

# Projet Simulation Monte Carlo

Planification d'itinéraires de livraison par drone  
sous contraintes temporelles



Fatoumata Wadiou & Pénélope Millet

22 août 2025

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Complexité du problème</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Objectifs du projet</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Travail réalisé</b>	<b>3</b>
4.1	Approche gloutonne (Greedy) . . . . .	3
4.2	NRPA (Nested Rollout Policy Adaptation) . . . . .	3
4.3	Approche gloutonne avancée, nommée arbitrairement Proximity Biased Rollouts (PBR)	4
4.4	GNRPA (Generalized NRPA) . . . . .	4
<b>5</b>	<b>Résultat et Analyse</b>	<b>4</b>
5.1	Approche greedy . . . . .	4
5.2	Nested Rollout Policy Adaptation (NRPA) . . . . .	4
5.3	Proximity Biased Rollouts (PBR) . . . . .	7
5.4	Generalized NRPA . . . . .	10
5.5	Résumé comparatif . . . . .	12
<b>6</b>	<b>Conclusion</b>	<b>13</b>
<b>A</b>	<b>Annexes</b>	<b>14</b>
A.1	Greedy Summary . . . . .	14
A.1.1	Résumé des résultats de l'algorithme et chronologie des actions du drone . . . .	14
A.2	NRPA Summary . . . . .	15
A.2.1	Résumé des résultats de l'algorithme et chronologie des actions du drone . . . .	15
A.3	PBR Summary . . . . .	17
A.3.1	Résumé des résultats de l'algorithme et chronologie des actions du drone . . . .	17
A.4	GNRPA Summary . . . . .	19
A.4.1	Résumé des résultats de l'algorithme et chronologie des actions du drone . . . .	19

## Table des figures

1	Itinéraires successifs du drone sous Greedy . . . . .	5
2	Itinéraires successifs du drone sous NRPA (level=2, n_iter=500) . . . . .	6
3	Résumé des simulations NRPA . . . . .	7
4	Résumé des simulations PBR . . . . .	8
5	Itinéraires successifs du drone sous PBR . . . . .	10
6	Résumé des simulations GNRPA . . . . .	11
7	Itinéraires successifs du drone sous GNRPA . . . . .	12

## Liste des tableaux

1	Comparaison des différentes approches utilisées pour la planification des tournées. . .	12
---	---	----

# 1 Introduction

Dans le cadre de la livraison de colis par drone, nous nous intéressons à la **planification d'itinéraires optimaux** permettant de desservir plusieurs clients tout en respectant des contraintes multiples. Dans cette étude, nous considérons que le drone se déplace à une vitesse constante de 60 km/h. Le temps nécessaire aux opérations de chargement et de déchargement des colis est supposé nul, et les trajets sont modélisés par des segments rectilignes, la distance étant calculée en ligne droite entre deux points. Chaque point de livraison est associé à une **fenêtre temporelle** dans laquelle le colis doit être remis, tandis que le drone est soumis à des limitations strictes d'**autonomie** (40 km, soit 40 minutes de vol) et de **capacité** (20 kg).

Ce problème appartient à la famille des **Vehicle Routing Problems with Time Windows (VRP-TW)**. L'enjeu consiste à générer des tournées faisables et efficaces qui :

- respectent les contraintes liées aux fenêtres de livraison,
- tiennent compte des contraintes opérationnelles du drone (autonomie, capacité, recharge),
- minimisent la distance totale parcourue ou la durée des tournées.

Les données utilisées dans ce projet sont fixées de manière arbitraire, mais elles ont été choisies de façon à se rapprocher au mieux de conditions réalistes. Elles sont définies comme suit :

- **Zone de livraison** : carré de  $10 \times 10$  km, soit un espace de coordonnées  $[0, 1\,000\,000]$  en cm.
- **Drone** : vitesse de 60 km/h (1 km/min), autonomie 40 km (40 min), recharge 1h.
- **Dépôt** : (0,0), départ à 9h00 avec batterie pleine.
- **Colis** : 80 colis de 0,05 à 2 kg, dispersés aléatoirement dans la zone.
- **Fenêtres temporelles** : 10 colis par tranche de 2 heures, de 9h à 18h : 10 colis à livrer entre 9h et 11h, 10 colis entre 10h et 12h, ..., 10 colis entre 16h et 18h.
- **Contrainte supplémentaire** : Le drone ne peut pas décoller du dépôt pour aller livrer des colis après 18h.
- **Objectif de scoring** : maximiser le nombre de colis livrés dans les fenêtres imparties (livraison à l'heure = 0 point, hors fenêtre = -50 points, non livré = -100 points).

Le problème est volontairement formulé comme insolvable, c'est-à-dire qu'aucune trajectoire ne permet de livrer tous les colis dans les fenêtres temporelles. Cette approche permet de comparer les différents algorithmes et d'identifier celui capable de produire la meilleure solution relative.

## 2 Complexité du problème

Le problème étudié se révèle particulièrement difficile en raison de la combinaison de plusieurs facteurs :

1. **Explosion combinatoire.** Déterminer un ordre de livraison parmi  $n$  colis correspond à explorer  $n!$  permutations possibles, ce qui devient rapidement intraitable dès que  $n$  croît. À titre d'exemple,  $10! \approx 3,6 \times 10^6$ , et pour 80 colis, le nombre de séquences est astronomique.
2. **Contraintes temporelles.** Chaque colis est associé à une fenêtre de livraison stricte. Une séquence théoriquement réalisable peut devenir invalide si le drone ne respecte pas les créneaux horaires, ce qui restreint fortement l'espace des solutions admissibles.
3. **Contraintes de capacité.** Le drone est limité à 20 kg de charge utile. Il doit donc sélectionner non seulement un ordre de livraison, mais aussi *quels colis emporter* à chaque tournée, ce qui ajoute une dimension supplémentaire au problème.
4. **Autonomie restreinte.** Avec une autonomie maximale de 40 minutes (40 km), chaque tournée doit anticiper le trajet retour vers le dépôt. L'algorithme doit ainsi éviter à la fois les surcharges (qui nécessiteraient plusieurs trajets supplémentaires) et les tournées trop ambitieuses (qui rendraient le retour impossible).
5. **Décisions multi-niveaux.** À chaque départ, le drone doit résoudre plusieurs sous-problèmes imbriqués : choisir le *nombre de colis*, déterminer *les colis à emporter*, organiser l'*ordre de*

*desserte*, et vérifier la *faisabilité temporelle et énergétique* de la tournée. Il s'agit donc d'un problème séquentiel à décisions multiples et interdépendantes.

En résumé, la difficulté ne provient pas uniquement de l'énorme espace de recherche lié à la nature combinatoire du problème, mais également de l'intégration simultanée de contraintes hétérogènes (temps, capacité, autonomie) et de la nécessité de trouver un compromis entre **efficacité opérationnelle** (réduire les allers-retours) et **faisabilité** (respecter toutes les contraintes). Cette combinaison rend le problème particulièrement complexe à résoudre par des méthodes exactes, et justifie le recours à des approches heuristiques et méta-heuristiques.

### 3 Objectifs du projet

Les objectifs principaux du projet sont les suivants :

1. **Modéliser le problème** de livraison par drone en intégrant :
  - les contraintes de capacité (poids des colis),
  - les fenêtres de temps de livraison,
  - l'autonomie maximale du drone et la nécessité de recharges.
2. **Développer une méthode de résolution basée sur NRPA (Nested Rollout Policy Adaptation)**, particulièrement adaptée aux problèmes séquentiels sous contraintes. L'objectif est d'adapter NRPA au cas spécifique du VRP-TW avec drones.
3. **Comparer les performances de NRPA** avec des approches plus classiques ou heuristiques, en termes de :
  - score global obtenu,
  - nombre total de tournée effectuée,
  - temps total de livraison,
  - robustesse et temps de calcul.

### 4 Travail réalisé

Afin d'évaluer les performances de NRPA et de ses variantes, plusieurs approches ont été implémentées et comparées :

#### 4.1 Approche gloutonne (Greedy)

- **Principe** : choix local à chaque étape (prochain colis le plus proche ou respectant la fenêtre).
- **Forces** : calcul très rapide, implémentation simple.
- **Limites** : solutions globalement sous-optimales, myopie algorithmique.

#### 4.2 NRPA (Nested Rollout Policy Adaptation)

- **Principe** : génération de séquences de livraison via rollouts aléatoires pondérés ; amélioration progressive de la politique à travers un mécanisme hiérarchique.
- **Forces** : Exploite la structure du problème via la politique adaptative, ce qui permet d'améliorer la qualité des solutions par rapport à un rollout aléatoire pur.
- **Limites** : La complexité augmente de manière exponentielle avec le nombre de niveaux : au-delà d'une profondeur de nesting  $level = 2$ , le temps de calcul devient prohibitif (plus d'une heure dans notre contexte). De plus, l'approche est purement statistique et ne prend pas directement en compte des heuristiques métier, comme la proximité des clients, ce qui peut limiter son efficacité.

