

La “recette” du Véhicule Autonome et son évolution future

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

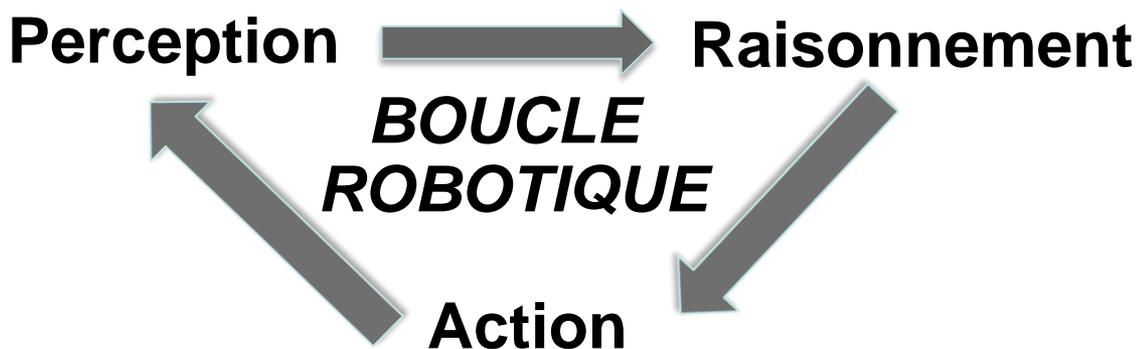
`Fabien.Moutarde@mines-paristech.fr`
`http://people.mines-paristech.fr/fabien.moutarde`

- ~ 45 personnes (dont ~20 doctorants)
- ~ 1500 k€/an de contrats de recherche
- **Robotique Mobile, Véhicules Intelligents & ITS**
Compréhension temps-reel de scène (par vision 2D/3D et machine-learning), Localisation visuelle et SLAM visuel/laser, ADAS et Véhicules Autonomes, Intersections Automatisées, Conduite&Manoeuvres cooperatives, Prévission trafic routier
EU projects (REACT/COM2REACT/AutoNet2030)
+ nombreux contrats industriels et Chaires (PSA, Valeo, ...)
- **Interactions Humains-Machines et Réalité Virtuelle**
Robotique collaborative & reconnaiss. de gestes (*Chaire PSA “RRV”*)
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**

Un Véhicule Autonome est un robot mobile !



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



Robot → percevoir + raisonner + agir

Il faut donc au Véhicule Autonome :

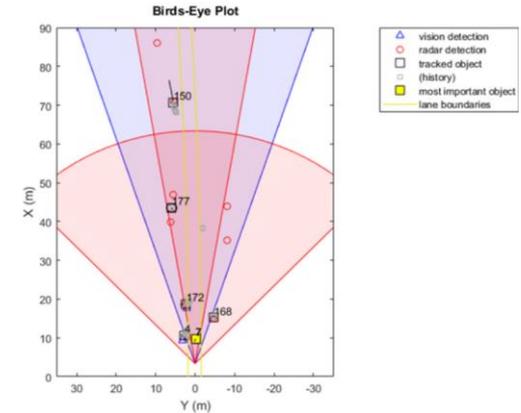
- **Des capteurs**
- **Des algorithmes « intelligents »**
 - pour la perception
 - pour la planification de trajectoire
 - pour la commande
- **Un/des calculateur(s) embarqué(s)**
- **Des actionneurs (« drive by wire »)**

