

Prix Master RO/AD

electric Vehicle Assignment Problem with Parking Constraints

Mathis Azéma

Ecole Polytechnique

6 mars 2023

Tuteurs: Guy Desaulniers, Jorge Mendoza, Gilles Pesant



POLYTECHNIQUE
MONTREAL

WORLD-CLASS
ENGINEERING



- 1 Description du problème
- 2 Modèle PLNE
- 3 Modèle PPC
- 4 Extensions

- 1 Description du problème
- 2 Modèle PLNE
- 3 Modèle PPC
- 4 Extensions

Sujet du stage

- Le secteur du transport est responsable de 20% des émissions de CO₂ → développement des bus électriques.

Sujet du stage

- Le secteur du transport est responsable de 20% des émissions de CO₂ → développement des bus électriques.

	Bus diesel 	Bus électrique 
Recharge	Quelques minutes	Plusieurs heures
Autonomie	Longue	Courte

⇒ Prise en compte des évènements de recharge dans les plannings.

Sujet du stage

- Le secteur du transport est responsable de 20% des émissions de CO₂ → développement des bus électriques.

	Bus diesel 	Bus électrique 
Recharge	Quelques minutes	Plusieurs heures
Autonomie	Longue	Courte

⇒ Prise en compte des évènements de recharge dans les plannings.

Originalité du sujet

- Les bus sont stationnés dans des dépôts fermés entre deux trajets dans les pays nordiques.

Sujet du stage

- Le secteur du transport est responsable de 20% des émissions de CO₂ → développement des bus électriques.

	Bus diesel 	Bus électrique 
Recharge	Quelques minutes	Plusieurs heures
Autonomie	Longue	Courte

⇒ Prise en compte des évènements de recharge dans les plannings.

Originalité du sujet

→ Les bus sont stationnés dans des dépôts fermés entre deux trajets dans les pays nordiques.

⇒ **Ajout de contraintes de stationnement.**

Présentation du problème

Trajet

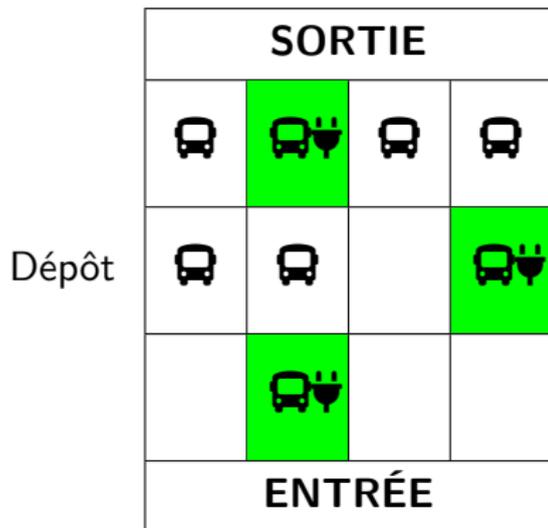
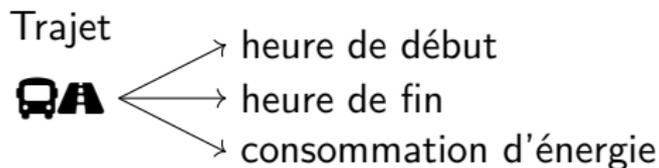


→ heure de début

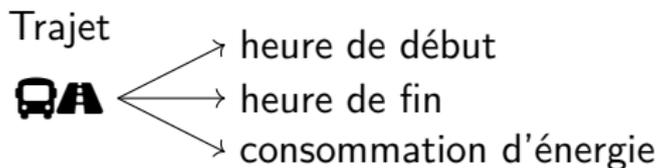
→ heure de fin

→ consommation d'énergie

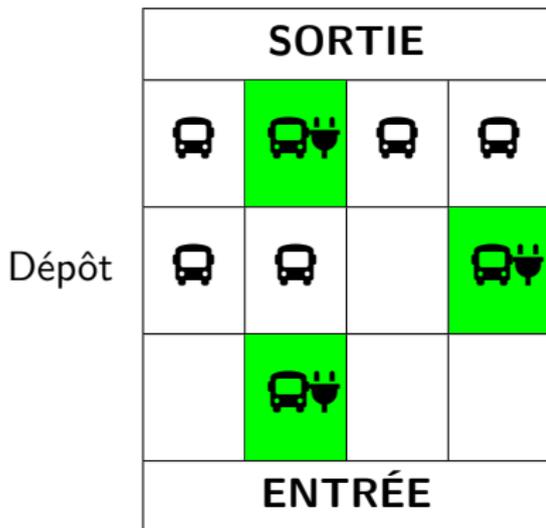
Présentation du problème



Présentation du problème



Contraintes



Présentation du problème

Trajet



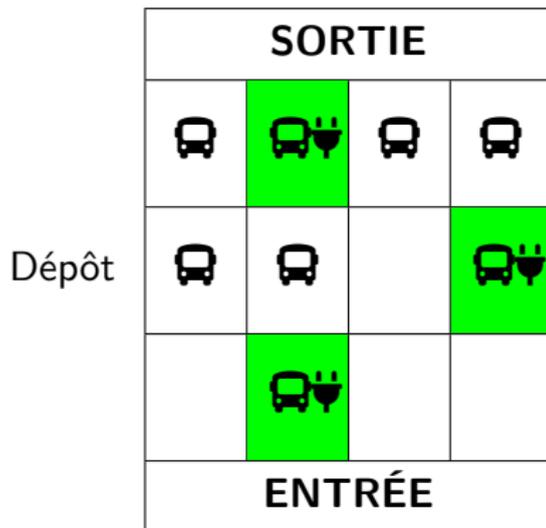
→ heure de début

→ heure de fin

→ consommation d'énergie

Contraintes

→ Tournées de véhicules



Présentation du problème

Trajet



→ heure de début

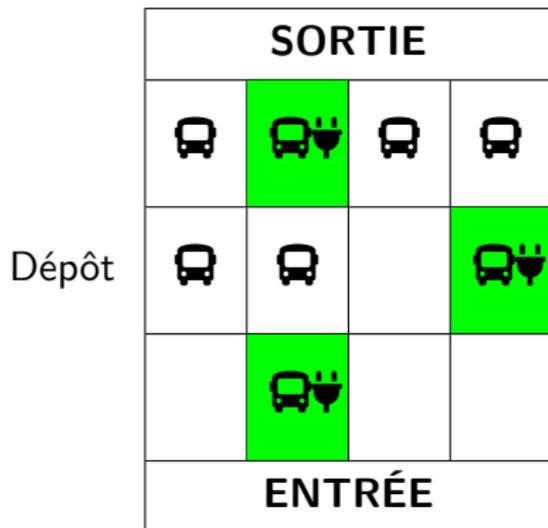
→ heure de fin

→ consommation d'énergie

Contraintes

→ Tournées de véhicules

→ Quelle voie de stationnement après un trajet ?



