

# Algorithmique des réseaux et de la mobilité

(ALGOMOB)

Parcours RCI (M2)  
Université de Bordeaux

Arnaud Casteigts

September 16, 2021

## Informations pratiques

- ▷ 12 semaines      ~ 40% Cours/TD, ~ 60% TP
- ▷ Enseignants: Arnaud Casteigts + Colette Johnen + Nicolas Hanusse + Cyril Gavoille
- ▷ Le jeudi matin (8h30-12h30)
- ▷ URL du cours: (“algomob” sur google)  
`http://www.labri.fr/perso/acasteig/teaching/algomob/`  
→ Source principale d'information (**à consulter avant chaque cours**)
- ▷ Philosophie du cours: théorie + pratique (algorithmique + développement)
- ▷ Évaluation : 1 exam + 1 TP rendu (ou projet)
- ▷ Possibilité d'influencer le cours ! Vos idées sont les bienvenues.

## Thèmes du cours



→ Algorithmique dans ce contexte ?

## Thèmes du cours



→ Algorithmique dans ce contexte ?

Algorithmes pour :

- ▷ communications réseaux
- ▷ coordination de groupe
- ▷ coordination des mouvements
- ▷ calcul d'itinéraire
- ▷ graphes dynamiques

# Thèmes du cours



→ Algorithmique dans ce contexte ?

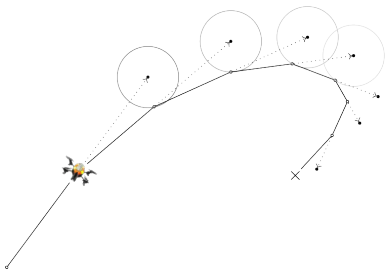
Algorithmes pour :

- ▷ communications réseaux
- ▷ coordination de groupe
- ▷ coordination des mouvements
- ▷ calcul d'itinéraire
- ▷ graphes dynamiques

Axes du cours :

- ▷ Scénarios particuliers  
(axe "horizontal")
- ▷ Aspects fondamentaux  
(axe "vertical")

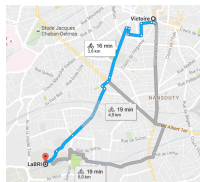
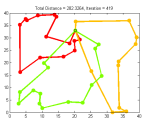
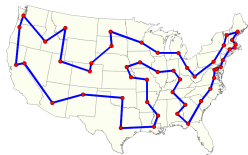
## Synthèse de mouvements



# Synthèse de mouvements (1)

Macroscopique ( $\simeq$  itinéraire)

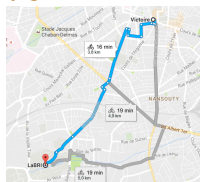
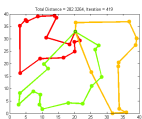
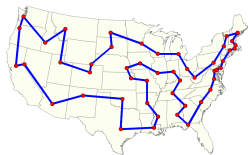
(Ex : Voyageur de commerce, Plus court chemin)



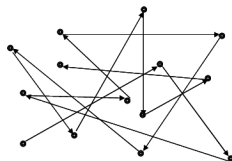
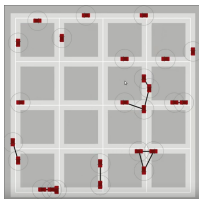
# Synthèse de mouvements (1)

## Macroscopique ( $\simeq$ itinéraire)

(Ex : Voyageur de commerce, Plus court chemin)



## Mésoscopique (modèles de mobilités)

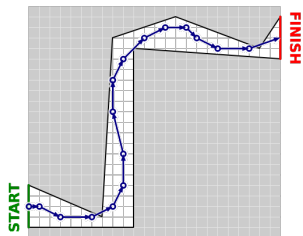
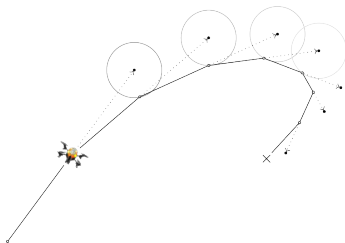


(Ex : Marche aléatoire, Réseaux véhiculaire type Manhattan, Random Waypoint, ...)



