

# Coopération autonome d'un drone aérien et d'un robot terrestre

Magali Barbier  
ONERA - the French Aerospace Lab,  
Toulouse, France  
`magali.barbier@onera.fr`

Charles Lesire  
ONERA - the French Aerospace Lab,  
Toulouse, France  
`charles.lesire@onera.fr`

Simon Lacroix  
LAAS-CNRS,  
Toulouse, France  
`simon.lacroix@laas.fr`

## Résumé

Le développement de capacités de réalisation autonome de missions par une équipe de robots impose la définition de différents processus fonctionnels, mais surtout la définition d'une architecture permettant l'intégration de processus décisionnels au sein de l'équipe (planification et supervision). Cet article présente les grandes lignes d'une telle architecture, ainsi que les approches de la planification et de la supervision développées dans le contexte d'une mission de contrôle de zone. Les résultats d'un premier scénario impliquant un robot aérien et un robot terrestre sont présentés.

## 1 Introduction

L'objectif du Programme d'Études Amont Action<sup>1</sup> financé par la DGA est d'étudier les moyens disponibles et de préparer les technologies futures en vue de renforcer les performances de la fonction localisation dans un réseau d'entités hétérogènes constituées de vecteurs autonomes : drones aériens de type hélicoptère, drones terrestres, drones maritimes de surface et drones sous-marins. Les éléments à localiser sont les véhicules de l'équipe et les cibles : des groupes d'humains dans le cas de scénarios aéroterrestres, des bâtiments de surface, des mines et une épave dans le cas de scénarios aéromaritimes. Il s'agit donc de développer et d'implémenter sur des véhicules déjà autonomes individuellement une architecture logicielle distribuée permettant de les faire coopérer pour la réalisation de leur mission. Les travaux de recherche poursuivis par l'équipe projet s'organisent autour du développement de cette architecture décisionnelle multidrone pour la réalisation des fonctions de fusion de données et de décision (planification et supervision de la mission). Des démonstrations scientifiques de scénarios aéroterrestres et aéromaritimes représentatifs du contexte opérationnel sont prévues de 2012 à 2015.

---

1. <http://action.onera.fr>

La première démonstration a eu lieu le jeudi 25 octobre 2012. Il s'agissait de faire coopérer une équipe composée du drone aérien à voilure tournante RMax/ReSSAC de l'ONERA et du robot terrestre Mana du CNRS/LAAS dans une mission autonome de contrôle de zone urbaine incluant une phase d'exploration de la zone par les deux véhicules, puis une phase de suivi d'une cible après sa localisation. Les missions réalisées sans intervention d'un opérateur mission ont permis de mettre en valeur les capacités de l'équipe à réaliser l'exploration coopérative de la zone (avec transfert d'information entre les véhicules durant des rendez-vous planifiés pour des communications considérées comme ni régulières ni assurées), et de tester la réaction de l'équipe face à des aléas perturbant le plan courant et nécessitant des réparations de plan – ainsi, lorsque le véhicule terrestre est bloqué dans sa progression, l'hélicoptère réalise une cartographie locale pour lui permettre de trouver un autre chemin). La météo s'étant dégradée sur la fin d'après-midi (trop de vent contraignant le RMax/ReSSAC à rester au sol), les essais se sont poursuivis par la réalisation d'une simulation hybride grâce au simulateur MORSE<sup>2</sup> [Echeverria et al., 2012] dans laquelle, après un contrôle de la zone par l'hélicoptère simulé et le robot terrestre réel, celui-ci a détecté une cible (modélisant un intrus ayant pénétré dans la zone) avant d'en réaliser le suivi.

## 2 Les scénarios

Les quatre scénarios aéroterrestres ont pour objectif opérationnel le contrôle d'une zone urbaine (zone rurale à urbanisation éparpillée) par une équipe constituée de véhicules autonomes aériens (AAV) et de véhicules autonomes terrestres (AGV). La zone est amie et connue a priori, l'équipe y réalise des patrouilles pour localiser et suivre d'éventuels intrus (cibles humaines). Les scénarios sont de complexité croissante, mettant en œuvre 2 véhicules dans le scénario I, et jusqu'à 12 véhicules dans le dernier scénario. Les véhicules circulent dans un environnement dynamique opérationnel, les communications entre les véhicules et avec l'opérateur ne sont ni permanentes, ni parfaites. L'environnement est mal connu en début de mission, mais suffisamment pour qu'on puisse réaliser une planification initiale de l'itinéraire des véhicules.

