

# Plan ECOPHYTO II

*Appel à projets national – Programme 2016*

## Rapport final

**Projet Robotique et numérique, des innovations pour la réduction de l'usage des produits phytopharmaceutiques**

**EPLEFPA de Vesoul**

- Numéro SIREPA : 2904
- Date de la commission des interventions de l'Onema : 9/09/2016
- Numéro de l'axe : 1
- Numéro de l'action : 1.2
- Nom de la structure bénéficiaire :  
EPLEFPA Vesoul
- Libellé exact du projet : Robotique et numérique, des innovations pour la réduction de l'usage des produits phytopharmaceutiques
- Date de signature de la convention par le directeur général de l'Onema :  
15/11/2016

L'EPLEFPA de Vesoul fait partie des lauréats de l'appel à projet national 2016 du plan Ecophyto II (*action 1.2 : Renforcer la place des agroéquipements de nouvelle génération et des outils d'aide à la décision*). Ce rapport final a pour but de présenter les actions réalisées au cours des derniers mois du projet et de faire un bilan de celles-ci.

Pour rappel, les principaux objectifs du projet comprenaient :

- La conception d'un drone et d'un robot de pulvérisation ;
- L'élaboration d'algorithmes de détection depuis une vue aérienne et une caméra embarquée sur le robot ;
- La publication des résultats expérimentaux ;
- La création de supports d'informations sur la pulvérisation de précision pour les agriculteurs, les apprenants de l'enseignement agricole et le grand public.
- Une approche économique de l'intérêt d'utiliser un robot équipé de capteurs optiques plutôt qu'un système de pulvérisation avec tracteur pour désherber.

## 1. Les actions

### 1.1. Actions réalisées ou en cours

#### 1.1.1. Conception d'un robot de pulvérisation

Les travaux ont continué à être menés sur le robot pour développer une plateforme mobile autonome de pulvérisation localisée (**figure 1**). La plateforme mobile du projet a été construite à partir d'un véhicule commercialisé par la société Mobilité Service (Arpenteur, **figure 2**).



**Figure 1** : plateformes arpenteurs modifiées, utilisées dans le cadre du projet

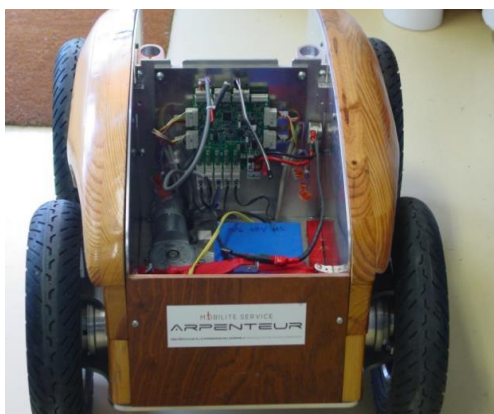


Figure 2 : plateforme de base livrée par la société Mobilité Service

Le châssis en aluminium/bois est équipé de :

- Quatre moteurs électriques et un servomoteur de direction ;
- Une batterie lithium-ion de 48 V (autonomie de 4h) ;
- Quatre roues avec pneus agraires ;
- Une carte électronique qui gère la variation de vitesse des quatre roues ainsi que leurs angles d'inclinaison.

Le travail a consisté à ajouter une 2<sup>ème</sup> carte électronique (Dropix) et la partie pulvérisation.

- ▮ La 2<sup>ème</sup> carte électronique (qui comprend un GPS, un récepteur PC, un récepteur télécommande, un accéléromètre et un gyroscope) commande le robot à distance et le géolocalise dans la parcelle. On peut ainsi piloter le robot avec la télécommande ou programmer son parcours à l'aide d'un logiciel libre (APM Planner) sur le PC équipé de fonds de carte. Le récepteur PC permet de réceptionner toutes les données du robot en temps réel (vitesse, altitude, coordonnées GPS, etc) et de visualiser ses déplacements.

La difficulté a été de coupler (faire communiquer) les 2 cartes électroniques (celle de l'arpenteur et la carte Dropix).

- ▮ La partie pulvérisation est équipée de 2 capteurs Weedseeker développés par la société Trimble (figure 3)



Source : [www.geoagri.com](http://www.geoagri.com)

Figure 3 : capteur Weedseeker équipé d'une buse

Des leds éclairent le sol, le capteur mesure ainsi la lumière réfléchi. Le système électronique intégré active la cartouche lorsqu'une adventice est détectée puis le produit est pulvérisé à travers la buse Weedseeker.

Un contrôleur est muni d'un interrupteur spécial pour étalonner la couleur de base du sol. Alors que le robot se déplace sur le champ, chaque unité WeedSeeker compare le signal réfléchi à la valeur de base. Une réflexion plus élevée de chlorophylle émise par une adventice correspond à un signal de pulvérisation pour la buse. Un circuit de pulvérisation (*pompe, générateur, réservoir et tuyaux*) a été installé sur le robot (**figure 4**) pour alimenter les deux capteurs Weedseeker.

