



Services et Systèmes de Mobilité Intelligente.

Optimisation et Pilotage.



Services et Systèmes de Mobilité Intelligente

Sommaire

- ❑ Une Recherche à la Conjonction de 3 tendances
- ❑ Question Centrale
- ❑ Panorama Local: le Labex IMOBS3
- ❑ Quelques Mots sur le Reste du Monde
- ❑ Quelques Problèmes Représentatifs
 - TAD Véhicules Autonomes
 - *Vehicle Sharing*: Location, Relocation, Tarification
 - Logistique Drone
 - Synchronisation Mobilité et Production Energie *In Situ*.
- ❑ Verrous Scientifiques:
 - Décision Collaborative, Réactive
 - Modèles de Synchronisation
 - Gestion des Incertitudes, Modélisation des Evénements, des Demandes
- ❑ Autres Verrous

Services et Systèmes de Mobilité Intelligente

Une problématique de R&D à la conjonction de 3 tendances:

- ❑ Socio-Economique: Aléa Pétrolier, Pression du Numérique, Economie du Temps Libre...
- ❑ Environnementale (préoccupation CO2, congestion grandes agglomérations...)
- ❑ Technologiques:
 - Véhicules Autonomes, Semi-Autonomes
 - Energies Renouvelables (Solaire, H2 sans Hydrolyse, Pile Combustible...)
 - Communications Mobiles, 5G, Big Data, I.A, Web Services
- ❑ + (**Spécificité Locale**)
 - Manufacture de Pneumatiques
 - Labex IMOBS3

Services et Systèmes de Mobilité Intelligente

Question Centrale?

Ex: LABEX IMOBS3 => Inspiré en 1° lieu par la recherche d'objets technologiques innovants

- *Robotique/Mécanique*
- *Energies/Matériaux*

=> Services et Systèmes: Comment transformer ces objets technologiques innovants:

Véhicules « Intelligents », Robots, Energies Hybrides, Capteurs

En services économiques et sociaux stables:

- *Mobilité du Futur*
- *Usine du Futur* (Factory 4.0, CyberPhysical Systems, ...)
- *Hôpital du Futur* (Télémédecine, Soins à domicile, ..)
- *Agriculture de Précision ?*

?

Services et Systèmes de Mobilité Intelligente

Panorama local: le Défi 2 du Labex IMOBS3

❑ **Principaux Acteurs:** LIMOS, IP, IRSTEA TSCF

❑ **Trois grandes lignes thématiques ou macro-actions:**

- **SERV-MOB:** *Activités de services de mobilité aux biens et à la personne*
- **INDUST-MOB:** *Activités de services de mobilité à usage industriel ou propres à un système professionnel dédié (système de soins, hôpital, aéroport...).*
- **DATA-MOB :** *Intelligence des données mobiles*

❑ **Politique Générale:**

- **Proximité des Formations** (ISIMA, Polytech, Sigma...)
- **Projection à l'International:** Bourses Annuelles Masters, Accords Doubles Diplômes, LIA CNRS France/Chine, Partenariats Russie, Allemagne, Quebec, Brésil...
- **Partenariats Industriels:** SNCF, RENAULT, Services Hospitaliers, EDF.

Services et Systèmes de Mobilité Intelligente

Et quelques mots sur le reste du Monde....!

□ En France:

- RENAULT, PSA -> Nouvelles utilisations des véhicules: *Vehicle Sharing*, Hybridation des flottes logistiques, Cyber-Physical Systems (CPS)..
- SNCF, KEOLIS -> Transport à la Demande en boucle locale, modélisation des demandes sur le *Transilien* et adaptation des parcours, Mix Fret/Passagers.
- Air France -> Revenue Management, Tarification, Segmentation de Marchés, Modélisation de la Demande, Modèles de Jeux
- La Poste -> Utilisation de Drones en Logistique Urbaine
- EDF -> Vers des réseaux hybrides de plus en plus décentralisés
- +
- *System X* -> Vehicle Sharing, TAD, Chaire J.PUCHINGER
- IFFSTTAR -> Fluidification des nœuds ferroviaires, Modélisation de la Demande Ferroviaire, Modélisation du Marché Mixte Ferroviaire/Bus
- UTBM, AIR LIQUIDE: Modélisation de la Chaîne Logistique de l'Hydrogène et de l'Ethanol
- Centrale Lille (CysTal), Irccyn Nantes, LAAS Toulouse: Gestion Combinée Energie Electrique/Activité de Transport.

Services et Systèmes de Mobilité Intelligente

Et quelques mots sur le reste du Monde....!

□ A l'International:

- AMAZON-> AGV sans fil au sein des entrepôts, Politiques pseudo-aléatoires de recherche et stockage, Utilisation des drones en logistiques.
- Berlin (TU + Ville Berlin) -> Transport à la Demande, Taxis Mutualisés, Gestion de plate-forme multimodales, co-voiturage intelligent.
- CIRRELT Montréal, Société GIRO -> Pilotage des opérations dans le trafic aérien ferroviaire, pilotage de systèmes de navettes flexibles.
- Espagne/Italie (UPC + Barcelone) -> Monitoring du trafic urbain en temps réel en fonction des production de CO2.
- Australie (RMIT) -> Pilotage d'opérations synchronisées d'évacuation et d'intervention face aux catastrophe naturelles.
- Chine (Jao Tong Shanghai) -> Médecine à domicile, logistique du médicament.

