

ONERA / 24 janvier 2011



## ***Robotique Terrestre*** **Interactions Homme – Robot** ([joel-g.morillon@fr.thalesgroup.com](mailto:joel-g.morillon@fr.thalesgroup.com))



- Rappel du cadre applicatif
- De la téléopération à l'autonomie (de déplacement)
- Approche par les « comportements sensorimoteurs »
- Des niveaux d'autonomie... aux modes d'autonomie
- Choix actuel

# Rappel : Contour des systèmes concernés



■ Système robotisé = **Porteur** de mission pour :

1. **Préserver les personnels**
2. Accroître les capacités opérationnelles (missions nouvelles)
3. Gérer les tâches à faible valeur ajoutée (stress, pénibilité, permanence, ...)
4. Optimiser les ressources en personnels

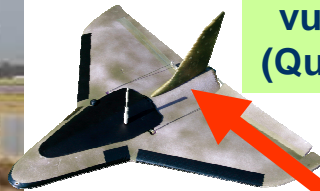
■ La place de l'homme dépend de la **mission** et de la **maturité technique**

# Missions adressées en priorité



Observation & Surveillance (J/N, NRBC, ...)

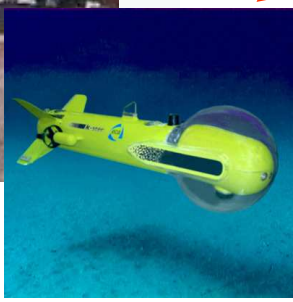
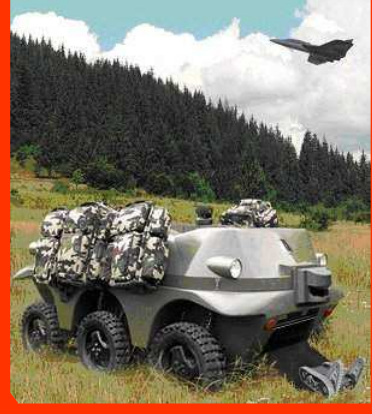
Logistique / Convois automatisés



Attention à la vulnérabilité des robots (Quelle auto-protection ?)



Contre-minage et lutte anti-IED



Récent : Combat



ONERA / 24 janvier 2011



Les informations contenues dans ce document sont la propriété exclusive du Groupe Thales. Elles ne doivent pas être divulguées sans l'accord écrit de Thales



# Etat des lieux de la robotique militaire



## Niveau actuel d'exploitation opérationnelle :

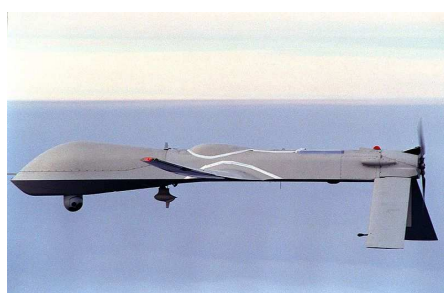
### ■ Plusieurs milliers de mini-UGV **téléopérés** en service :

- Irak / Afghanistan
- Talon (Qinetiq) / Packbot (i-Robot)
- NEDEX / C-IED / Reconnaissance



### ■ Exploitation intensive des drones :

- Du MALE/HALE au mini-drone tactique :



### ■ ...et quelques « UGV lourds » télécommandés



ONERA / 24 janvier 2011

# Téléopération ou Autonomie (1) ?



La **téléopération** répond en l'état à une grande part du besoin :

■ ...moyennant quelques précautions pour garantir la crédibilité :

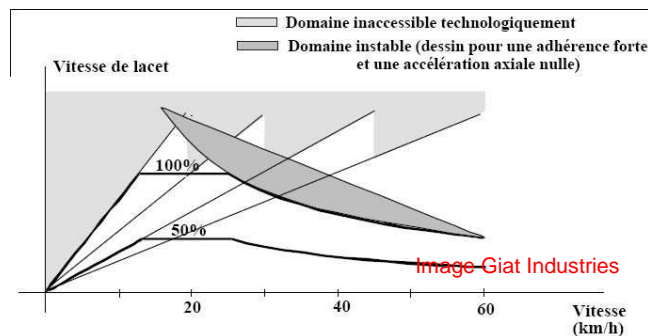
- Gestion des pertes de communication :
  - Modes de récupération des transmissions

Exemple : « **Rétro-traverse** »



- Compensation du manque de retours kinesthésiques :

