

Les GPS embarqués sur machines agricoles

Nicolas Barthe¹, Ludovic Munoz², André Gavaland³

Résumé. Cet article détaille les principales applications des GPS (global positioning system) embarqués sur véhicule agricole, guidage ou autoguidage, coupures de tronçons et cartographie intraparcellaire, à travers les gammes proposées par deux fournisseurs, InnovGPS et Géo-Pro Agriculture. L'assistance à la conduite par barre de guidage est progressivement remplacée par des systèmes plus performants qui permettent de valoriser des positionnements GPS précis de type RTK (real time kinematic) : l'autoguidage commande la direction du véhicule, soit par un système électrique installé au niveau du volant, soit directement sur l'hydraulique. La précision des interventions peut être encore améliorée en ajoutant au guidage du tracteur un second guidage par GPS sur l'outil entraîné (semoir ou bineuse). Les GPS peuvent également être couplés à des appareils d'épandage ou de pulvérisation pour commander des coupures de section et réduire les zones de recouvrement. Des systèmes de couplage entre GPS et capteur embarqués permettent de réaliser en végétation ou à la récolte, des cartographies intraparcellaires qui constituent le pilier de l'agriculture de précision.

Mots clés : autoguidage, GPS, RTK, cartographie du rendement, coupures de tronçons

Introduction

Tirer le meilleur parti des heures de travail ainsi qu'augmenter la précision de conduite sont des besoins des agriculteurs mais encore plus des Domaines expérimentaux INRA. A titre d'exemple, l'Unité expérimentale Grandes Cultures de l'INRA de Toulouse s'équipe depuis 5 ans de divers matériels dans cet objectif.

L'utilisation de récepteur GPS (global positioning system) dans l'agriculture ou l'expérimentation agronomique permet de se positionner dans la parcelle pour plusieurs utilisations : guidage du tracteur et/ou de l'outil (semoir, bineuse), coupures de tronçons ou modulation de doses avec des pulvérisateurs ou épandeurs d'engrais, déclenchement d'appareils tels que les semoirs à micro-parcelles expérimentales (Bataillon et Gavaland, 2014) ou encore enregistrement de données géolocalisées pour l'établissement de cartes d'hétérogénéité des parcelles (carte de végétation ou carte de rendement).

Cet article détaille les GPS embarqués de deux fournisseurs, InnovGPS et Géo-Pro Agriculture. Cette présentation ne couvre pas l'exhaustivité des systèmes disponibles sur le marché mais en résume l'essentiel.

InnovGPS vend des solutions innovantes des constructeurs TEEJET, AGLEADER, REICHHARDT, RDS et les adapte aux demandes en France.

Géo-Pro Agriculture diffuse la gamme de solutions Trimble : consoles, autoguidages, équipements de coupure de tronçons et de modulation Field-IQ.

Matériels et utilisation

Guidage de véhicule agricole

Les barres de guidage sont composées d'un écran (deux modèles sont présentés en **Figure 1**), la plupart du temps tactile, couplé à des diodes ainsi que d'un récepteur GPS compatible EGNOS (Lahaye et Ladet, 2014). Elles permettent de se guider dans un champ à partir d'une ligne de référence. Le principe de base est de paramétrer sa largeur de travail, son type de ligne de référence, ligne droite ou courbe (**Figure 2**), et de lui indiquer lors d'un déplacement avec le tracteur le début, point A, et la fin de cette ligne de référence, point B. Ceci fait, l'appareil nous indique la position des passages parallèles sur la parcelle.

1 EURL 2GA, 13 Boulevard Clémenceau, F-81100 Castres, France

2 Géo-Pro Agriculture Fontenay, F-36130 Déols, France

3 INRA, Unité expérimentale Grandes Cultures Auzeville UE0802, F-31326Castanet- Tolosan, France ; andre.gavaland@toulouse.inra.fr



Centerline 220 Teejet

Trimble EZ-Guide 250

Figure 1. Présentation de deux exemples de consoles de guidage.



Figure 2. Les différents types de lignes de références programmables sur une console de guidage (source : Trimble).