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

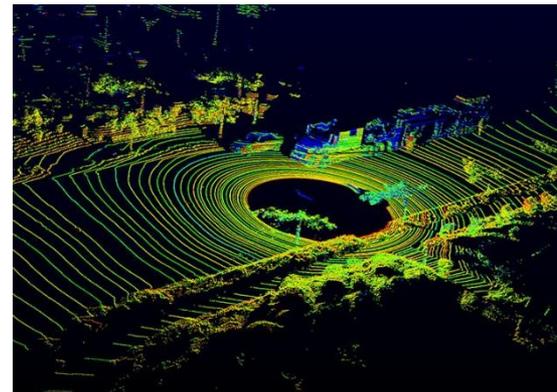
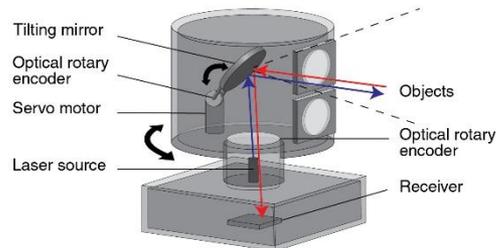
Capteurs pour un Véhicule Autonome

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

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



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



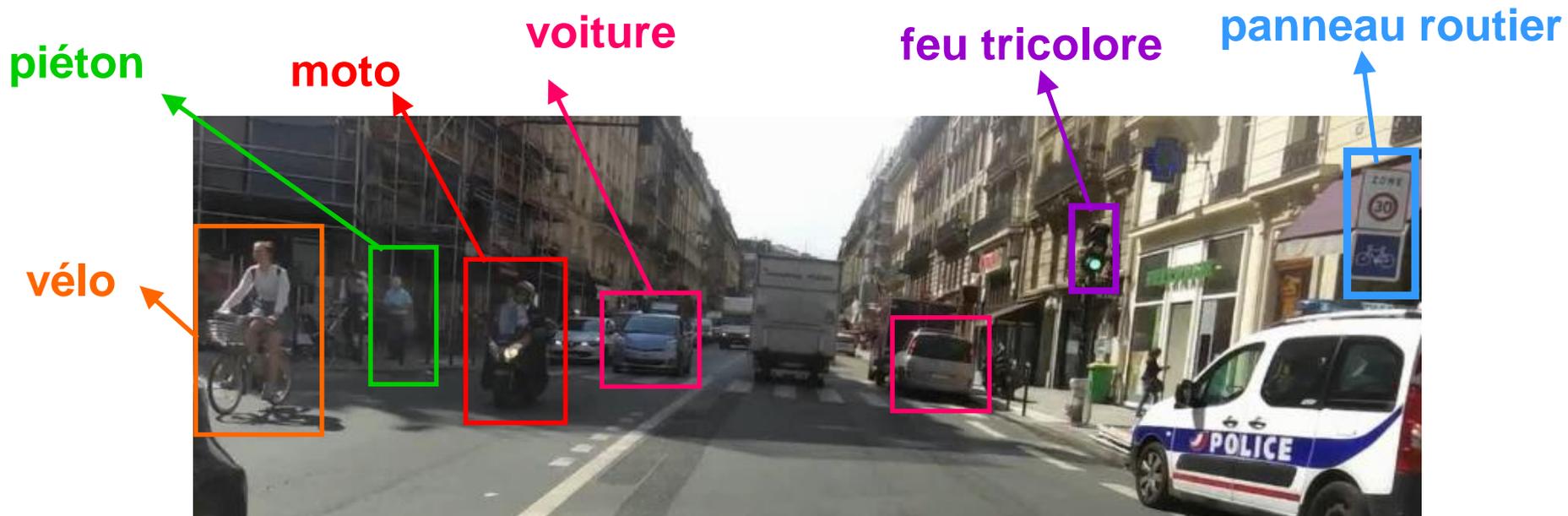
- **Ultrasons etc...**

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 ADAS et automatisation niveaux 2-3 :**
 - Analyse et compréhension attention et activités ou gestes du « conducteur-superviseur »
- **A + grande échelle spatio-temporelle :**
 - Prévision évolution trafic pour optimiser itinéraires

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 au moins ~10 frames/second**

Catégorisation visuelle d'objets : apprentissage-machine

Hors-ligne dans centre de R&D

Piétons



« non-piétons »



Voitures



« non-voitures »