Le WeedSeeker nous aide ainsi à réduire la quantité d'herbicide utilisée, les coûts d'intrants et l'impact sur l'environnement.



**Figure 4** : circuit de pulvérisation du robot

### **1.1.2. L'élaboration d'algorithmes de détection depuis une vue aérienne**

L'objectif de la plateforme développée est de pouvoir transporter et activer un outil de pulvérisation dans les parties d'une parcelle où il y en a besoin (**figure 5**). La mission type se déroulera donc de la manière suivante :

1. Détection des zones de la parcelle où il y a présence d'adventices ;
2. Construction d'une trajectoire que l'arpenteur devra suivre pour aller traiter les adventices détectées ;
3. Déplacement du robot (*en autonomie le long de la trajectoire fournie*) pour permettre aux WeedSeeker de détecter et pulvériser aux endroits où il est nécessaire d'apporter un produit herbicide.

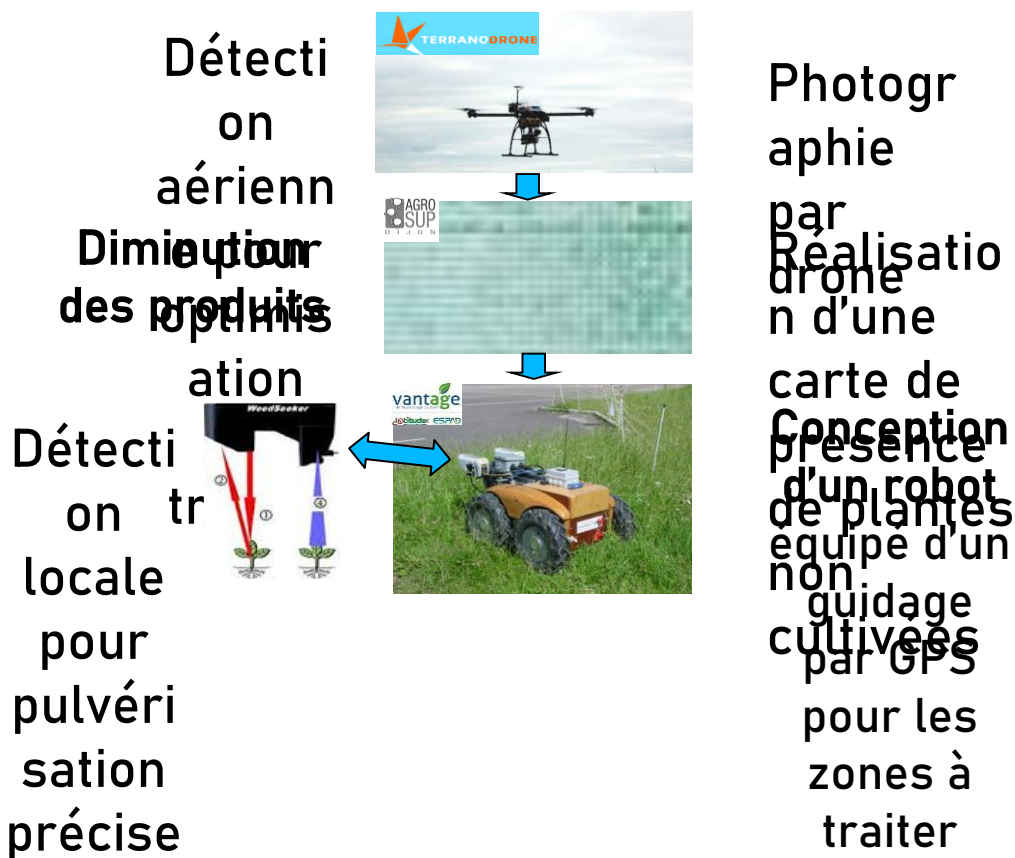


Figure 5 : schéma illustrant la gestion d'une mission de pulvérisation