Avec ce système le chauffeur reste pilote de son engin. Il corrige sa trajectoire en suivant autant que possible les diodes et les lignes représentées sur la console de guidage (Figure 1). L'écart à la trajectoire optimale est affiché sur l'écran et matérialisé par les diodes qui s'allument du côté où l'engin s'écarte. La console affiche également la zone travaillée et fait apparaître les zones non travaillées lorsque le chauffeur a dévié par rapport à sa ligne de guidage.

Autoguidage de véhicule agricole

L'autoguidage de véhicule agricole permet de prendre le contrôle de la direction du véhicule : le chauffeur n'a plus à tenir le volant de l'engin autoguidé. Son utilisation est indispensable lorsque l'on travaille avec une correction RTK (real time kinematic).

Il existe deux types d'autoguidages : le système électrique pris sur le volant et le système hydraulique monté sur le circuit de direction du véhicule.

Le système est composé d'un écran (voir deux exemples **Figure 3**), d'un récepteur GPS, la plupart du temps RTK pour plus de précision et d'une correction de dévers (appelée aussi contrôleur).

Le contrôleur utilise les informations venant du récepteur GPS et des capteurs internes. Il envoie des commandes précises au système de guidage et corrige en continu les erreurs de position dues au roulis, au tangage et au lacet.

Dans la gamme InnovGPS, il existe deux niveaux de qualité :

- système simple antenne pour une utilisation standard couplé à un capteur de dévers et un gyroscope pour anticiper les mouvements du véhicule : GEOSTEER (AGLEADER) ou FIELDPILOT (TEEJET), cf. **Figure 3a** ;
- système double antenne permettant une précision supérieure pour le dévers et capable de travailler à des vitesses très faibles tout en garantissant un niveau de précision centimétrique jusqu'à moins de 100 m/h. Ces équipements gèrent le dévers et les mouvements du véhicule grâce à deux récepteurs GPS RTK : PARADYME (AGLEADER), cf. **Figure 3b**.



3a) Matrix 570 GSI (écran de 14,5 cm), simple récepteur et caméra (Teejet)

3b) Intégra (écran tactile de 30,7cm) et double récepteur ParaDyme (AgLeader)

Figure 3. Exemples d'équipements Teejet et AgLeader commercialisés par InnovGPS.

Trimble propose également (**Tableau 1**) une gamme de plusieurs consoles qui se distinguent entre elles par la taille de leur écran, la capacité de réception des différents signaux GPS, la possibilité, ou non, de gérer simultanément l'autoguidage électrique ou hydraulique du tracteur et le guidage par GPS de l'outil (semoir, bineuse, illustration **Figure 4b**), et de connecter des caméras, par exemple pour surveiller sur la console le fonctionnement des outils entraînés.

Le modèle Trimble FMX permet en plus de gérer un capteur de rendement sur machine de récolte ou encore un capteur GreenSeeker d'indice de végétation par différence normalisé (NDVI : normalized difference vegetation index ; (Tucker, 1979)) : à partir des données du GreenSeeker, le FmX calcule la fumure à appliquer à la culture et commande en temps réel l'épandeur d'engrais si celui-ci est prévu pour faire de la modulation de dose.

Sur l'ensemble de la gamme de consoles Trimble, il est possible de récupérer sur clé USB le fichier informatique de guidage et de le visualiser sur ordinateur avec le logiciel fourni.