Présentation du problème

Trajet



→ heure de début

→ heure de fin

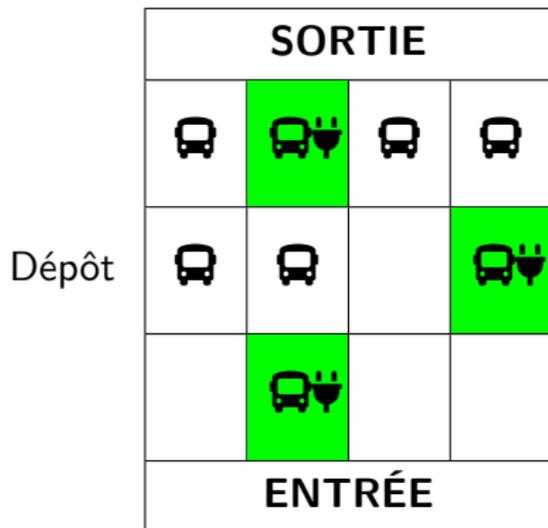
→ consommation d'énergie

Contraintes

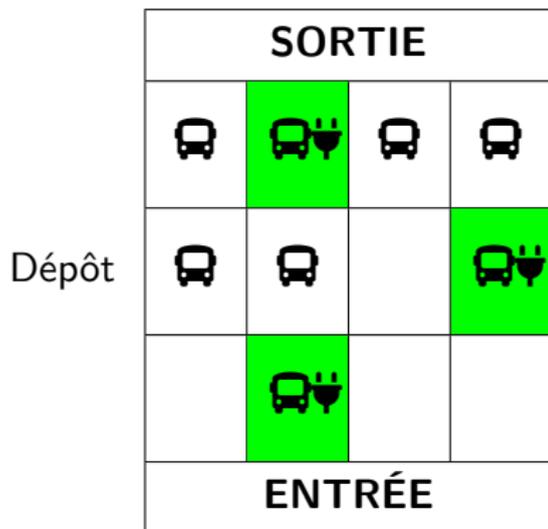
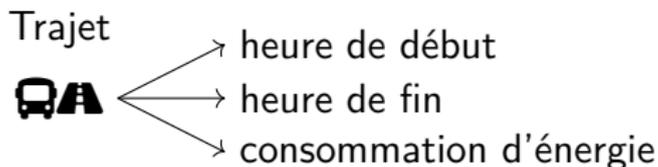
→ Tournées de véhicules

→ Quelle voie de stationnement après un trajet ?

→ Règle FIFO dans les voies



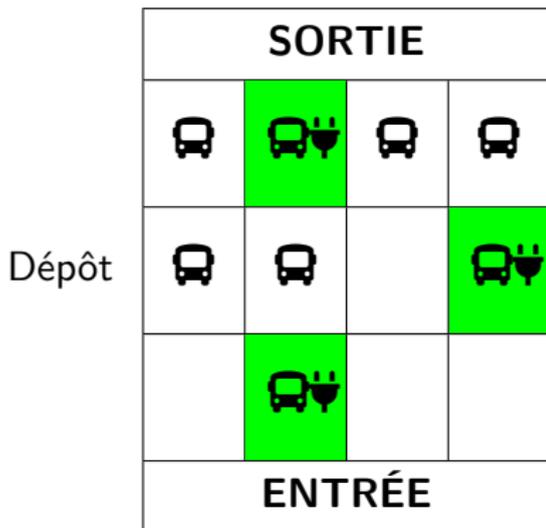
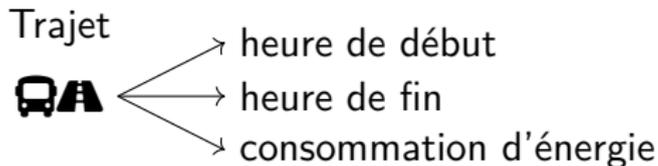
Présentation du problème



Contraintes

- Tournées de véhicules
- Quelle voie de stationnement après un trajet ?
- Règle FIFO dans les voies
- Gestion de l'énergie des bus.

Présentation du problème

**Contraintes**

- Tournées de véhicules
- Quelle voie de stationnement après un trajet ?
- Règle FIFO dans les voies
- Gestion de l'énergie des bus.
- Puissance du dépôt limitée (= Nombre de chargeurs)

1 Description du problème

2 Modèle PLNE

Modélisation générale
Stratégies d'accélération
Résultats

3 Modèle PPC

4 Extensions

① Description du problème

② Modèle PLNE

Modélisation générale

Stratégies d'accélération

Résultats

③ Modèle PPC

④ Extensions

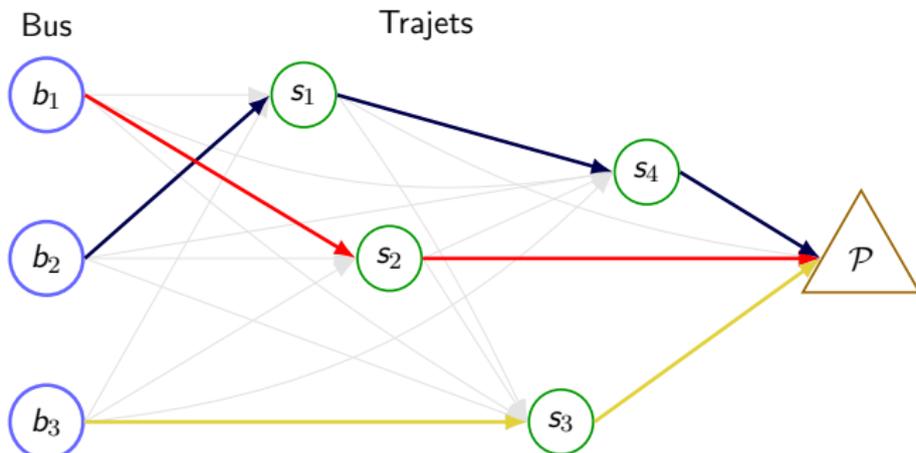
Modélisation en trois sous-problèmes

Sous-problème d'affectation

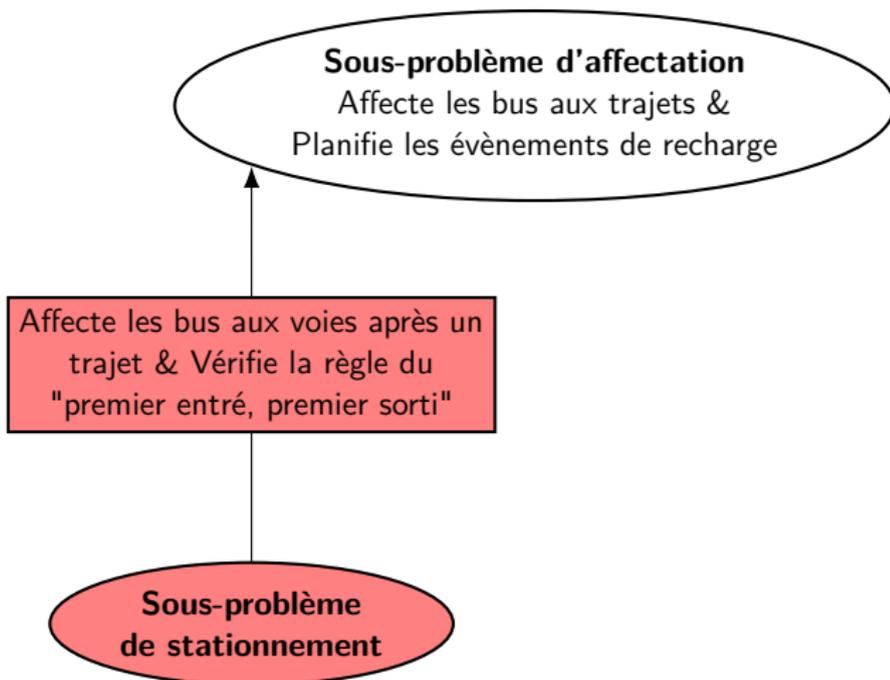
Affecte les bus aux trajets &
Planifie les évènements de recharge

Modélisation en trois sous-problèmes

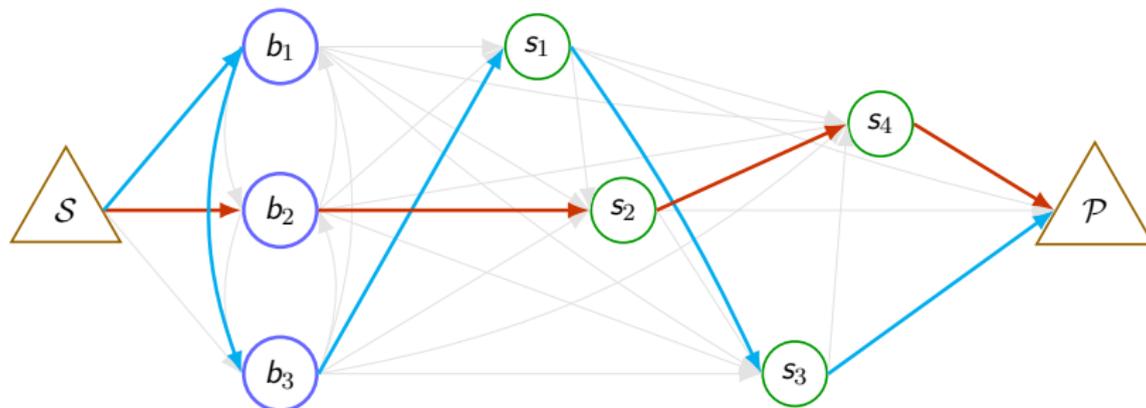
Sous-problème d'affectation
Affecte les bus aux trajets &
Planifie les évènements de recharge