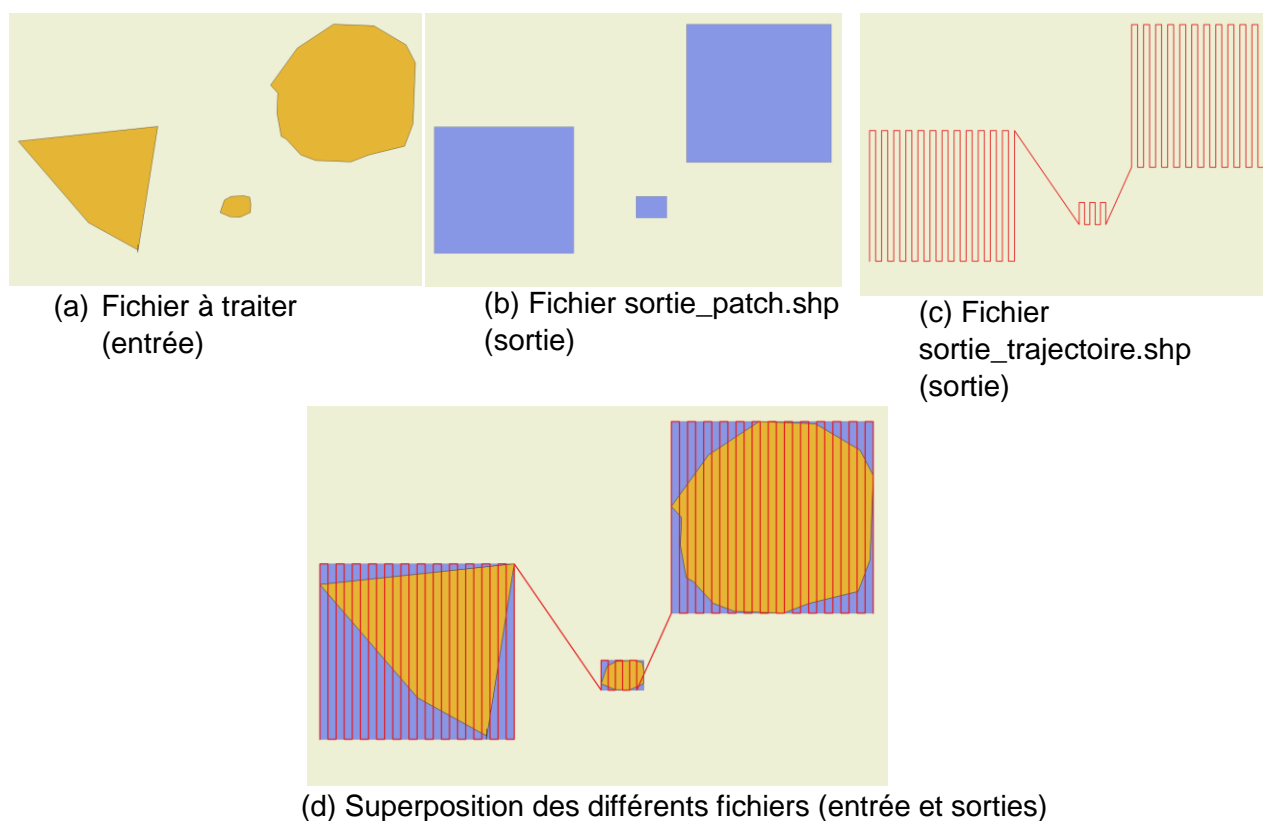
Dans un premier temps, nous avons créé des zones infestées (zones que l'on aurait pu créer à partir de clichés pris par un drone) (figure 6)



Figure 6 : création de zones infestées à partir d'une carte IGN

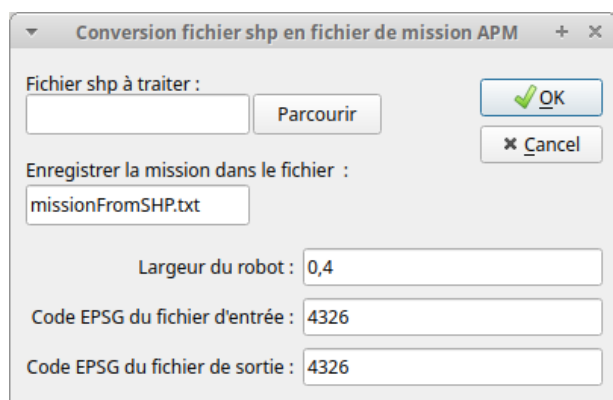


Afin de construire un plan de mission (*trajectoire que le robot doit suivre*) importable sous le logiciel APM Planner, utilisable par le robot, un programme a été développé. En sortie, l'exécutable crée, en plus du fichier de mission utilisable avec APM Planner (*nom par défaut : missionFromSHP.txt*), deux fichiers : sortie\_patch.shp et sortie\_trajectoire.shp. Ces fichiers vont contenir les patches utilisés pour le calcul de la trajectoire et la trajectoire (**figure 6**).



**Figure 6** : Exemple de fichiers d'entrée/sortie réalisé par le programme développé

Une interface graphique a été créée comportant 5 champs et permettant à l'utilisateur de paramétrer la trajectoire construite (**figure 7**).



