



SimuDay '19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITÉ !



IFSTAR



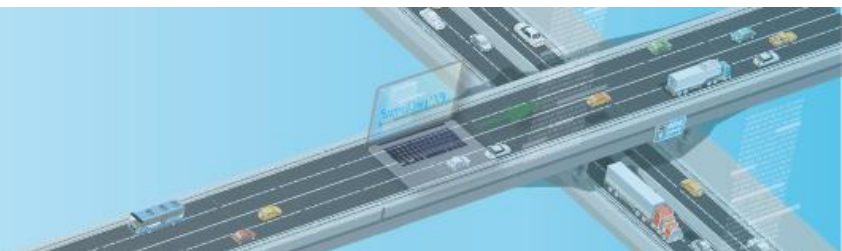
www.cerema.fr

Simulation d'un convoi de véhicules connectés

Afaf Bouhoute & Mohamed Mosbah

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !

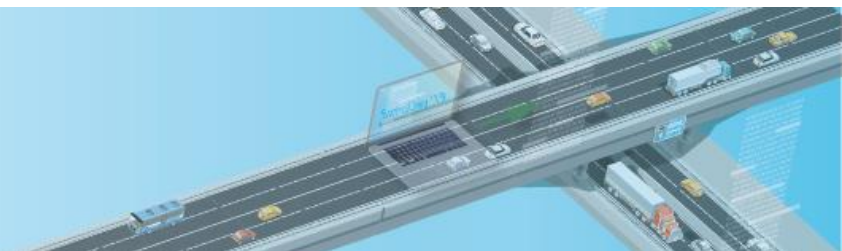


Sommaire

1. Platooning: Concept et intérêts
2. La simulation: quel enjeux?
3. Le simulateur Plexe
4. Exemple de simulation avec plexe
5. Conclusion

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



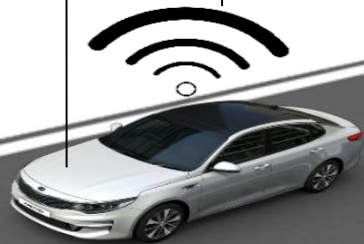
Platooning

Véhicule de tête guide les membres du convoi

Coordination pour permettre aux véhicules d'entrer/sortir du convoi

Équipé de technologies de détection et de méthodes de contrôle longitudinal et latéral

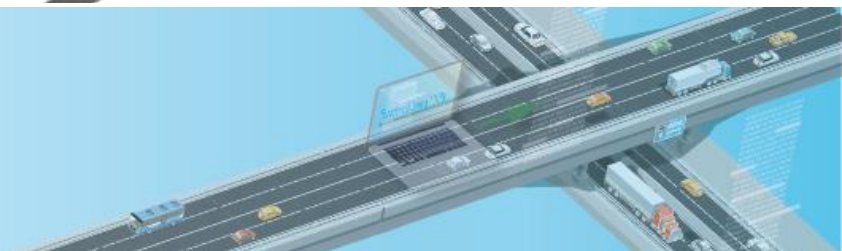
Connexion sans fil reliant les véhicules du convoi



**Platooning =
Contrôle robuste
+
stratégie de communication**

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Platooning

Avantages

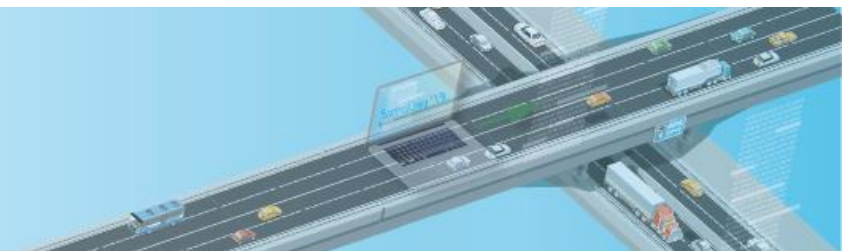
- Fluidité de trafic
- Sécurité
- Avantage aérodynamique
- Réduction de la charge du conducteur

Défis

- Sûreté du contrôle
- Sécurité des communications V2V
- Cohabitation avec des véhicules non autonomes

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !

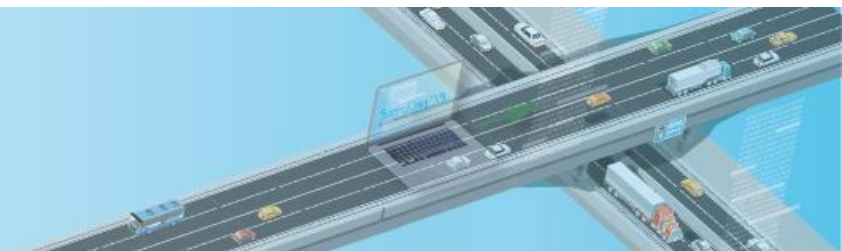


Evaluation du platooning

- Validation du concept et des avantages sur le flux de trafic.
- Validation des modèles de contrôle.
- Validation des protocoles de coordination entre les membres du platoon.
- Etude des manœuvres et des interactions avec les autres usagers.

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Evaluation du platooning



Test terrain

Situations réelles de conduite

Coût élevé des équipements

Environnement non contrôlé



Simulation

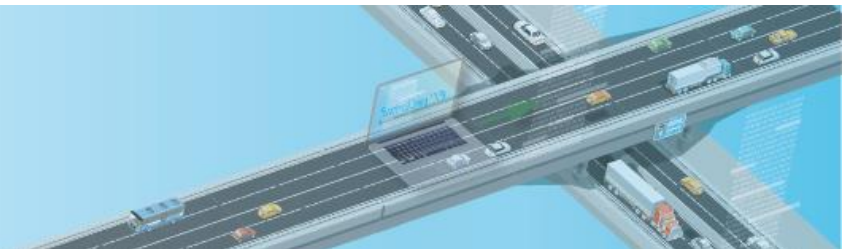
Beaucoup de scénarios peuvent être étudiés (Analyse grande échelle)

