

# Systemes de Transport Intelligent: Réseaux Véhiculaires

Abdelhakim S. Hafid

Laboratoire des réseaux de Communication  
Département d'Informatique et Recherche Opérationnelle  
Université de Montréal  
<http://www.iro.umontreal.ca/~laborlc/>

# Plan

- Systèmes de Transport Intelligent (STI)
- Réseaux Véhiculaires
  - Définition et Standards
  - Applications
    - Applications de Sécurité Routière
    - Applications de Transport Efficace
    - Applications de Surveillance
  - Défis
- Conclusion
  - Futur des Réseaux Véhiculaires

# Systemes de Transport : Quelques Statistiques

- Nombre d'accidents par an excède les 5 millions
- Le nombre de décès sur les autoroutes des États Unis a dépassé les 32, 000 en 2011

# Systemes de Transport : Quelques Statistiques

- Nombre d'accidents par an excède les 5 millions
- Le nombre de décès sur les autoroutes des États Unis a dépassé les **32, 000** en 2011



# Systemes de Transport : Quelques Statistiques



# Systemes de Transport : Quelques Statistiques

- Le coût d'embouteillage dans les grandes villes des États-Unis a atteint \$121 milliards en 2011
  - 5.5 milliards d'heures de retard
  - 2.9 milliards de gallons de carburant gaspillés
  - 56 milliards de livres de CO2

Comment améliorer  
ces statistiques ?



# Systemes de Transport Intelligent (1)

Utilisation/application

véhicules



Infrastructure de transport



Technologies émergentes de l'information et de la communication



# Systemes de Transport Intelligent (2)



Source: ETSI



# Systemes de Transport Intelligent (3)

## Objectifs

- Sauver des vies
- Gagner du temps
- Faire des économies
- Sauver l'environnement

- Implique un large éventail des sciences et technologies
  - Mécanique,
  - Contrôle automatique,
  - Électronique,
  - Traitement du signal,
  - Réseaux,
  - Informatique ,-Intégrés dans l'infrastructure de transport ainsi que dans les véhicules

# Systemes de Transport Intelligent (3)

## Objectifs

- Sauver des vies
- Gagner du temps
- Faire des économies
- Sauver l'environnement

- Composante clé
  - Réseaux véhiculaires

- Implique un large éventail des sciences et technologies
  - Mécanique,
  - Contrôle automatique,
  - Électronique,
  - Traitement du signal,
  - Réseaux,
  - Informatique ,-Intégrés dans l'infrastructure de transport ainsi que dans les véhicules

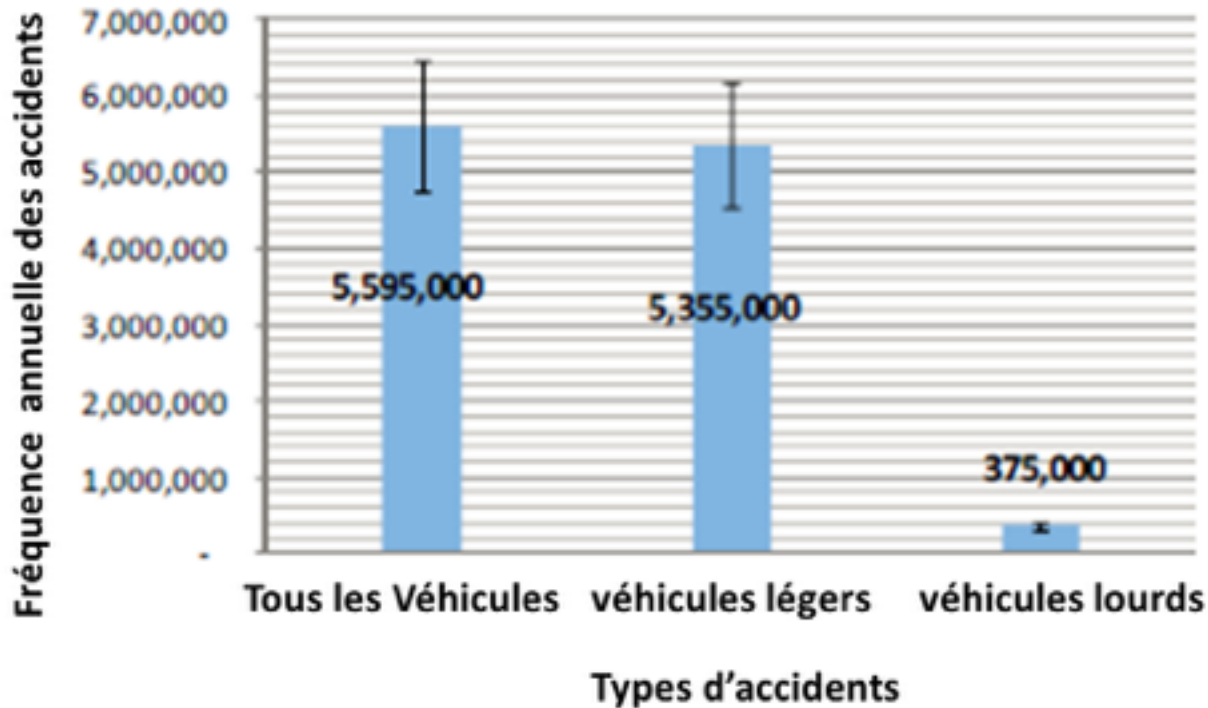
# Plan

- Systèmes de Transport Intelligent
  - Motivation et Définition
- Réseaux Véhiculaires
  - Définition et Standards
  - Applications
    - Applications de Sécurité Routière
    - Applications de Transport Efficace
    - Applications de Surveillance
  - Défis
- Conclusion
  - Futur des Réseaux Véhiculaires

# Réseaux Véhiculaires : Définition



# Réseaux Véhiculaires : Composante Clé des STI?



Les réseaux véhiculaires ont le potentiel de traiter **plus que 79%** de tous les accidents n'impliquant pas les conducteurs à facultés affaiblies (US Department of Transport)

# Réseaux Véhiculaires : Standards (1)

- **Dedicated Short-Range Communications (DSRC)**
  - Spectre de 75 MHz dans la bande 5,9 GHz (attribuée en 1999)
    - Gratuit et sous licence
  - Structuré en sept canaux de 10 MHz
    - 1 canal de commande et 6 canaux de service
- **IEEE 802.11p**
  - Définit les améliorations à 802.11 pour supporter les applications des réseaux véhiculaires
  - Approuvé en 2010 (groupe de travail formé en 2004)
- **WAVE (IEEE 1609 standards)**
  - Wireless Access in Vehicular environments
  - Mode de fonctionnement utilisé par les appareils 802.11p pour fonctionner dans la bande DSRC
  - La norme IEEE 1609.3 couvre la configuration et la gestion de connexion
  - La norme IEEE 1609.4 permet le fonctionnement des couches supérieures à travers des canaux multiples
  - Etc.

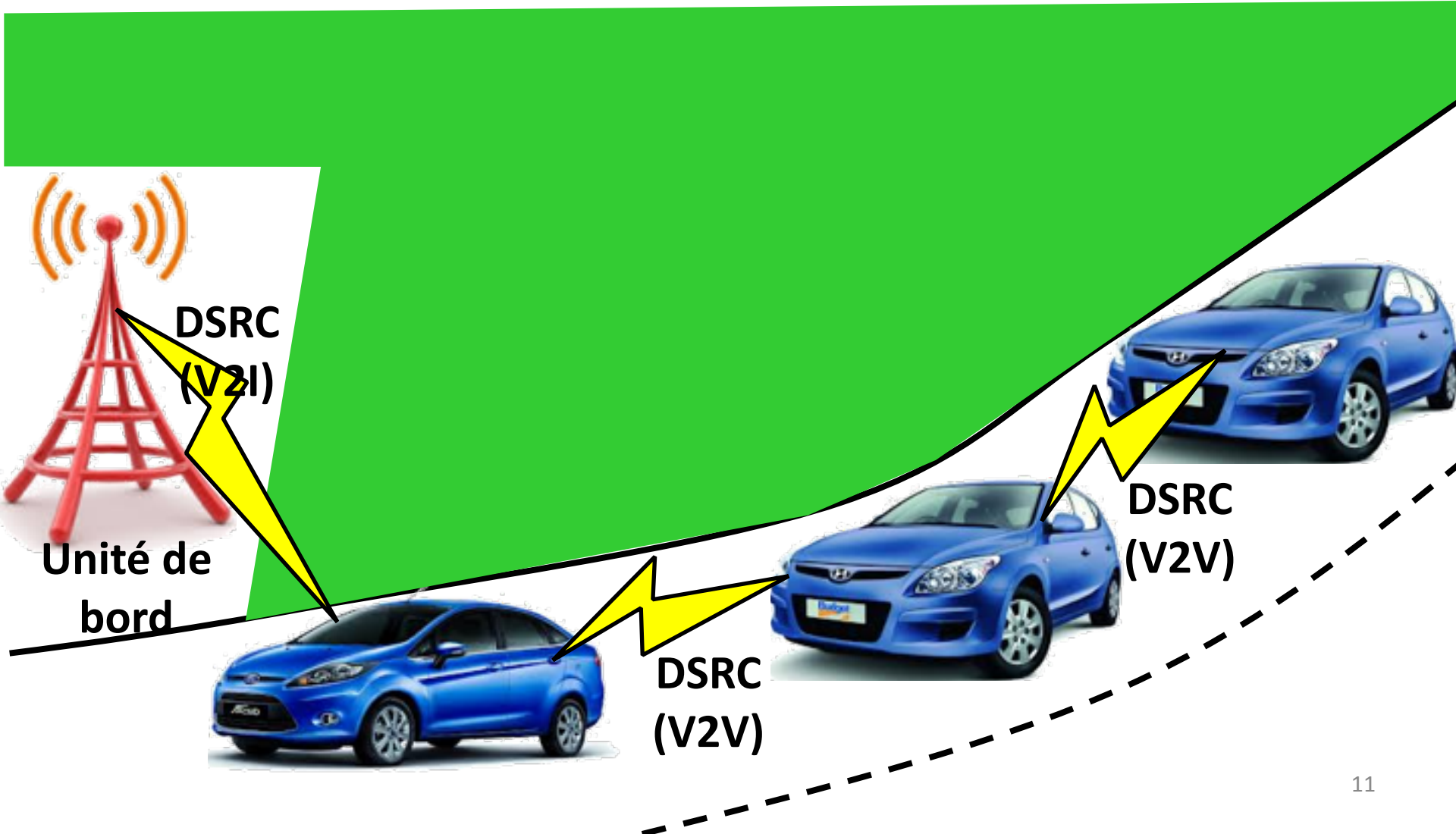
# Réseaux Véhiculaires (Standards)



Unité de  
bord

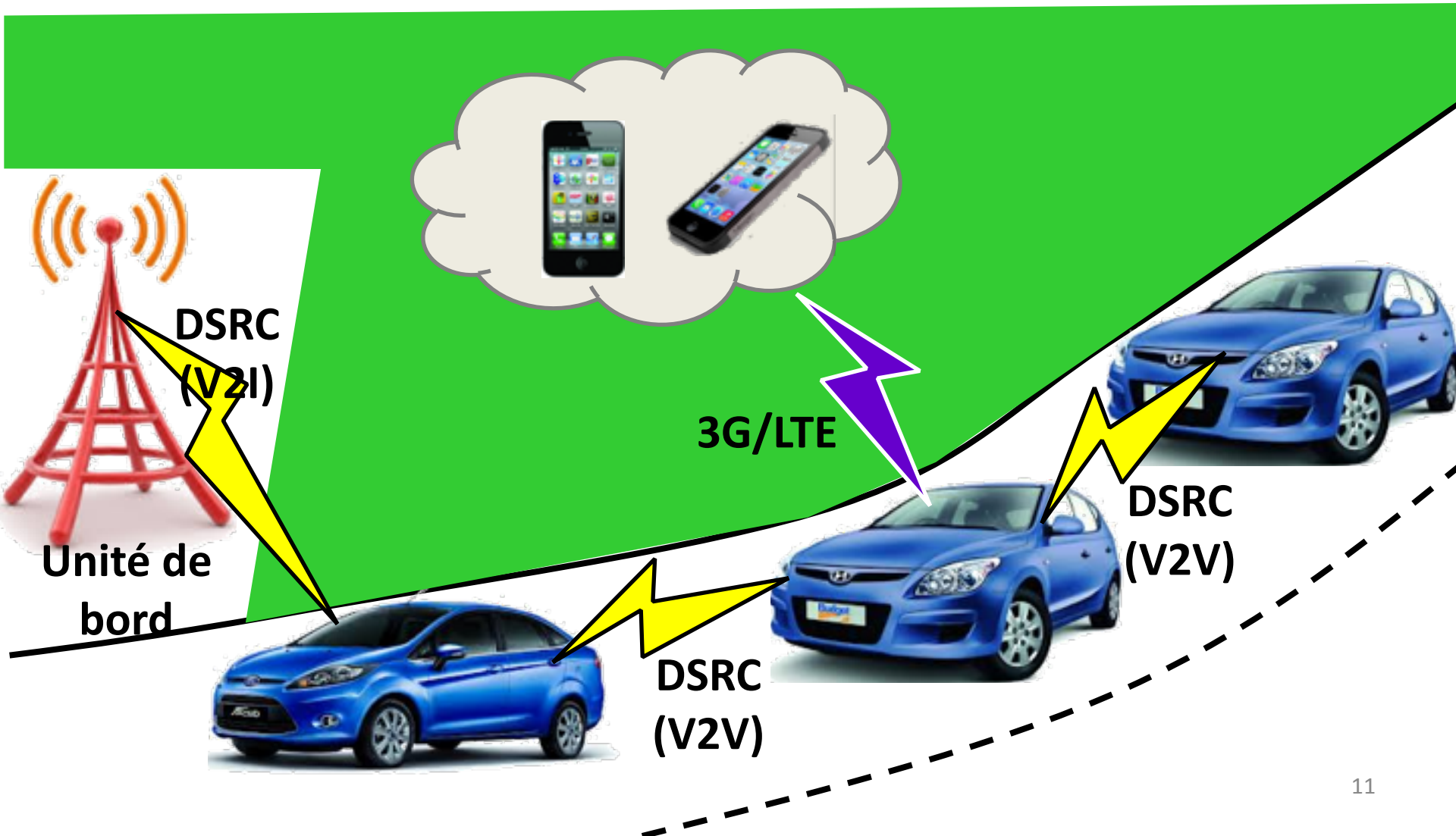


# Réseaux Véhiculaires (Standards)

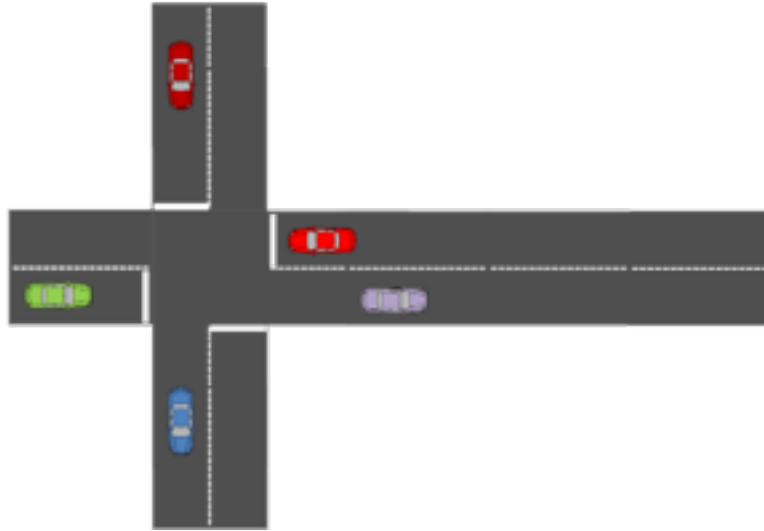




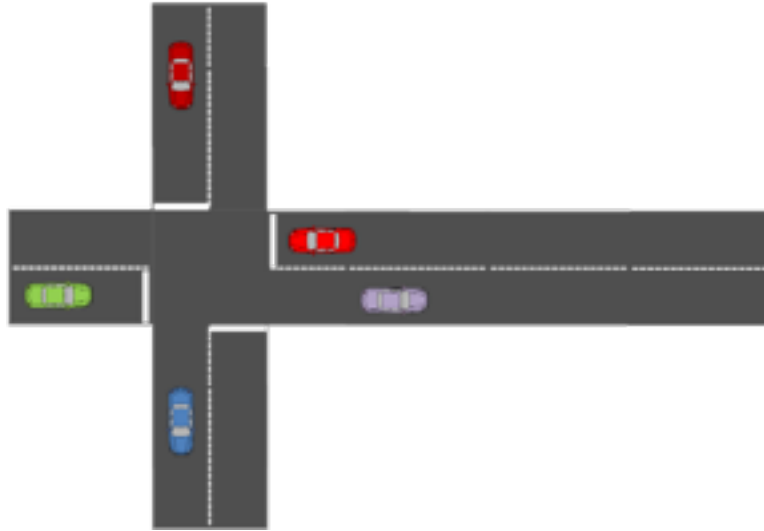
# Réseaux Véhiculaires (Standards)



# Réseaux Véhiculaires : Messages (1)

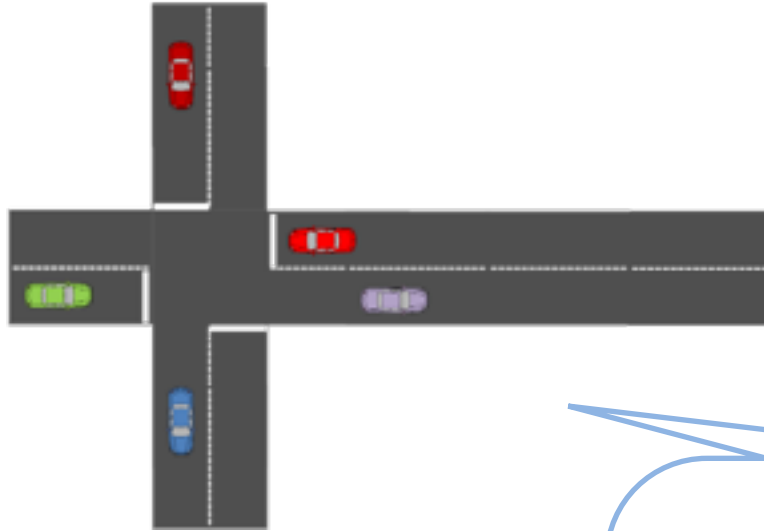


# Réseaux Véhiculaires : Messages (1)



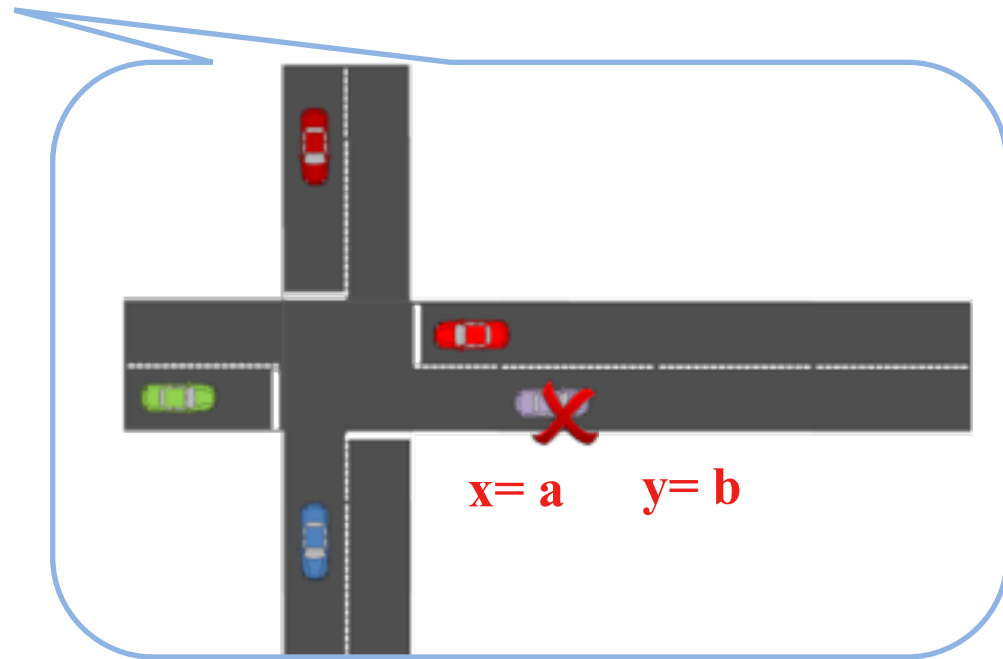
Beacons

# Réseaux Véhiculaires : Messages (1)

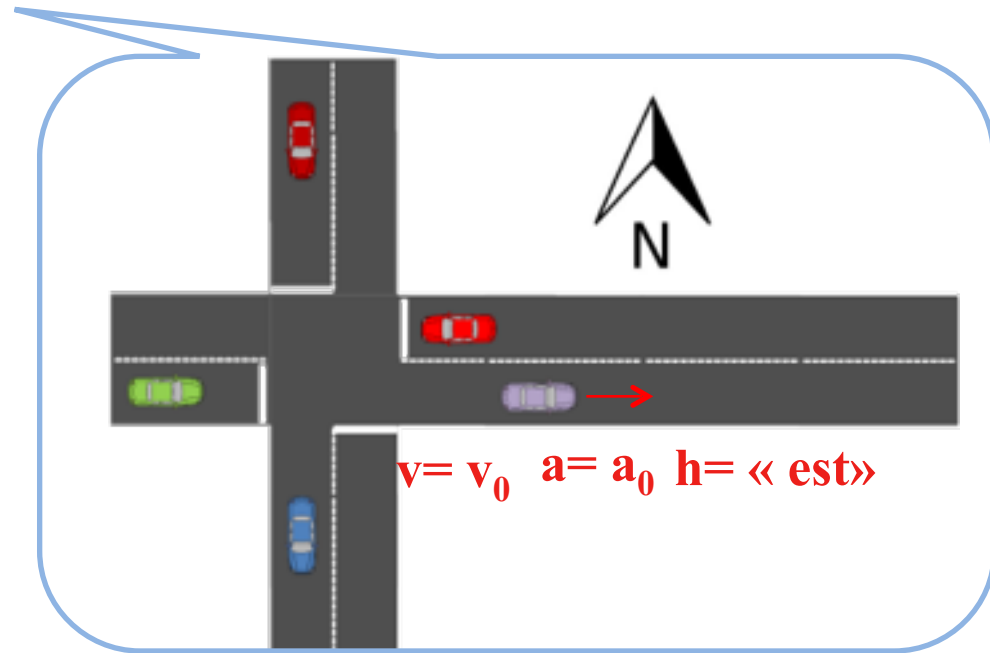
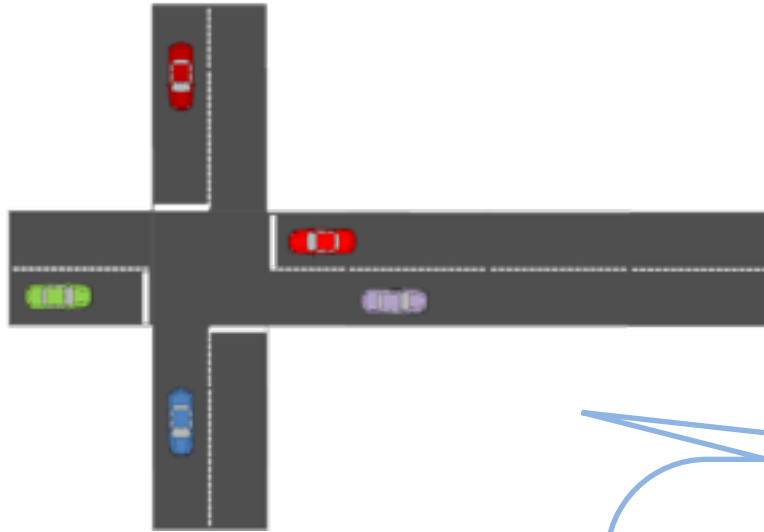


Beacons

- Position GPS



# Réseaux Véhiculaires : Messages (1)



## Beacons

- Position GPS
- Vitesse, accélération et direction.

# Réseaux Véhiculaires: Messages (2)

## Messages d'urgence

- Avertissement d'accident, etc.

# Réseaux Véhiculaires: Messages (2)

## Messages d'urgence

- Avertissement d'accident, etc.



