Véhicules Autonomes & connectés : l'IA peut-elle remplacer l'humain ?

Pr. Fabien Moutarde
Centre de Robotique
MINES ParisTech
PSL Research University

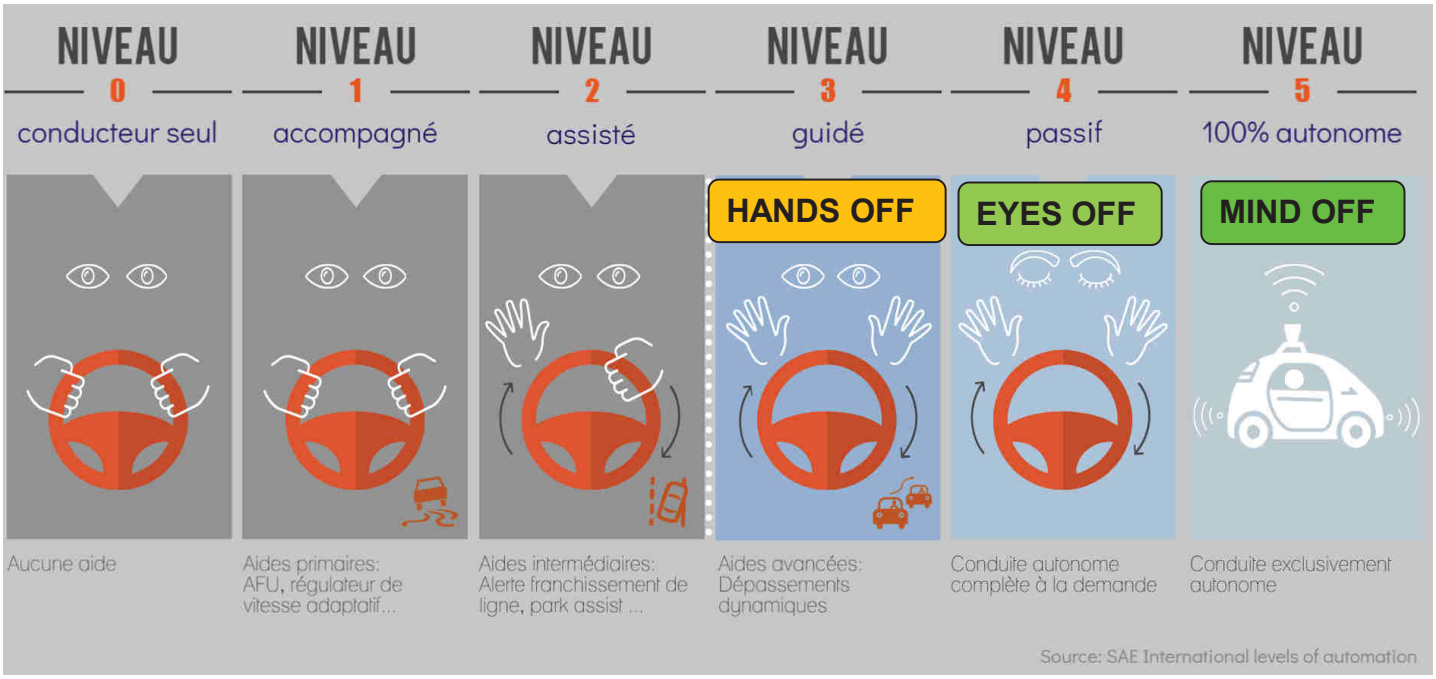
Fabien.Moutarde@mines-paristech.fr
http://people.mines-paristech.fr/fabien.moutarde

Le centre de Robotique de MINES ParisTech

~ 45 personnes (dont ~20 doctorants)
~ 1.8 M€/an de contrats de recherche

- **Robotique Mobile, Véhicules Intelligents & ITS**
  Compréhension temps-reel de scène (par vision 2D/3D et machine-learning), ego-localisation visuelle et SLAM visuel/laser, ADAS et Véhicules Autonomes, Intersections Automatisées, Conduite&Manoeuvres cooperatives, Prévision traffic routier
  *EU projects (**REACT/COM2REACT/AutoNet2030**)*
  *+ nombreux contrats industriels et Chaires (**Valeo, Safran, PSA**, …)*
- **Interactions Humains-Machines et Réalité Virtuelle**
  Robotique collaborative & reconnaiss. de gestes *(**Chaire PSA** "RRV", projet européen FP7-IP i-Treasures)*
  Immersion, Transférabilité virtuel/réel, …
- **Numérisation 3D et analyse nuages de points**
  Mobile Mapping System, numérisation environnement urbain, …
- **Commande non-linéaire (platitude) et filtrage avancé (IKF)**
- **Logistique Urbaine**

Véhicules Autonomes



Les 5 « niveaux d'automatisation » (SAE)

Un Véhicule Autonome est un robot mobile !