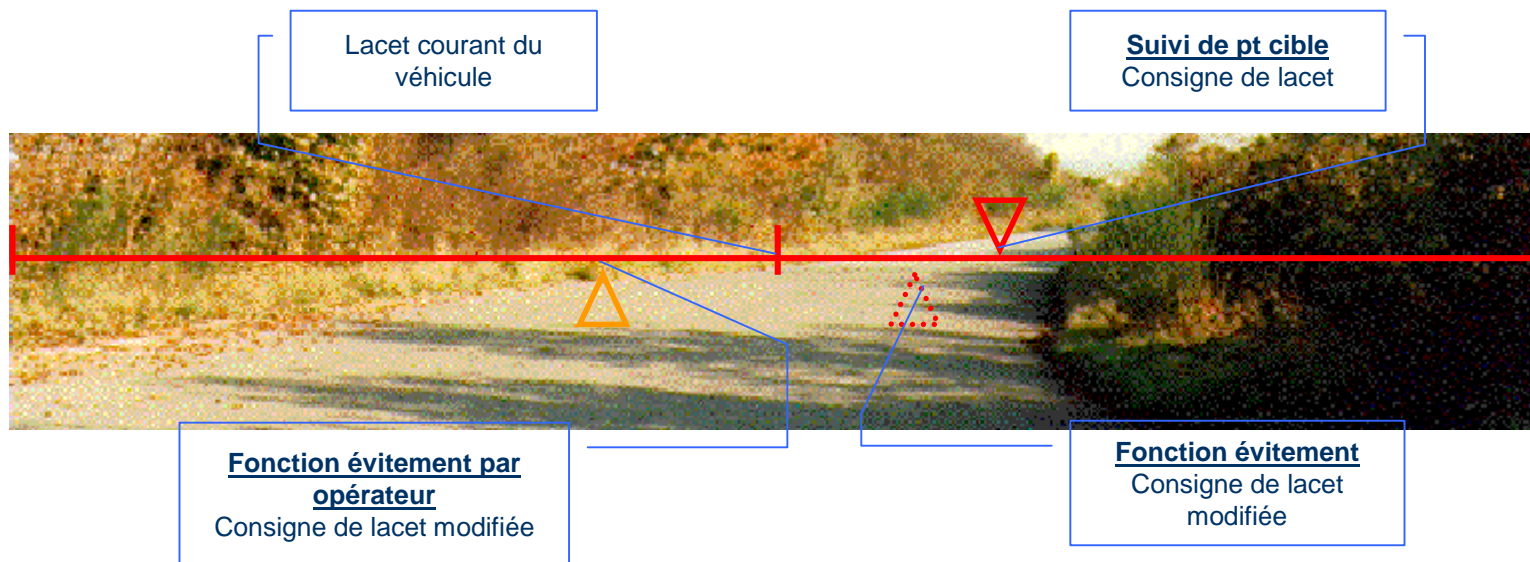
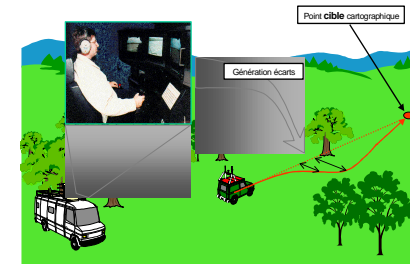
Exemple : « **Bridage Vitesse/Direction** »



# Téléopération ou Autonomie (2) ?



- **L'autonomie de déplacement** n'est pas (encore) mature
  - Exemple d'un **contrôle partagé** : « Navigation sous contrainte » :
    - Evitement d'obstacle autonome (laser 2D)
    - Possibilité d'action « au vol » de l'opérateur :
      - **Modulation** de la consigne d'évitement
      - **Reprise en main**
    - **Conciliation du caractère d'anticipation des traitements automatiques** avec les **corrections de l'opérateur**, par nature souvent contradictoires
    - Fourniture à l'opérateur d'une information adaptée

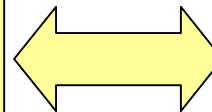


# Téléopération ou Autonomie (3)



- Un accroissement de l'autonomie de déplacement reste nécessaire :
  - Réduction de la dépendance au lien radio « robot-PC contrôle »
  - Focalisation des opérateurs sur la Mission (Charge Utile)
  - Réduction du nombre d'opérateurs
- Quid de « l'autonomie décisionnelle (tactique) » ?
  - Globalement non accessible (acceptable) à court terme...  
... mais attention à l'accroissement des « automatismes embarqués »
- Orientation actuelle :
  - L'autonomie complète n'est pas la finalité
  - L'autonomie complète n'est techniquement pas accessible
  - L'autonomie complète n'est pas souhaitable

Recherche d'une **Coopération** entre Homme / Système répartissant les rôles :  
- Selon la complexité de la mission  
- Selon la volonté de l'opérateur  
- Selon la maturité technique