Coût d'évaluation réduit

Environnement virtuel contrôlé

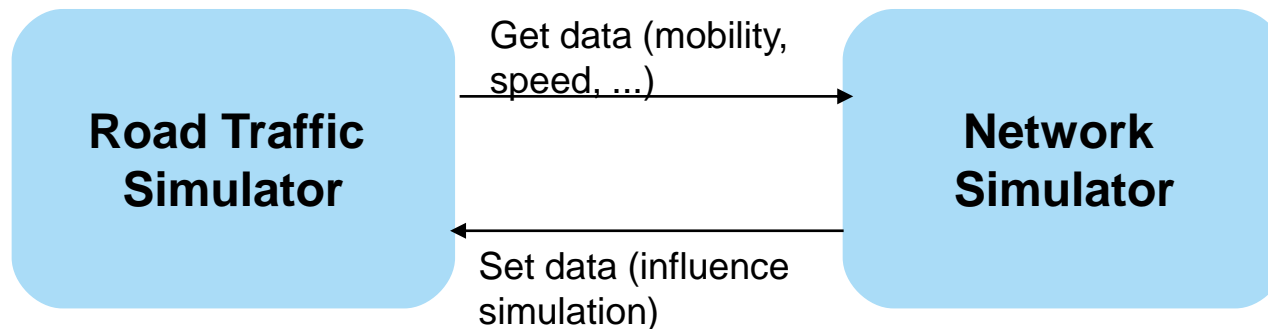
SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Simulation du platooning

- La simulation doit permettre d'étudier conjointement la performance du réseau de trafic et du réseau de communication

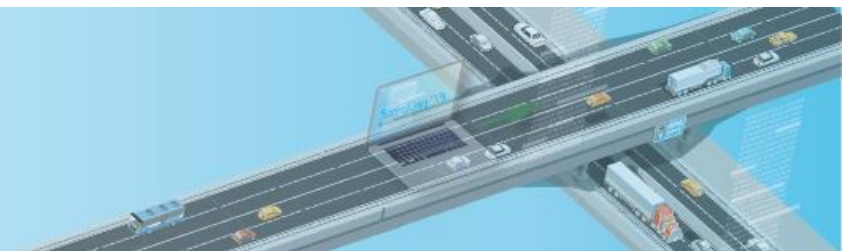


***Simulation de la mobilité
des véhicules***

***Simulation des communications
véhiculaires***

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !

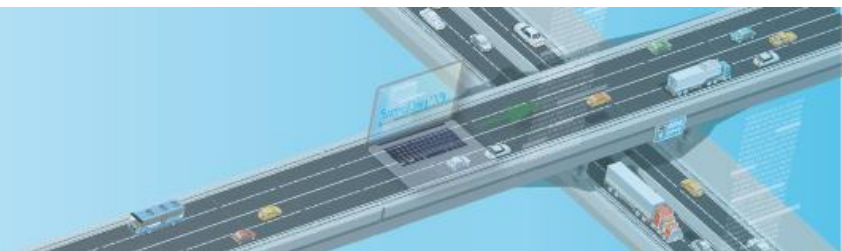


Simulation du platooning

- Critères pour le choix du simulateur
 - Open source
 - Facilité d'extension
 - Simulation réaliste du trafic et des communications
 - Support du trafic mixte
- **Plexe**: Platooning extension for *Veins*

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Veins: Vehicles in network simulation

- Simulation bidirectionnelle-couplée du trafic routier et du trafic réseau



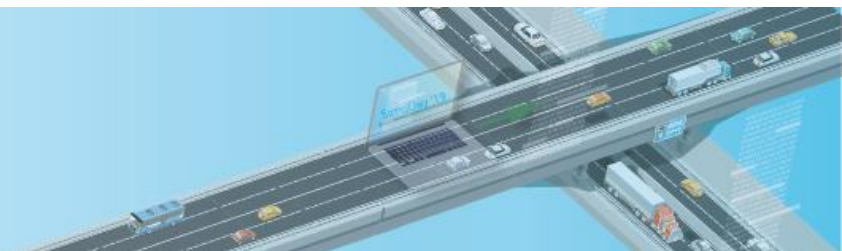
Pile protocolaire pour les réseaux véhiculaires (IEEE 802.11p) et des modèles de canal appropriés.

Couplage via une connexion TCP (TraCI protocol)

Simulation microscopique du trafic routier

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



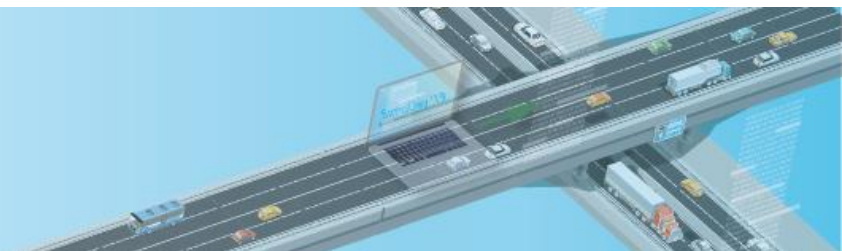
Veins: Vehicles in network simulation

- Un nœud est créé sur OMNeT++ pour chaque véhicule dans SUMO.
- Dans chaque nœud est implémenté une pile de protocoles, un BP (Beaconning Protocol) et une/plusieurs applications.



SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



SUMO: Simulation of Urban Mobility



Réseau routier

Un graphe où les nœuds représentent les intersections et les arcs représentent les routes

Demande de trafic

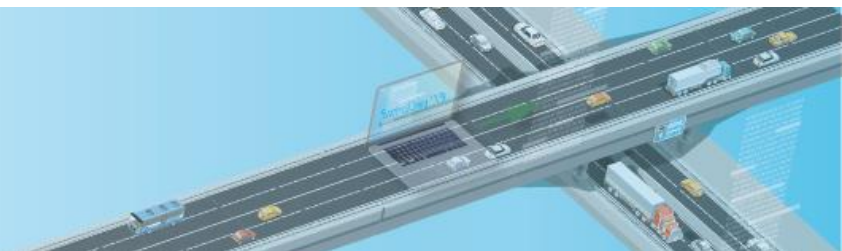
Trajectoires des véhicules, flux de trafic, itinéraires.

Infrastructure Supplémentaire

Feux de signalisation, arrêts de bus, POI,...