# Plan

- Systèmes de Transport Intelligent
- Réseaux Véhiculaires
  - Définition et Standards
  - Applications
    - Applications de Sécurité Routière
    - Applications de Transport Efficace
    - Applications de Surveillance
  - Défis
- Conclusion
  - Futur des Réseaux Véhiculaires



# Applications

- Applications de sécurité routière
- Applications de transport efficace
- Applications de surveillance



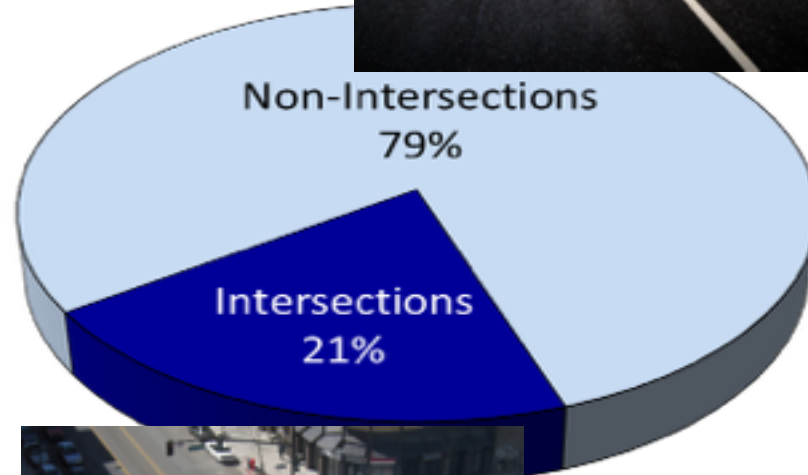
# Applications

- Applications de sécurité routière
- Applications de transport efficace
- Applications de surveillance

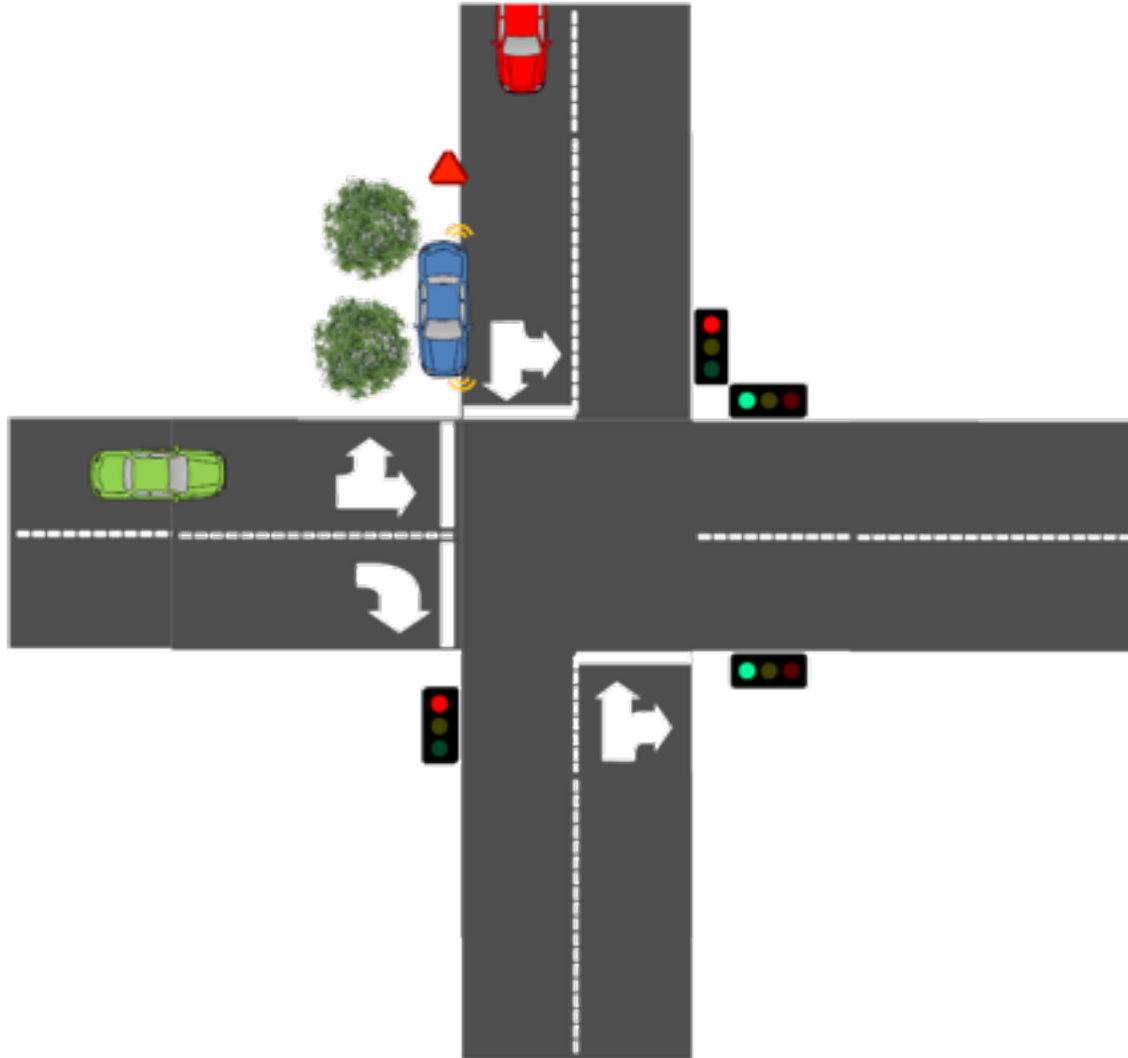


# Applications de Sécurité Routière : Statistiques sur les Accidents aux Intersections

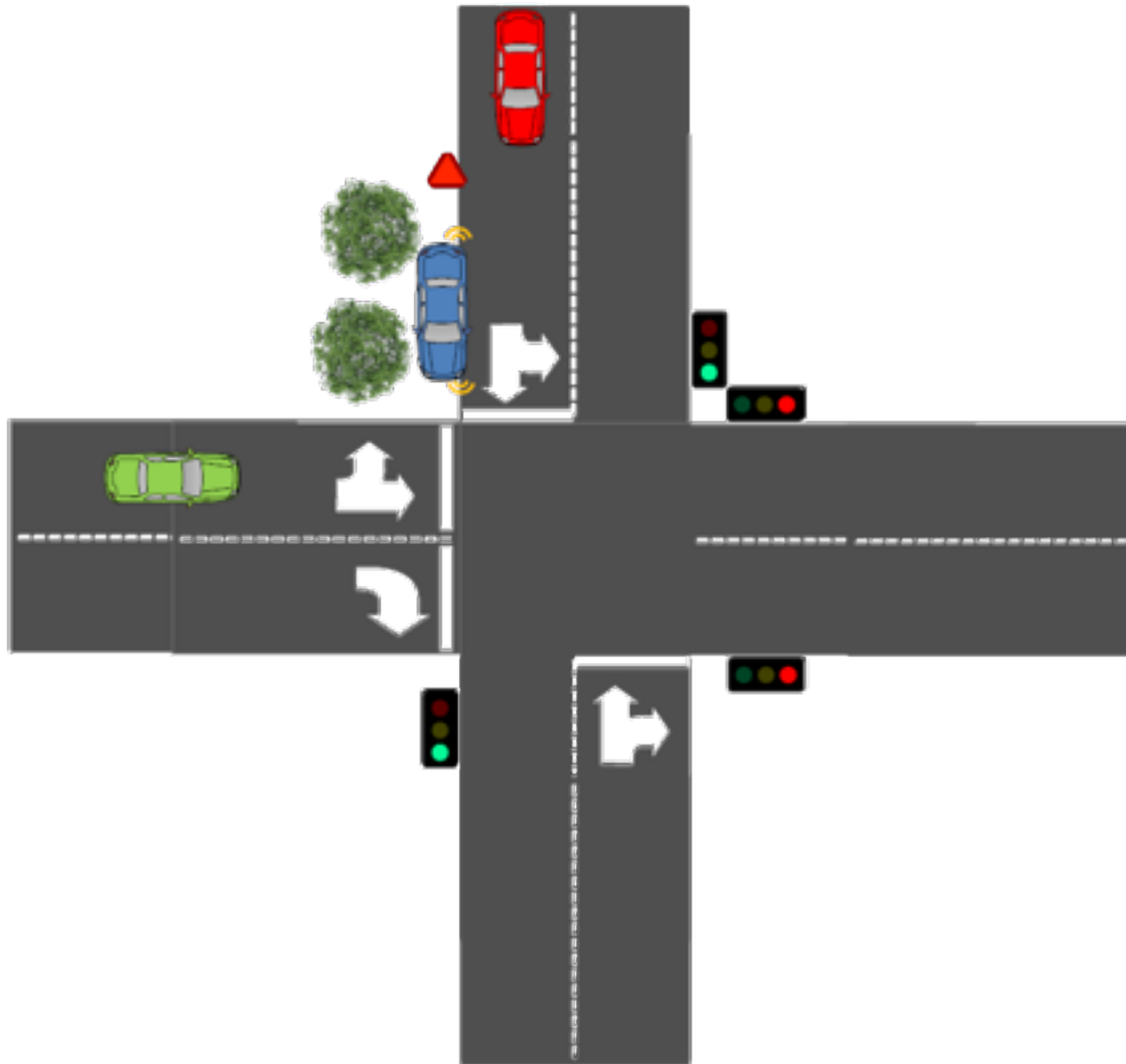
# Applications de Sécurité Routière : Statistiques sur les Accidents aux Intersections



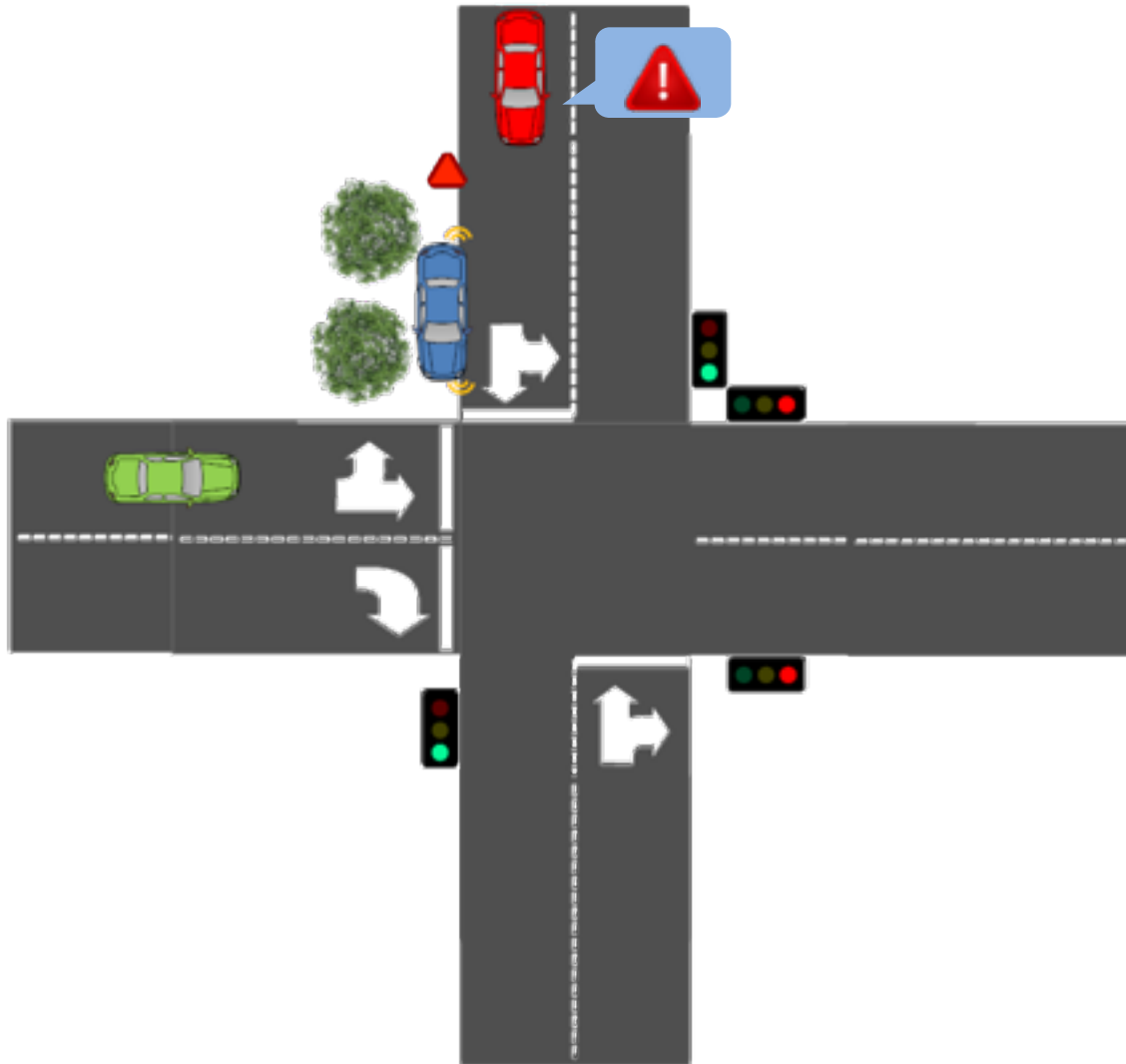
# Applications de Sécurité Routière (Intersection-1)



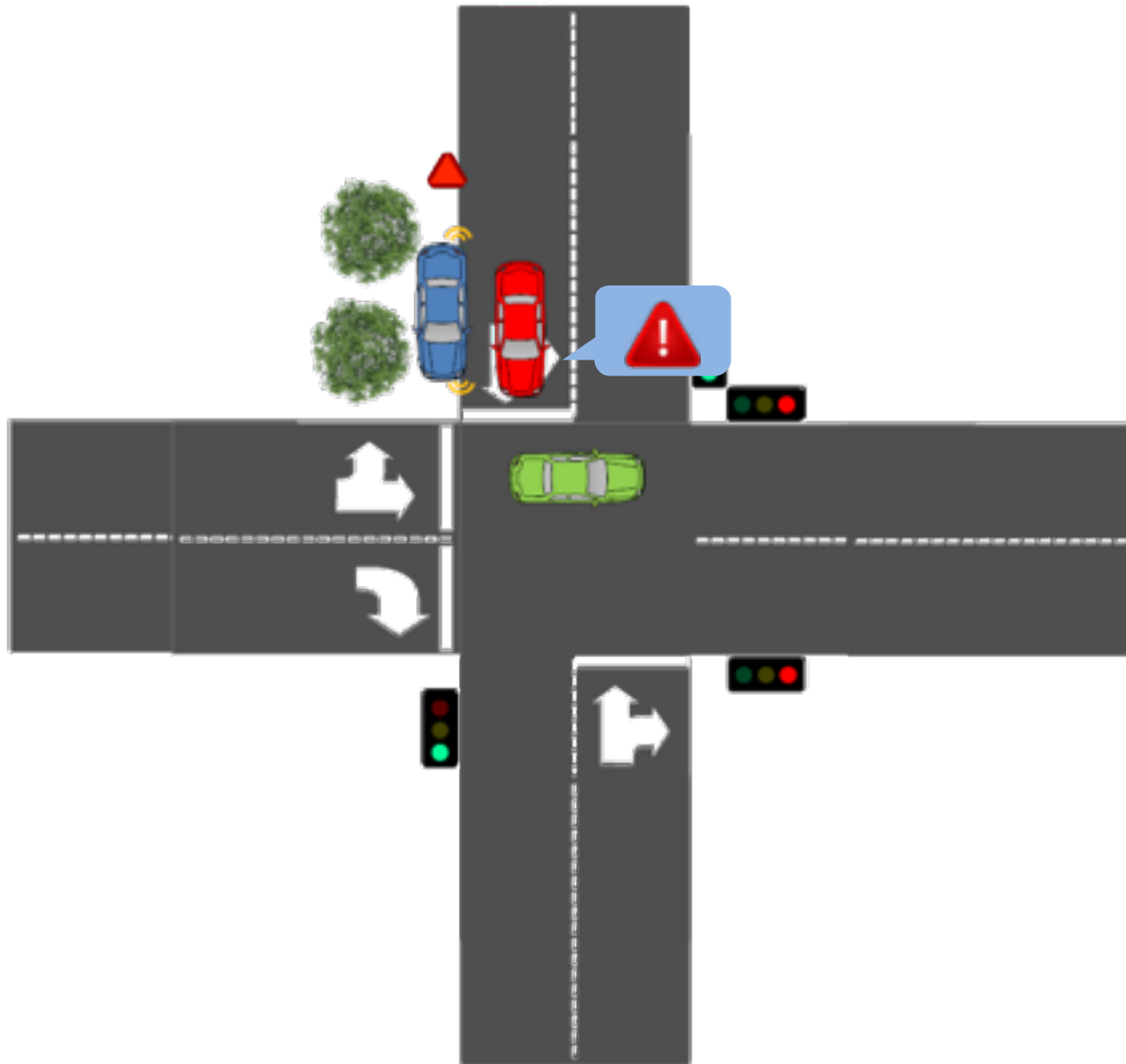
# Applications de Sécurité Routière (Intersection-1)



# Applications de Sécurité Routière (Intersection-1)

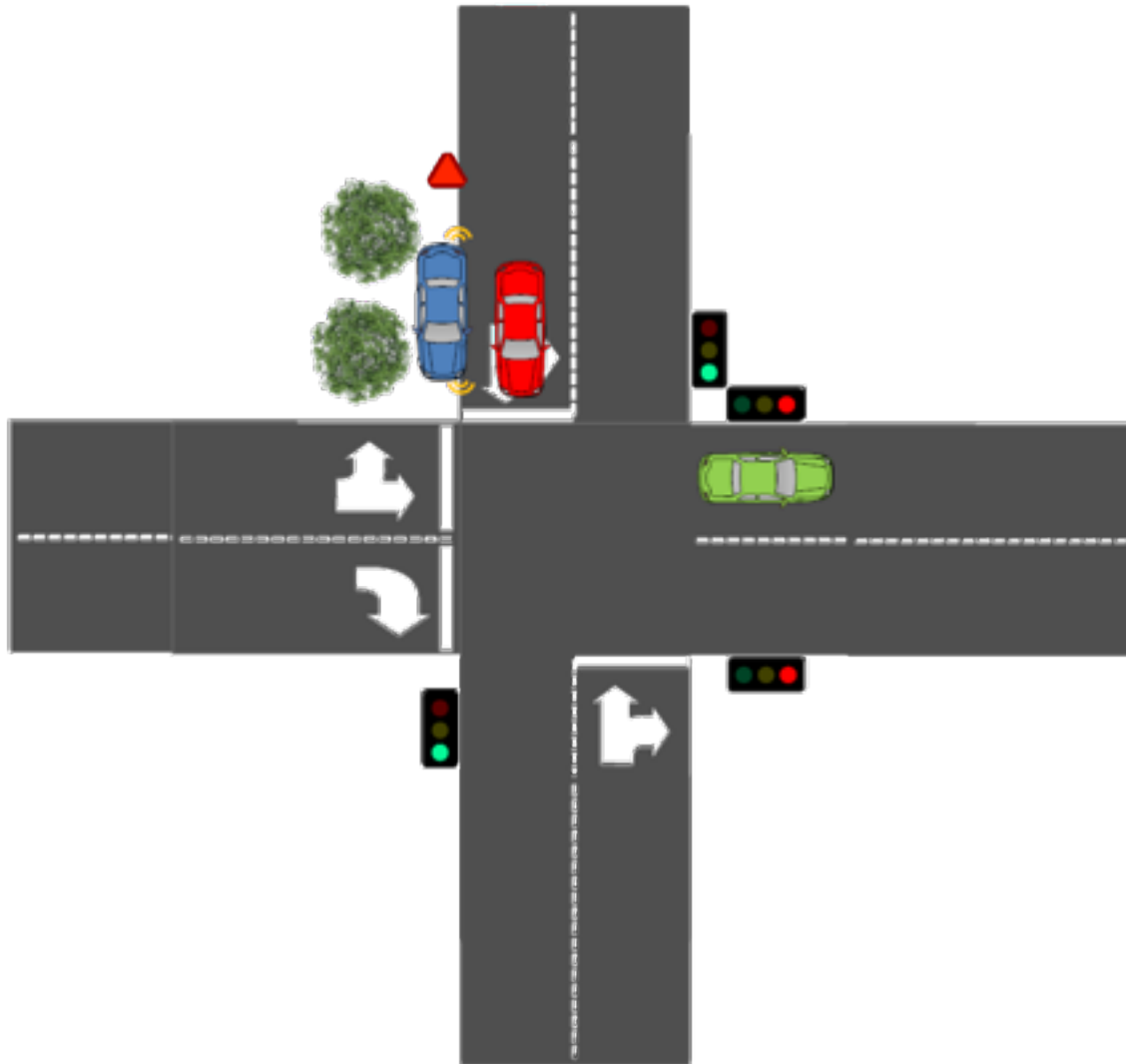


# Applications de Sécurité Routière (Intersection-1)

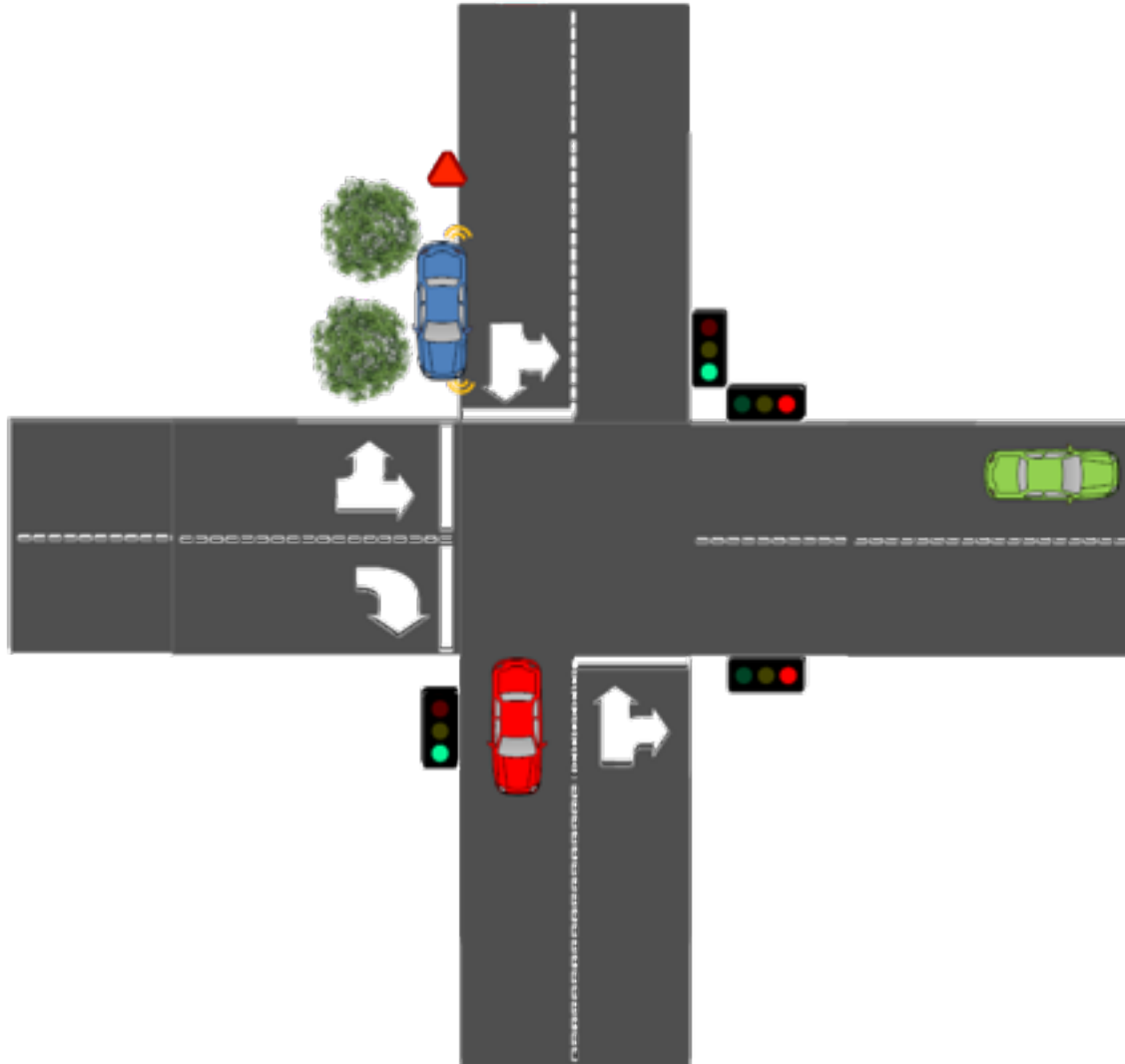




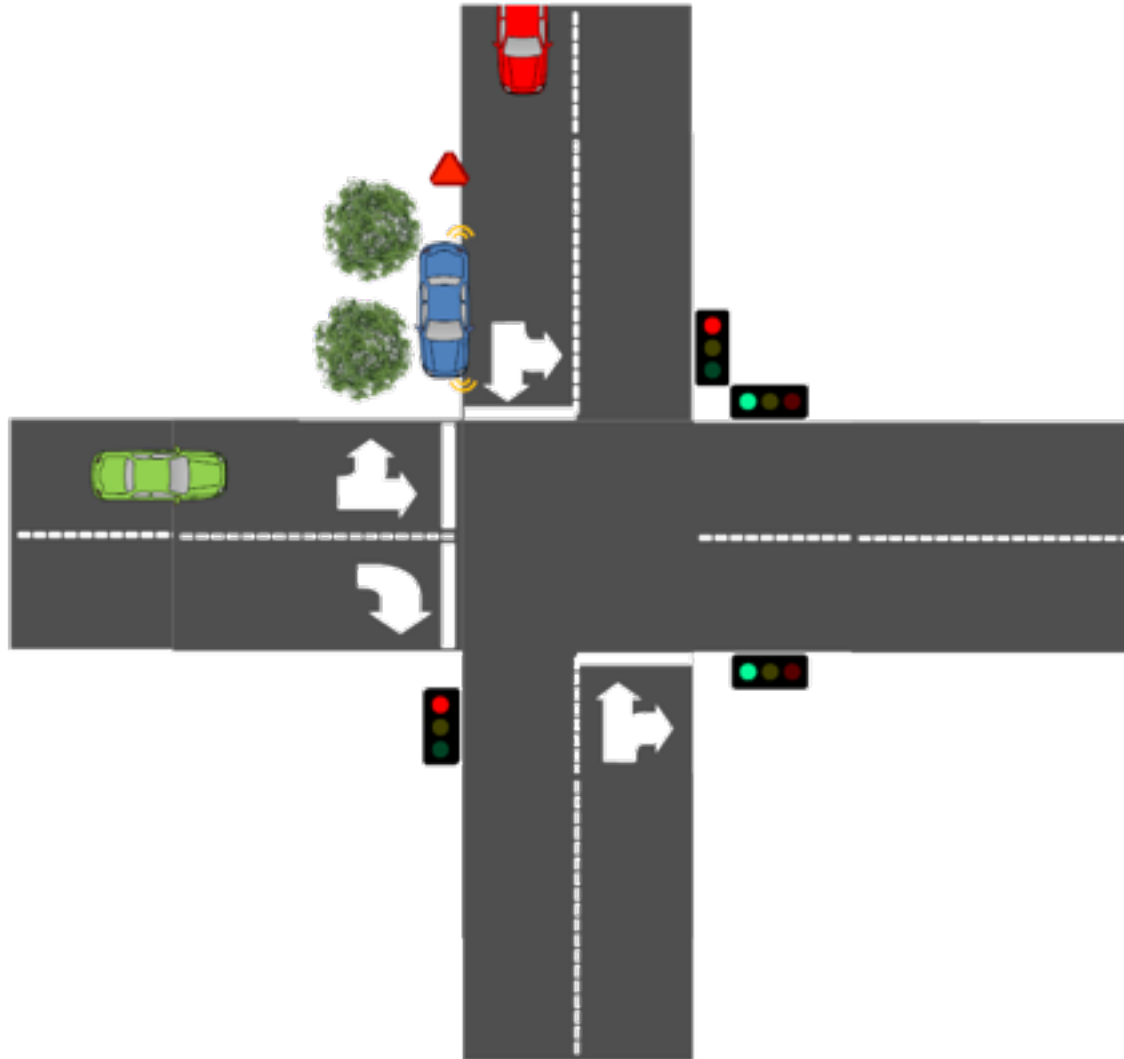
# Applications de Sécurité Routière (Intersection-1)