## Synthèse de mouvements (2)

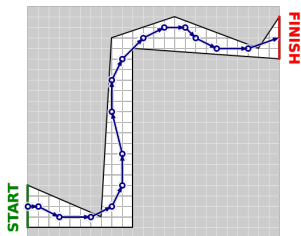
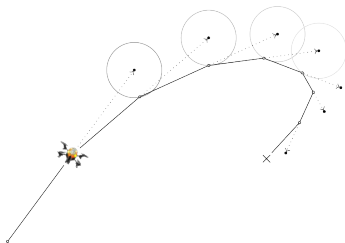
### Modèles physiques discrets pour l'accélération



(Recherche de trajectoire optimale)

# Synthèse de mouvements (2)

## Modèles physiques discrets pour l'accélération



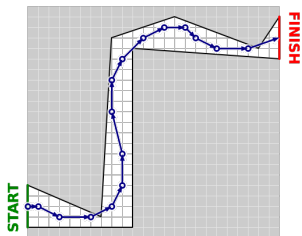
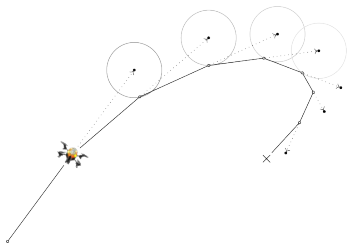
(Recherche de trajectoire optimale)

Exemple d'algorithme: BFS dans l'espace des configurations

("méta-graphe" dont les sommets sont des couples (*position*, *vitesse*))

# Synthèse de mouvements (2)

## Modèles physiques discrets pour l'accélération

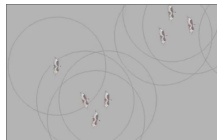
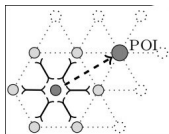
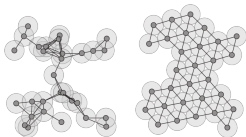


(Recherche de trajectoire optimale)

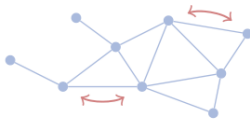
Exemple d'algorithme: **BFS dans l'espace des configurations**

("méta-graphe" dont les sommets sont des couples (*position, vitesse*))

## Forces virtuelles artificielles



## Coordination et communications

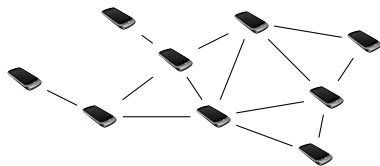


# Modélisation des réseaux

On représentera un réseau par un graphe  $G = (V, E)$

→ Ensemble de **noeuds**  $V$  (a.k.a. entités, sommets)

→ Ensemble de **liens**  $E$  entre eux (a.k.a. relations, arêtes)

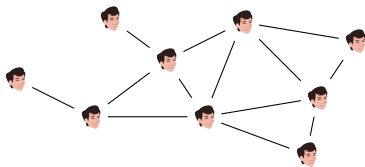


# Modélisation des réseaux

On représentera un réseau par un graphe  $G = (V, E)$

→ Ensemble de **noeuds**  $V$  (a.k.a. entités, sommets)

→ Ensemble de **liens**  $E$  entre eux (a.k.a. relations, arêtes)

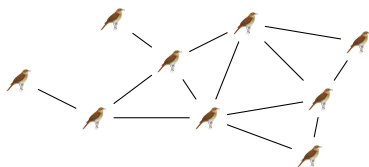


# Modélisation des réseaux

On représentera un réseau par un graphe  $G = (V, E)$

→ Ensemble de **noeuds**  $V$  (a.k.a. entités, sommets)

