



université
PARIS-SACLAY



MODÉLISATION ET SIMULATION DES SYSTÈMES DE TRANSPORT INTELLIGENTS COOPÉRATIFS : UN COMPARATIF

Journées Francophones des Systèmes Multi-Agents 2017

Jeremy SOBIERAJ

Guillaume HUTZLER

Hanna KLAUDEL

Laboratoire IBISC, Evry, France

Jeudi 6 juillet 2017

AVANT DE COMMENCER...

AVANT DE COMMENCER...



Page professionnelle

<https://www.ibisc.fr/~jsobieraj>

AVANT DE COMMENCER...



Page professionnelle

<https://www.ibisc.fr/~jsobieraj>

JFSMA 2017

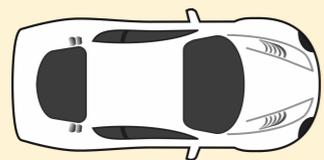
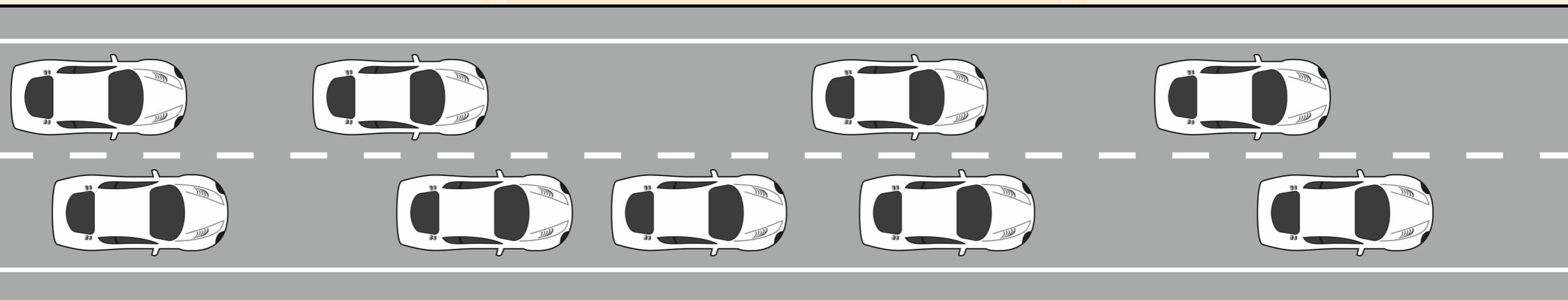
Quel outil de simulation de ITS ou C-ITS est fait pour vous ?

Questionnaire

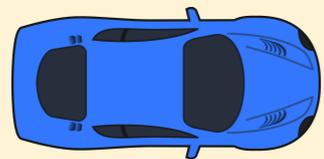
CONTEXTE

SITUATION

2017



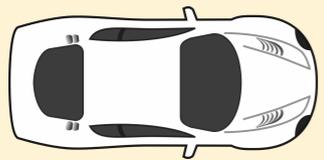
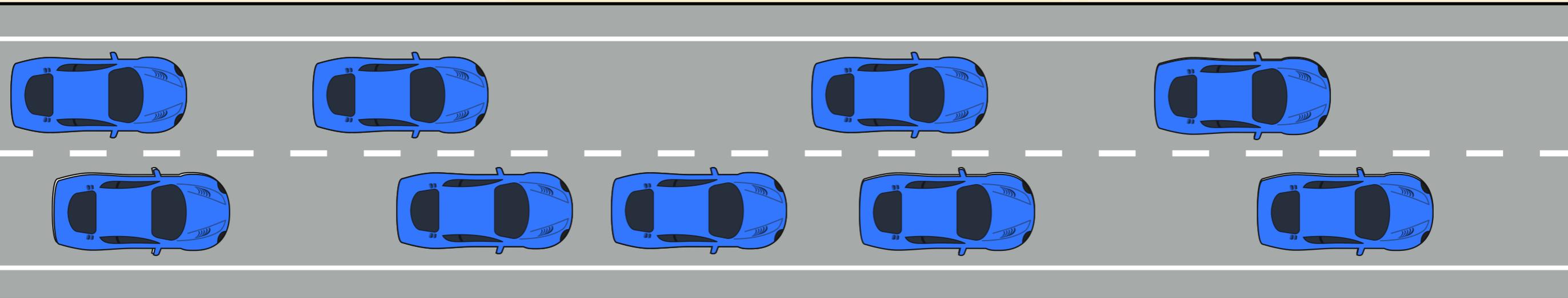
Véhicule actuel



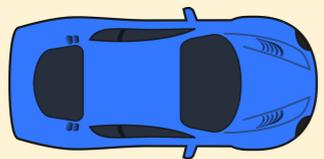
Véhicule intelligent

CONTEXTE

SITUATION

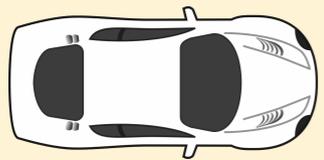
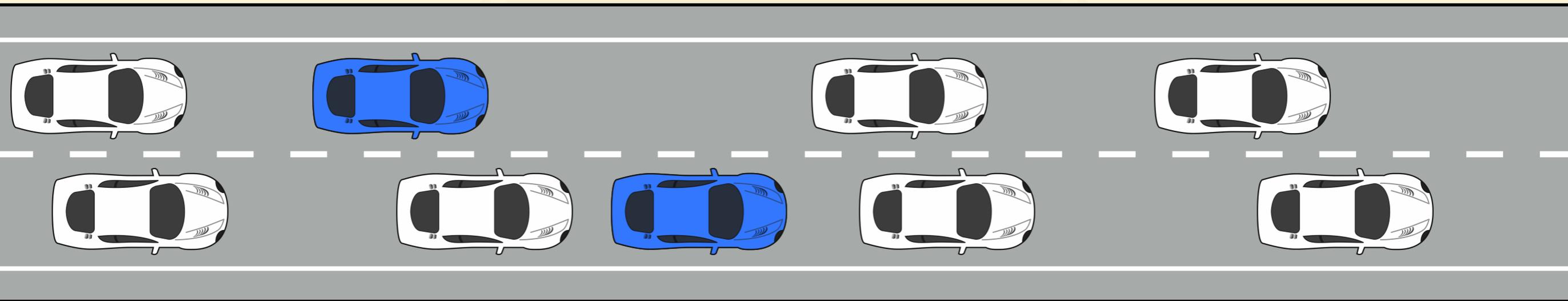


Véhicule actuel

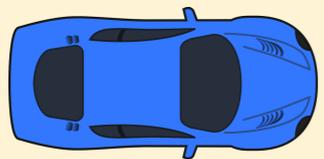


Véhicule intelligent

2020

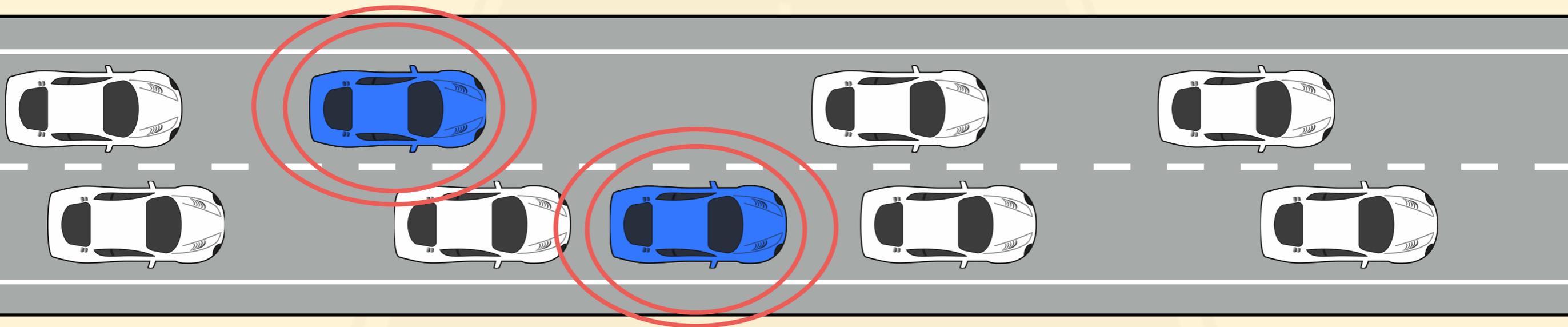


Véhicule actuel



Véhicule intelligent

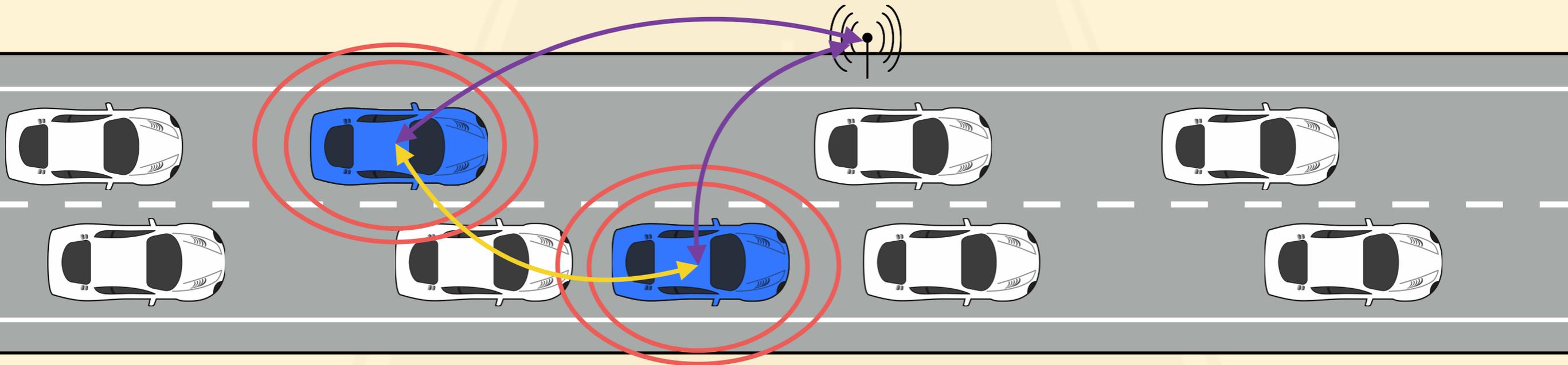
Analyse de l'environnement



Analyse de l'environnement

+

Communications



RSU (Road-Side Unit)