Services et Systèmes de Mobilité Intelligente

Quelques Systèmes/Problèmes Représentatifs

- ***Transport à la Demande (VIPA-CYCAB)***
- ***Vehicle Sharing***
- ***Utilisation de Drones en Logistique Urbaine***
- ***Synchronisation Production d'Énergie H₂/Activités Transitaire Industrielle***
- ***Planification d'activités sur chantiers mobiles***

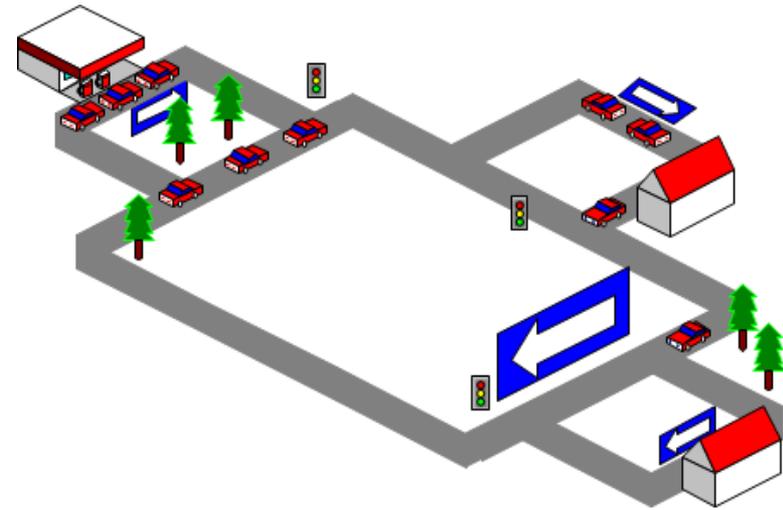
Services et Systèmes de Mobilité Intelligente

TAD (Transport à la Demande via Véhicules Autonomes)

Contexte: Un réseau simple (Grille, Anneau), qui représente un espace industriel (entrepôt, atelier), au sein duquel des véhicules (autonomes) Effectuent des tâches à la demande:

- **Tâche élémentaire:** acheminer un (des) objet(s) depuis une origine o vers une destination d .

Contraintes: Capacité du Véhicule, cinématique, fenêtre de temps en o et d , synchronisation avec autres processus



Services et Systèmes de Mobilité Intelligente

TAD (Transport à la Demande via Véhicules Autonomes) => Décision Bi-niveaux

- **Niveau Top (centralisé):** Calculer les chemins pour les véhicules, et le planning prévisionnel (dates de passage aux nœuds)
- **Niveau Bottom (décentralisé):** adapter la trajectoire aux incidents, gérer localement les trajectoires, gérer les croisements, intersections...

Critères de Qualité:

- L'efficacité économique (temps, énergie dépensée...)
- La sûreté (capacité à éviter les situation à risques)

Méthodologie: Concevoir une première version d'algorithmes en mode statique et déterministe, puis passer au mode dynamique (les requêtes arrivent aux fil de l'eau) et non déterministe (dose d'aléatoire)

Les points durs:

- Articulation Statique/Dynamique: algo combinatoire versus algo à base de règles de décision => utilisation de processus d'apprentissage
- Identification de la part de décision qui est centralisée versus celle laissée au véhicules: Interaction?
- Evaluation des performances: Simulation événements discrets.
- Modélisation des flux de requêtes et des incidents

Services et Systèmes de Mobilité Intelligente

Vehicle Sharing: Localisation, Relocalisation, Tarification

Estimation de la demande de déplacement

Simulation multimodale

Optimisation autopartage



OD^t : origin/destination matrix

D_{ij}^t : number of passengers wanted to use the carsharing system from i to j , starting from i at time t

δ_{ij}^t : travel time between nodes i and j , starting from i at time t

Services et Systèmes de Mobilité Intelligente

Vehicle Sharing

=> Deux Niveaux Décisionnels

SDP : Station Dimensioning Problem

Pour un positionnement de stations donné, quel est la **configuration optimale** du système ?

- taille des stations,
- nombre de véhicules
- stratégies de relocalisation



SLP : Station Location Problem

Quel est le positionnement des stations qui assure la meilleure efficacité du système ?