Les hypothèses spécifiques au scénario I sont : une seule cible à détecter, localiser et suivre; des communications toujours possibles entre l'opérateur et l'AAV; pas d'information spécifique de l'opérateur vers l'équipe de drones; pas de problème d'autonomie énergétique; pas de perte de véhicule. L'objectif pour l'équipe est d'être autonome dans la réalisation de sa mission.

Dans le scénario I, les aléas pris en compte sont : l'AGV rencontre un obstacle et n'arrive pas à trouver une solution par ses propres moyens, l'AGV n'arrive pas à se localiser par ses propres moyens, un véhicule détecte et localise une cible (événement recherché).

## 3 Principaux développements

Le projet a nécessité des développements scientifiques qui portent d'une part sur les fonctions de fusion de données, et d'autre part sur les fonctions de décision

---

2. <http://morse.openrobots.org/>

(planification et supervision des activités des véhicules). Ces développements sont intégrés au sein d'une architecture logicielle multicouche implémentée sur chaque véhicule, qui permet de satisfaire les contraintes de communication, et qui est centrée autour de la supervision (figure 1) :

- L'objectif de la fusion de données est le traitement de toutes les données disponibles pour assurer la fonction localisation pour les véhicules de l'équipe et les cibles; l'exploitation de données perçues par les véhicules sur l'environnement est notamment exploitée pour assurer cette fonction dans le cas des scénarios aéroterrestres;
- La planification produit des plans d'actions pour chaque véhicule autonome afin d'assurer leur coopération; un plan initial est établi hors ligne en préparation de mission, il est amendé en cours de mission lorsque des événements perturbent sa réalisation;
- La supervision contrôle en ligne l'exécution des actions planifiées et décide, en fonction de sa connaissance de la situation, de la réaction à programmer lorsque des événements perturbent l'exécution prévue; elle déclenche donc les actions de déplacement, de communication, de perception et de replanification.

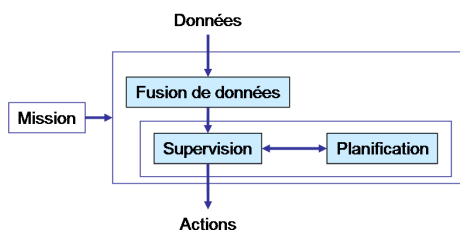


FIGURE 1 – Grandes fonctionnalités intégrées au sein de l'architecture décisionnelle

### 3.1 Une architecture multicouche

Une caractéristique du projet Action est de réaliser la coopération de véhicules déjà autonomes, c'est-à-dire intégrant une architecture monodrone offrant à chaque véhicule une autonomie individuelle pour la réalisation de parties du scénario. C'est le cas du drone aérien RMax-ReSSAC de l'Onera qui implémente une telle architecture sous Orocos [Teichtel-Königsbuch et al., 2011, Soetens and Bruyninckx, 2005] et du robot terrestre Mana du Laas qui intègre depuis récemment l'architecture Roar [Degroote and Lacroix, 2011]. Nous proposons donc une architecture globale qui assure l'interopérabilité entre ces architectures locales via la définition d'une couche supérieure. Chaque drone comporte ainsi trois couches (figure 2) : la couche commande en relation directe avec les parties matérielles du véhicule, la couche décisionnelle monodrone locale et une couche multidrone, objet des principaux développements architecturaux dans le projet, qui offre à l'équipe de drones les capacités de coopérer. Cette couche multidrone, générique, est identique sur chaque véhicule et appliquée à l'ensemble des scénarios du projet.

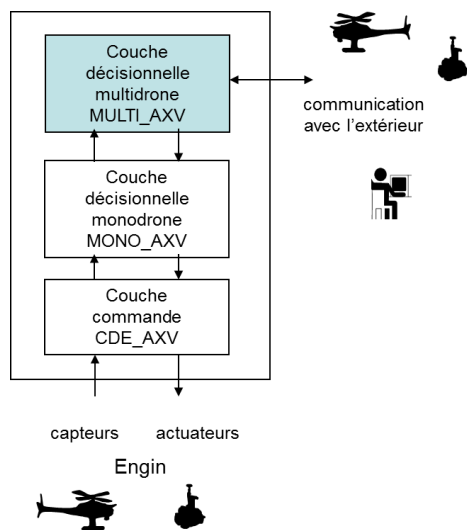


FIGURE 2 – Architecture multicouche pour chaque véhicule autonome

Cette architecture multicouche intègre les fonctions suivantes :