Communications V2V (Vehicle to Vehicle)



Communications V2I / I2V (Vehicle to Infrastructure / Infrastructure to Vehicle)

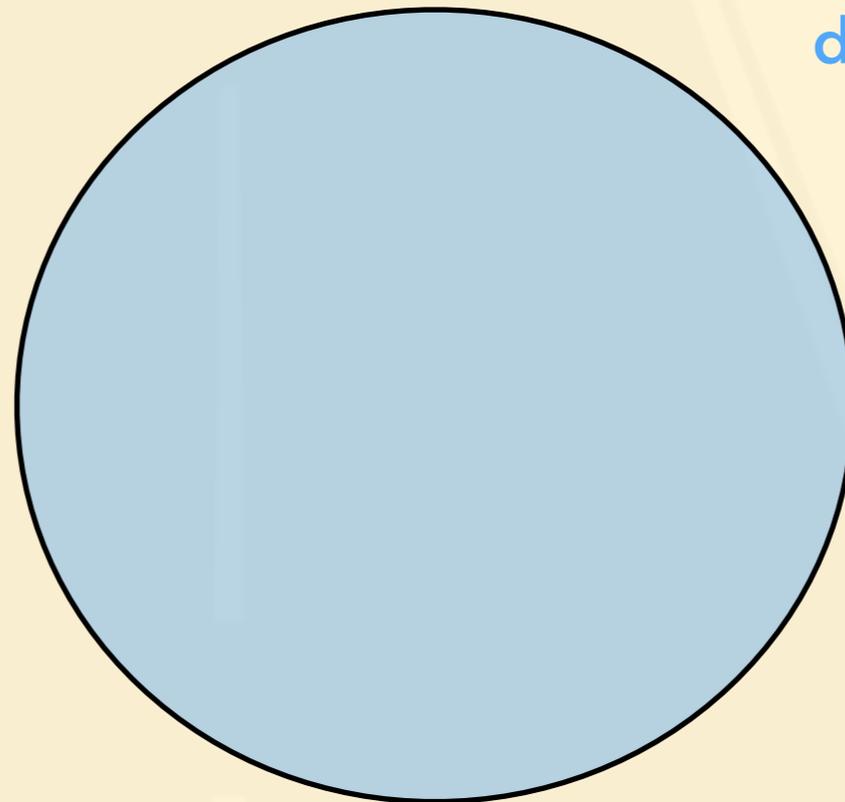
SIMULATION

APPROCHES

Trois approches

Trois approches

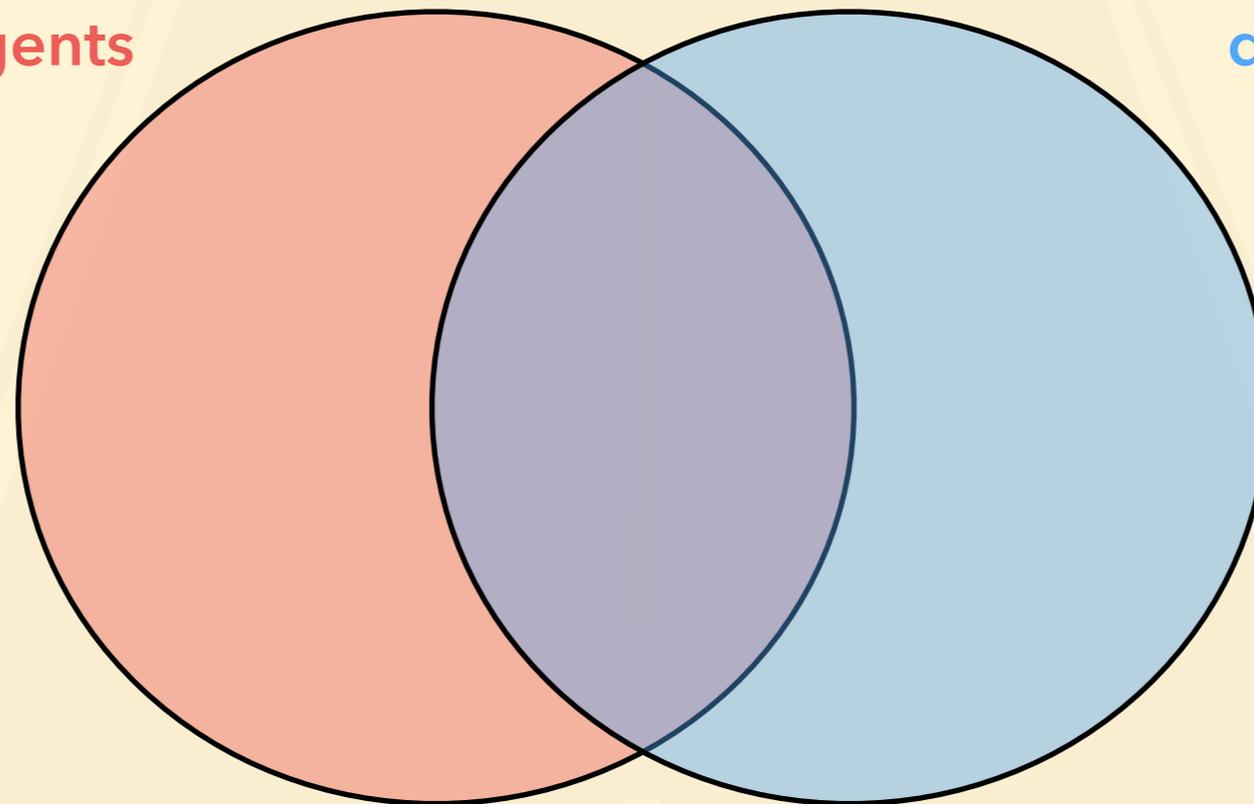
Modélisation
de trafic routier



Trois approches

Modélisation
de systèmes multi-agents

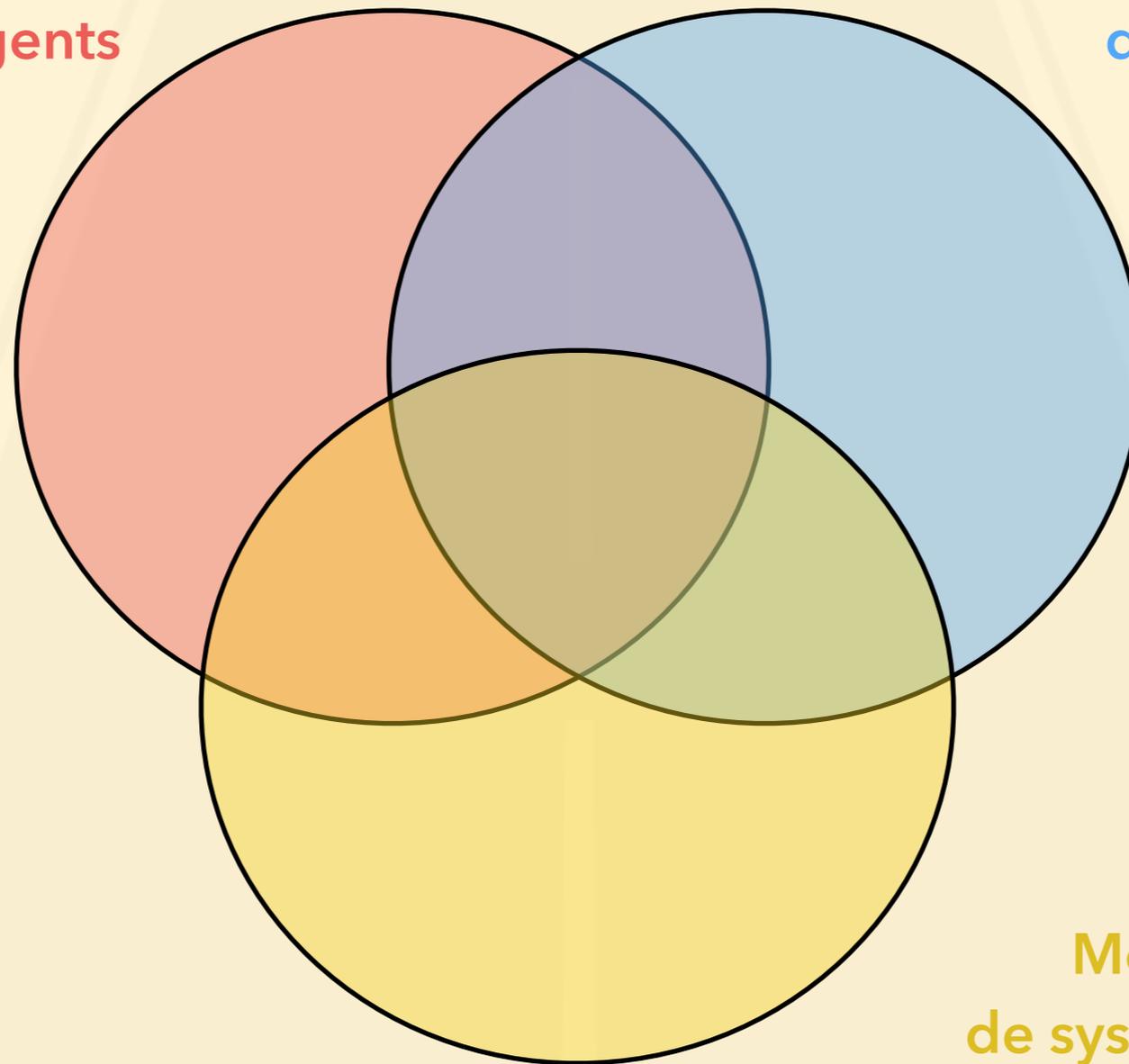
Modélisation
