

# Les IAs pour la Robotique Collaborative et le Véhicule Automatisé

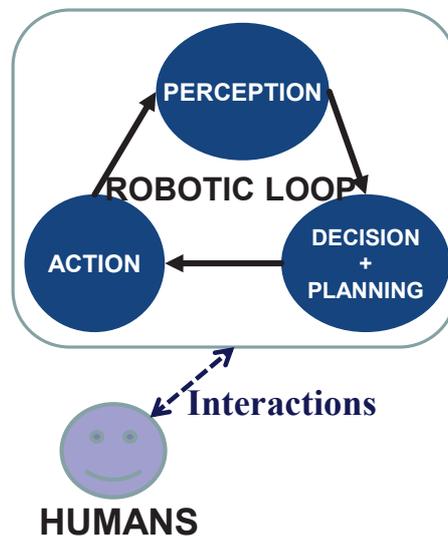
Pr. Fabien Moutarde  
 Directeur du Centre de Robotique  
 MINES Paris  
 PSL Université

Fabien.Moutarde@minesparis.psl.eu  
<http://people.minesparis.psl.eu/fabien.moutarde>

## Recherche du Centre de Robotique

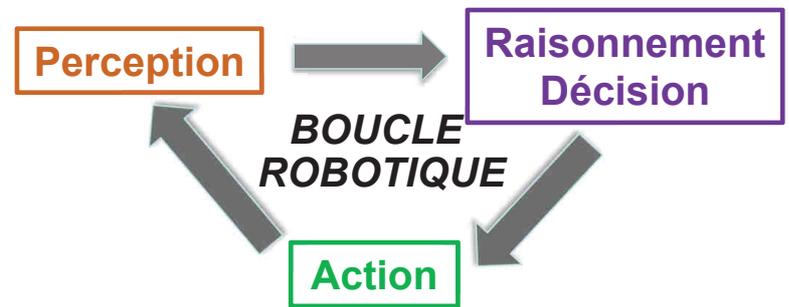
### Algorithmes d'IA temps-réel et Interaction Humains-Machines

Véhicules Automatisés, Systèmes de Transport Intelligents  
Industrie du Futur, Robotique Mobile ou/et Collaborative



**Vision 2D & 3D, Perception, Fusion multi-capteurs, Machine-Learning, IA, Reconnaissance de formes et de gestes, Planification, Estimation & contrôle, Réalité Virtuelle et Augmentée**

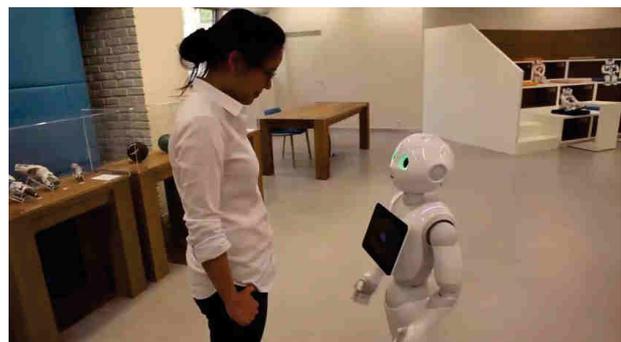
- Intelligence = raisonnement ??
- ou Intelligence = adaptation ?
- Une typologie possible :
  - Intelligence « de perception »
  - Intelligence de prédiction
  - Intelligence « de raisonnement »
  - Intelligence de comportement
  - Intelligence « d'interaction »
  - Curiosité



## Robots « traditionnels » vs « intelligents »

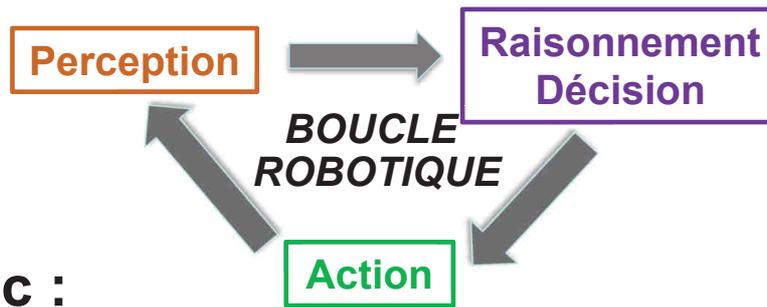


Actions répétitives, rapidité, force importante, ...  
***MAIS dangereuse et surtout peu adaptatifs (simples « automatismes »)***