- Pour la fusion des données, au sein de la couche décisionnelle monodrone :
  - Traitement des données disponibles pour assurer la fonction localisation ;
  - Localisation / SLAM (Simultaneous Localisation and Mapping) pour la localisation des véhicules, des cibles, des amers ;
  - Construction et mise à jour des différents modèles de l’environnement nécessaires ;
  - Localisation des cibles ;
- Pour la planification, au sein de la couche décisionnelle multidrone :
  - Calcul d’un plan (suite d’actions) ; planification hors ligne en préparation de mission et en ligne pour réparation du plan courant ou recalcul d’un nouveau plan ;
  - Coordination pour la coopération : rendez-vous, communication ;
- Pour la supervision, au sein de la couche décisionnelle multidrone :
  - Contrôle en ligne de l’exécution des actions planifiées ;
  - Décision suite à événement, en fonction de la connaissance de la situation, de la réaction à programmer et du niveau auquel programmer cette réaction ;
  - Déclenchement des actions élémentaires : déplacement, perception, communication, replanification.

### 3.2 Fusion de données en préparation de mission

La fusion de données génère les modèles d’environnement initiaux qui seront utilisés pour la planification des actions (déplacement, perception, communication) des différents véhicules et leur localisation.

Quatre modèles ont été utilisés :

- Modèle de traversabilité, pour l’évaluation des actions de déplacement des

véhicules ;

- Modèle 3D, destiné d'une part aux calculs d'intervisibilité pour l'évaluation des actions de communication et de perception, et d'autre part à la localisation ;
- Informations de contexte, pour la prédiction des déplacements des cibles (il s'agit d'un modèle de traversabilité applicable aux cibles) ;
- Modèle d'amers, pour la fonction de localisation des véhicules d'une part, et pour assurer la cohérence spatiale des autres modèles et entre les différents modèles d'autre part.

L'exploitation des données acquises par un Lidar embarqué s'est avérée la plus appropriée pour fournir un modèle numérique de terrain. Une librairie de gestion de ces modèles a été utilisée pour permettre la mise à jour de données collectées lors de la mission et fournir aux algorithmes de planification les moyens d'accéder aux modèles de l'environnement.

### 3.3 Planification initiale

Les véhicules vont partir chacun avec un plan qui serait réalisé si aucun aléa ne le remettait en cause. Cette planification intègre les capacités restreintes de communication, donc prévoit des rendez-vous pour la coopération des deux véhicules, avec la mise à jour de leur connaissance.

Pour le processus de décision couplant les fonctions de supervision et de planification, nous avons choisi une modélisation hiérarchique dynamique des actions basée sur des HTN (Hierarchical Task Network, [Nau et al., 1998]). L'intérêt des HTN réside dans leur flexibilité, l'aspect hiérarchique de leur structure et le côté intuitif de leur représentation pour un opérateur humain. Un HTN est un ensemble de tâches abstraites et élémentaires. Une ou plusieurs méthodes sont associées à chacune des tâches abstraites et décrivent la façon d'en atteindre les objectifs, en utilisant d'autres tâches, abstraites ou élémentaires. Le choix d'une méthode est contraint par des préconditions à satisfaire.

Le planificateur utilise en entrée une description de la mission sous forme d'un HTN dont les variables n'ont pas été instanciées (les véhicules et les points de passage pour ce scénario I). Pour être générique par rapport aux problèmes classiques de planification (langage PDDL, Planning Domain Description Language), deux fichiers décrivent d'une part le domaine de planification, d'autre part le problème lui-même (le but à atteindre). Dans notre application, le domaine contient donc toutes les tâches abstraites et élémentaires nécessaires à la réalisation de la mission par les deux véhicules, ainsi que les déclarations de variables permettant de modéliser les véhicules, la cible, les points de passage, les zones. Le problème contient toutes les informations relatives à l'environnement de la mission (données d'accessibilité, de coût, de visibilité et de communication) ainsi que l'objectif de la mission (la tâche globale à réaliser). La recherche d'une solution dans l'arborescence se fait en profondeur d'abord, et les plans de chaque véhicule sont ensuite extraits du plan global obtenu.