### 4.3 Approche gloutonne avancée, nommée arbitrairement Proximity Biased Rollouts (PBR)

Cet algo est une version simplifiée de NRPA : il construit plusieurs séquences candidates au hasard mais avec un biais de proximité, évalue grossièrement leur qualité sur une seule sortie, et prend celle qui semble la plus prometteuse.

- **Principe** : variante de rollout intégrant un biais de proximité (favoriser les clients proches).
- **Forces** : améliore la pertinence des séquences explorées, rapide et efficace (meilleur que NRPA)
- **Limites** : reste aléatoire, sensibilité aux réglages du biais.

### 4.4 GNRPA (Generalized NRPA)

- **Principe** : extension de NRPA intégrant (i) un paramètre de *température* permettant d’ajuster l’équilibre entre exploration et exploitation, et (ii) un biais métier basé sur la distance pour guider les décisions.
- **Forces** : combine apprentissage adaptatif et heuristiques structurées, ce qui améliore la robustesse et la qualité des solutions.
- **Limites** : réglage complexe des hyperparamètres (température, biais, nombre d’itérations, niveau). Les résultats obtenus sont comparables à ceux de PBR, probablement en raison du temps de calcul élevé qui nous a contraints à limiter le niveau à **level**  $\leq 2$ , restreignant ainsi le potentiel complet de l’algorithme.

## 5 Résultat et Analyse

### 5.1 Approche greedy

L’algorithme glouton développé pour ce problème est présenté dans **Algorithm 1**. Son principe est de sélectionner en priorité **les colis les plus urgents**, puis de les ajouter successivement tant que les contraintes de **capacité en masse** et d’**autonomie énergétique** sont respectées. On parle d’approche “gloutonne” car la stratégie ne vise pas à optimiser globalement la tournée, mais à réaliser à chaque étape le **meilleur choix local** — déterminé d’abord par **T<sub>max</sub>** (fin de fenêtre temporelle), puis par la distance au dépôt en cas d’égalité.

L’algorithme glouton se distingue par une complexité très faible, ce qui lui confère une rapidité d’exécution quasi instantanée. En appliquant cette stratégie, le drone parvient à livrer un total de 58 colis, dont 24 respectent leur fenêtre de livraison et 34 sont livrés hors fenêtre. Le score obtenu est de  $-3900$ .

Compte tenu de la simplicité du procédé, ce résultat est adopté comme score de référence (baseline). Ainsi, tout algorithme plus sophistiqué doit impérativement dépasser ce niveau de performance pour être jugé pertinent, a fortiori si son coût computationnel est supérieur.

Les trajectoires associées aux différentes tournées sont représentées sur la Figure 1, tandis que le détail opérationnel de chaque tournée (horodatage, colis, masses, fenêtres temporelles) est reporté en annexe A.1.1.

### 5.2 Nested Rollout Policy Adaptation (NRPA)

L’algorithme NRPA explore de nombreux ordres possibles de livraison en effectuant des tirages aléatoires pondérés selon une politique actuelle. Au fil des explorations, il apprend des meilleures solutions trouvées et renforce ses préférences pour les colis qui apparaissent fréquemment dans les séquences performantes. Cette approche est plus sophistiquée que l’algorithme glouton, car elle effectue une recherche globale dans l’espace des solutions, au lieu de se limiter au choix le plus urgent ou le plus rapide à un instant donné.

---

**Algorithm 1** Algorithme glouton pour la sélection des colis

---

```
1: Entrées : ensemble des colis non livrés  $U$ , capacité  $C$ , autonomie en temps  $T_{\max}$ , position du  
   dépôt  $d$   
2: Sortie : lot de colis sélectionnés  $B$   
3: Trier  $U$  selon deux critères :  
   1.  $t_{\max}$  croissant (fin de fenêtre la plus proche en priorité),  
   2. distance croissante depuis le dépôt  $d$  (en cas d'égalité d'urgence).  
4: Initialiser  $B \leftarrow \emptyset$ ,  $m \leftarrow 0$   
5: for chaque colis  $p \in U$  (dans l'ordre trié) do  
6:   if  $m + \text{masse}(p) > C$  then  
7:     Ignorer  $p$  // dépassement de capacité  
8:   else  
9:     Construire un lot provisoire  $B' \leftarrow B \cup \{p\}$   
10:    Simuler la tournée  $d \rightarrow B' \rightarrow d$   
11:    Calculer le temps total  $t(B')$   
12:    if  $t(B') \leq T_{\max}$  then  
13:      Ajouter  $p$  à  $B$ , mettre à jour  $m \leftarrow m + \text{masse}(p)$   
14:    else  
15:      Ignorer  $p$  // autonomie insuffisante  
16:    end if  
17:  end if  
18: end for  
19: Retourner la liste ordonnée des colis  $B$ 
```

---

FIGURE 1 – Itinéraires successifs du drone sous Greedy

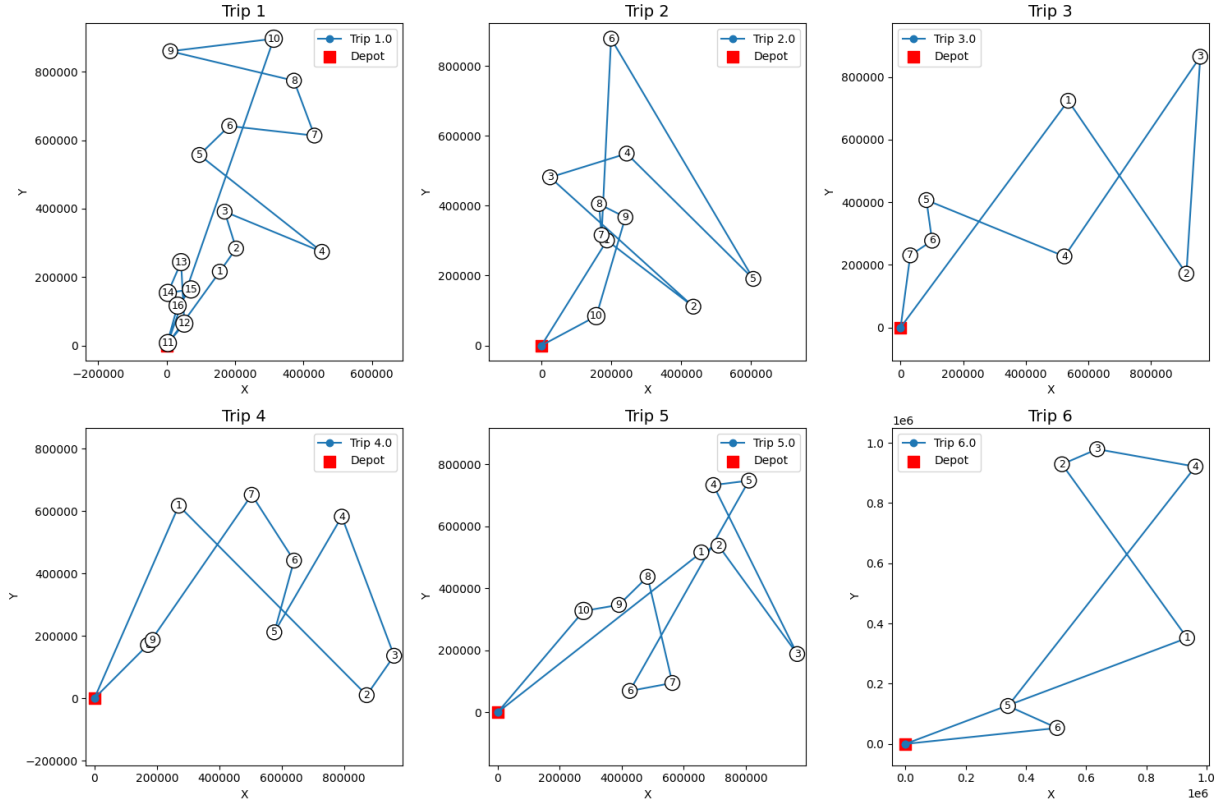
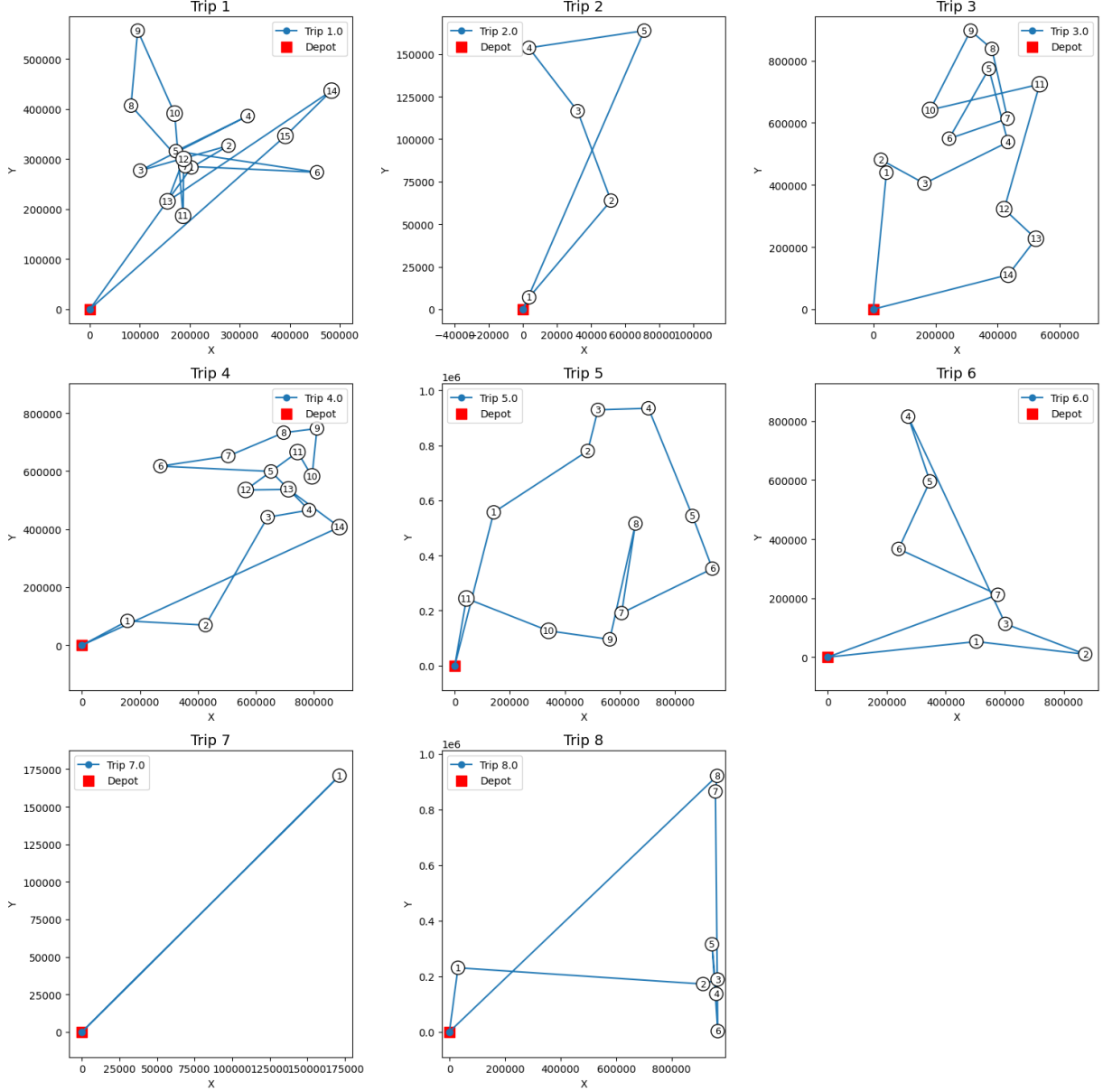


