



Autonomie décisionnelle, du monodrone au multidrone hétérogène

GDR Robotique
« Systèmes multirobots et systèmes humains-robots :
coopération, contrôle et rôle des opérateurs »
24/01/11, Onera Toulouse



retour sur innovation

Magali Barbier ONERA/DCSD Toulouse

Plan

- Contexte monodrone
- Autonomie décisionnelle
- Architecture décisionnelle
- Exemples d'architectures Onera / DCSD

- Contexte multidrone
- Coopération
- Exemple du PEA Action

2 GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse 

Contexte monodrone



- Drone

- « Aéronef inhabité, piloté à distance, semi-autonome ou autonome, susceptible d'emporter différentes charges utiles le rendant capable d'effectuer des tâches spécifiques pendant une durée de vol pouvant varier en fonction de ses capacités »

- Intérêt des drones

- Coût de fabrication et d'utilisation plus faible (pas d'habitacle)
- Sécurité pour l'homme par l'action à distance : éloignement du danger, opérations dans des zones contaminées...
- Automatisation de tâches répétitives (ex. surveillance de pipeline)
- Déploiement de capteurs déportés, d'armes
- Performance / endurance et rayon d'action (sans pilote)



3

GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse

ONERA
OFFICE NATIONAL D'ÉTUDES ET RECHERCHES AÉRONAUTIQUES

Contexte monodrone

- **Autonomie opérationnelle** = téléopération, opérateur = pilote
Robot réalise fonctions de commande de bas niveau : capture d'information, calcul de trajectoire, mouvements précis, tâches répétitives...
- **Besoin d'autonomie décisionnelle** : quand environnement mal connu, incertain, dynamique, dangereux, hostile, avec risque de perte de communication / recherche de discrétion
- Objectif pour un **véhicule autonome** : réaliser sa mission en assurant sa survie et en **s'adaptant aux aléas** qui modifient le plan courant
- **Autonomie totale**, sans contact avec l'opérateur mission
 - Rarement sur toute la durée de la mission
 - Opérateur nécessaire pour tâches complexes (interprétation d'images) et décisions avec responsabilité (tir sur cible)
 - Imposée quand contraintes sur communication

4

GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse

ONERA
OFFICE NATIONAL D'ÉTUDES ET RECHERCHES AÉRONAUTIQUES

Autonomie décisionnelle

- UXV : Uninhabited / Unmanned Vehicle
véhicule non habité « plus ou moins » autonome

- → AXV : Autonomous Vehicle

Usage récent

- AUV → Autonomous Underwater Vehicle – sous-marin

Reconnu

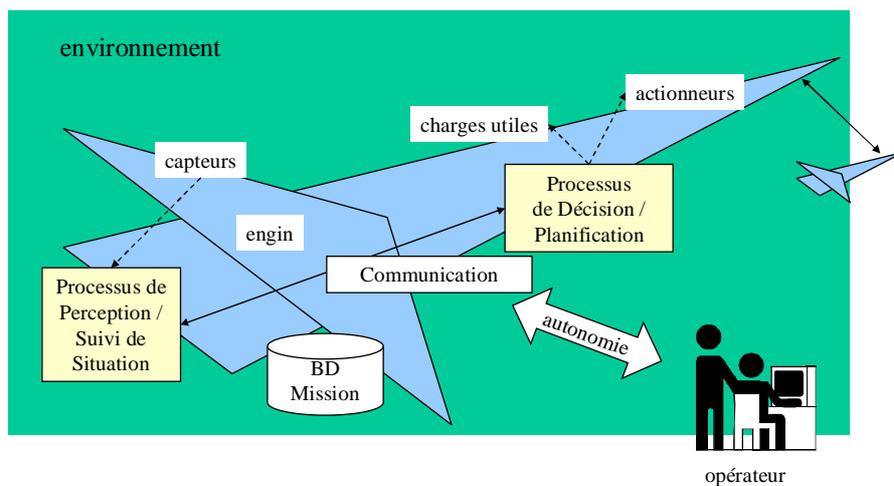
- ASV → Autonomous Surface Vehicle – marin de surface
- AGV → Autonomous Ground Vehicle – terrestre
- AAV → Autonomous Aerial / Air Vehicle – aérien