### 3.4 Supervision en ligne de la mission

Les travaux sur la supervision de la mission s'articulent autour :

- De la définition de la base de connaissances Koper ("Knowledge base for planning, execution and repair", Gateau et al. [2012b]) pour la planifica-

tion, l'exécution et la replanification de mission : formalisation des services fournis par les véhicules, regroupant les informations concernant les aspects décisionnels abstraits et les informations concrètes spécifiques à la phase d'exécution ;

- Du développement du superviseur HiDDeN ("High-level Distributed Decision layer", Gateau et al. [2012a]) pour la gestion de l'exécution des plans de mission hiérarchiques et la réponse aux aléas de mission par une stratégie de réparation effectuée le plus localement possible afin de limiter les communications.

L'intérêt de Koper est d'avoir une représentation formelle de la connaissance multidrone à travers un modèle commun à tous les véhicules. Une ontologie spécifique a été décrite avec OWL, langage basé sur XML. Koper décrit ainsi ce que chaque véhicule sait faire dans son environnement, en relation avec les autres.

Le superviseur HiDDeN, local à chaque véhicule, est la partie centrale des couches multidrones. Il est constitué de quatre modules :

- Le module MissionManager est l'élément central du superviseur local. C'est l'organe de décision en soi, qui sélectionne, en fonction du plan de mission, de l'état du monde et des objectifs à atteindre, la tâche à accomplir par le véhicule autonome, via son architecture locale monovéhicule. C'est lui qui est responsable de la coordination des autres modules ;
- Le module ExecMessenger convertit la tâche à exécuter courante désignée par le MissionManager en information intelligible par l'architecture monovéhicule. Il permet aussi la réception et l'interprétation des retours d'exécution de l'architecture monovéhicule ;
- Le module CoopMessenger gère les messages de synchronisation échangés entre les différents superviseurs locaux et indispensables à la cohésion d'équipe ;
- Le module DataManager met à jour la représentation de l'état courant du monde tout au long du déroulement de la mission ; il repose sur Koper.

Ces modules gèrent les interactions de HiDDeN avec les autres véhicules (et l'opérateur mission), le planificateur embarqué (pour le calcul d'un nouveau plan ou la réparation du plan courant), et la couche MONO du véhicule. Ce superviseur local est générique et implémenté sur tous les véhicules de l'équipe.

Avec le formalisme de plan adopté, l'occurrence d'aléas requiert une modification du plan de mission courant pour tenter d'accomplir les objectifs initialement définis : il s'agit d'une replanification, qui peut être totale (sur l'objectif de plus haut niveau) ou locale, on parle alors de réparation. Le choix dans le projet de réaliser une réparation la plus locale possible est cohérent avec les contraintes sur les communications ; il permet de limiter le nombre de véhicules concernés par la réparation, la quantité de données échangées et la durée de la réparation.

### 3.5 Fusion de données en ligne

L'approche globale de résolution du problème de localisation des véhicules est centrée sur des techniques de cartographie et localisation simultanées (SLAM), dont une version hiérarchique distribuée a été définie [Vidal-Calleja et al., 2011].

Il consiste à construire un ensemble de cartes d'amers locales (sous-cartes) gérées par un filtre de Kalman étendu, qui constituent le niveau inférieur. Les transformations entre les origines des cartes construites lors de l'avancement du robot définissent un graphe de transformations (niveau supérieur), dont la cohérence spatiale est assurée par une technique d'optimisation. En contrôlant la taille des cartes, la complexité algorithmique de l'estimation des positions du robot et des amers est maîtrisée, et surtout les erreurs sur la position du robot restent faibles, évitant par là des pertes de cohérence inhérentes au filtre de Kalman étendu.

Dans le cas multirobot, chaque robot maintient alors un ensemble de sous-cartes et un graphe associé. Trois événements de localisation définissent les liens entre ces graphes : estimation de la position relative entre deux véhicules (directement fournie par la perception d'un véhicule par un autre, ou bien par mise en correspondance d'amers perçus par les deux véhicules) ; estimation de positions absolues fournies par le GPS ( quand de telles estimations sont disponibles) ; solutions de localisation absolue basées sur une carte existante (quand une telle carte est disponible).

L'auto-localisation de l'AGV repose sur l'exploitation de la bibliothèque RT-SLAM [Roussillon et al., 2011], au cœur de la localisation dans le projet Action. RT-SLAM implémente un filtre de Kalman étendu pour l'estimation de l'état des robots et des amers visuels dans l'environnement en intégrant les données inertielles à haute fréquence.