Perception → Raisonnement

BOUCLE ROBOTIQUE

Action

Démo de conduite automatisée par le centre de Robotique de MINES_Paris durant… IV'2002 !

FACILE sur route avec bons marquages au sol, et aucun autre usager !

En circulation « ouverte », c'est + compliqué (surtout en urbain)…

Les « ingrédients » du Véhicule Autonome

Robot ➔ percevoir + raisonner + agir

Il faut donc au Véhicule Autonome :

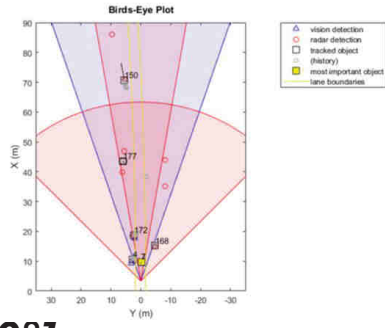
- Des capteurs
- Des algorithmes « intelligents »
  - pour la perception
  - pour la planification de trajectoire
  - pour la commande
- Un/des calculateur(s) embarqué(s)
- Des actionneurs (« drive by wire »)

- …et aussi une interface ergonomique Humain-Machine! *[pour transitions autopilot/manuel]*

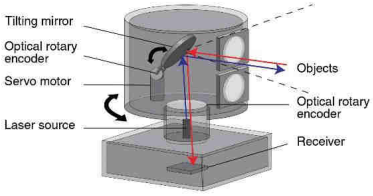
Capteurs pour un Véhicule Autonome

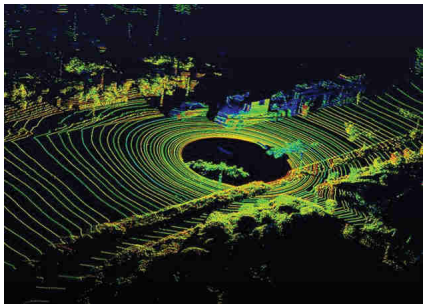
- **Caméras « classiques »** ***[portée ~500m, champ large]***

- **Radar(s)** ***[portée ~200m, champ étroit]***



- **LIDAR** ***[portée ~100m, champ jusque 360°]***





- **Ultrasons etc…**

LES Intelligences Artificielles

TRAITEMENT DU SIGNAL, IMAGES	Vision
	Reconnaissance d'objets
	Reconnaissance d'activités
	Recherche dans des banques d'images et de vidéos
	Reconstruction 3D et spatio-temporelle
	Suivi d'objets et analyse des mouvements
	Localisation d'objets
	Asservissement visuel
	Parole
APPRENTISSAGE AUTOMATIQUE	Apprentissage supervisé
	Apprentissage non-supervisé
	Apprentissage séquentiel et par renforcement
	Optimisation pour l'apprentissage
	Méthodes bayésiennes
	Réseaux de neurones
	Méthodes à noyau
	Apprentissage profond
	Fouille de données
ROBOTIQUE	Conception
	Perception
	Décision
	Action
	Interactions environnement/humains/robots
	Flottes de robots
	Apprentissage des robots
	Cognition pour la robotique et les systèmes

ALGORITHMIQUE ET AIDE A LA DECISION	Programmation logique et ASP (Answer Set Programming)
	Déduction, preuve
	Théories SAT
	Programmation par contraintes
	Recherche heuristique
	Planification et ordonnancement
	Réseaux bayesiens, raisonnement causal
	Systèmes multi agents
	Traitement de l'incertitude et de l'imprécision
	Théorie des fonctions de croyance
CONNAISSANCES	Bases de connaissances
	Extraction & nettoyage de connaissances
	Inférence
	Web sémantique et ontologies
	Sciences cognitives
	Traitement automatique de la langue

Cf « Livre blanc IA » de l'INRIA

LES Intelligences Artificielles (2)

- **Intelligence Artificielle, un domaine très vaste et hétérogène :**
  - **Raisonnement à base de règles, systèmes experts**
  - **Algorithmes de jeu (échecs, Go, etc..)**
  - **Multi-agents, émergence comportement collectif**
  - **…**
  - **Optimisation, recherche opérationnelles, programmation dynamique,**
  - **Planification (de trajectoire, de tâches, etc…)**
  - **Apprentissage machine (statistical Machine-Learning)**
    = modélisation fondée sur des données
    (optimisation, via exemples, de modèle paramétrique)

Principalement les 2 derniers sous-ensembles de l'IA qui sont pertinents pour les véhicules autonomes

Quelles IntelligenceS ArtificielleS pour le Véhicule Autonome ?