Tableau 1. Comparatif des consoles Trimble

Consoles	EZ Guide 250	CFX 750	TMX-2050	FmX
Taille de l'écran couleur	10,9 cm	20,3 cm	30,7 cm	30,7 cm
Ecran tactile		✓	✓	✓
Entrée caméra vidéo		2	Port HDMI	4
Récepteur GPS intégré	1	1	1	2
Précisions				
EGNOS (+/- 15-20 cm)	✓	✓	✓	✓
RangePoint RTX (+/- 10 cm)				
OmniSTAR XP/HP/G2 (5-10 cm)		✓	✓	✓
CenterPoint RTX (+/- 4 cm avec répétabilité)		✓	✓	✓
CenterPoint RTK (+/- 2,5 cm avec répétabilité)		✓	✓	✓
Comptabilités / évolutivité :				
GLONASS		✓	✓	✓
Autoguidage hydraulique du tracteur		✓	✓	✓
Guidage d'outil				✓
Autoguidage électrique du tracteur	✓	✓	✓	✓
Contrôle du débit et de l'application			✓	✓
VRA embarquée avec capteur GreenSeeker				✓
Gestion de l'eau (*)				✓
Moniteur de rendement				✓
Logiciel de bureau	✓	✓	✓	✓

* La gestion de l'eau regroupe le nivellement et le drainage par GPS (gestion de l'altimétrie d'une lame niveleuse, d'un scraper, d'un sous-soleur...). Ces systèmes tournent principalement en Camargue pour la culture du riz.

Système électrique

L'autoguidage du véhicule est facilement adaptable et déplaçable sur plusieurs machines. Une molette (TEEJET ou REICHHARDT) ou une pince avec un engrenage sur le volant fait tourner le volant grâce à un moteur électrique pour agir sur la direction en fonction des indications du calculateur.

Trimble propose le système d'autoguidage électrique EZ-Pilot™ intégré à la colonne de direction du tracteur. Ce système est équipé d'une correction de dévers qui ajuste immédiatement la direction du véhicule afin de compenser les erreurs engendrées par les pentes et les coteaux (Figure 4a). La correction de dévers T3™ utilise des capteurs pour calculer la position réelle du véhicule afin de minimiser les recouvrements et les manques et ainsi accroître la productivité.

La plage d'utilisation du Trimble EZ-Pilot™ s'étend de 1,6 km/h à 28 km/h. A noter qu'il ne fonctionne pas en marche arrière. Le système EZ-Pilot™ peut être équipé d'un volant Trimble qui remplace le volant d'origine du véhicule. C'est le « volant universel » que l'on trouve dans les gammes de certains fournisseurs d'autoguidage.

Système hydraulique

L'autoguidage agit directement sur le circuit hydraulique de direction du véhicule, que ce dernier soit prédisposé d'usine ou non. Le système d'autoguidage hydraulique est plus réactif et plus précis dans ses commandes. Contrairement à ce qu'annoncent certains revendeurs de machines agricoles, l'autoguidage hydraulique peut être installé sur tous les véhicules agricoles du marché, mêmes anciens, à condition bien évidemment qu'ils aient une direction commandée par hydraulique.

Trimble propose le système Autopilot™ qui est composé de trois éléments principaux :

- *un contrôleur de navigation : NavController II* : il collecte les informations provenant du récepteur GPS et possède six capteurs internes ce qui lui permet de corriger en continu les erreurs de position dues au roulis, au tangage et au lacet (correction de dévers T3™ en trois dimensions) ;
- *un capteur angulaire Autosense* : Il mesure de façon très précise les informations d'angle de roue sur tous les terrains. Ces informations sont obtenues sans utiliser de pièces mobiles ;
- *une électrovanne proportionnelle H3* : ce distributeur hydraulique reçoit les consignes électriques transmises par le NavController II et les convertit en commandes hydrauliques précises permettant de maintenir le véhicule sur sa trajectoire.

La plage d'utilisation du système Autopilot™ varie de 70 m/h à 50 km/h. Il fonctionne également en marche arrière.



4a Chantier de semis en coteaux avec autoguidage



4b Bineuse autoguidée par GPS

Figure 4. Deux exemples d'application du guidage par GPS (photos Géo-Pro Agriculture).

Gestion automatique de tronçons

La gestion automatique des outils de pulvérisation et d'épandage est une option également disponible dans la gamme de produits distribués par InnovGPS, aussi bien AGLADER que TEEJET ou REICHHARDT, ainsi que dans la gamme Trimble (**Tableau 1**).