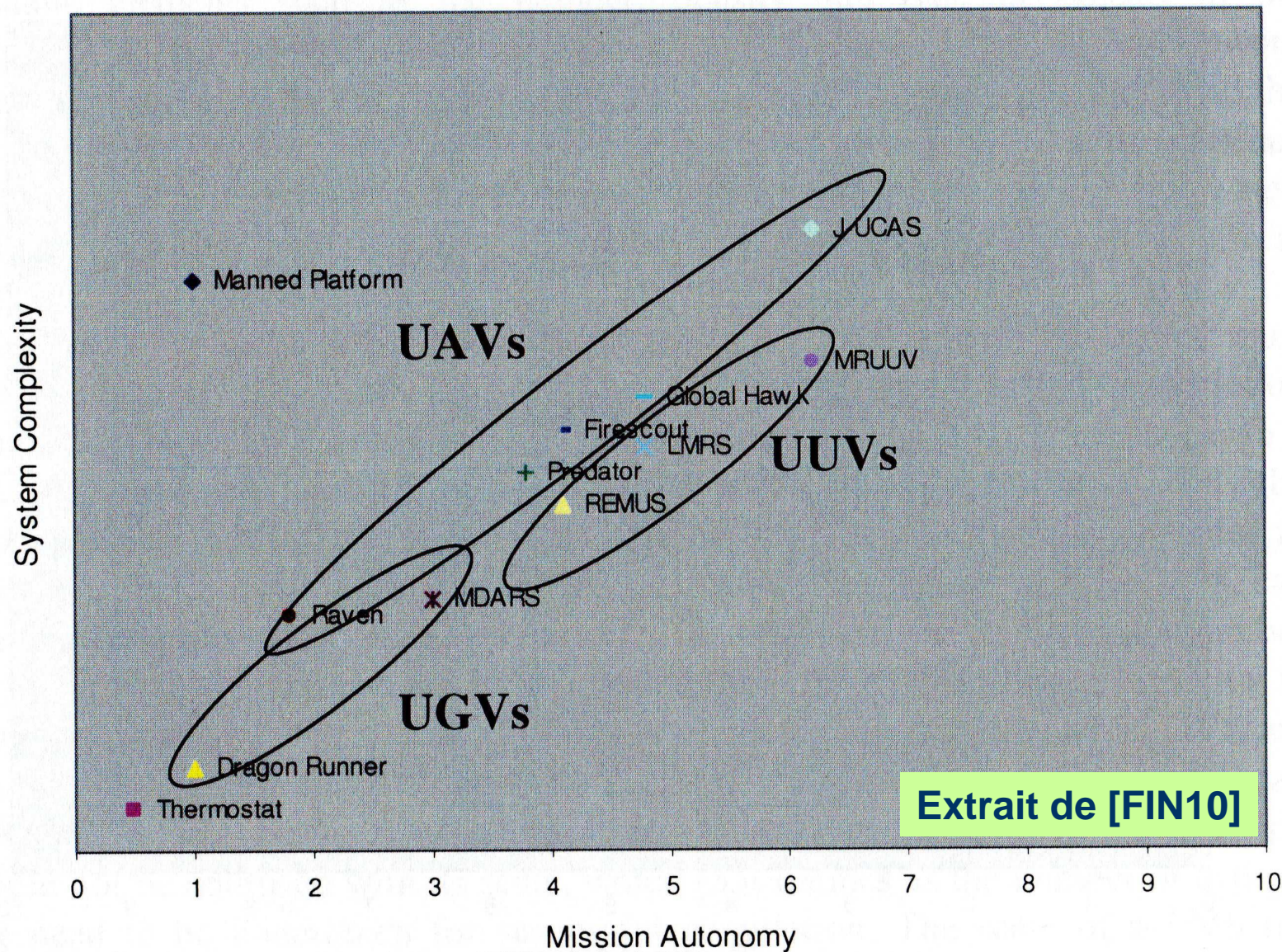


Télécommande  
Contrôle supervisé  
Contrôle partagé  
Echange de contrôle  
Contrôle coopératif  
Etc.

Segmentation  
DGA



# Autonomie : Positionnement relatif des UxVs



ONERA / 24 janvier 2011

Les informations contenues dans ce document sont la propriété exclusive du Groupe Thales. Elles ne doivent pas être divulguées sans l'accord écrit de Thales



# Autonomie : Approche référencée sur l'environnement



- Navigation à l'estime (et GPS) insuffisante



→ **Suivi  
de « points de passage »**

- Imprécision cartographique
- Disponibilité (GPS)
  - \* Forêts, villes, ...
- Robustesse (ODO / Compas)
  - \* Glissements / CEM
- Coût / Perfs / Contraintes (INU)
  - \* Dérive, initialisation, ...

- Exploitation de connaissances spécifiques sur l'environnement

- Objets fixes (amers) ou mobiles, utilisés en référence

- Déplacements du robot relativement à ces objets :
  - Amers naturels, routes, lisières, bâtiments, véhicules, etc.
- Connus a priori (carte) ou saisis au vol

**+ Détection/évitement des obstacles**

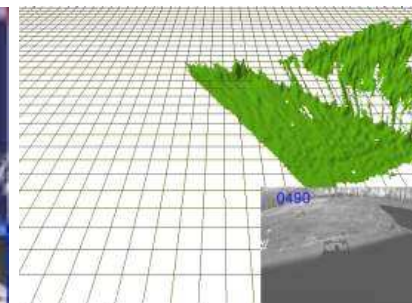
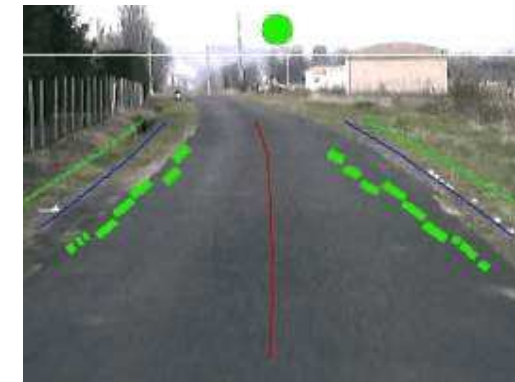
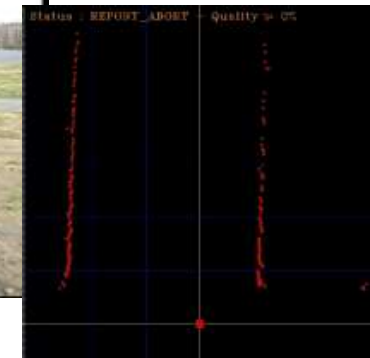


# Déplacement autonome : « Comportements Sensorimoteurs »



## ■ Bibliothèque :

- **Téléopération** (Thales)
- **Navigation par points de passage** (Thales)
- **Apprentissage et rejeu de trajectoires** (Thales)
- **Suivi autonome de véhicules** (INRIA S., IRISA, LISV, Thales)
- **Suivi d'amer** (INRIA S., IRISA, LISV)
- **Suivi de lisière** (ROBOSOFT/PGES)
- **Suivi de route autonome** (LASMEA, CMM)
- **Évitement d'obstacle** (LAAS, PGES)