**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
[HoG features + SVM pour détection
+ RDF pour reconnaissance]

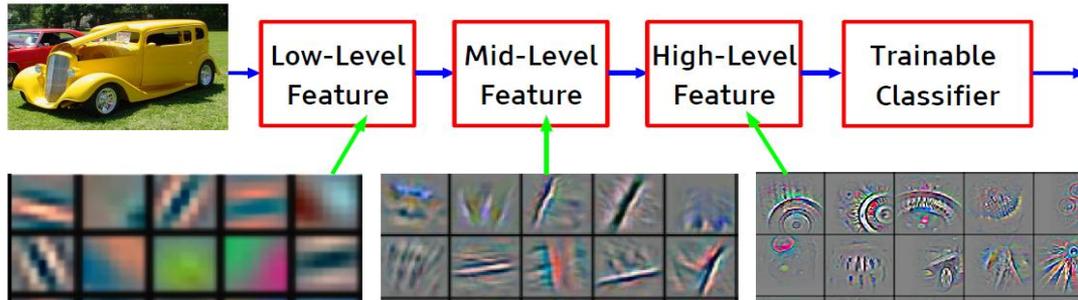


Algo des MINES pour ADAS vers 2009
→ ~95% OK (voitures) et ~80% OK (piétons)
[ControlPoints features + adaBoost]



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

Quels apport récents par apprentissage profond (convNet) ?



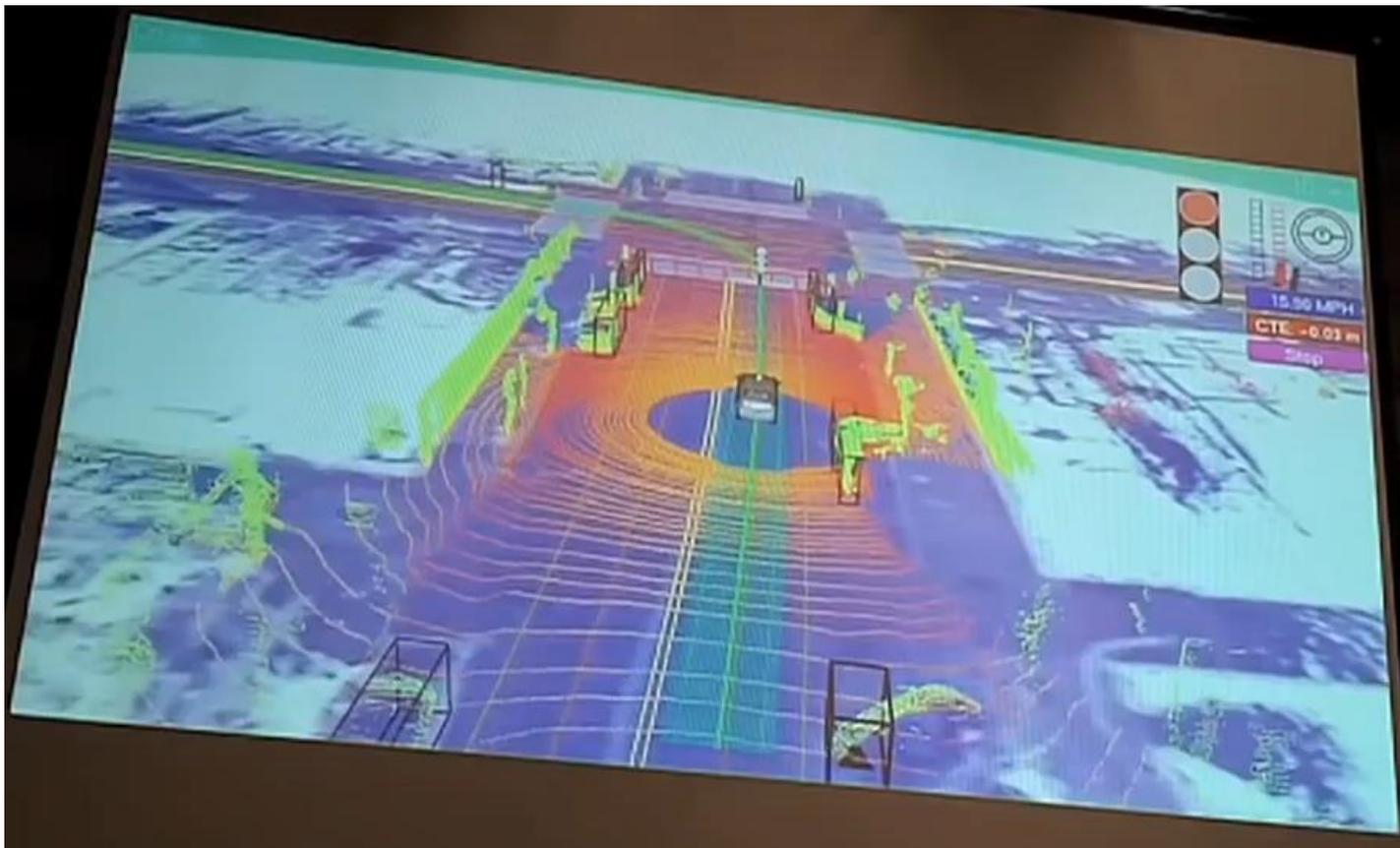
Principe : apprendre FEATURES en + de classification