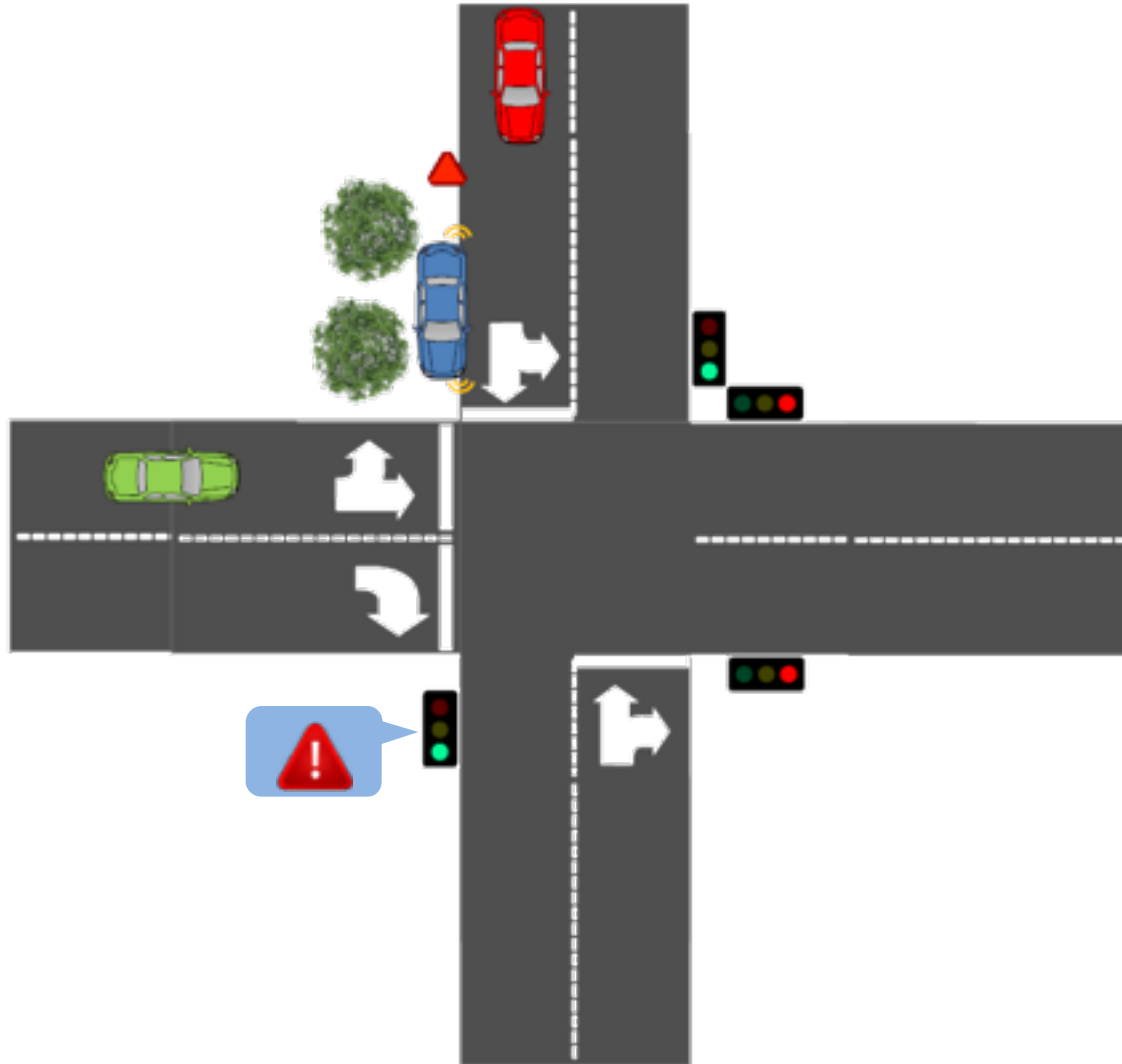
# Applications de Sécurité Routière (Intersection-1)



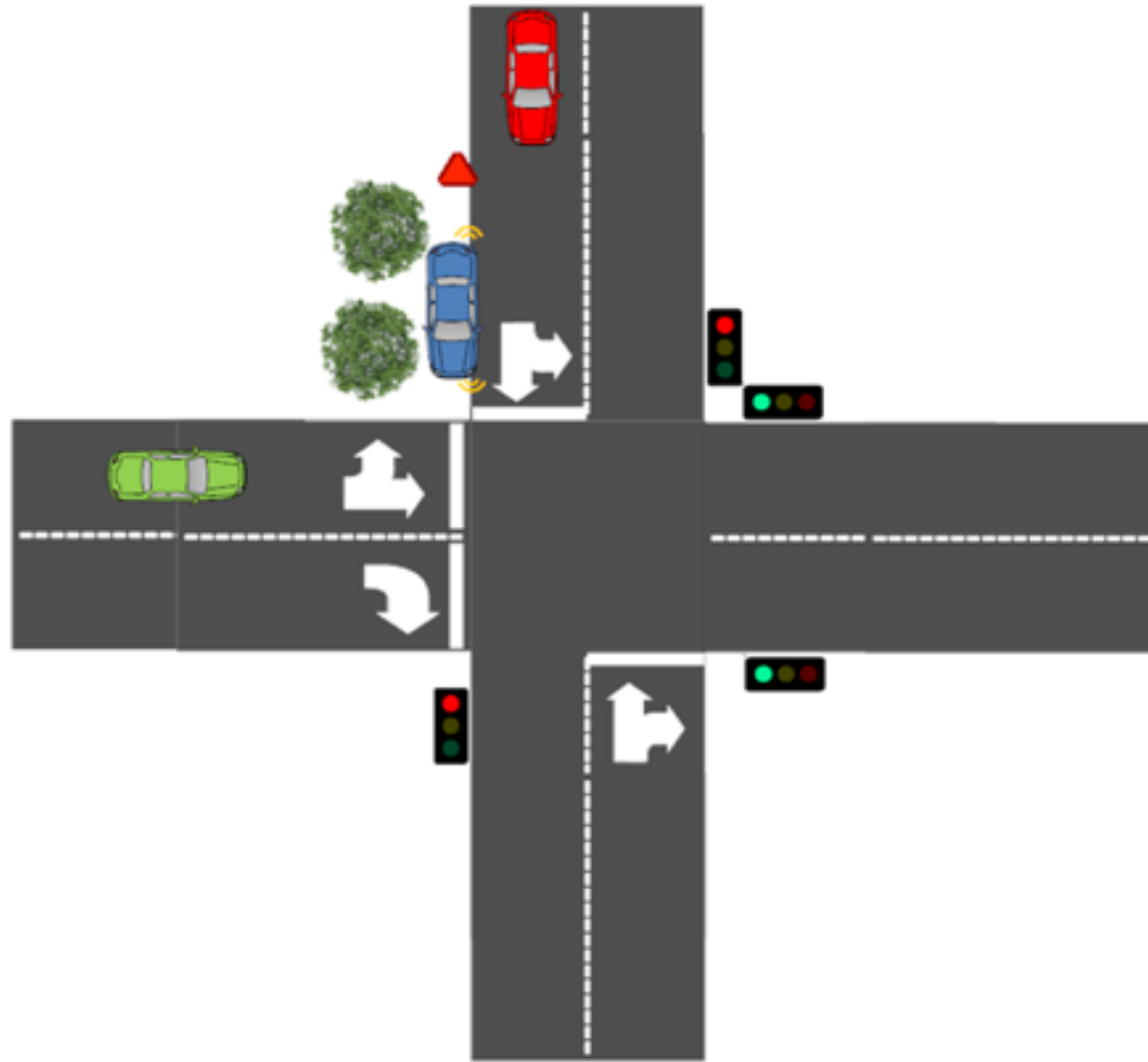
# Applications de Sécurité Routière (Intersection-2)



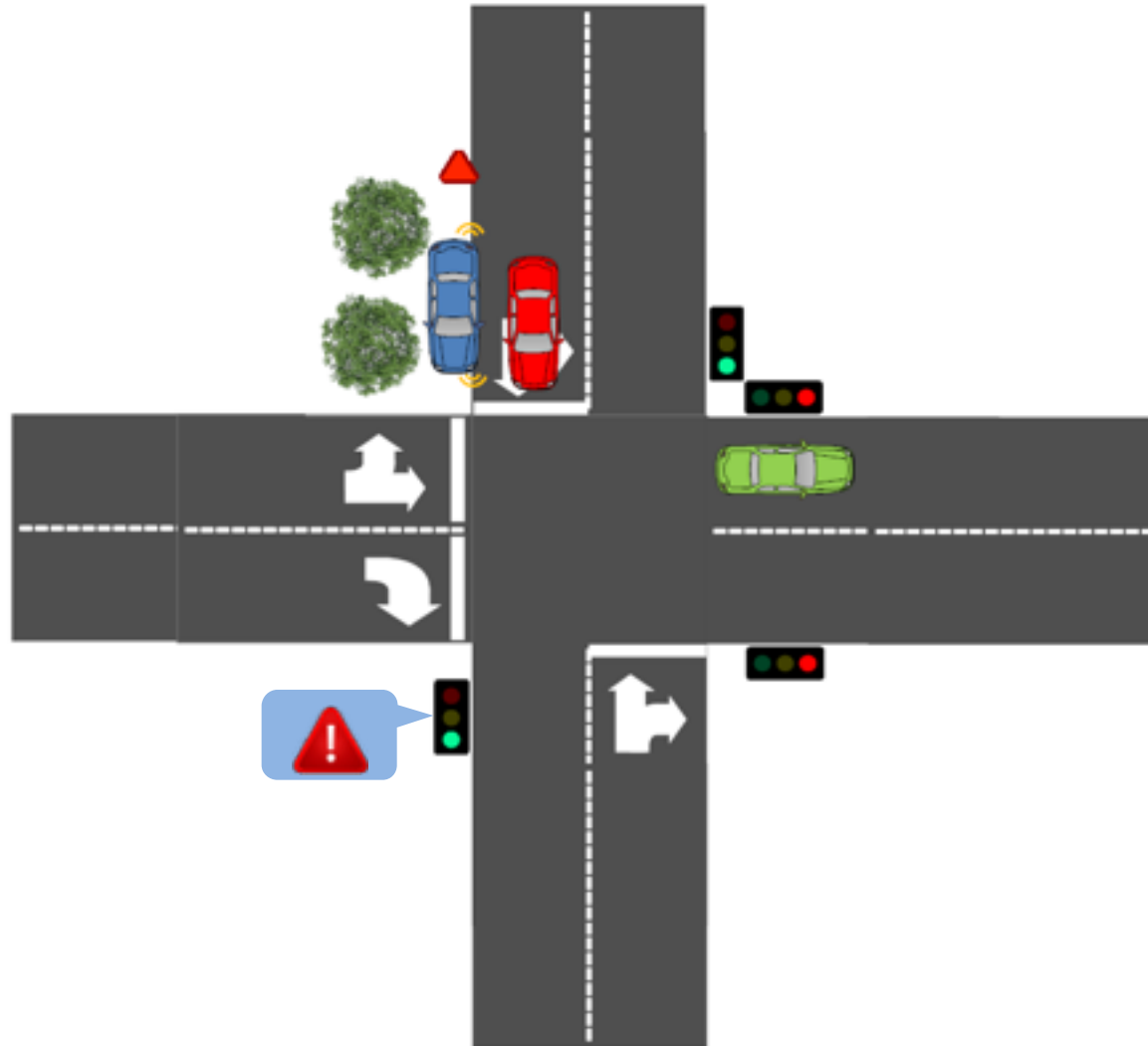
# Applications de Sécurité Routière (Intersection-2)



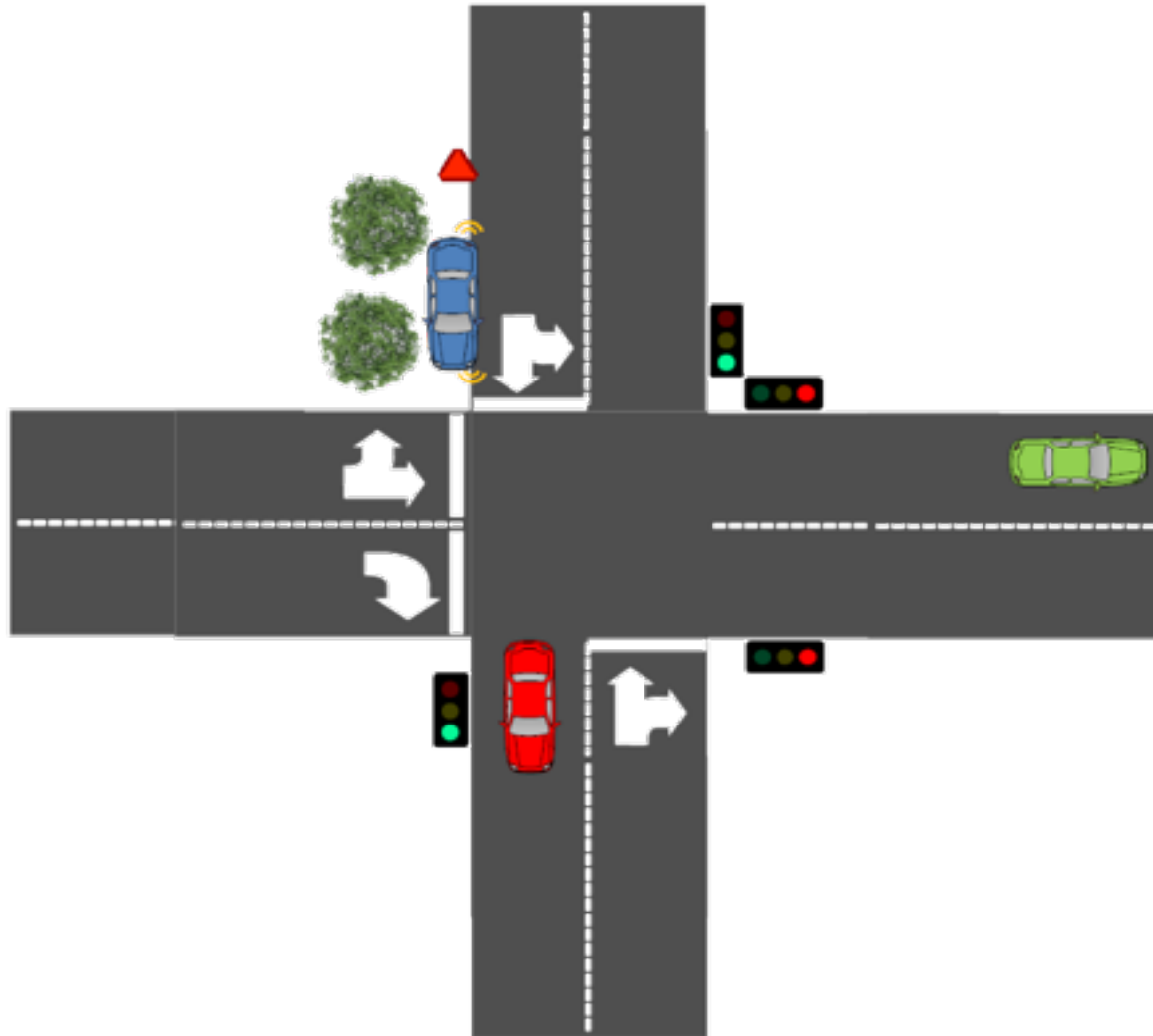
# Applications de Sécurité Routière (Intersection-2)



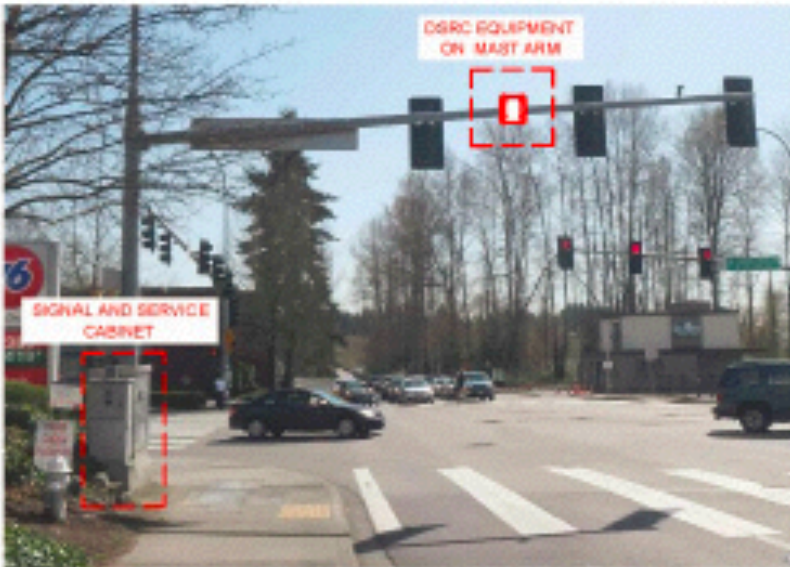
# Applications de Sécurité Routière (Intersection-2)



# Applications de Sécurité Routière (Intersection-2)



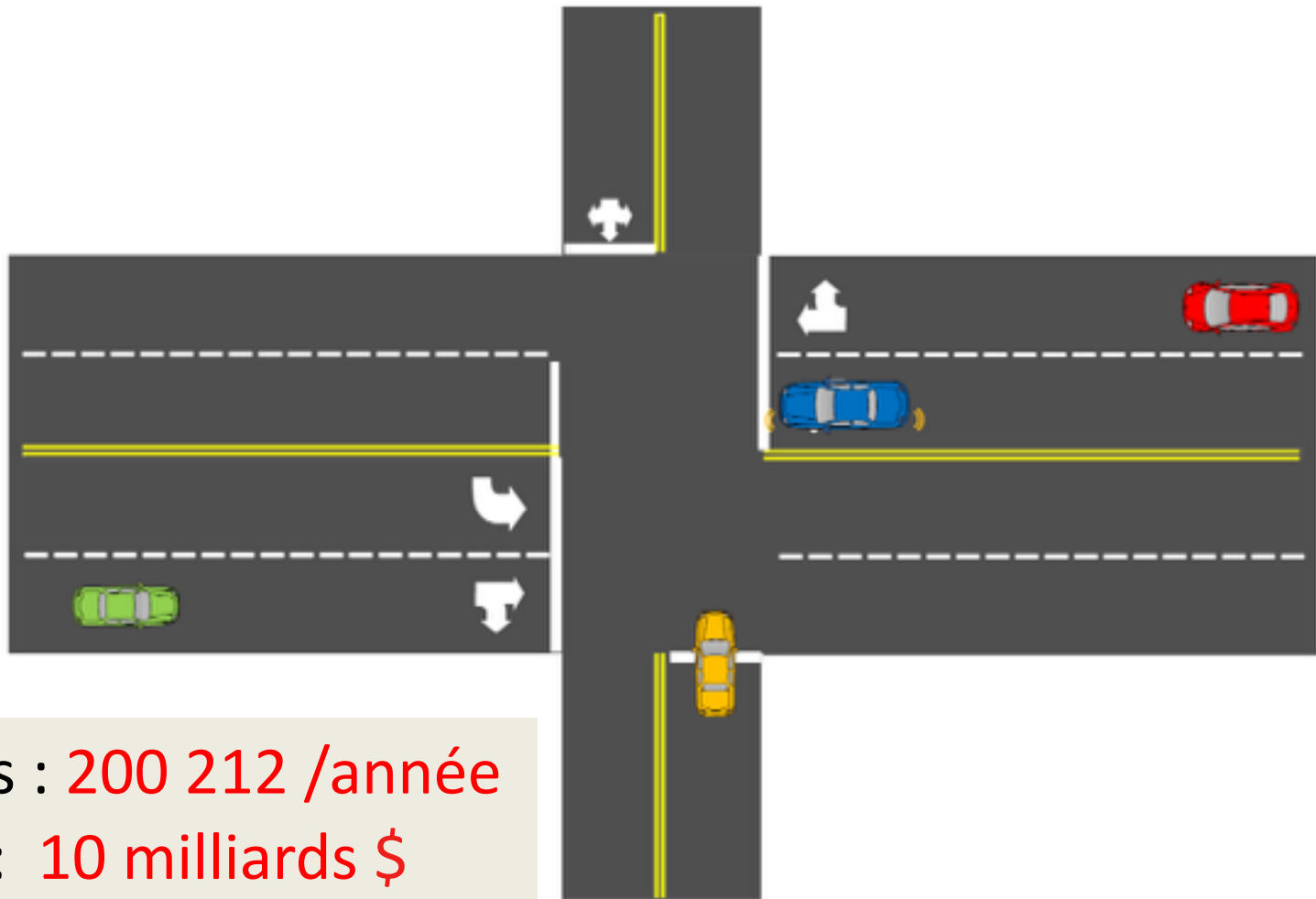
# Applications de Sécurité Routière (Intersection-2 : Un exemple de déploiement)





# Applications de Sécurité Routière (Intersection-3)

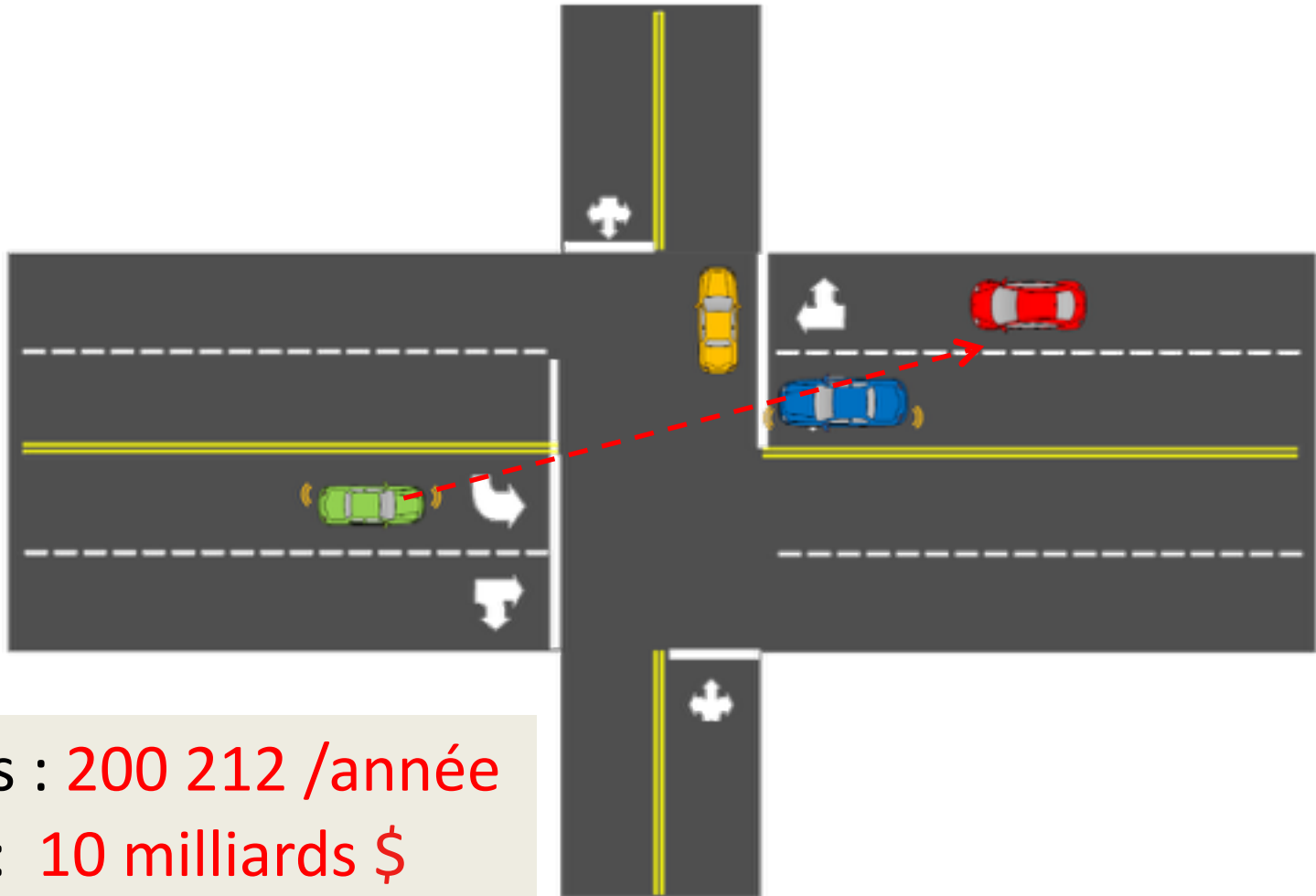
# Applications de Sécurité Routière (Intersection-3)