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



SUMO: Simulation of Urban Mobility



Réseau routier

- Créé manuellement
- Généré automatiquement (NETGEN)
- Importé depuis une source externe (e.g. OpenStreetMap)

Demande de trafic

Différents outils pour la génération des itinéraires

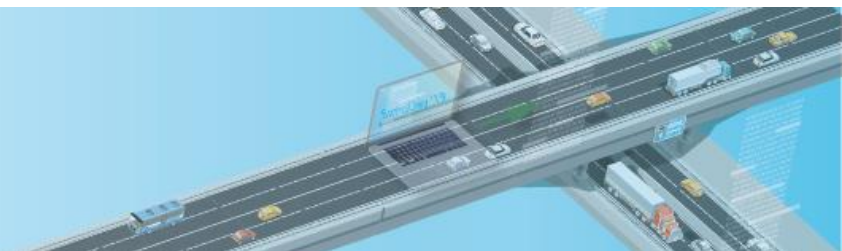
Infrastructure Supplémentaire

Des outils pour la gestion du trafic

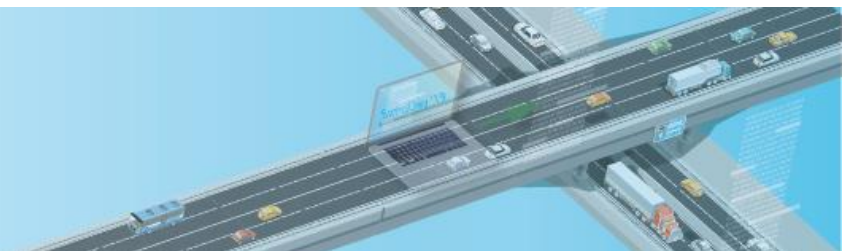
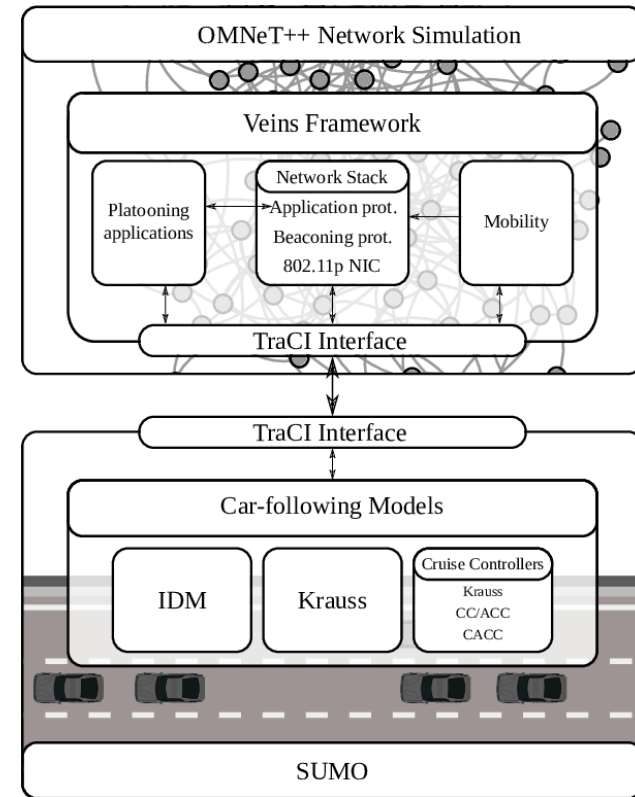
- contrôle des feux de signalisation
- Panneaux de vitesse variable

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



- Une extension de Veins.
- Plexe-SUMO
 - Réalisme du comportement dynamique des véhicules.
 - Plusieurs contrôleurs (CC/ ACC/ CACC).
- Plexe-Veins
 - Simulation des communications basées sur IEEE 802.11p.
 - Evaluation de nouveaux protocoles de coopération.



Simulation avec Plexe

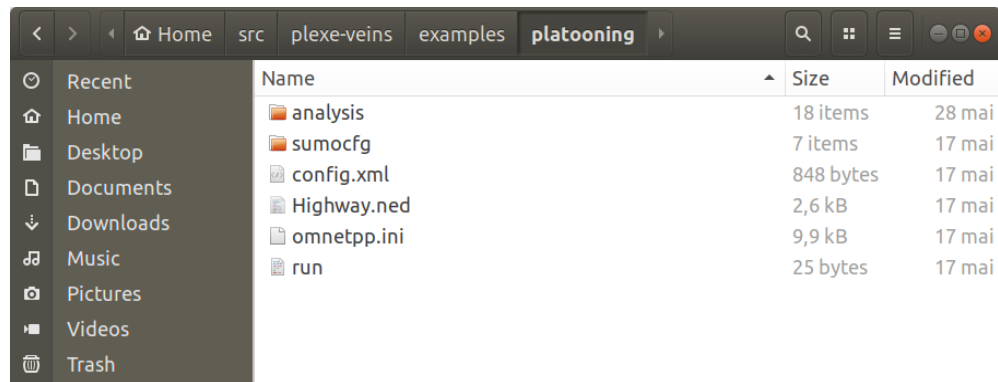
- Simulation du platooning de 8 camions sur l'A63

Configuration
sumo
(sumocfg)

Configuration
omnet
(omnetpp.ini)

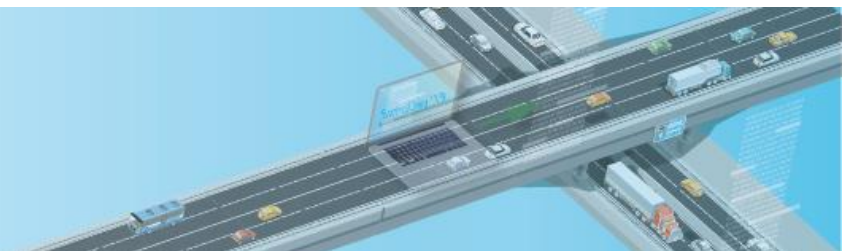
Simulation
(run)

Analyse des
résultats
(analysis)



SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !

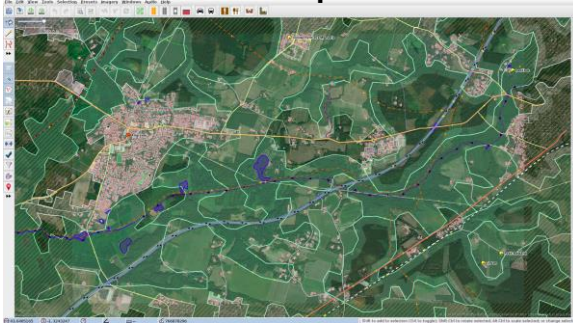


Simulation avec Plexe

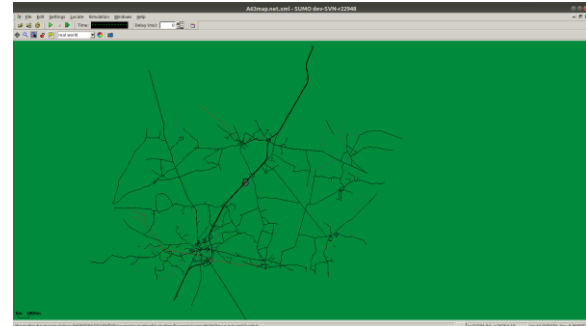
Configuration SUMO

- Création réseau routier (network file)

OSM Map

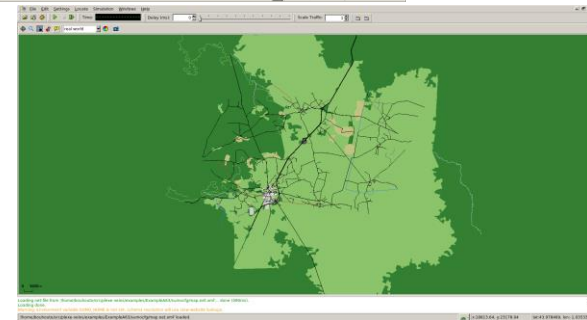


SUMO network File



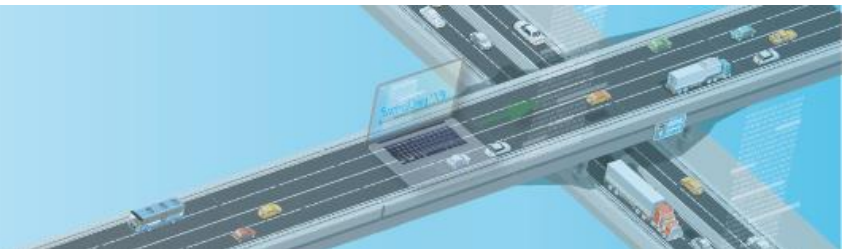
```
netconvert --osm-files map.osm --output.street-names -o map.net.xml
```

```
polyconvert --osm-files map.osm -o map.poly.xml
```



SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Simulation avec Plexe

Configuration SUMO

- Création de la demande de trafic (routes file)

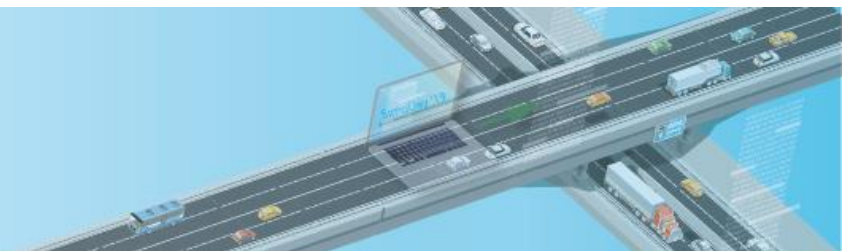
```
map.rou.xml
~/src/plexo-veins/examples/ExampleA63/sumocfg

<routes>
  <vType id="vtypeauto" accel="2.5" decel="6.0" sigma="0.5" length="4" minGap="0" maxSpeed="1000" color="1,0,0" vClass="truck" probability="1" speedFactor="1000"
  carFollowModel="CC" tauEngine="0.5" omegaN="0.2" xi="1" c1="0.5" lanesCount="4" ccAccel="1.5" ploegKp="0.2" ploegKd="0.7" ploegH="0.5" />

  <route id="platoon_route" edges="172310768#0 172310768#1 172310768#2 218944895#0 218944895#1 218944895#2 218944895#3 674612987 218941659 317934891#0
  317934891#1" />
</routes>
```

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Simulation avec Plexe

Configuration SUMO

- Fichier de simulation (.sumo.cfg)

```
map.sumo.cfg
~/src/plexo-veins/examples/ExampleA63/sumocfg

<?xml version="1.0" encoding="iso-8859-1"?>

<configuration xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.sf.net/xsd/sumoConfiguration.xsd">

  <input>
    <net-file value="map.net.xml"/>
    <route-files value="map.rou.xml"/>
    <additional-files value="map.poly.xml"/>
  </input>

  <time>
    <begin value="0"/>
    <end value="81600"/>
    <step-length value="0.01"/>
  </time>

  <processing>
    <step-method.ballistic value="true"/>
    <collision.action value="warn"/>
  </processing>

  <gui_only>
    <start value="true"/>
    <gui-settings-file value="map.gui.xml"/>
  </gui_only>

</configuration>
```

Réseau routier et demande de trafic

Période et pas de simulation

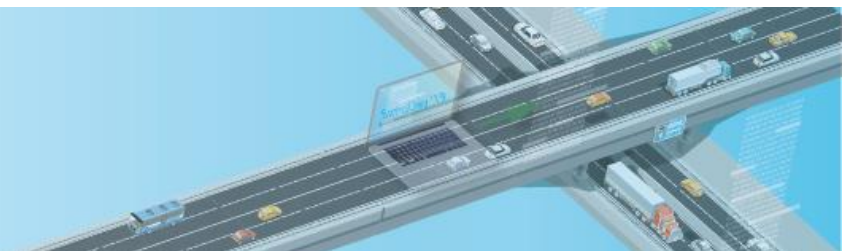
Méthode d'intégration pour le contrôle des véhicules

Paramètres pour l'interface graphique

XML Tab Width: 8 Ln 15, Col 12 INS

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Simulation avec Plexe

Configuration omnet++

- Paramètres de contrôle de la simulation

```
[General]
cmdenv-express-mode = true
cmdenv-autoflush = true
cmdenv-status-frequency = 10s
num-rngs = 6
```

```
ned-path = .
network = Highway
```

```
#####
#           Simulation parameters           #
#####
debug-on-errors = true
print-undisposed = true
```

```
*.playgroundSizeX = 650000m
*.playgroundSizeY = 25000m
*.playgroundSizeZ = 50m
```