Modélisation en trois sous-problèmes



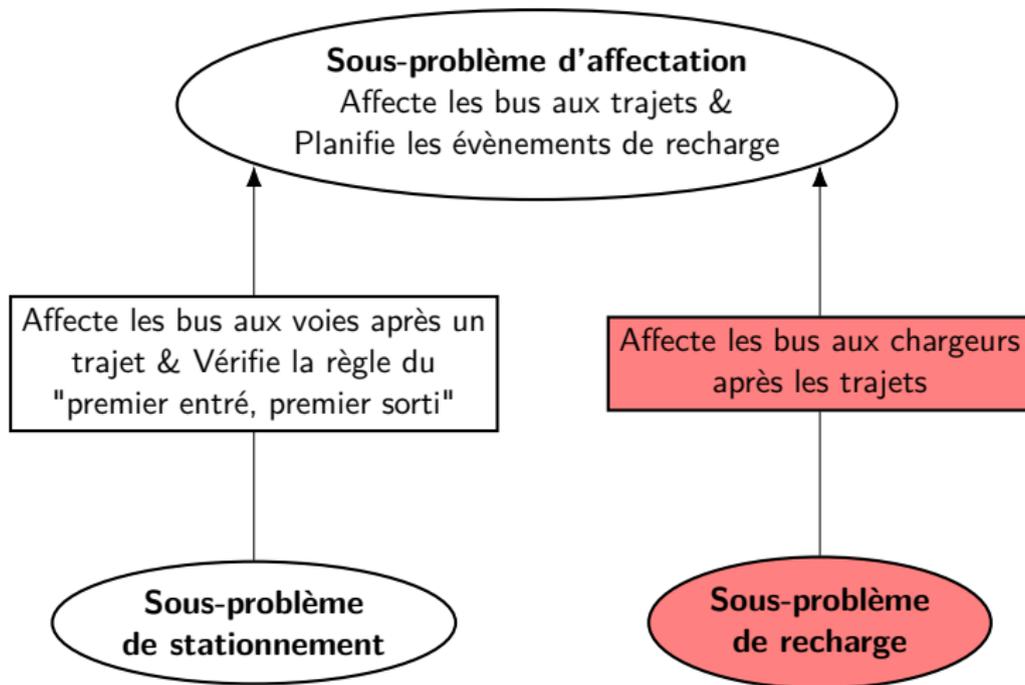
Modélisation en trois sous-problèmes



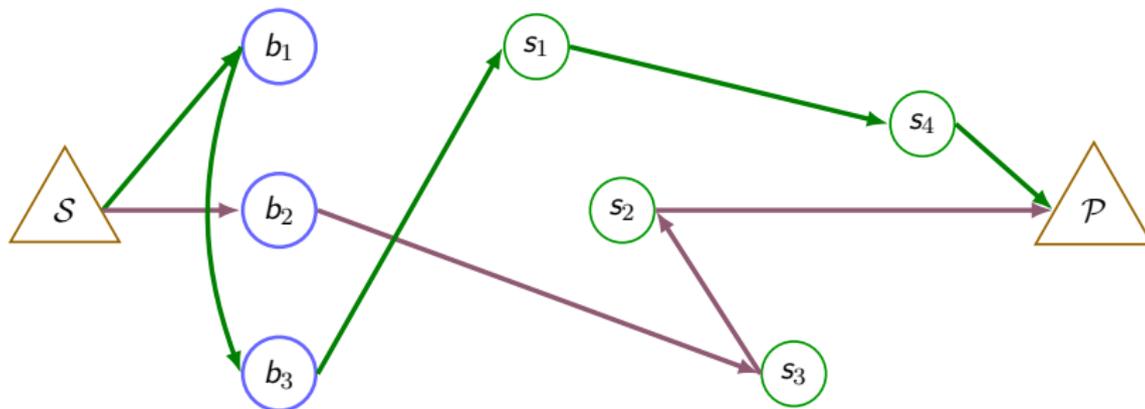
Un chemin est la suite des trajets stationnés dans une même voie

**Sous-problème
de stationnement**

Modélisation en trois sous-problèmes



Modélisation en trois sous-problèmes



Un chemin est la suite des recharges effectuées par un même chargeur

**Sous-problème
de recharge**

① Description du problème

② Modèle PLNE

Modélisation générale

Stratégies d'accélération

Résultats

③ Modèle PPC

④ Extensions

Stratégies d'accélération

- **Réduction des graphes**

→ Un bus ne reste pas dans le dépôt 24 heures consécutives.

Stratégies d'accélération

- **Réduction des graphes**

→ Un bus ne reste pas dans le dépôt 24 heures consécutives.

- **Décomposition en deux étapes**

Étape 1
eVAP-PC sans contrainte
sur le nombre de chargeurs

Étape 2
Trouver un planning
de recharge réalisable

Stratégies d'accélération

- **Réduction des graphes**

→ Un bus ne reste pas dans le dépôt 24 heures consécutives.

- **Décomposition en deux étapes**

Étape 1	Étape 2
eVAP-PC sans contrainte sur le nombre de chargeurs	Trouver un planning de recharge réalisable

- **Ajout d'une fonction objectif**

Graphe affectation	Graphe stationnement
$c_{ij} = (h_j^{start} - h_i^{end} - 4h)^2$	$c_{ij} = (h_j^{end} - h_i^{end} - 1h)^2$

① Description du problème

② Modèle PLNE

Modélisation générale

Stratégies d'accélération

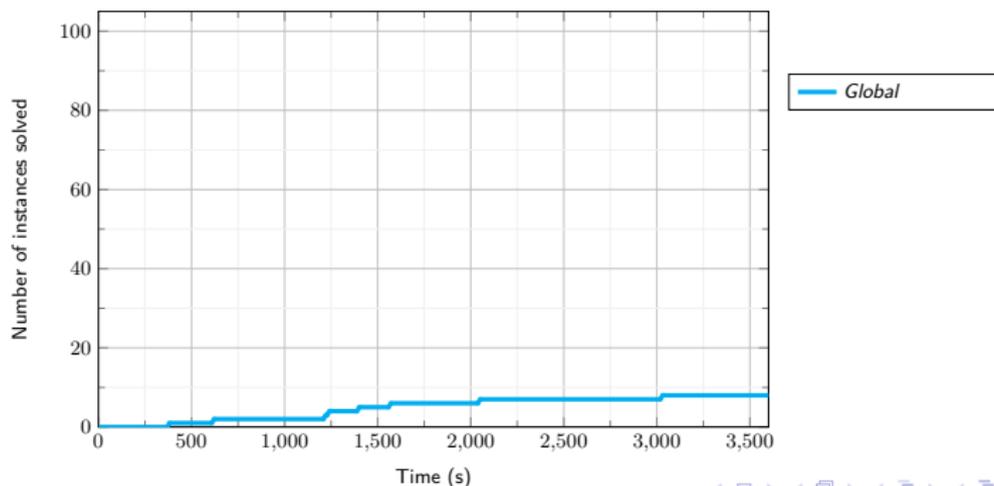
Résultats

③ Modèle PPC

④ Extensions

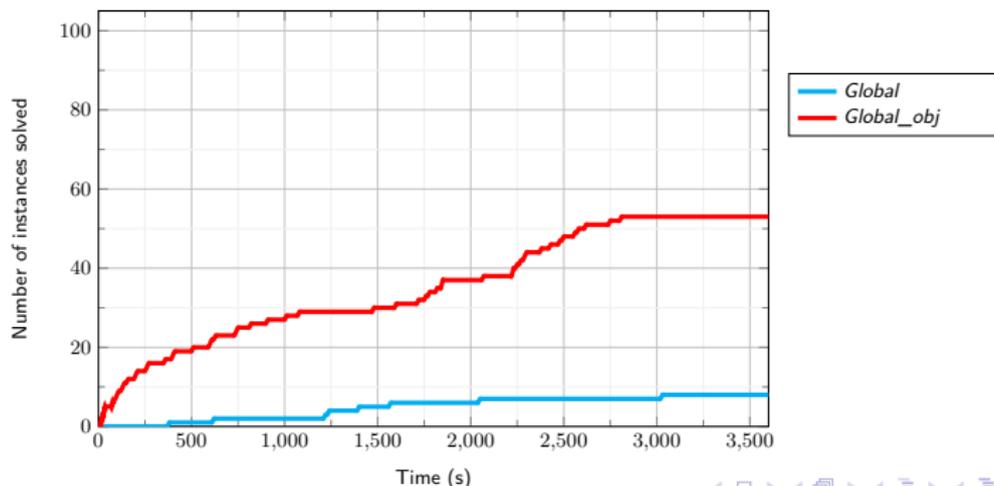
Résultats: 30-40 bus, 2-3 jours, 2-3 trajets/bus/jour