### 3.6 Suivi de cible

Le projet ne comportant pas de développements sur la fonction de *détection / reconnaissance / identification* des cibles, une solution simple a été développée. Pour être visible par l'AGV, la cible a été munie d'un cylindre couvert d'un matériau rétro-réfléchissant, de manière à rendre triviale l'extraction des points de mesure fournis par le Lidar panoramique de l'AGV. Après détection des points correspondant à la cible par simple seuillage de la mesure de réflectance associée aux points de mesure, un algorithme de *clustering* permet d'identifier la cible, dont la position relative à l'AGV est simplement le centre de gravité des points de la cible détectés. Le suivi de la cible par l'AGV est réalisé grâce au mode de déplacement de l'AGV qui permet de rallier les points de passage, le point à rallier étant la position à laquelle la cible est régulièrement détectée. La détection et la localisation de la cible par l'AAV est assurée par une fonction de traitement d'images couleur, la partie supérieure de la cible étant constituée de couleurs aisément identifiables. Une loi de guidage de l'AAV permet d'assurer son suivi, en envoyant des commandes de vitesse horizontale et d'altitude à la couche commande [Watanabe et al., 2010]<sup>3</sup>.

## 4 Expérimentations

L'AAV RMax-ReSSAC (figure 3(a)) est un hélicoptère de marque Yamaha dont la masse maximale au décollage est de 93kg, incluant une charge utile (y compris l'avionique) de 25kg. Il embarque un GPS RTK, une caméra vidéo

3. Des travaux sur le suivi coopératif de cible ont été menés [Robin and Lacroix, 2012], mais n'ont pas encore été intégrés au sein des véhicules.

couleur dirigée vers le bas et un lidar dirigé vers le bas également pour la cartographie et le relevé de terrain (nappe laser). La station sol intégrée dans une fourgonnette dispose d'un poste de pilotage, d'un poste de navigation et d'un écran de contrôle vidéo. La couche monodrone du RMax-ReSSAC est basé sur l'environnement Orocos [Soetens and Bruyninckx, 2005].

L'AGV Mana (figure 3(b)) est monté sur une plate-forme de type Segway RMP400, constituée de quatre roues non directionnelles et non suspendues. Il peut transporter jusque 90kg de charge utile, se déplacer à une vitesse maximale de 8m/s, et a une endurance de 10 à 24km selon les conditions de locomotion. De nombreux capteurs permettent sa navigation autonome en extérieur : un lidar panoramique Velodyne, deux caméras qui constituent le banc stéréoscopique monté sur une tourelle orientable, et des capteurs dits "bas-niveaux" (gyromètre, centrale inertielle de type *mems* et odomètres). La couche monodrone du Mana est constituée de composants logiciels implémentés sous la forme de modules GenoM [Mallet et al., 2010].

La cible (figure 3(c)) est une voiture télécommandée Summit de marque Traxxas.

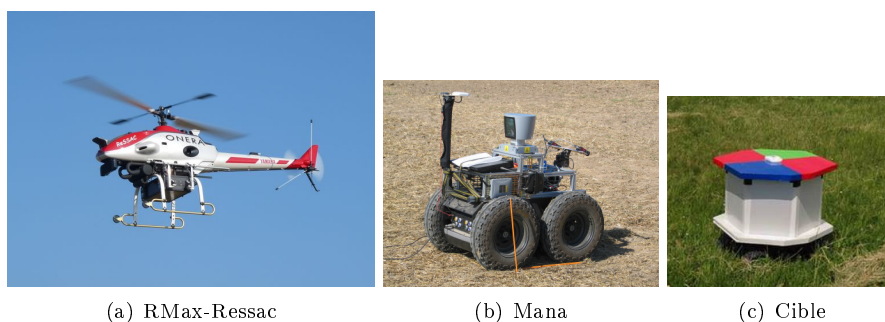


FIGURE 3 – Véhicules utilisés dans le scénario I

Le terrain sur lesquels sont menées les expérimentations est le camp militaire de Caylus (figure 4). Il présente toutes les caractéristiques d'une zone de mission rurale (pour le scénario I : 200m x 250m).