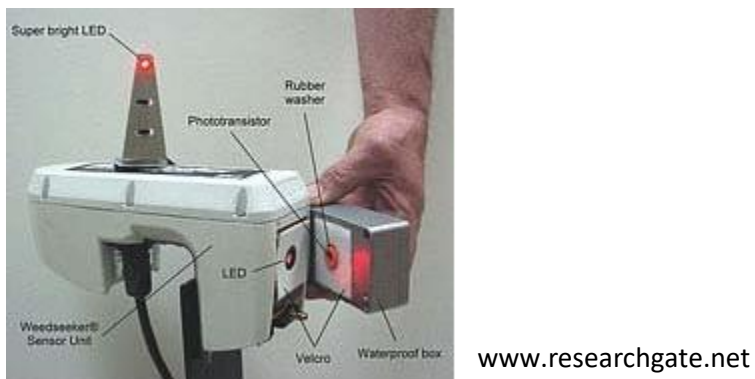
**Figure 7** : interface du programme développé pour la création d'une mission

L'utilisateur doit:

- Renseigner le fichier *shp* à traiter (*fichier contenant les zones de présence d'adventice*) ; Ce fichier peut être créé manuellement en sélectionnant les zones de présence ou à l'aide d'un logiciel de traitement d'image.
- Enregistrer la mission dans le fichier (*défaut : missionFromSHP.txt*). Le nom du fichier, créé par l'exécutable, comportz la trajectoire (*ensemble de points de passage*), utilisable par le robot, via le logiciel du PC (*APM Planner*).
- Renseigner la largeur du robot (*défaut : 0,4*) en mètre. Cette valeur permet de calculer le nombre d'aller-retour que le robot doit faire dans une zone de présence d'adventices.
- Renseigner le code EPSG du fichier d'entrée (*défaut : 4326*), code de coordonnées géoréférencées de projection, au format EPSG (*European Petroleum Survey Group*), utilisé lors de la création du fichier à traiter.
- Renseigner le code EPSG du fichier de sortie (*défaut : 4326*), code de coordonnées géoréférencées de projection, au format EPSG (*European Petroleum Survey Group*), utilisé par l'exécutable pour la création des fichiers de sorties (*le fichier de mission ainsi que sortie\_patch.shp et sortie\_trajectoire.shp*).

### 1.1.3. Évaluation de la pulvérisation des systèmes WeedSeeker

Une fois la trajectoire chargée dans le robot, celui-ci est capable de se déplacer en autonomie dans la parcelle. Afin d'évaluer le système de pulvérisation, et ainsi vérifier que le système WeedSeeker s'active aux endroits où il y a présence d'adventices, un dispositif a été mis en place (**figure 8**).



**Figure 8** : dispositif d'évaluation du système de pulvérisation

Pour chaque plante détectée, le WeedSeeker émet un signal électrique qui est récupéré par une carte d'acquisition, puis géolocalisé grâce à un signal GPS. Ces données sont acquises par un microcontrôleur et stockées sur une carte mémoire SD (**figure 9**).

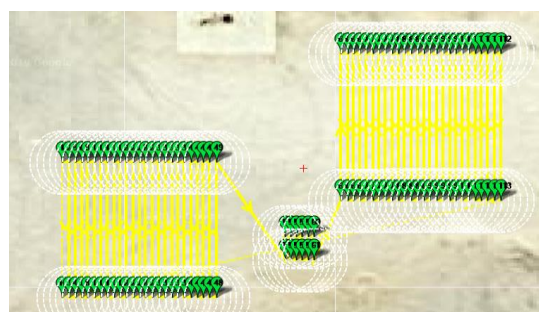


**Figure 9** : exemple d'un essai du robot où les points rouges représentent les endroits où le système de pulvérisation s'est déclenché

Le dispositif a ensuite été testé sur le terrain. Nous avons transféré le trajet sur la carte du robot.

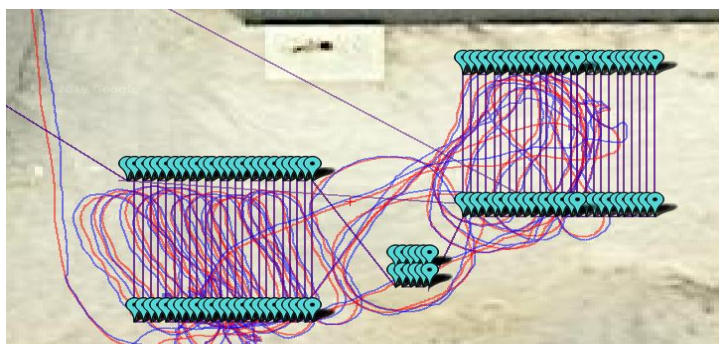


Zones infestées



Trajectoire du robot en jaune par rapport aux zones infestées (traitement par le programme développé)

Une fois le robot mis en mode autonome à l'aide de la télécommande, il exécute la mission. Comme les drones, sa carte enregistre toutes les trajectoires (*fichier log de trajet*) (**figure 10**). Cela permet de réaliser une comparaison entre la trajectoire théorique et réelle du robot.



**Figure 10** : trajectoires du robot matérialisées par les traits rouges et bleus

On peut remarquer qu'il y a un écart assez important, dû à une imprécision du GPS et des paramètres contenues dans la carte électronique du robot. Ce point reste à finaliser.