Method	2-steps	Objective	Reduction
Global			X



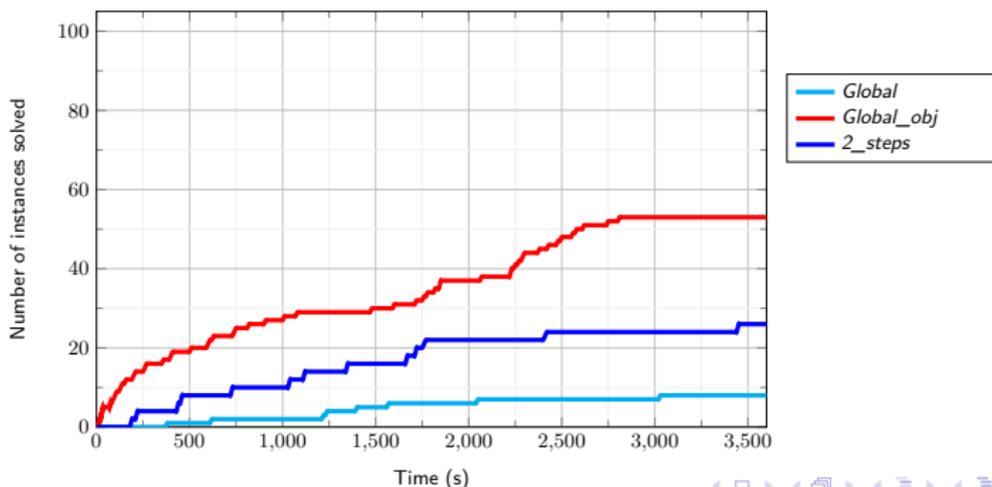
Résultats: 30-40 bus, 2-3 jours, 2-3 trajets/bus/jour

Method	2-steps	Objective	Reduction
Global			X
Global_obj		X	X



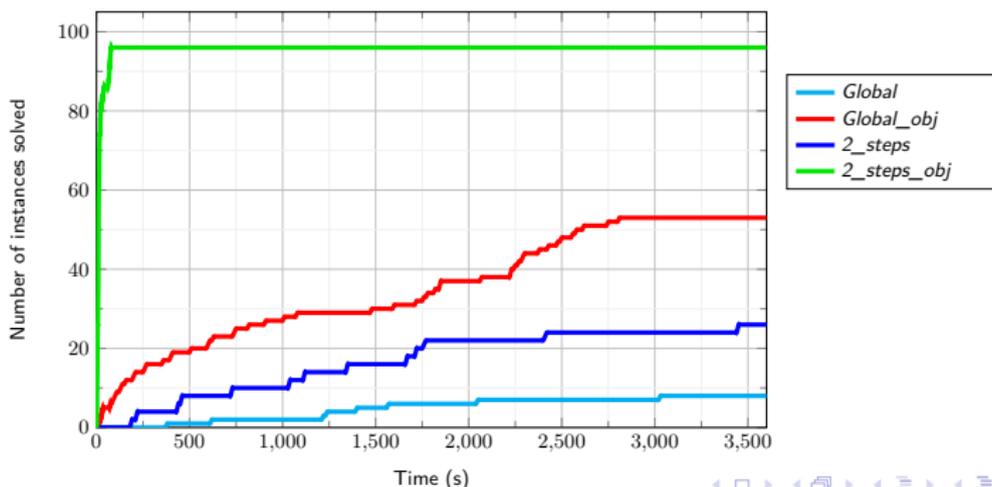
Résultats: 30-40 bus, 2-3 jours, 2-3 trajets/bus/jour

Method	2-steps	Objective	Reduction
Global			X
Global_obj		X	X
2_steps	X		X



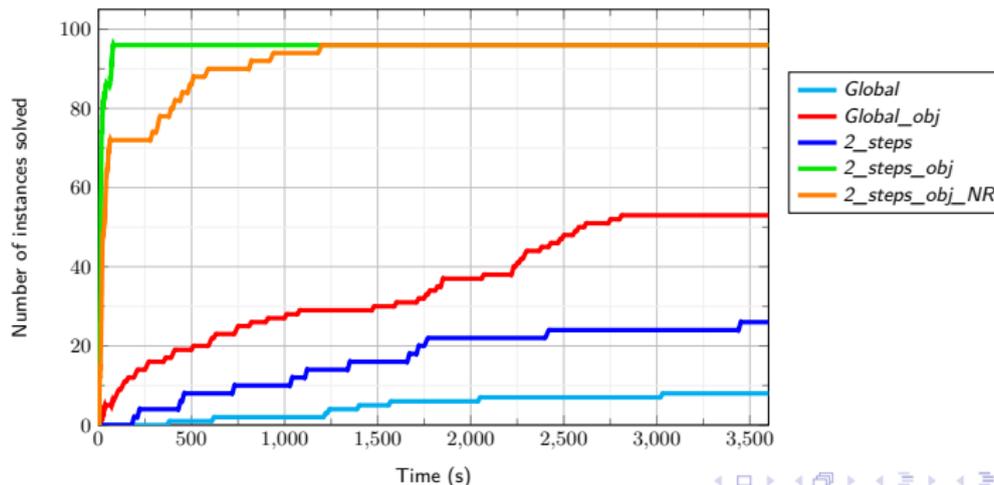
Résultats: 30-40 bus, 2-3 jours, 2-3 trajets/bus/jour

Method	2-steps	Objective	Reduction
Global			X
Global_obj		X	X
2_steps	X		X
2_steps_obj	X	X	X



Résultats: 30-40 bus, 2-3 jours, 2-3 trajets/bus/jour

Method	2-steps	Objective	Reduction
Global			X
Global_obj		X	X
2_steps	X		X
2_steps_obj	X	X	X
2_steps_obj_NR	X	X	

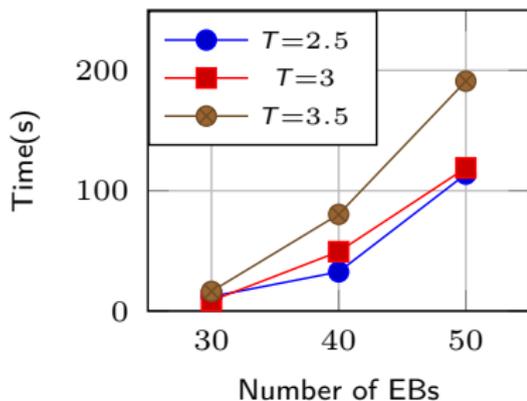


Résultats avec un horizon de 3 jours

- T : Nombre trajets par bus en moyenne
- V : Nombre de bus par voies
 - ex: 30 bus, $V = 6 \implies 5$ voies