- localisation des stations

BAL : Operationnal Rebalancing

Pour un état courant des stations, instant t , stratégie de relocalisation des véhicules

Quelle Stratégie de Relocalisation: quel mode de fonctionnement (en continu, périodique, avec ou sans transferts, quels critères



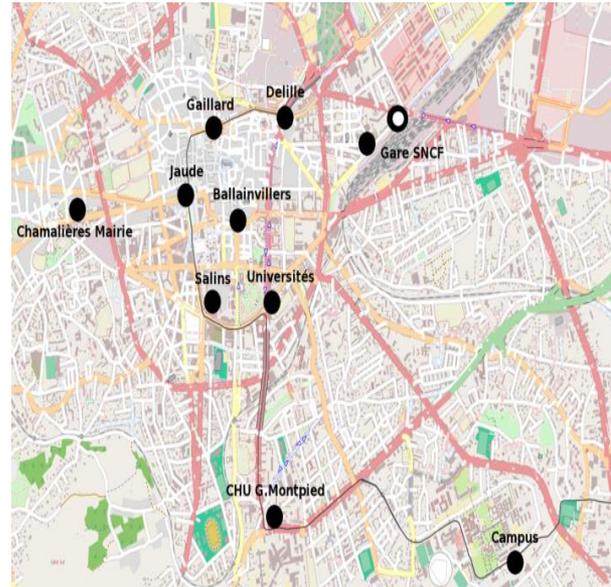
PDPBAL: Balancing Pick up and Delivery

Calcul de Tournées de Véhicules, Points d'Echanges, Horaires

Services et Systèmes de Mobilité Intelligente

Vehicle Sharing: Relocalisation through self-platoon convoys

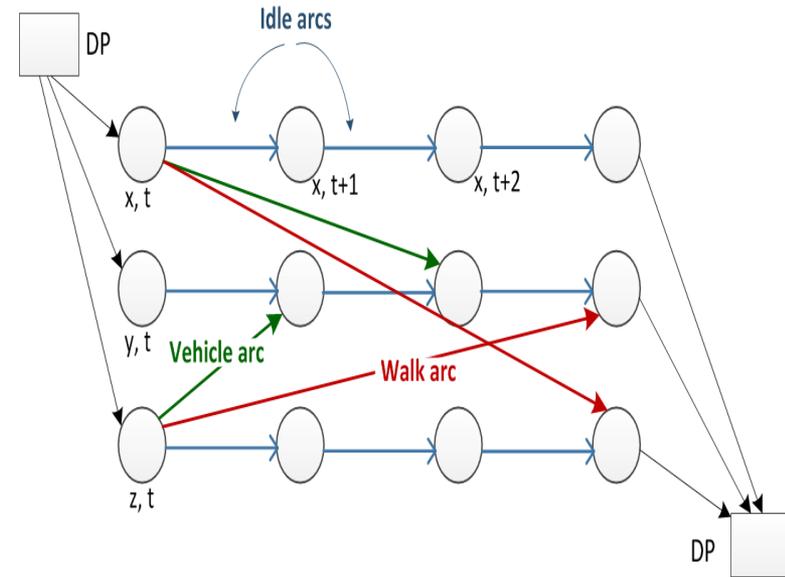
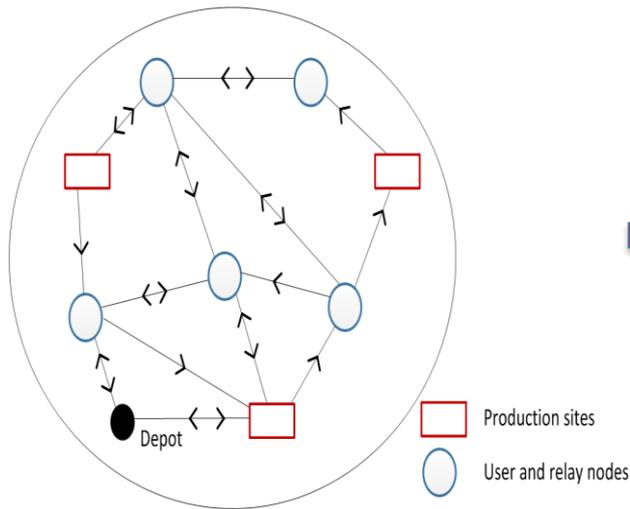
- A fleet of semi-automated vehicles is distributed among *ad hoc* stations inside a urban area;
- In every station, vehicles may get access to a limited number of parking places;
- Customers may take or give back at any time, and from any station;
- An operator monitors the system and eventually command relocation processes, which may be performed while involving **self platoon convoys** (one leader pulls a group of wireless chained vehicles)



Services et Systèmes de Mobilité Intelligente

Modèles *Vehicle Sharing/TAD*

- **Modélisation des Mécanismes de Synchronisation Via Réseaux Dynamiques:**



Services et Systèmes de Mobilité Intelligente

Logistique aidée par des DRONES: (Amazon, DHL, La Poste, ...)

=> Planification d'activités de logistique urbaine, militaire ou industrielle (livraison, récupération d'objets) réalisées par une flotte de véhicules assistés par des drones, embarqués sur les véhicules.