Les fichiers log peuvent être traités par un logiciel SIG (système d'information géographique) comme QGIS (logiciel libre) (figure 11).



Figure 11 : les points en gris représentent les positions réelles du robot

Par la suite, pourront être corrélées les positions avec le déclenchement du système de pulvérisation. Cette visualisation permettra de tester l'efficacité de la mission et d'en tirer des données quantitatives (quantité de produits, bilan énergétique, etc.).

#### 1.1.4. Approche économique

A l'état actuel, le robot est capable de traiter des zones prédéfinies par l'exploitant sur la parcelle. Les zones prédéfinies concernent les zones où il y a présence d'adventices, la surface de ces zones peut varier d'une année sur l'autre au sein d'une même parcelle. Elles vont aussi être étroitement liées aux paramètres que peuvent être le précédent cultural, les conditions climatiques de l'année, etc.

Lors d'un désherbage avec un pulvérisateur classique, toute la surface de la parcelle doit être travaillée. Avec le robot, seules les zones à traiter sont travaillées, le robot va de zone en zone à travers la parcelle. Une économie de produit à l'hectare phytopharmaceutique est donc réalisée.

Tableau coûts de produit par hectare et IFT, pour une parcelle avec 20 % de la surface infestée d'adventices réparties sur toute la parcelle, en utilisant une dose homologuée à 3.5 l.ha<sup>-1</sup> à 4€ /L de produit phytopharmaceutique.

Matériels utilisés	Coût du produit à l'hectare	IFT
Tracteur et pulvérisateur en plein	14 €	1
Tracteur et pulvérisateur en localisé	7 € (hypothèse que la moitié de la surface est traitée – traitement par zone)	0,5
Robot	< 2,8 € (traitement individuel des adventices sur les 20% de surface infestée)	<0,2

IFT = (dose appliquée du produit x surface traitée) / (dose homologuée x surface de la parcelle)

L'IFT s'en trouve ainsi fortement diminué.

➤ **Economie d'énergie:**

L'économie d'énergie principale concerne l'énergie nécessaire pour faire fonctionner le robot. Le robot nécessite une puissance de 0.672 Kw par heure, alors qu'une puissance de 40 Kw par heure sera nécessaire pour un ensemble tracteur et pulvérisateur.

➤ **Charges de mécanisations prévisionnelles :**

Les charges de mécanisations prévisionnelles seront donc basées sur des surfaces uniquement traitées. Les données et les résultats suivants prennent en compte les charges fixes et les charges variables calculées avec la méthode du BCMA.

Données pour le robot :

Eléments principaux pris en compte pour déterminer les charges fixes :

Prix d'achat du robot : 25 000 €

Durée d'amortissement : 7 ans

Charges fixes seront de 3 662.71 € par an.

Eléments principaux pris en compte pour déterminer les charges variables.

- moteur électrique de 48 Volts et 14 A / h
- coût du Kw/h : 0.25 €
- utilisation des pneumatiques : 2 000 heures

Les charges variables seront de 2.7 € de l'heure.

Le robot dispose d'une vitesse d'avancement moyenne de 5 kms par heure pour une largeur de traitement de 0.75 mètres (dans la configuration actuelle).

Les charges variables à l'hectare, dans cette configuration, seront de 7.2 € par hectare.

Données pour le tracteur et pulvérisateur :

Tracteur de 86 à 95 ch pour un prix d'achat de 50 000 € et pulvérisateur traîné de 2500 litres avec une rampe de 24 mètres DPAE pour un prix de 48 000 €.

*Tableau comparatif des charges de mécanisations à l'hectare pour une utilisation du robot sur une surface de 100 hectares de traitement et d'un tracteur avec pulvérisateur sur une équivalence de 500 hectares.*

<b>Matériels utilisés</b>	<b>Charges fixes en € par hectare</b>	<b>Charges variables en € par hectare</b>	<b>Main d'œuvre en € par hectare</b>	<b>Total des charges à l'hectare</b>
tracteur et pulvérisateur en plein	0,87 + 7.20	1.8 + 1.30	2.5	<b>13,67 €</b>
Robot	36.62 <sup>1</sup>	7.2		<b>43,8 €</b>

<sup>1</sup> pour une surface de 100 hectares de traitement, sans ramener en équivalence de la surface réelle couverte, pour une infestation de 20 % en adventices, cela représente une équivalence de 500 hectares.