de trafic routier



Trois approches

Modélisation
de systèmes multi-agents

Modélisation
de trafic routier

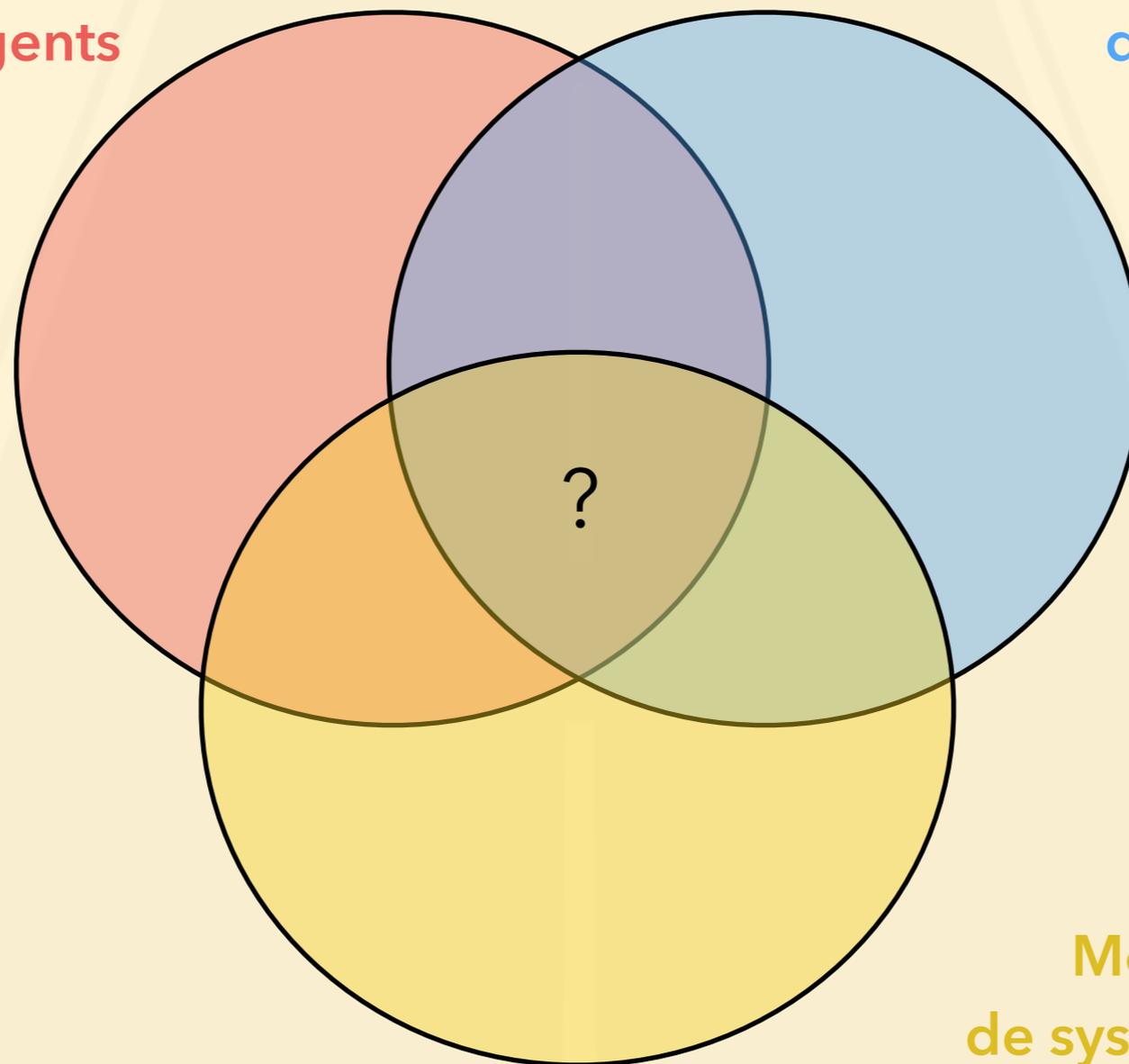


Modélisation
de systèmes réalistes

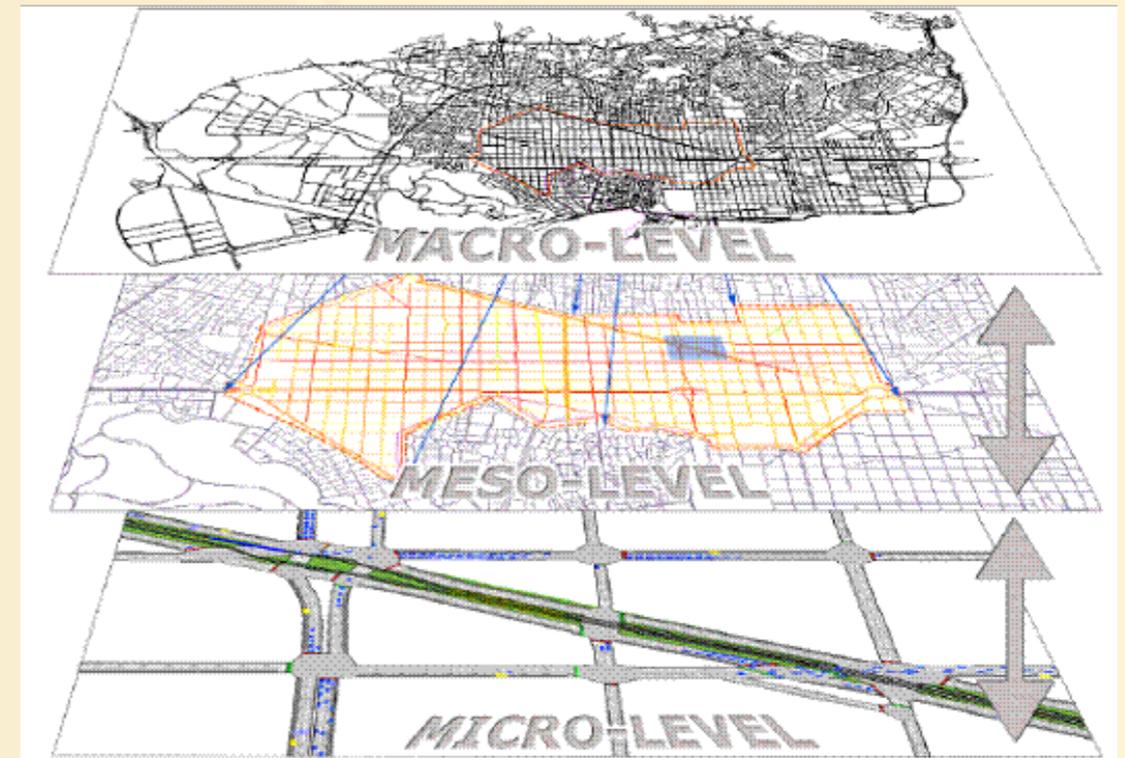
Trois approches

Modélisation
de systèmes multi-agents

Modélisation
de trafic routier

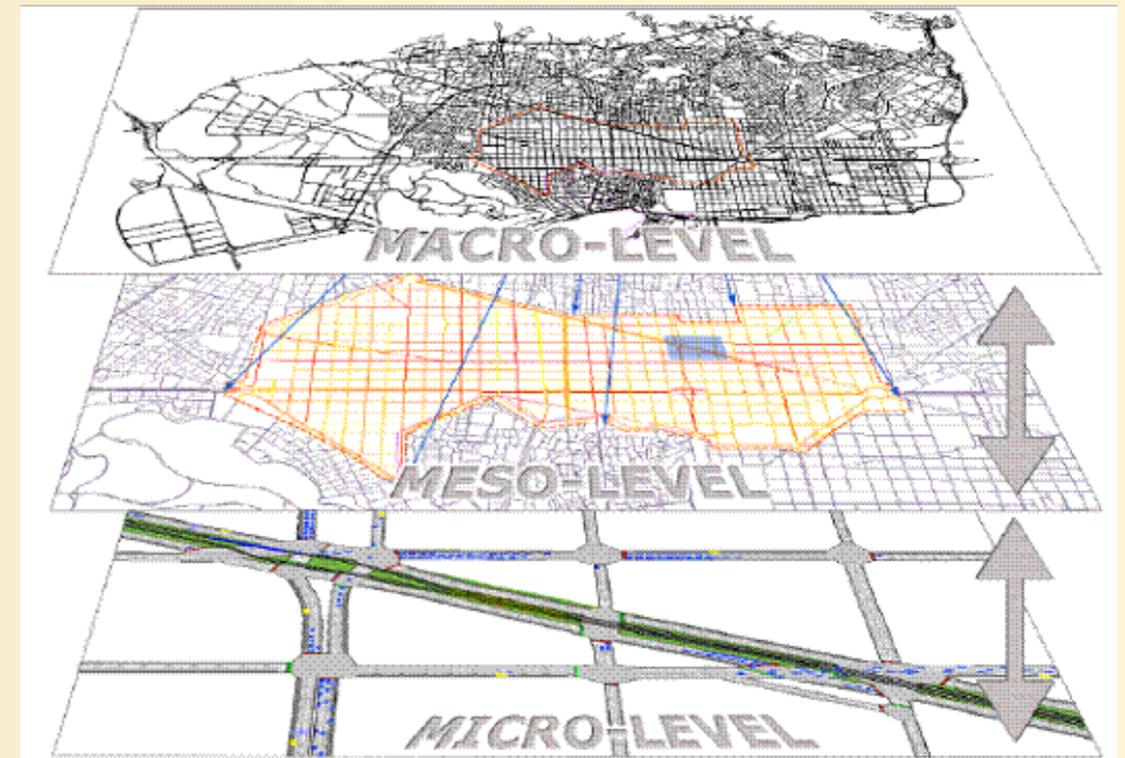


Modélisation
de systèmes réalistes



✦ Modèle macroscopique