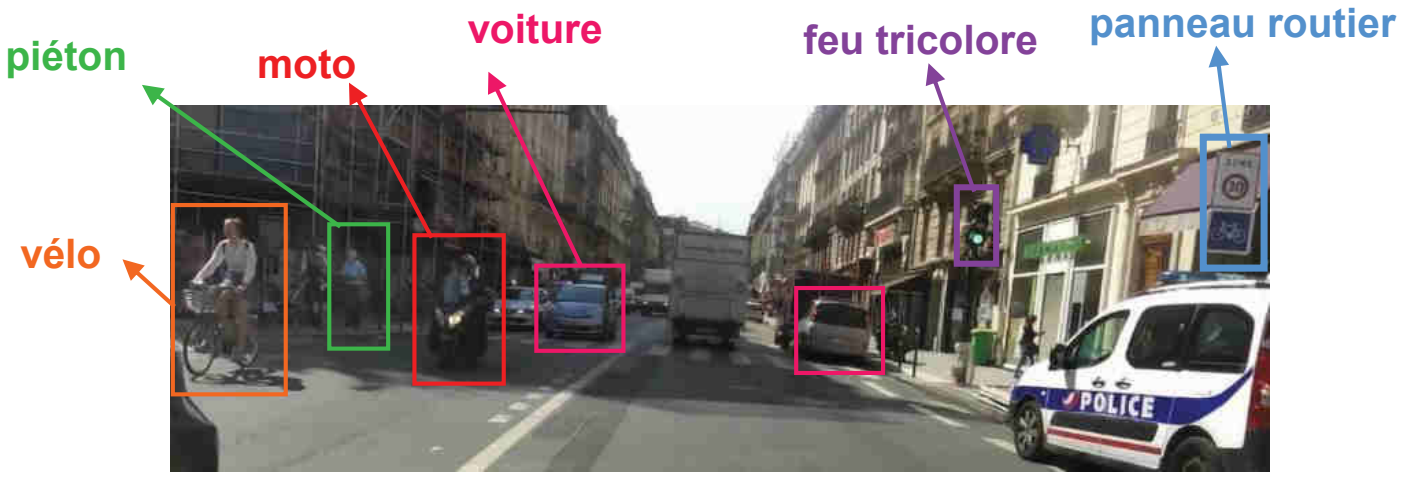
- **Interprétation « sémantique » environnement véhicule :**
  - **Détection et catégorisation/reconnaissance d'objets (voitures, piétons, vélos, panneaux, feux, …)**
  - ***Prévision des mouvements des autres usagers***
  - ***Inférence intentions conducteurs/piétons (ou policier !) d'après leurs regards/gestes***

- **Planification de trajectoire (y compris vitesse)**
  dans environnement dynamique incertain

- **Pour les aides à la conduite (ADAS) et automatisation partielle (niveaux 3-4) :**
  - **Analyse et compréhension attention et activités ou gestes du « conducteur-superviseur »**

Perception « Intelligente » pour Véhicule Autonome

Besoin avant tout de « *compréhension » temps-réel de scène*



Composant-clef pour Aides à conduite (ADAS) et la conduite automatisée

Forte contrainte temps-réel : traiter ≥ 10 images/seconde

Catégorisation visuelle d'objets : apprentissage-machine

Hors-ligne dans centre de R&D

ALGORITHME D'APPRENTISSAGE STATISTIQUE

(souvent fondé sur technique d'optimisation)

En temps-réel embarqué

Imagette à catégoriser

CLASSIFIEUR

Type d'objet (et probabilité)

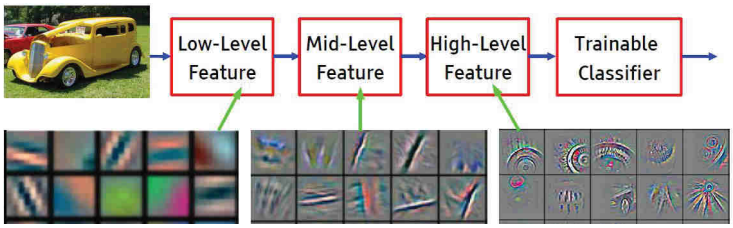
Où en était la perception visuelle pour véhicules « intelligents » vers 2012 ?