## BILAN

	ROBOT	Tracteur avec pulvérisateur en traitement en plein.
<b>Economie de produit</b>	positif	
<b>IFT</b>	positif	
<b>Charges de mécanisation à l'hectare</b>	Le débit de chantier du robot à l'état actuel ne permet pas de faire baisser les charges de mécanisation à l'hectare travaillé	positif du fait de débit chantier important
<b>Charges de mécanisation à la surface équivalente</b>	positif	

### 1.2. Actions non prévues réalisées

➤ L'EPLEFPA de Vesoul a construit et mené une action de formation continue à destination des enseignants et formateurs du Ministère chargé de l'agriculture dans le cadre du plan national de formation. Intitulée « *Découverte et utilisation des outils de l'agriculture connectée et numérique* », elle a eu lieu en mai 2018 sur le site de Port-sur-Saône. Le public visé comprenait les enseignants en agronomie et en sciences des techniques des agroéquipements, les directeur d'exploitation et les salariés d'exploitation agricole d'EPLEFPA. 15 personnes étaient inscrites, venant de plusieurs régions de France. Elles ont apprécié le contenu et la qualité de la formation avec des intervenants tels qu'ARVALIS, IRSTEA et la société Terranodrone. Le travail réalisé sur le robot de désherbage dans le cadre du plan Ecophyto II a été salué.

A la demande du Ministère et des réseaux auxquels nous appartenons, une nouvelle session portant sur les robots et les drones sera proposée en avril 2020.

➤ Valorisations pédagogiques :

Nous avons créé un MIL (module d'initiative locale) de 80h dans le cursus BTSA Génie des équipements agricoles et un MAP (module d'adaptation régionale) de 40 h sur l'agriculture connectée dans le cursus Bac Pro Agroéquipement.

Le robot et les drones seront intégrés dans ces formations, avec valorisation du travail effectué dans le projet « Robotique et numérique ».

Les apprenants pourront participer à des expérimentations sur le terrain.

Aperçu du contenu pour le MIL :

Objectifs de la formation : Découverte et utilisation des outils de l'agriculture connectée

1/ Découverte du système de positionnement GPS (apports théoriques)

2/ Prise en main d'une barre de guidage :

Utilisation en autoguidage, coupure de tronçons et modulation de doses.

**3/ Mise en forme des données. Création de cartes de données :**  
Exportation vers un logiciel SIG (QGIS libre) des données récoltées.  
Traitement des données.

Exploitation des données sur un tableur (EXCEL).

Analyse des données, réalisation de cartes (rendement, interpolation, NDVI...).

**4/ Les capteurs : vers une nouvelle agriculture connectée**

Apports théoriques

Bibliographie sur les robots et les drones (description de la technologie embarquée)

**5/ Mesure d'un paramètre corrélé avec sa position GPS :**

Mesure à l'aide d'une caméra multispectrale embarquée sur un drone

Mesure à l'aide d'un capteur (WeedSeeker) embarqué sur un robot

Aperçu du contenu pour le MAP :

Objectifs de la formation : Appréhender l'utilisation des outils connectés et la robotique en agriculture (grandes cultures et élevage).

**1/** L'étude du système « grandes cultures » s'appuiera sur la plateforme agronomique ou des essais sont mis en place pour le suivi des cultures par photographie réalisées par un drone. Une partie des rendements de ces parcelles a également été cartographiée lors des récoltes précédentes.

**2/** L'étude du système « élevage » utilisera les divers supports didactiques (*robot de traite, etc.*) et des systèmes techniques présents sur l'exploitation (*DAC, DAL, etc.*)

D'autre part, des séquences de cours sur l'utilisation des drones et du robot ont été créées pour intervenir dans toutes les classes de l'EPLEFPA.

### **1.3. Actions restant à réaliser**

L'élaboration d'algorithmes de détection est désormais achevée. Comme montré dans la partie 1.1., la programmation de la mission a été testée sur le terrain et fonctionne. Le robot est capable à partir de la réalisation d'une carte de présence de plantes non cultivées depuis une vue aérienne d'aller traiter ces zones grâce à son système de pulvérisation.

Cependant, il reste quelques modifications à réaliser :

- Le robot est équipé d'un GPS qui n'est pas aujourd'hui assez précis (*de l'ordre du mètre*). L'investissement dans un système plus précis (*de l'ordre du centimètre*) étant trop coûteux, l'équipe a fait le choix d'installer des LIDARs (*capteurs d'obstacles à balayage laser*). Cette technologie permettra au robot de se guider dans les inter-rangs de maïs sans qu'il y ait besoin d'une réception satellites.
- Nous n'avons pas eu le temps et les moyens de réaliser des cartes de présence de plantes non cultivées à partir d'une caméra embarquée sur le robot.

## **2. Impact sur le territoire et effets sur l'innovation**

Le projet a permis de fédérer des acteurs de la recherche, du développement, de la formation et des entreprises autour du projet. Le travail collaboratif a été particulièrement fort avec nos principaux partenaires, la société Terranodrone et Agrosup Dijon. Terranodrone a également participé au travail sur les drones acquis récemment (*aide à l'envol et exploitations de photos aériennes*). Agrosup Dijon est intervenu sur l'élaboration d'algorithmes pour le déplacement du robot et sur la détection depuis une vue aérienne.