FIGURE 2 – Itinéraires successifs du drone sous NRPA (level=2, n\_iter=500)



Nous avons évalué l'algorithme NRPA en variant le **niveau de profondeur** ( $\text{level} \in \{1, 2\}$ ) et le **nombre d'itérations** ( $\text{iteration} \in \{100, 200, 300, 400, 500\}$ ). Comme attendu, des paramètres plus élevés améliorent le score global.

Un score supérieur à l'approche *greedy* est obtenu dès  $\text{level} = 1$  et  $\text{iteration} = 500$ . Le score maximal observé est  $-2500$ , avec 37 colis livrés dans les fenêtres, 36 hors fenêtres, et seulement 7 colis non livrés, obtenu pour  $\text{level} = 2$  et  $\text{iteration} = 500$  (temps de calcul  $\sim 1$  heure). Les séquences d'action du drone obtenues avec ces paramètres sont présentées en Annexe A.2.1, tandis qu'une visualisation de celles-ci est proposée en Figure 2. Les résultats complets des expérimentations menées avec NRPA, selon les différents paramètres, sont regroupés en Figure 3.

Il est intéressant de noter que la solution maximisant le score global ne coïncide pas toujours avec celle maximisant le nombre total de colis livrés :  $\text{level} = 2$ ,  $\text{iteration} = 300$  permet de livrer 77 colis sur 80 (3 non livrés), mais seulement 30 dans les fenêtres. Le score global privilégie donc la livraison dans les temps, conformément à la formulation du problème. Ces observations suggèrent que les **pénalités associées aux livraisons hors fenêtre ou non réalisées** peuvent être ajustées pour mieux refléter les priorités métier.

FIGURE 3 – Résumé des simulations NRPA

Level	Iterations	Score	Delivered In	Delivered Out	Not Delivered	Total Delivered	
0	1	100	-7250	2	11	67	13
1	1	200	-4350	18	37	25	55
2	1	300	-4200	20	36	24	56
3	1	400	-4300	19	36	25	55
4	1	500	-3850	25	33	22	58
5	2	100	-3400	23	46	11	69
6	2	200	-2800	36	32	12	68
7	2	300	-2650	30	47	3	77
8	2	400	-2800	35	34	11	69
9	2	500	-2500	37	36	7	73

### 5.3 Proximity Biased Rollouts (PBR)

Nous proposons une politique de décision basée sur des *rollouts Monte Carlo* guidés par un biais de proximité, que l'on nomme **Proximity Biased Rollouts (PBR)**. L'objectif est de déterminer, à chaque départ depuis le dépôt, le lot de colis à emporter, à partir des principes suivants :

- Génération de  $n_{\text{rollouts}}$  séquences candidates de livraison (appelées *rollouts*), limitées à une taille maximale  $m_{\text{batch}}$ .
- Lors de la construction d'une séquence, les colis candidats sont sélectionnés aléatoirement, mais avec une probabilité biaisée en faveur des colis les plus proches de la position courante :

$$P(p) \propto \exp \left( -\alpha \cdot \frac{d(p)}{\max_{q \in C} d(q)} \right),$$

où  $d(p)$  est la distance du colis  $p$ ,  $C$  l'ensemble des candidats faisables, et  $\alpha$  le paramètre de biais.

- Chaque séquence est ensuite évaluée en simulant les livraisons réalisées et en attribuant un score tenant compte du respect des fenêtres de temps et des colis non livrés.
- La meilleure séquence (score maximal) est retenue pour exécution. Si aucune séquence n'est faisable, un mécanisme de repli choisit le colis le plus urgent compatible avec la batterie et la capacité.

Cette approche combine donc une exploration aléatoire guidée par un biais local (proximité), avec une sélection par score, dans l'esprit d'une adaptation simplifiée de NRPA (Nested Rollout Policy Adaptation). L'algorithme est défini dans **Algorithm 2**.

Nous avons étudié l'impact des paramètres `n_rollouts`, `max_batch_size` et `distance_bias_alpha` sur les performances de l'algorithme PBR. Les résultats, présentés dans le Tableau 4, montrent que le score varie de -3300 à -2450 et que le nombre de colis livrés dans la fenêtre de temps (**Delivered In**) oscille entre 14 et 31.

La meilleure performance (score = -2450, 31 livraisons dans les fenêtres temporelles, 0 colis non livrés) est obtenue avec deux combinaisons de paramètres : ( $n_{\text{rollouts}} = 400$ ,  $max\_batch\_size = 20$ ,  $distance\_bias\_alpha = 6.0$ ) et ( $n_{\text{rollouts}} = 500$ ,  $max\_batch\_size = 20$ ,  $distance\_bias\_alpha =$



FIGURE 4 – Résumé des simulations PBR

	n_rollouts	max_batch_size	distance_bias_alpha	Score	Delivered In	Delivered Out	Not Delivered	Total Delivered
0	200	20	3.000000	-3000	20	60	0	80
1	200	20	6.000000	-2600	28	52	0	80
2	200	20	9.000000	-2750	25	55	0	80
3	200	40	3.000000	-2650	28	51	1	79
4	200	40	6.000000	-2500	30	50	0	80
5	200	40	9.000000	-2550	29	51	0	80
6	200	60	3.000000	-2800	25	54	1	79
7	200	60	6.000000	-2800	24	56	0	80
8	200	60	9.000000	-2850	23	57	0	80
9	200	80	3.000000	-2850	23	57	0	80
10	200	80	6.000000	-2750	25	55	0	80
11	200	80	9.000000	-2650	27	53	0	80
12	300	20	3.000000	-3150	18	61	1	79
13	300	20	6.000000	-2800	24	56	0	80
14	300	20	9.000000	-2600	28	52	0	80
15	300	40	3.000000	-2700	26	54	0	80
16	300	40	6.000000	-3300	14	66	0	80
17	300	40	9.000000	-2700	26	54	0	80
18	300	60	3.000000	-3000	21	58	1	79
19	300	60	6.000000	-2750	25	55	0	80
20	300	60	9.000000	-2800	24	56	0	80
21	300	80	3.000000	-2650	27	53	0	80
22	300	80	6.000000	-3050	19	61	0	80
23	300	80	9.000000	-2850	23	57	0	80
24	400	20	3.000000	-2650	29	49	2	78
25	400	20	6.000000	-2450	31	49	0	80
26	400	20	9.000000	-2700	26	54	0	80
27	400	40	3.000000	-2600	28	52	0	80
28	400	40	6.000000	-2900	22	58	0	80
29	400	40	9.000000	-3100	18	62	0	80
30	400	60	3.000000	-2900	25	52	3	77
31	400	60	6.000000	-2650	27	53	0	80
32	400	60	9.000000	-2900	22	58	0	80
33	400	80	3.000000	-2600	29	50	1	79
34	400	80	6.000000	-2900	22	58	0	80
35	400	80	9.000000	-2850	23	57	0	80
36	500	20	3.000000	-2600	29	50	1	79
37	500	20	6.000000	-2750	25	55	0	80
38	500	20	9.000000	-2450	31	49	0	80
39	500	40	3.000000	-2900	22	58	0	80
40	500	40	6.000000	-2950	21	59	0	80
41	500	40	9.000000	-2750	25	55	0	80
42	500	60	3.000000	-2550	30	49	1	79
43	500	60	6.000000	-2550	29	51	0	80
44	500	60	9.000000	-2750	25	55	0	80
45	500	80	3.000000	-2700	26	54	0	80
46	500	80	6.000000	-2750	25	55	0	80
47	500	80	9.000000	-2550	29	51	0	80