**Réagir selon environnement et/ou interagir avec humains**

**Robot = percevoir + raisonner/décider + agir**

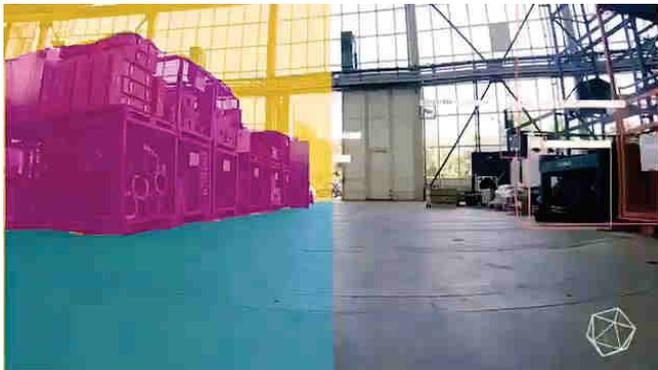


Il faut leur donc :

- Des capteurs
- Des *algorithmes « intelligents »*
  - pour la perception
  - pour décision, planification de mouvement, actions
- ... et un calculateur ( $\approx$  ordinateur) embarqué pour exécuter les programmes !

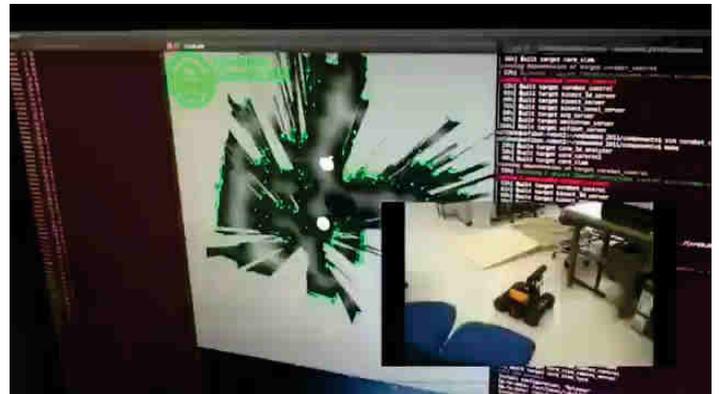
- Analyser & interpréter un environnement fluctuant
  - Reconnaître un lieu et s'auto-localiser
  - Détecter/localiser et catégoriser les « objets »
  - Suivre et prédire leurs mouvements
  - Deviner les « intentions »
- Choisir l'action/mouvement à faire
  - Logique décisionnelle
- Adapter/optimiser l'action/mouvement choisi(e)
  - Avoir un comportement, plutôt qu'une règle rigide
- Interagir avec des humains ou entre robots
  - Reconnaissance vocale
  - Interprétation du langage, et savoir « dialoguer »
  - Reconnaissance de gestes/actions, voire d'émotions
  - Coordination/collaboration entre robots

## Analyse de scène, détecter et catégoriser les objets



Progrès SPECTACULAIRES depuis 2013 grâce au Deep-Learning

## « Cartographeur » un lieu inconnu



*Simultaneous Localization and Mapping* (travaux centre de Robotique MINES Paris vers 2012)

# Ego-Localisation et planification de trajectoire de robot en intérieur



Ego-localisation par fusion Vision + WiFi  
[thèse CIFRE SoftBank\_Robotics / MINES Paris, 2016-2019]