[C. Farabet, C. Couprie, L. Najman & Yann LeCun: Learning Hierarchical Features for Scene Labeling, IEEE Trans. PAMI, Aug.2013.]

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

Perception avec un LIDAR ?



**Le GoogleCar utilise INTENTIVEMENT
un LIDAR 360° multi-couches Velodyne
avec segmentation 3D + catégorisation 3D**

Véhicule Autonome ET CONNECTÉ

- Platooning
- Intersections automatisées
- Manœuvres coopératives
- Perception collaborative

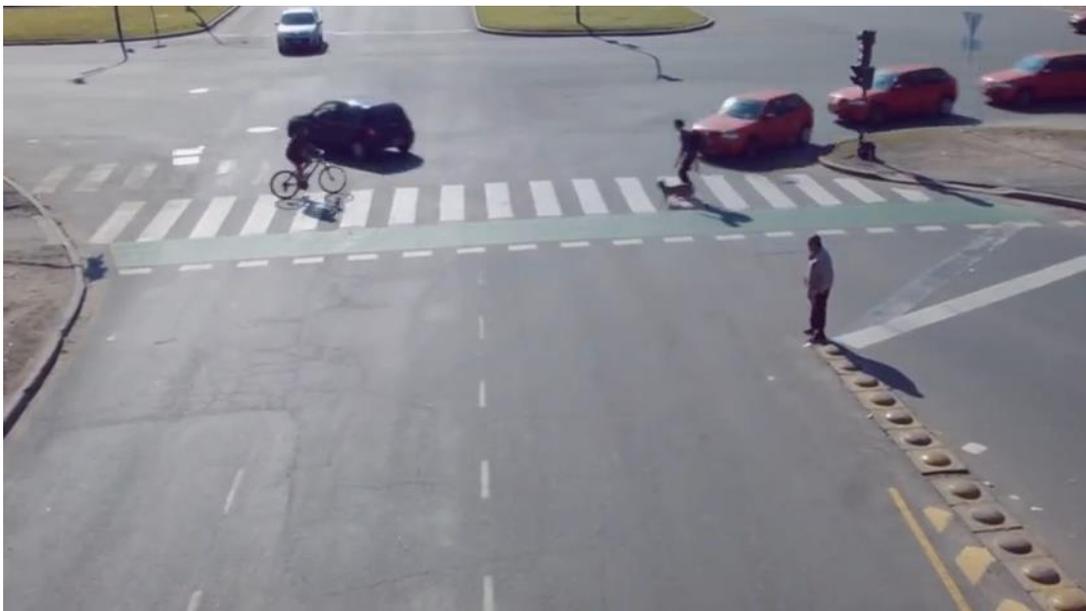
Apprendre aussi planification+commande ?