*Action 1.2 - EPLEFPA Vesoul : Robotique et numérique, des innovations pour la réduction de l'usage des produits phytopharmaceutiques*

En lien avec le projet, de nombreuses interventions ont permis de renforcer nos réseaux et d'assurer la diffusion de l'innovation :

- Organisation d'une rencontre européenne de type workshop sur la robotique en agriculture (*Smart Farming Events*), organisé sur le site de Port sur Saône en avril 2018. Le robot de désherbage a été présenté dans un atelier technique à des étudiants et enseignants italiens et irlandais. La création d'un diplôme universitaire avec l'Université de Bologne (*Italie*), l'IUT de Tralee (*Irlande*), l'Université de Bourgogne et Agrosup Dijon permet à notre projet d'être connu au-delà des frontières.
- Présentation du robot dans des journées techniques organisées par Arvalis (*Les Culturales*), avec la participation à un concours entre écoles sur la création de robots.
- Réflexion sur la labellisation DIGIFERME d'Arvalis.
- Travaux avec l'IRSTEA (*intervention au PNF et conseil pour le projet*).
- Présentation du projet au réseau d'ingénieurs Ecophyto II.
- Présentation du projet à la « *matinée numérique et digital* » organisée par le Crédit Agricole de Franche-Comté.
- Participation au SIMA 2019 (exposition et démonstration du robot sur le stand de l'innovation) en relation avec AgrOnov (*pôle européen en agroécologie*)
- Participation au Festival de l'Élevage organisé par la Chambre d'Agriculture de Haute-Saône (*stand et conférence sur l'agriculture connectée*).
- Intégration de la plate-forme d'acteurs Rob'Agri.

### **3. Personnes et structures impliquées dans le projet**

#### **3.1. Partenaires impliqués et modalités de travail en commun**

- Chambres Départementale et Régionale d'Agriculture (*réseau DEPHY ECOPHYTO et réseau CUMA*) ;
- FNCUMA (*via le RMT AgroEtica*) et FDCUMA 70 ;
- AGROSUP Dijon (*mise à disposition de matériels, appui technique à l'élaboration d'algorithmes, suivi des expérimentations*) ;
- ARVALIS - Institut du végétal (*appui technique et interventions*) ;
- IRSTEA (*appui technique et interventions*) ;
- IUT de Chalon-sur-Saône / Université de Bourgogne (*appui financier pour l'achat des capteurs*) ;
- ONEMA (*appui financier*) ;
- Coopérative Dijon Céréales (*appui technique et financier*) ;
- Société TERRANODRONE (*apport technique sur la partie télédétection et la conception et la partie électronique du robot*) ;
- Société VANTAGE (*appui technique dans l'installation des capteurs WEEDSEEKER*) ;
- Société AGRIEST (*appui technique et financier dans l'installation de la partie pulvérisation du robot*).



Les modalités de travail ont reposé sur :

- Un comité de pilotage du projet se réunissant une fois par an en mai et constitué des acteurs ci-dessus ;
- Un comité technique se réunissant plusieurs fois dans l'année et constitué d'AgroSup Dijon et Terranodrone.

### 3.2. Fonctionnement de l'équipe projet et du pilotage

L'équipe projet était constituée en interne de :

- C. Matrat, directeur de l'EPLEFPA (*conventionnement avec les partenaires*) ;
- G. Choux, directeur-adjoint de l'EPLEFPA, responsable du site de Port-sur-Saône (*gestion administrative, encadrement du chef de projet*) ;
- J. Bachmann, chargé de mission en agroéquipement (*appui technique et méthodologique, mise en œuvre des protocoles*) ;
- F. Mennetrier, enseignant en agriculture de précision (*chef de projet*) ;
- DM. Lubac, enseignante en agronomie (*appui technique, mise en œuvre des protocoles*) ;
- G. Colombo, salarié d'exploitation, responsable de l'atelier grandes cultures et matériel (*conseil, mise en œuvre des protocoles*) ;
- PS. Lejeune, D. Carmien, C. Guarin, enseignants en agroéquipements (*conseils, appui technique et mise en œuvre des protocoles*) ;
- C. Gest, technicienne (*suivi terrain, appui logistique*).

Les acteurs externes ont été :

- C. Gée, AGROSUP Dijon, Directrice du département Agronomie, Agroéquipements, Elevage et Environnement (2A2E) ;
- T. Maillot, AGROSUP Dijon, Maître de conférence ;
- F. Lirzin et T. Clabaut, DRAAF Bourgogne Franche Comté, animateurs des exploitations d'EPLEFPA ;
- A. Rogé, ONEMA, chargée de mission Ecophyto ;
- S. Chapuis, FNCUMA, Chef du service agroéquipement et animateur du RMT AgroEtica ;
- P. Mondelet, Chambre Départementale d'Agriculture 70, animateur FDCUMA ;
- R. Ducreux, société TERRANODRONE, agronome cartographe ;
- G. Gallinet, société TERRANODRONE, télépilote, concepteur/ constructeur de drone et géologue ;
- R. Léveillé, société Vantage, technico – commercial de la marque Trimble ;
- M. Lechenet, coopérative Dijon Céréales, chargé OAD (*outils d'aide à la décision*) et analyse de données ;
- L. Haffner, coopérative Dijon Céréales, technicien expérimentation.