Zone de mobilité des nœuds

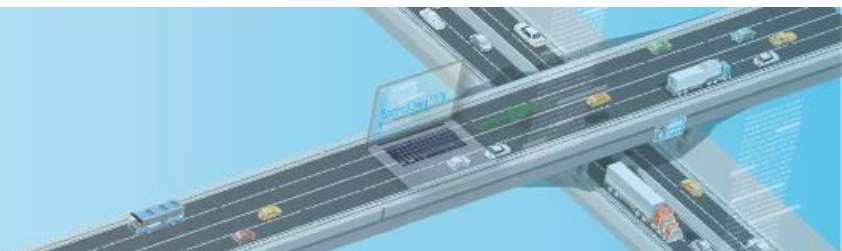
```
sim-time-limit = 1100 s
```

Temps de simulation

```
**debug = false
**coreDebug = false
```

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Simulation avec Plexe

Configuration omnet++

- Paramètres de trafic

Classe injectant des platoons de véhicules

Nombre de véhicules sur le réseau

```
#####  
# Common parameters  
#####  
**.numberOfCars = #{nCars = 8}  
**.numberOfCarsPerPlatoon = #{platoonSize = 8}  
**.numberOfLanes = #{nLanes = 1}
```

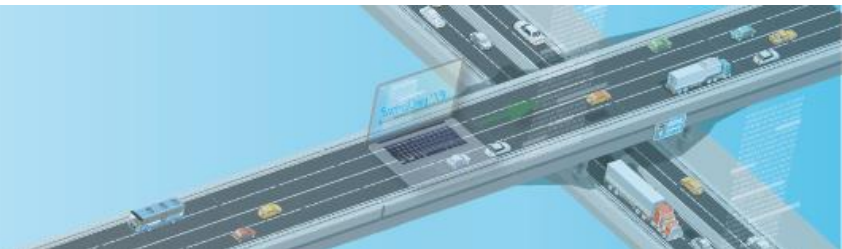
Taille du platoon

Nombre des voies
dédiées au platooning

```
#####  
# Traffic manager  
#####  
**.traffic_type = "PlatoonsTrafficManager"  
#insert platooning vehicles at time  
**.traffic.platoonInsertTime = 1 s  
#insert platooning vehicles with a speed of  
**.traffic.platoonInsertSpeed = ${leaderSpeed}kmph  
#insert nCars platooning vehicles  
**.traffic.nCars = ${nCars}  
#let platoonSize cars per platoon  
**.traffic.platoonSize = ${platoonSize}  
#use nLanes lanes  
**.traffic.nLanes = ${nLanes}  
#SUMO vtype for platooning vehicles  
**.traffic.platooningVType = "vtypeauto"  
#insert vehicles already at steady-state. distance depends on controller  
**.traffic.platoonInsertDistance = ${2, 2, 5, 2, 15, 5 ! controller}m  
**.traffic.platoonInsertHeadway = ${0.3, 1.2, 0, 0.5, 0.8, 0 ! controller}s  
**.traffic.platoonLeaderHeadway = ${leaderHeadway}s
```

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Simulation avec Plexe

Configuration omnet++

- Paramètres des modules réseau

L'application du platooning: passe les données reçues via la connexion sans fil au contrôleur.

```
#####  
#                               #  
#                               #  
#####  
* .node[*].appl_type = "SimplePlatooningApp"  
#enable statistics recording for the application  
* .node[*].appl.*.scalar-recording = true  
* .node[*].appl.*.vector-recording = true  
#####  
#                               #  
#                               #  
#####  
* .node[*].protocol_type = "SimplePlatooningBeaconing"  
#enable statistics recording for the network layer  
* .node[*].prot.*.scalar-recording = true  
* .node[*].prot.*.vector-recording = true  
#set the beaconing interval to be 0.1s  
* .node[*].prot.beaconingInterval = ${beaconInterval = 0.1}s  
#access category for platooning beacons  
* .node[*].prot.priority = ${priority = 4}  
#packet size for platooning beacon  
* .node[*].prot.packetSize = ${packetSize = 200}  
#set to 0 the packet loss rate for the unicast protocol  
* .node[*].unicast.packetLossRate = 0
```

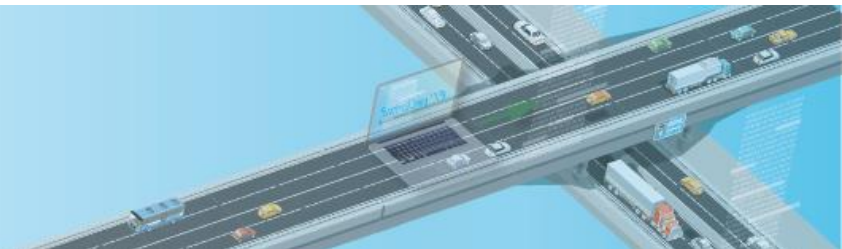
```
#####  
#                               #  
#                               #  
#####  
#                               #  
#                               #  
#####  
* .connectionManager.sendDirect = true  
* .connectionManager.maxInterfDist = 2600m  
* .connectionManager.drawMaxIntfDist = false  
#####  
* .** .nic.mac1609_4.useServiceChannel = false  
* .** .nic.mac1609_4.txPower = 100mW  
* .** .nic.mac1609_4.bitrate = 6Mbps  
#####  
* .** .nic.phy80211p.sensitivity = -94dBm  
* .** .nic.phy80211p.maxTXPower = 100mW  
* .** .nic.phy80211p.useThermalNoise = true  
* .** .nic.phy80211p.thermalNoise = -95dBm  
* .** .nic.phy80211p.decider = xmlDoc("config.xml")  
* .** .nic.phy80211p.analogueModels = xmlDoc("config.xml")  
* .** .nic.phy80211p.usePropagationDelay = true
```