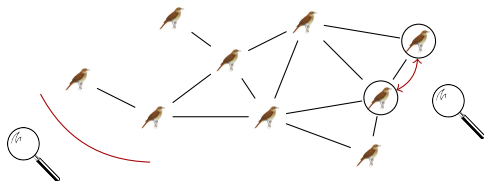
→ Ensemble de **liens**  $E$  entre eux (a.k.a. relations, arêtes)



# Modélisation des réseaux

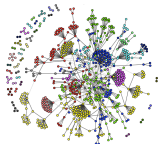
On représentera un réseau par un graphe  $G = (V, E)$

- Ensemble de **noeuds**  $V$  (a.k.a. entités, sommets)
- Ensemble de **liens**  $E$  entre eux (a.k.a. relations, arêtes)



## Complex networks

- compute global metrics
- explain and reproduce phenomena



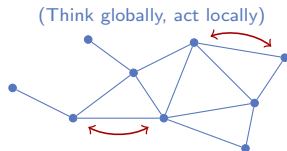
## Communication networks

- design interactions among entities
- study what can be done *from within*  
(distributed algorithms)





# Algorithmique distribuée dans les réseaux

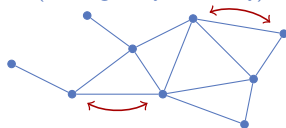


Collaboration d'entités distinctes pour réaliser une tâche commune.

Pas de centralisation.

# Algorithmique distribuée dans les réseaux

(Think globally, act locally)



Collaboration d'entités distinctes pour réaliser une tâche commune.

Pas de centralisation.

## Exemples de problèmes:

Diffusion



Election



Arbres couvrants

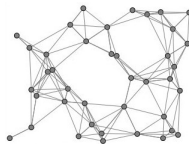


Comptage



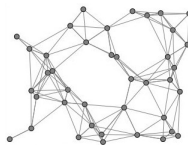
Autres problèmes: consensus, nommage, routage, exploration, ensembles indépendants, ...

## Réseaux de capteurs



(agrégation hiérarchique, graphes aléatoires, seuils de connexité)

## Réseaux de capteurs

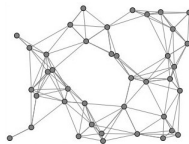
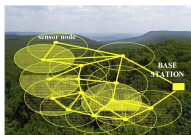


(agrégation hiérarchique, graphes aléatoires, seuils de connexité)

→ Exemple d'algo récursif dans un arbre d'agrégation:

1) attendre la valeur captée par les enfants, 2) "agréger" les valeurs, 3) transmettre au parent

## Réseaux de capteurs

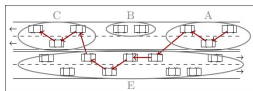
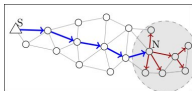


(agrégation hiérarchique, graphes aléatoires, seuils de connexité)

→ Exemple d'algo récursif dans un arbre d'agrégation:

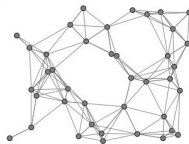
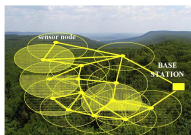
1) attendre la valeur captée par les enfants, 2) "agréger" les valeurs, 3) transmettre au parent

## Routage géographique



(information localisée, géorouting, géocasting)

## Réseaux de capteurs

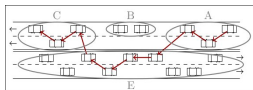
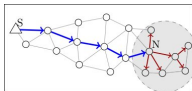


(agrégation hiérarchique, graphes aléatoires, seuils de connexité)

→ Exemple d'algo récursif dans un arbre d'agrégation:

1) attendre la valeur captée par les enfants, 2) "agréger" les valeurs, 3) transmettre au parent

## Routage géographique



(information localisée, géorouting, géocasting)