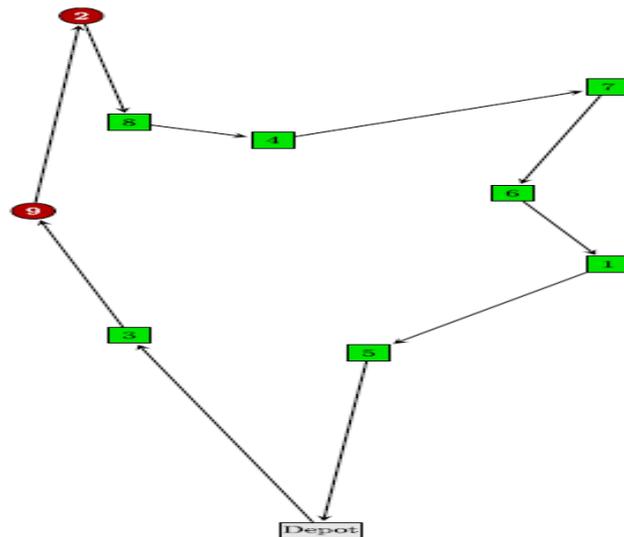


Services et Systèmes de Mobilité Intelligente

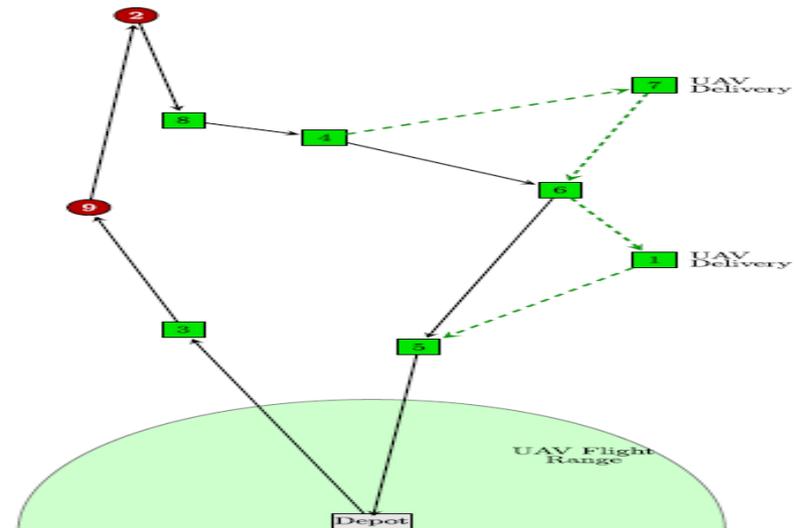
Logistique aidée par des DRONES

Objet de la décision: les routes et timing des véhicules et des drones +
Politique de Contrôle en cas d'incident

Principales contraintes: les drones ne peuvent être laissés à eux-mêmes ->
Impératif de rendez-vous tenu, au départ et à l'arrivée => fortes
contraintes de synchronisation, en présence d'incertitudes



(a) An optimal truck delivery sequence, without the aid of a UAV.



(b) The UAV is launched from a delivery truck, delivering parcels to two eligible customers.

Services et Systèmes de Mobilité Intelligente

Synchronisation et Production Energie H2 in situ et Activités Mobiles

Contexte: Un site industriel urbain ou agricole, doté de sa propre capacité de production d'énergie renouvelable (H2 solaire)

⇒ **On veut utiliser part de cette énergie afin de réaliser des tâches de production ou des tâches de logistique/transport.**

Décision induite: Planification synchrone de la production d'énergie in situ, et de sa consommation par véhicules hybrides électrique/H2 ou munis de pile à combustible

Contraintes:

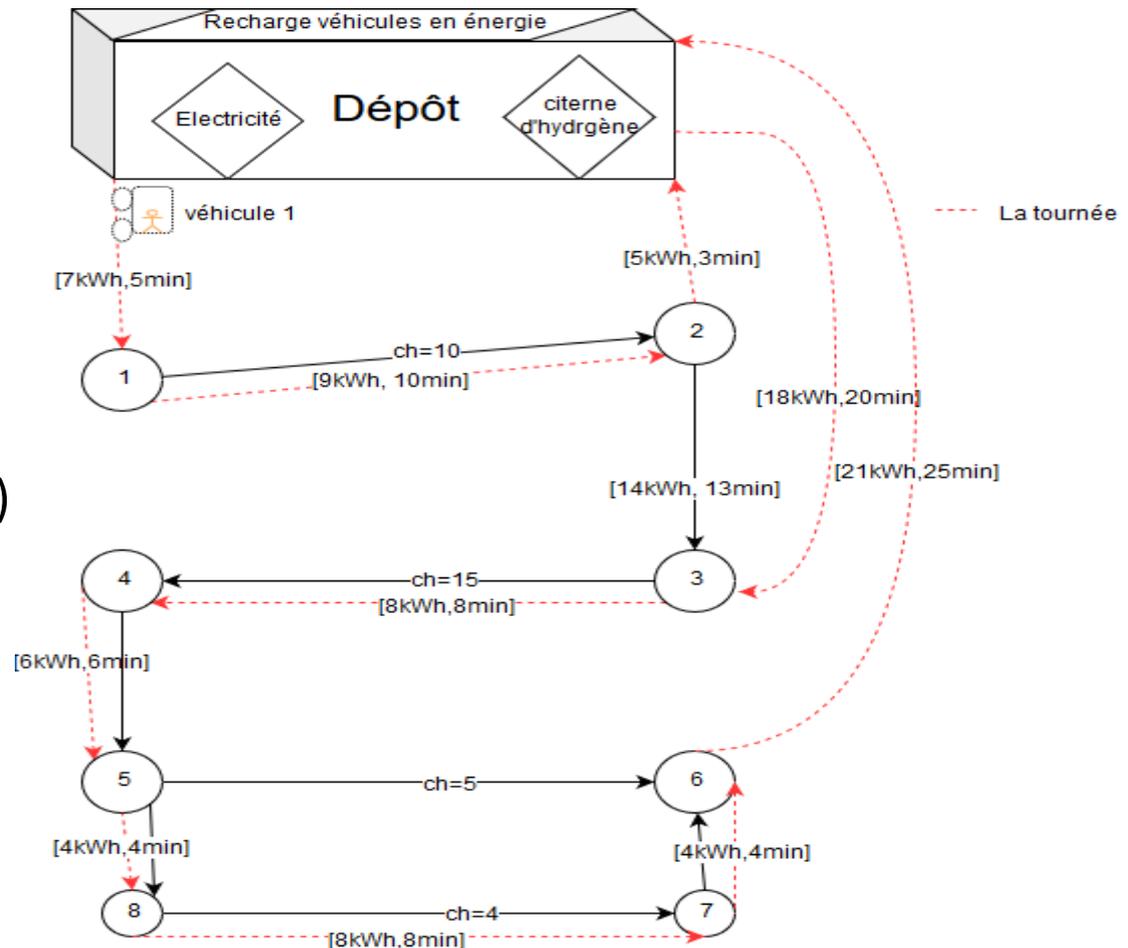
- la production H2 via solaire conditionnée à l'intensité du rayonnement solaire
- les autres sources d'énergie induisent des temps de recharge, des coûts variables et des limitations de capacités.