Véhicules traités dans leur globalité dans une grande zone

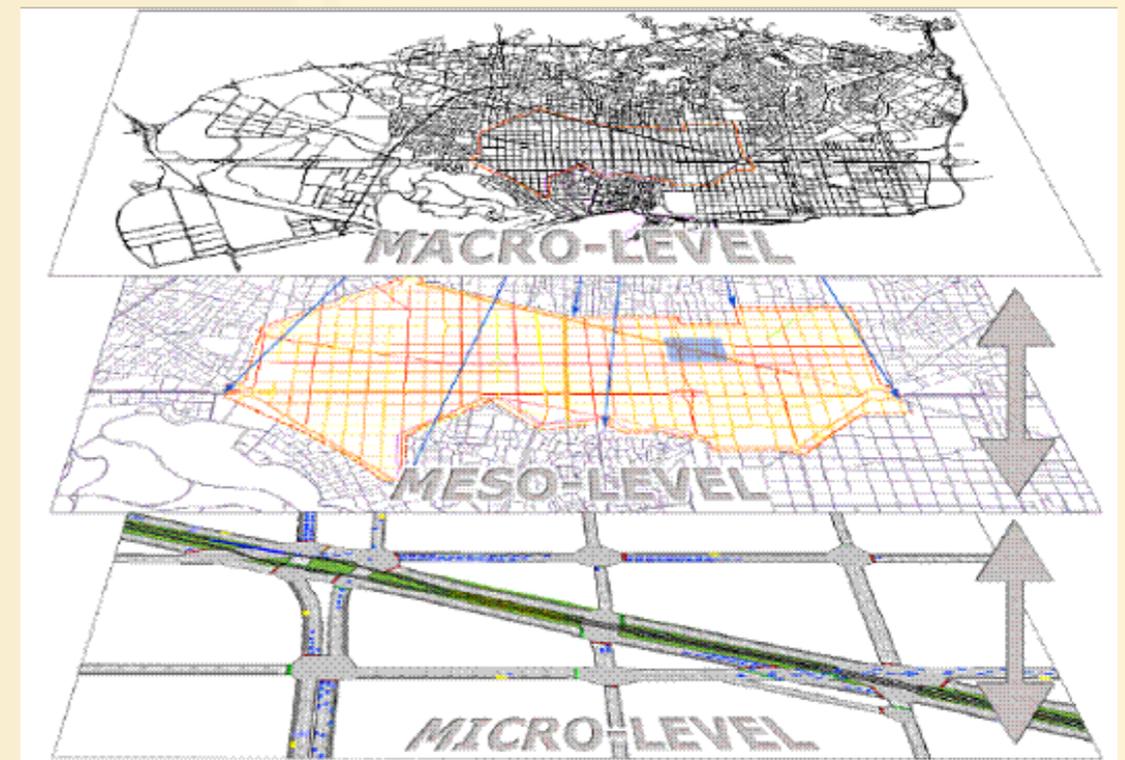


♦ Modèle macroscopique

Véhicules traités dans leur globalité dans une grande zone

♦ Modèle microscopique

Véhicules traités de façon individuelle dans une petite zone



♦ Modèle macroscopique

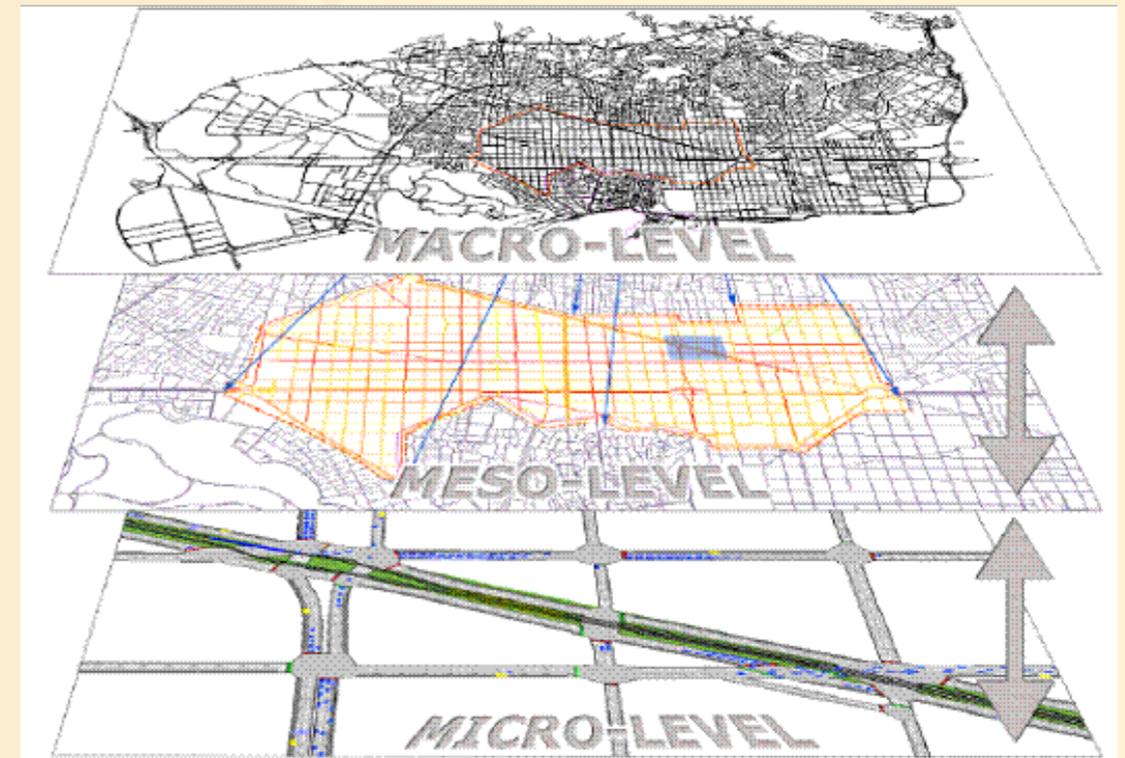
Véhicules traités dans leur globalité dans une grande zone