Planifier la trajectoire en évitant les obstacles



## Besoin de surveiller et interpréter les mouvements, actions & activités des humains autour

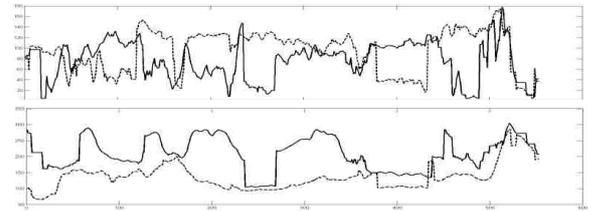
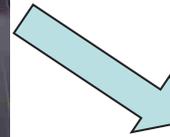
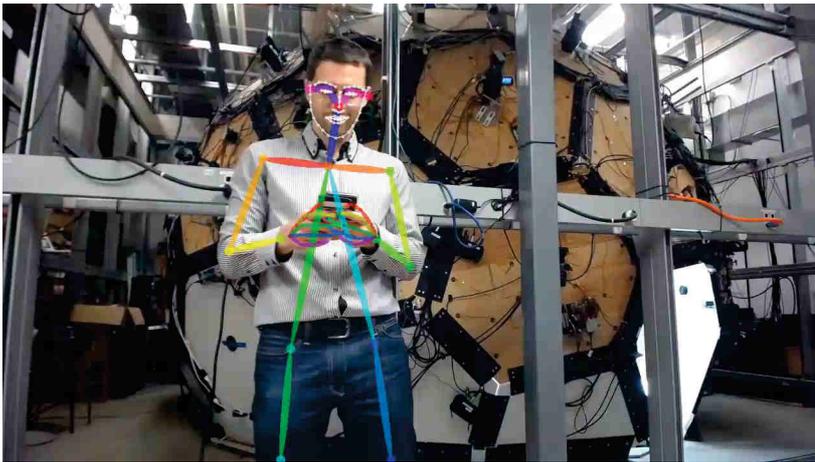


**Reconnaissance d'action pour la collaboration Humain-Robot**  
*[centre de Robotique de MINES ParisTech, Chaire PSA "Robotique et Réalité Virtuelle"]*

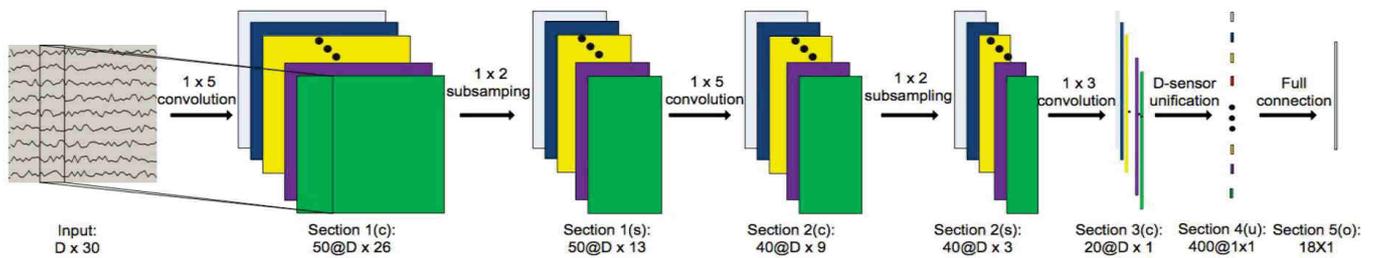
## Défis actuels et futurs pour la Robotique Intelligente

### Points « durs » pour la Robotique Collaborative et Intelligente :

- Reconnaissance d'actions et activité des humains
- Estimer INTENTIONS des humains
- Apprentissage de COMPORTEMENT
  - Apprentissage par démonstration
  - Apprentissage par renforcement
  - Abstraction de la tâche plutôt qu'enregistrement de trajectoire
  - One/few shot(s) learning
- **Coordination/collaboration**
  - entre robots
  - avec humains (apprentissage de « règles sociales » implicites)



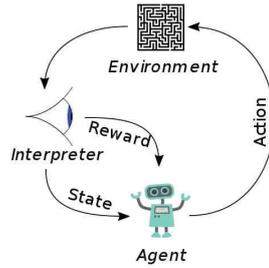
## Reconnaissance d'action/activité/intention par Apprentissage Profond pour les séries temporelles multivariées