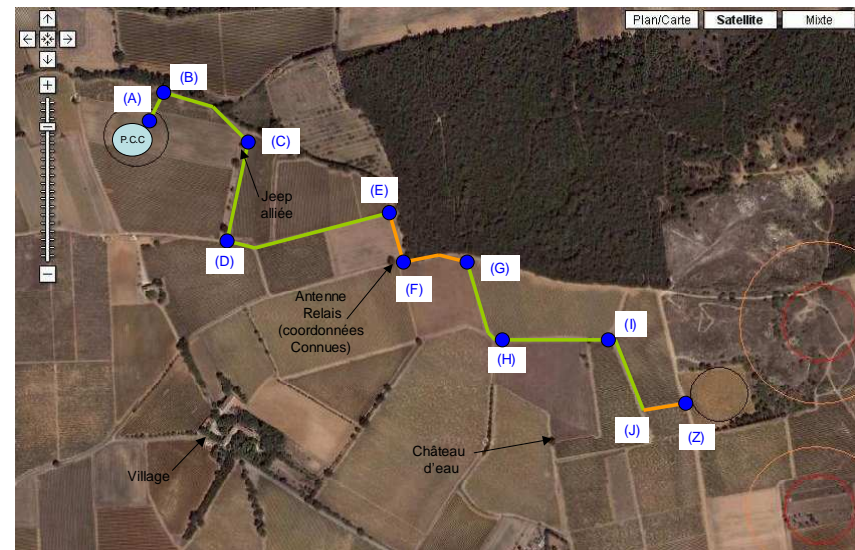
Les informations contenues dans ce document sont la propriété exclusive du Groupe Thales. Elles ne doivent pas être divulguées sans l'accord écrit de Thales

# Rappel : Déroulement d'une mission type



## ■ Phase 1 : Préparation de la mission (planification) :

- Activité hors ligne
- Utilisation d'un SIG générique :
  - Fonctions d'assistance dédiées :
    - Inter-visibilités multiples, coupes de terrain, distances, point culminant, ...
    - Définition d'itinéraires, de points de passages, de chenaux, de tâches, ...
    - Définition des « modalités de déplacement » (Comment aller à l'étape suivante ?)
- Limitations :
  - Imprécision cartographique
  - Aléas non signalés, ...



## ■ Phase 2 : Exécution de la mission (suivi / re-planification éventuelle)

- Mobilité & Charge utile
- Gestion des aléas (via l'opérateur / automatique)



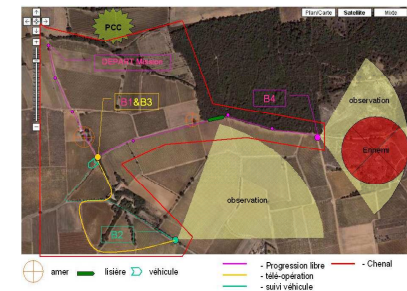
# Exploitation des « Comportements Sensorimoteurs »



- Activation unitaire en cours de mission
- Enchaînement de plusieurs comportements :
  - Imposé en préparation de mission
  - Automatique en cours de mission :
    - « Notion de **Progression libre** » :
      - Sélection automatique des CS (avec CNRS/GREYC)
      - Notion de « **domaine de délégation** »
        - A minima spatial et temporel



- Caractérisation du rôle de l'opérateur :
  - Comment le définir ?
  - Comment segmenter des classes d'interaction ?
    - Du contrôle manuel à une « certaine » autonomie de déplacement, prenant également en compte les tâches de la mission



→ Définition de « n » modes d'autonomie

# Niveaux d'autonomie : De multiples définitions...



## Levels of Autonomy as Defined by the Uninhabited Combat Air Vehicle Program

### Level 1 (Manual Operation)

- The human operator directs and controls all mission functions.
- The vehicle still flies autonomously.

### Level 2 (Management by Consent)

- The system automatically recommends actions for selected functions.
- The system prompts the operator at key points for information or decisions.
- Today's autonomous vehicles operate at this level.

### Level 3 (Management by Exception)

- The system automatically executes mission-related functions when response times are too short for operator intervention.
- The operator is alerted to function progress.
- The operator may override or alter parameters and cancel or redirect actions within defined time lines.
- Exceptions are brought to the operator's attention for decisions.

### Level 4 (Fully Autonomous)

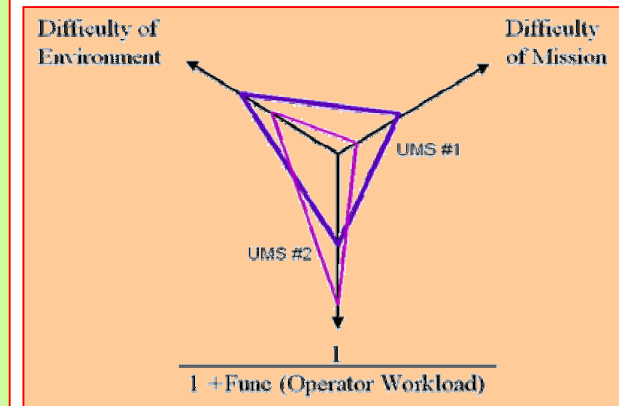
- The system automatically executes mission-related functions when response times are too short for operator intervention.
- The operator is alerted to function progress.

(USAF Boeing X-45 [AUT05])

**Discriminants principaux (H-S) :**

**Analyse de la complexité ↔ Délai de réaction**

Future Combat System  
(10 niveaux)  
[KAM02]