Services et Systèmes de Mobilité Intelligente

Synchronisation et Production Energie H2 in situ et Activités Mobiles

Méthodologie =>

- Décomposer le système en 2 systèmes *Véhicules* et *Energie* communicants
- Les faire négocier, avec adaptation (renégociation) au fil de l'eau
- Introduire des schémas d'apprentissage *d'Agreement Patterns*



Services et Systèmes de Mobilité Intelligente

Planification d'Activités sur Chantiers Mobiles

Exemple : Chantiers Navals et Gestion de l'Espace

Purchase and inventory → Component machining → Palletized components



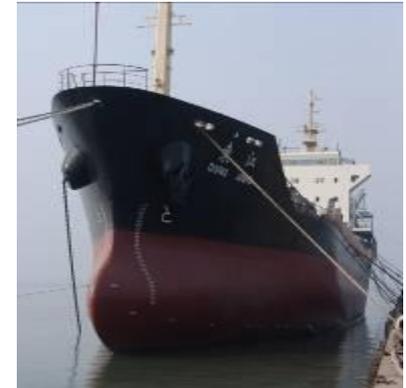
→ Block Assembling



→ Ship body assembling



→ Testing at docks



Services et Systèmes de Mobilité Intelligente

Planification d'Activités sur Chantiers Mobiles

RCPSP: Planifier actions sous contraintes de ressources et contraintes temporelles.

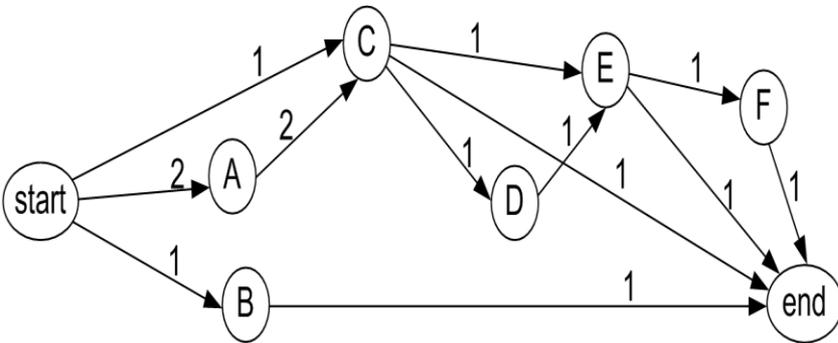
Ex: $X = \{A, B, C, D, E, F\}$, durées (3, 7, 2, 5, 4, 1);

\ll : $A \ll F$; $B \ll F$

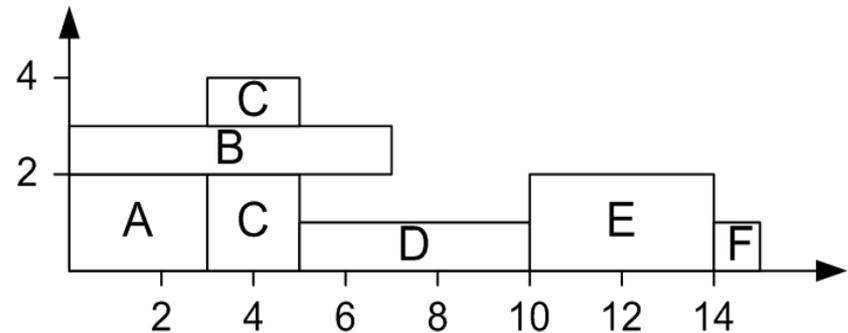
$K = (\text{machines, electrical power})$; $R = (5, 8)$