Résultats avec un horizon de 3 jours

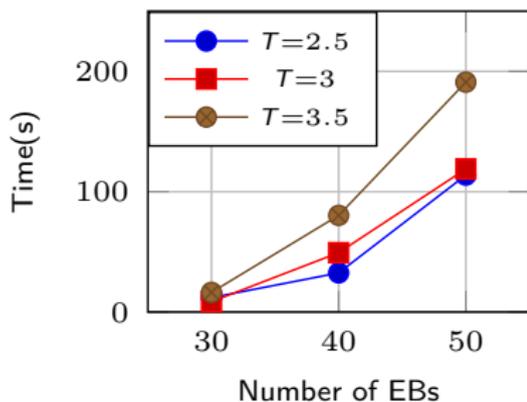
- T : Nombre trajets par bus en moyenne
- V : Nombre de bus par voies
 - ex: 30 bus, $V = 6 \implies 5$ voies



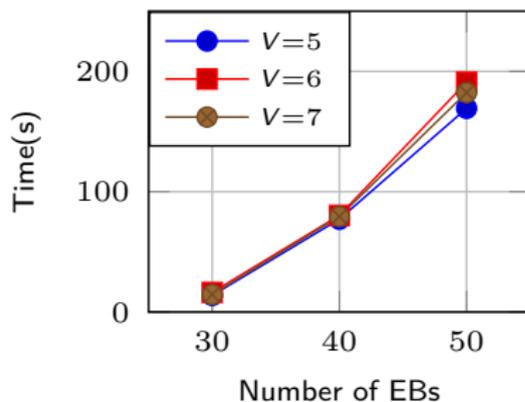
(a) $V = 6$

Résultats avec un horizon de 3 jours

- T : Nombre trajets par bus en moyenne
- V : Nombre de bus par voies
 - ex: 30 bus, $V = 6 \implies 5$ voies



(a) $V = 6$



(b) $T = 3.5$

1 Description du problème

2 Modèle PLNE

3 **Modèle PPC**
Description
Résultats

4 Extensions

1 Description du problème

2 Modèle PLNE

3 **Modèle PPC**
Description
Résultats

4 Extensions

La Programmation Par Contraintes

- *interval variables* v définies par :

La Programmation Par Contraintes

- *interval variables* v définies par :
 - $\text{PRES}(v)$: Présence de la variable v .

La Programmation Par Contraintes

- *interval variables* v définies par :
 - $\text{PRES}(v)$: Présence de la variable v .
 - $\text{START}(v)$: Début de l'intervalle v .

La Programmation Par Contraintes

- *interval variables* v définies par :
 - $\text{PRES}(v)$: Présence de la variable v .
 - $\text{START}(v)$: Début de l'intervalle v .
 - $\text{LENGTH}(v)$: Longueur de l'intervalle v .

La Programmation Par Contraintes

- *interval variables* v définies par :
 - $PRES(v)$: Présence de la variable v .
 - $START(v)$: Début de l'intervalle v .
 - $LENGTH(v)$: Longueur de l'intervalle v .
- *sequence variables* :

La Programmation Par Contraintes

- *interval variables* v définies par :
 - $PRES(v)$: Présence de la variable v .
 - $START(v)$: Début de l'intervalle v .
 - $LENGTH(v)$: Longueur de l'intervalle v .
- *sequence variables* :
 - Ensemble de plusieurs interval variables.

La Programmation Par Contraintes

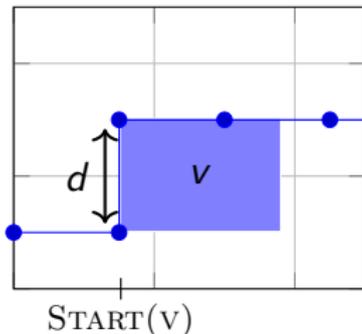
- *interval variables* v définies par :
 - $PRES(v)$: Présence de la variable v .
 - $START(v)$: Début de l'intervalle v .
 - $LENGTH(v)$: Longueur de l'intervalle v .
- *sequence variables* :
 - Ensemble de plusieurs interval variables.
 - Contraintes spécifiques : $NOOVERLAP$, $PREVIOUS$, ...

La Programmation Par Contraintes

- *interval variables* v définies par :
 - $PRES(v)$: Présence de la variable v .
 - $START(v)$: Début de l'intervalle v .
 - $LENGTH(v)$: Longueur de l'intervalle v .
- *sequence variables* :
 - Ensemble de plusieurs interval variables.
 - Contraintes spécifiques : $NOOVERLAP$, $PREVIOUS$, ...
- *Fonctions cumulatives* :

La Programmation Par Contraintes

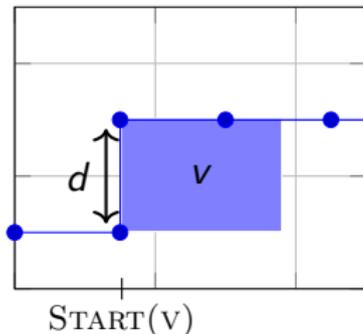
- *interval variables* v définies par :
 - $PRES(v)$: Présence de la variable v .
 - $START(v)$: Début de l'intervalle v .
 - $LENGTH(v)$: Longueur de l'intervalle v .
- *sequence variables* :
 - Ensemble de plusieurs interval variables.
 - Contraintes spécifiques : $NOOVERLAP$, $PREVIOUS$, ...
- *Fonctions cumulatives* :



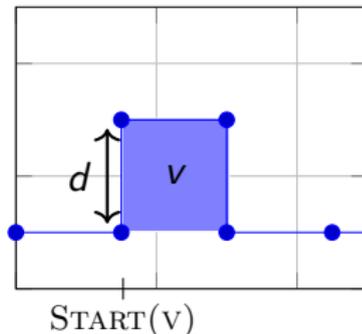
$STEPATSTART(v, d)$

La Programmation Par Contraintes

- *interval variables* v définies par :
 - $PRES(v)$: Présence de la variable v .
 - $START(v)$: Début de l'intervalle v .
 - $LENGTH(v)$: Longueur de l'intervalle v .
- *sequence variables* :
 - Ensemble de plusieurs interval variables.
 - Contraintes spécifiques : NOOVERLAP, PREVIOUS, ...
- *Fonctions cumulatives* :



STEPATSTART(v, d)



PULSE(v, d)

Modélisation: Deux types de ressources

- La batterie des bus :

Modélisation: Deux types de ressources

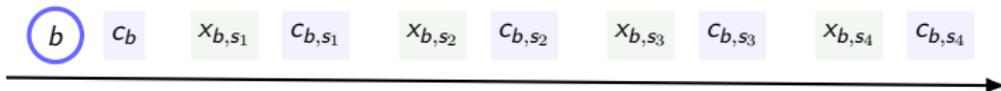
- La batterie des bus :
 - Consommée par les trajets.

Modélisation: Deux types de ressources

- La batterie des bus :
 - Consommée par les trajets.
 - Produite par les évènements de recharge au dépôt.

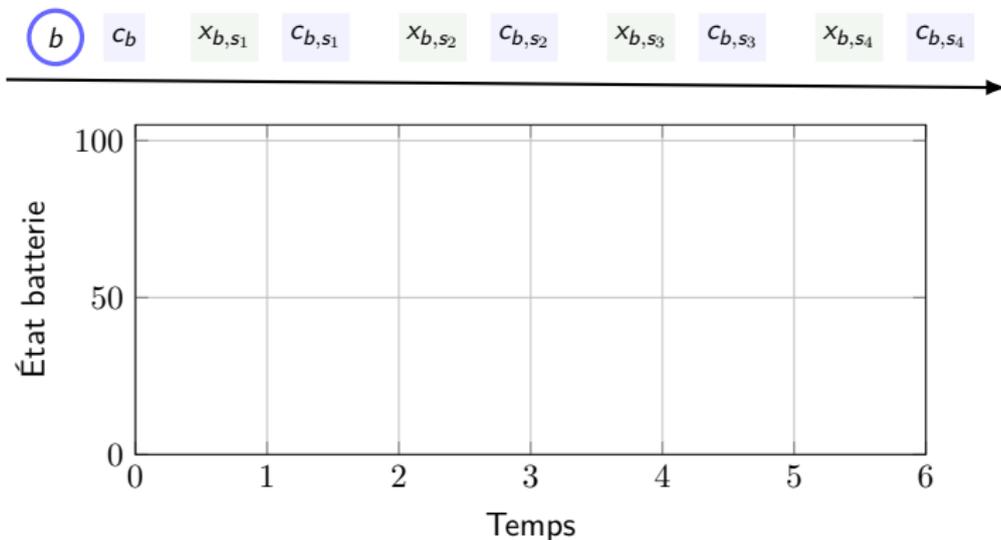
Modélisation: Deux types de ressources

- La batterie des bus :
 - Consommée par les trajets.
 - Produite par les événements de recharge au dépôt.