Algo des MINES pour TSR vers 2011
→ ~95% OK
[descripteur HoG + SVM pour détection + RDF pour reconnaissance]

Algo des MINES pour ADAS vers 2009
→ ~95% OK (voitures) et ~80% OK (piétons)
[ControlPoints features + adaBoost]

- Descripteurs « sur mesure »
- Classif par adaBoost, SVM, RDF
- Combinaisons différentes, optimisées pour chaque catégorie (panneaux, véhicules, piétons, …)

Quels apport récents (>2013) par apprentissage profond (convNet) ?



Principe : apprendre FEATURES en + de classification

- Plus grande robustesse car appris sur base ENORME
- Unification algos détection/reco pour toutes catégories

Véhicules autonomes : où en est-on ?

➔Le level 4 sur autoroute *en conditions « normales »* ne pose plus guère que 2 problèmes :

- Robustesse par redondance capteurs & algos
- Changements de voie (planification « intelligente », prise de décision sur dépassement/rabattement)

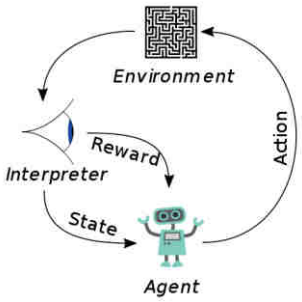
Points scientifiques/techniques encore « durs » pour conduite automatisée, en particulier en urbain :

- Planification intelligente et dynamique de trajectoire
- Prévision mouvements/trajectoires autres usagers
- Inférence intentions conducteurs/piétons
- Interactions par regards/gestes avec piétons & conducteurs humains

Planification intelligente et dynamique de trajectoire ?

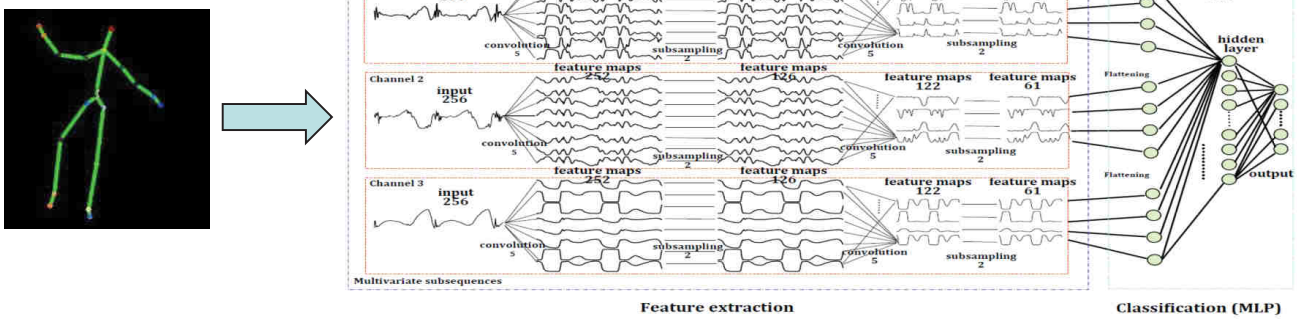
End-to-end driving via Apprentissage profond par renforcement (Deep Reinforcement Learning)

[thèse CIFRE Valeo/MINES-ParisTech en cours]



Inférence intentions piétons et interactions gestuelles humains→VA ?

Estimation temps-réel de posture sur vidéo RGB par deep-learning



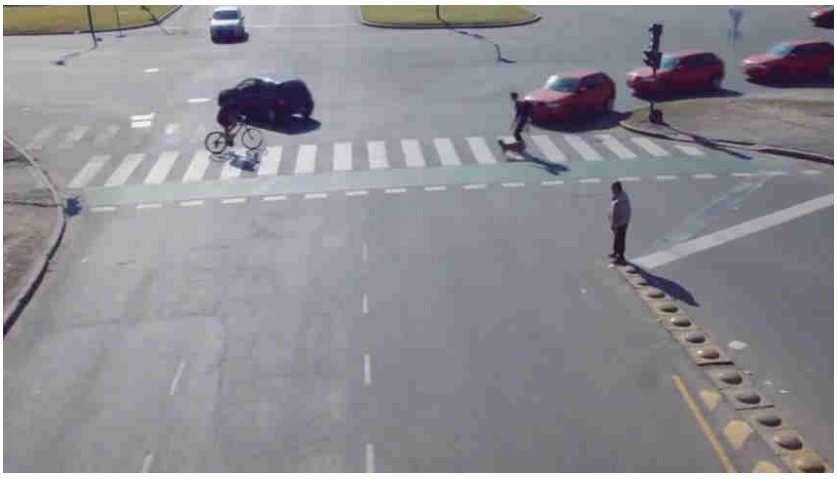
Reconnaissance de gestes par Deep-Learning (1D-ConvolutionalNetwork) sur trajectoires articulations : 91% acuracy (vs 83% baseline)