5

GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse

ONERA
OFFICE NATIONAL D'ÉTUDES ET RECHERCHES AÉRONAUTIQUES

Autonomie décisionnelle



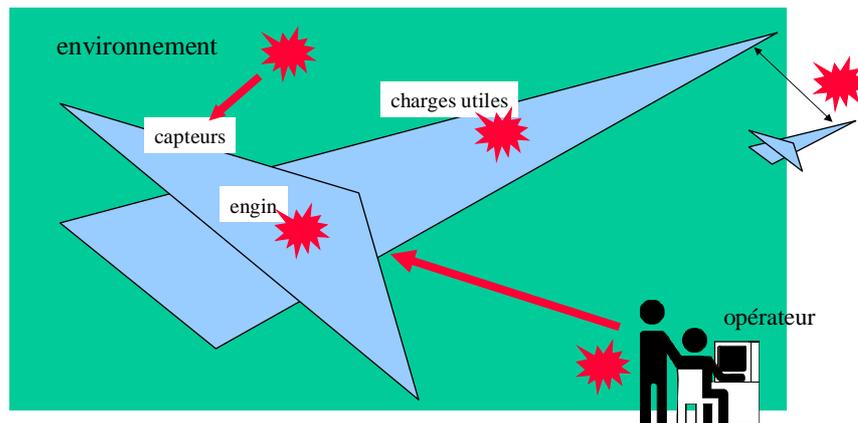
6

GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse

ONERA
OFFICE NATIONAL D'ÉTUDES ET RECHERCHES AÉRONAUTIQUES

Autonomie décisionnelle

- En mission réelle, occurrence d'**aléas** = événements asynchrones
→ remise en cause du plan courant



7

GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse

ONERA
OFFICE NATIONAL D'ÉTUDES ET RECHERCHES AÉRONAUTIQUES

Architecture décisionnelle

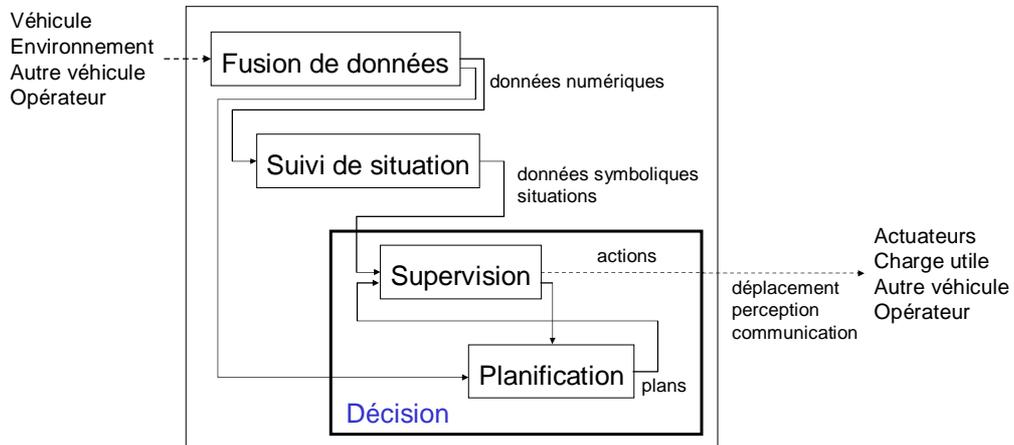
- Implémentation de l'autonomie décisionnelle dans un architecture logicielle embarquée
- Architecture : lien entre composants matériels (capteurs, charges utiles, actionneurs) et logiciels (traitements à différents niveaux)
- Objectifs de l'architecture décisionnelle
 - superviser l'exécution en ligne de la mission (suivre le comportement du véhicule)
 - adapter cette exécution en cas d'aléas : réaction aux événements asynchrones (véhicule, environnement, mission)
 - inclure les fonctions minimales pour l'autonomie décisionnelle
 - communiquer avec l'extérieur (opérateur, autre véhicule)