Ce système permet d'optimiser les zones d'ouverture ou de fermeture des sections du pulvérisateur (**Figure 5**). Il permet de réduire les zones traitées deux fois par recoupement, et donc les risques de phytotoxicité, et engendre des économies de solution épandue, de l'ordre de 5 %, économie qui varie en fonction du parcellaire. Cette option est actuellement montée sur la moitié des pulvérisateurs vendus.

Les épandeurs d'engrais centrifuges de nouvelle génération sont capables de gérer des sections quasiment comme sur une rampe de pulvérisateur grâce à un ensemble de vérins qui font varier les points de chute de l'engrais sur les disques épandeurs et/ou qui modifient la quantité d'engrais tombant sur le disque. Le mode d'épandage des sections peut se régler en nappe et non plus en ligne droite comme sur les pulvérisateurs. Ce système permet de réduire les zones recevant une double dose d'azote et par conséquent de limiter les risques de verse et de fuites éventuelles de nitrate dans les eaux de drainage.





Figure 5. Illustration du fonctionnement des coupures de tronçon.

Cartographie de rendement

Les systèmes de cartographie de rendement permettent de créer et d'afficher des cartes de rendement et d'humidité durant la récolte mais également d'observer instantanément ou *a posteriori* la manière dont les conditions du terrain affectent le rendement de la culture. Le principe de fonctionnement (Figure 6) est l'enregistrement en continu et à intervalles réguliers pendant la récolte de données instantanées de rendement et d'humidité du grain récolté obtenues à partir de capteurs. Le couplage de ces capteurs à un récepteur GPS positionné sur la cabine de la machine permet de géo-localiser les données. L'enregistrement se fait sur une console numérique et le transfert des données est possible via une carte mémoire.

Le montage de ces équipements est envisageable sur des moissonneuses-batteuses d'ancienne génération qui ne disposent initialement d'aucun capteur ainsi que sur du matériel récent.



Figure 6. Schéma de montage d'un capteur de rendement et d'humidité sur une moissonneuse-batteuse.

Conclusion

Les systèmes de guidage, *a fortiori* d'autoguidage, permettent d'améliorer la précision des interventions culturales et de travailler plus longtemps, quelles que soient les conditions de terrain ou de visibilité. Outre le confort de travail qu'ils procurent au chauffeur, ils améliorent l'efficacité du travail réalisé et les rendements de chantier : on peut travailler plus vite, mieux et plus longtemps. Ils contribuent de ce fait à améliorer les performances économiques des entreprises utilisatrices.

Les systèmes de coupe de section couplés à des GPS embarqués permettent de réduire les zones de recouvrement recevant double dose lors des opérations de pulvérisation ou d'épandage. Outre l'économie d'intrants qu'ils génèrent, ils contribuent à la réduction des pollutions diffuses et de ce fait au développement de pratiques agricoles plus respectueuses de l'environnement : suivant les régions, l'acquisition des outils de guidage par GPS peut être subventionnée dans le cadre d'un plan végétal environnement (PVE).

Certaines solutions GPS disponibles sur le marché permettent le couplage entre un récepteur GPS embarqué et un ou plusieurs appareils de mesure (indice de végétation, rendement). On en tire une cartographie des hétérogénéités intraparcellaires qui peuvent être utilisées pour établir des cartes de préconisation et moduler les intrants.

Références bibliographiques

Bataillon P, Gavaland A (2014) Gestion des données d'un semoir d'expérimentation à déclenchement par GPS. *Le Cahier des Techniques de l'INRA*, N° spécial GéoExpé, pp. 94-99.

FR CUMA Ouest, France (2008) Bien choisir votre système de guidage par satellite, 6 p.

FR CUMA Midi-Pyrénées, France (2010) Machines agricoles, quelles pistes pour réduire l'utilisation des produits phytosanitaires ? 8 p.

Lahaye R, Ladet S (2014) Les réseaux de correction différentielle. *Le Cahier des Techniques de l'INRA*, N° spécial GéoExpé, pp. 36-43.

Pool machinisme Sud-Ouest (2010) GPS et coupe de tronçons, fiche technique Ecophyto 2018 n° 8.

Tucker CJ (1979) Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens Environ* 1979: 8, 127-150.