	A	B	C	D	E	F
Mach.	2	1	3	1	2	1
Elect.	3	2	1	6	4	5

=> **Reformulation Flots**



Time/Resource diagram (Gantt)

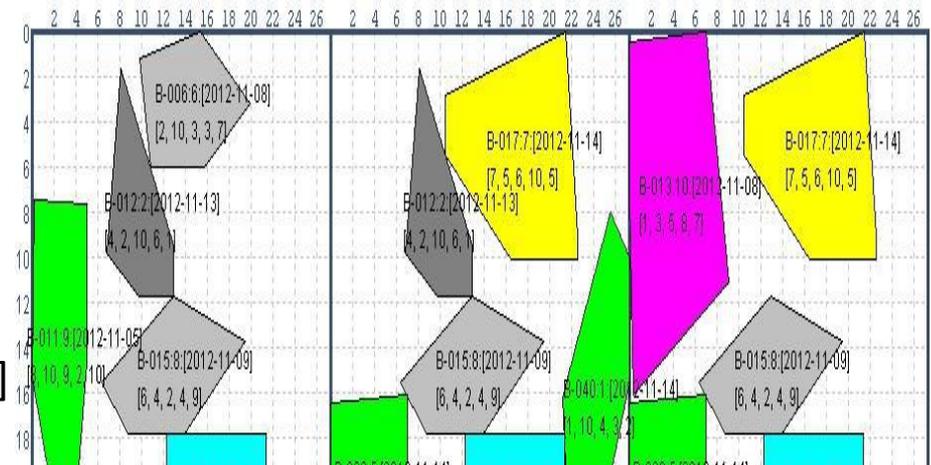


Méthodologie:
Gérer les surfaces
comme des ressources
à valeurs dans des
espaces géométriques

Act B-011
Duration: 9



Occupation
Rates
[69%, 71%, 56%]



Services et Systèmes de Mobilité Intelligente

Verrous Scientifiques : Quelques dénominateurs communs

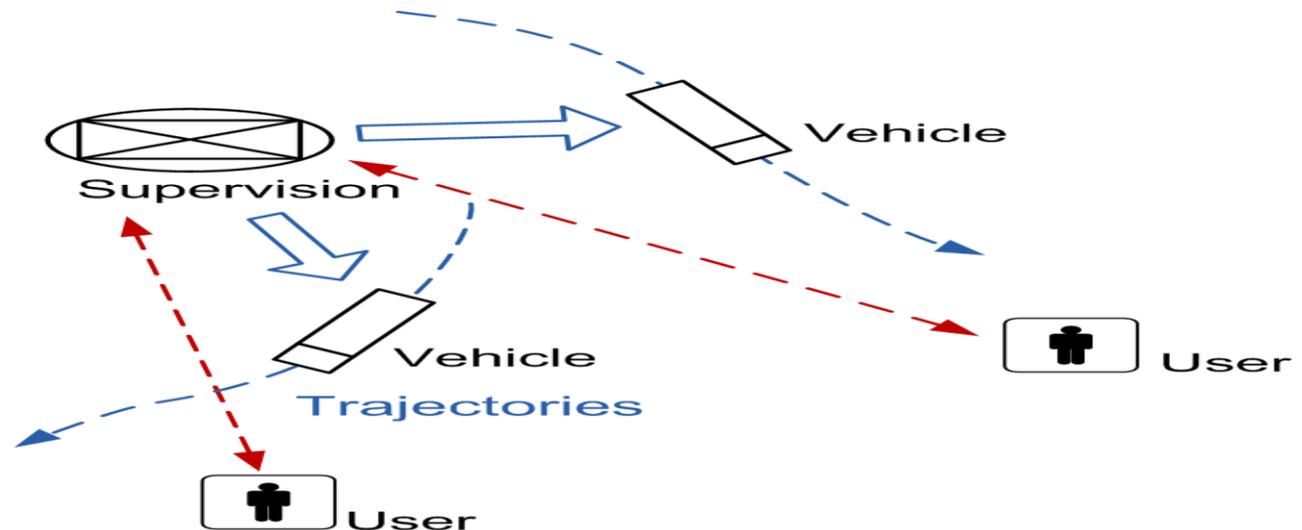
- Exigence de forte réactivité, dans un contexte où les modes de supervision et prise de décision mettent en jeu des architectures de communication complexes: Notion de **Décision Embarquée**.
- Poids des mécanismes de synchronisation et de négociation: Notion de **Décision Collaborative**
- **Poids des incertitudes** => Difficulté d'évaluation de la qualité des décisions.
- **Décisions Hybrides**, mettant en jeu des objets hétérogènes: dates, niveau de ressources, lieux, routes => Modèles mathématiques complexes, difficiles à gérer par des bibliothèques PM => Montée en force procédés alternatifs:
 - Programmation par contraintes (CP Optimizer IBM, CHOCO)
 - Boîtes noires décisionnelles, issues de processus d'apprentissage (réseaux neuronaux).