♦ Modèle mésoscopique

Combinaison des modèles microscopique et macroscopique

♦ Modèle microscopique

Véhicules traités de façon individuelle dans une petite zone



♦ Modèle macroscopique

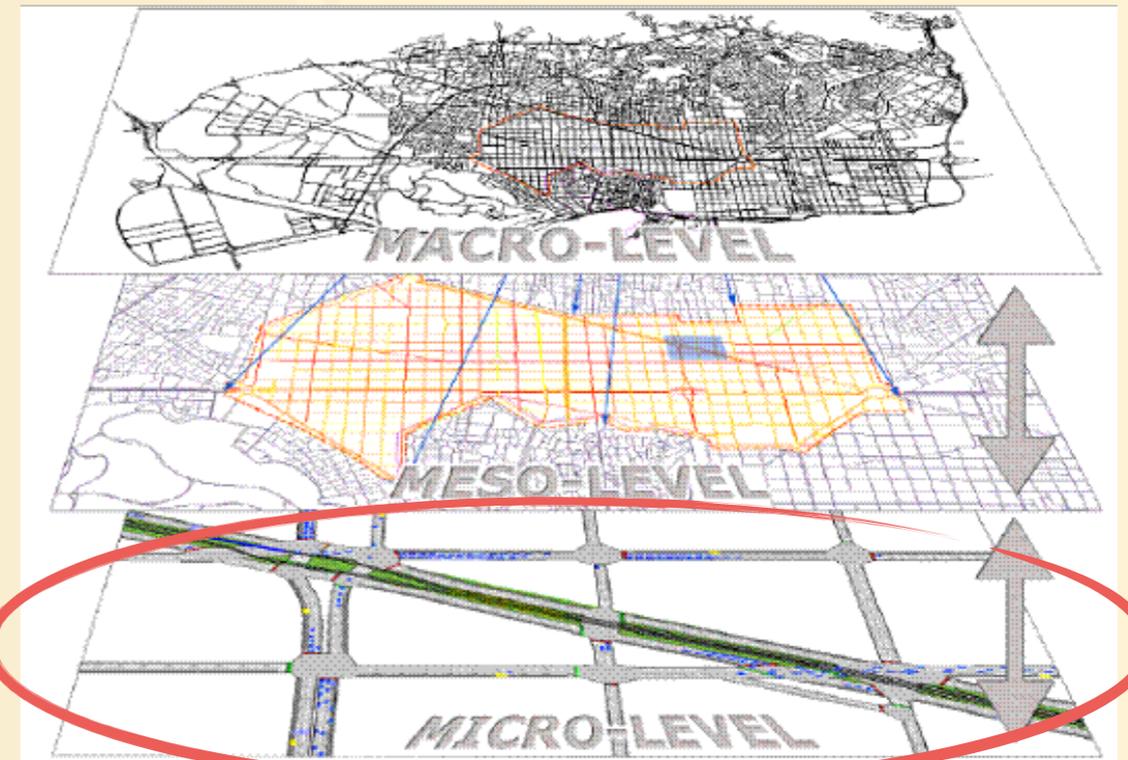
Véhicules traités dans leur globalité dans une grande zone

♦ Modèle mésoscopique

Combinaison des modèles microscopique et macroscopique

♦ Modèle microscopique

Véhicules traités de façon individuelle dans une petite zone



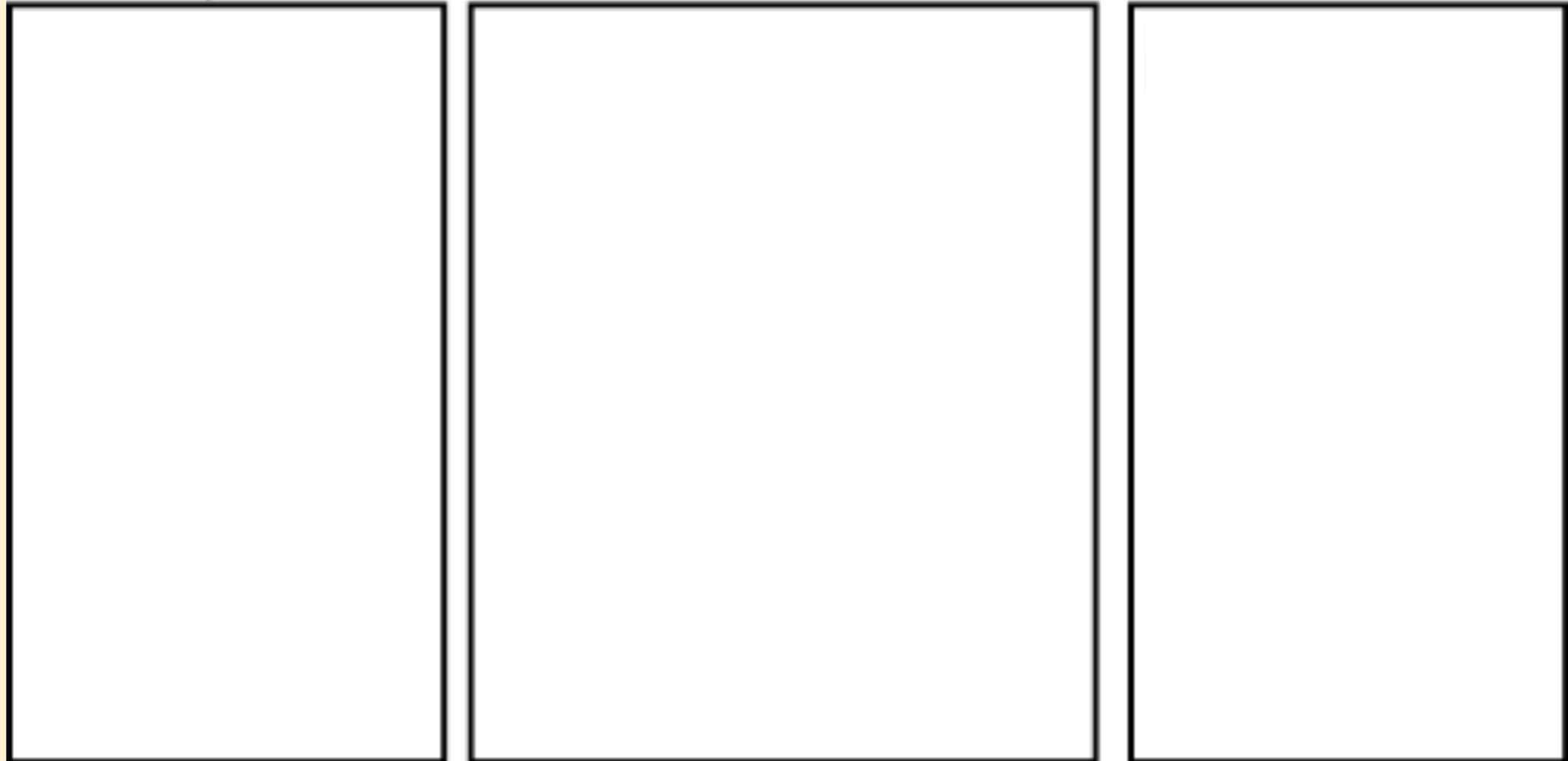
SIMULATION

POURQUOI PAS UN NOUVEAU SIMULATEUR ?

SIMULATION

POURQUOI PAS UN NOUVEAU SIMULATEUR ?