8

GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse

ONERA
OFFICE NATIONAL D'ÉTUDES ET RECHERCHES AÉRONAUTIQUES

Architecture décisionnelle



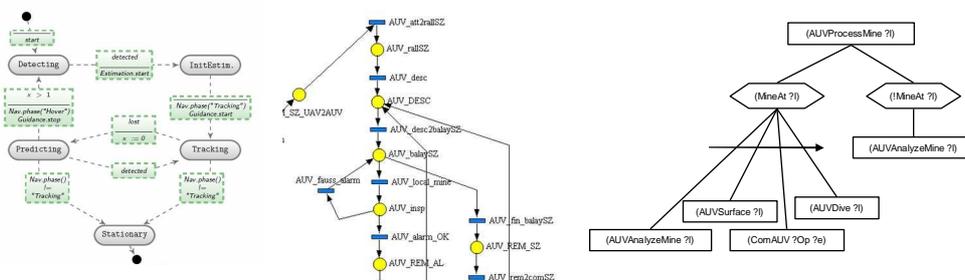
9

GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse

ONERA

Architecture décisionnelle

- La fonction **supervision**
 - Déclenche les **actions élémentaires**
 - Suite à aléa, décide de la réaction à programmer et à quel niveau la programmer
- Modélisation du comportement d'un véhicule → **automate à états** : machines à états, réseaux de Petri, réseaux hiérarchiques de tâches HTN...



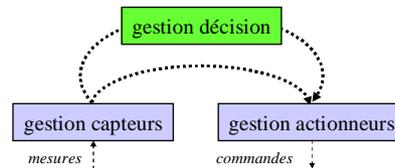
10

GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse

ONERA

Architecture décisionnelle

- Architecture hybride
- Au moins du **délibératif**
 - autonomie décisionnelle
 - top-down : raisonnement conditionne action
- Au moins du **réactif**
 - réaction d'urgence
 - bottom-up : perception déclenche action
- Pas de solution unique : laboratoires et industriels développent leur propre solution



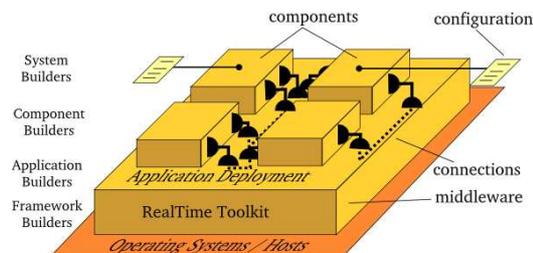
11

GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse

ONERA
OFFICE NATIONAL D'ÉTUDES ET RECHERCHES AÉRONAUTIQUES

Exemple d'architecture monodrone

- **Orocos**
 - Open Robot Control Software project
 - Une application est construite à base de composants
 - Un composant est décrit par des flux de données, des services, des propriétés
 - Un composant peut réagir à des événements, traiter des requêtes, et exécuter des scripts en temps réel



12

GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse

ONERA
OFFICE NATIONAL D'ÉTUDES ET RECHERCHES AÉRONAUTIQUES

[Onera/DCSD : moyens d'essais aériens]

- ReSSAC = Recherche sur les Systèmes Sûrs Autonomes Coopérants

- Voilure tournante
 - 2 Yamaha **ReSSAC-RMax**
 - 4 Benzin **ReSSAC**
 - Turbine
 - Moteur thermique
 - Moteur électrique
- Voilure fixe : ReSSAC-Mousse



	Masse au décollage	dont Charge Utile
ReSSAC-RMax	90kg	30kg
ReSSAC-Turbo	30kg	10kg
ReSSAC-Vario	13kg	3kg
ReSSAC-Mousse	1,2kg	<0,1kg

