

# Systèmes multi-agents pour la simulation et la modélisation du trafic



Philippe Mathieu  
[prenom.nom@univ-lille.fr](mailto:prenom.nom@univ-lille.fr)

Université de Lille  
Laboratoire CRIStAL

11/10/2018

La simulation de trafic routier suscite un intérêt croissant et sert par exemple :

- au test du véhicule autonome,
- à l'apprentissage de la conduite,
- au test et à l'aménagement des infrastructures,
- ...

La simulation est devenue un outil nécessaire, voire incontournable à la problématique du test.

Un des aspects les plus importants repose dans le réalisme de la simulation.

- 1971, Matra - Univ Lille : VAL (mis en service 1883)
- 1977, Tsukuba, 30Km/h sur circuit dédié avec marquage
- 1984, Mercedes, 100Km/h sur reseau routier sans trafic
- 1986, Darpa, projet ALV (Autonomous Land Vehicle)
- 1987, Hughes Aircraft (HRL), ALV++ tout-terrain, 3km/h
- 1994, Daimler-Benz, Eureka Prometheus project, sur l'A1 130Km/h, trafic normal, avec changement de file
- 2010, Google/Alphabet, projet Auto-Driving Car (Waymo) mise en service en 2015
- ...

# Le VAL (Gabillard, Lille, 1971)



## Il n'y a pas une IA, mais des IA's

Enormément de choses à tester !!

- le bon fonctionnement des différents capteurs, (radar, sonar, lidar, camera, infrarouge,...)
- les algorithmes de classification et reconnaissance, (analyse d'images, deep-learning, ,...)
- le mécanisme de sélection d'actions

**Nos travaux se placent au niveau du mécanisme**



©SCANNer , Renault, Oktal, AV Simulation

- in vivo
  - ▶ mais il faut des milliers de kilomètres
  - ▶ mais les accidents sont rares
- in silico
  - ▶ “full test” : véhicule seul dans un “cave” (immersion 360 °)
  - ▶ “brain test” : on branche la simulation aux input/output du cerveau

**Nos travaux se situent au niveau du "brain test"**



©Roads , Renault, AV Simulation

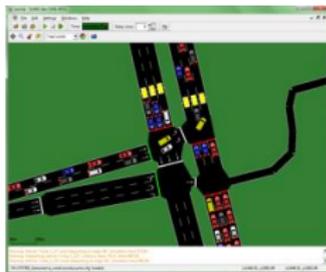
dôme 360° , 15 mètres de diamètre, rail de 30m, 1G d'accélération, vitesse 9m/s : 25 M€

Le réalisme s'appuie sur différents niveaux de précision selon différents axes :

- Environnement : 2D, 3D...
- Véhicule : accélération, usure des pneus...
- Conducteur : aucun, avec perception, avec facteur psychologique...

Aucun simulateur ne prend en compte la rugosité ou le dévers de la route, tandis que véhicule+conducteur est souvent unifié.

Nous nous focalisons dans nos travaux sur le réalisme comportemental.



©SUMO



©SCANNeR

De nombreux outils existent :

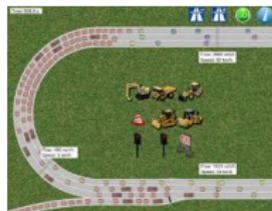
- MovSim (Universitat Dresden)
- Vissim (PTV Group, Karlsruhe)
- Sumo (DLR, Berlin)
- SCANNeR (Oktal, Paris)
- Carmaker (IPG Automotive)
- ...

Les objectifs sont polymorphes :

- test d'infrastructure
- test d'ergonomie de cockpit
- test de comportement collectif
- ...



©vissim



©movsim



©carmaker

De nombreux modèles comportementaux existent dans la littérature :

- Car-following model (Gipps, Newell, Krauß, Kerner, Treiber...)
- Lane-changing model (Kesting...)
- Junction model
- ...

Ces modèles sont issus de la physique et souvent développés dans l'optique de systèmes d'aide à la conduite (ADAS - *Adaptive Driver Assistance Systems*).