Accidents : 200 212 /année

Coût : 10 milliards \$

# Applications de Sécurité Routière (Intersection-3)



Accidents : 200 212 /année

Coût : 10 milliards \$

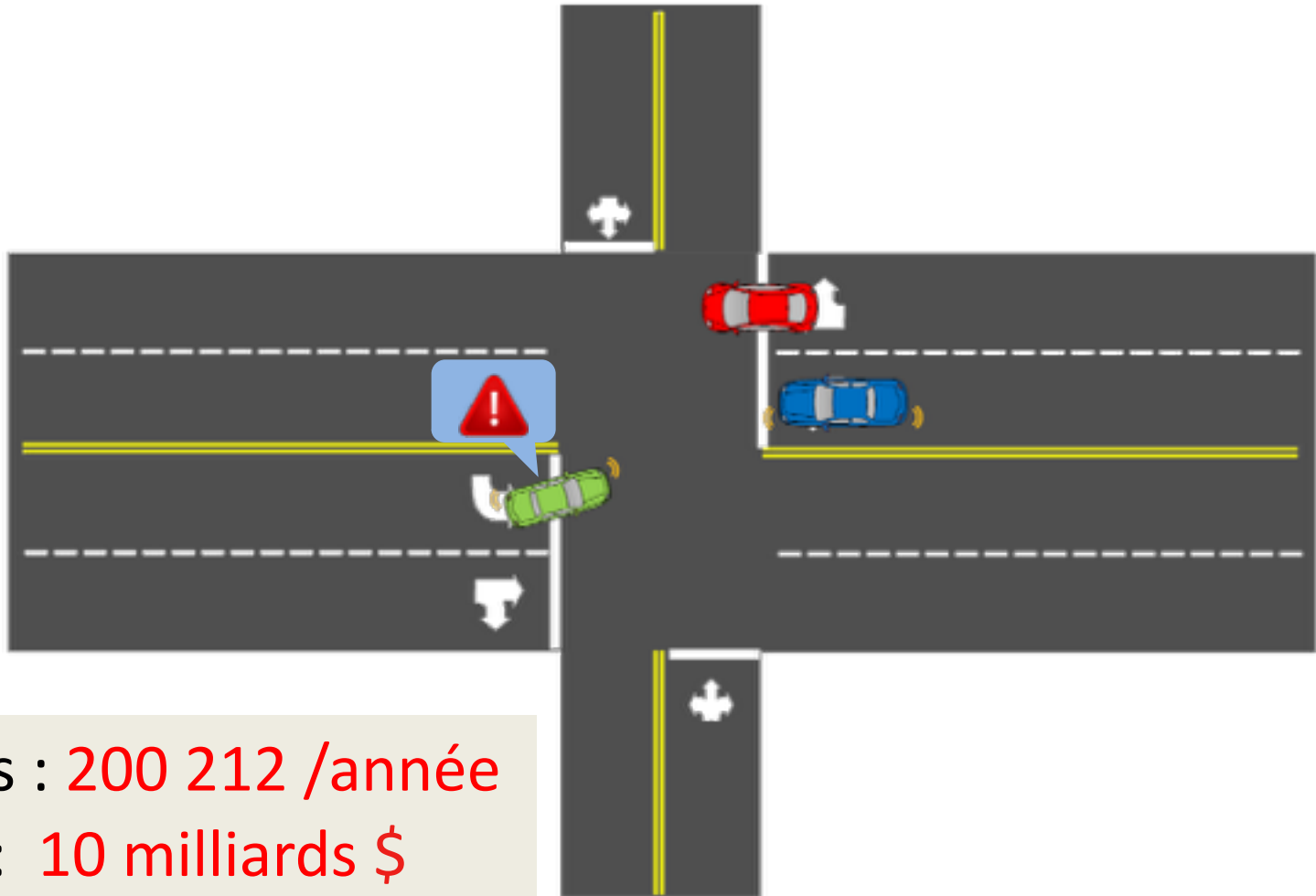
# Applications de Sécurité Routière (Intersection-3)



Accidents : 200 212 /année

Coût : 10 milliards \$

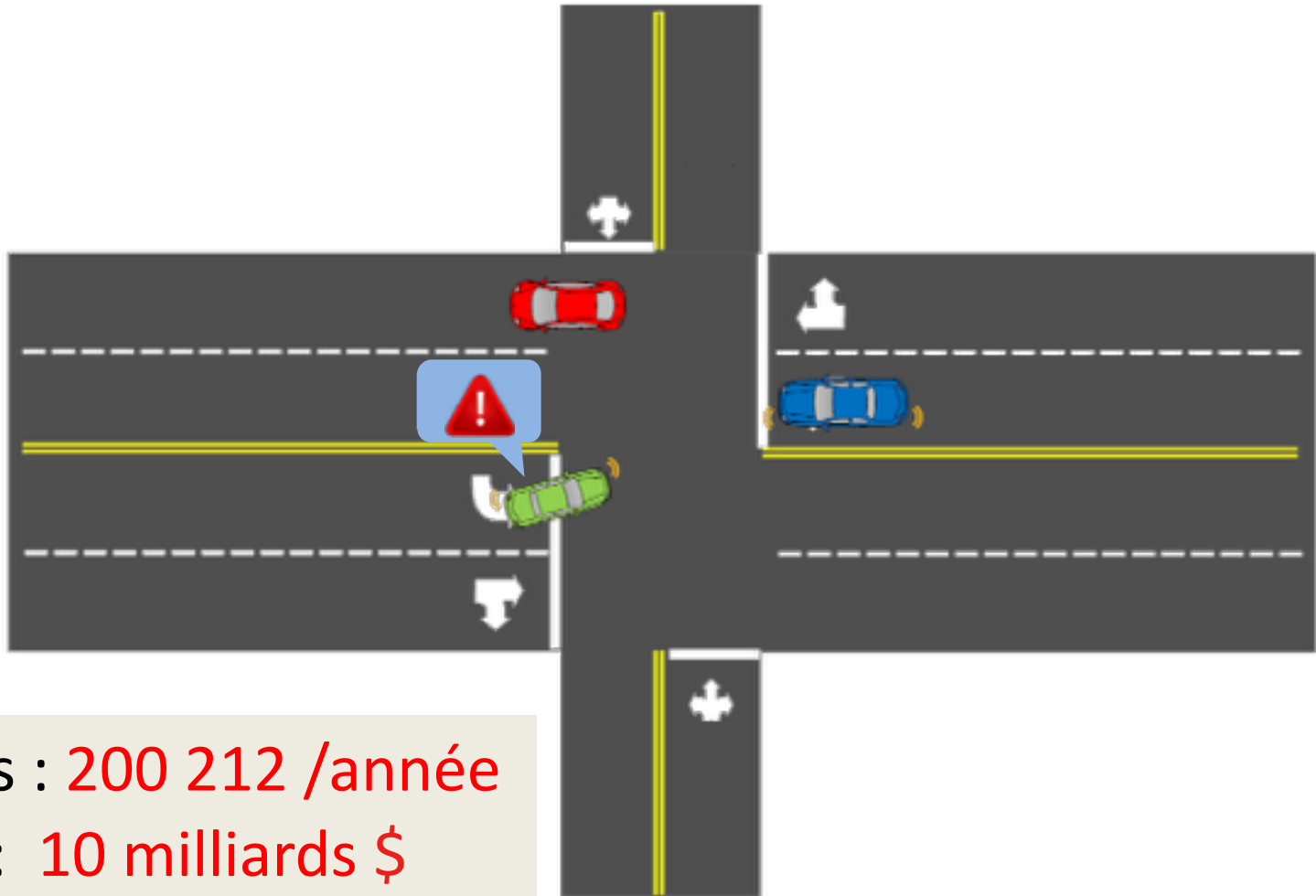
# Applications de Sécurité Routière (Intersection-3)



Accidents : 200 212 /année

Coût : 10 milliards \$

# Applications de Sécurité Routière (Intersection-3)

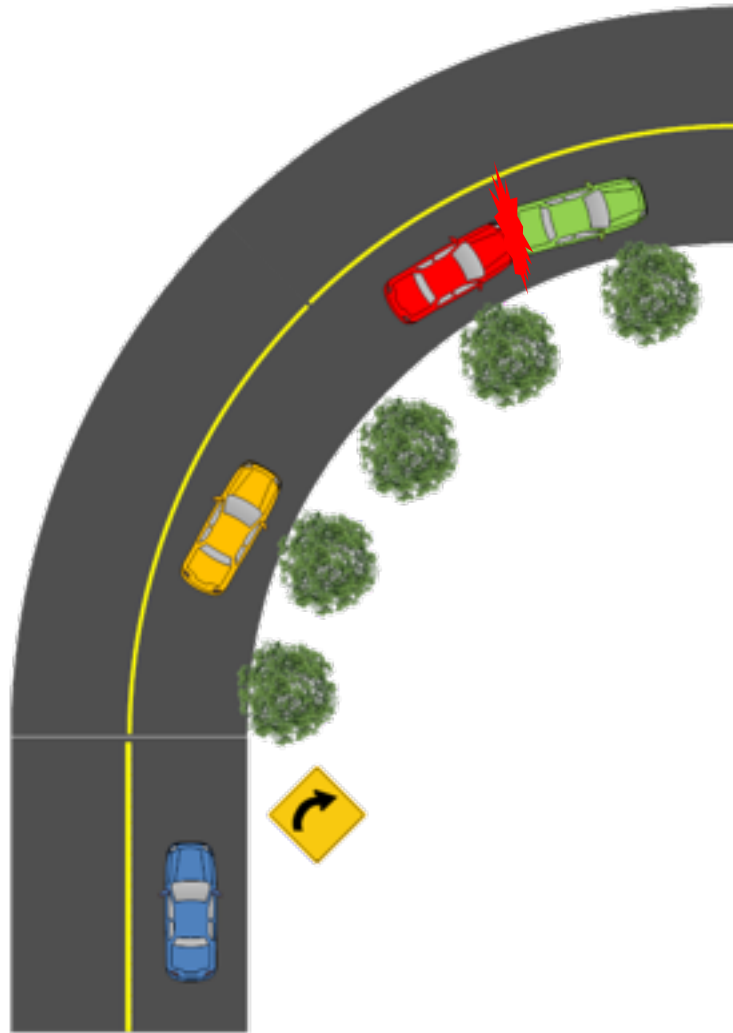


Accidents : 200 212 /année

Coût : 10 milliards \$

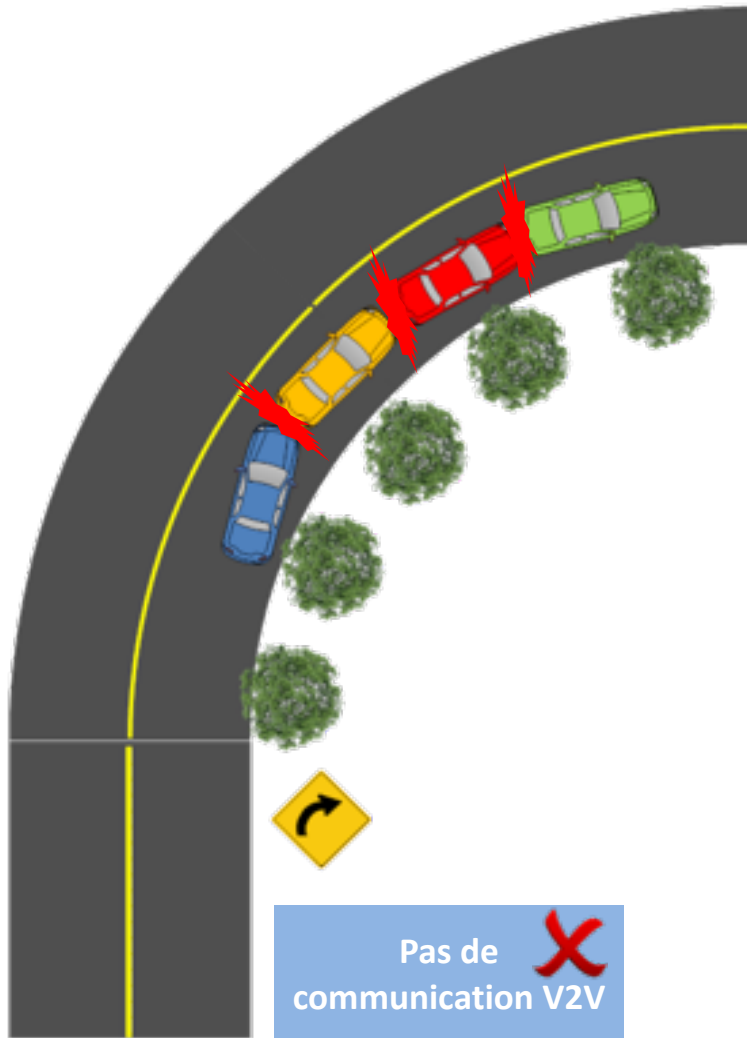
# Applications de Sécurité Routière (Avertissement : Accident)

# Applications de Sécurité Routière (Avertissement : Accident)

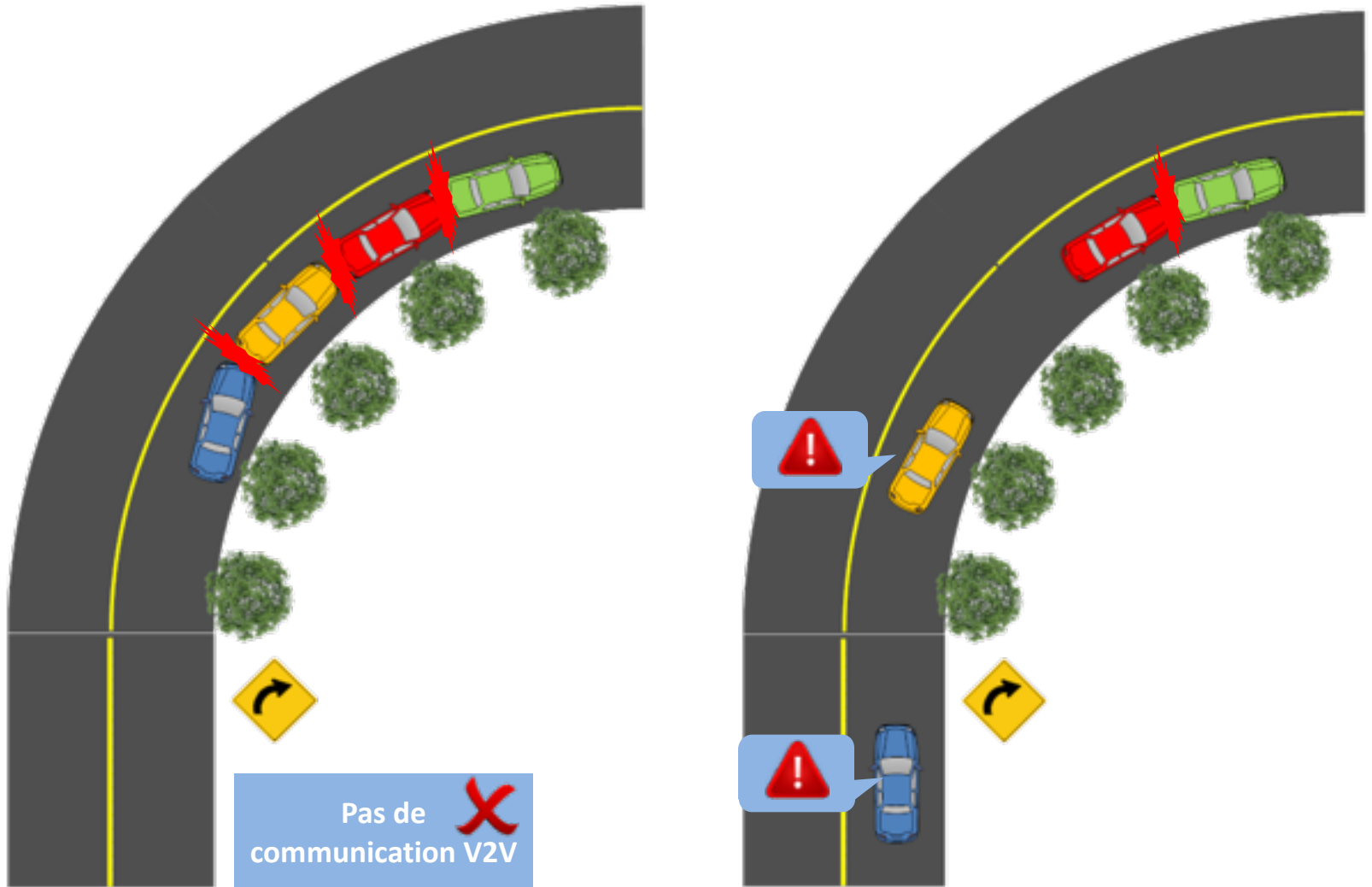




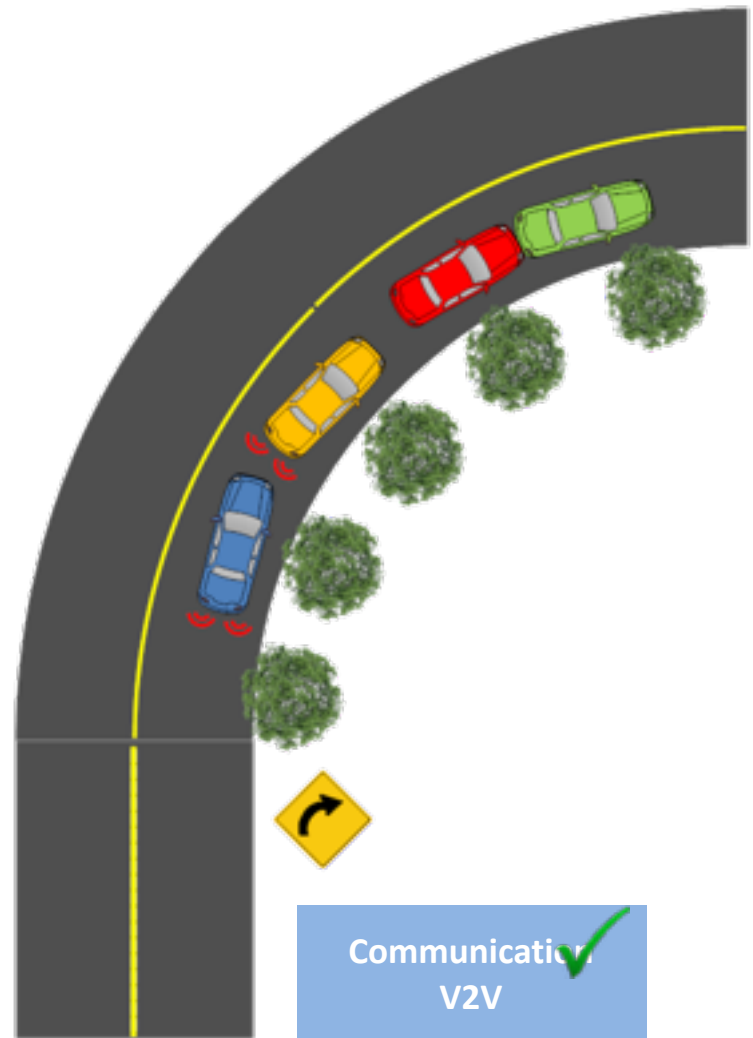
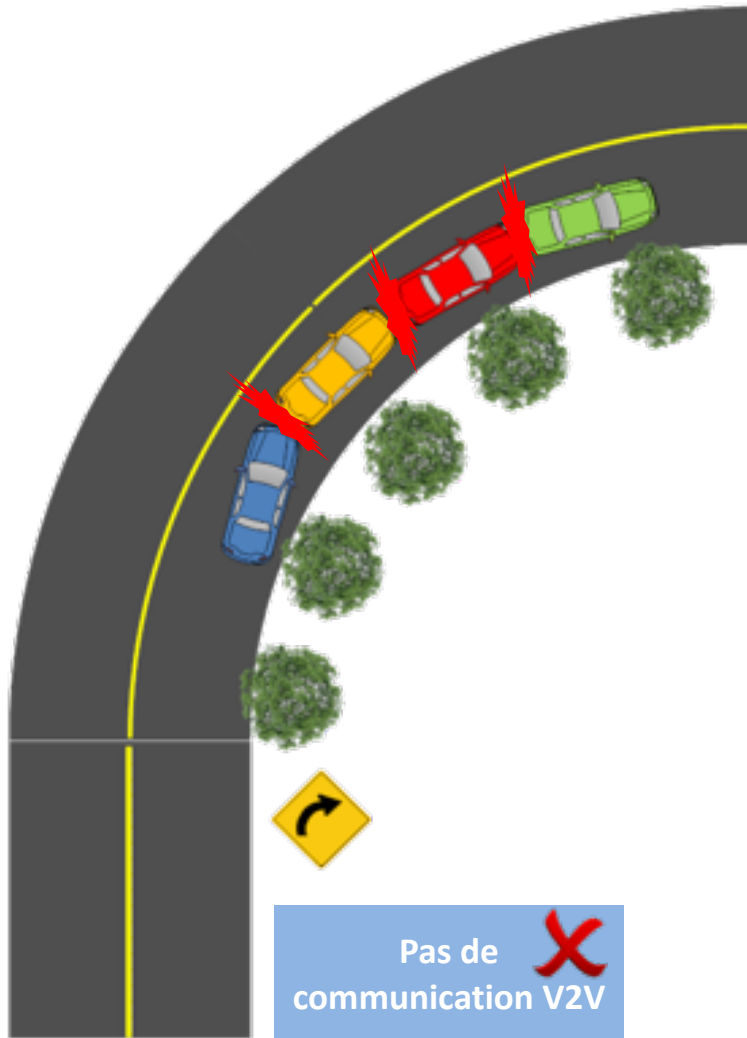
# Applications de Sécurité Routière (Avertissement : Accident)



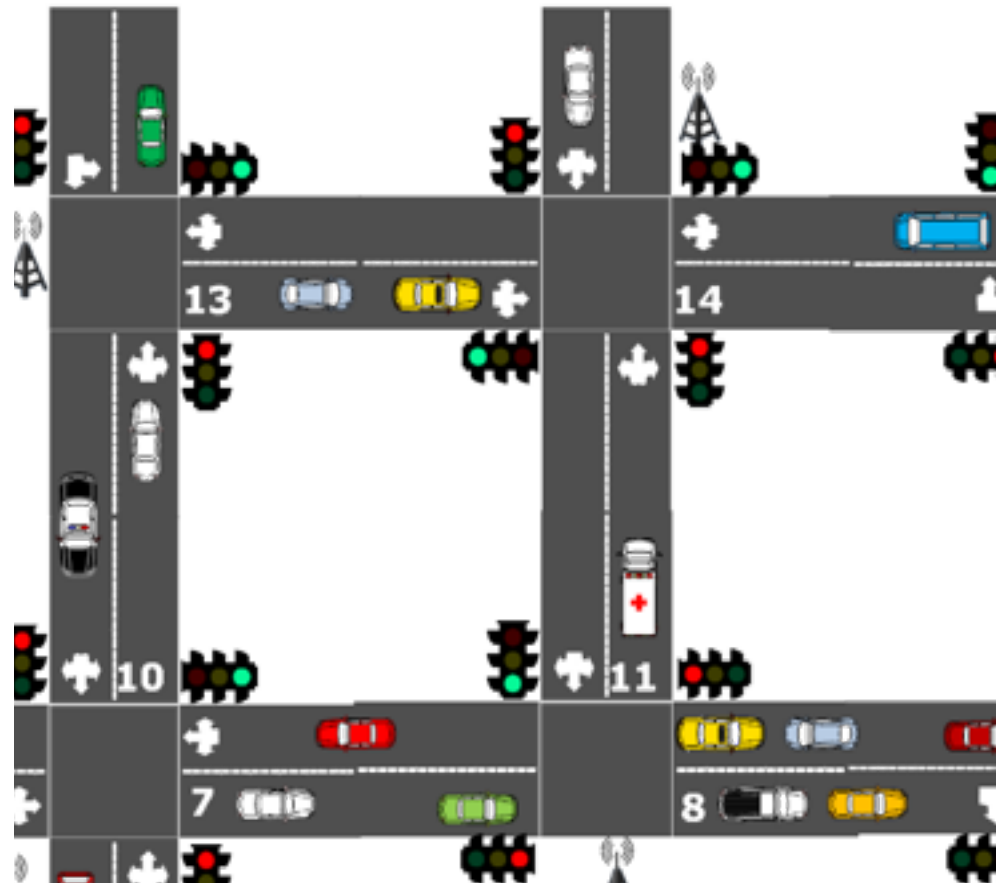
# Applications de Sécurité Routière (Avertissement : Accident)