#### **4. Analyse du projet et perspectives** (avancées ou difficultés rencontrées, informations importantes concernant le déroulement de l'action)

Les objectifs sont en partie atteints. Le système technique est opérationnel. Nous avons localisé dans un premier temps les organismes non désirés de la parcelle afin d'optimiser par la suite le parcours d'un robot chargé de la protection phytopharmaceutique puis programmer le robot pour se rendre sur les secteurs à protéger. Il reste cependant des essais à réaliser pour affiner les réglages et en tirer des résultats expérimentaux plus affirmés.

Le projet demande en fait des compétences assez développées en programmation. L'apport d'AgroSup a été essentiel mais l'éloignement géographique ne nous a pas permis d'avancer à la vitesse souhaitée.

Commercialisé en maraîchage, le robot peine à se développer dans les grandes cultures. L'analyse des premiers résultats montre que la diversité des sols et le travail à réaliser (*désherbage*) rend la robotisation compliquée. Le robot est de plus en plus adapté aux cultures de printemps car en conditions humides, il se déplace moins bien.

L'approche économique met en évidence le fait que pour arriver au même débit de chantier que les lourdes machines agricoles actuelles, il faudrait utiliser des flottes de robots (*essaim*) évoluant en convoi autonome.

Toutefois, les robots agricoles présentent de nombreux avantages :

- Bon support pour appliquer un herbicide de manière ciblée et donc réduire les quantités de produits et l'exposition aux produits nocifs ;
- Organisation du travail, flexibilité ;
- Respect des sols (*poids, répartition des masses*) ;
- Attractivité du métier (*technologie, confort de vie*) ;
- Acquisitions d'informations ;
- Cartographie des parcelles.

Enfin, au vu du contexte politique et réglementaire en constante évolution, nous avons fait en sorte que la partie pulvérisation puisse se démonter d'un seul tenant. Nous pensons par la suite le remplacer par un système qui brûlerait la mauvaise herbe plutôt que de la traiter chimiquement.

## 5. Evaluation du projet : les indicateurs d'évaluation

Le projet est évalué annuellement lors du comité de pilotage.

### Indicateurs de réalisation :

- Indicateurs pédagogiques :
  - Nombre d'heures-groupes (*formation, sensibilisation*): 80 heures (*TP agriculture connectée, cours, etc.*)
  - Nombre d'apprenants (*formation, sensibilisation*) : 700
  - Nombre de professionnels (*formation, sensibilisation*) : 150 sur site + visiteurs du SIA 2018 et SIMA 2019.
  - Nombre de classes qui ont participé au projet (*construction*): 8
  - Nombre de modules pédagogiques créés : MIL agriculture connectée, MAP agriculture connectée, Pluridisciplinarité (informatique + agroéquipement) sur l'agriculture connectée en cycle bac technologique STE.
  
- Indicateurs territoriaux (*partenariats, communication*) :
  - Nombre de conventions avec des partenaires : 5 (*AGROSUP Dijon, TERRANODRONE, société BERTHOUD, AGRIEST, Dijon Céréales*) ;
  - Nombre de participants à des journées d'animation ou de communication :
    - une dizaine de participants au COPIL du RMT AgroEtica
    - une centaine de participants (*italiens, irlandais et français*) à un atelier présentant le robot au Workshop (*Smart Farming Events*) au hall d'agroéquipement à Port sur Saône
    - une cinquantaine de participants pour la présentation du robot à la labellisation de la DIGIFERME (*Arvalis*)
    - une vingtaine de participants (*réseaux ingénieurs ECOPHYTO II*) pour la présentation du robot.
    - une cinquantaine de participants pour la présentation du projet à la « matinée numérique et digital » organisée par le Crédit Agricole.
    - de nombreux participants venant de tous les pays pour la démonstration du robot au village de l'innovation du SIMA organisé par Agronov
    - une centaine de participants au stand du Festival de l'Élevage et à la conférence sur l'agriculture connectée au parc d'expositions à Vesoul
  - Nombre de parutions dans les médias locaux et/ou spécialisés et dans les réseaux sociaux :
    - Article *Haute-Saône Agricole* avril 2019
    - Bulletin de l'APEPA (*Association des Physiciens de l'Enseignement Public Agricole*)
    - Site internet d'Agronov (*village de l'innovation au SIMA 2019*)
    - une dizaine actualités sur la page Facebook du lycée vues par plus de 1300 personnes.

### Indicateurs de suivi du projet :

- Nombre de demi-journées de travail consacrées au projet : 179 demi-journées