---

**Algorithm 2** Proximity Biased Rollouts (PBR)

---

```
1: Entrées : temps courant  $t$ , autonomie batterie  $B$ , ensemble des colis non livrés  $U$ , position du  
   dépôt  $d$   
2: Sortie : lot de colis sélectionnés  $S^*$   
3: Initialiser  $S^* \leftarrow \emptyset$ ,  $score^* \leftarrow -\infty$   
4: for  $r = 1$  to  $n_{rollouts}$  do  
5:    $S \leftarrow \emptyset$ , masse  $\leftarrow 0$ , batterie  $\leftarrow B$ , position courante  $\leftarrow d$   
6:   for  $k = 1$  to  $m_{batch}$  do  
7:     Déterminer l'ensemble  $C$  des colis faisables (capacité et autonomie respectées)  
8:     if  $C = \emptyset$  then  
9:       break  
10:    end if  
11:    Calculer les poids  $w(p) = \exp\left(-\alpha \cdot \frac{d(p)}{\max_{q \in C} d(q)}\right)$ ,  $\forall p \in C$   
12:    Sélectionner un colis  $p \in C$  de manière probabiliste selon les  $w(p)$   
13:    Simuler la tournée  $d \rightarrow S \cup \{p\} \rightarrow d$   
14:    if temps total  $> B$  then  
15:      break  
16:    else  
17:      Ajouter  $p$  à  $S$ , mettre à jour la masse, la batterie et la position courante  
18:    end if  
19:  end for  
20:  if  $S \neq \emptyset$  then  
21:    Évaluer la séquence  $S$  (fenêtres de temps respectées, colis livrés ou non)  
22:    if  $score(S) > score^*$  then  
23:       $S^* \leftarrow S$ ,  $score^* \leftarrow score(S)$   
24:    end if  
25:  end if  
26: end for  
27: if  $S^* = \emptyset$  then  
28:    $S^* \leftarrow$  colis le plus urgent faisable  
29: end if  
30: Retourner  $S^*$ 
```

---

9.0).

Une augmentation du nombre de rollouts ( $n_{rollouts}$ ) n'entraîne pas systématiquement de meilleures performances : certaines configurations avec plus de rollouts produisent des scores inférieurs.

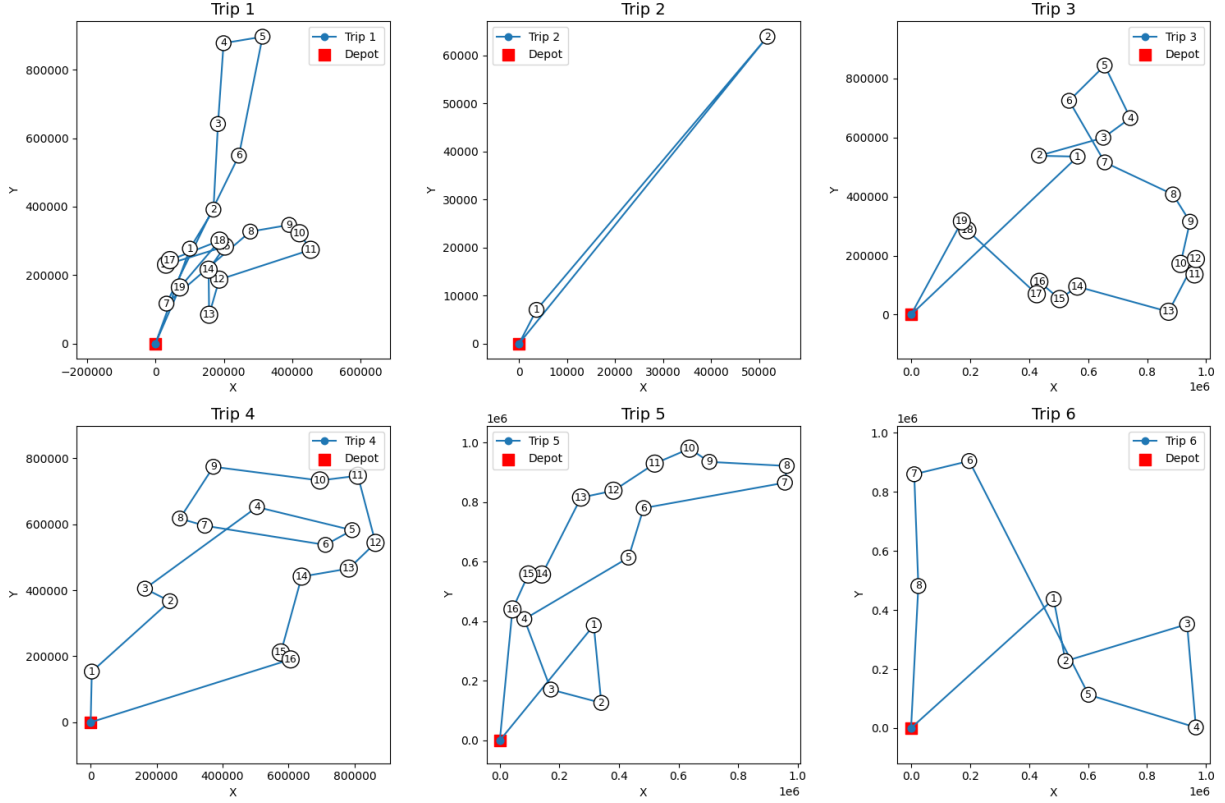
Le paramètre *distance\_bias\_alpha* influence la sélection des colis : des valeurs intermédiaires (6.0) tendent à maximiser le nombre de livraisons dans la fenêtre, tandis que des valeurs trop faibles ou trop élevées réduisent l'efficacité.

Quant à *max\_batch\_size*, bien que des valeurs élevées offrent plus de flexibilité, elles ne garantissent pas systématiquement un meilleur score ni un plus grand nombre de livraisons dans le temps. Les résultats montrent que la performance optimale est obtenue par une **combinaison appropriée de ces trois paramètres**, et non par un paramètre isolé.

Le nombre de colis non livrés demeure faible pour la majorité des configurations (généralement aucun ou tout au plus un colis non livré), ce qui indique que l'algorithme assure globalement une planification efficace des tournées.

Cependant, **une limitation majeure de l'algorithme PBR est son instabilité** : un même *run* avec les mêmes paramètres ne conduit pas nécessairement au même résultat ou au même score. Cette

FIGURE 5 – Itinéraires successifs du drone sous PBR  
(n\_rollouts=400, max\_batch\_size=20, distance\_bias\_alpha=6.0)



instabilité s'explique par la nature stochastique de PBR (Proximity Biased Rollouts) : l'algorithme effectue un grand nombre de rollouts aléatoires pour construire les lots de colis, avec une sélection probabiliste favorisant les colis proches mais restant partiellement aléatoire. Cette composante aléatoire implique que deux exécutions identiques peuvent explorer des séquences différentes, entraînant des scores et des livraisons dans les fenêtres légèrement différents à chaque **run**.

La timeline correspondant à l'une des meilleures solutions (score : -2450) est présentée en Annexe A.3.1, tandis que les trajectoires des six tournées effectuées sont illustrées en Figure 5.

## 5.4 Generalized NRPA

**Algorithme utilisé.** L'algorithme repose sur *GNRPA* (Generalized Nested Rollout Policy Adaptation), une extension de NRPA adaptée aux problèmes séquentiels. À partir d'une politique initiale (vecteur de poids associés à chaque colis), l'algorithme génère des séquences de livraisons (*rollouts*). À chaque étape, le choix du prochain colis est réalisé de manière probabiliste selon une distribution *softmax*, qui combine la politique courante et un biais de distance (favorisant les colis proches) :

$$P(a_i | s) = \frac{\exp\left(\frac{\pi(a_i) - \alpha \cdot d(a_i)}{T}\right)}{\sum_j \exp\left(\frac{\pi(a_j) - \alpha \cdot d(a_j)}{T}\right)},$$

où  $\pi(a_i)$  est le poids courant de l'action  $a_i$ ,  $d(a_i)$  sa distance au drone,  $T$  la température de l'exploration et  $\alpha$  le paramètre de biais de distance.