13

GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse

ONERA
OFFICE NATIONAL D'ÉTUDES ET DE RECHERCHES AÉRONAUTIQUES

Exemple d'architecture monodrone

- **Orococ** sur les drones RMax/ReSSAC de l'Onera

- Projet fédérateur Onera 2002-2006
- Mission de recherche et sauvetage
- VTOL (Vertical Take-Off and Landing)
 - Longueur avec pales 3,63m, hauteur 1,24m, masse à vide 60kg, charge utile 30kg, autonomie 1h
 - Autorisation DGAC « vol automatique »



- Vol autonome



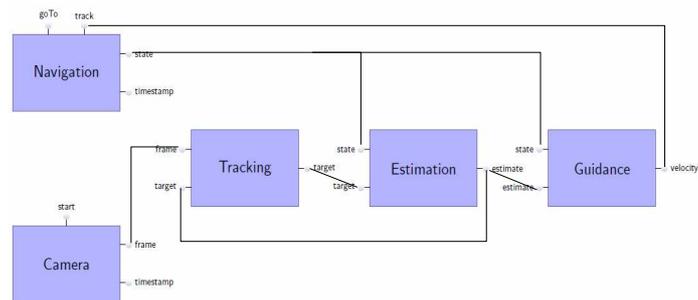
14

GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse

ONERA
OFFICE NATIONAL D'ÉTUDES ET DE RECHERCHES AÉRONAUTIQUES

Exemple d'architecture monodrone

- Orocos sur RMax/ReSSAC : exemple d'application
 - Implémentation du suivi de cible
 - Composants : Caméra, Navigation (pour la communication avec l'avionique), Suivi de cible, Estimation et Guidage pour le traitement d'image



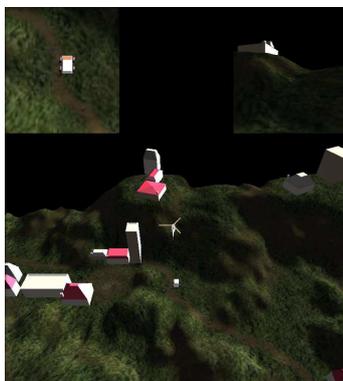
15

GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse

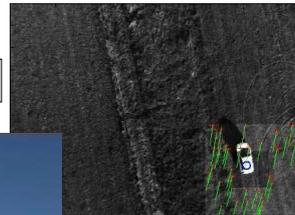
ONERA
Où l'aéronautique rencontre l'espace

Exemple d'architecture monodrone

- Orocos sur RMax/ReSSAC : exemple d'application
 - Simulation et expérimentations fin 2009



Démonstration UAV Show



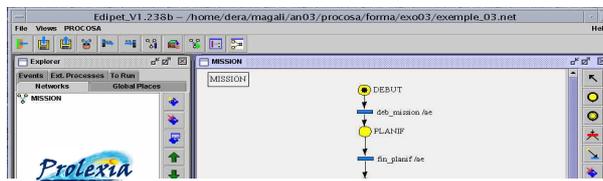
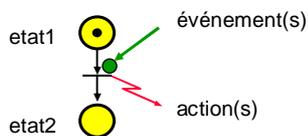
16

GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse

ONERA
Où l'aéronautique rencontre l'espace

Exemple d'architecture monodrone

- Le logiciel Onera ProCoSA®
 - Programmation et Contrôle de Systèmes à forte Autonomie
 - Modélisation du comportement du véhicule avec réseaux de Petri interprétés = graphe représentant états et changements d'état
 - Événements = préconditions des changements d'état
 - Actions = conséquences du changement d'état, dont appel des fonctions pour l'autonomie décisionnelle
 - Outil de développement : interface graphique EdiPet