Services et Systèmes de Mobilité Intelligente

Verrous Scientifiques => A Key Issue: The *Embedded Paradigm*

Main Idea: *Dynamic Decision implemented through a complex communication infrastructure, which involves ad hoc protocols of supervision and communication, should take into account these communication processes.*

Example: *Dynamic Distributed TAD*



Driver x is located at some production site, and processes mobility requests according to *on line* customer demands. He asks *Supervisor* for assigning him users. Production decision may be **centralized** (made by the *Supervisor* who manages the vehicles) or **decentralized** (the *Driver* takes the scheduling decision)

Services et Systèmes de Mobilité Intelligente

Verrous Scientifique => A Key Issue: the *Embedded Paradigm*

Related Process:

t_{n-1} □ -----□ t_n ..**Trigger** ..□ $t_n + \alpha$ □.. **Route** □ $t_n + \alpha + \beta$ □ -----□ t_{n+1}

Between instant t_{n-1} and instant $t = t_n$: Customers discuss with local *Operators* who in turn ask the *Supervisor* for resource and scheduling *green light*

Instant $[t_n, t_n + \alpha]$: Activation process **Trigger** decides to launch the replanification process;

Instant $[t_n + \alpha, t_n + \alpha + \beta]$: Routing processes **Route** computes vehicles routes for the vehicles; (If **decentralized** decision, then it may occur that scheduling is not possible)

=> **Negotiation** between *Supervisor* and local *Operator*) => *Supervisor* sends orders to the vehicles;

Instant $[t_n + \alpha + \beta, t_{n+1}]$: vehicles and operators run their way, new demands are registered, as well as **failed meetings** or **unexpected events**.

Services et Systèmes de Mobilité Intelligente

Verrous Scientifique => A Key Issue: the Collaborative Paradigm

Main Idea: In many cases, even if you are the “boss”, **negotiation is at the heart of the decision process.**

Collaborative Routing/Logistics? Vehicles are identified with **partially independent** agents (players), everyone with its own agenda and criteria.

The Doodle example

A master 0 , and its partners $1..N$ =>

- **Main task:** the meeting; **Auxiliary tasks:** moves of the partners to the meeting place.
- **Resources:** the Partners m_1, \dots, m_N . Master = m_0 ; **Time Space** T .

=>

Participation Vector: $P = (P_0, \dots, P_N)$ with 0/1 values.

Meeting Route: $\langle t, P \rangle$, $t \in T$, P **feasible** participation vector ->

Performance Indicators: $i = 0..N$ $Value_i(t, P)$

⇒ **Decisional modules or devices:**

Master module \mathcal{M} : first proposes a panel of possible dates and next considers the constraints provided by the partners and schedules the meeting;

Partners modules \mathcal{P}_i , $i = 1..N$: compute constraints related to i and transmits them to \mathcal{M} , and next decide i 's participation.

Services et Systèmes de Mobilité Intelligente

Verrous Scientifique => A Key Issue: the *Collaborative* Paradigm

Process Main Loop:

1 th Step: Master \mathcal{M} proposes a subset T_0 of T ;

2 th Step: the Partners \mathcal{P}_i answer *almost simultaneously*, and either mark a subset T_0^i of T_0 or give up;

3 th Step: **If** there exists a *feasible participation* vector at some date t in the intersection of the T_0^i , $i = 1..n$, then \mathcal{M} computes final t **Else** go back to Step 1.

4 th step: Every \mathcal{P}_i , $i = 1..n$ decides to move or to ignore the meeting.

5 th step: Meeting takes place.

Doodle Routing -> Kind of Mixed Strategy Game:

- **Not everybody want the same thing, but not full opposition.** Ex: partner j may want the meeting without partner k . Every player i has its own *criterion* $Value_i(t, P)$.
- **Incomplete Information:** criteria $Value_i(t, P)$ is hidden for other players, as well as temporal constraints of the players
- **Semi-sequential process:** players $i = 1..N$ decide during the same round, but some may try to wait until the deadline

The Key Issues:

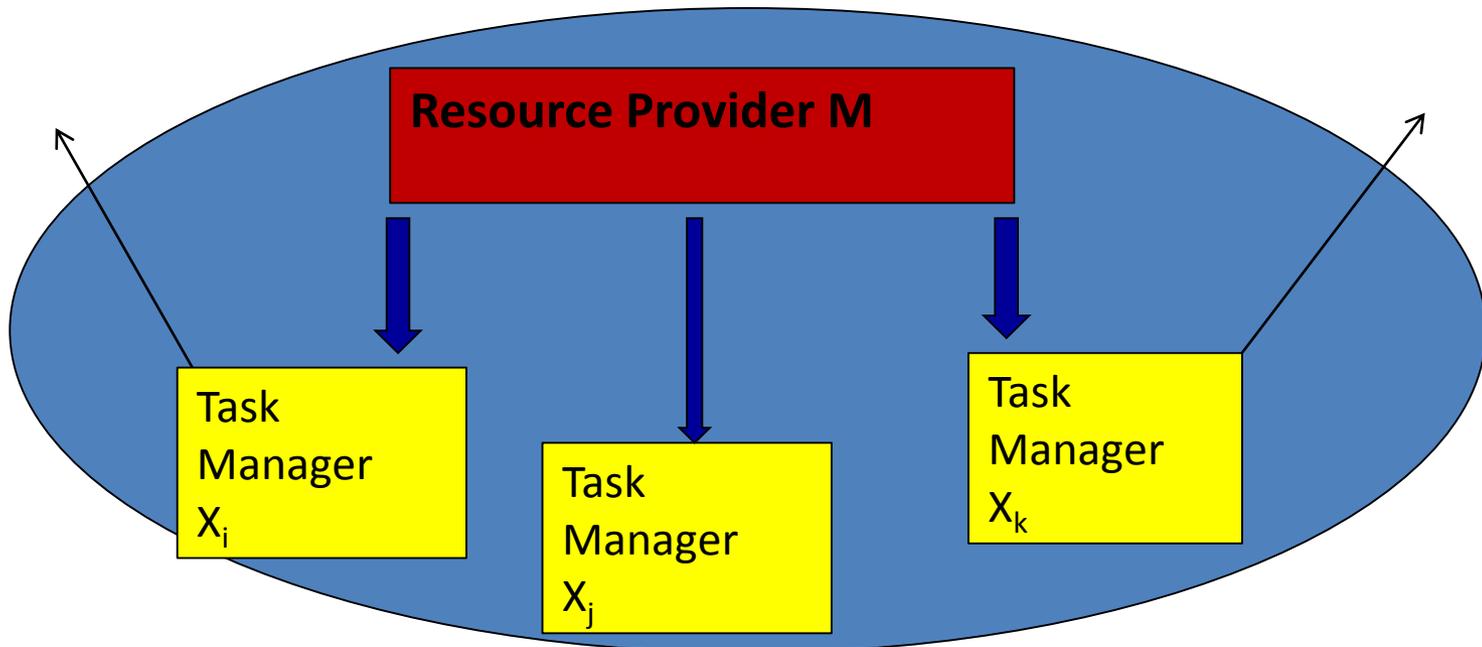
- What **can** models and software bring? What do we **want**? **Forecast** what will be the real life process? **Help some** (one?) of the players in deciding? Help the **whole consortium** of players in reaching compromise?
- In any case, **learning about behaviours and constraints of the players** is at the core.

Services et Systèmes de Mobilité Intelligente

Verrous Scientifique => A Key Issue: the *Collaborative* Paradigm

Back to *General Collaborative Logistics*.

- 1 th approach:** Logistics managers are subcontractors, and one considers only one resource (vehicles + drivers) provider, considered as global contractor (project supervisor)
- **Logistics managers** (eventually subcontractors) compete for the resources.
 - **Global Resource Provider**(project supervisor) has to ensure the task to be done and **distributes vehicles** accordingly



Services et Systèmes de Mobilité Intelligente

Autres Verrous

Constat à l'Instant t: Relatif consensus sur les impératifs d'une évolution de la Mobilité des biens et des personnes mais:

- ✓ Les formes de Mobilité Alternative, quoique très médiatisées, demeurent marginales, et le fait de modes d'utilisation plutôt ludique et sans enjeux (Vélib, Autolib, Covoiturage, Vélo, Patinette...)
- ✓ La R&D sur les nouveaux systèmes, vus comme systèmes opérationnels est moins importante que ce qui tend à être affiché -> Ex: En Région AURA, les partenariats réels sur ces sujets sont rares
- ✓ Les initiatives visant à évolution tendent à s'avérer déstabilisatrices au plan socio-économique (UBER, Taxes Carbone,...)
- ✓ Perception des enjeux et potentialités scientifiques et économiques souvent déformée par les jeux de lobby et les effets médiatiques.

En fait beaucoup d'incertitudes =>

Services et Systèmes de Mobilité Intelligente

Autres Verrous

- ❑ Sur la réalité technologique: Obstacles à franchir encore importants, et souvent minimisés
 - Réalité de l'autonomie des véhicules
 - Energies Propres (H2 sans hydrolyse, Electricité sans Nucléaire, Réalisabilité de réseaux décentralisés...)
 - *I.A, Deep Learning*: Gap de l'Indécidabilité?
 - ❑ Sur la viabilité juridique des systèmes (dans les années 70, une prévision était à l'individualisation de la mobilité aérienne...!)
 - ❑ Sur leur impact et leur viabilité socio-économique (Problématique de l'Ubérisation, Rôle de catalyse des mesure fiscales..)
 - ❑ Sur le positionnement à venir des sociétés par rapport aux problématiques environnementales et sur la réalité du devenir des énergies fossiles (en 1970, le Club de Rome annonçait un an 2000 sans pétrole...!)
- Une question Annexe:** Les modalités actuelles (H2020, ANR, FUI...) des programmes de Recherche sont-elles adaptées à ces besoins d'évolution ou au contraire tendent-elles à les déformer?