# Enseigner une tâche « par démonstration »

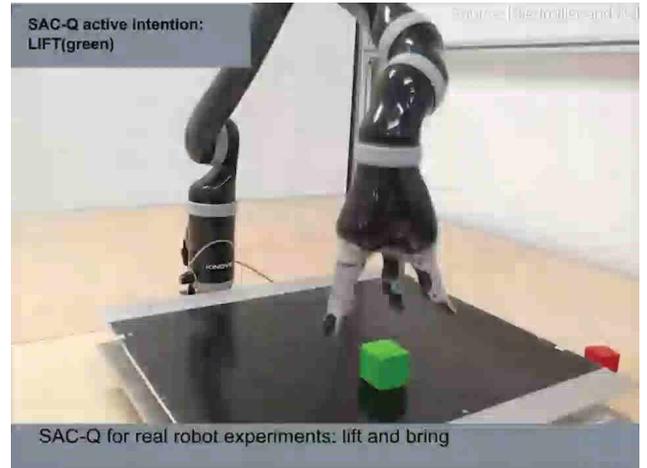


## « Learning from Demonstration » (LfD)



Trouver une "politique"  $a_t = \pi(s_t)$  qui maximise

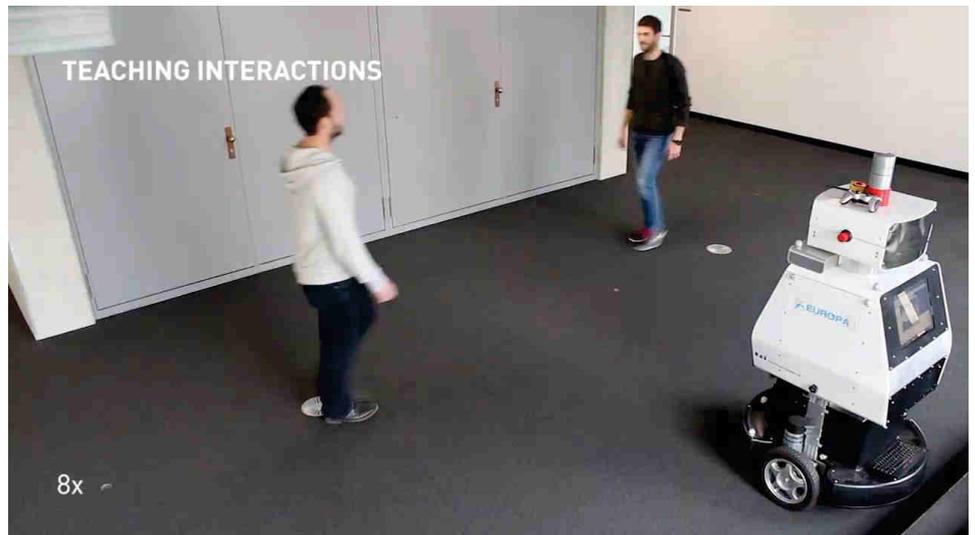
$$R_t = \sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k}, \gamma \in [0, 1[$$



Work by Google DeepMind (ICML'2018)



Challenge : apprendre les « règles sociales » d'interaction



## Un Véhicule Automatisé = un Robot Mobile !

➔ percevoir + raisonner + agir

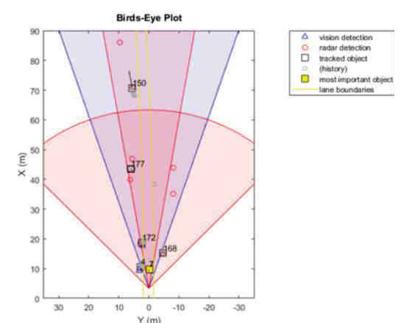
### Il faut donc au Véhicule Autonome :

- 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]*

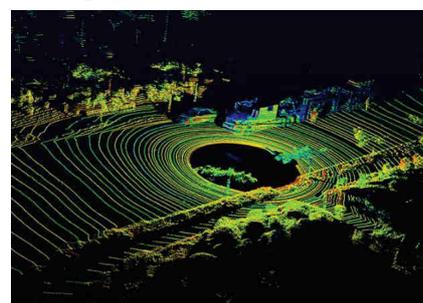
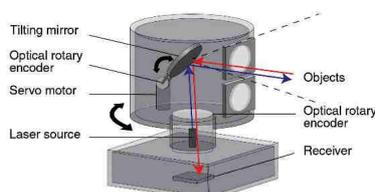
## Capteurs pour un Véhicule Automatisé

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

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



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

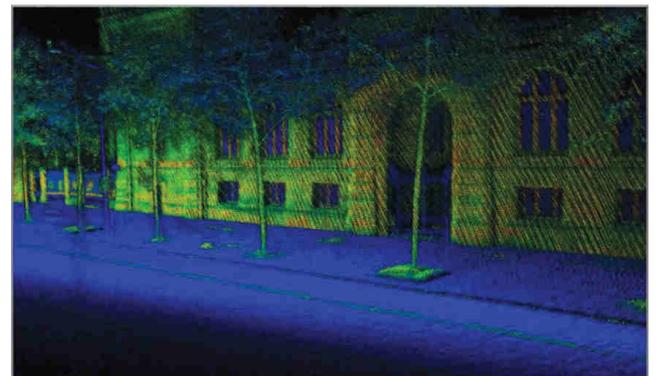


- Ultrasons etc...