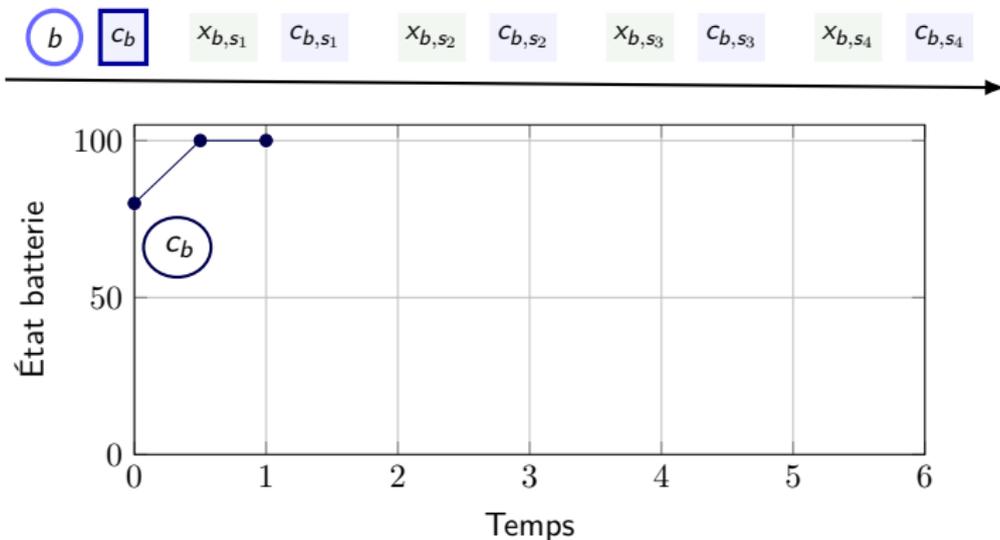
Modélisation: Deux types de ressources

- La batterie des bus :
 - Consommée par les trajets.
 - Produite par les événements de recharge au dépôt.



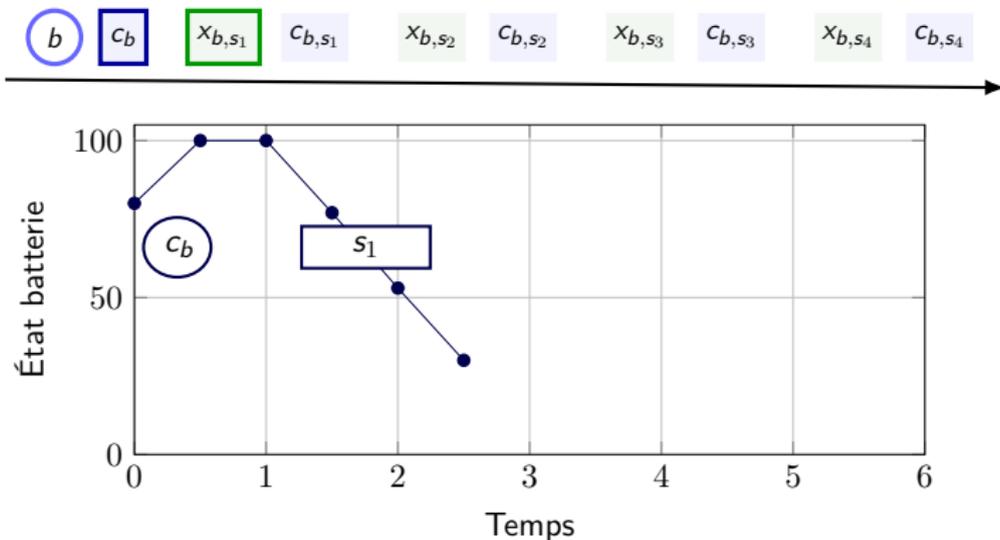
Modélisation: Deux types de ressources

- La batterie des bus :
 - Consommée par les trajets.
 - Produite par les événements de recharge au dépôt.



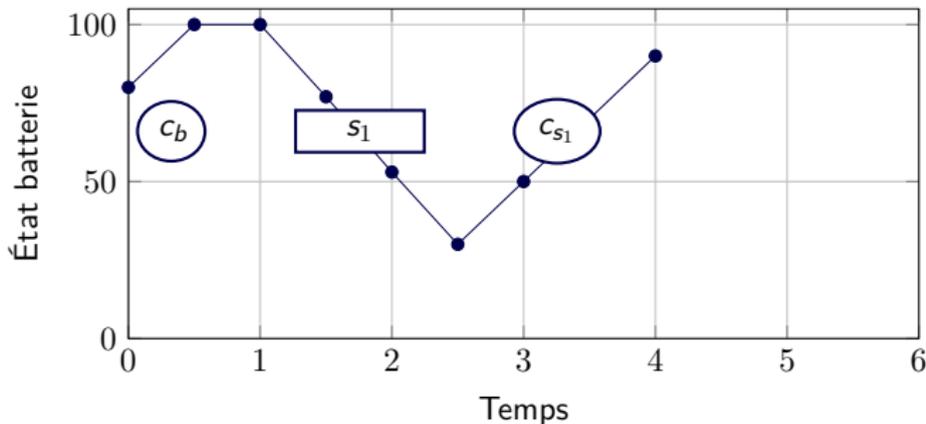
Modélisation: Deux types de ressources

- La batterie des bus :
 - Consommée par les trajets.
 - Produite par les événements de recharge au dépôt.



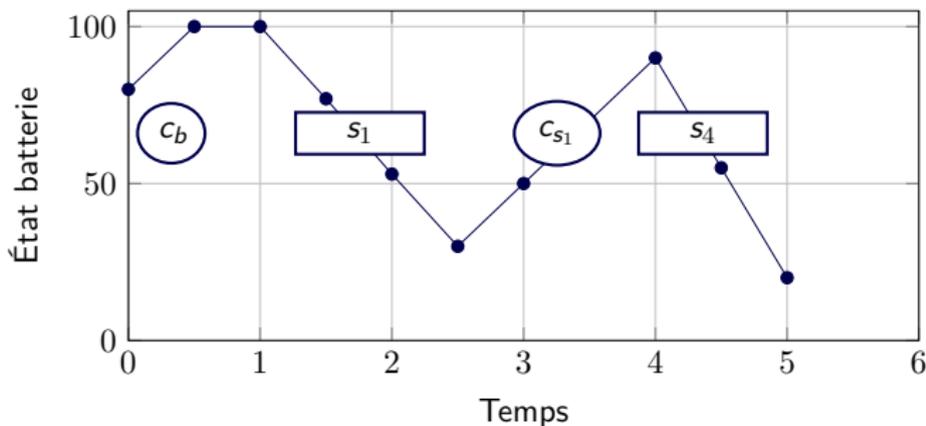
Modélisation: Deux types de ressources

- La batterie des bus :
 - Consommée par les trajets.
 - Produite par les événements de recharge au dépôt.