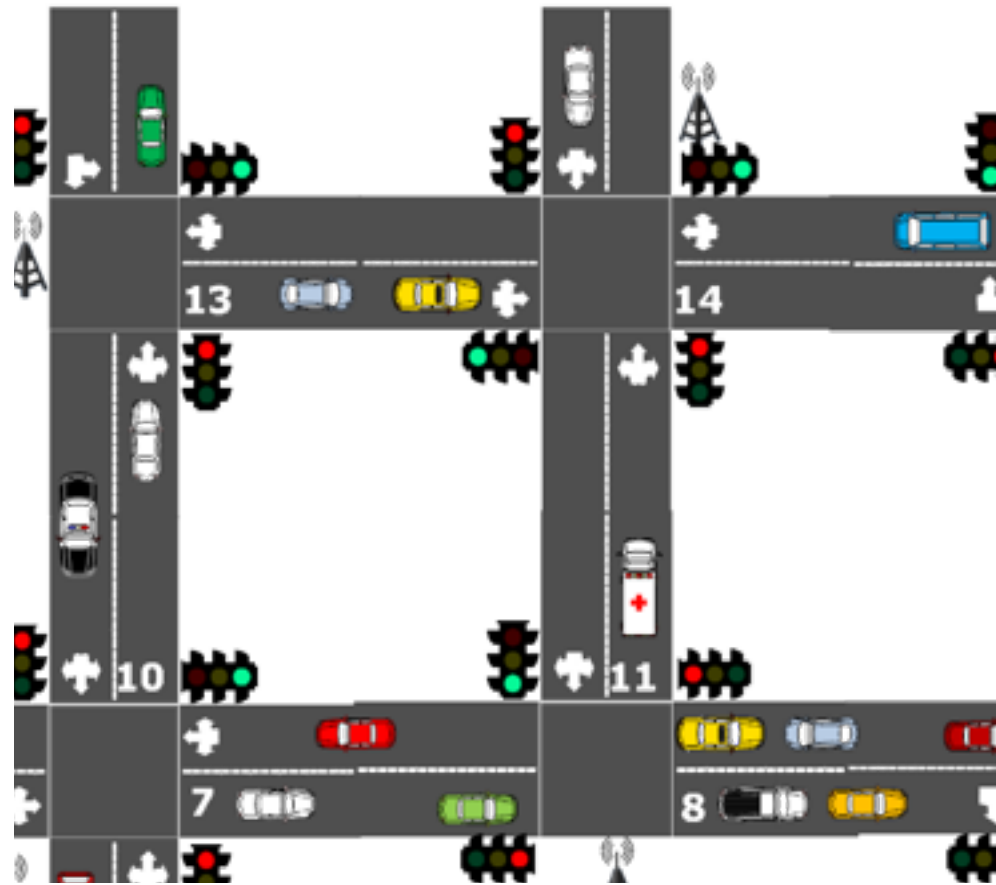
# Applications de Sécurité Routière (Avertissement : Accident)



# Applications de Sécurité Routière (Priorité aux véhicules d'urgence)



# Applications de Sécurité Routière (Priorité aux véhicules d'urgence)



# Applications de Sécurité Routière (Priorité aux véhicules d'urgence)



# Applications de Sécurité Routière (Priorité aux véhicules d'urgence)



# Autres Applications de Sécurité Routière

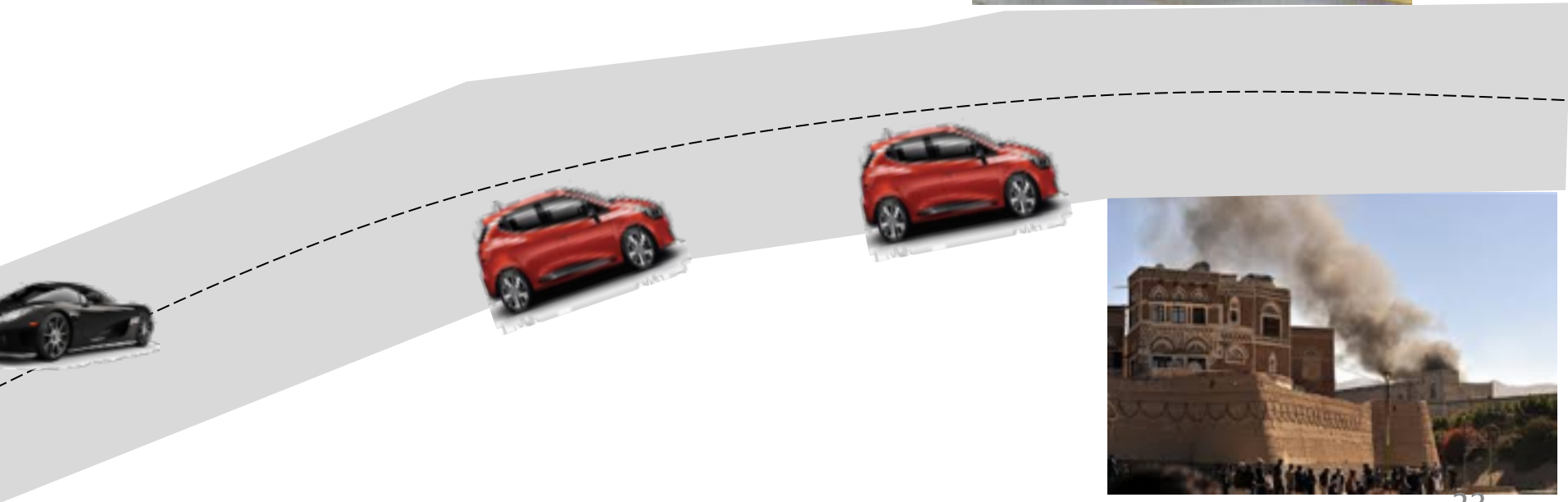
- Avertissement d'une situation dangereuse





# Autres Applications de Sécurité Routière

- Avertissement d'une situation dangereuse

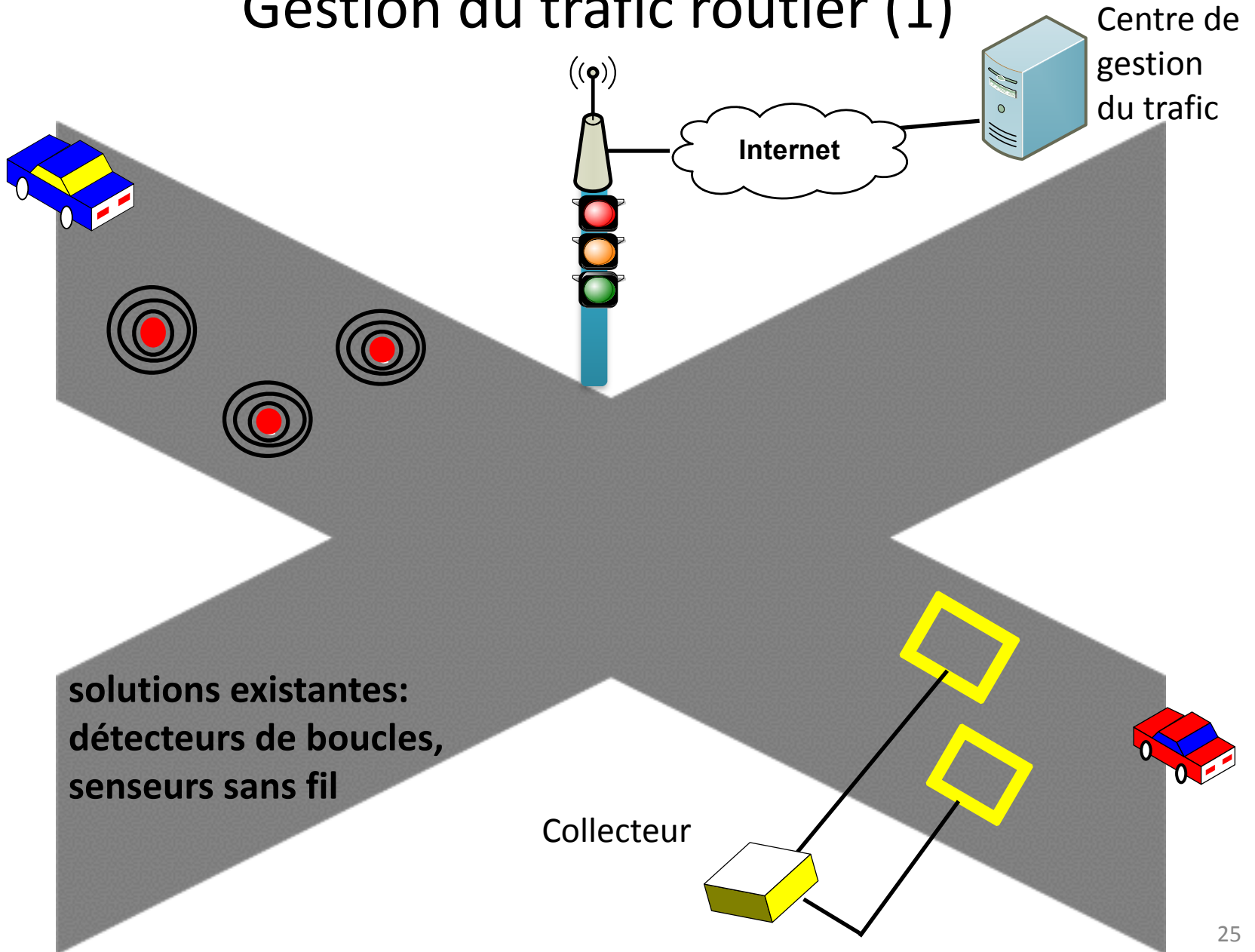


# Plan

- Systèmes de Transport Intelligent
- Réseaux Véhiculaires
  - Définition et Standards
  - Applications
    - Applications de Sécurité Routière
    - Applications de Transport Efficace
    - Applications de Surveillance
  - Défis
- Conclusion
  - Futur des Réseaux Véhiculaires

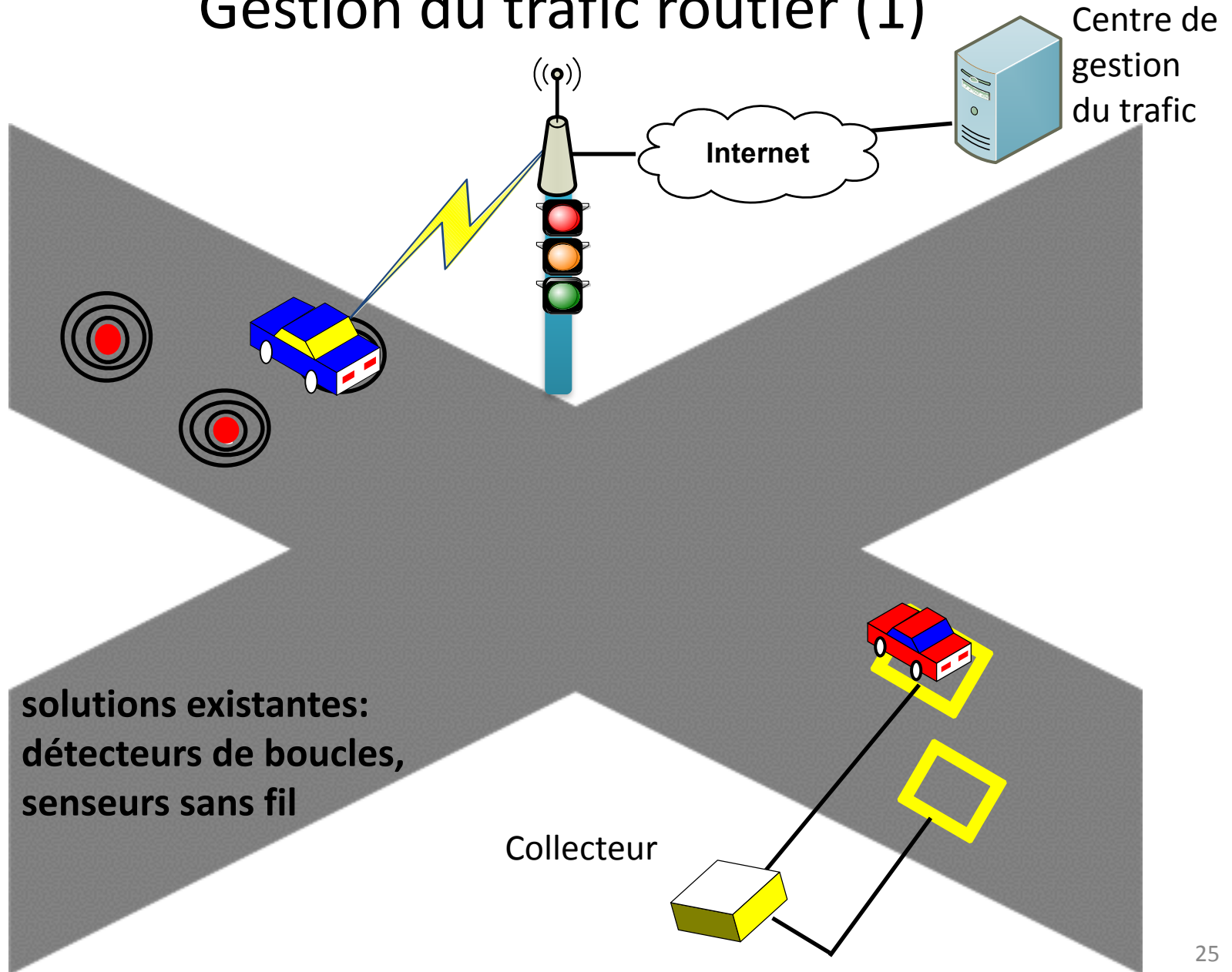
# Applications de Transport Efficace :

## Gestion du trafic routier (1)



# Applications de Transport Efficace :

## Gestion du trafic routier (1)

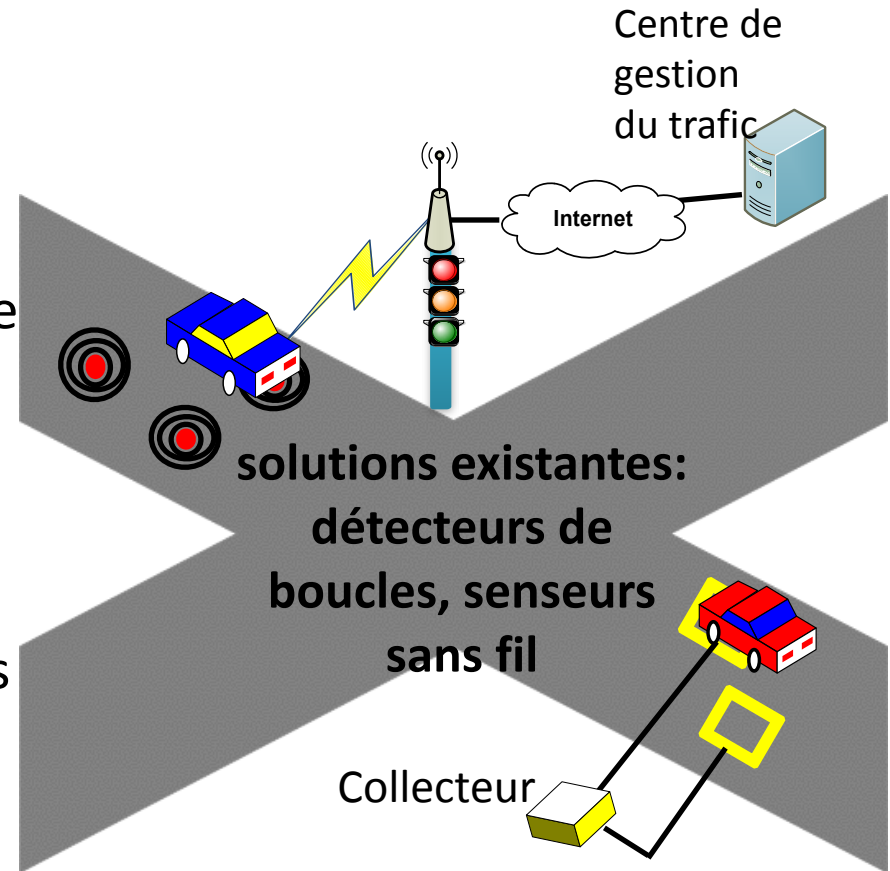


# Applications de Transport Efficace :

## Gestion du trafic routier (1)

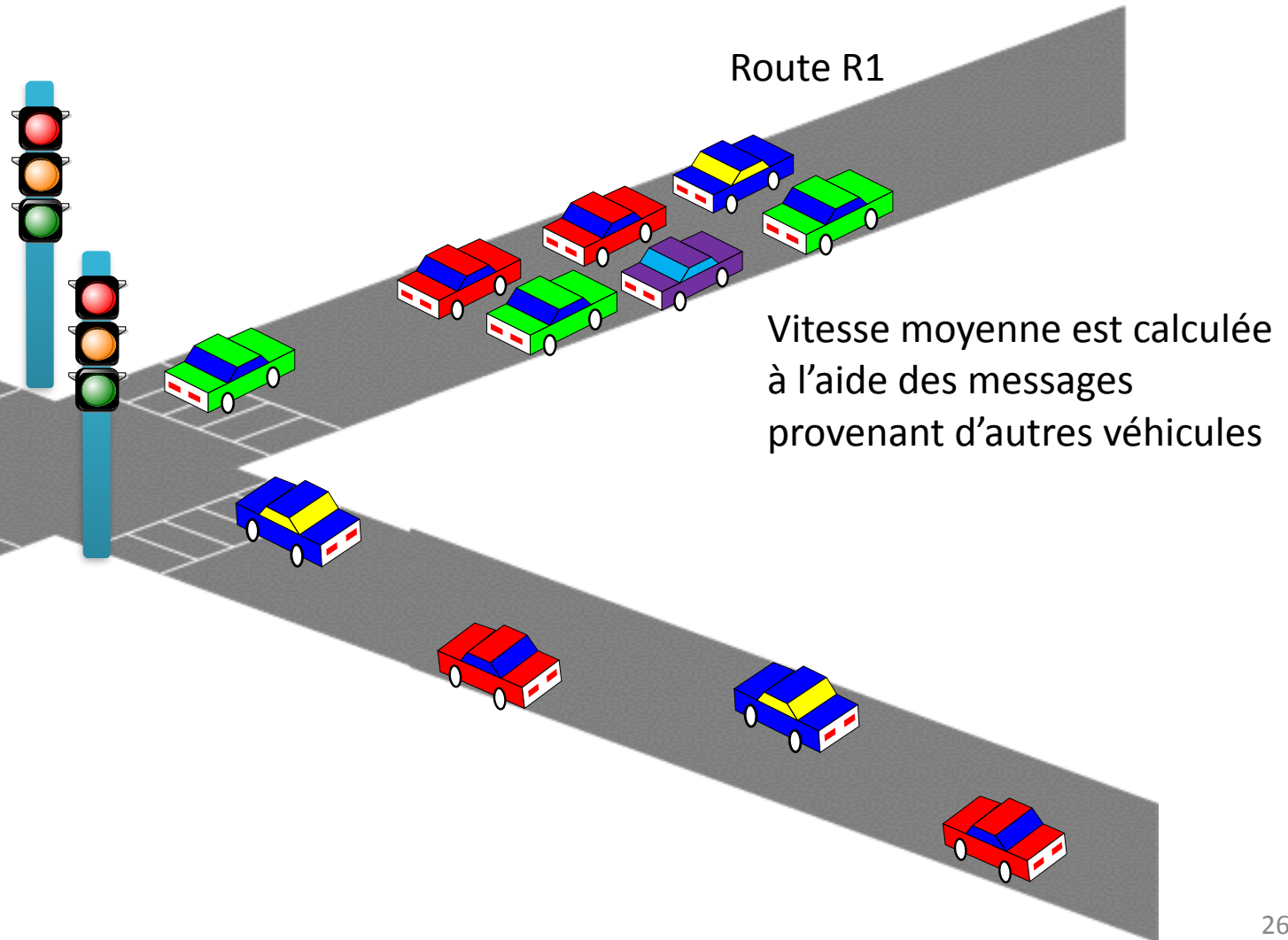
### Inconvénients

- Coût élevé d'installation et de maintenance.
- Identité de véhicule ne peut être obtenue
- Détecteurs de boucles nécessitent que les véhicules se déplacent dans une voie



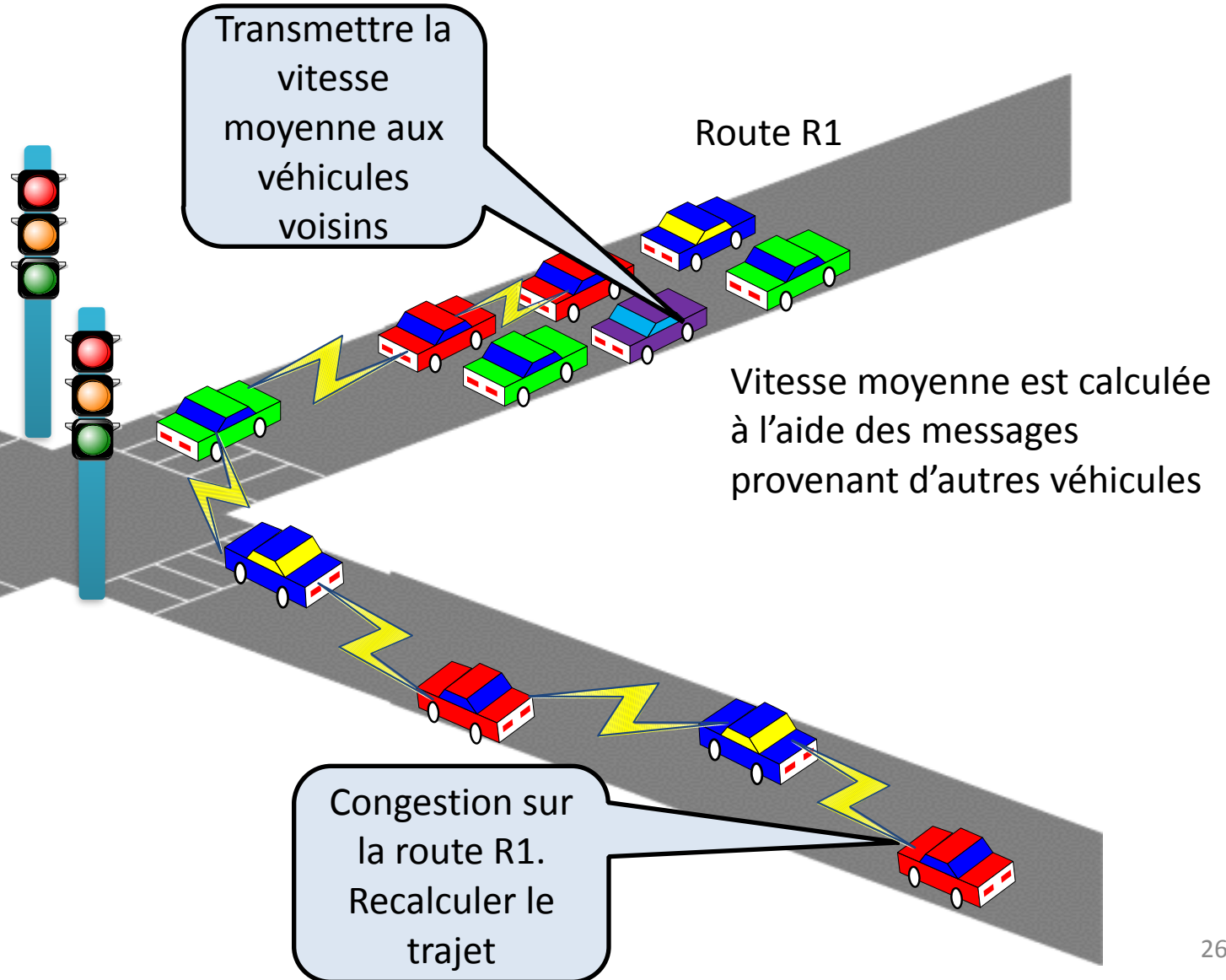
# Applications de Transport Efficace :