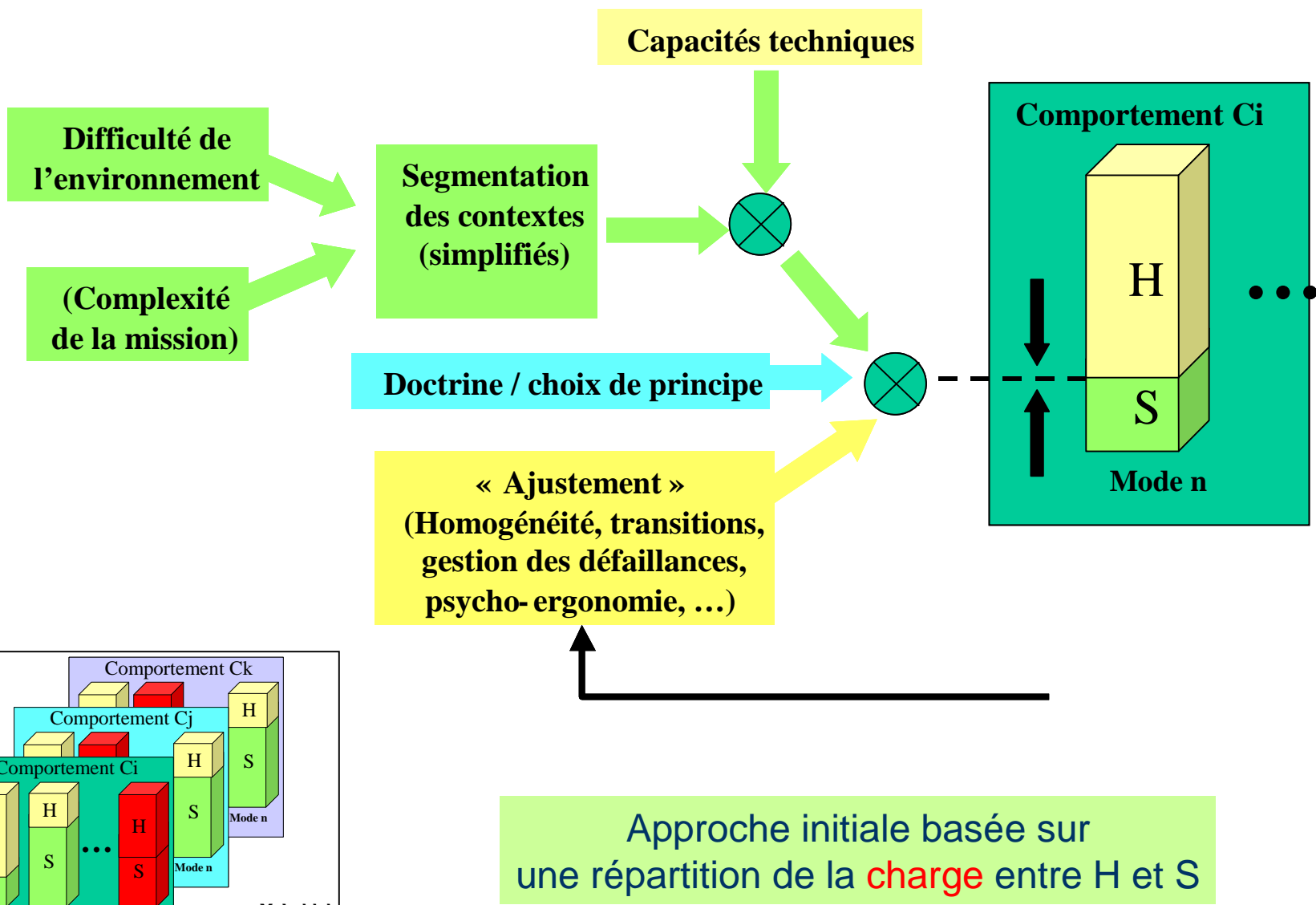


(ALFUS/NIST [HUA03])

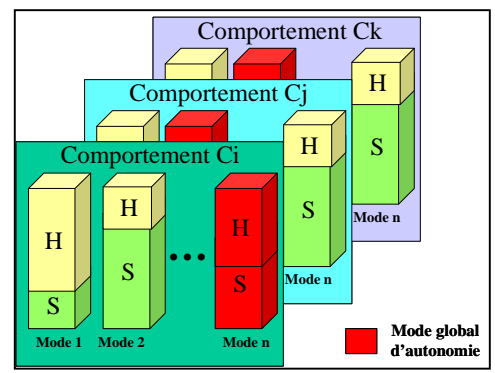
DGA  
(8 niveaux)

USAF (OODA loop)  
Observe-Orient-Decide-Act  
[AUT05]

# Principes et contraintes d'une répartition H-S



ONERA / 24 janvier 2011



Approche initiale basée sur une répartition de la **charge** entre H et S

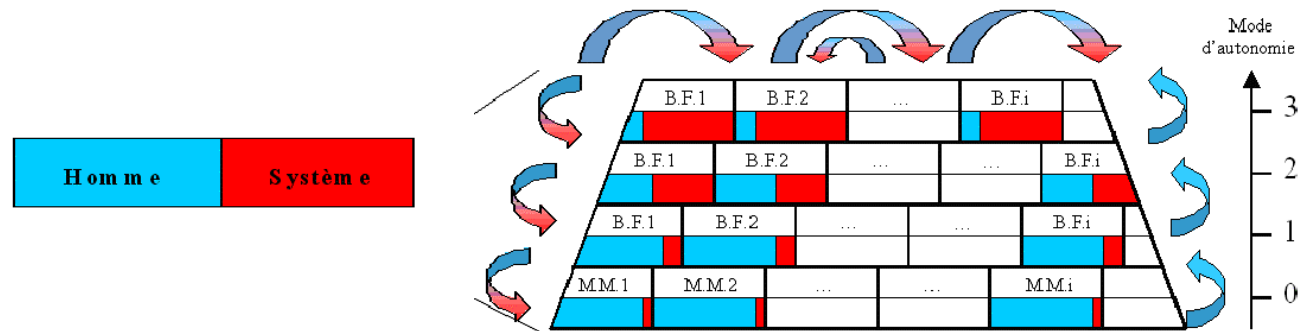
Les informations contenues dans ce document sont la propriété exclusive du Groupe Thales. Elles ne doivent pas être divulguées sans l'accord écrit de Thales

# Du concept à l'implémentation système...



## ■ Approche initiale :

- Définition de « n » taux de répartition H-S pour chaque CS
- Regroupement des taux « similaires » → Un « mode d'autonomie »
- Puis, « gestion pertinente » des transitions...