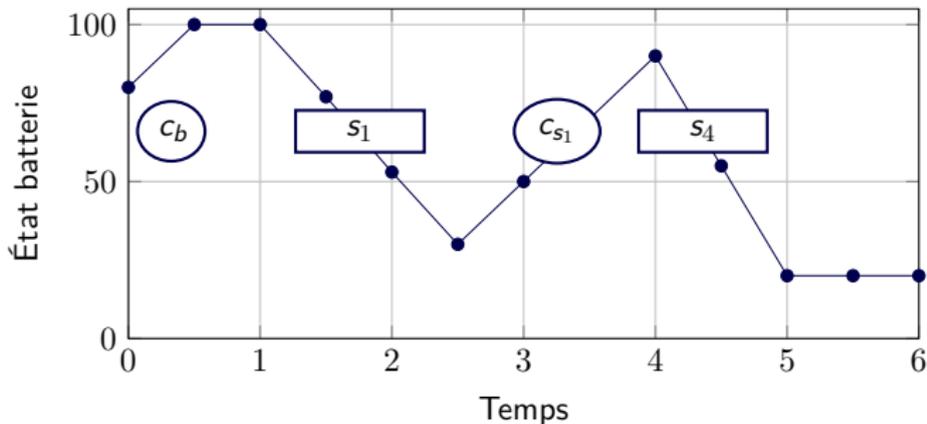
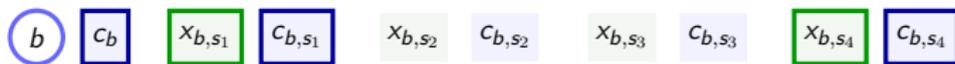
Modélisation: Deux types de ressources

- La batterie des bus :
 - Consommée par les trajets.
 - Produite par les évènements de recharge au dépôt.



Modélisation: Deux types de ressources

- La batterie des bus :
 - Consommée par les trajets.
 - Produite par les événements de recharge au dépôt.



Modélisation: Deux types de ressources

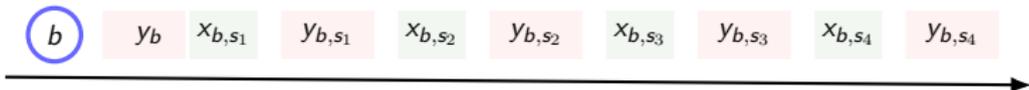
- Les voies du dépôt :

Modélisation: Deux types de ressources

- Les voies du dépôt :
 - Les bus consomment une unité pendant leur stationnement.

Modélisation: Deux types de ressources

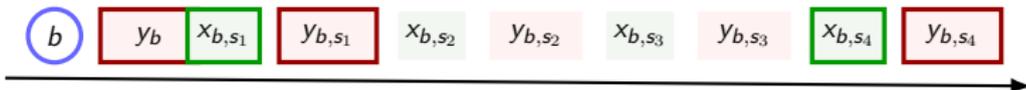
- Les voies du dépôt :
 - Les bus consomment une unité pendant leur stationnement.



Modélisation: Deux types de ressources

- Les voies du dépôt :

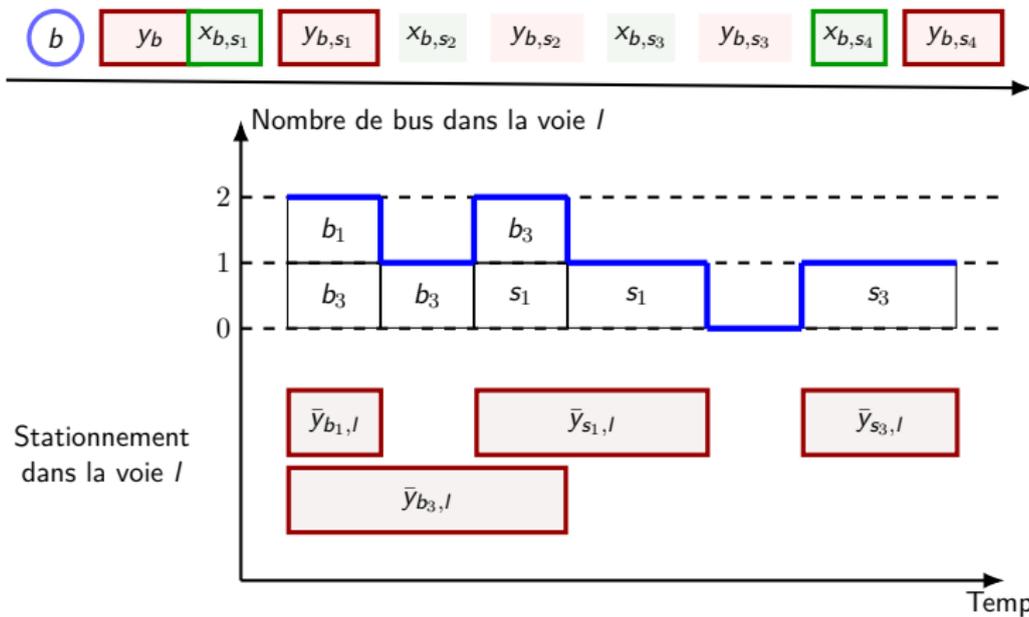
→ Les bus consomment une unité pendant leur stationnement.



Modélisation: Deux types de ressources

- Les voies du dépôt :

→ Les bus consomment une unité pendant leur stationnement.



① Description du problème

② Modèle PLNE

③ **Modèle PPC**
Description
Résultats

④ Extensions

Résultats

- *CP-searchPhase*: Fixer les variables de recharge en dernier.

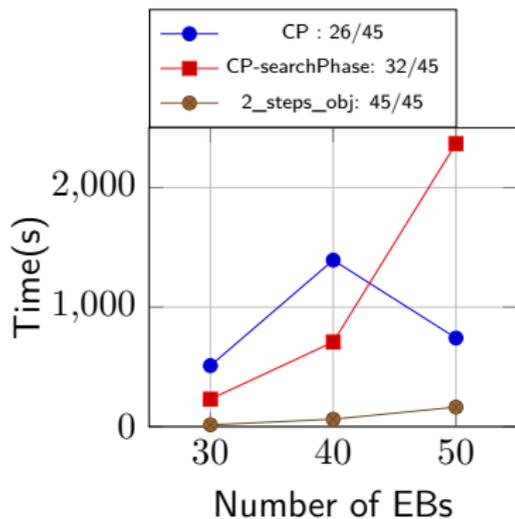


Fig. 3: Horizon : 3 jours

Résultats

- *CP-searchPhase*: Fixer les variables de recharge en dernier.

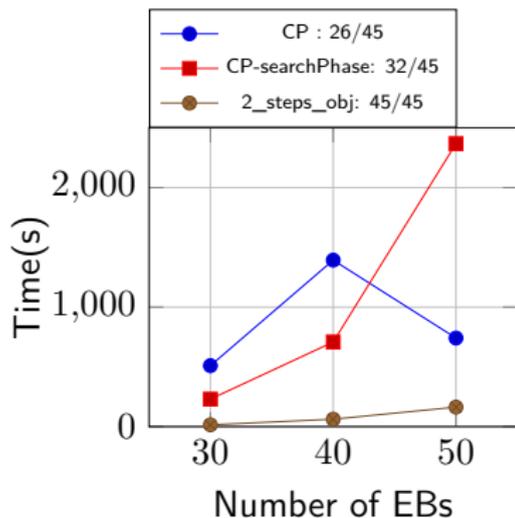


Fig. 3: Horizon : 3 jours

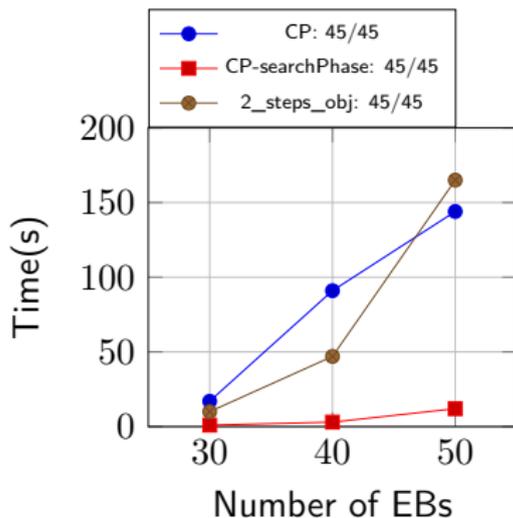
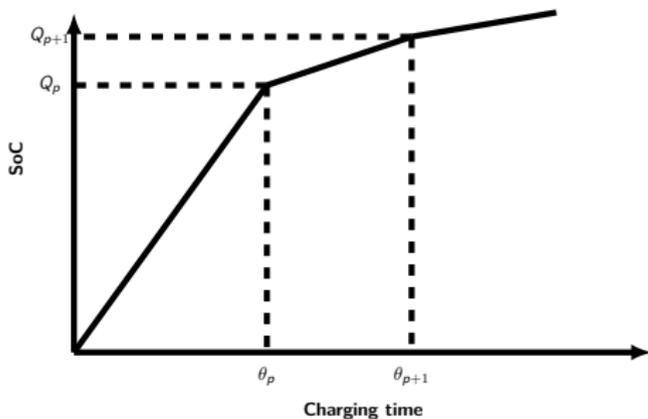