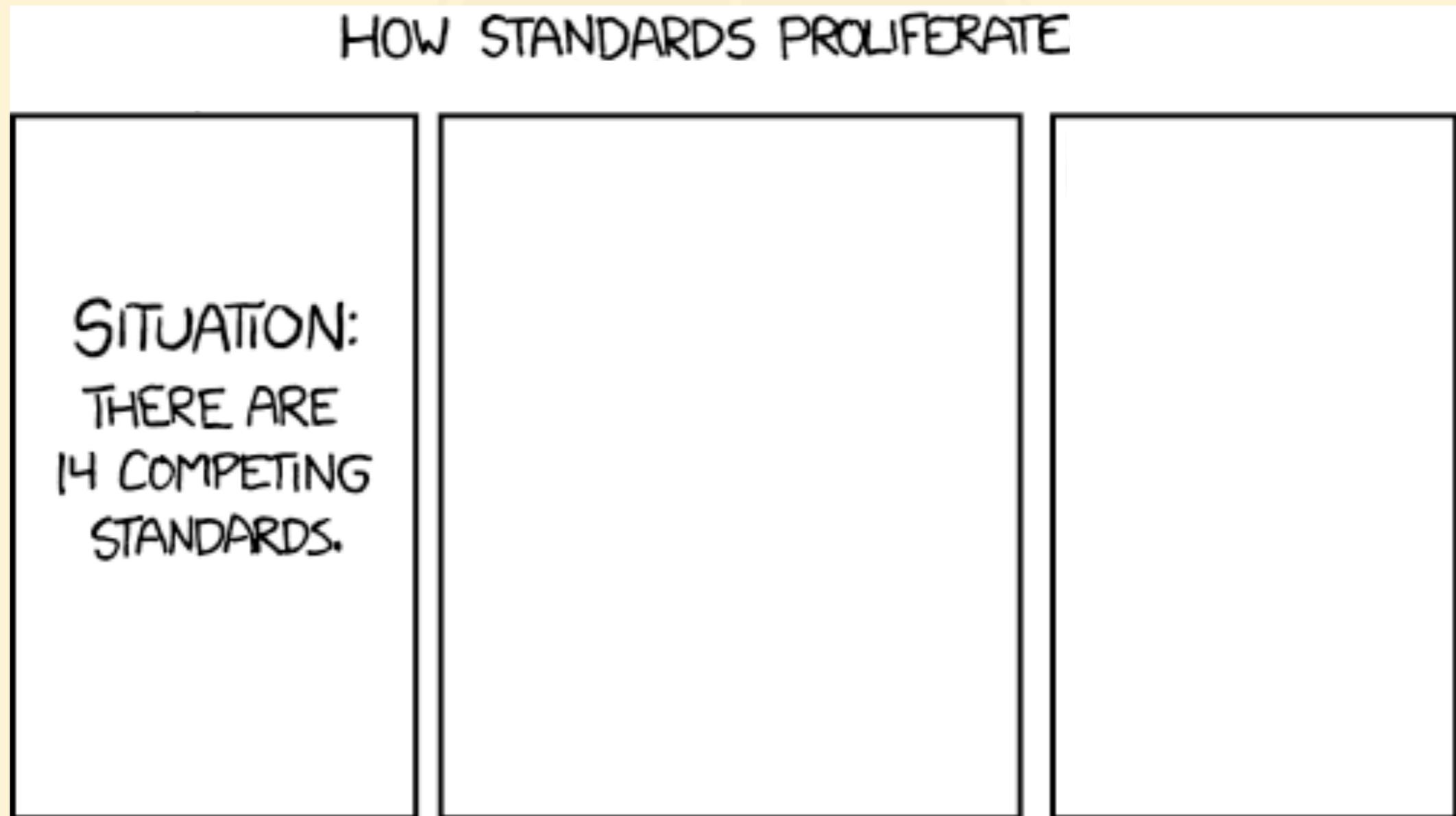
HOW STANDARDS PROLIFERATE



<https://xkcd.com/927/>

SIMULATION

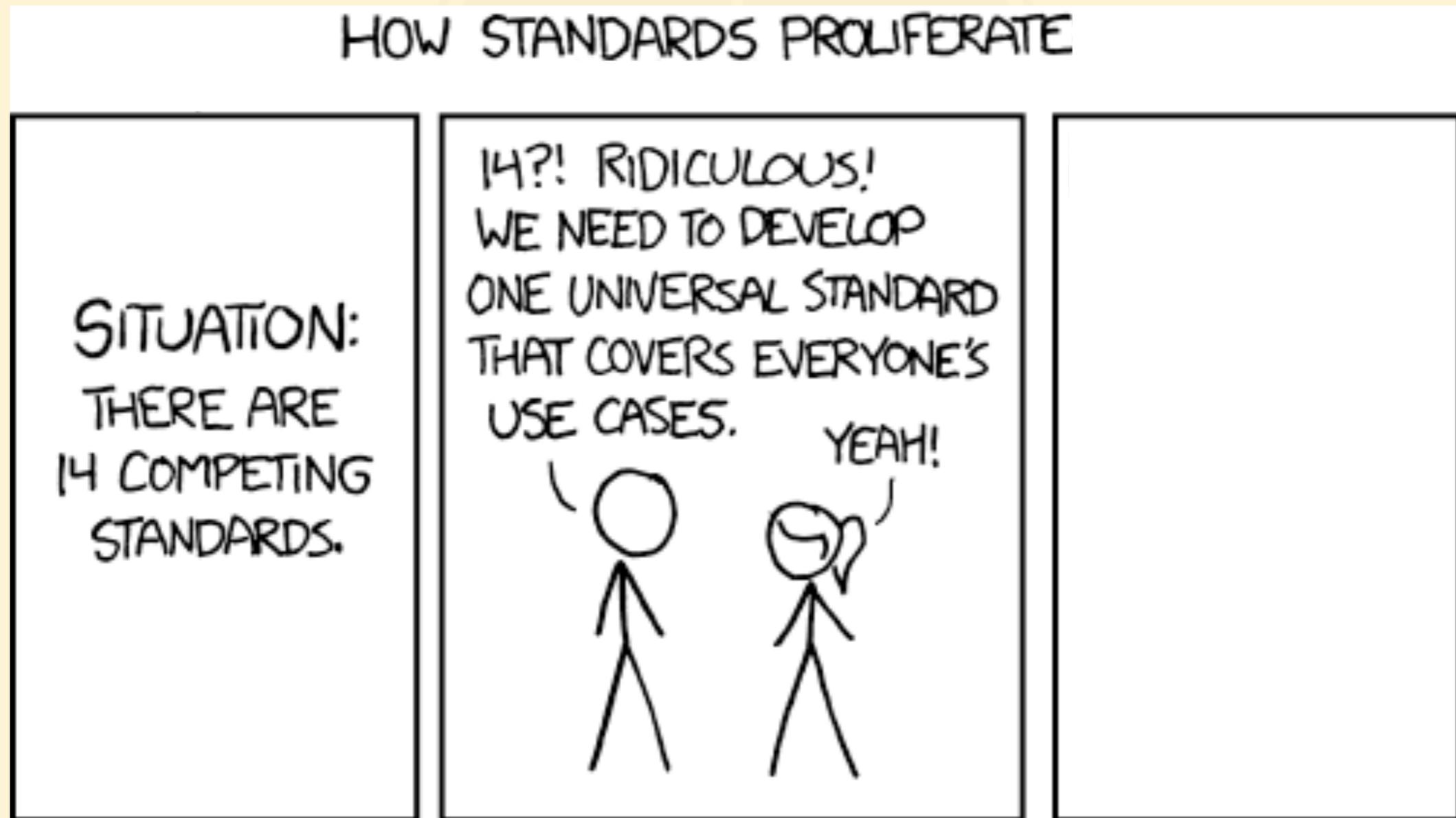
POURQUOI PAS UN NOUVEAU SIMULATEUR ?



<https://xkcd.com/927/>

SIMULATION

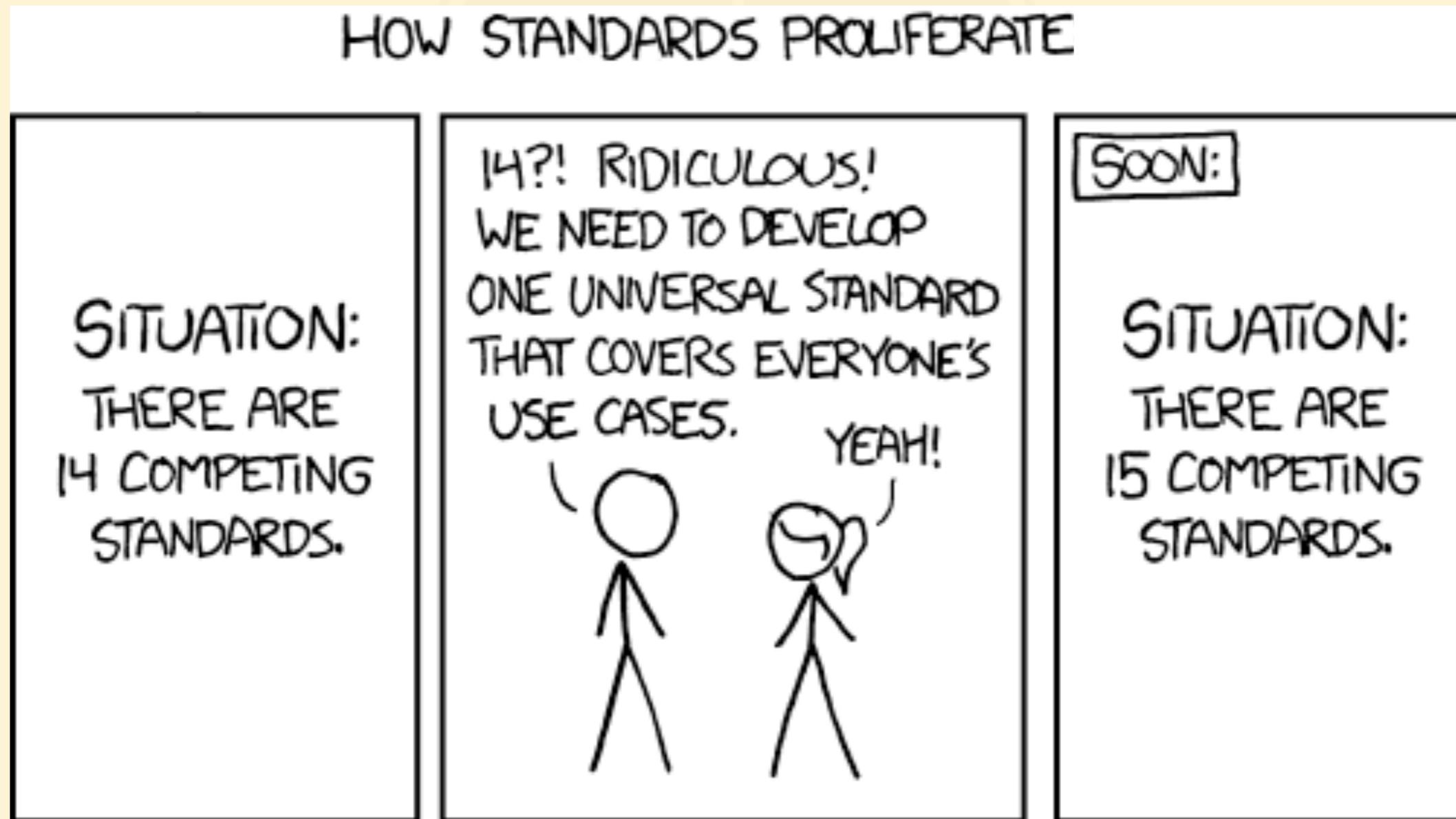
POURQUOI PAS UN NOUVEAU SIMULATEUR ?