## ■ Amélioration de la pertinence :

Répartition des tâches « macroscopique »

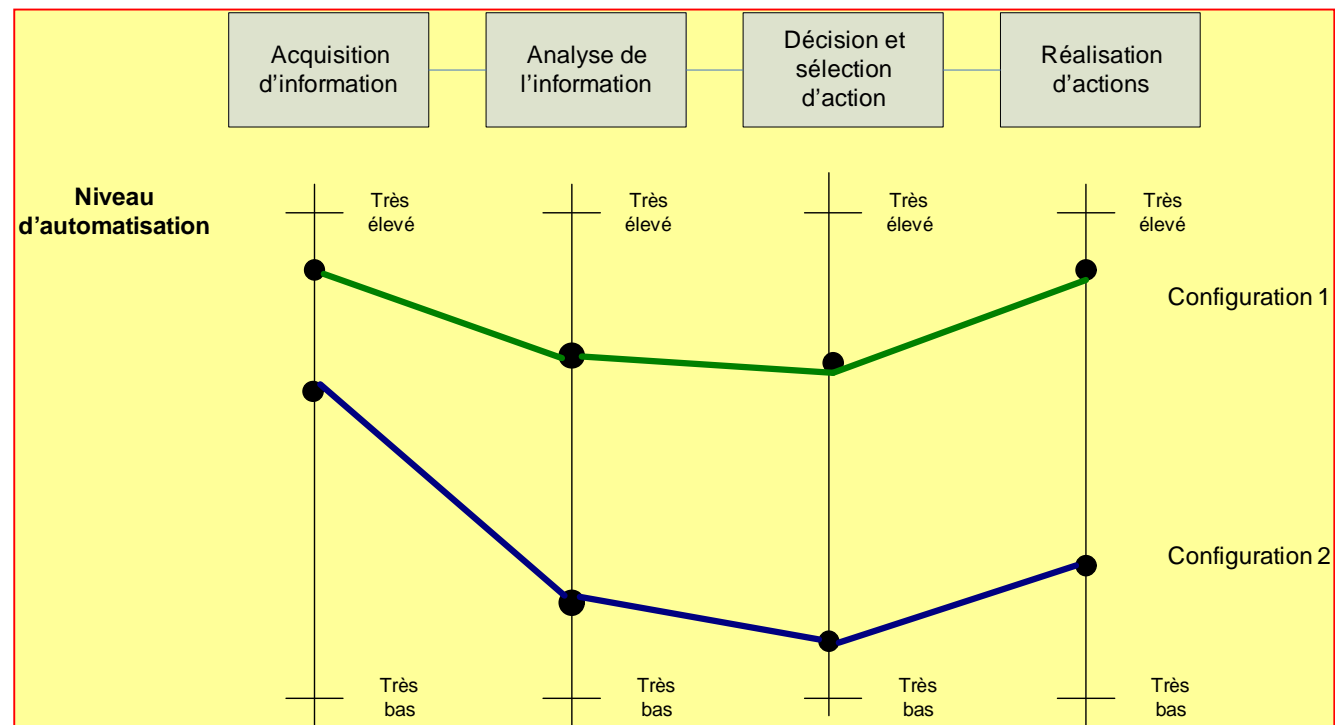
- Nombre de modes d'autonomie limité (simplicité d'exploitation)
- Recherche de modes d'autonomie satisfaisant les critères suivants :
  - **Indépendance vis à vis des CS :**
    - Pas de répartition H-S à bâtir pour chaque nouveau CS (dans chaque mode)
  - Indépendance et « auto-adaptation » à la **maturité technique** des CS
  - Compatibilité avec l'essentiel des partages H-S de la littérature
  - Compatibilité avec des modes 100% téléopérés et 100% autonome





Sheridan & Verplank  
d'après [SHE78]

Automation level	Description of Automation Function
1	Computers offers no assistance: human takes all decisions and actions
2	Computer offers a complete set of decision/action alternatives
3	Computer narrows the selection down to a few alternatives
4	Computer suggests one alternative
5	Computer executes that suggestion if the human approves
6	Computer allows human time to veto before automatic execution
7	Computers executes automatically, then necessarily informs humans
8	Computer informs the human only if asked
9	Computer informs the human only if it (the computers) decides to
10	Computer decides everything and acts autonomously, ignoring human



Parasuraman et al.  
d'après [PAR00]



## ■ Prise d'informations :

- Acquisition et enregistrement de multiples sources d'informations
- Positionnement et orientation des capteurs
- Traitement préliminaire (filtrage) des données

## ■ Analyse d'informations :

- Manipulation et enrichissement des informations récupérées
- Elaboration d'alternatives possibles

## ■ Prise de décision :

- Prise de décision suite aux traitements cognitifs
- Sélection parmi plusieurs alternatives

## ■ Action :

- Implémentation d'une action consistante avec la décision

# Répartition des catégories d'activité entre H et S



- 16 combinaisons possibles de répartition H-S :
  - 0 = catégorie est affectée essentiellement à l'opérateur humain
  - 1 = catégorie affectée essentiellement au robot.