Pour le test, ce n'est pas l'ADAS qui est intéressant, c'est le comportement des autres véhicules qui peuplent la simulation.

$$a_n(t+\tau) = I_n \frac{[v_{n-1}(t) - v_n(t)]^k}{[x_{n-1}(t) - x_n(t)]^m}$$

- $a_n$  accélération maximale
- $b_n$  freinage maximal
- $s_n$  taille du véhicule
- $V_n$  vitesse voulue
- $x_n(t)$  position du véhicule précédent
- $v_n(t)$  vitesse du véhicule
- $\tau$  temps de réaction

Avec les contraintes :

accélération jusqu'à la vitesse voulue :

$$v_n(t + \tau) \leq v_n(t) + 2.5a_n\tau(1 - v_n/V_n)(0.025 + v_n(t)/V_n)^{1/2}$$

positions d'arrêt des véhicules :

$$x_{n-1}^* = x_{n-1}(t) - v_{n-1}(t)^2/2b_{n-1}$$

$$x_n^* = x_n(t) + [v_n(t) + v_n(t + \tau)]\tau/2 - v_n(t + \tau)^2/2b_n$$

garantie de non-collision :

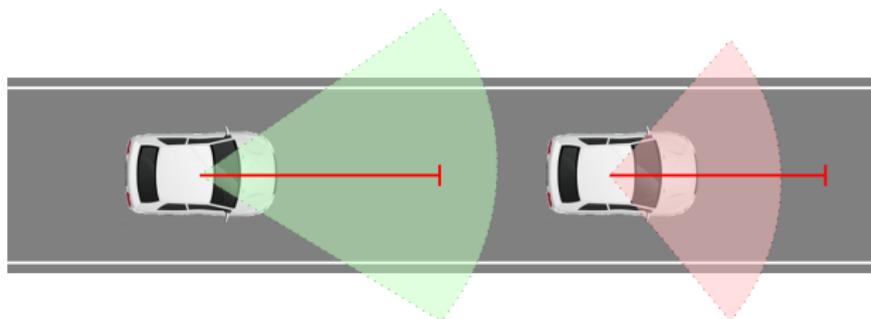
$$x_{n-1}(t) - v_{n-1}(t)^2/2b_{n-1} - s_{n-1} \geq x_n(t) + [v_n(t) - v_n(t + \tau)]\tau/2 - v_n(t + \tau)\theta - v_n(t + \tau)^2/2b_n$$

Augmenter le réalisme comportemental !

- Ordonnancement de la création des véhicules selon le tick demandé par le script, puis dans l'ordre du fichier
- Re-calibrage des paramètres (vitesse et accélération) pour garantir le respect des distances de sécurité minimales
- Un véhicule vise toujours à atteindre sa vitesse maximale de sécurité (celle de la route et/ou celle garantissant l'absence de collision)
- **Un véhicule perçoit à l'infini devant lui**
- Les différents comportements sont écrits en redéfinissant un modèle de base, sans perception limitée.

**Il n'y a jamais d'accident !**

- Si tout le monde roule parfaitement (perception, réaction, respect des distances), il n'y a jamais d'accident.
- Pour augmenter le réalisme d'une simulation, il ne faut pas un environnement peuplé de véhicules ayant des comportements parfaits. Il faut des comportements :
  - ▶ réalistes
  - ▶ mais imparfaits
- Afin d'y parvenir, il faut :
  - ▶ créer non seulement du stress environnemental, mais aussi comportemental
  - ⇒ introduire des incohérences entre les perceptions et les actions
  - ⇒ donc **avoir une perception cognitive limitée est indispensable.**
  - ⇒ on introduit des accidents du genre : "je pense que <act.> est possible, mais en fait, non !"