Pour le jour de la démonstration du scénario I en octobre 2012, trois missions ont été prévues, avec l'objectif de mettre en avant l'ensemble des développements scientifiques du projet au travers des capacités de l'équipe de véhicules à réaliser une mission autonome en présence d'aléas :

- Une mission nominale de contrôle de zone pendant laquelle les deux véhicules réalisent deux rendez-vous (**miss0**) ;
- Une mission pendant laquelle l'AGV se retrouve bloqué ; il communique alors avec l'AAV qui vient cartographier une sous-zone au-dessus de lui ; l'AGV peut alors replanifier un nouveau chemin (**miss1**) ;
- Une mission pendant laquelle l'AGV se perd (virtuellement) ; l'AAV vient alors le relocaliser et la mission se poursuit (**miss2**). L'AGV détecte alors la cible, communique l'information à l'AAV et les deux véhicules la suivent.





FIGURE 4 – Zone de mission à Caylus (Tarn-et-Garonne) pour le scénario I.

## 5 Évaluations

Les développements scientifiques ont d’abord été évalués par simulation, avec MORSE [Echeverria et al., 2012], logiciel libre développé par des ressources de plusieurs projets dont le programme Action.

Les capacités démontrées lors de la démonstration sont :

- Pour **miss0** : toute la partie préparation de la mission en phase 0 (fusion des modèles d’environnement et calcul d’un plan initial), la fonction de supervision de l’équipe embarquée sur chaque couche multidrone, l’exécution des tâches élémentaires par les couches monodrones de chaque véhicule (dont l’auto-localisation de l’AGV et sa supervision mono), l’échange des données lors des rendez-vous entre les deux véhicules, l’envoi des deux ordres mission de départ et de fin de la mission par l’opérateur ;
- Pour **miss1** et **miss2** : la prise en compte des aléas par l’équipe, la réparation du plan, la stratégie de cartographie d’une sous-zone par l’AAV, le calcul d’un nouvel itinéraire par l’AGV, la localisation de l’AGV par l’AAV, la localisation et le suivi de la cible par chaque véhicule.

Des cartes d’accessibilité et de visibilité ont été construites pour chaque véhicule et utilisées par le planificateur en préparation de mission, pour le calcul d’un plan initial (figure 5). Les plans locaux HTN instanciés ont ensuite été transmis à chaque véhicule.

Le jour de la démonstration, la mission nominale **miss0** a duré un peu moins de 11mn, avec les deux rendez-vous réalisés conformément au plan prévu. Au cours de cette mission, l’AAV a réalisé 25 actions et l’AGV 28. Pour les missions non nominales, un opérateur démonstration a déclenché les aléas. L’aléa *AGV bloqué* de **miss1** a déclenché, conformément à la réparation demandée, un

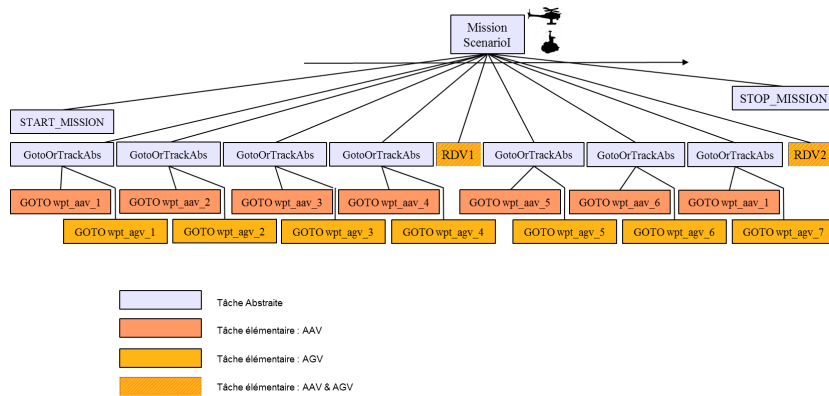


FIGURE 5 – Plan HTN instancié initial (simplifié) pour le scénario I. Le parcours de l’arbre se fait en profondeur d’abord.

détournement de l’AAV qui a réalisé une cartographie d’une sous-zone au-dessus de l’AGV, lui a transmis la carte avant de reprendre la recherche de la cible. L’AGV a alors calculé un nouveau plan pour poursuivre cette recherche de son côté. Respectivement 38 et 43 actions ont été réalisées par l’AAV et l’AGV, en plus des deux synchronisations pour rendez-vous (figure 6).

L’aléa *AGV perdu* de **miss2** a déclenché, conformément à la réparation demandée, un détournement de l’AAV qui est allé relocaliser l’AGV avant de lui transmettre sa position.