Fig. 4: Horizon : 1 jour avec contraintes cibles

- 1 Description du problème
- 2 Modèle PLNE
- 3 Modèle PPC
- 4 Extensions**

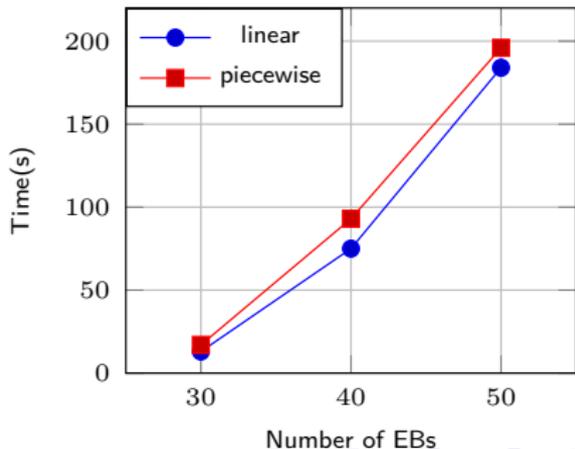
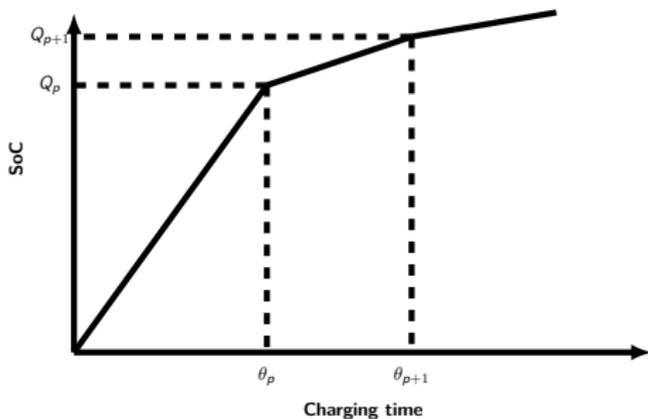
Modèle PLNE linéaire par morceaux

- Fonction de recharge par morceaux concave avec le même temps de recharge 0-100% que celle linéaire.
- Ajout de variables binaires pour déterminer dans quel morceau on se trouve avant la recharge.
- Utilisation de la concavité pour déterminer le niveau d'énergie après la recharge.



Modèle PLNE linéaire par morceaux

- Fonction de recharge par morceaux concave avec le même temps de recharge 0-100% que celle linéaire.
- Ajout de variables binaires pour déterminer dans quel morceau on se trouve avant la recharge.
- Utilisation de la concavité pour déterminer le niveau d'énergie après la recharge.



Grandes instances

Méthode	60 bus	150 bus	210 bus	300 bus
<i>CP-searchPhase</i>	40	X	X	X

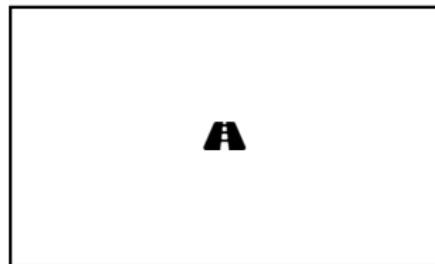
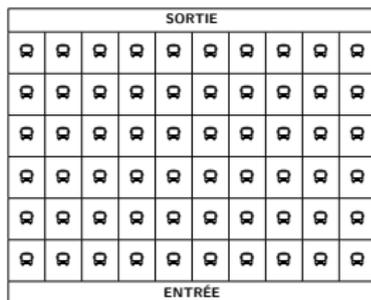
Table 1: Résumé des résultats (en secondes) sur des instances allant jusqu'à 900 trajets, 300 bus et 1 jour.

Grandes instances

Méthode	60 bus	150 bus	210 bus	300 bus
<i>CP-searchPhase</i>	40	X	X	X

Table 1: Résumé des résultats (en secondes) sur des instances allant jusqu'à 900 trajets, 300 bus et 1 jour.

Partitionnement de l'instance : Capacité de recharge du dépôt comme seule contrainte liante.

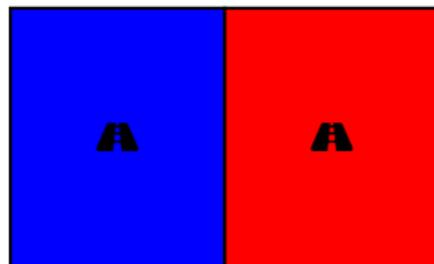
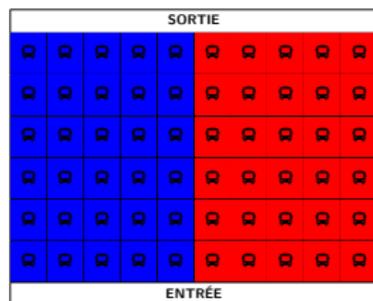


Grandes instances

Méthode	60 bus	150 bus	210 bus	300 bus
<i>CP-searchPhase</i>	40	X	X	X

Table 1: Résumé des résultats (en secondes) sur des instances allant jusqu'à 900 trajets, 300 bus et 1 jour.

Partitionnement de l'instance : Capacité de recharge du dépôt comme seule contrainte liante.

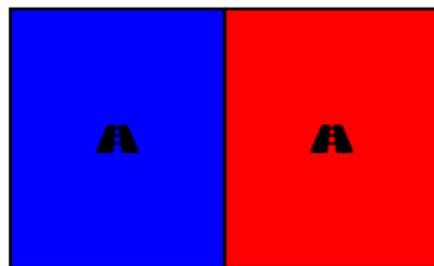
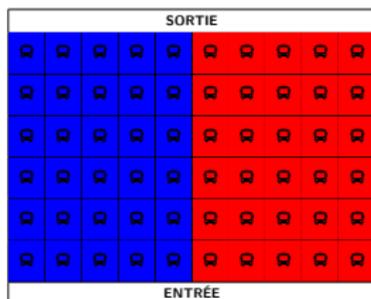


Grandes instances

Méthode	60 bus	150 bus	210 bus	300 bus
<i>CP-searchPhase</i>	40	X	X	X
<i>CP-partition</i>	4	50	140	500

Table 1: Résumé des résultats (en secondes) sur des instances allant jusqu'à 900 trajets, 300 bus et 1 jour.

Partitionnement de l'instance : Capacité de recharge du dépôt comme seule contrainte liante.



Bilan

- Formulation PLNE :
 - Basée sur trois graphes.
 - Développement de trois stratégies d'accélération.
 - Trouve un planning de 3 jours réalisable en moins de 5 minutes pour 50 bus.

Bilan

- Formulation PLNE :
 - Basée sur trois graphes.
 - Développement de trois stratégies d'accélération.
 - Trouve un planning de 3 jours réalisable en moins de 5 minutes pour 50 bus.
- Formulation PPC :
 - Basée sur des variables intervalles consommant/ produisant 2 ressources: les batteries et les voies.
 - Moins efficace sur des plannings de plusieurs jours.
 - Très efficace pour un planning sur un jour avec des contraintes cibles.

Bilan

- Formulation PLNE :
 - Basée sur trois graphes.
 - Développement de trois stratégies d'accélération.
 - Trouve un planning de 3 jours réalisable en moins de 5 minutes pour 50 bus.
- Formulation PPC :
 - Basée sur des variables intervalles consommant/ produisant 2 ressources: les batteries et les voies.
 - Moins efficace sur des plannings de plusieurs jours.
 - Très efficace pour un planning sur un jour avec des contraintes cibles.
- Extensions :
 - Fonction de recharge linéaire par morceaux.
 - Passage à l'échelle possible.

Merci pour votre attention !