- halo : zone de perception du véhicule
- trait rouge : distance de sécurité (distance minimale d'arrêt)
  - ▶ si halo  $\geq$  sécu  $\Rightarrow$  aucun risque
  - ▶ si halo  $<$  sécu  $\Rightarrow$  risque (accident garanti si arrêt brutal)



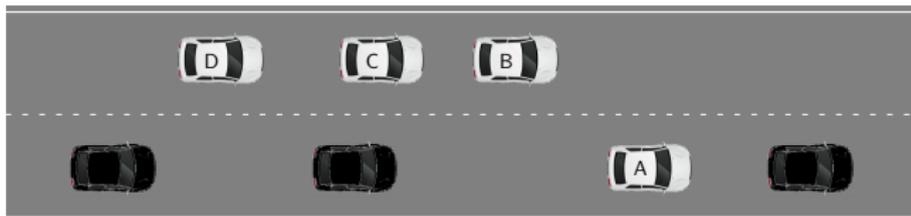
$$DR_1 = \frac{v_2^2}{2a_2} - \frac{v_1^2}{2a_1}$$

$$DS_1 = \frac{-v_1^2}{2a_1}$$

Si le véhicule précédent est dans :

- la zone C : aucun risque
- la zone B : risque mesuré (conduite usuelle)
- la zone A : risque important

- On ne souhaite pas qu'il soit scripté (prévisible)
  - les actions sont décidées par la perception et non pas par un "time-to-live" (basé sur le temps ou le lieu).
  - c'est ce qu'on appelle communément des **agents autonomes**.
- Certains accidents doivent être dépendants du comportement des autres.
  - le même comportement s'il est placé seul n'amène pas à un accident.
- L'accident doit être un **phénomène émergent**
  - ce n'est pas toujours celui qui est à l'origine du phénomène qui subit l'accident.



- Accident *mono-source*

- implémenté via un "time-to-live" ou un tirage aléatoire,
- on ne fait pas de distinction causale

- Accident *multi-sources*

- résultats des interactions entre véhicules
- celui qui fait une "faute" n'est pas forcément celui qui a un accident
- réaction en chaîne

Un certain nombre d'idées préconçues sont assez répandues :

- La vitesse est importante  
NON, c'est l'écart de vitesse entre véhicules qui est important !
- L'accélération est importante  
NON, il suffit que les véhicules soient introduits à vitesse non nulle !
- Des tirages aléatoires suffisent pour simuler des accidents  
NON, car ils sont indépendants du comportement (donc non-réaliste) !
- Plus il y a de véhicules, plus il y a d'accident  
NON, ce n'est pas le nombre de véhicules qui compte mais la densité.  
À nombre de véhicules égal, plus il y a de voies, plus la densité baisse,  
moins il y a d'accidents
- Plus la route comporte de voies, moins il y a d'accident  
NON, si on augmente le nombre de voies, on change la nature des accidents.

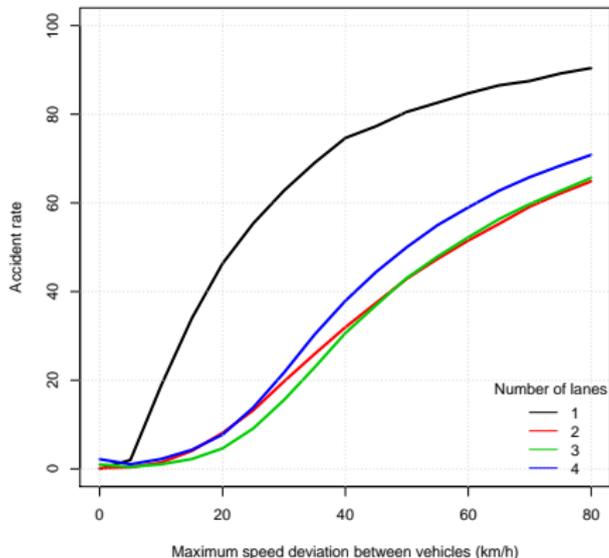
Notre modèle se base sur les modèles IDM et MOBIL discrétisés et simplifiés.

5 paramètres de base :

- accélération, freinage
- vitesse désirée, vitesse maximale
- avec en plus : **distance de perception**

3 paramètres supplémentaires pour enrichir ce modèle :

- impatience (choisir A,B ou C)
- inattention (mauvaise perception dans  $x\%$  des cas)
- temps de réaction
- ...



Plus l'écart de vitesse est important, plus il y a d'accidents.