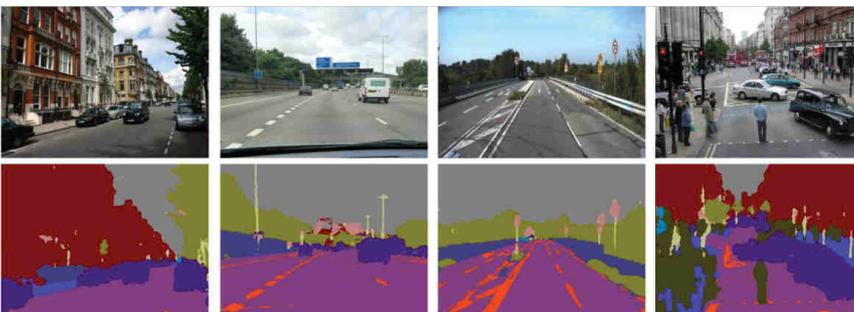
- Interprétation « sémantique » environnement véhicule :
  - Détection et catégorisation/reconnaissance d'objets (voitures, piétons, vélos, panneaux, feux, ...)
  - Prévision des mouvements des autres usagers
  - Inférence intentions conducteurs/piétons (ou policier !) d'après leurs regards/gestes
-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



Sur les images de caméra classique

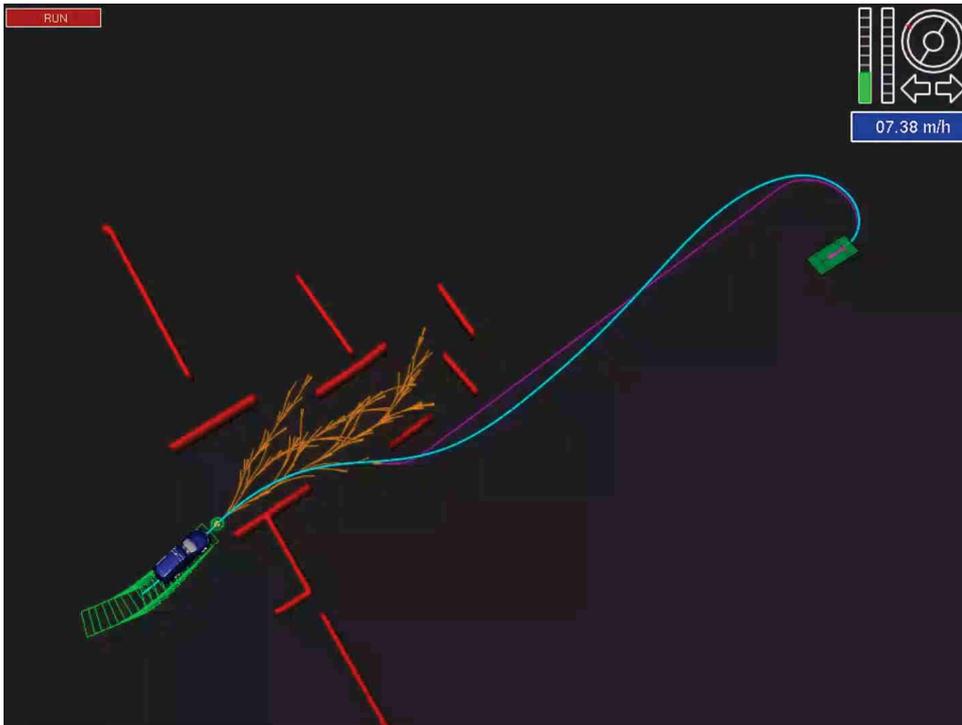


Sur les données 3D de LIDAR

*[travail du Centre de Robotique de MinesParis]*


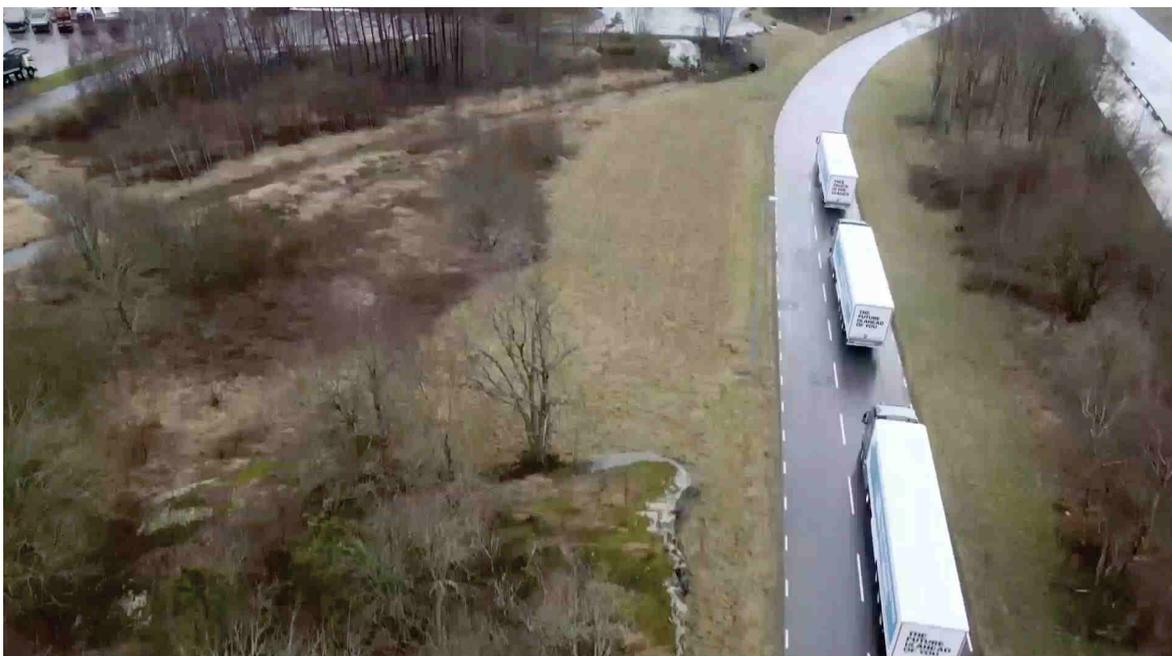
Exemples de segmentation sémantique