<https://xkcd.com/927/>

SIMULATION

POURQUOI PAS UN NOUVEAU SIMULATEUR ?



<https://xkcd.com/927/>

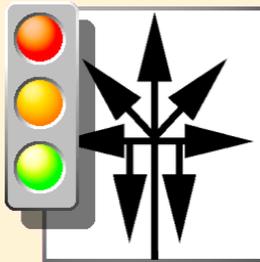
SIMULATION

LESQUELS COMPARER ?

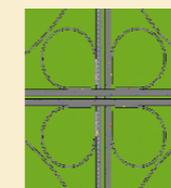
SIMULATION

LESQUELS COMPARER ?

MATSim
Multi-Agent Transport Simulation



anylogic[®]



movsim.org

multi-model open-source vehicular traffic simulator

Aimsun

COMPARATIF

CRITÈRES D'ÉVALUATION

.....

Diversifier le comportement des agents Simplicité Prix Performances

Documentation Ajouter de nouveaux comportements Communauté

Liberté de personnalisation et de création Modélisation géographique de routes

Environnement de simulation Sortie de simulation Création d'extensions

Lois de poursuite existantes Open-source Modélisation manuelle de routes

Diversité des moyens de transport Outils d'analyse Clarté du code source

Communications Installation Modélisation de voies particulières

Création de nouveaux moyens de transport Multiplateforme

Caractéristiques principales

Diversifier le comportement des agents Simplicité Prix Performances

Documentation Ajouter de nouveaux comportements Communauté

Liberté de personnalisation et de création Modélisation géographique de routes

Environnement de simulation Sortie de simulation Création d'extensions

Lois de poursuite existantes Open-source Modélisation manuelle de routes

Diversité des moyens de transport Outils d'analyse Clarté du code source

Communications Installation Modélisation de voies particulières

Création de nouveaux moyens de transport Multiplateforme

COMPARATIF

CRITÈRES D'ÉVALUATION

Prise en main

Diversifier le comportement des agents Simplicité Prix Performances

Documentation Ajouter de nouveaux comportements Communauté

Liberté de personnalisation et de création Modélisation géographique de routes

Environnement de simulation Sortie de simulation Création d'extensions

Lois de poursuite existantes Open-source Modélisation manuelle de routes

Diversité des moyens de transport Outils d'analyse Clarté du code source

Communications Installation Modélisation de voies particulières

Création de nouveaux moyens de transport Multiplateforme

Simulation et analyse

Diversifier le comportement des agents	Simplicité	Prix	Performances
Documentation	Ajouter de nouveaux comportements	Communauté	
Liberté de personnalisation et de création	Modélisation géographique de routes		
Environnement de simulation	Sortie de simulation	Création d'extensions	
Lois de poursuite existantes	Open-source	Modélisation manuelle de routes	
Diversité des moyens de transport	Outils d'analyse	Clarté du code source	
Communications	Installation	Modélisation de voies particulières	
Création de nouveaux moyens de transport		Multiplateforme	

Simulation de trafic

Diversifier le comportement des agents Simplicité Prix Performances

Documentation Ajouter de nouveaux comportements Communauté

Liberté de personnalisation et de création Modélisation géographique de routes

Environnement de simulation Sortie de simulation Création d'extensions

Lois de poursuite existantes Open-source Modélisation manuelle de routes

Diversité des moyens de transport Outils d'analyse Clarté du code source

Communications Installation Modélisation de voies particulières

Création de nouveaux moyens de transport Multiplateforme

Simulation multi-agents

Diversifier le comportement des agents

Simplicité

Prix

Performances

Documentation

Ajouter de nouveaux comportements

Communauté

Liberté de personnalisation et de création

Modélisation géographique de routes

Environnement de simulation

Sortie de simulation

Création d'extensions

Lois de poursuite existantes

Open-source

Modélisation manuelle de routes

Diversité des moyens de transport

Outils d'analyse

Clarté du code source

Communications

Installation

Modélisation de voies particulières

Création de nouveaux moyens de transport

Multiplateforme

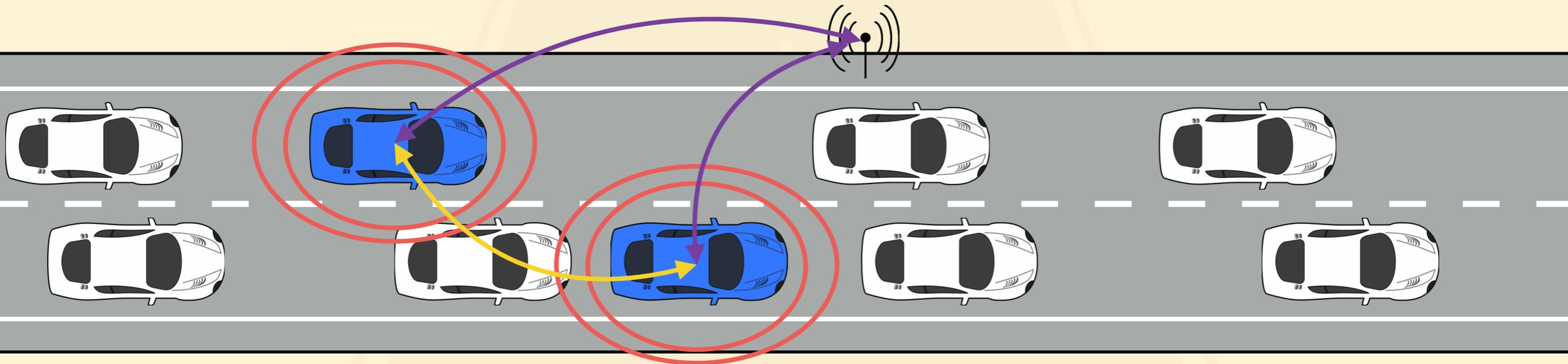
COMPARATIF

CRITÈRES D'ÉVALUATION

Aller plus loin

Diversifier le comportement des agents Simplicité Prix Performances
Documentation Ajouter de nouveaux comportements Communauté
Liberté de personnalisation et de création Modélisation géographique de routes
Environnement de simulation Sortie de simulation Création d'extensions
Lois de poursuite existantes Open-source Modélisation manuelle de routes
Diversité des moyens de transport Outils d'analyse Clarté du code source
Communications Installation Modélisation de voies particulières
Création de nouveaux moyens de transport Multiplateforme

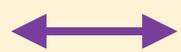
Analyse de l'environnement + Communications



RSU (Road-Side Unit)



Communications V2V (Vehicle to Vehicle)



Communications V2I / I2V (Vehicle to Infrastructure / Infrastructure to Vehicle)