Apprentissage en continu (tout au long de vie du véhicule) ??

De la voiture au « Service de Mobilité »
(taxis autonomes à la demande)

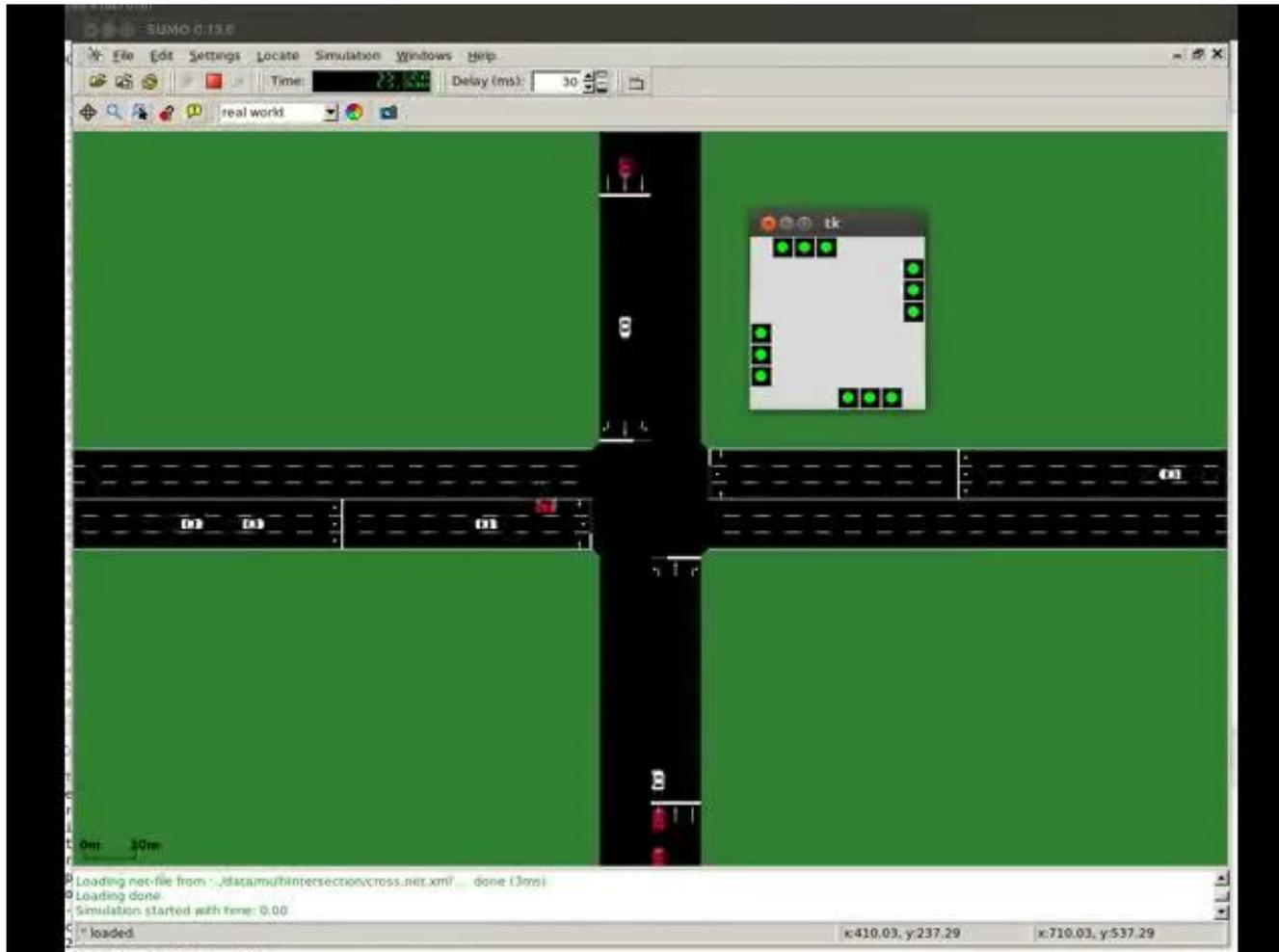
Intersections Automatisées

- Feux tricolores = TRES SOUS-OPTIMAL en débit !
- Traversée d'intersection = partie critique et délicate pour les véhicules autonomes



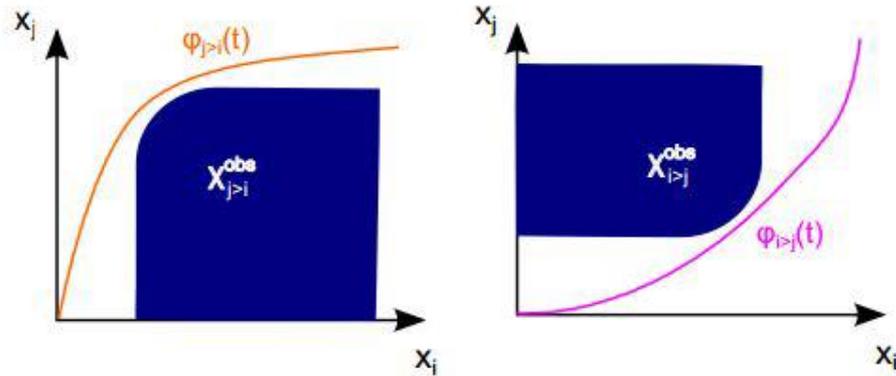
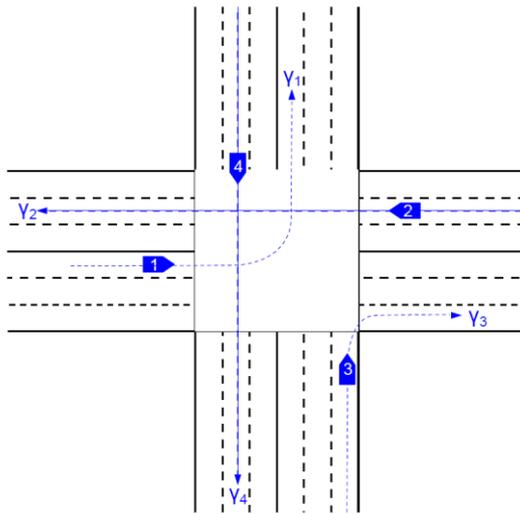
- Nécessité de garantir à la fois :
 - Sécurité = NON-COLLISION
 - Disponibilité = NON-BLOCAGE (pas de deadlock »)
- Besoin algo intelligent de COORDINATION LOCALE
Communications Véhicule-Infrastructure (V2I)

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* »**

Principe Intersection Automatisée proposé par MINES ParisTech



- Véhicules supposés suivre chemins prédéfinis
→ déplacements = abscisses curvilignes x_i sur chemins
- Non-collision \Leftrightarrow rester hors de zones dans esp. x_i, x_j
- Solution = choix et respect de priorités (ordre) de passage
- Chaque véhicule avance en « brake-safe » le long de son chemin, et en respectant priorité

[Thèse de Jean GREGOIRE, dirigée par Pr. Arnaud de La Fortelle, soutenue en sept.2014]