## Gestion du trafic routier (2)

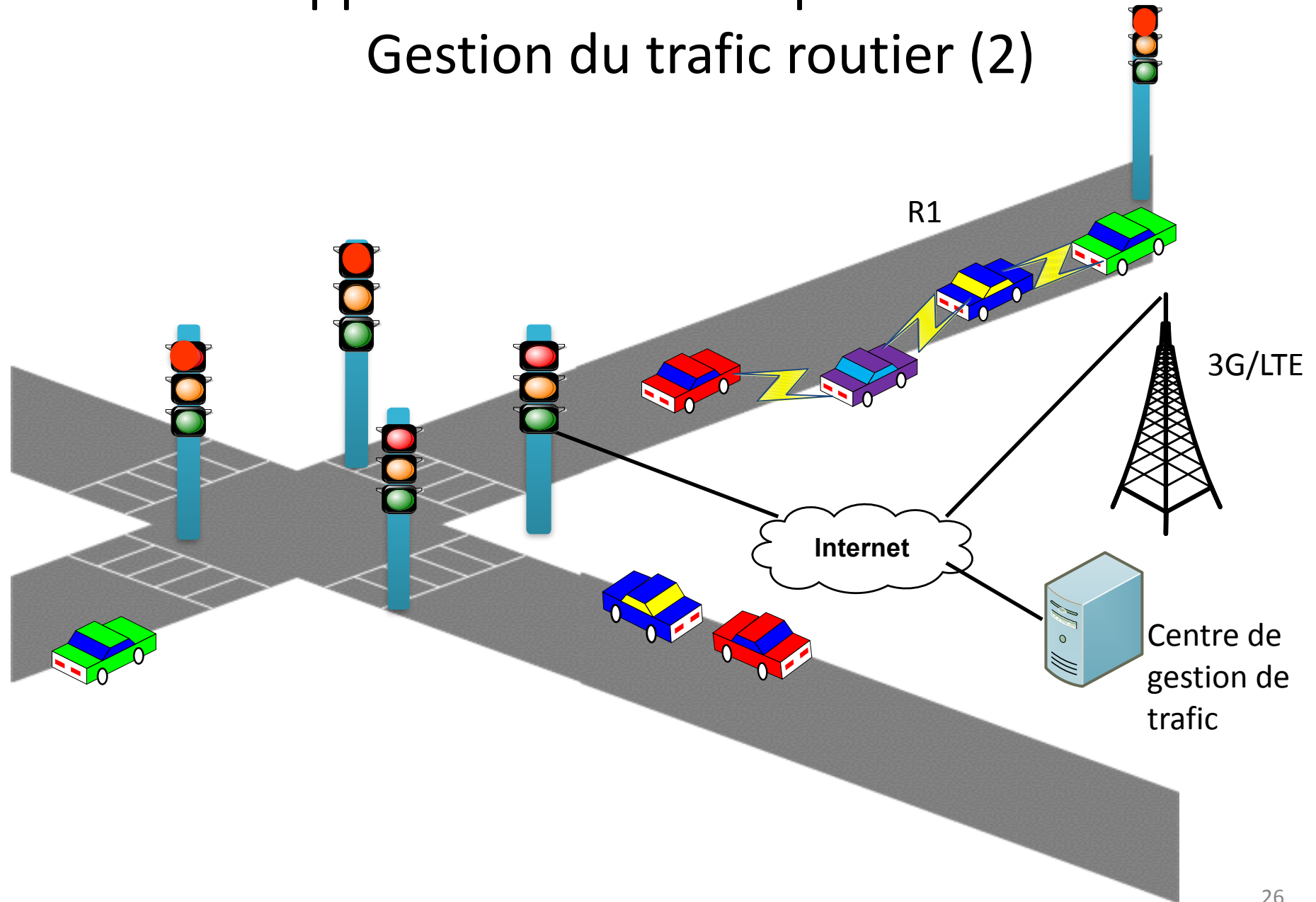


# Applications de Transport Efficace :

## Gestion du trafic routier (2)

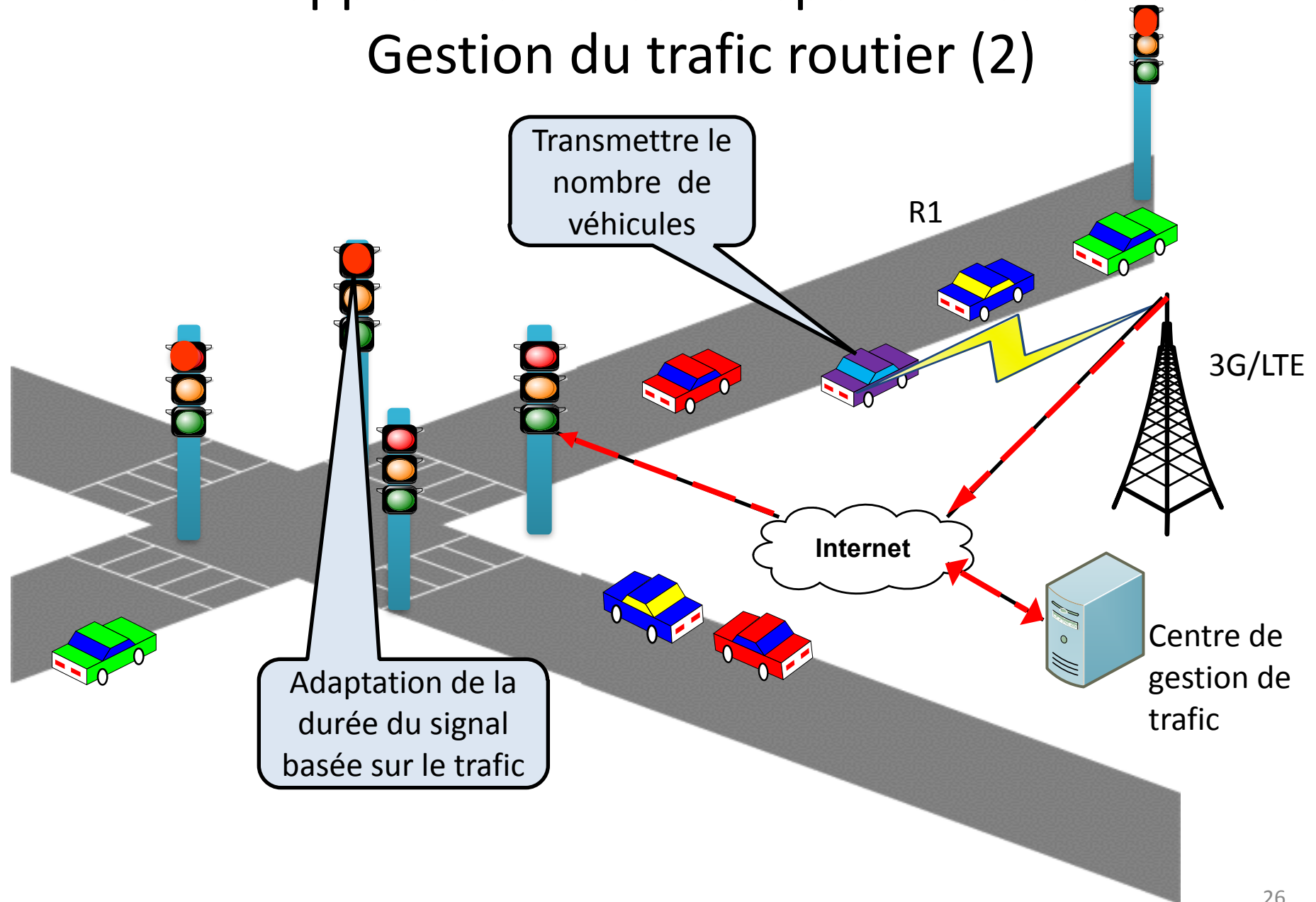


# Applications de Transport Efficace : Gestion du trafic routier (2)

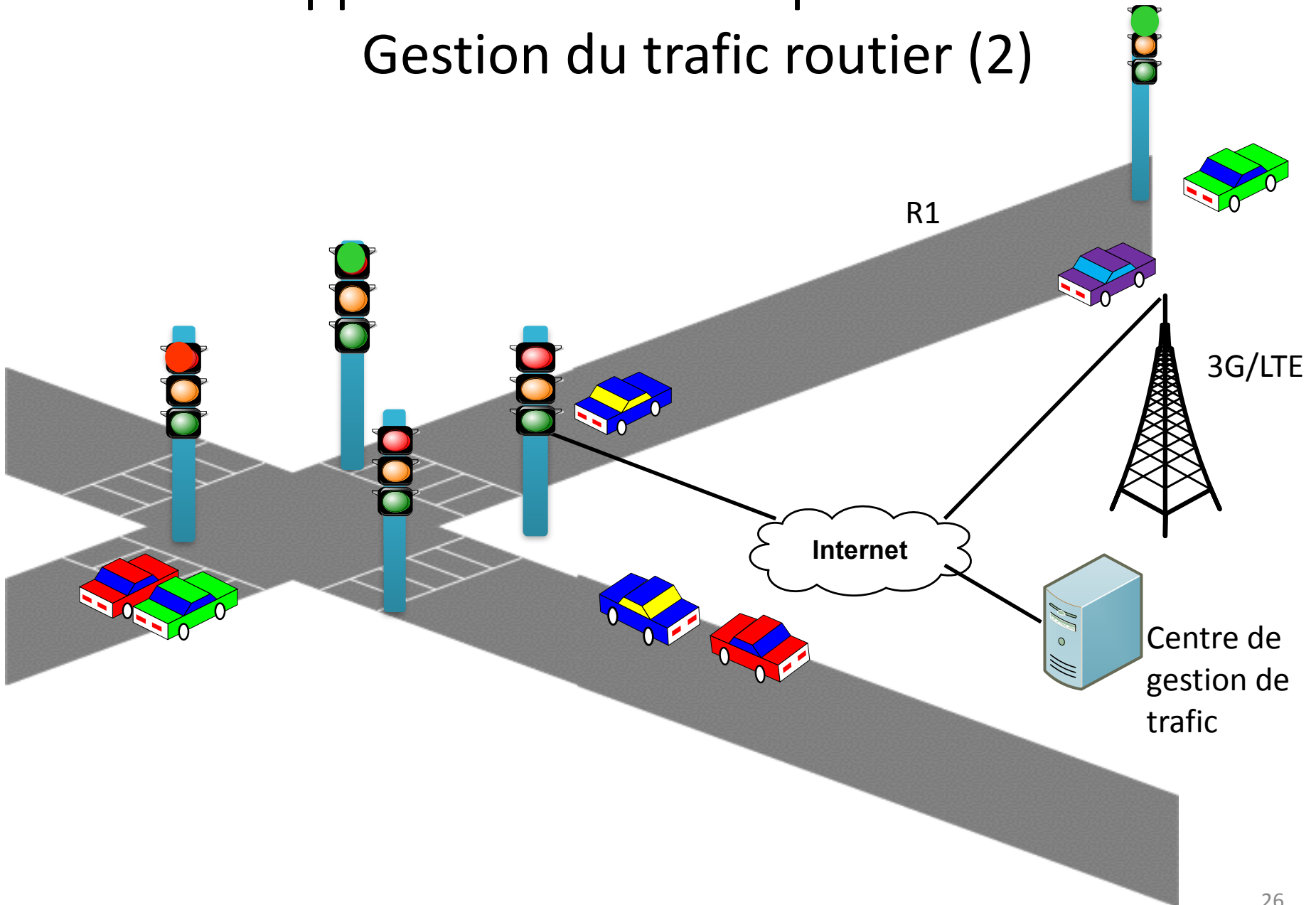




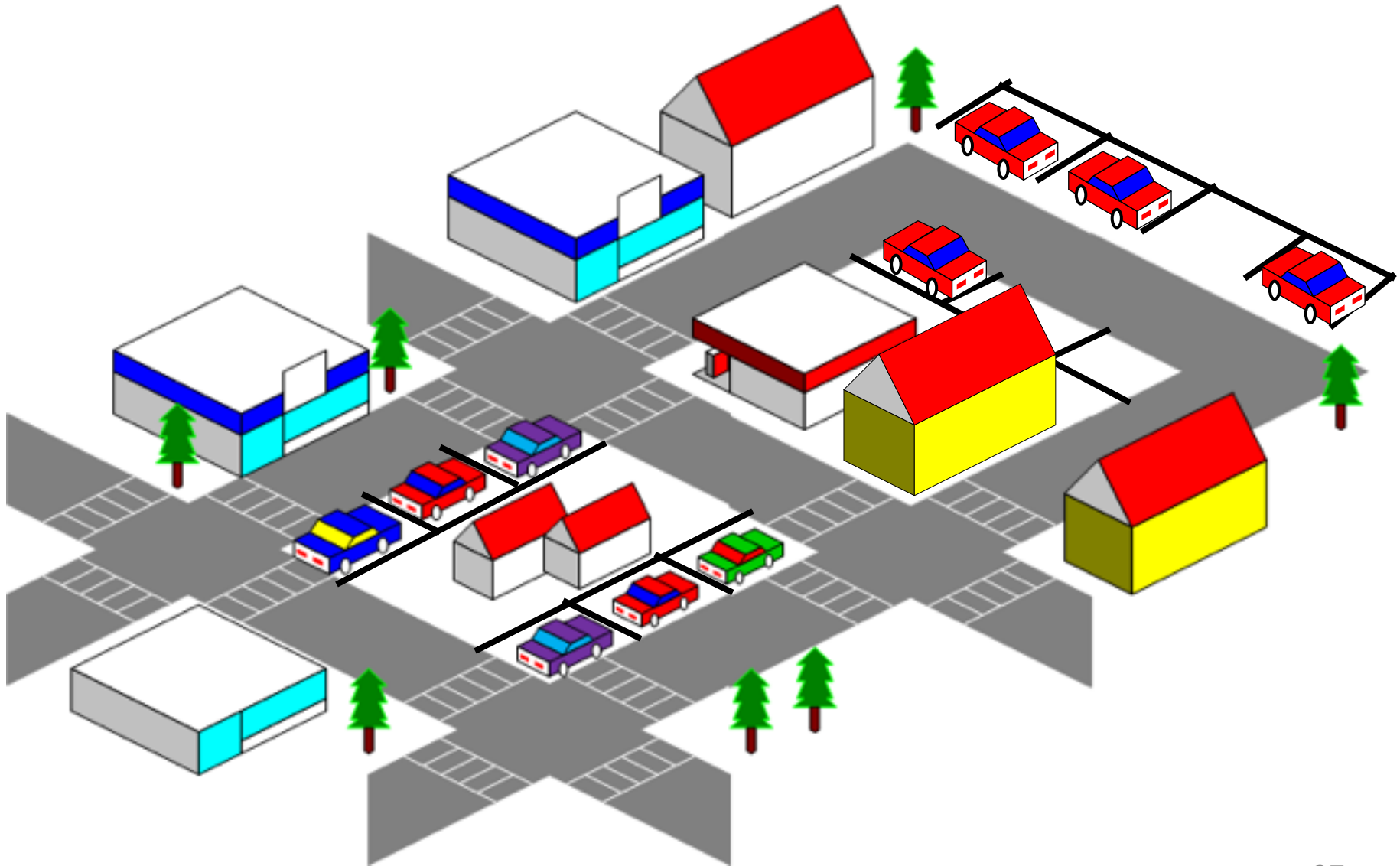
# Applications de Transport Efficace : Gestion du trafic routier (2)



# Applications de Transport Efficace : Gestion du trafic routier (2)



# Applications de Transport Efficace : Recherche d'un Espace de Stationnement (1)



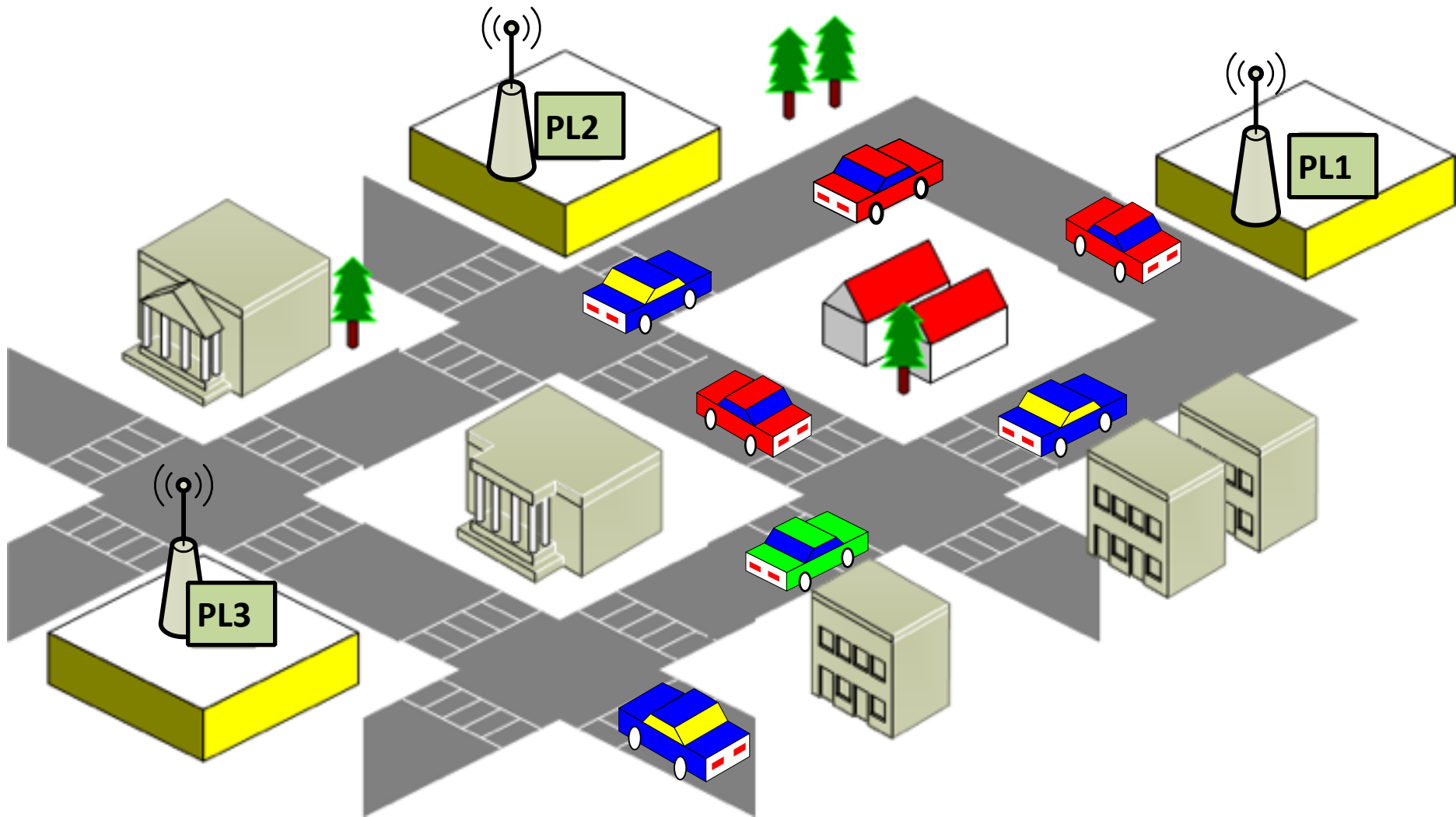
# Applications de Transport Efficace : Recherche d'un Espace de Stationnement (1)

Les routes encombrées aux États-Unis coûtent \$ **121 milliards** chaque année sous forme de 5.5 milliards d'heures de travail perdues et 2.9 milliards de gallons de carburant gaspillés.

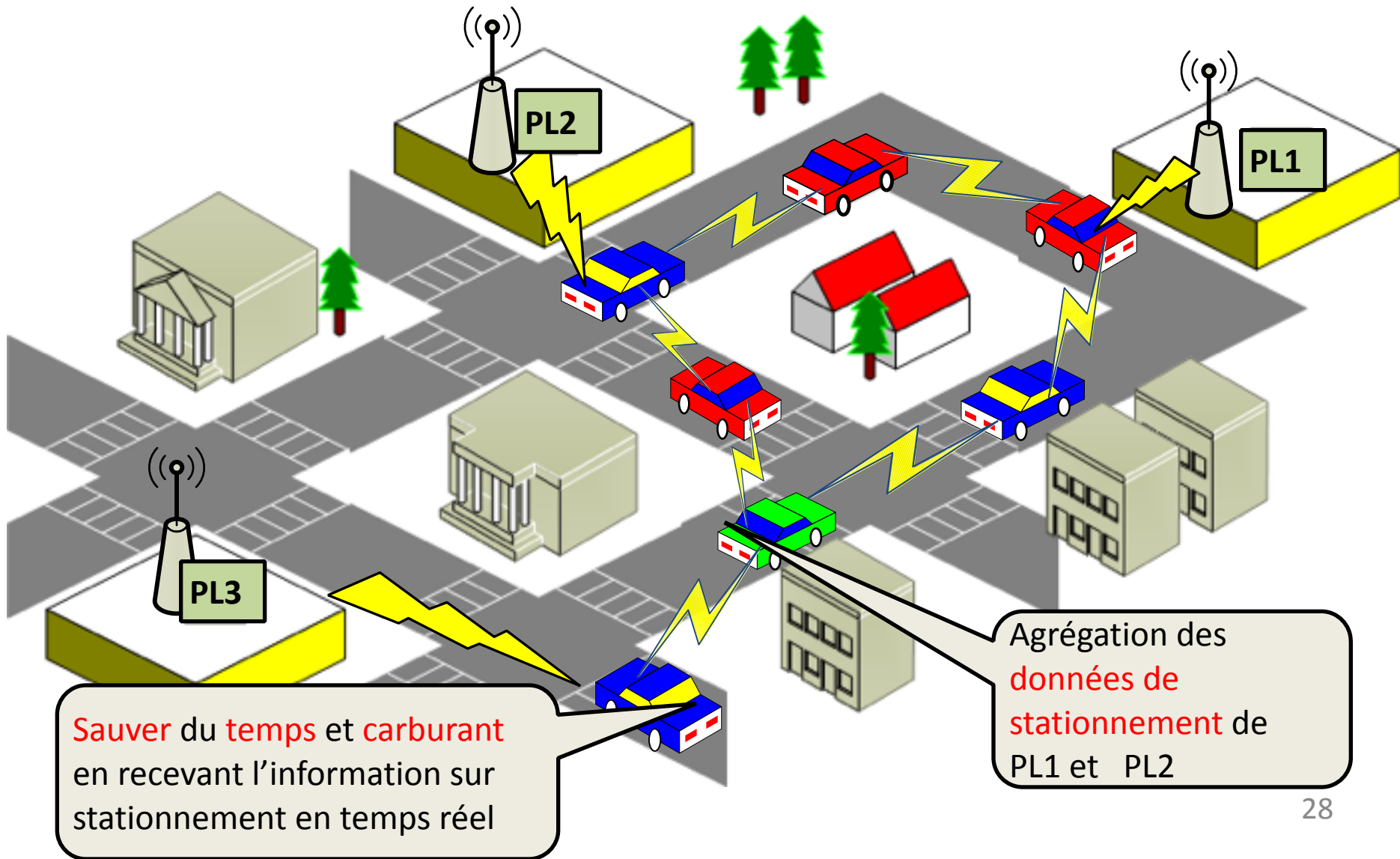
En un an, les véhicules à la recherche d'un stationnement dans un petit quartier de LA ont créé l'équivalent de **38 tours** autour du monde, brûlant 47000 gallons de carburant et produisant 730 tonnes de dioxyde de carbone