[thèse en cours au centre de Robotique de MINES_ParisTech]

IA pour Véhicules *Connectés*

Véhicule Autonome ET CONNECTÉ

- Platooning
- Intersections automatisées
- Manœuvres coopératives
- Perception collaborative

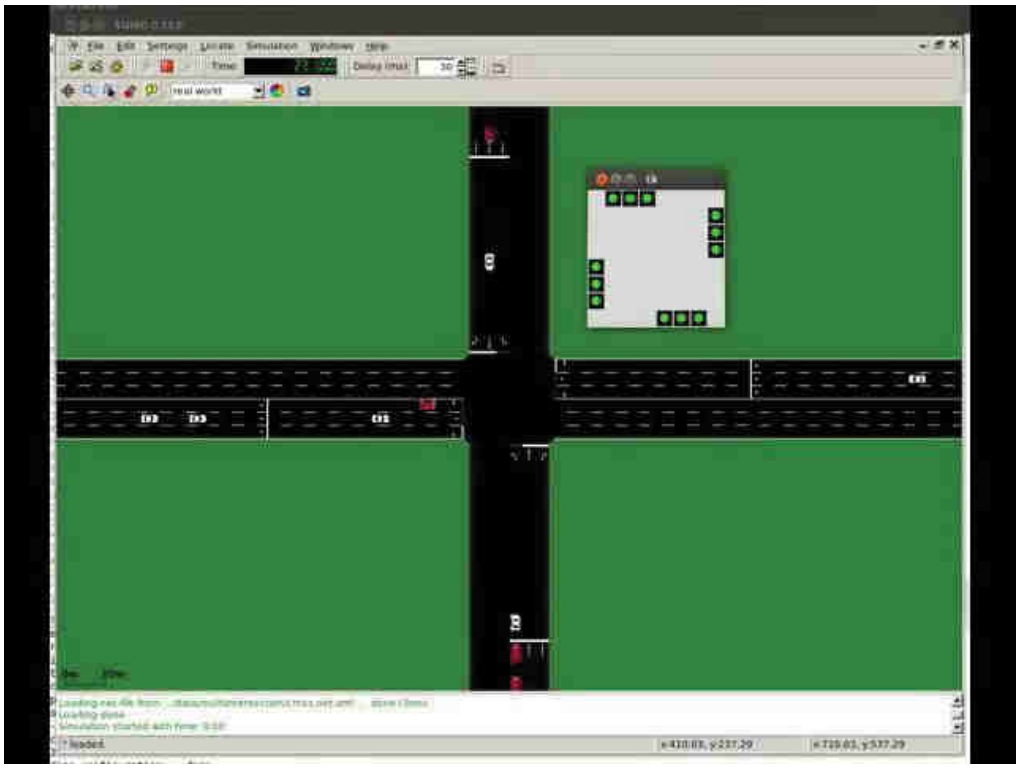


Nécessité garantir :

- Sécurité
  = NON-COLLISION
- Disponibilité
  = NON-BLOCAGE
  (pas de « deadlock »)