**Évaluation et adaptation.** Chaque séquence est évaluée par une fonction de score qui récompense les livraisons dans la fenêtre temporelle, pénalise les retards, et applique une forte pénalité aux colis non livrés. La politique est ensuite adaptée selon la règle de mise à jour de NRPA :

FIGURE 6 – Résumé des simulations GNRPA

	Level	N_iter	Temperature	Alpha	Score	Delivered IN	Delivered OUT	Total Delivered	Not Delivered	Total Parcels
0	2	100	0.500000	1.000000	-3150	17	63	80	0	80
1	2	100	0.500000	2.000000	-3150	17	63	80	0	80
2	2	100	0.500000	4.000000	-3250	15	65	80	0	80
3	2	100	1.000000	1.000000	-3250	15	65	80	0	80
4	2	100	1.000000	2.000000	-3300	14	66	80	0	80
5	2	100	1.000000	4.000000	-3200	16	64	80	0	80
6	2	100	2.000000	1.000000	-2850	23	57	80	0	80
7	2	100	2.000000	2.000000	-3400	12	68	80	0	80
8	2	100	2.000000	4.000000	-3000	20	60	80	0	80
9	2	200	0.500000	1.000000	-3150	17	63	80	0	80
10	2	200	0.500000	2.000000	-3300	14	66	80	0	80
11	2	200	0.500000	4.000000	-3250	15	65	80	0	80
12	2	200	1.000000	1.000000	-3250	15	65	80	0	80
13	2	200	1.000000	2.000000	-3250	15	65	80	0	80
14	2	200	1.000000	4.000000	-3200	16	64	80	0	80
15	2	200	2.000000	1.000000	-2900	22	58	80	0	80
16	2	200	2.000000	2.000000	-3200	16	64	80	0	80
17	2	200	2.000000	4.000000	-3150	17	63	80	0	80
18	2	300	0.500000	1.000000	-2850	23	57	80	0	80
19	2	300	0.500000	2.000000	-3200	16	64	80	0	80
20	2	300	0.500000	4.000000	-3200	16	64	80	0	80
21	2	300	1.000000	1.000000	-3250	15	65	80	0	80
22	2	300	1.000000	2.000000	-3150	17	63	80	0	80
23	2	300	1.000000	4.000000	-3100	18	62	80	0	80
24	2	300	2.000000	1.000000	-3050	19	61	80	0	80
25	2	300	2.000000	2.000000	-3100	18	62	80	0	80
26	2	300	2.000000	4.000000	-3150	17	63	80	0	80

$$\pi'_i(a) = \pi_i(a) + \eta \cdot (1[a = a^*] - P_\pi(a \mid s_i)),$$

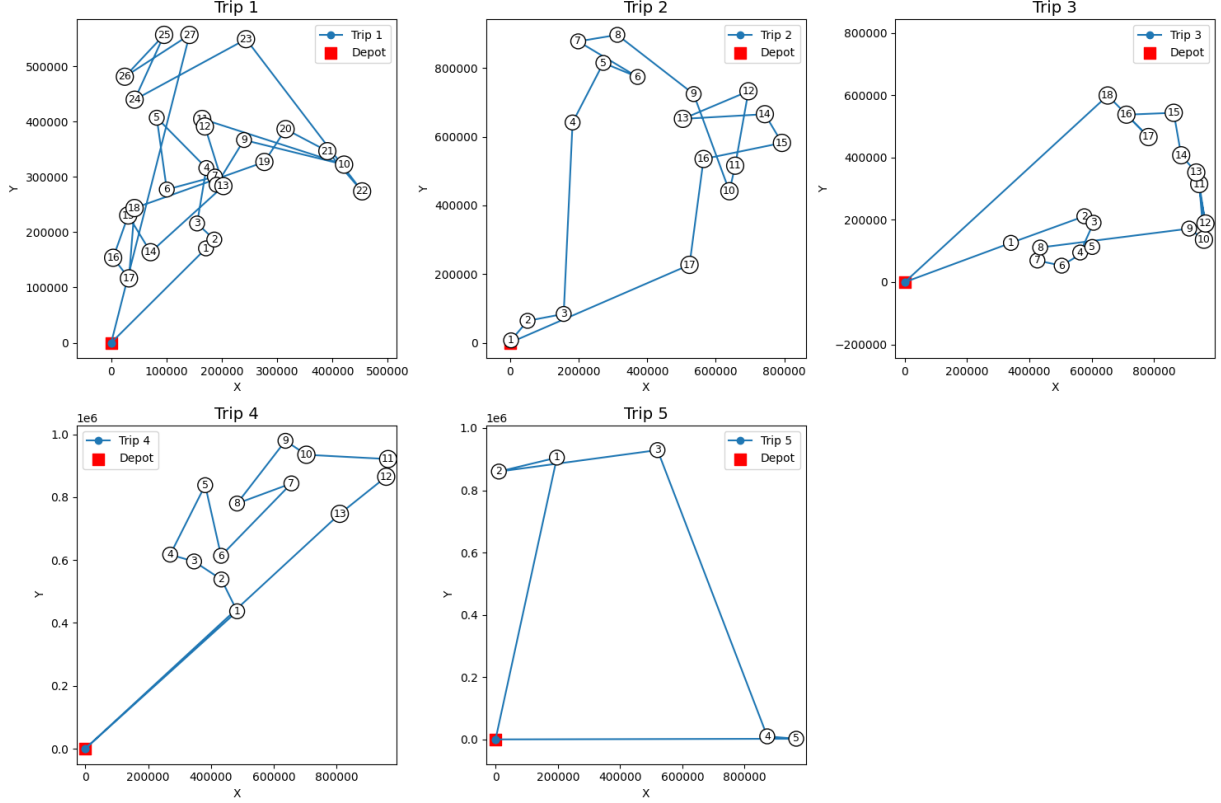
où  $a^*$  désigne l'action choisie dans la meilleure séquence,  $P_\pi(a \mid s_i)$  la probabilité donnée par le softmax, et  $\eta$  le taux d'apprentissage. Cette mise à jour renforce les décisions menant à la meilleure séquence et réduit légèrement les autres probabilités.

**Analyse des résultats.** Les résultats présentés dans la Figure 6 montrent que, pour toutes les configurations testées, **100% des colis sont livrés** (colonne *Total Delivered* = 80, *Not Delivered* = 0). Les différences de performance proviennent donc uniquement de la proportion de livraisons effectuées dans les fenêtres temporelles (*Delivered IN*) par rapport aux livraisons hors fenêtres (*Delivered OUT*). Le score global est directement corrélé à ce ratio : plus le nombre de livraisons dans les délais est élevé, meilleur est le score (moins négatif).

**Impact du nombre d'itérations.** Avec un nombre limité d'itérations ( $N_{\text{iter}} = 100$  ou  $200$ ), les résultats apparaissent plus dispersés, avec un nombre de livraisons dans les temps variant entre 12 et 23. En revanche, lorsque le nombre d'itérations est plus élevé ( $N_{\text{iter}} = 300$ ), les solutions obtenues sont globalement plus stables et de meilleure qualité, atteignant un maximum de 23 livraisons dans les temps (score =  $-2850$ ).

**Impact de la température.** Une température basse ( $T = 0.5$ ) favorise une exploitation plus stricte de la politique courante, ce qui peut mener à des solutions très bonnes (jusqu'à 23 livraisons dans les délais, score  $-2850$ ), mais également à des solutions plus médiocres (14 livraisons seulement, score  $-3300$ ). À l'inverse, une température plus élevée ( $T = 1$  ou  $2$ ) favorise une exploration accrue des trajectoires possibles, mais conduit en moyenne à des résultats légèrement inférieurs (souvent entre 15 et 19 livraisons dans les délais). Cela suggère qu'une trop forte exploration est défavorable dans un contexte où le budget d'itérations est limité.

FIGURE 7 – Itinéraires successifs du drone sous GNRPA



**Impact du paramètre  $\alpha$  (biais de distance).** Un biais modéré ( $\alpha = 1$  ou  $\alpha = 2$ ) permet d'obtenir de meilleurs compromis. En particulier, les deux meilleures performances (23 livraisons dans les temps, score  $-2850$ ) sont atteintes avec ( $N_{\text{iter}} = 100, T = 2, \alpha = 1$ ) et ( $N_{\text{iter}} = 300, T = 0.5, \alpha = 1$ ). En revanche, une valeur trop élevée ( $\alpha = 4$ ) tend à dégrader les résultats, l'algorithme favorisant excessivement les colis proches au détriment de la planification globale.

**Conclusion.** Les meilleurs résultats atteignent un score de  $-2850$ , avec 23 livraisons réalisées dans les fenêtres temporelles. La timeline correspondante est présentée en Annexe A.4.1 et les itinéraires successifs sont présentés en Figure 7. Il est probable que des niveaux supérieurs ( $level > 2$ ) permettraient d'obtenir des résultats meilleurs, mais les contraintes de puissance de calcul ont limité les expériences présentées ici.

## 5.5 Résumé comparatif

TABLE 1 – Comparaison des différentes approches utilisées pour la planification des tournées.