→ Exemple d'algo de géorouting : transmettre au voisin le plus proche de la destination (répéter)

## Graphes dynamiques

# Graphes dynamiques

## Représentation du réseau

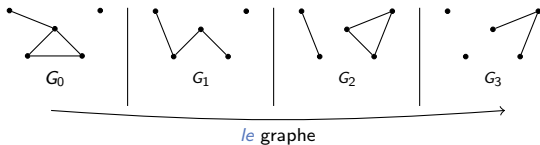
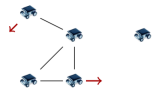




# Graphes dynamiques

## Représentation du réseau

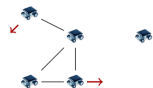
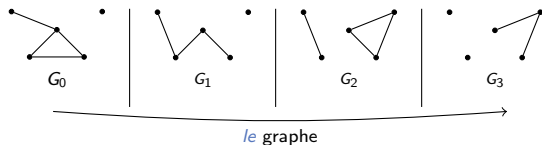
Un modèle simple : une suite de graphe  $\mathcal{G} = G_0, G_1, \dots$



# Graphes dynamiques

## Représentation du réseau

Un modèle simple : une suite de graphes  $\mathcal{G} = G_0, G_1, \dots$



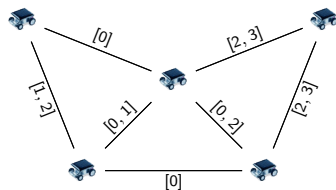
Autre modèle: graphe muni d'une fonction de présence:

$$\mathcal{G} = (V, E, \mathcal{T}, \rho)$$

-  $\mathcal{T} \subseteq \mathbb{N}/\mathbb{R}$  (lifetime)

-  $\rho : E \times \mathcal{T} \rightarrow \{0, 1\}$  (fonction de présence)

[+ autres fonctions]



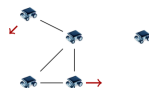
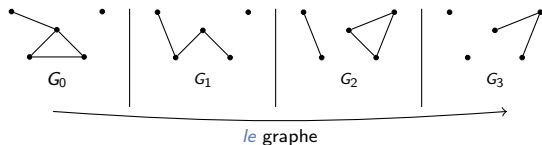
*Différentes terminologies :*

dynamic graphs, time-varying graphs, evolving graphs, temporal graphs, etc.

# Graphes dynamiques

## Représentation du réseau

Un modèle simple : une suite de graphes  $\mathcal{G} = G_0, G_1, \dots$



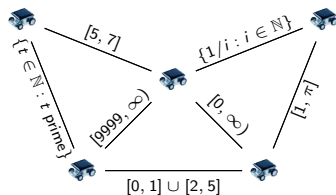
Autre modèle: graphe muni d'une fonction de présence:

$$\mathcal{G} = (V, E, \mathcal{T}, \rho)$$

-  $\mathcal{T} \subseteq \mathbb{N}/\mathbb{R}$  (lifetime)

-  $\rho : E \times \mathcal{T} \rightarrow \{0, 1\}$  (fonction de présence)

[+ autres fonctions]

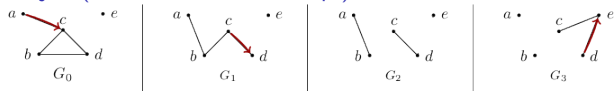


*Différentes terminologies :*

dynamic graphs, time-varying graphs, evolving graphs, temporal graphs, etc.

