réalité. En terme de précision, le signal RTK apporte une toute petite amélioration (de l'ordre de 1 cm en relatif) par rapport au dGPS (SF2 de John Deere ou HP d'OmniSTAR). Même si la différence de précision est faible, le RTK a l'avantage de ne pas exiger de temps de chauffe. La précision RTK est acquise dès la mise sous tension du système. Par contre, le type d'asservissement est important : le moteur électrique sur le volant valorise mal la précision du RTK contrairement à un asservissement sur l'hydraulique, même

Figure 3 : Schéma de cumul des erreurs dans une parcelle



Une erreur de 5 cm sur un passage de tracteur peut se traduire par un manque de 10 cm sur le terrain.



si les différences sont toutes relatives (de l'ordre du centimètre). Les différences de précision entre asservissement hydraulique et électrique seront faibles lorsque le tracteur travaille sur un sol bien appuyé. Elles seront plus importantes sur un sol labouré par exemple.

Entre 4 et 17 ans pour rentabiliser l'investissement

La rentabilité de l'autoguidage est calculée en prenant en compte la réduction de surface travaillée sur l'ensemble des interventions culturales (tableau 1) et son influence sur les postes « intrants », « charges de mécanisation » et « charges salariales ». Ce calcul est réalisé sur quatre exploitations caractéristiques de leur région (tableau 2). Pour chaque couple « correction/asservissement », la rentabilité a été calculée sur le matériel le moins coûteux du marché. L'asservissement électrique peut se déplacer d'un tracteur à l'autre (ou à une moissonneuse), les gains sont donc calculés sur l'ensemble des interventions culturales : semis, épandage ou pulvérisation, travail du sol et récolte. Pour être dans les mêmes conditions avec un asservissement hydraulique, nous avons pris en compte l'équipement de trois engins (trois kits hydrauliques et une console) : le tracteur utilisé pour le semis et les épandages, celui pour le travail du sol

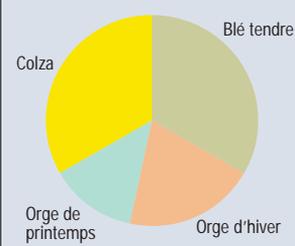
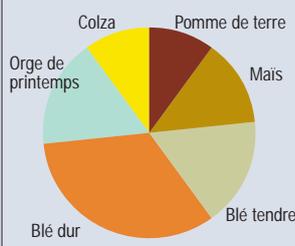
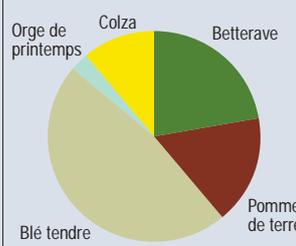
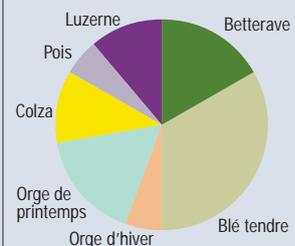
Tableau 1 : Réduction de la surface travaillée grâce au guidage (en %)

Travail du sol	13 %
Récolte	5 %
Épandage ou pulvérisation	2 %
Semis	2 %

→ Le travail du sol et la récolte sont les interventions culturales qui valorisent le mieux l'autoguidage.

Les traces laissées par un tracteur équipé d'un autoguidage sous abonnement sont parfaitement rectilignes.

Tableau 2 : Les quatre exploitations utilisées pour les calculs de rentabilité

	Barrois	Beauce irriguée	Picardie	Champagne crayeuse
SAU	300	150	180	180
Nombre d'UTH	2,1	1,5	2,5	1,7
Assolement				

→ Les cultures, plus que la surface, modifient la rentabilité de l'équipement.



Enregistrée sur un ordinateur, la trame NMEA (latitude et longitude) du GPS permet de localiser le tracteur dans la parcelle et de calculer la distance entre deux passages successifs.

et la moissonneuse. Pour la correction dGPS, l'abonnement est pris en compte (SF2 de John Deere ou HP d'OmniSTAR). Pour le RTK, la redevance à l'ARCEP ainsi que le coût de la balise est ajouté. Nous avons considéré 3 % de frais financiers et 3 % d'entretien.

Compte tenu des caractéristiques des exploitations, il faut entre 4 et 17 ans pour rentabiliser un autoguidage selon la correction et l'asservissement choisi (tableau 3). Cette durée dépend de la SAU et de l'assolement. Le gain sera de 3 à 4 €/ha sur une betterave, mais de 1 €/ha seulement sur un blé ou un colza, ce qui explique que l'exploitation de Picardie rentabilise plus rapidement l'investissement qu'une exploitation du Barrois, malgré sa surface inférieure. L'autoguidage permet d'augmenter la marge directe des exploitations : 2,6 % dans le Barrois (gain de 10 €/ha sur une marge directe de 389 €/ha), 1,6 % en Beauce (gain de 16 €/ha sur une marge directe de 1 014 €/ha), 1,8 % en Champagne (gain de 13 €/ha sur une marge directe de 705 €/ha) et 2,5 % en Picardie (gain de 23 €/ha sur une marge directe de 924 €/ha). L'asservissement hydraulique coûte en moyenne une année supplémentaire par rapport à un moteur électrique. Quant au RTK, il coûte 4 années de plus qu'une correction dGPS sous abonnement. Plus l'autoguidage est utilisé sur des cultures à forte valeur ajoutée et plus le nombre d'années pour le rentabiliser est réduit. ■

Avec une correction dGPS, il faut au minimum 4 ans pour rentabiliser l'asservissement électrique et 5 ans pour l'hydraulique. Ces chiffres passent à 7 et 9 ans avec une correction RTK (balise propriétaire).

Tableau 3 : Nombre d'années nécessaires pour rentabiliser un autoguidage

		Exploitations			
Correction	Asservissement	Barrois	Beauce irriguée	Picardie	Champagne crayeuse
dGPS	électrique	6	9	4	9
	hydraulique	7	10	5	10
RTK	électrique	10	13	7	13
	hydraulique	12	16	9	17

→ L'exploitation de Picardie est celle qui rentabilise le plus vite l'autoguidage.

Caroline Desbourdes
c.desbourdes@arvalisinstitutduvegetal.fr
ARVALIS-Institut du végétal