Méthode	START	IN	OUT	NOT	Nb trips	END	Compute time
Greedy	09 :00	24	34	22	6	17 :57	fast
NRPA	09 :00	35	40	5	8	17 :54	slow
PBR	09 :00	26	54	0	6	16 :00	fast
GNRPA	09 :00	24	56	0	5	16 :10	slow

On observe que les méthodes *Greedy* et *PBR* sont rapides à exécuter, mais leur efficacité diffère : *Greedy* laisse un nombre important de colis non livrés, tandis que *PBR* parvient à livrer l'ensemble des colis (même si une partie l'est en dehors des fenêtres temporelles).

L'algorithme *NRPA* obtient le meilleur compromis en termes de livraisons dans les temps (35), mais au prix d'un coût de calcul élevé. Enfin, *GNRPA* atteint des performances similaires à *PBR* (zéro colis non livré) avec une meilleure gestion des retours au dépôt (seulement 5 tournées), mais reste limité par un temps de calcul relativement long.

Ces résultats illustrent le compromis classique entre *qualité des solutions* et *temps de calcul*. En particulier, NRPA et GNRPA montrent un potentiel intéressant pour améliorer le nombre de livraisons effectuées dans les temps, même avec des niveaux de profondeur faibles, mais leur coût computationnel constitue un frein pour des instances de grande taille.

## 6 Conclusion

### Conclusion et perspectives

Dans ce rapport, nous avons évalué plusieurs approches de planification de tournées avec fenêtres temporelles, en comparant notamment des méthodes heuristiques rapides (*Greedy*, *PBR*) et des approches de recherche guidée par apprentissage (*NRPA*, *GNRPA*). Les résultats mettent en évidence le compromis entre qualité des solutions et coût computationnel : les méthodes rapides permettent d’obtenir des solutions satisfaisantes en un temps réduit, tandis que les méthodes plus sophistiquées explorent davantage l’espace des solutions mais au prix d’un temps de calcul élevé.

Plusieurs pistes d’amélioration peuvent être envisagées. Tout d’abord, un meilleur calibrage des pénalités pourrait améliorer la qualité des solutions. Dans ce travail, nous avons choisi une pénalité fixe de  $-100$  pour un colis non livré et de  $-50$  pour une livraison hors fenêtre, mais ces valeurs auraient pu être ajustées pour inciter plus fortement les algorithmes à respecter les contraintes temporelles. Par exemple, accroître l’écart entre ces deux pénalités permettrait de privilégier les livraisons dans les temps au détriment de la couverture globale.

De plus, une alternative intéressante serait de définir une pénalité proportionnelle au retard ou à l’avance par rapport à la fenêtre de livraison, plutôt que des valeurs fixes. Cela permettrait de mieux modéliser la réalité opérationnelle et de guider plus finement l’algorithme dans ses choix.

Enfin, des expérimentations avec des niveaux de profondeur plus élevés dans GNRPA, spécifiquement adaptée au *Vehicle Routing Problems with Time Windows*, pourraient offrir des améliorations significatives, bien que contraintes par la puissance de calcul disponible. L’exploration de techniques hybrides, combinant heuristiques rapides et apprentissage guidé, constitue également une piste prometteuse pour traiter efficacement des instances de grande taille.

## A Annexes

### A.1 Greedy Summary

#### A.1.1 Résumé des résultats de l'algorithme et chronologie des actions du drone

**Final results :**

- Final time : 18 :57 (597.2 minutes since 09 :00)
- Delivered in-window : 24
- Delivered out-window : 34
- Not delivered : 22
- Score : -3900
- Timeline entries : 82

**Timeline :**

- 09 :00 – Depart sortie#1 with parcels [9, 2, 3, 4, 7, 5, 8, 6, 0, 1, 13, 29, 20, 43, 64, 73].
- 09 :02 – Delivered parcel 9 (1.03 kg) with window 09 :00–11 :00.
- 09 :03 – Delivered parcel 2 (0.77 kg) with window 09 :00–11 :00.
- 09 :04 – Delivered parcel 3 (1.15 kg) with window 09 :00–11 :00.
- 09 :07 – Delivered parcel 4 (0.29 kg) with window 09 :00–11 :00.
- 09 :12 – Delivered parcel 7 (1.92 kg) with window 09 :00–11 :00.
- 09 :13 – Delivered parcel 5 (1.15 kg) with window 09 :00–11 :00.
- 09 :15 – Delivered parcel 8 (1.96 kg) with window 09 :00–11 :00.
- 09 :17 – Delivered parcel 6 (1.13 kg) with window 09 :00–11 :00.
- 09 :21 – Delivered parcel 0 (0.86 kg) with window 09 :00–11 :00.
- 09 :24 – Delivered parcel 1 (1.66 kg) with window 09 :00–11 :00.
- 09 :33 – Delivered parcel 13 (1.50 kg) with window 10 :00–12 :00.
- 09 :34 – Delivered parcel 29 (0.68 kg) with window 11 :00–13 :00.
- 09 :36 – Delivered parcel 20 (0.69 kg) with window 11 :00–13 :00.
- 09 :37 – Delivered parcel 43 (1.06 kg) with window 13 :00–15 :00.
- 09 :38 – Delivered parcel 64 (1.28 kg) with window 15 :00–17 :00.
- 09 :38 – Delivered parcel 73 (1.87 kg) with window 16 :00–18 :00.
- 09 :39 – Returned to depot. Battery remaining :aining :aining : 0.1 min. Recharge start.
- 10 :39 – Recharge end.
- 10 :39 – Depart sortie#2 with parcels [15, 16, 11, 18, 17, 10, 25, 28, 27, 39].
- 10 :43 – Delivered parcel 15 (1.55 kg) with window 10 :00–12 :00.
- 10 :46 – Delivered parcel 16 (0.24 kg) with window 10 :00–12 :00.
- 10 :52 – Delivered parcel 11 (0.72 kg) with window 10 :00–12 :00.
- 10 :54 – Delivered parcel 18 (1.49 kg) with window 10 :00–12 :00.
- 10 :59 – Delivered parcel 17 (1.78 kg) with window 10 :00–12 :00.
- 11 :07 – Delivered parcel 10 (1.45 kg) with window 10 :00–12 :00.
- 11 :13 – Delivered parcel 25 (0.13 kg) with window 11 :00–13 :00.
- 11 :13 – Delivered parcel 28 (1.10 kg) with window 11 :00–13 :00.
- 11 :14 – Delivered parcel 27 (0.34 kg) with window 11 :00–13 :00.
- 11 :17 – Delivered parcel 39 (0.28 kg) with window 12 :00–14 :00.
- 11 :19 – Returned to depot. Battery remaining :aining :aining : 0.4 min. Recharge start.
- 12 :19 – Recharge end.
- 12 :19 – Depart sortie#3 with parcels [12, 14, 19, 21, 30, 46, 70].
- 12 :28 – Delivered parcel 12 (0.71 kg) with window 10 :00–12 :00.
- 12 :35 – Delivered parcel 14 (1.88 kg) with window 10 :00–12 :00.
- 12 :42 – Delivered parcel 19 (1.21 kg) with window 10 :00–12 :00.
- 12 :49 – Delivered parcel 21 (0.28 kg) with window 11 :00–13 :00.
- 12 :54 – Delivered parcel 30 (1.44 kg) with window 12 :00–14 :00.
- 12 :55 – Delivered parcel 46 (1.61 kg) with window 13 :00–15 :00.
- 12 :56 – Delivered parcel 70 (0.57 kg) with window 16 :00–18 :00.
- 12 :59 – Returned to depot. Battery remaining :aining :aining : 0.4 min. Recharge start.