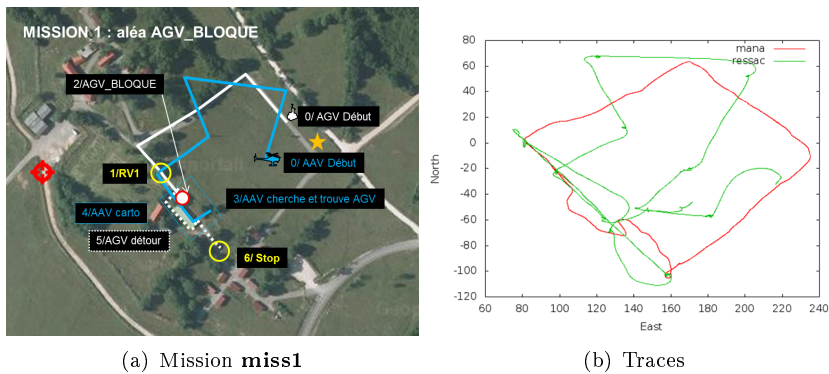


FIGURE 6 – Déroulement de la mission **miss1**.

Le jour de la démonstration, la météo n’a pas permis de démontrer totalement **miss2** : une simulation hybride a été réalisée avec MORSE pour l’aléa *AGV perdu*, l’AGV Mana manœuvrant sur le terrain et l’AAV RMax-ReSSAC étant simulé (figure 7).

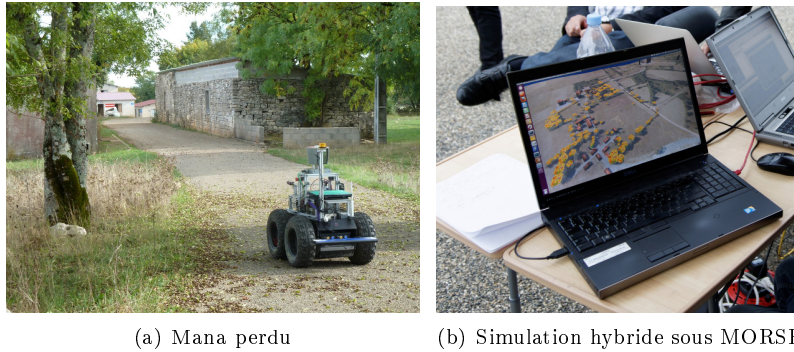


FIGURE 7 – Simulation hybride le jour de la démonstration pour la mission **miss2**.

## 6 Conclusions

Un des enjeux du PEA Action est de mettre en avant la plus-value de l'utilisation d'une équipe de véhicules autonomes coopérant pour la réalisation d'une mission de contrôle de zone. Le projet est ainsi ciblé sur le développement de travaux scientifiques améliorant la fonction localisation des véhicules de l'équipe et des cibles ennemies. Le défi du PEA est la démonstration scientifique de cette coopération avec des véhicules prototypes réels déjà dotés de capacités d'autonomie sur le plan individuel.

Les développements scientifiques ont contribué au bon déroulement de la démonstration du scénario I :

- Génération des modèles initiaux d'environnement, utiles pour avoir une connaissance minimale des capacités de déplacement, de perception et de communication et permettant donc de réaliser la fonction effective de contrôle de zone plutôt que celle d'exploration, même si les modèles intègrent des connaissances non totalement à jour ;
- Calcul d'un plan initial pour les deux véhicules, permettant la recherche de la cible sur la zone et intégrant des points de rendez-vous pour la communication interne à l'équipe ; ce plan permet de vérifier la couverture de la zone et informe l'opérateur mission des itinéraires initiaux des deux véhicules ;
- Supervision en ligne du contrôle de l'exécution de la mission, fonction centrale de la couche multidrone, qui gère l'exécution nominale et la réparation du plan suite à l'occurrence d'aléa perturbant le plan en cours : un aspect architectural essentiel pour la gestion autonome de la mission par l'équipe ;
- Auto-localisation de l'AGV permettant au véhicule de circuler dans la zone rurale et de répondre aux besoins de suivi d'itinéraire exprimés pour la mission sans utiliser de données GPS (l'AAV dans ce scénario I se localise avec un GPS-RTK) ;
- Cartographie d'une zone par l'AAV pour une utilisation par l'AGV en re-planification locale d'itinéraire : une des valeurs ajoutées de la coopération des deux véhicules ;

- Localisation de l’AGV par l’AAV lorsque celui-ci s’estime perdu : une autre valeur ajoutée de cette coopération ;
- Détection, localisation et suivi de la cible par l’AGV, suivi de la cible par l’AAV, qui constitue l’objectif final de la mission de contrôle de la zone.