# Concepts temporels

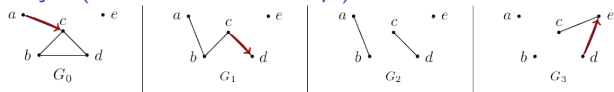
## Trajets (chemins à travers le temps)



→ Connexité temporelle

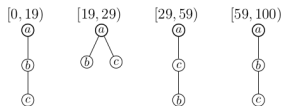
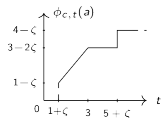
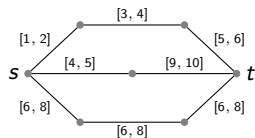
# Concepts temporels

## Trajets (chemins à travers le temps)



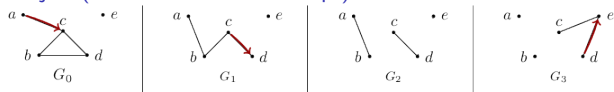
→ Connexité temporelle

## Distance temporelle et plus courts chemins



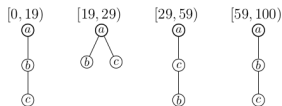
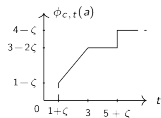
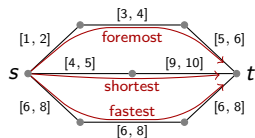
# Concepts temporels

## Trajets (chemins à travers le temps)



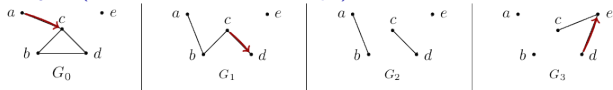
→ Connexité temporelle

## Distance temporelle et plus courts chemins



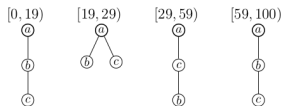
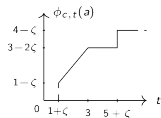
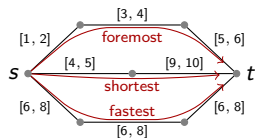
# Concepts temporels

## Trajets (chemins à travers le temps)

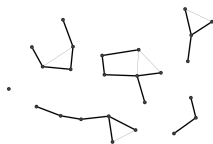


→ Connexité temporelle

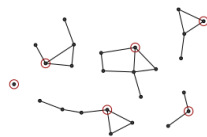
## Distance temporelle et plus courts chemins



## Re-définition de problèmes classiques (2 exemples)



Arbres couvrants



Élection

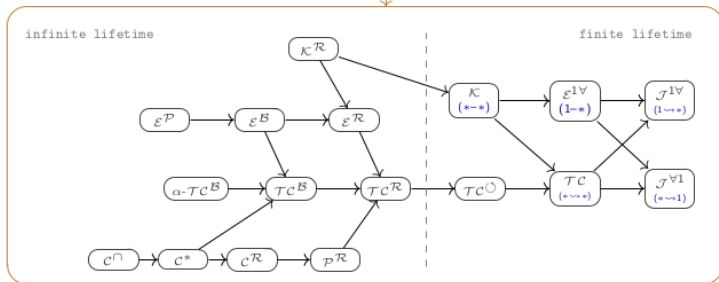
Ex: Les liens réapparaissent-ils ? Sont-ils périodiques ? Tout le monde peut-il joindre tout le monde indirectement ? Et directement ? Le réseau est-il toujours connexe ?



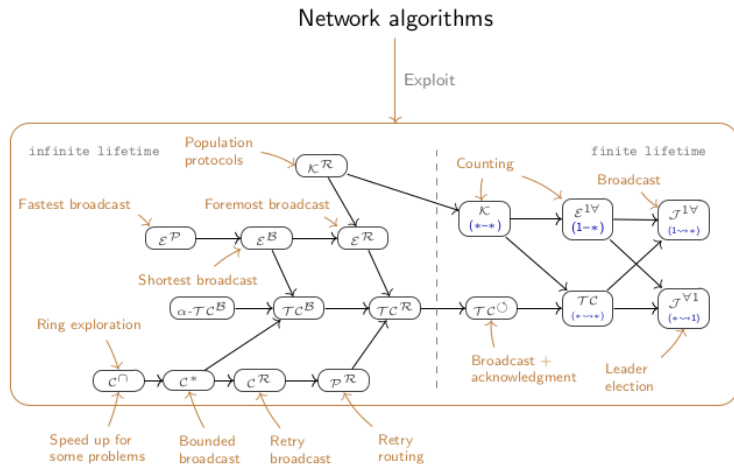
Ex: Les liens réapparaissent-ils ? Sont-ils périodiques ? Tout le monde peut-il joindre tout le monde indirectement ? Et directement ? Le réseau est-il toujours connexe ?