17

GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse

ONERA

Exemple d'architecture monodrone

- ProCoSA® sur les drones sous-marins de DGA/TN Gesma
 - Études 1998-2006
 - Redermor, véhicule expérimental de Guerre des Mines, 6m, 3400kg
 - Mission de surveillance
 - Architecture décisionnelle NIVAS : Navigation Intégrée pour Véhicule Autonome Sous-marin
 - Étude 2007-2010
 - Daurade, véhicule conçu par ECA, 5m, 1000kg
 - PEA « AUV de REA Discret » Rapid Environmental Assessment : mission de recueil dynamique d'information pour la classification de fond
 - Architecture décisionnelle LHOVAS : Levé Hydrographique et Océanographique pour Véhicule Autonome Sous-marin
- Architecture incluant planifications d'itinéraire, de ralliement, des opérations (balayage notamment)
- Interface opérateur IOVAS



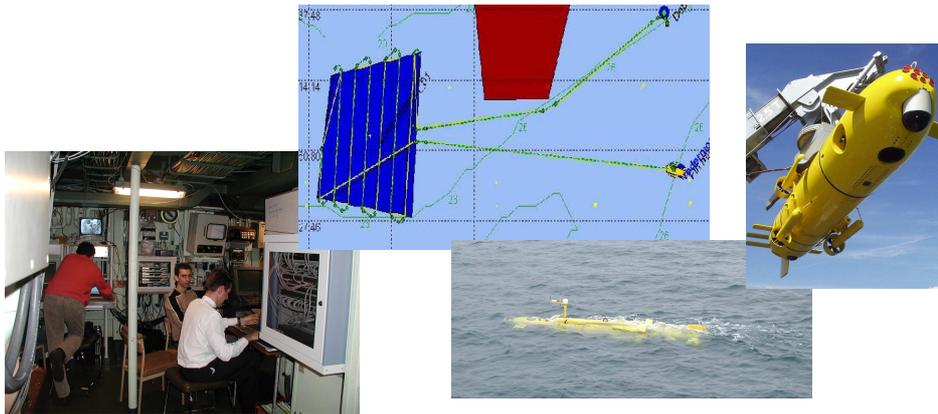
18

GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse

ONERA

Exemple d'architecture monodrone

- ProCoSA® sur le Redermor
 - Mars 2006 : premières missions simples totalement autonomes



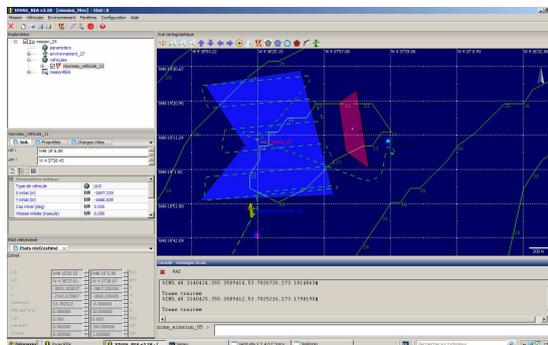
19

GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse



Exemple d'architecture monodrone

- ProCoSA® sur le Daurade
 - Juin 2010 : opérations de balayage de zones quelconques, pouvant être côtières, opérations d'exploration de la couche d'eau, profils de célérité



20

GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse



Plan

- Contexte monodrone
- Autonomie décisionnelle
- Architecture décisionnelle
- Exemples d'architectures Onera / DCSD