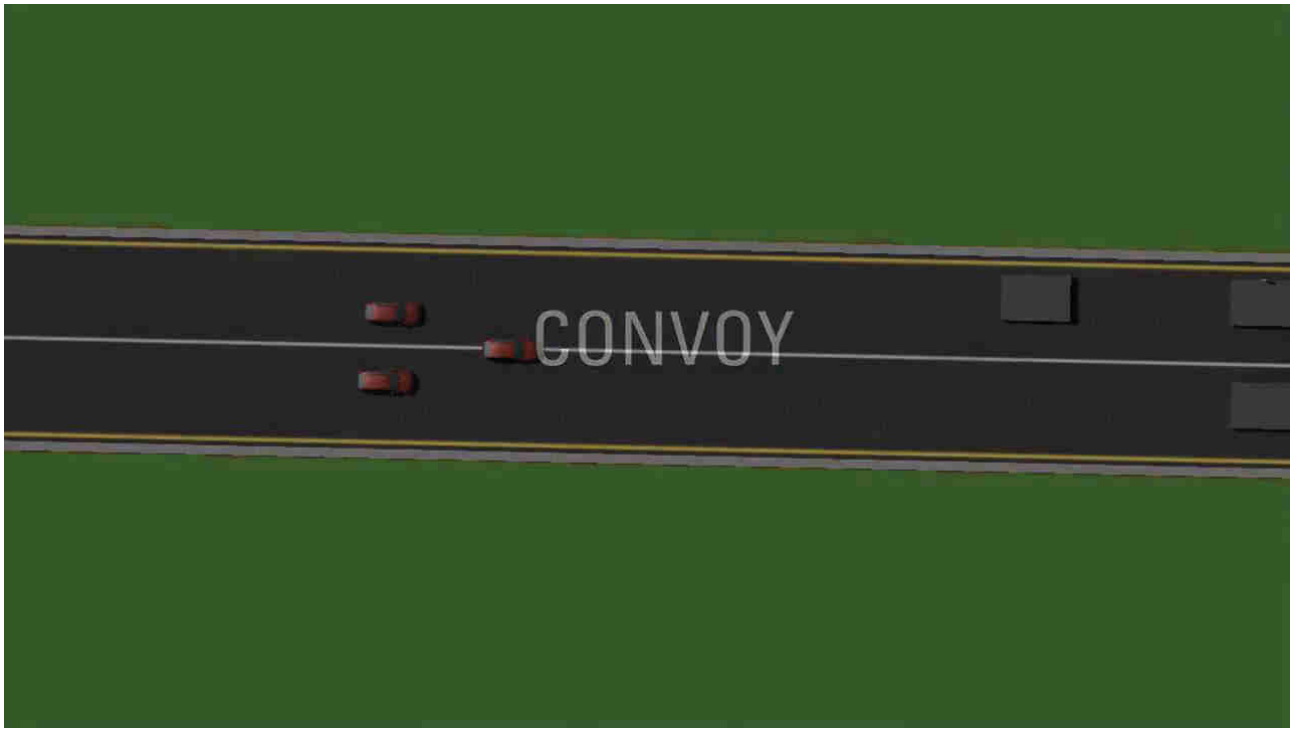
➔ ***Besoin algo intelligent de COORDINATION LOCALE et Communications V2V et/ou Véhicules-Infra (V2I)***

Intersections Intelligentes (automatisées)



Formalisme conçu et prototypé au centre de robotique de MINES ParisTech, avec garantie de non-collision et de non-deadlock par *ordonnancement centralisé des « droits de passage »*

Conduite/Manœuvres coopératives



Algorithmes pour Conduite/Manœuvres coopératives (« convoys », merging, …), conçus et prototypés au centre de Robotique de MINES ParisTech dans le cadre du projet européen AutoNet2030

Défis actuels et futurs pour les Véhicules Autonomes et Connectés

Points encore « durs » pour conduite automatisée :

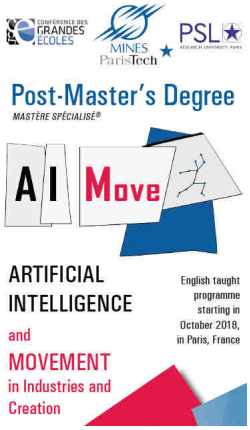
- Garantie robustesse : validation quantifiée des algos ML, complémentarité capteurs et redondance algorithmique
- Suivi attention/activité conducteur-superviseur
- Planification "intelligente" trajectoires
- Prévision mouvements/trajectoires autres usagers
- Inférence intentions conducteurs/piétons par regards/gestes
- Prédictibilité comportement VA par humains (piétons, etc)

Points « durs » pour conduite automatisée et coopérative :

- Interactions entre véhicules autonomes, et avec autres
- Intersections automatisées
- Perception collaborative

Chaire DriveForAll, financée par Safran+Valeo+PSA,
labos = CAOR/Mines_ParisTech (leader)+Berkeley +EPFL+SJTU

Questions ?

Création en cours par MINES ParisTech pour rentrée 2018
de 2 Mastères Spécialisés (MS) sur l'IA :

- *Almove = IA & mouvement/gestes*
- *AI:DREAM = Digital Revolution, Algorithms and Machine-learning*