Progrès  
SPECTACULAIRES  
depuis 2013 grâce au  
« Deep-Learning »



**Calcul par recherche “arborescente” (algos A\*/RRT)  
ré-effectué en permanence**

**Arrimage “virtuel” de véhicules en file : chacun suit  
le précédent (par exemple par asservissement visuel)**



***Expérimentation réelle par Volvo Trucks***

## 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**

# Expérimentations de VAs en route ouverte

**Nombreux prototypes expérimentés en route ouverte (avec un conducteur "de sécurité") aux USA et Europe**

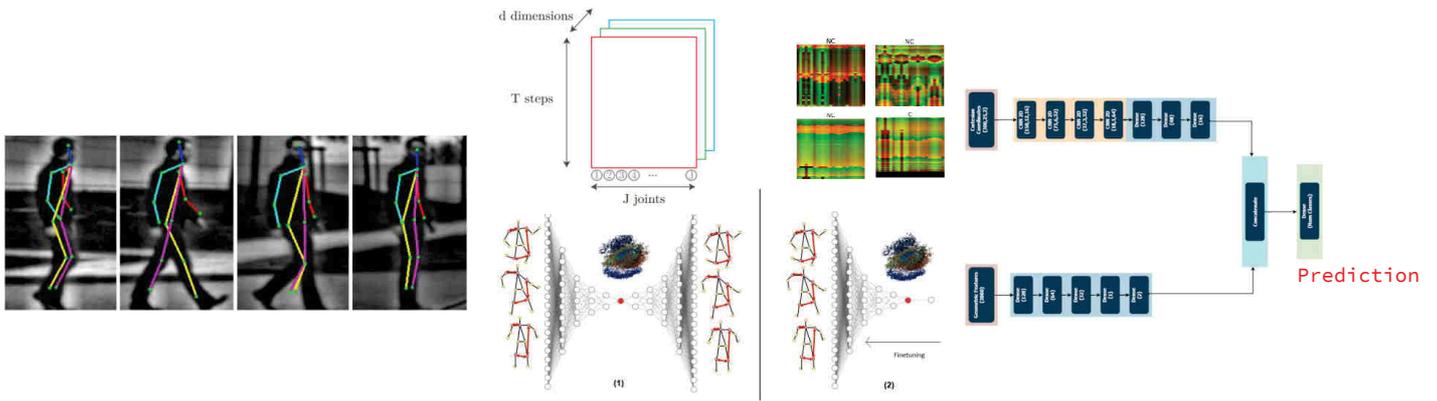
### Rapport du DMV de Californie en 2020