- Contexte mult drone
- Coopération
- Exemple du PEA Action

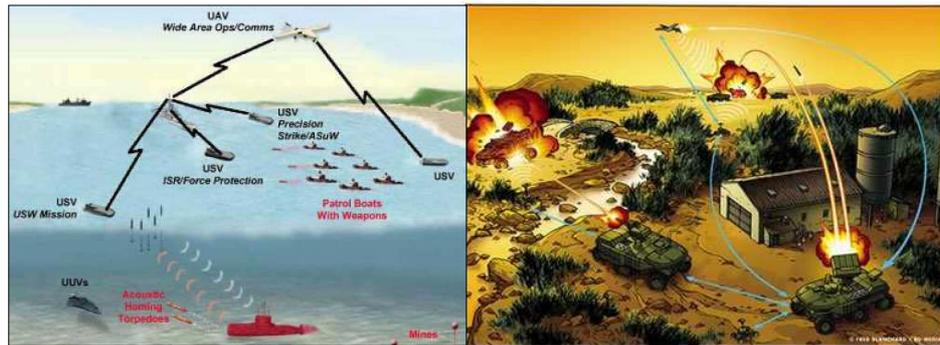
Contexte mult drone

- **Intérêt** de la coopération de plusieurs drones
 - Objectifs nécessitant plusieurs véhicules, parallélisme d'actions
 - Complémentarité de véhicules évoluant dans différents milieux
 - Répartition des charges utiles sur les véhicules
 - Augmentation des performances pour les missions de surveillance, renseignement...
 - Augmentation de la robustesse aux défaillances
 - Meilleure capacité de perception → confiance
- [Introduction possible de véhicules pilotés, de véhicules porteurs, de capteurs déposés...]

Contexte multidrone

- Bulles

- Bulle Opérationnelle Aéroterrestre (BOA)
- Bulle Opérationnelle Aéromaritime (BOAM)



23

GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse

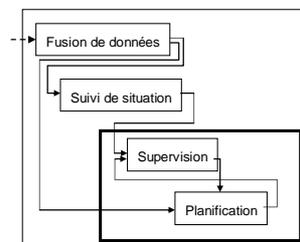
ONERA
Où l'air commence à voler.

Coopération

- Mission réalisée par une **équipe**, nécessairement **hiérarchisée** dès que plus de 3 véhicules
- **Architecture décisionnelle** niveaux véhicule, sous-équipe et équipe

- **Stratégies adaptatives**

- Communication aux différents niveaux, avec l'opérateur
 - Quoi (quelles données fusionnées, quelles situations identifiées, quelles actions décidées, exécutées, quels plans calculés) ?
 - Quand ?
 - A qui ?



24

GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse

ONERA
Où l'air commence à voler.

Exemple du PEA Action



- « Étude de coopération de multivéhicules hétérogènes »
- 2007-2013, pour DGA MI (Maîtrise de l'Information), TT (Techniques Terrestres) et TN (Techniques Navales)
- Consortium ONERA + LAAS/CNRS



- Objectif : « Étudier les moyens disponibles et préparer les technologies futures en vue de renforcer les performances de la fonction localisation dans un réseau d'entités hétérogènes constituées de vecteurs autonomes »
→ vers une architecture décisionnelle multidrone

- 6 scénarios consolidés avec les opérationnels
- Démonstrations scientifiques avec véhicules réels



25

GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse

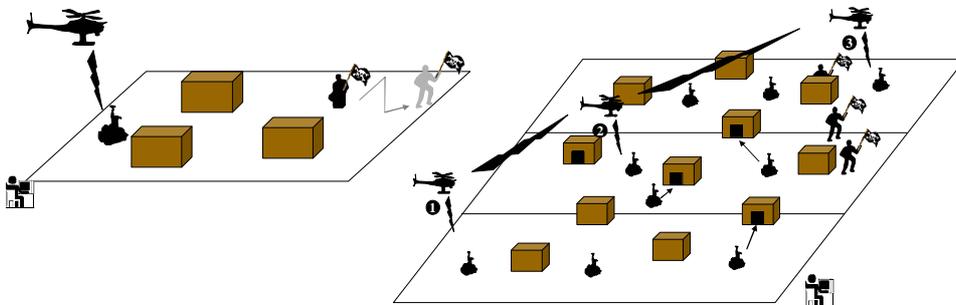
LAAS-CNRS

ONERA

Le PEA Action



- 4 scénarios aéroterrestres, de 2 à 12 véhicules (AAV et AGV)
- Contrôle d'une zone ruraine : localisation et poursuite de cibles non coopératives
- Complexité croissante : zones, cibles, aléas...