**45%** du trafic sur certaines rues de la ville de New York est généré par les véhicules encerclant le bloc.

# Applications de Transport Efficace : Recherche d'un Espace de Stationnement (2)

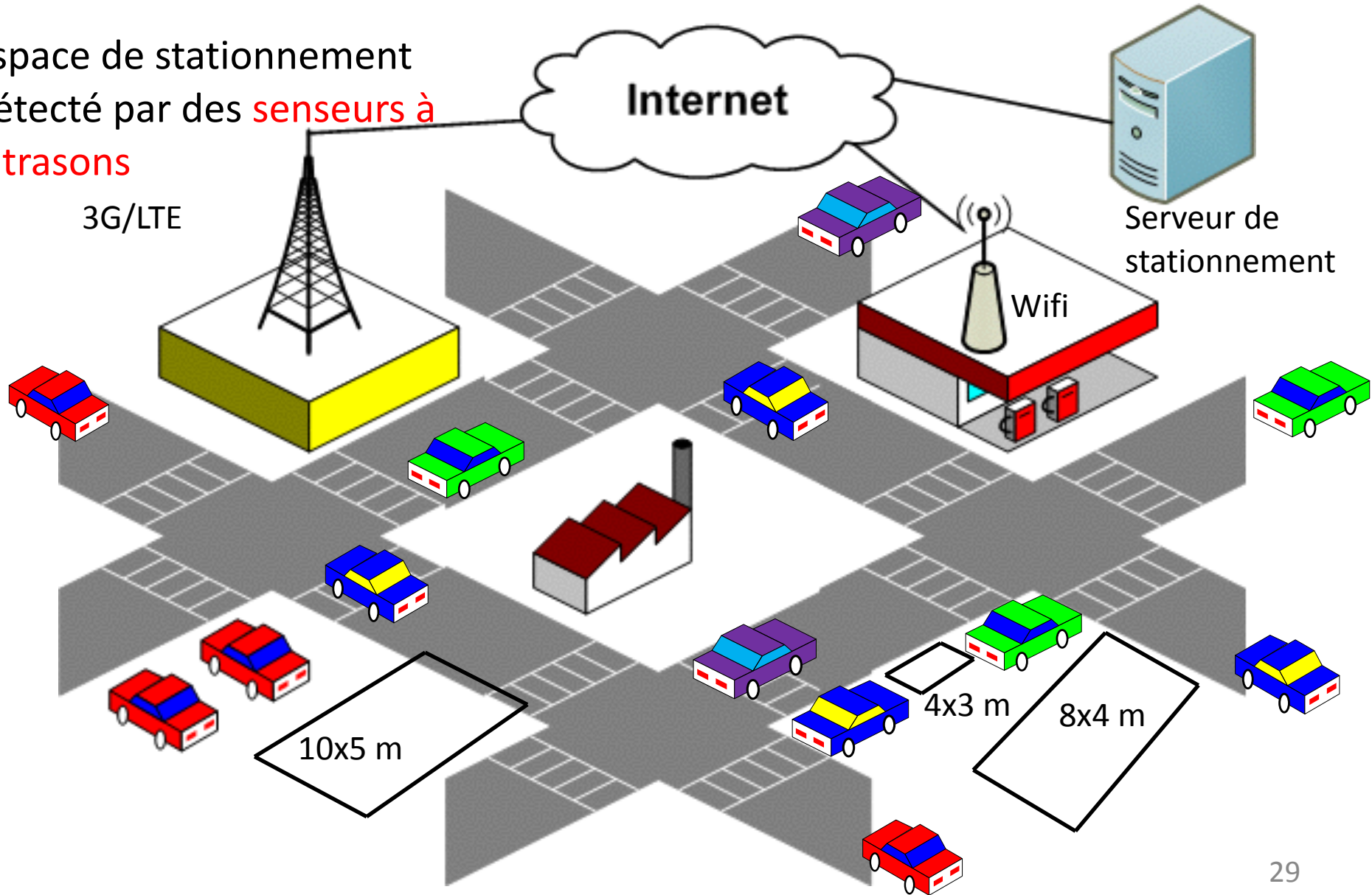


# Applications de Transport Efficace : Recherche d'un Espace de Stationnement (2)

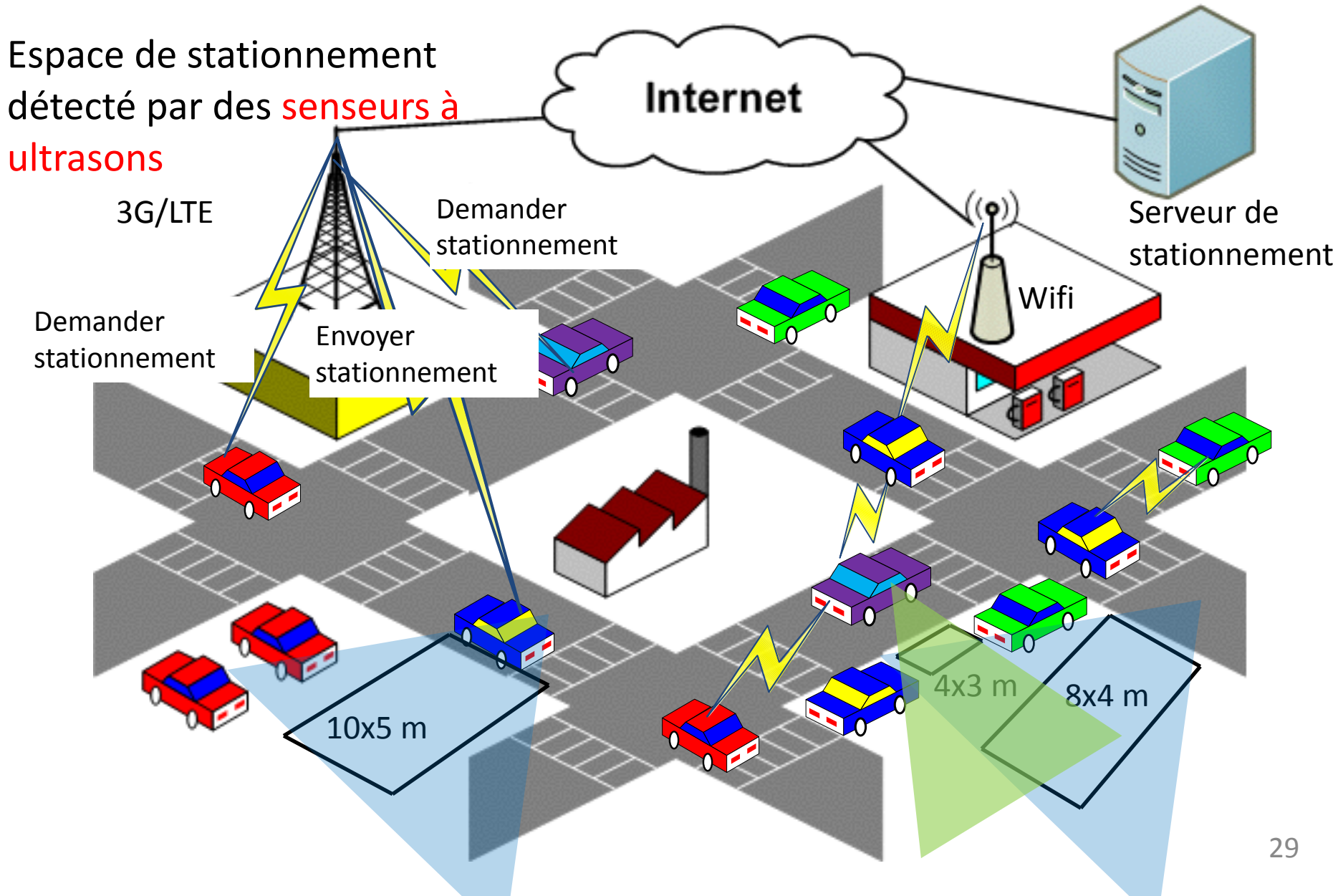


# Applications de Transport Efficace : Recherche d'un Espace de Stationnement sur la Rue

Espace de stationnement  
détecté par des **senseurs à  
ultrasons**



# Applications de Transport Efficace : Recherche d'un Espace de Stationnement sur la Rue

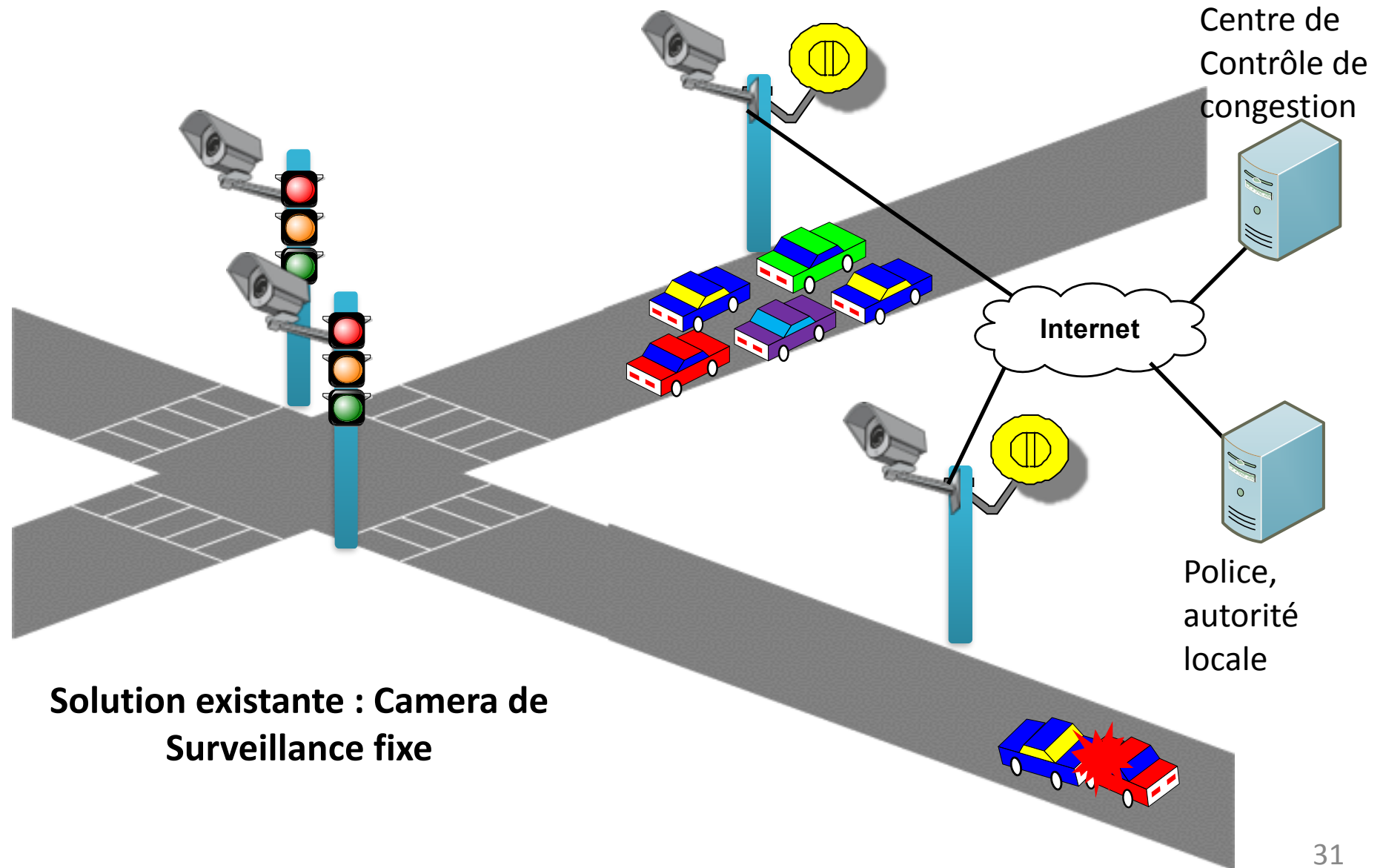




# Plan

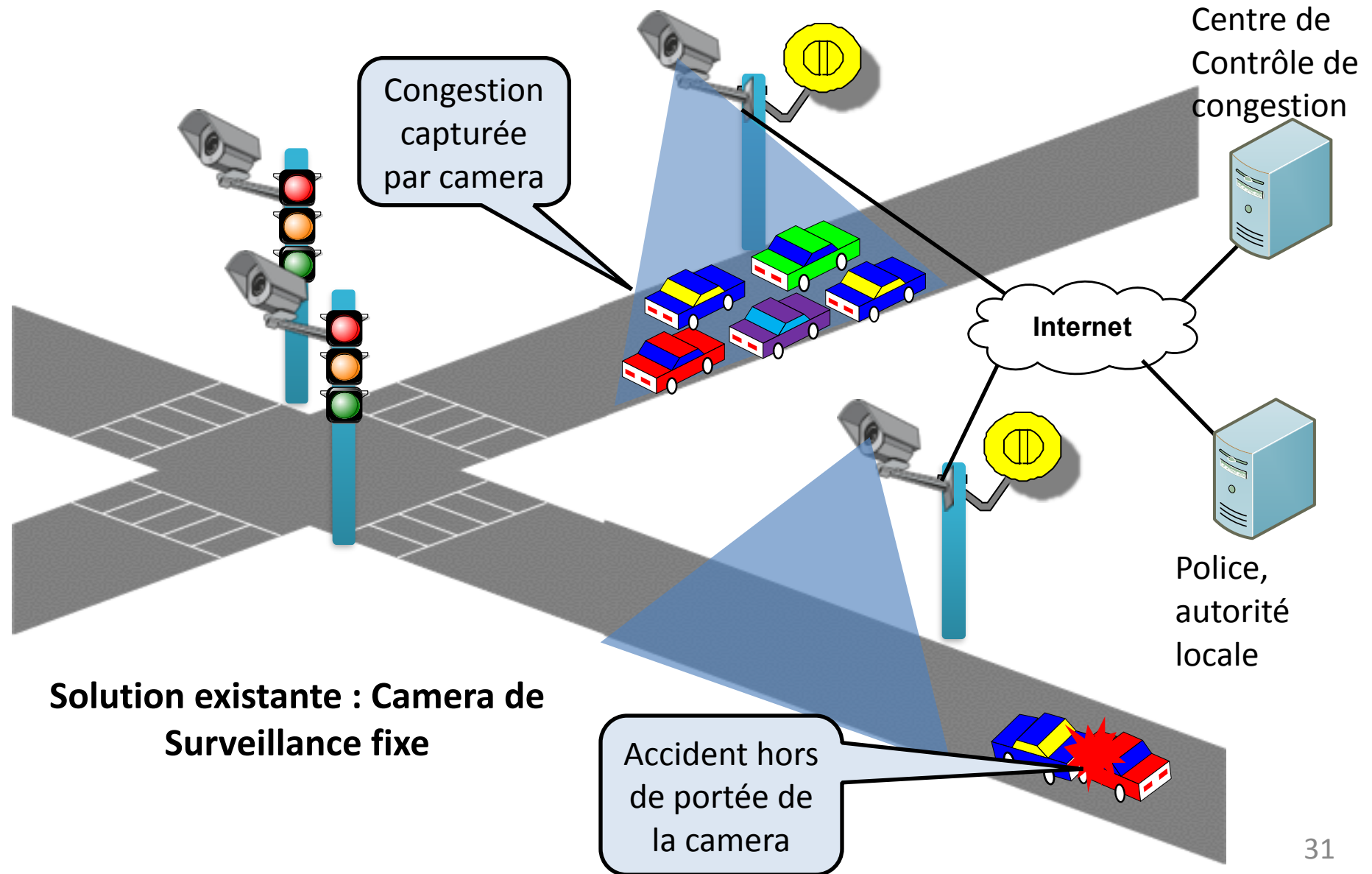
- Systèmes de Transport Intelligent
- Réseaux Véhiculaires
  - Définition et Standards
  - Applications
    - Applications de Sécurité Routière
    - Applications de Transport Efficace
    - Applications de Surveillance
  - Défis
- Conclusion
  - Futur des Réseaux Véhiculaires

# Applications de Surveillance (1)

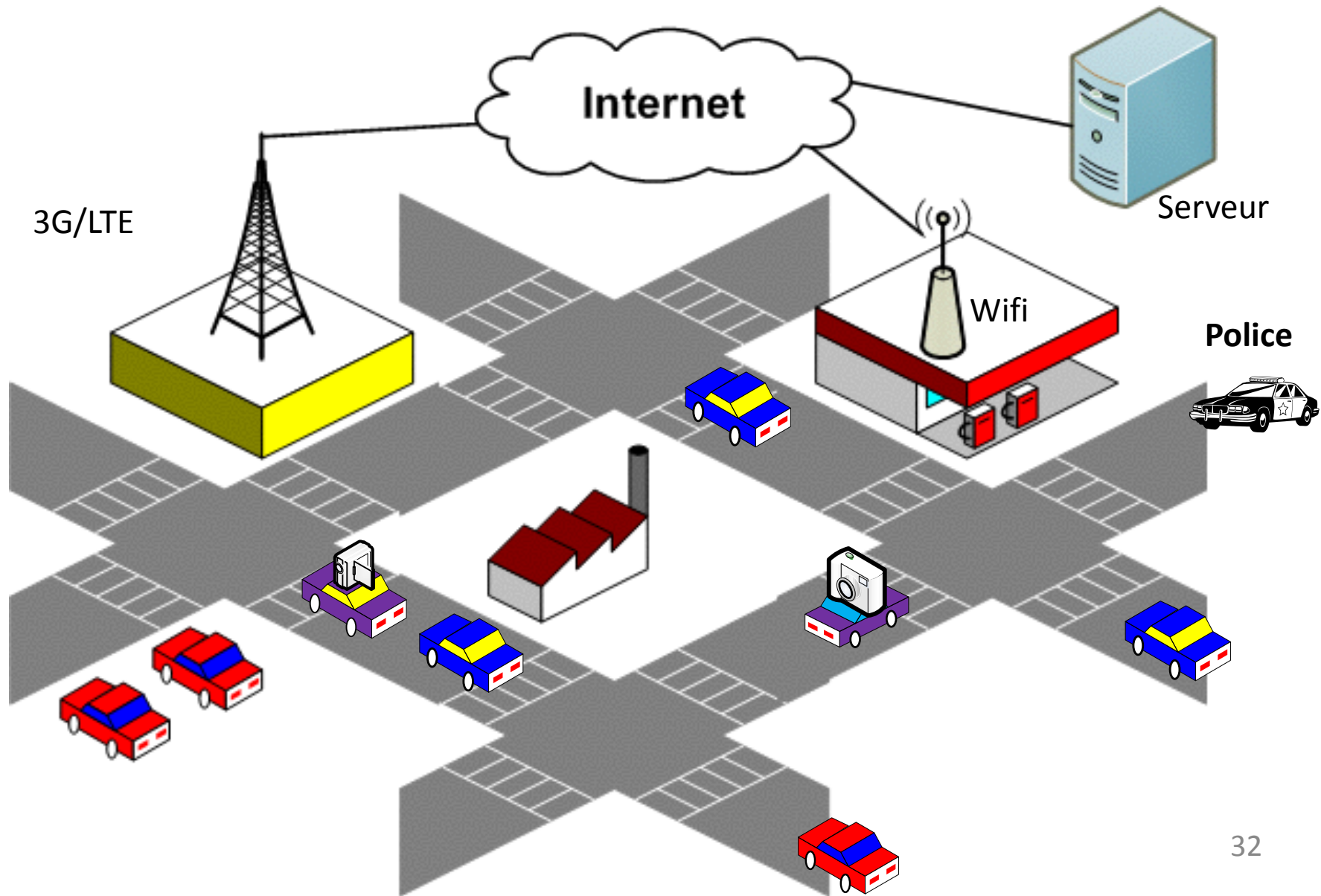


**Solution existante : Camera de Surveillance fixe**

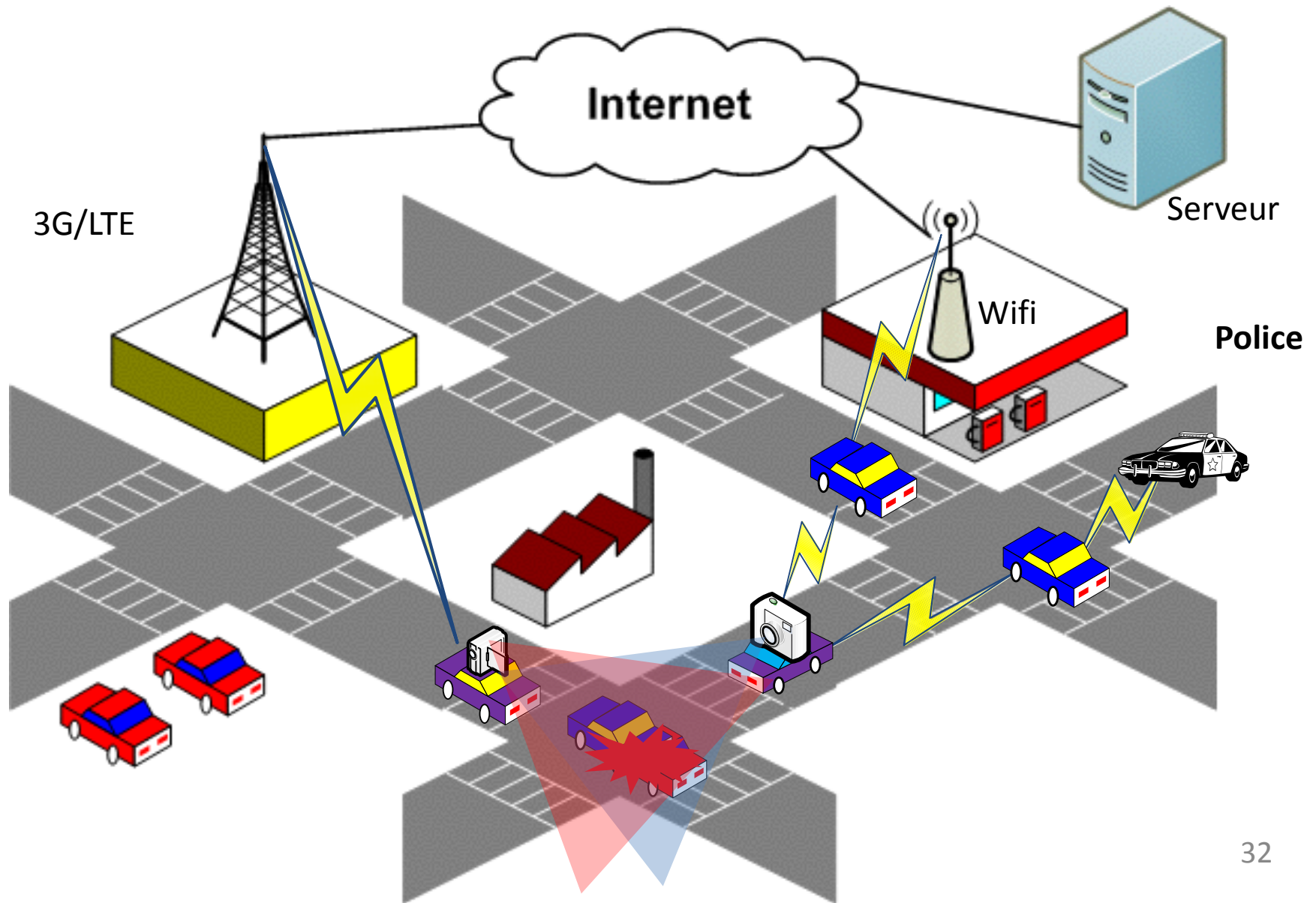
# Applications de Surveillance (1)



# Applications de Surveillance (2)



# Applications de Surveillance (2)



# Applications de Surveillance (3)

- Information sur les émissions CO2
  - Identifier les variations des émissions CO2 dans 1-100m
  - Meilleure politique d'urbanisation (p.ex., l'espace entre les bâtiments est basé sur les émissions de CO2 observées)
- Information sur la Météo et état des routes
  - Des informations exactes et à jour sont essentielles pour les applications de sécurité routière et de mobilité.
- Information sur la condition des chaussées
  - Accéléromètre, pression des pneus, angle de braquage
    - corrélés avec des défauts de la chaussée et de la rugosité
  - Peut aider à la **planification** d'une réponse et à la gestion des ressources de maintenance
- Reconstruction d'accidents
  - Images et vidéos collectées de différents véhicules/angles
- Etc.

# Plan

- Systèmes de Transport Intelligent
  - Motivation et Définition
- Réseaux Véhiculaires
  - Définition et Standards
  - Applications
    - Applications de Sécurité Routière
    - Applications de Transport Efficace
    - Applications de Surveillance
  - **Défis**
- Conclusion
  - Futur des Réseaux Véhiculaires

# Réseaux Véhiculaires : Caractéristiques (1)

- Topologie variante



# Réseaux Véhiculaires : Caractéristiques (1)

- Topologie variante
  - Faible Densité



# Réseaux Véhiculaires : Caractéristiques (1)

- Topologie variante
  - Faible Densité
  - Forte Densité



# Réseaux Véhiculaires : Caractéristiques (1)

- Topologie variante
  - Faible Densité
  - Forte Densité
- Impact du Signal provenant d'autres véhicules

# Réseaux Véhiculaires : Caractéristiques (1)

- Topologie variante
  - Faible Densité
  - Forte Densité
- Impact du Signal provenant d'autres véhicules
  - En présence des bâtiments



# Réseaux Véhiculaires : Caractéristiques (1)

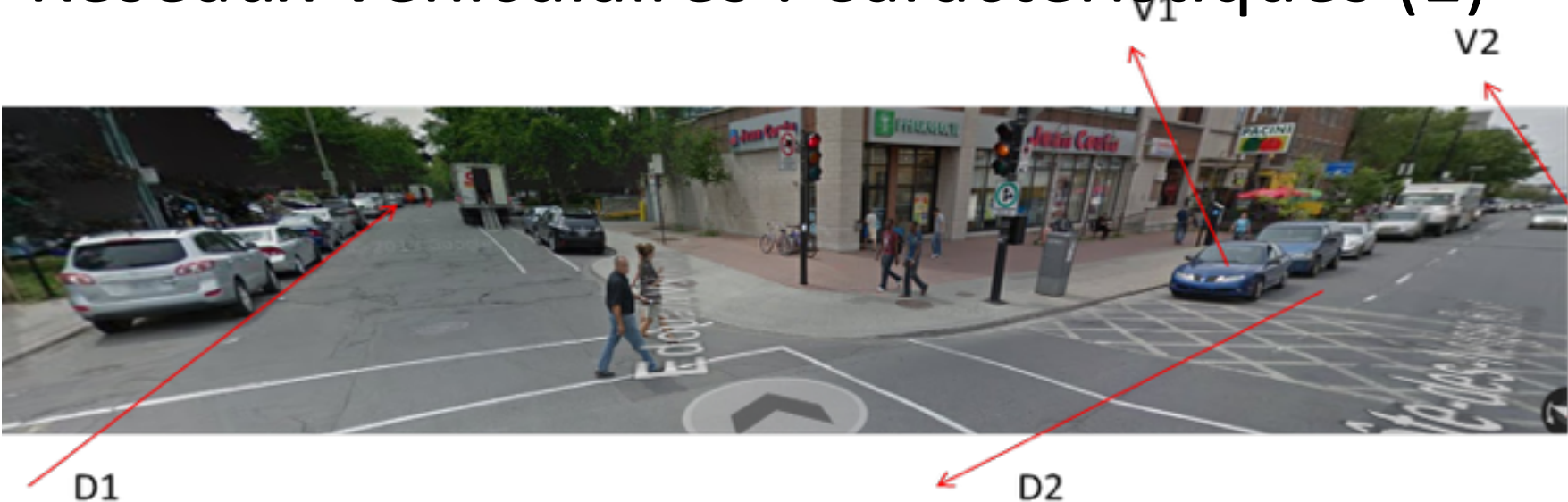
- Topologie variante
  - Faible Densité
  - Forte Densité
- Impact du Signal provenant d'autres véhicules
  - En présence des bâtiments
  - Sans bâtiments



# Réseaux Véhiculaires : Caractéristiques (1)

- Topologie variante
  - Faible Densité
  - Forte Densité
- Impact du Signal provenant d'autres véhicules
  - En présence des bâtiments
  - Sans bâtiments
- Connectivité