## Network algorithms

Exploit

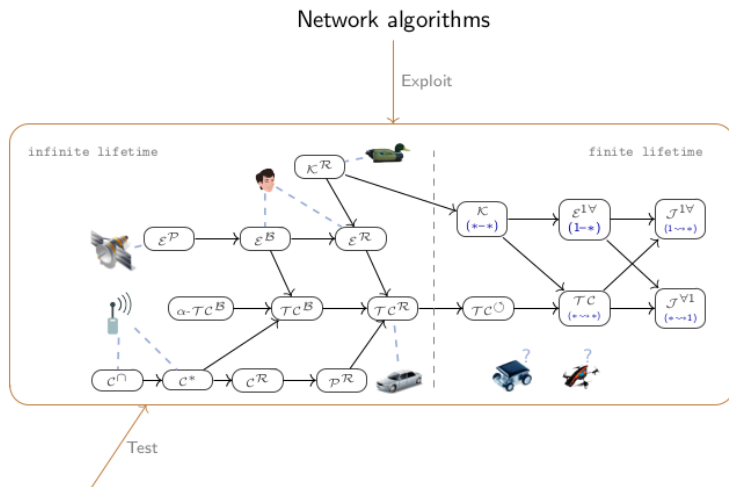


Ex: Les liens réapparaissent-ils ? Sont-ils périodiques ? Tout le monde peut-il joindre tout le monde indirectement ? Et directement ? Le réseau est-il toujours connexe ?



→ Impact sur les problèmes et les algorithmes ?

Ex: Les liens réapparaissent-ils ? Sont-ils périodiques ? Tout le monde peut-il joindre tout le monde indirectement ? Et directement ? Le réseau est-il toujours connexe ?



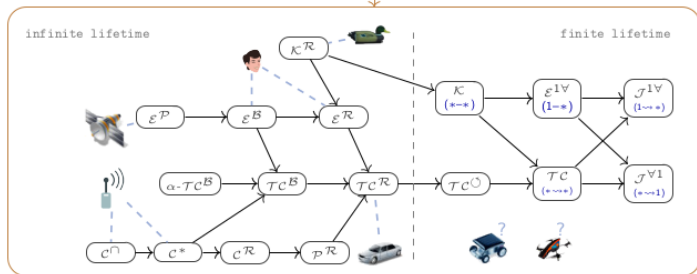
# Propriétés temporelles

# (Classes de graphes dynamiques)

Ex: Les liens réapparaissent-ils ? Sont-ils périodiques ? Tout le monde peut-il joindre tout le monde indirectement ? Et directement ? Le réseau est-il toujours connexe ?

## Network algorithms

Exploit



Test

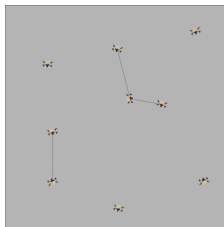
Induce

Centralized algorithms

Movement synthesis

## Mouvements collectifs qui induisent des propriétés temporelles

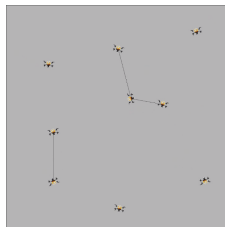
Synthétiser des mouvements collectifs (*a.k.a.* *modèles de mobilités*) qui garantissent des propriétés sur le graphe dynamique induit.



← this network  $\in \mathcal{E}^{\mathcal{R}}$

# Mouvements collectifs qui induisent des propriétés temporelles

Synthétiser des mouvements collectifs (*a.k.a.* *modèles de mobilités*) qui garantissent des propriétés sur le graphe dynamique induit.