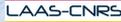
26

GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse

LAAS-CNRS

ONERA

Le PEA Action 					
	Scénarios aéroterrestres	Scénario I	Scénario III	Scénario V	Scénario VI
Cibles	Nombre et comportement avant détection	1, immobile	1, en mouvement	1, en mouvement	Nombre non connu
	Pénétration dans les bâtiments	non	non	non	oui
Communications (oui = toujours effective)	AAV-Opérateur	oui	non	non	non
	AAV-AGV	non	non	non	non
	AGV-AGV	-	non	non	non
	AAV-AAV	-	-	oui	non
Capacités de navigation	Traversabilité AGV	connue	mal connue	mal connue	mal connue
	Autonomie énergétique	non limitée	non limitée	limitée	limitée
	Gestion anticollision AAV	-	-	oui	oui
Environnement	Zone de mission (taille croissante)	1 zone	1 zone	2 sous-zones	3 sous-zones
	Définition de points fixes	0	0	1 point fixe	3 points fixes
	Présence de capteurs déposés	non	non	non	oui
	Modèles de l'environnement	connus	mal connus	mal connus	mal connus

27 GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse  

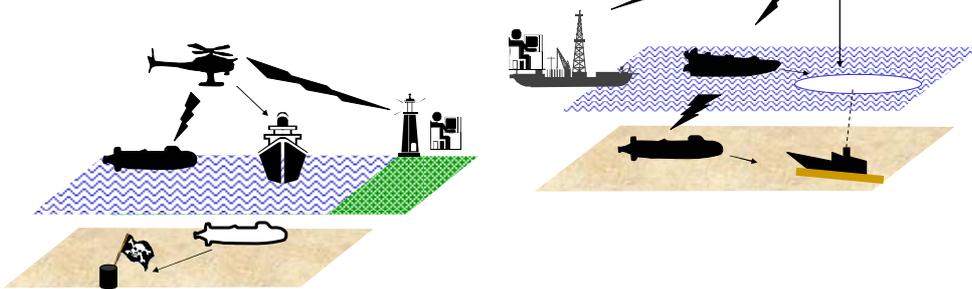
Le PEA Action 					
	Scénarios aéroterrestres	Scénario I	Scénario III	Scénario V	Scénario VI
Aléas	Un AAV ou un AGV détecte une cible (cet événement est recherché)	oui	oui	oui	oui
	Un AGV rencontre un obstacle	oui	oui	oui	oui
	Un AGV se perd	oui	oui	oui	oui
	Communication AAV-opérateur	non	oui	oui	oui
	Communication AAV-AGV	oui	oui	oui	oui
	Communication AGV-AGV	-	-	oui	oui
	Communication AAV-AAV	-	-	non	oui
	Perte du suivi d'une cible	oui	oui	oui	oui
	Consigne opérateur à l'équipe	non	oui	oui	oui
	Un capteur fixe détecte une cible	-	-	oui (opérateur)	oui
	Un capteur déposé détecte une cible	-	-	-	oui
	Perte d'un AGV	non	non	non	oui
	Indisponibilité GPS pour AGV	oui	oui	oui	oui
	Indisponibilité GPS pour AAV	non	non	non	oui

28 GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse  

Le PEA Action



- 2 scénarios aéromaritimes, avec 2 et 3 véhicules (AAV, AUV, ASV)
- Blanchiment d'un chenal
- Lutte antipollution



29

GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse

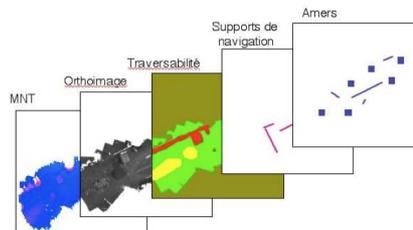
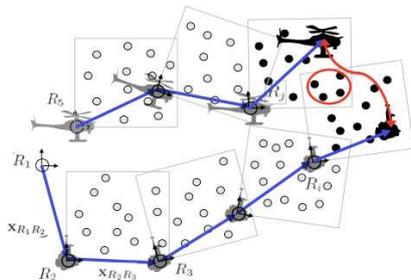
LAAS-CNRS