Paramètres pour la connectivité 802.11p

Protocole de communication: les beacons sont envoyés tous les 0.1s

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



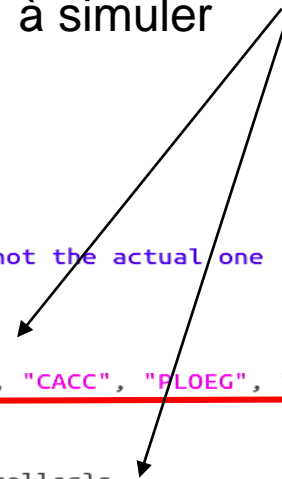
Simulation avec Plexe

Configuration omnet++

- Paramètres des contrôleurs

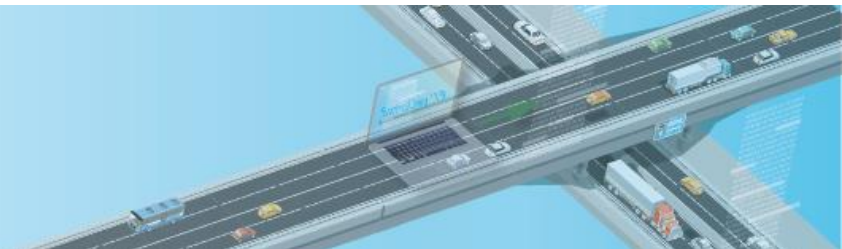
```
#####  
# Scenario common parameters #  
#####  
  
#controller and engine related parameters  
*.node[*].scenario.caccC1 = 0.5  
*.node[*].scenario.caccXi = 1  
*.node[*].scenario.caccOmegaN = 0.2 Hz  
*.node[*].scenario.engineTau = 0.5 s  
*.node[*].scenario.ploegH = ${ploegH = 0.5}s  
*.node[*].scenario.ploegKp = 0.2  
*.node[*].scenario.ploegKd = 0.7  
*.node[*].scenario.useRealisticEngine = false  
#via wireless send acceleration computed by the controller, not the actual one  
*.node[*].scenario.useControllerAcceleration = true  
  
#controllers to be tested  
**.numericController = ${controller = 0, 0, 1, 2, 3, 4}  
*.node[*].scenario.controller = ${sController = "ACC", "ACC", "CACC", "FLOEG", "CONSENSUS", "FLATBED" !  
controller}  
  
#headway for ACCs  
**.headway = _${headway = 0.3, 1.2, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1 ! controller}s  
*.node[*].scenario.accHeadway = ${headway}s  
*.node[*].scenario.leaderHeadway = ${leaderHeadway = 1.2}s  
  
#average leader speed  
*.node[*].scenario.leaderSpeed = ${leaderSpeed = 100}kmph
```

Les controleurs et inter-distances
à simuler



SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Simulation avec Plexe

Configuration omnet++

- Définition des scénarios

Des scénarios développés dans plexe

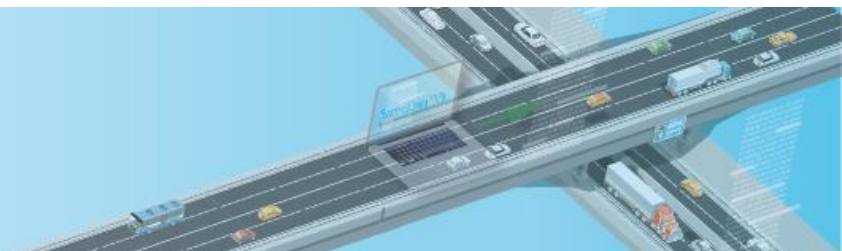
```
[Config Platooning]
*.manager.useGui = true
#use the base scenario
*.node[*].scenario_type = "SimpleScenario"
output-vector-file = ${resultdir}/${configname}_${controller}_${headway}_${repetition}.vec
output-scalar-file = ${resultdir}/${configname}_${controller}_${headway}_${repetition}.sca

[Config Sinusoidal]
*.manager.useGui = true
#use the sinusoidal scenario
*.node[*].scenario_type = "SinusoidalScenario"
#make the leader accelerate and decelerate with a sinusoidal trend. set to 0 for constant speed
*.node[*].scenario.leaderOscillationFrequency = 0.2 Hz
*.node[*].scenario.oscillationAmplitude = 10 kmph
*.node[*].scenario.startOscillating = 5 s
output-vector-file = ${resultdir}/${configname}_${controller}_${headway}_${repetition}.vec
output-scalar-file = ${resultdir}/${configname}_${controller}_${headway}_${repetition}.sca

[Config Braking]
*.manager.useGui = true
#use the braking scenario
*.node[*].scenario_type = "BrakingScenario"
#make the leader decelerate with a certain deceleration
*.node[*].scenario.leaderOscillationFrequency = 0.2 Hz
*.node[*].scenario.brakingDeceleration = 8 mpsps
*.node[*].scenario.startBraking = 5 s
output-vector-file = ${resultdir}/${configname}_${controller}_${headway}_${repetition}.vec
output-scalar-file = ${resultdir}/${configname}_${controller}_${headway}_${repetition}.sca
```

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Simulation avec Plexe

Lancement de la simulation

- Exécuter le fichier run

`./run -u <user-interface> -c <config-name> -r <run-number>`

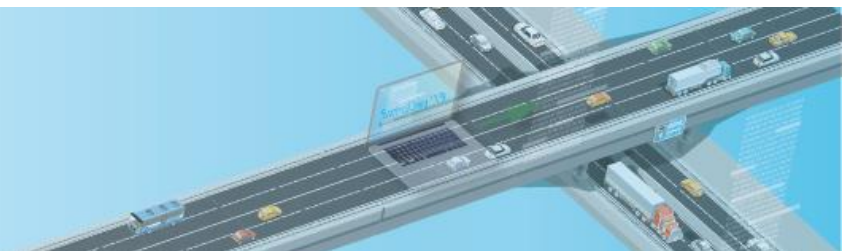
```
$ ./run -u Cmdenv -c Sinusoidal -r 2
```