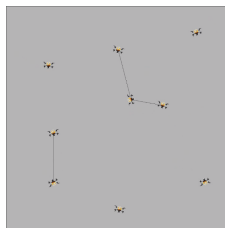
← this network  $\in \mathcal{ER}$

this one  $\notin \mathcal{AC}$  →



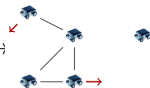
# Mouvements collectifs qui induisent des propriétés temporelles

Synthétiser des mouvements collectifs (*a.k.a.* *modèles de mobilités*) qui garantissent des propriétés sur le graphe dynamique induit.



← this network  $\in \mathcal{ER}$

this one  $\notin \mathcal{AC}$  →



Objectif double:

- ▷ Le modèle de mobilité lui-même
- ▷ Combiné à la réalisation d'une mission collective (p.ex. exploration)

Une cible intéressante:  $\mathcal{TC}^B$  (diamètre temporel borné) → détection de crash



(a) Data aggregation



(b) Vehicular networks



(c) Geographical routing



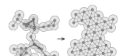
(g) Territory sharing based on Voronoi



(h) Acceleration constraints



(i) Heterogeneous park cleaning



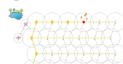
(d) Deployment by virtual forces



(e) Travelling Salesman Problem



(f) Toroidal space



(j) Fire-fighting aircraft



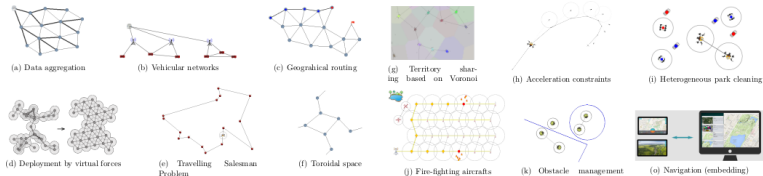
(k) Obstacle management



(o) Navigation (embedding)

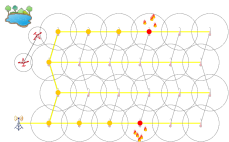
Interactive, extensible, event-driven programming (java)



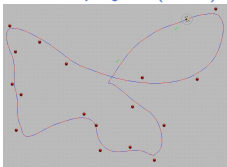


Interactive, extensible, event-driven programming (java)

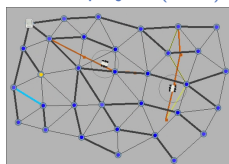
### Student project (2014)



### Student project (2016)

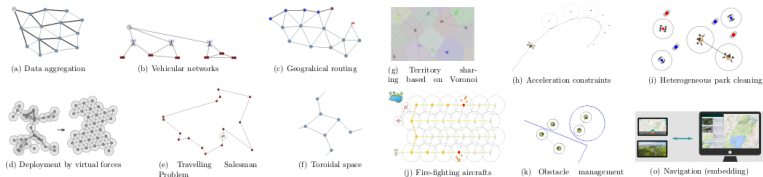


### Student project (2017)



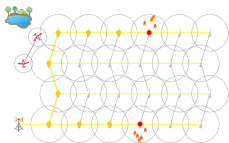
+ Réseaux véhiculaires (2018)

+ Exploration par des Fourmis (2019)

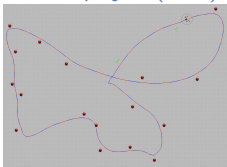


Interactive, extensible, event-driven programming (java)

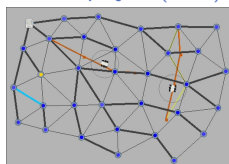
### Student project (2014)



### Student project (2016)



### Student project (2017)



+ Réseaux véhiculaires (2018)

+ Exploration par des Fourmis (2019)

Projet cette année ?