- 13 :59 – Recharge end.
- 13 :59 – Depart sortie#4 with parcels [23, 26, 24, 22, 37, 36, 34, 41, 51].
- 14 :05 – Delivered parcel 23 (1.36 kg) with window 11 :00–13 :00.
- 14 :14 – Delivered parcel 26 (1.97 kg) with window 11 :00–13 :00.
- 14 :15 – Delivered parcel 24 (0.90 kg) with window 11 :00–13 :00.
- 14 :20 – Delivered parcel 22 (1.49 kg) with window 11 :00–13 :00.
- 14 :25 – Delivered parcel 37 (1.85 kg) with window 12 :00–14 :00.
- 14 :27 – Delivered parcel 36 (0.69 kg) with window 12 :00–14 :00.
- 14 :29 – Delivered parcel 34 (1.53 kg) with window 12 :00–14 :00.
- 14 :35 – Delivered parcel 41 (0.50 kg) with window 13 :00–15 :00.
- 14 :36 – Delivered parcel 51 (0.39 kg) with window 14 :00–16 :00.
- 14 :38 – Returned to depot. Battery remaining :aining :aining : 0.5 min. Recharge start.
- 15 :38 – Recharge end.
- 15 :38 – Depart sortie#5 with parcels [35, 33, 31, 38, 32, 47, 42, 48, 50, 68].
- 15 :46 – Delivered parcel 35 (0.17 kg) with window 12 :00–14 :00.
- 15 :47 – Delivered parcel 33 (0.77 kg) with window 12 :00–14 :00.
- 15 :51 – Delivered parcel 31 (1.99 kg) with window 12 :00–14 :00.
- 15 :57 – Delivered parcel 38 (0.76 kg) with window 12 :00–14 :00.
- 15 :59 – Delivered parcel 32 (1.59 kg) with window 12 :00–14 :00.
- 16 :06 – Delivered parcel 47 (1.03 kg) with window 13 :00–15 :00.
- 16 :08 – Delivered parcel 42 (0.61 kg) with window 13 :00–15 :00.
- 16 :11 – Delivered parcel 48 (1.59 kg) with window 13 :00–15 :00.
- 16 :13 – Delivered parcel 50 (0.41 kg) with window 14 :00–16 :00.
- 16 :14 – Delivered parcel 68 (0.93 kg) with window 15 :00–17 :00.
- 16 :18 – Returned to depot. Battery remaining :aining :aining : 0.1 min. Recharge start.
- 17 :18 – Recharge end.
- 17 :18 – Depart sortie#6 with parcels [40, 44, 45, 49, 54, 69].
- 17 :28 – Delivered parcel 40 (1.01 kg) with window 13 :00–15 :00.
- 17 :35 – Delivered parcel 44 (0.06 kg) with window 13 :00–15 :00.
- 17 :36 – Delivered parcel 45 (0.41 kg) with window 13 :00–15 :00.
- 17 :40 – Delivered parcel 49 (0.41 kg) with window 13 :00–15 :00.
- 17 :50 – Delivered parcel 54 (1.40 kg) with window 14 :00–16 :00.
- 17 :52 – Delivered parcel 69 (1.49 kg) with window 15 :00–17 :00.
- 17 :57 – Returned to depot. Battery remaining :aining :aining : 1.3 min. Recharge start.
- 18 :57 – Recharge end.

## A.2 NRPA Summary

### A.2.1 Résumé des résultats de l’algorithme et chronologie des actions du drone

#### Final results :

- Final time : 18 :57 (597.2 minutes since 09 :00)
- Delivered in-window : 24
- Delivered out-window : 34
- Not delivered : 22
- Score : -3900
- Timeline entries : 82

#### Timeline :

- 09 :00 - [NRPA] Depart sortie#1 with [2, 68, 46, 78, 25, 4, 75, 30, 7, 3, 51, 15, 9, 48, 50]
- 09 :03 - [NRPA] Delivered parcel 2 (0.77 kg) with window 09 :00–11 :00
- 09 :04 - [NRPA] Delivered parcel 68 (0.93 kg) with window 15 :00–17 :00
- 09 :06 - [NRPA] Delivered parcel 46 (1.61 kg) with window 13 :00–15 :00
- 09 :08 - [NRPA] Delivered parcel 78 (0.20 kg) with window 16 :00–18 :00
- 09 :10 - [NRPA] Delivered parcel 25 (0.13 kg) with window 11 :00–13 :00



- 09 :13 - [NRPA] Delivered parcel 4 (0.29 kg) with window 09 :00-11 :00
- 09 :15 - [NRPA] Delivered parcel 75 (0.82 kg) with window 16 :00-18 :00
- 09 :17 - [NRPA] Delivered parcel 30 (1.44 kg) with window 12 :00-14 :00
- 09 :18 - [NRPA] Delivered parcel 7 (1.92 kg) with window 09 :00-11 :00
- 09 :20 - [NRPA] Delivered parcel 3 (1.15 kg) with window 09 :00-11 :00
- 09 :22 - [NRPA] Delivered parcel 51 (0.39 kg) with window 14 :00-16 :00
- 09 :23 - [NRPA] Delivered parcel 15 (1.55 kg) with window 10 :00-12 :00
- 09 :24 - [NRPA] Delivered parcel 9 (1.03 kg) with window 09 :00-11 :00
- 09 :28 - [NRPA] Delivered parcel 48 (1.59 kg) with window 13 :00-15 :00
- 09 :29 - [NRPA] Delivered parcel 50 (0.41 kg) with window 14 :00-16 :00
- 09 :35 - [NRPA] Returned to depot. Battery remaining :aining : 4.8 min.
- 09 :35 - [NRPA] Depart sortie#2 with [13, 29, 73, 43, 64]
- 09 :35 - [NRPA] Delivered parcel 13 (1.50 kg) with window 10 :00-12 :00
- 09 :36 - [NRPA] Delivered parcel 29 (0.68 kg) with window 11 :00-13 :00
- 09 :36 - [NRPA] Delivered parcel 73 (1.87 kg) with window 16 :00-18 :00
- 09 :37 - [NRPA] Delivered parcel 43 (1.06 kg) with window 13 :00-15 :00
- 09 :37 - [NRPA] Delivered parcel 64 (1.28 kg) with window 15 :00-17 :00
- 09 :39 - [NRPA] Returned to depot. Battery remaining :aining : 0.5 min. Recharge start.
- 10 :39 - [NRPA] Recharge end
- 10 :39 - [NRPA] Depart sortie#3 with [79, 11, 28, 53, 6, 18, 8, 62, 1, 5, 12, 67, 21, 16]
- 10 :43 - [NRPA] Delivered parcel 79 (1.58 kg) with window 16 :00-18 :00
- 10 :44 - [NRPA] Delivered parcel 11 (0.72 kg) with window 10 :00-12 :00
- 10 :45 - [NRPA] Delivered parcel 28 (1.10 kg) with window 11 :00-13 :00
- 10 :48 - [NRPA] Delivered parcel 53 (1.79 kg) with window 14 :00-16 :00
- 10 :51 - [NRPA] Delivered parcel 6 (1.13 kg) with window 09 :00-11 :00
- 10 :54 - [NRPA] Delivered parcel 18 (1.49 kg) with window 10 :00-12 :00
- 10 :55 - [NRPA] Delivered parcel 8 (1.96 kg) with window 09 :00-11 :00
- 10 :58 - [NRPA] Delivered parcel 62 (0.88 kg) with window 15 :00-17 :00
- 10 :59 - [NRPA] Delivered parcel 1 (1.66 kg) with window 09 :00-11 :00
- 11 :02 - [NRPA] Delivered parcel 5 (1.15 kg) with window 09 :00-11 :00
- 11 :05 - [NRPA] Delivered parcel 12 (0.71 kg) with window 10 :00-12 :00
- 11 :09 - [NRPA] Delivered parcel 67 (1.39 kg) with window 15 :00-17 :00
- 11 :11 - [NRPA] Delivered parcel 21 (0.28 kg) with window 11 :00-13 :00
- 11 :12 - [NRPA] Delivered parcel 16 (0.24 kg) with window 10 :00-12 :00
- 11 :17 - [NRPA] Returned to depot. Battery remaining :aining : 2.3 min. Recharge start.
- 12 :17 - [NRPA] Recharge end
- 12 :17 - [NRPA] Depart sortie#4 with [39, 47, 36, 66, 56, 23, 34, 38, 32, 22, 65, 59, 33, 77]
- 12 :18 - [NRPA] Delivered parcel 39 (0.28 kg) with window 12 :00-14 :00
- 12 :21 - [NRPA] Delivered parcel 47 (1.03 kg) with window 13 :00-15 :00
- 12 :25 - [NRPA] Delivered parcel 36 (0.69 kg) with window 12 :00-14 :00
- 12 :27 - [NRPA] Delivered parcel 66 (0.12 kg) with window 15 :00-17 :00
- 12 :29 - [NRPA] Delivered parcel 56 (0.43 kg) with window 14 :00-16 :00
- 12 :33 - [NRPA] Delivered parcel 23 (1.36 kg) with window 11 :00-13 :00
- 12 :35 - [NRPA] Delivered parcel 34 (1.53 kg) with window 12 :00-14 :00
- 12 :37 - [NRPA] Delivered parcel 38 (0.76 kg) with window 12 :00-14 :00
- 12 :38 - [NRPA] Delivered parcel 32 (1.59 kg) with window 12 :00-14 :00
- 12 :40 - [NRPA] Delivered parcel 22 (1.49 kg) with window 11 :00-13 :00
- 12 :41 - [NRPA] Delivered parcel 65 (0.77 kg) with window 15 :00-17 :00
- 12 :43 - [NRPA] Delivered parcel 59 (0.62 kg) with window 14 :00-16 :00
- 12 :45 - [NRPA] Delivered parcel 33 (0.77 kg) with window 12 :00-14 :00
- 12 :47 - [NRPA] Delivered parcel 77 (1.47 kg) with window 16 :00-18 :00
- 12 :56 - [NRPA] Returned to depot. Battery remaining :aining : 0.2 min. Recharge start.
- 13 :56 - [NRPA] Recharge end