Execution en mode ligne de
commande

2 pour exécuter avec le
contrôleur CACC

SimuDay' 19

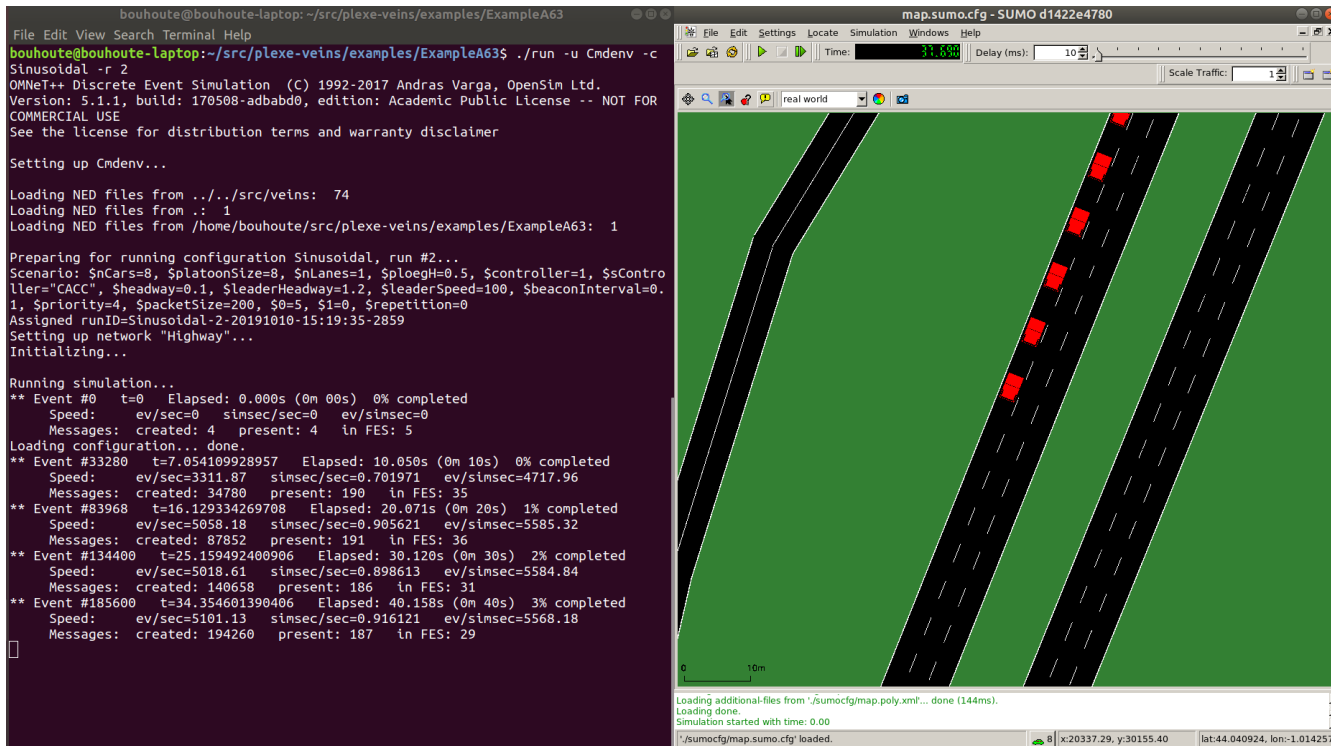
UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Simulation avec Plexe

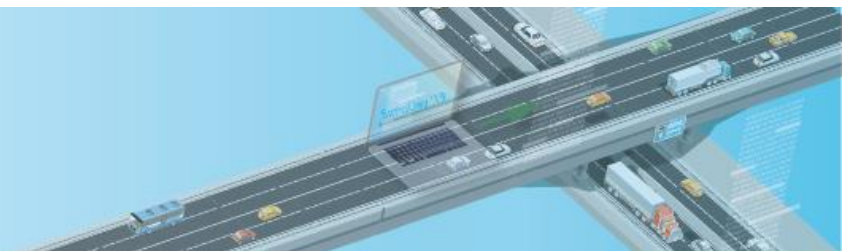
Lancement de la simulation

- Interface graphique

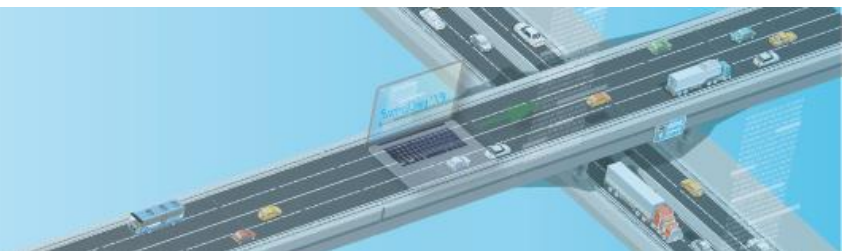


SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



- Le dossier results/ contenant les résultats est créé à la fin de la simulation
 - Deux fichiers (.vec et .sca)
- Le dossier analysis/ contient des scripts pour convertir les résultats en données format R et tracer des courbes.

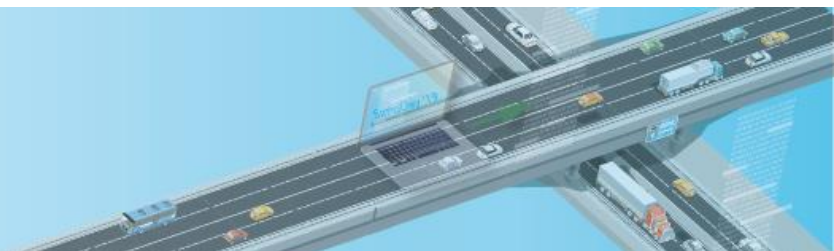


- Visualisation des données (Rstudio)