L’ensemble des évaluations (simulations et expérimentations) réalisées permet de valider les différents choix scientifiques<sup>4</sup> de l’équipe projet pour le scénario I. Les essais en conditions réelles n’ont naturellement pas toujours été parfaits : ce sera le travail de l’équipe projet de faire un retour d’expérience de ce travail, tant au niveau scientifique que expérimental, pour pouvoir aller de l’avant et aborder les trois autres scénarios aéroterrestres du Programme d’Etudes Amont Action dans de bonnes conditions. Si ce scénario I a permis un gros débroussaillage expérimental et un premier positionnement scientifique sur les différentes fonctions nécessaires à la réalisation du scénario, les scénarios suivants sont autant de challenges :

- Démonstration de la coopération d’un AAV et de deux AGV, prévue à l’automne 2013 ;
- Démonstration de la coopération de deux AAV et de deux AGV, prévue à l’automne 2014 ;
- Démonstration de la coopération dans une flottille avec trois AAV et neuf AGV, prévue au printemps 2015.

## Références

- A. Degroote and S. Lacroix. Roar : Resource oriented agent architecture for the autonomy of robots. In *International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2011)*, Shanghai, China, 2011.
- G. Echeverria, S. Lemaignan, A. Degroote, S. Lacroix, M. Karg, P. Koch, C. Lesire, and S. Stinckwich. Simulating complex robotic scenarios with morse. In *International Conference on Simulation, Modeling, and Programming for Autonomous Robots (SIMPAN 2012)*, Tsukuba, Japan, 2012.
- T. Gateau, C. Lesire, and M. Barbier. Robust strategies for multi-robot team cooperation under uncertain communications. In *International Symposium on Distributed Autonomous Robotics Systems (DARS 2012), Poster session*, Baltimore, MD, USA, 2012a.
- T. Gateau, G. Severac, C. Lesire, M. Barbier, and E. Bensana. Koper, knowledge base for planning, execution and plan repair. In *International Conference on Automated Planning and Scheduling (ICAPS 2012), workshop on Planning and Execution*, Sao Paulo, Brazil, 2012b.
- A. Mallet, C. Pasteur, M. Herrb, S. Lemaignan, and F. Ingrand. Genom3 : Building middleware-independent robotic components. In *International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2010)*, Anchorage, Alaska, USA, 2010.

---

4. Environ 25 publications sont disponibles sur le site du projet

- D. Nau, S. Smith, and K. Erol. Control strategies in htn planning : Theory versus practice. In *AAAI National Conference on Artificial Intelligence (AAAI 1998)*, Madison, Wisconsin, USA, 1998.
- C. Robin and S. Lacroix. Failure anticipation in pursuit-evasion. In *Robotics, Science and Systems (RSS 2012)*, Sydney, Australia, 2012.
- C. Roussillon, A. Gonzalez, J. Solà, , J-M Codol, N. Mansard, S. Lacroix, and M. Devy. Rt-slam : a generic and real-time slam architecture. In *International Conference on Vision Systems (ICVS 2011)*, Sophia Antopolis, France, 2011.
- P. Soetens and H. Bruyninckx. Realtime hybrid task-based control for robots and machine tools. In *International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2005)*, Barcelona, Spain, 2005.
- F. Teichteil-Königsbuch, C. Lesire, and G. Infantes. A generic framework for anytime execution-driven planning in robotics. In *International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2011)*, Shanghai, China, 2011.
- T. Vidal-Calleja, C. Berger, J. Solà, and S. Lacroix. Large scale multiple robot visual mapping with heterogeneous landmarks in semi-structured terrain. *Robotics and Autonomous Systems*, 59(9) :654–674, 2011.
- Y. Watanabe, C. Lesire, A. Piquereau, P. Fabiani, M. Sanfourche, and G. Le Besnerais. The ONERA ReSSAC unmanned autonomous helicopter : Visual air-to-ground target tracking in an urban environment. In *American Helicopter Society Forum (AHS 2010)*, Phoenix, AZ, USA, 2010.