	C2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
	C3	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
	C1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
	C0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0

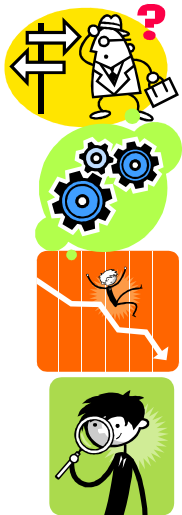
A éliminer car H traite l'information  
mais ne décide pas :  
trop coûteux en terme de communication

A éliminer puisque la majorité des informations  
est acquise par les capteurs du robot

A éliminer  
(H esclave)

C0 : Prise d'informations  
C1 : Analyse d'informations  
C2 : Prise de décision  
C3 : Réalisation de l'action

# 4 modes d'autonomie



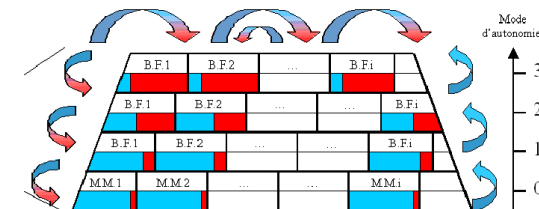
C2	0	0	0	0	1
C3	0	0	1	1	1
C1	0	1	0	1	1
C0	1	1	1	1	1

téléopération  
Mode 0  
Téléopération « assistée »

**Finalemnt rejeté :**  
Souhait d'une analyse minimale d'informations à bord du robot

Mode 1

Mode 2 (tempo.)  
+  
Mode 3



Répartition des tâches « macroscopique »

→ Modes d'autonomie basés sur la « répartition de la prise de décision H-S »



# Caractérisation des modes d'autonomie : M0



## ■ Mode 0 :

- Mode de téléopération (éventuellement « assistée »)
- Utilisation possible des CS comme approche de réalité augmentée ou modérée mais jamais comme acteur de la mobilité du véhicule



Exemple pour les détections d'obstacles LIVIC/ LAAS

# Caractérisation des modes d'autonomie : M1



## ■ Mode 1 (≈ Contrôle supervisé) :

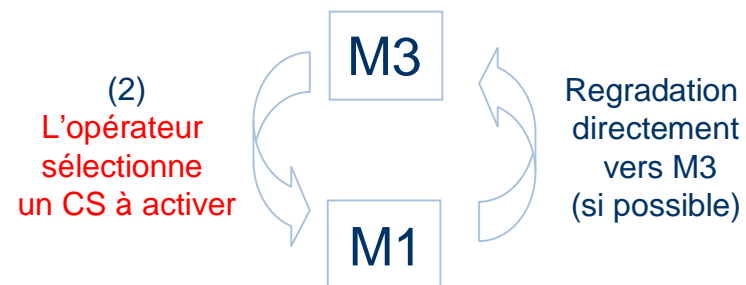
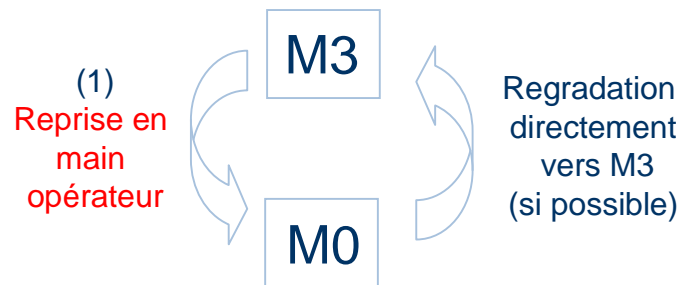
- Le robot propose les tâches à exécuter (« progression libre » et/ou Mission) et attend une validation de l'opérateur
- En l'absence de réponse H, le robot suspend l'exécution de la mission
- H peut aussi modifier le choix S, ou activer localement un CS ou sélectionner un autre objet à exploiter
- Ces différentes actions sont à considérer par S comme des ordres prioritaires à suivre immédiatement
- H prend toutes les décisions et surveille en permanence le bon fonctionnement du CS activé ou en cours d'activation

# Caractérisation des modes d'autonomie : M3



## ■ Mode 3 :

- Pendant la tâche de progression libre, S peut choisir et enchaîner les CS sans en référer à H
- H est néanmoins informé **a minima** des choix et de l'état courant de S
  - Criticité du **maintien d'une bonne conscience de la situation courante**
- En cas de problème, plusieurs possibilités :