<https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-01081216>

Manœuvres coopératives

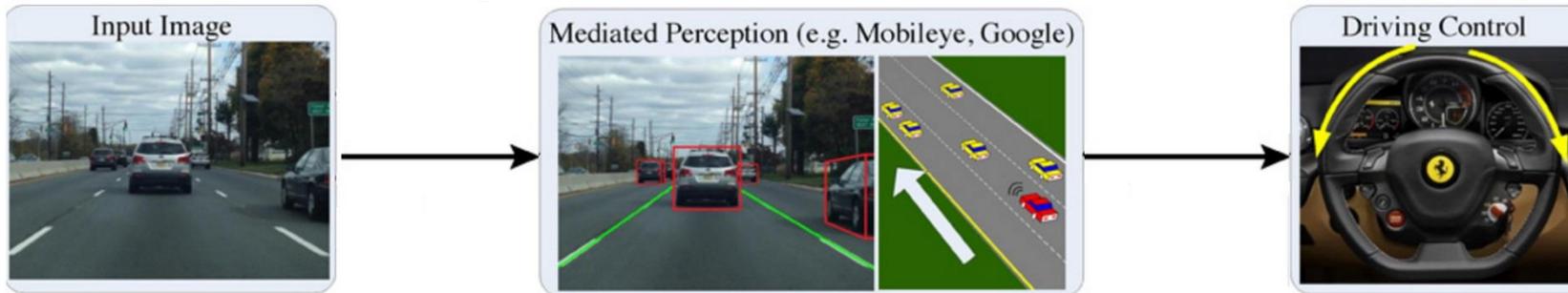
- **Intérêt du platooning, notamment pour les camions**
- **Mais besoin coordination V2V pour insertion & extraction de véhicule du peloton**
- **Possibilité de généralisation du peloton à « convoi » de géométrie non-linéaire et adaptable**
- **Besoin de coordination aussi pour insertion sur voies rapides**



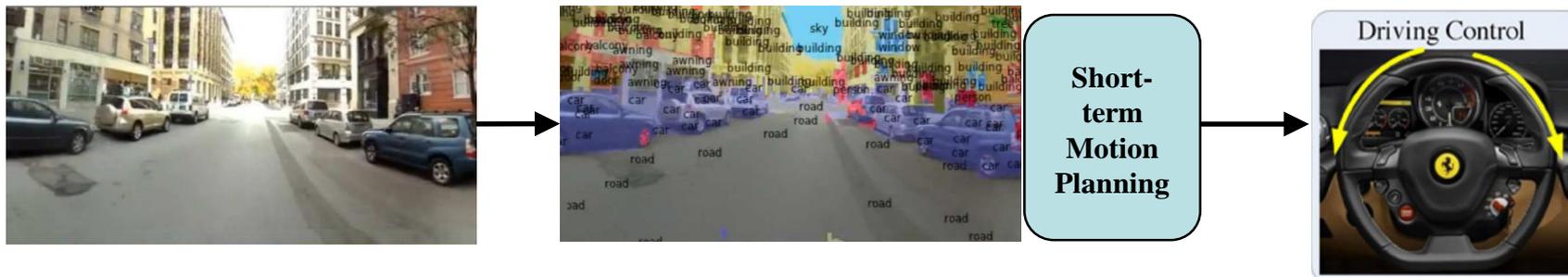
**Algorithmes pour Conduite/Manœuvres coopératives (« convoys », merging, ...),
conçus et prototypés au centre de Robotique de MINES ParisTech
dans le cadre du projet européen AutoNet2030**

Apprendre aussi planification+commande ?

- Approche « classique » :



- Sémantisation image par ConvNet (Deep-Learning) :



- End-to-end Deep-Learning (nVidia, Berkeley) :



Points encore « durs » pour conduite automatisée :

- Collecte **MASSIVE** de données réelles (image/radar/lidar/...)
- Validation quantifiée de la fiabilité des algos !
- **Ego-localisation précise**
- Manœuvres d'urgence
- **Suivi attention/activité conducteur-superviseur**
- **Prévision mouvements/trajectoires** des autres usagers
- **Inférence intentions conducteurs/piétons (ou policier !)**
d'après **regards/gestes** (et aussi infos VA → autres usagers)
- Apprendre la planification/commande ?

Points « durs » pour conduite automatisée et coopérative :

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

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