# Réseaux Véhiculaires : Caractéristiques (1)

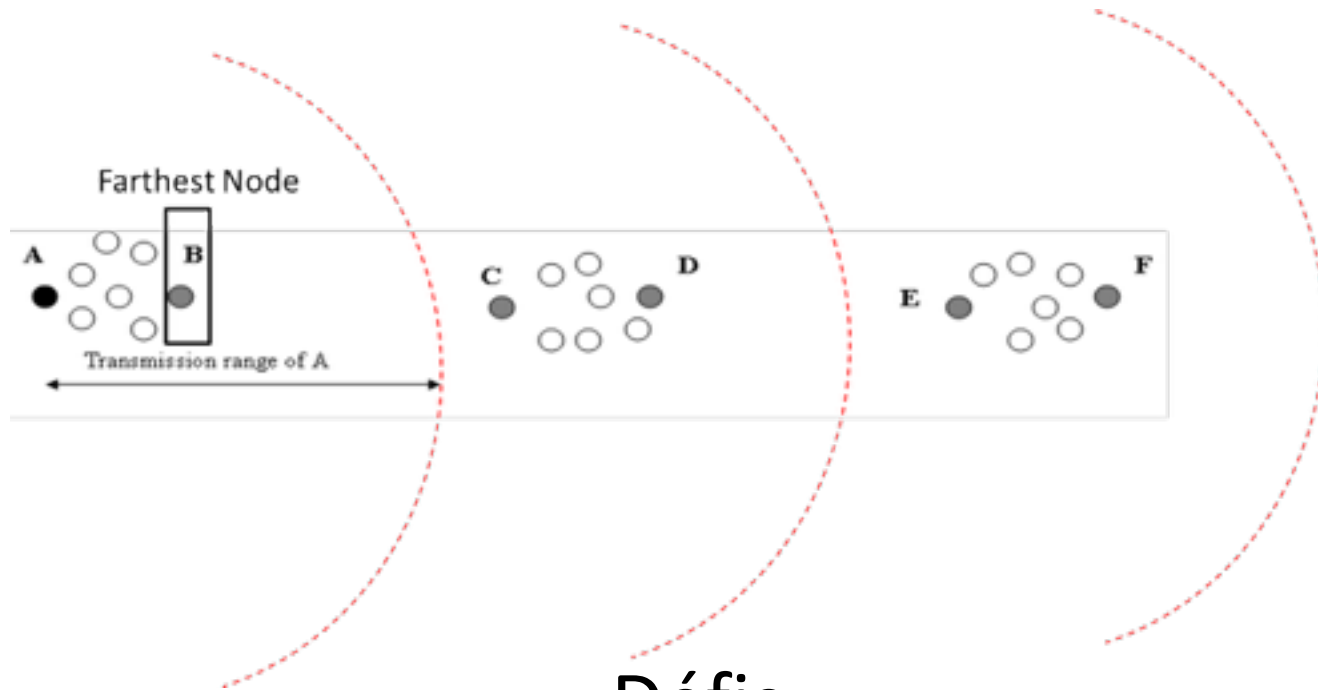


# Réseaux Véhiculaires : Caractéristiques (2)

- 802.11p
  - Canal partagé: Contention
  - Nature du canal: Interférences/collisions
  - Bande passante limitée



# Diffusion des Messages d'Urgence

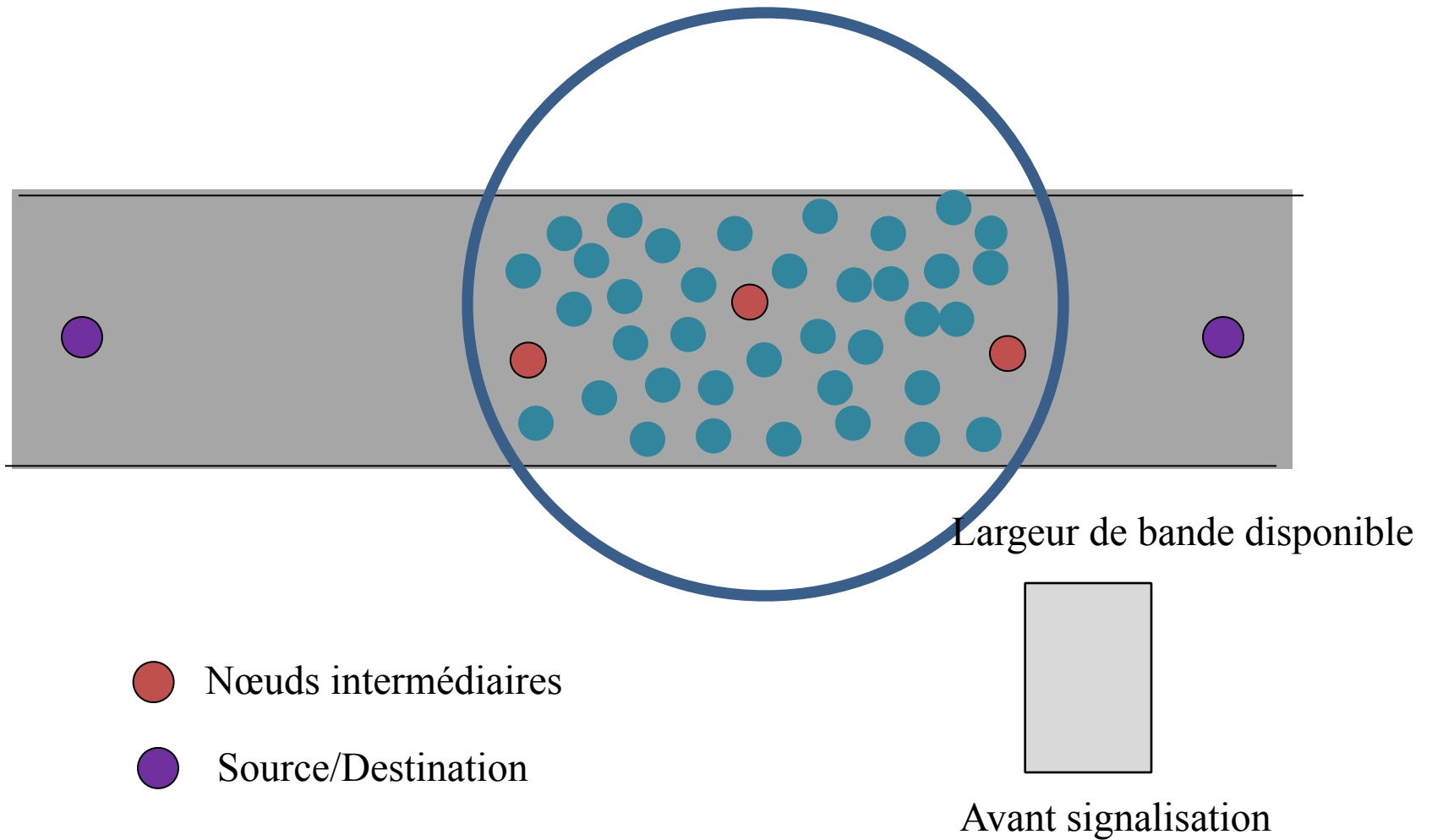


## Défis

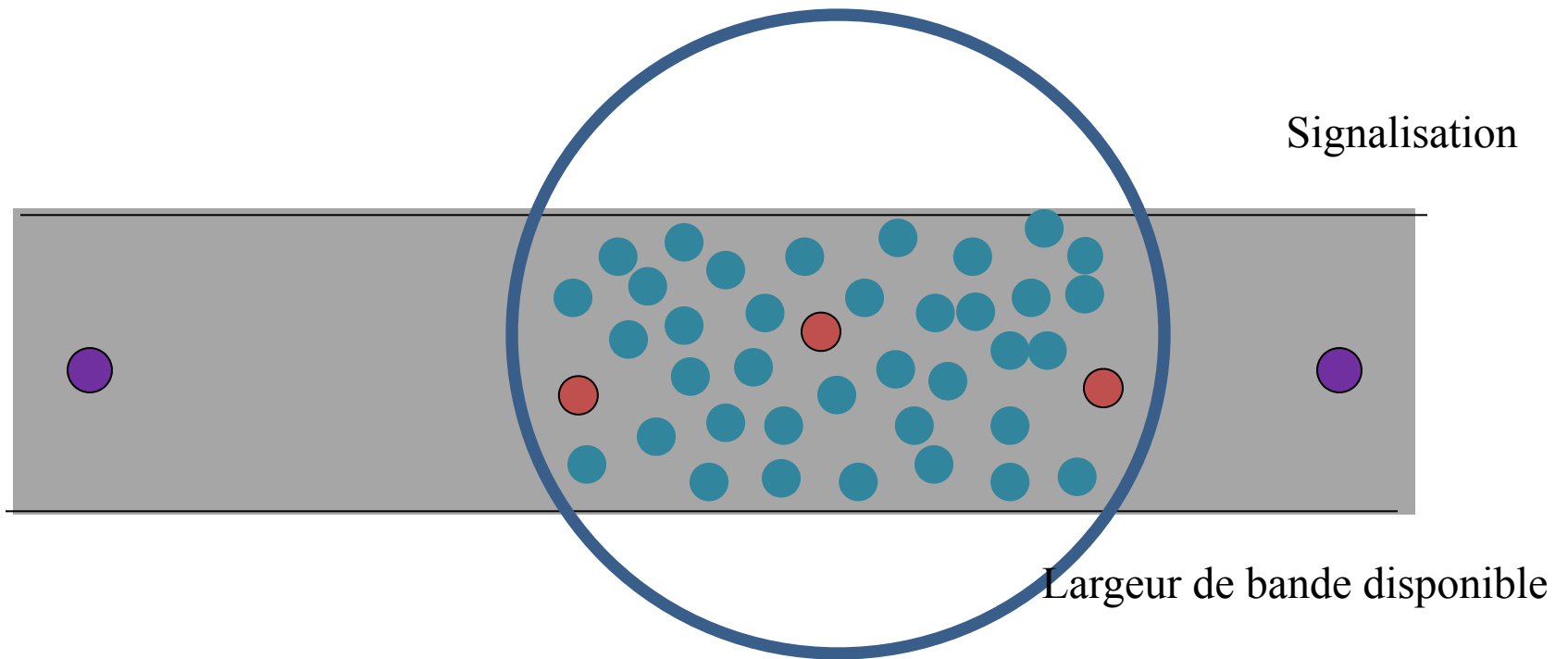
## Objectifs

- Réduire le délai (multi-sauts)
- Assurer la fiabilité
- Comment sélectionner un véhicule transitaire?
- Véhicule transitaire sélectionné a peut être déjà quitté la région

# Signalisation (Beacons)



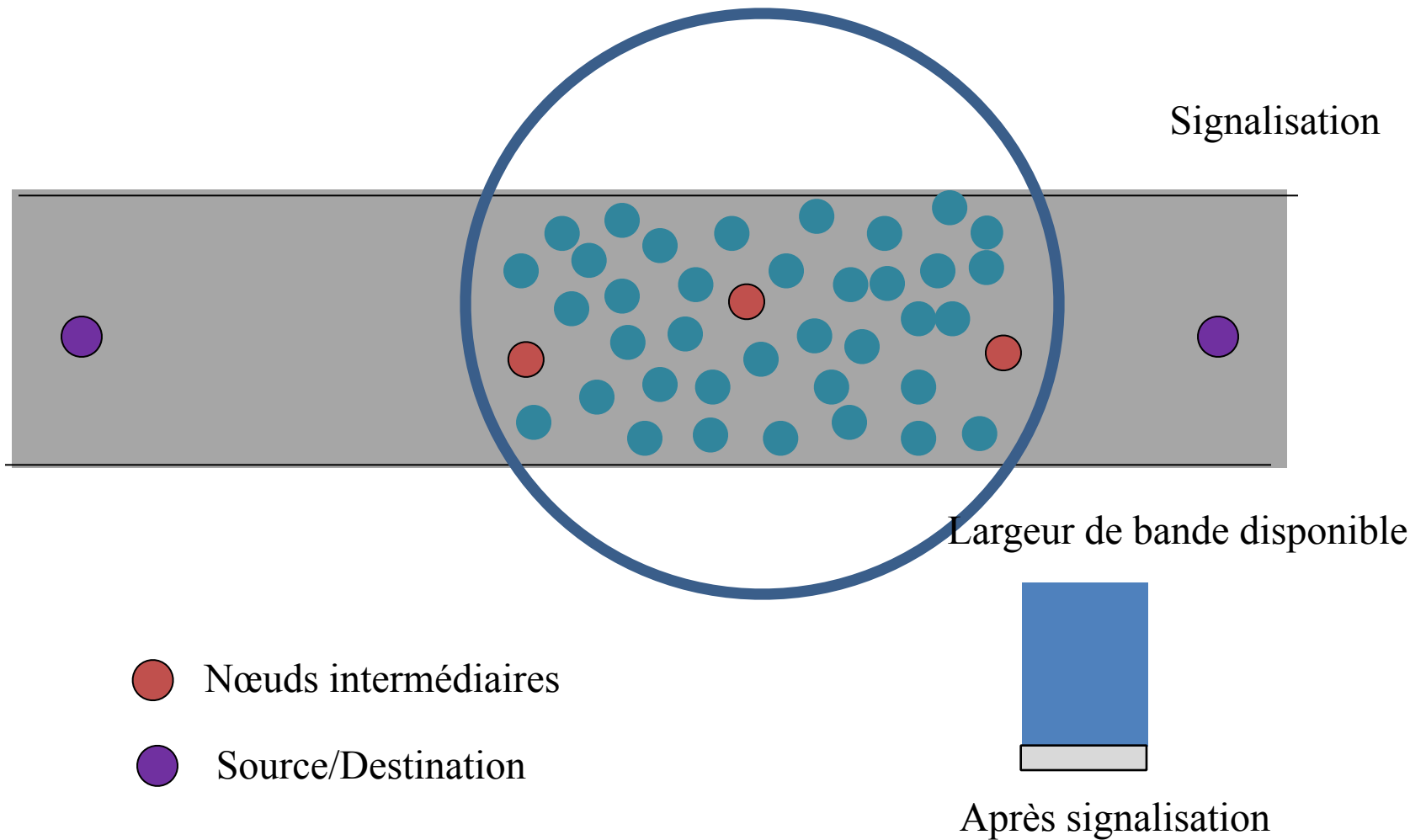
# Signalisation (Beacons)



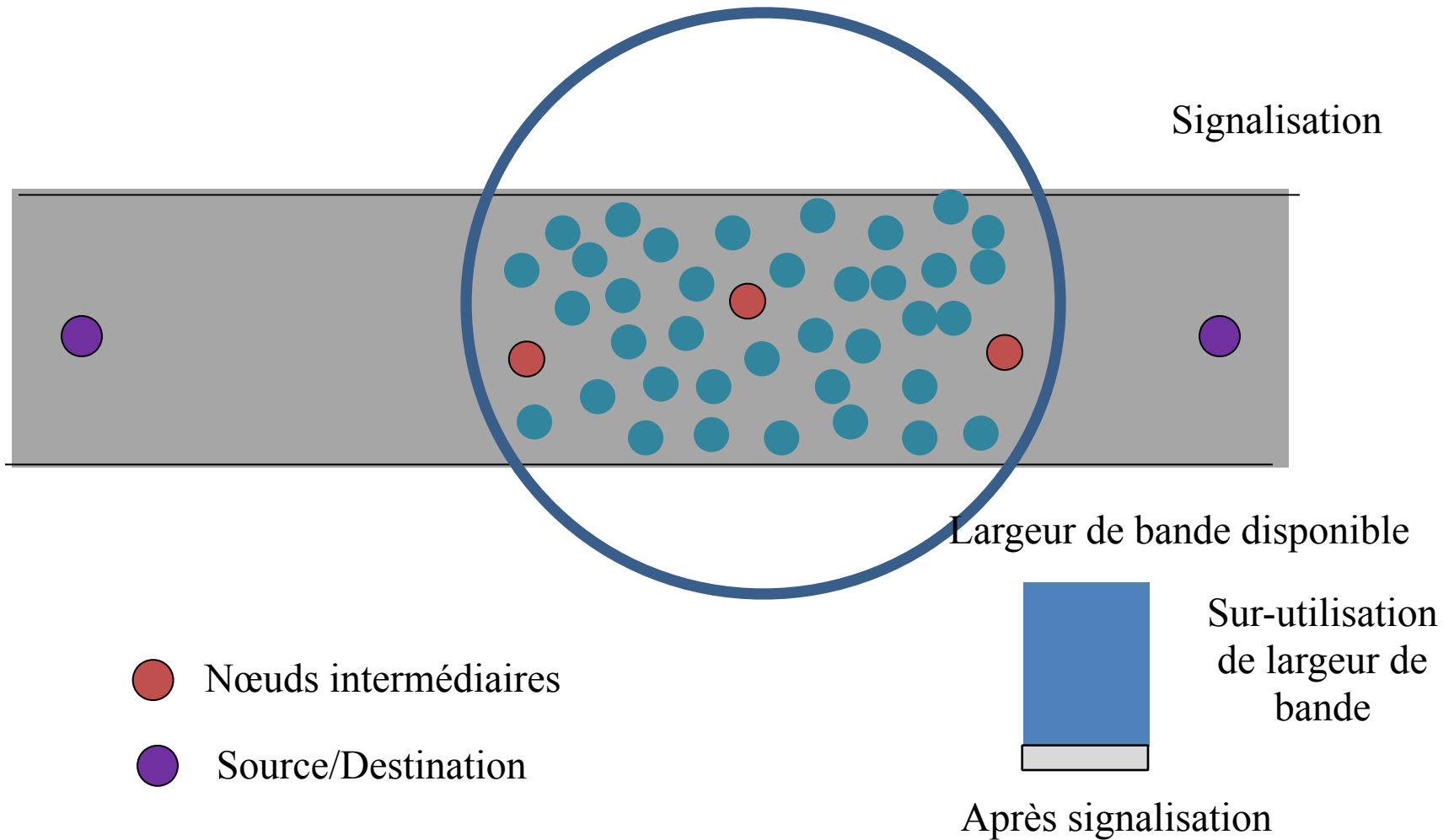
● Nœuds intermédiaires

● Source/Destination

# Signalisation (Beacons)



# Signalisation (Beacons)



# Fragmentation du Réseau

- Scénarios à faible trafic
- Le déploiement initial des réseaux véhiculaires
  - Faible pourcentage de véhicules équipés avec 802.11p
- Nouvelles approches sont nécessaires
  - Des techniques de Transport et transmission?
  - Utiliser l'infrastructure (UBs)?



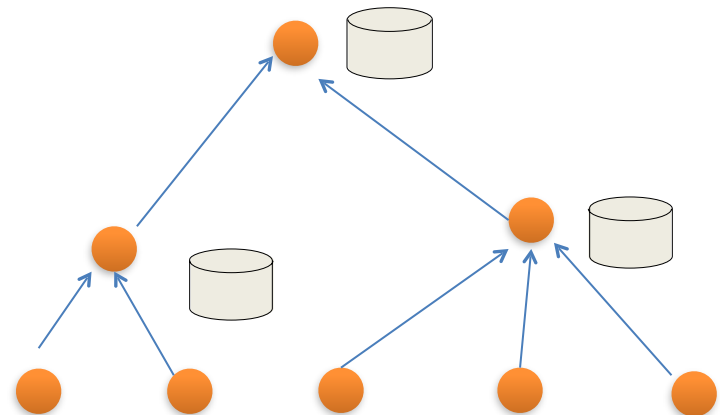
# Communication V2I

- Quand un véhicule ne peut pas communiquer avec l'infrastructure via 1-saut
  - Hors de portée
- Communication multi-sauts
  - Accède à l'infrastructure via un ou plusieurs véhicules
  - Comment maintenir la connectivité? Connectivité stable?
  - Comment déterminer un nombre optimal de UBs et leurs positions pour satisfaire certaines exigences de qualité de service (p.ex., délai)?
- Passerelles mobiles
  - Un véhicule avec l'interface 3G/LTE (p.ex., les autobus et les taxis)
  - Comment sélectionner une passerelle mobile?
  - Comment maintenir la connectivité à la passerelle mobile?
  - Combien de passerelles mobiles sont nécessaires pour satisfaire certaines exigences de qualité de service?

# Manipulation de Données

- Les réseaux véhiculaires vont générer d'énormes quantités de données distribuées
  - Agrégation
    - Qui va agréger ces données et comment?
  - Distribution
    - Comment collecter et échanger (temps réel) ces données?
  - Stockage
    - Où stocker ces données? Emplacements de stockage optimales?
- Comment concilier ces fonctions (p.ex., échange en temps réel) avec les performances du réseau?

Que faire si le nœud qui stocke l'informations change de position (se déplace ailleurs)?





# Authentification et Vie Privée

- Unique
  - Changement fréquent de topologies
  - Grande mobilité
- Objectifs
  - Empêcher les attaquants d'interférer
    - Avec l'intégrité des messages échangés et la disponibilité du système
  - Fournir des services de vie privée
  - Conciliation entre authentification et vie privée
- Caractéristiques
  - Faible surcharge en raison de la sensibilité de temps
  - Étapes minimales de communication entre les nœuds

# Simulations/Implementations

- Le manque de modèles de canaux réalistes
- Développer un banc d'essai est trop cher
  - Véhicules avec DSRC
    - Nombre est faible
  - L'installation de l'infrastructure de communications V2I
    - limitée
- Simulation à l'échelle de la ville est difficile
  - Seule une petite zone peut être considérée

# Nos travaux au Laboratoire des Réseaux de Communication

# Quelques Solutions: Nos travaux au Laboratoire des Réseaux de Communication (1)

## Deux projets financés par le CRSNG et le FQRNT

- Deux approches de dissémination des messages d'urgence
  - Réactive: basée sur la *partitionnement dynamique* de la zone de transmission de la source
  - Proactive: basée sur la création/maintenance d'un réseau virtuel relativement stable en utilisant des *modèles de prédiction de mobilité* des véhicules
- Beacons
  - Génération *dynamique* des beacons en se basant sur le nombre de collisions

# Quelques Solutions: Nos travaux au Laboratoire des Réseaux de Communication (2)

- Manipulation des données
  - Une approche hiérarchique de collection et distribution de l'information sur la densité du réseau routier
    - » Une meilleure *conciliation* entre l'utilisation de la largeur de bande et le délai de transmission
  - Une approche de collection et de distribution de l'information de surveillance (images/vidéo)
    - » En particulier, un *modèle d'optimisation* qui détermine les emplacements de stockage qui permettent de satisfaire des exigences de délai avec une meilleure utilisation de la largeur de bande

# Plan

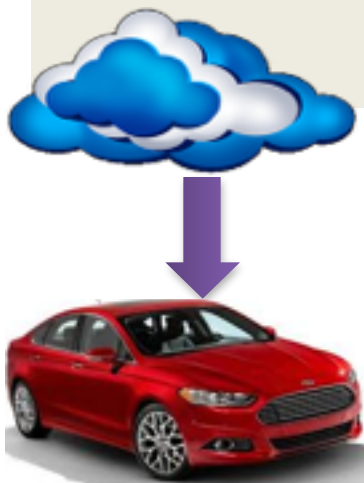
- **Systemes de Transport Intelligent**
  - Motivation et Définition
- **Réseaux Véhiculaires**
  - Définition et Standards
  - Applications
    - Applications de Sécurité Routière
    - Applications de Transport Efficace
    - Applications de Surveillance
  - Défis
- **Conclusion**
  - Futur des Réseaux Véhiculaires

# Futur des Réseaux Véhiculaires: Pénétration de la Technologie

- USDOT planifie d'obliger les constructeurs à équiper les nouvelles voitures avec la technologie DSRC d'ici 2017
- Étendre la technologie aux téléphones intelligents
  - Augmenter le taux de pénétration de la technologie
  - Cyclistes et **Piétons** (Honda a déjà effectué des tests)

# Futur des Réseaux Véhiculaires: Internet des Véhicules (IoV)

- Communication entre véhicules et réseaux publics utilisant des interactions **V2V**, **V2I**, **V2H** et **V2S**
  - » Un véhicule est une ressource intelligente dans le réseau
- Nuage véhiculaire: Utiliser les ressources abondantes dans les véhicules (calcul, stockage, réseau, senseurs)
  - » Collecter et traiter les données de senseurs
  - » Déchargement mobile
    - De 3G/LTE aux réseaux véhiculaires (similaire au 3G/LET aux réseaux WIFI)





# Futur des Réseaux Véhiculaires: Internet des Véhicules (IoV)

- Grille intelligente: Charger les batteries des véhicules
  - Balancer ces opérations pour éviter la surcharge du réseau électrique
  - Véhicules stationnés peuvent vendre de l'électricité aux heures de pointe, etc.
- Surveillance des comportements des véhicules et conducteurs en temps réel
  - État mécanique d'un véhicule
  - Comportements dangereux sur les routes (p.ex. Conduite avec faculté affaiblie, conduite dangereuse et non-respect de la limite de vitesse), etc.
  - **Vie privée!**

# Futur des Réseaux Véhiculaires: Véhicules Autonomes

## •Google car?

- » Ne peut rouler que dans moins de 1% des routes dans le réseau Américain
- » Ne peut pas rouler quand il pleut ou il neige
- » Ne peut pas reconnaître un policier qui dirige/fait stopper le trafic
- » Travaux sur les routes et détours
- » Coûteux (70000 \$; KPMG, 2012)
- » Etc.

## •Véhicules autonomes: long terme

- » Maturité des réseaux véhiculaires
- » Investissement en termes d'infrastructure
- » Acceptation des consommateurs
- » Législation
- » Modèles d'affaire

**Merci de Votre Attention**