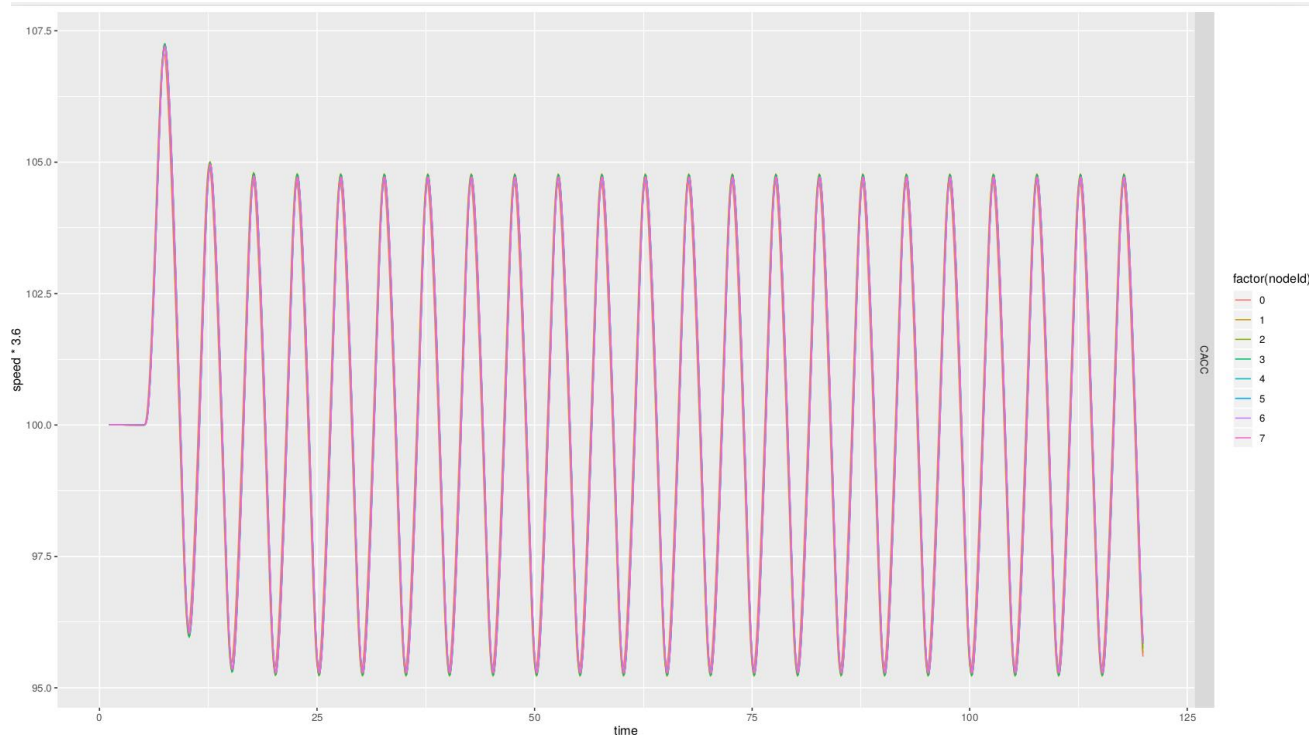
| | time | acceleration | controllerAcceleration | distance | nodeid | relativeSpeed | speed |
|----|-------|--------------|------------------------|----------|--------|---------------|---------|
| 1 | 19.01 | -1.403540000 | -1.500000000 | -1.00000 | 0 | 0.00000e+00 | 27.7010 |
| 2 | 19.01 | -1.428020000 | -1.543610000 | 4.98050 | 1 | -9.31832e-02 | 27.7942 |
| 3 | 19.01 | -1.430200000 | -1.558970000 | 4.99701 | 2 | -5.55743e-02 | 27.8498 |
| 4 | 19.01 | -1.424570000 | -1.561900000 | 5.00294 | 3 | -3.10832e-02 | 27.8809 |
| 5 | 19.01 | -1.417030000 | -1.557660000 | 5.00365 | 4 | -1.00740e-02 | 27.8909 |
| 6 | 19.01 | -1.408520000 | -1.543440000 | 5.00381 | 5 | 2.46606e-02 | 27.8663 |
| 7 | 19.01 | -1.409610000 | -1.541080000 | 4.99631 | 6 | 5.13724e-03 | 27.8611 |
| 8 | 19.01 | -1.414370000 | -1.551210000 | 4.99488 | 7 | -2.21054e-02 | 27.8833 |
| 9 | 19.11 | -1.420870000 | -1.500000000 | -1.00000 | 0 | 0.00000e+00 | 27.5597 |
| 10 | 19.11 | -1.448710000 | -1.543010000 | 4.97131 | 1 | -9.05441e-02 | 27.6502 |
| 11 | 19.11 | -1.453320000 | -1.558720000 | 4.99147 | 2 | -5.52190e-02 | 27.7055 |
| 12 | 19.11 | -1.449290000 | -1.562080000 | 4.99981 | 3 | -3.15563e-02 | 27.7370 |
| 13 | 19.11 | -1.442420000 | -1.558200000 | 5.00260 | 4 | -1.07895e-02 | 27.7478 |
| 14 | 19.11 | -1.432780000 | -1.543910000 | 5.00623 | 5 | 2.37435e-02 | 27.7241 |
| 15 | 19.11 | -1.433350000 | -1.541490000 | 4.99683 | 6 | 5.21947e-03 | 27.7188 |
| 16 | 19.11 | -1.438960000 | -1.551320000 | 4.99269 | 7 | -2.15831e-02 | 27.7404 |
| 17 | 19.21 | -1.435080000 | -1.500000000 | -1.00000 | 0 | 0.00000e+00 | 27.4168 |
| 18 | 19.21 | -1.465580000 | -1.542300000 | 4.96240 | 1 | -8.76088e-02 | 27.5044 |
| 19 | 19.21 | -1.472210000 | -1.558240000 | 4.98597 | 2 | -5.46440e-02 | 27.5591 |
| 20 | 19.21 | -1.469570000 | -1.562020000 | 4.99664 | 3 | -3.18812e-02 | 27.5909 |
| 21 | 19.21 | -1.463300000 | -1.558460000 | 5.00149 | 4 | -1.14422e-02 | 27.6024 |
| 22 | 19.21 | -1.452750000 | -1.544200000 | 5.00855 | 5 | 2.27266e-02 | 27.5797 |
| 23 | 19.21 | -1.452850000 | -1.541690000 | 4.99736 | 6 | 5.25188e-03 | 27.5744 |
| 24 | 19.21 | -1.459120000 | -1.551210000 | 4.99057 | 7 | -2.09861e-02 | 27.5954 |
| 25 | 19.31 | -1.446750000 | -1.500000000 | -1.00000 | 0 | 0.00000e+00 | 27.2726 |
| 26 | 19.31 | -1.479270000 | -1.541430000 | 4.95379 | 1 | -8.44436e-02 | 27.3571 |

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !

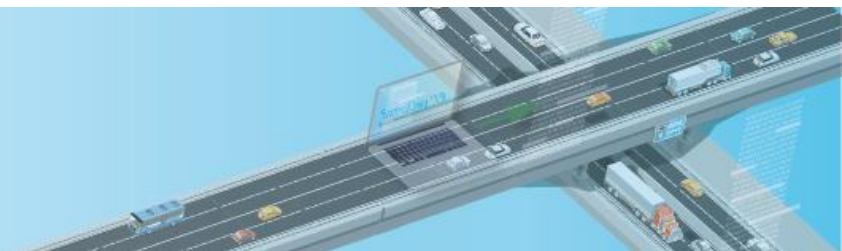


- Tracer des courbes (script plot-sinusoidal)



SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !



Conclusion

- La simulation comme méthode d'évaluation, d'analyse et de validation du platooning
- Une étape à envisager avant l'expérimentation sur terrain
- La simulation du platooning nécessite un simulateur de communications aussi bien qu'un simulateur de mobilité
- Plexe: une co-simulation entre SUMO et OMNeT++

SimuDay' 19

UNE DYNAMIQUE POUR VOTRE MOBILITE !