# Les techniques utilisées

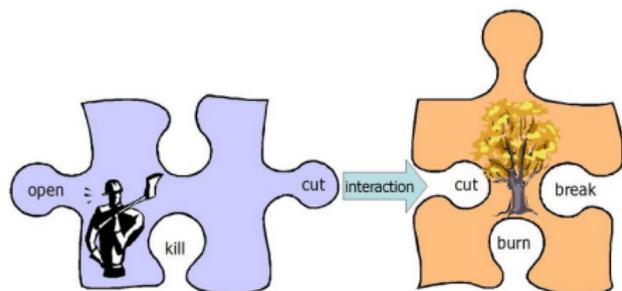
## Definition

→ entité autonome (programme) caractérisée par :

- un état
- des capacités de perception
- des capacités d'action
- des capacités de communication
- un **comportement** (lien perception → action)
- parfois des buts (+ raisonnement/planification...)

## 3 idées clefs

- toute entité pertinente est un **agent**  
= entité dotée de capacités de **perception** et **d'action**
- tout comportement est une **interaction**  
= **règle conditions/actions** impliquant plusieurs agents
- un **moteur générique** détermine quelles interactions peuvent avoir lieu



agents caractérisés par leur capacité à **effectuer** (**source**) ou **subir** (**cible**) une interaction

[Mathieu *et al.* 2001]

## Chaque entité est représenté par un agent

- voitures, vélos, bus. . .
- piétons
- tramways, rame de métro. . .

## y compris l'infrastructure de transport

- nœuds cartographiques, carrefours
- feux tricolores, panneaux de signalisation
- arrêts de bus, stations de tramway. . .

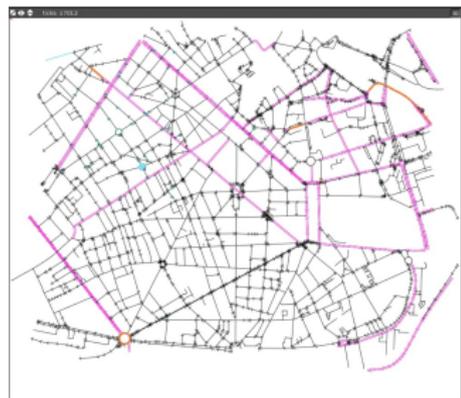
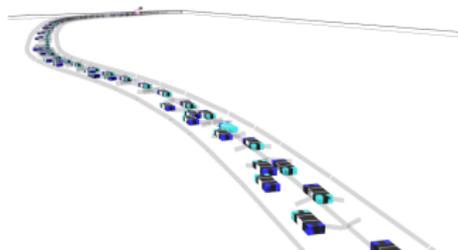
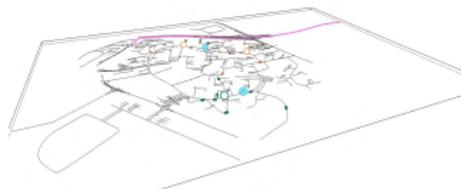
## ainsi que les outils d'observation et d'interaction

- générateurs de véhicules
- sonde de mesure
- diffuseurs d'évènements (zone à vitesse limitée)

Src / Tgt	$\emptyset$	<b>cars</b>	<b>nodes</b>	...
<b>cars</b>	Accelerate(50) Forward(40) Fallback(100)	Overtake(80,10) SlowDown(60,10) EmergencyBraking(70,5)	Cross	...
<b>nodes</b>				...
<b>crossroads</b>		Exit(20,1) Enter(10,5)		...
<b>lights</b>		Stop(10,1,ALL)		...
<b>generators</b>	CreateVehicule(10)			...
<b>probes</b>		RecordData(10,1,ALL)		...
<b>speedReducers</b>		LimitSpeed(10,1000,ALL)		...
...	...	...	...	...

# Quelques exemples

autoroute, ville, train/métro



- ⇒ La simulation est devenue un outil nécessaire, voire incontournable à la problématique du test.
- ⇒ il est nécessaire d'augmenter le réalisme, ce qui peut se faire dans différentes directions.
- ⇒ Les approches comportementales permettent “un zoom” dans la simulation par rapport aux approches par flux
- ⇒ On est aujourd'hui capables de faire des simulateurs complexes pour tous types de problèmes, notamment dans le cadre du transport

# Questions ?