Critères indispensables

Critères indispensables

Gratuit

Open-source

Modélisation manuelle de routes

Diversifier le comportement des agents

Ajouter de nouveaux comportements

Communications

Liberté de personnalisation et de création

Critères indispensables

Gratuit

Open-source

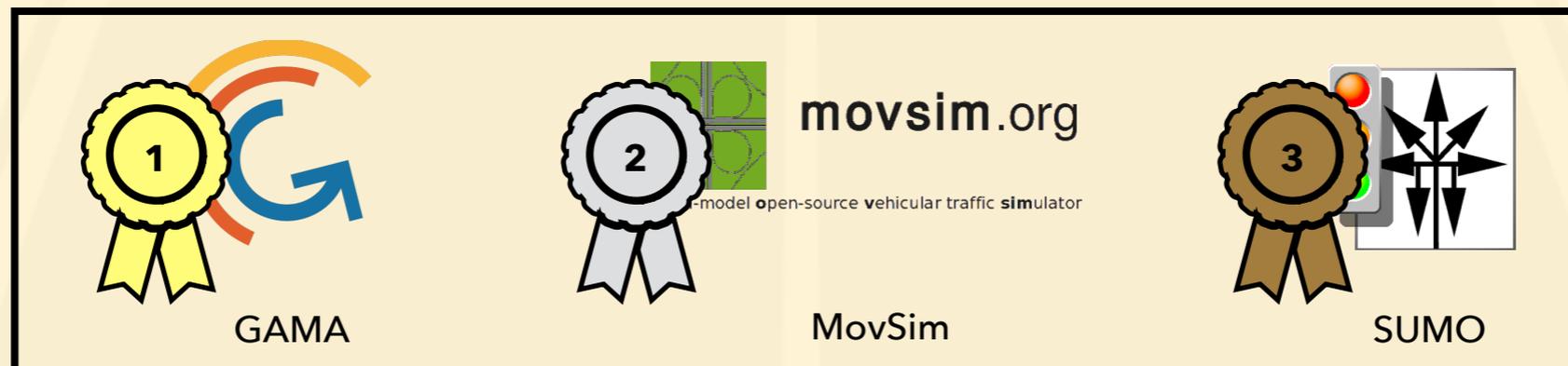
Modélisation manuelle de routes

Diversifier le comportement des agents

Ajouter de nouveaux comportements

Communications

Liberté de personnalisation et de création



CONCLUSION

CONCLUSION

Diversifier le comportement des agents Simplicité Prix Performances

Documentation Ajouter de nouveaux comportements Communauté

Liberté de personnalisation et de création Modélisation géographique de routes

Environnement de simulation Sortie de simulation Création d'extensions

Lois de poursuite existantes Open-source Modélisation manuelle de routes

Diversité des moyens de transport Outils d'analyse Clarté du code source

Communications Installation Modélisation de voies particulières

Création de nouveaux moyens de transport Multiplateforme

Mise en place de critères

CONCLUSION

		Aimsun	AnyLogic	Gama	MatSIM	MovSim	OpenDS	SUMO
	Date de création	1993	2000	2010	2005	2010	2012	2001
	Langage de programmation	Langage propriétaire / C++	Langage propriétaire / Java	Java / GAML	Java	Java	Java	C++
Caractéristiques principales	Prix	Version gratuite limitée / Version payante	Version gratuite (hors recherche) / Version payante	Gratuit	Gratuit	Gratuit	Version gratuite / Version payante plus complète	Gratuit
	Open-source	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
	Multiplateforme	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
	Installation	Simple	Simple	Simple	Simple	Assez simple	Simple	Assez simple
Prise en main	Documentation	Très complète	Très complète	Complète	Complète	Assez complète	Assez complète	Complète
	Communauté	Très active	Très active	Active (concepteurs)	Active	Active (concepteurs)	Active	Active (concepteurs)
	Simplicité	Très simple	Très simple	Simple	Assez simple	Assez simple	Moyennement simple	Assez simple
Simulation et analyse	Environnement de simulation	Très bon	Très bon	Bon	Assez bon	Bon	Assez bon	Bon
	Sortie de simulation	Très complet	Très complet	Complet	Complet (outil payant)	Complet	Complet	Complet
	Outils d'analyse	Très complet	Complet	Complet	Complet (outil payant)	Complet	Complet	Limité
	Performances	Très performant	Très performant	Performant	Performant	Performant	Assez performant	Performant
Simulation de trafic	Lois de poursuite existantes	Une loi	Aucune	Une loi	Aucune	Grand nombre de lois	Aucune	Plusieurs lois
	Modélisation de routes à partir de données géographiques	Très simple et très complet	Très simple et très complet	Moyennement simple et assez complet	Assez simple et assez complet	Non	Assez simple et complet (logiciel tierce)	Assez simple et assez complet
	Modélisation manuelle de routes	Très simple et très complet	Très simple et très complet	Non	Assez simple et assez complet	Assez simple et assez complet	Assez simple et complet (logiciel tierce)	Assez simple et très complet
	Modélisation de voies particulières (arrêt de bus, rail, passage pour piétons, parking)	Très complet	Complet	Non	Non	Non	Non	Complet
	Diversité des moyens de transports	Quatre roues et deux roues (de tout type), trains, piétons	Quatre roues et deux roues (de tout type), trains, piétons	Voitures, poids lourds, piétons	Quatre roues (de tout type), piétons	Voitures, poids lourds	Voitures, poids lourds	Quatre roues et deux roues (de tout type), trains, piétons
	Création de nouveaux moyens de transport	Impossible	Très simple	Simple	Assez simple	Assez simple	Assez simple	Assez simple
Simulation multi-agents	Diversifier le comportement des agents	Simple et complet	Simple et complet	Simple et complet	Simple et assez complet	Simple et complet	Assez simple et assez complet	Simple et complet
	Ajouter de nouveaux comportements	Assez simple	Très simple	Simple	Moyennement simple	Simple	Assez simple	Moyennement simple
	Communications	Oui	Oui	Oui	Non	Oui (prochainement disponible)	Non	Oui
Aller plus loin	Liberté de personnalisation et de création	Bonne	Très bonne	Très bonne	Moyennement bonne	Assez bonne	Assez bonne	Moyennement bonne
	Création d'extensions (plug-ins)	Assez simple mais limité	Simple	Assez simple	Assez simple	Assez simple	Assez simple	Assez simple
	Clarté du code source	Code source non disponible	Code source non disponible	Clair et bien commenté	Assez clair et bien commenté	Clair et bien commenté	Assez clair et bien commenté	Clair et bien commenté

Mise en place de critères

Tableau récapitulatif

CONCLUSION

tandis que les versions payantes donnent accès à une documentation sous forme d'un wiki.

Communauté. Pour Aimsun et AnyLogic, une équipe est disponible pour répondre aux différentes questions (délai de 48 heures pour AnyLogic). Ils est possible et simple de contacter les principaux concepteurs des autres simulateurs. En outre, Aimsun, MatSIM, Sumo et OpenDS possèdent des groupes de discussion où la communauté est active.

Simplicité. De par la présence d'une interface "user-friendly", Aimsun et AnyLogic se présentent comme les plus simples d'utilisation sans nécessité de regarder à tout prix la documentation. GAMA est simple d'utilisation notamment grâce à la présence de GAML qui est un langage orienté agent intuitif proche de Java et simple d'utilisation (seul un peu de documentation autour du langage est nécessaire). MatSIM, MovSIM, OpenDS et SUMO proposent une modélisation à partir de fichiers en entrée et une simulation à partir d'un environnement graphique (pour SUMO, possibilité également de passer par un terminal de commandes). Bien qu'assez simple d'utilisation, une documentation est nécessaire afin d'écrire les fichiers d'entrée correctement. Toutefois, OpenDS est moyennement simple d'utilisation en raison d'une documentation un peu faible sur la conception de ses fichiers en entrée.

4.3 Simulation et analyse

Environnement de simulation. Comme nous l'avons dit précédemment, Aimsun et AnyLogic disposent d'un environnement de simulation "user-friendly" constitué de nombreuses fonctionnalités classées par catégories. MovSim, SUMO, GAMA présentent une interface simple permettant de lancer, accélérer, ralentir, mettre en pause ou arrêter la simulation. En plus de ces éléments, AnyLogic et GAMA ont l'avantage de créer une interface adaptée à chaque utilisation (visuel seul, visuel et courbes...). L'interface de MatSIM et d'OpenDS permet uniquement de lancer la simulation en choisissant les fichiers d'entrée de notre choix.

Sortie de simulation. Sur Aimsun tout comme sur AnyLogic, il est possible d'observer l'avancement de chaque moyen de transport en temps réel sur une route en deux ou trois dimensions, le tout dans un visuel très clair et personnalisable. Bien que l'aspect visuel ne soit pas

aussi développé que pour les deux outils précédents, GAMA, MovSim et SUMO possèdent également cette fonctionnalité et peuvent également envoyer les résultats de la simulation dans un fichier de sortie. Sur OpenDS, il est possible d'observer la simulation en trois dimensions à partir d'un véhicule que l'on peut contrôler avec les touches du clavier. Sur l'outil d'origine, MatSIM peut uniquement mettre les résultats dans un fichier de sortie. Toutefois, une extension, Via [1], permet d'avoir un aspect graphique en deux dimensions personnalisable. Celle-ci est payante pour un usage recherche (gratuit et limité pour un usage personnel).

Outils d'analyse. Aimsun est constitué d'un grand nombre d'outils d'analyse prédéfinis. Il peut afficher plusieurs aspects de la route (densité, vitesse, pollution, consommation d'essence...) directement sur le visuel en deux dimensions ou encore via des courbes. AnyLogic, GAMA, OpenDS, MovSim peuvent étudier les résultats par l'intermédiaire de courbes ou directement sur la simulation (trajectoire du véhicule, vitesse...). GAMA peut effectuer ceci grâce à une extension permettant une étude de trafic routier [25]. MatSIM permet analyser via des courbes ou directement sur la simulation à partir de Via. SUMO manque d'un ensemble d'outils d'analyse permettant l'étude de ces résultats (nécessité d'effectuer l'analyse nous-mêmes à partir du fichier contenant les données).

Performances. Nous donnons un ordre de grandeur en nombre de kilomètres de voies (remplies de véhicules). Ainsi, Aimsun et AnyLogic permettent de simuler et d'observer facilement au moins 100 km de voies, au moins 20 km de voies pour GAMA, MatSIM, MovSim, SUMO et au moins 5 km de voies pour OpenDS.

4.4 Simulation de trafic

Lois de poursuite existantes. MovSim est l'outil proposant le plus large choix de lois de poursuite et de modèles de changement de voie (Gipps [14], IDM [28], MOBIL [18]...). SUMO utilise les modèles de Gipps mais des extensions permettent un modèle dérivé de Krauss [2]. Aimsun utilise les modèles de Gipps également. GAMA utilise un modèle dérivé d'IDM. AnyLogic, MatSIM et OpenDS n'utilisent pas de modèles de lois de poursuite.

Modélisation de la route à partir de données géographiques. Excepté MovSim, tous

Mise en place de critères

Tableau récapitulatif

Comparatif détaillé pour chaque critère



MERCI