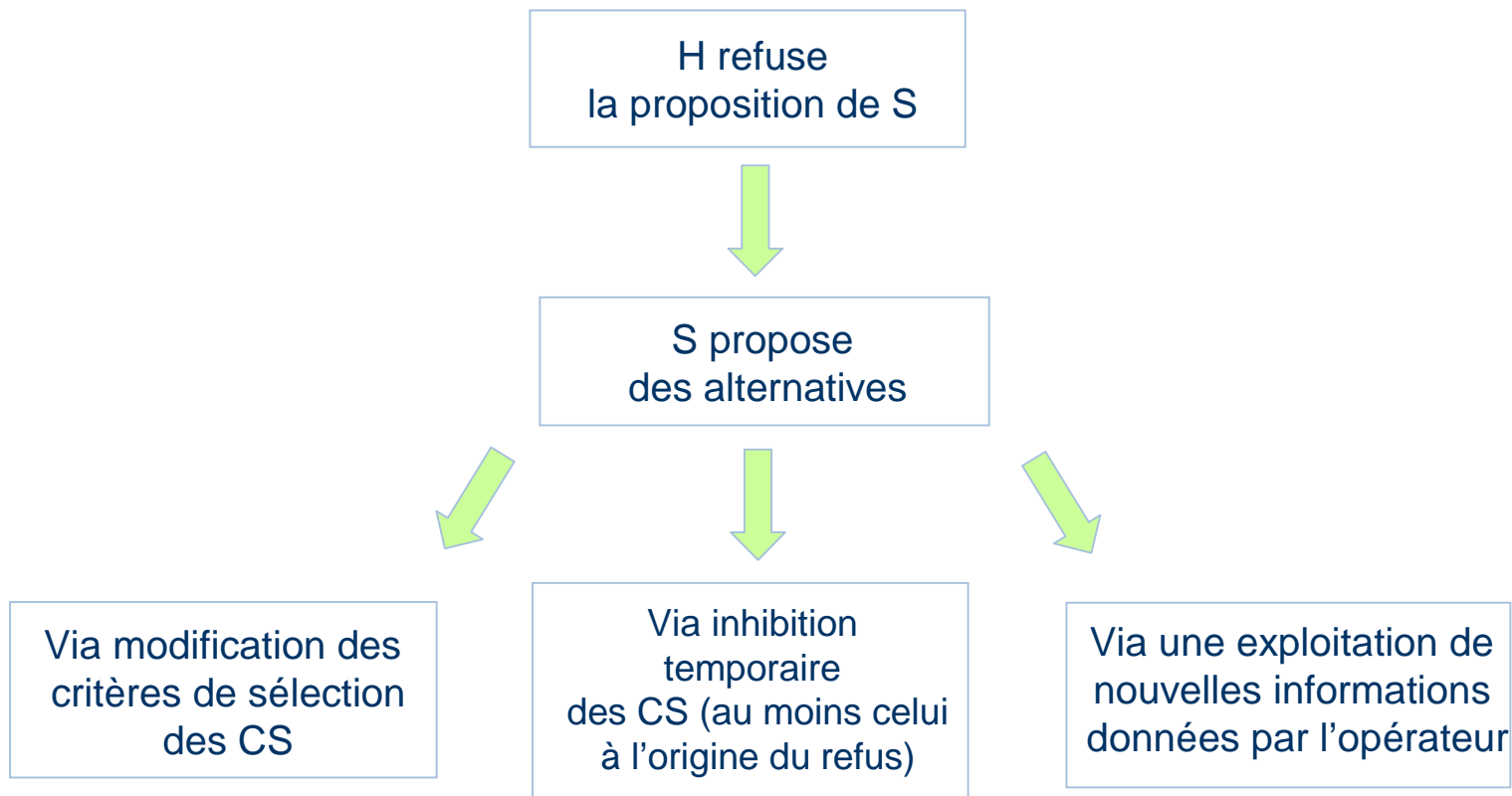
- Si il n'y a plus de CS activable en progression libre, on revient à un suivi de trajectoire qui tourne continuellement en tâche de fond

# Caractérisation des modes d'autonomie : M2



## ■ Mode 2 :

- Mode similaire à M3, mais S informe l'opérateur d'un changement (de CS). En l'absence de réaction de H **pendant un laps de temps donné**, S active le CS proposé
- S fournit à H un niveau d'information supérieur à M3







- Indépendamment du Mode d'Autonomie, H peut :
  - Moduler la vitesse maximale du véhicule
  - Reprendre au vol le contrôle en téléopération (→ M0)
  - Exiger du système qu'il reprenne immédiatement le contrôle (→ M3)
    - En cas d'impossibilité (aucun CS exploitable), le robot stoppe
  - Autoriser ou interdire l'emploi de certains CS
    - Car par exemple jugés trop peu performants dans la situation courante
  - Autoriser ou interdire l'emploi de certains amers
  - Sélectionner un nouvel objet (ajouté dans la BDD)
    - Si M1 → Ordre d'exploitation immédiate
    - Si M2, M3 → utilisation laissée au choix de S
  - Modifier le niveau d'autonomie maximal de la mission
  - Interrompre la tâche courante de la mission et forcer la suivante
  - ... **et beaucoup d'autres** nécessitant de poursuivre évaluation et caractérisation des Modes d'Autonomie



- Modes d'autonomie :
  - Poursuites des évaluations (RCE BOA, SAMUGV)
    - Caractérisation et spécificité des modes
    - Evolution des **règles de transition** entre modes (notamment à l'initiative du système) : Notion de « coût de transition » (incluant des critères psycho-ergonomiques)
  - Limitation à 3 modes (suppression « attente temporisée »)
- Progression libre :
  - Amélioration du **processus décisionnel TR (choix CS)** : POMDP
  - Détection automatique au vol des amers utilisables par les CS
  - Extension des tâches propres à la mission (en parallèle du déplacement)
- Autres :
  - Pour un CS donné : **Arbitrage TR multi-algorithmes**
    - Auto-évaluation / Homogénéité des indices de confiance

- [AUT05] **Autonomous Vehicles in Support of Naval Operations**, Committee on Autonomous Vehicles in Support of Naval Operations, National Research Council, ISBN: 0-309-55115-3, 256 pages, 6 x 9, (2005)
- [HUA03] Hui-Min Huang, Elena Messina, James Albus: **Autonomy Level Specification for Intelligent Autonomous Vehicles: Interim Progress Report**. Proceedings of the th 2003 Performance Metrics for Intelligent Systems (PerMIS) Workshop, Gaithersburg, MD, August 16-18, 2003
- [KAM02] G. M. Kamsickas, J. N. Wards. **Developping UGVs for the FCS program**. Proceedings of SPIE AeroSense, Unmanned Ground Vehicle Technology, Orlando (FL, Etats-Unis), 2003
- [SHE78] Sheridan, T.B., Verplanck, W.: **Human & Computer Control of Undersea Teleoperators**. Cambridge, MA, Man-Machine Systems Laboratory, Dept. Mechanical Engineering, MIT (1978)
- [PAR00] Parasuraman R., Sheridan T. B., & Wickens C. D. (2000). **A model for types and levels of human interaction with automation**. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics – Part A: Systems and Humans*, Vol. 30, N°3, May 2000
- [FIN10] Anthony Finn, Steve Scheduling. **Developments and Challenges for Autonomous Unmanned Vehicles**. ISBN: 978-3-642-10703-0, Springer, 2010

# Merci de votre attention !



ONERA / 24 janvier 2011