ONERA
Où l'aéronautique rencontre l'espace

Le PEA Action



- Fonction de fusion de données
 - Traitement des données disponibles pour assurer la fonction localisation
 - Localisation / SLAM (Simultaneous Localisation and Mapping) pour la localisation des véhicules, des cibles, des amers
 - Pistage pour assurer la localisation des cibles, leur suivi
 - Modélisation de l'environnement par « couches »



30

GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse

LAAS-CNRS

ONERA
Où l'aéronautique rencontre l'espace

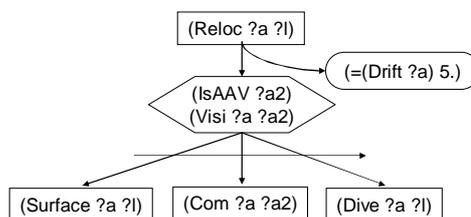
Le PEA Action



- Fonction de **planification**

- Plan = suite d'actions ou politique
- Coordination pour la coopération : rendez-vous, communication
- Hors ligne et en ligne pour réparation ou recalcul d'un plan
- → Problème **géométrique** (découpage en sous-zones, balayage) et **temporel** (synchronisation, évaluation des durées, identification des dépassements temporels)

- Modélisation sous formes d'HTN (Hierarchical Task Network)
- Hiérarchisation conjointe des tâches et de l'équipe



31

GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse

LAAS-CNRS

ONERA

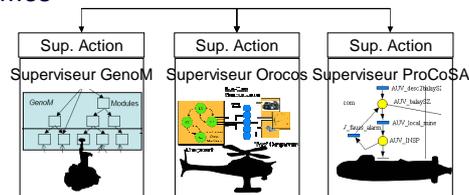
Le PEA Action



- Fonction de **supervision**

- Coopération de véhicules déjà autonomes

- Distribution du plan sur les sous-équipes et les véhicules
- Adaptation aux architectures décisionnelles locales



- Contrôle en ligne de l'exécution des actions planifiées
 - Déclenche les **actions élémentaires** : déplacement, perception, communication, replanification
- Adaptation en ligne à l'occurrence d'aléas
 - Décide la réaction à programmer et à quel niveau programmer cette réaction

32

GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse

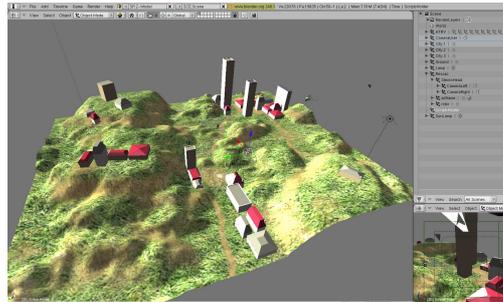
LAAS-CNRS

ONERA

Le PEA Action



- Simulation → MORSE Multi Open Robots Simulator Engine
 - Infrastructure de simulation distribuée
 - Simulation du monde par Blender
- Simulations hybrides
- Expérimentations avec véhicules réels
 - AAV RMax/ReSSAC de l'Onera
 - AGV Dala et Mana du Laas



→ <http://action.onera.fr/>

33

GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse

LAAS-CNRS

ONERA
Où l'aéronautique rencontre le ciel

Le PEA Action



- Expérimentations le 13/01/11 à Argelès-sur-mer
 - Évaluation du suivi d'un bâtiment de surface en mer par le RMax/ReSSAC



34

GdR Robotique – 24/01/11 – Onera Toulouse

LAAS-CNRS

ONERA
Où l'aéronautique rencontre le ciel



Autonomie décisionnelle, du monodrone au multidrone hétérogène

😊 Merci de votre attention 😊



retour sur innovation

Magali Barbier ONERA/DCSD Toulouse