| Compagnie    | Nb de véhicules (2019) | Distance sur route-ouverte | Distance entre reprises-en-main |
|--------------|------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Google_Waymo | 153                    | 1.006.142 km               | 47.911 km                       |
| GM_Cruise    | 233                    | 1.232.079 km               | 45.632 km                       |
| AutoX        | ?                      | 65.174 km                  | 32.587 km                       |
| Pony.AI      | 22                     | 360.794 km                 | 17,180 km                       |
| Argo.AI      | ?                      | 33.659 km                  | 16.829 km                       |
| WeRide       | ?                      | 20.822 km                  | 10.411 km                       |
| Didi         | ?                      | 16.642 km                  | 8,321 km                        |

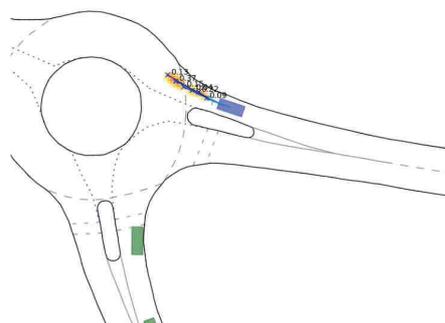
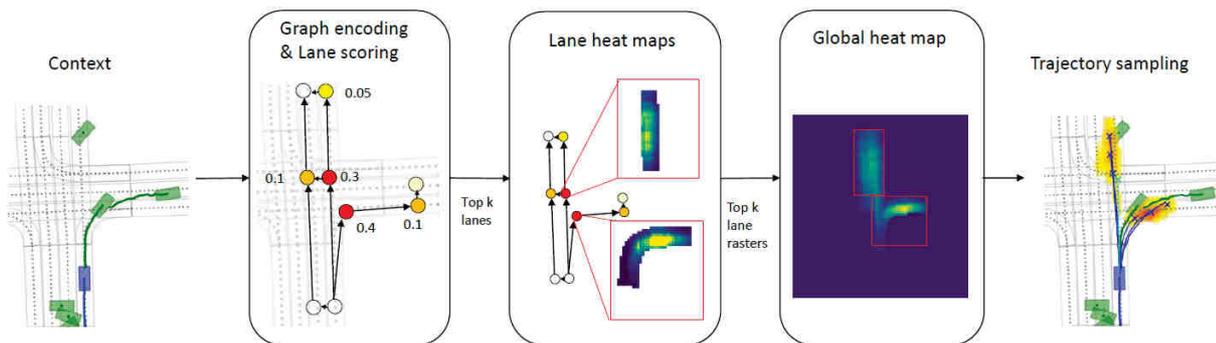
<https://thelastdriverlicenseholder.com/2021/02/09/2020-disengagement-reports-from-california/>

| Compagnie    | Nb de véhicules (2017) | Distance sur route-ouverte (2017) | Nb de collisions (2017) | Dist. entre reprises-en-main (2017) |
|--------------|------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| Google_Waymo | 75                     | 567 000 km                        | 3                       | 9 005 km                            |
| GM_Cruise    | 86                     | 211 910 km                        | 22                      | 2 018 km                            |

**NB: conduite par humain = 1 collision / ~ 500.000 km, 1 accident avec blessé / ~3 millions km, et 1 mort / ~150 millions km**

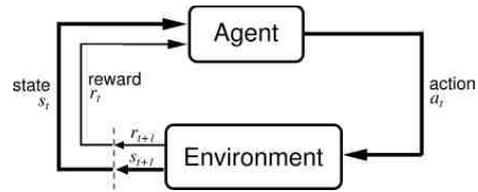


Thèse VeDeCom / MinesParis (Joseph GESNOUIN, (2019-2022))



Thèse CIFRE Huawei/MinesParis (Thomas GILLES 2020-2023)

**Apprentissage par RENFORCEMENT = entraînement par RECOMPENSE**



Travail mené dans le cadre d'une CIFRE Valeo/MinesParis (Marin Toromanoff, 2018-2021)

Trouver une "politique"  $a_t = \pi(s_t)$  qui maximise

$$R_t = \sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k}, \gamma \in [0, 1[$$



## Questions ?