- 13 :56 - [NRPA] Depart sortie#5 with [57, 55, 44, 60, 52, 40, 17, 35, 42, 54, 20]
- 14 :02 - [NRPA] Delivered parcel 57 (0.44 kg) with window 14 :00-16 :00
- 14 :06 - [NRPA] Delivered parcel 55 (0.18 kg) with window 14 :00-16 :00
- 14 :08 - [NRPA] Delivered parcel 44 (0.06 kg) with window 13 :00-15 :00
- 14 :10 - [NRPA] Delivered parcel 60 (1.40 kg) with window 15 :00-17 :00
- 14 :14 - [NRPA] Delivered parcel 52 (1.17 kg) with window 14 :00-16 :00
- 14 :16 - [NRPA] Delivered parcel 40 (1.01 kg) with window 13 :00-15 :00
- 14 :20 - [NRPA] Delivered parcel 17 (1.78 kg) with window 10 :00-12 :00
- 14 :23 - [NRPA] Delivered parcel 35 (0.17 kg) with window 12 :00-14 :00
- 14 :27 - [NRPA] Delivered parcel 42 (0.61 kg) with window 13 :00-15 :00
- 14 :29 - [NRPA] Delivered parcel 54 (1.40 kg) with window 14 :00-16 :00
- 14 :33 - [NRPA] Delivered parcel 20 (0.69 kg) with window 11 :00-13 :00
- 14 :35 - [NRPA] Returned to depot. Battery remaining :aining : 1.3 min. Recharge start.
- 15 :35 - [NRPA] Recharge end
- 15 :35 - [NRPA] Depart sortie#6 with [69, 26, 63, 61, 58, 27, 37]
- 15 :40 - [NRPA] Delivered parcel 69 (1.49 kg) with window 15 :00-17 :00
- 15 :44 - [NRPA] Delivered parcel 26 (1.97 kg) with window 11 :00-13 :00
- 15 :47 - [NRPA] Delivered parcel 63 (1.06 kg) with window 15 :00-17 :00
- 15 :55 - [NRPA] Delivered parcel 61 (1.61 kg) with window 15 :00-17 :00
- 15 :57 - [NRPA] Delivered parcel 58 (1.79 kg) with window 14 :00-16 :00
- 15 :59 - [NRPA] Delivered parcel 27 (0.34 kg) with window 11 :00-13 :00
- 16 :03 - [NRPA] Delivered parcel 37 (1.85 kg) with window 12 :00-14 :00
- 16 :09 - [NRPA] Returned to depot. Battery remaining :aining : 5.9 min. Time 16 :09
- 16 :09 - [NRPA] Depart sortie#7 with [41]
- 16 :12 - [NRPA] Delivered parcel 41 (0.50 kg) with window 13 :00-15 :00
- 16 :14 - [NRPA] Returned to depot. Battery remaining :aining : 1.0 min. Recharge start.
- 17 :14 - [NRPA] Recharge end
- 17 :14 - [NRPA] Depart sortie#8 with [70, 14, 31, 24, 76, 71, 19, 49]
- 17 :16 - [NRPA] Delivered parcel 70 (0.57 kg) with window 16 :00-18 :00
- 17 :25 - [NRPA] Delivered parcel 14 (1.88 kg) with window 10 :00-12 :00
- 17 :26 - [NRPA] Delivered parcel 31 (1.99 kg) with window 12 :00-14 :00
- 17 :26 - [NRPA] Delivered parcel 24 (0.90 kg) with window 11 :00-13 :00
- 17 :28 - [NRPA] Delivered parcel 76 (0.73 kg) with window 16 :00-18 :00
- 17 :31 - [NRPA] Delivered parcel 71 (0.72 kg) with window 16 :00-18 :00
- 17 :40 - [NRPA] Delivered parcel 19 (1.21 kg) with window 10 :00-12 :00
- 17 :40 - [NRPA] Delivered parcel 49 (0.41 kg) with window 13 :00-15 :00
- 17 :54 - [NRPA] Returned to depot. Battery remaining :aining : 0.3 min. Recharge start.
- 18 :54 - [NRPA] Recharge end

### A.3 PBR Summary

#### A.3.1 Résumé des résultats de l'algorithme et chronologie des actions du drone

##### Final results :

- Final time : 16 :15 (minutes since 09 :00 : 435.5)
- Delivered in-window : 31
- Delivered out-window : 49
- Not delivered : 0
- Score : -2450
- Timeline entries : 100

##### Timeline :

- 09 :00 - [PBR] Depart sortie#1 with [46, 3, 5, 10, 1, 18, 73, 68, 50, 67, 4, 51, 39, 9, 2, 70, 20, 15, 64]
- 09 :02 - [PBR] Delivered parcel 46 (1.61 kg) with window 13 :00-15 :00

- 09 :04 - [PBR] Delivered parcel 3 (1.15 kg) with window 09 :00-11 :00
- 09 :06 - [PBR] Delivered parcel 5 (1.15 kg) with window 09 :00-11 :00
- 09 :09 - [PBR] Delivered parcel 10 (1.45 kg) with window 10 :00-12 :00
- 09 :10 - [PBR] Delivered parcel 1 (1.66 kg) with window 09 :00-11 :00
- 09 :13 - [PBR] Delivered parcel 18 (1.49 kg) with window 10 :00-12 :00
- 09 :18 - [PBR] Delivered parcel 73 (1.87 kg) with window 16 :00-18 :00
- 09 :21 - [PBR] Delivered parcel 68 (0.93 kg) with window 15 :00-17 :00
- 09 :23 - [PBR] Delivered parcel 50 (0.41 kg) with window 14 :00-16 :00
- 09 :23 - [PBR] Delivered parcel 67 (1.39 kg) with window 15 :00-17 :00
- 09 :24 - [PBR] Delivered parcel 4 (0.29 kg) with window 09 :00-11 :00
- 09 :26 - [PBR] Delivered parcel 51 (0.39 kg) with window 14 :00-16 :00
- 09 :27 - [PBR] Delivered parcel 39 (0.28 kg) with window 12 :00-14 :00
- 09 :29 - [PBR] Delivered parcel 9 (1.03 kg) with window 09 :00-11 :00
- 09 :30 - [PBR] Delivered parcel 2 (0.77 kg) with window 09 :00-11 :00
- 09 :31 - [PBR] Delivered parcel 70 (0.57 kg) with window 16 :00-18 :00
- 09 :32 - [PBR] Delivered parcel 20 (0.69 kg) with window 11 :00-13 :00
- 09 :33 - [PBR] Delivered parcel 15 (1.55 kg) with window 10 :00-12 :00
- 09 :35 - [PBR] Delivered parcel 64 (1.28 kg) with window 15 :00-17 :00
- 09 :37 - [PBR] Returned to depot. Battery remaining :aining : 2.8 min.
- 09 :37 - [PBR] Depart sortie#2 with [13, 29]
- 09 :37 - [PBR] Delivered parcel 13 (1.50 kg) with window 10 :00-12 :00
- 09 :38 - [PBR] Delivered parcel 29 (0.68 kg) with window 11 :00-13 :00
- 09 :38 - [PBR] Returned to depot. Battery remaining :aining : 1.2 min.
- 09 :38 - [PBR] Recharge start due to insufficient battery (1.2 j 3.1)
- 10 :38 - [PBR] Recharge end
- 10 :38 - [PBR] Depart sortie#3 with [59, 53, 56, 65, 72, 12, 35, 77, 76, 14, 24, 31, 26, 42, 69, 16, 47, 75, 25]
- 10 :46 - [PBR] Delivered parcel 59 (0.62 kg) with window 14 :00-16 :00
- 10 :47 - [PBR] Delivered parcel 53 (1.79 kg) with window 14 :00-16 :00
- 10 :50 - [PBR] Delivered parcel 56 (0.43 kg) with window 14 :00-16 :00
- 10 :51 - [PBR] Delivered parcel 65 (0.77 kg) with window 15 :00-17 :00
- 10 :53 - [PBR] Delivered parcel 72 (1.37 kg) with window 16 :00-18 :00
- 10 :54 - [PBR] Delivered parcel 12 (0.71 kg) with window 10 :00-12 :00
- 10 :57 - [PBR] Delivered parcel 35 (0.17 kg) with window 12 :00-14 :00
- 10 :59 - [PBR] Delivered parcel 77 (1.47 kg) with window 16 :00-18 :00
- 11 :01 - [PBR] Delivered parcel 76 (0.73 kg) with window 16 :00-18 :00
- 11 :02 - [PBR] Delivered parcel 14 (1.88 kg) with window 10 :00-12 :00
- 11 :03 - [PBR] Delivered parcel 24 (0.90 kg) with window 11 :00-13 :00
- 11 :03 - [PBR] Delivered parcel 31 (1.99 kg) with window 12 :00-14 :00
- 11 :05 - [PBR] Delivered parcel 26 (1.97 kg) with window 11 :00-13 :00
- 11 :08 - [PBR] Delivered parcel 42 (0.61 kg) with window 13 :00-15 :00
- 11 :09 - [PBR] Delivered parcel 69 (1.49 kg) with window 15 :00-17 :00
- 11 :10 - [PBR] Delivered parcel 16 (0.24 kg) with window 10 :00-12 :00
- 11 :10 - [PBR] Delivered parcel 47 (1.03 kg) with window 13 :00-15 :00
- 11 :14 - [PBR] Delivered parcel 75 (0.82 kg) with window 16 :00-18 :00
- 11 :14 - [PBR] Delivered parcel 25 (0.13 kg) with window 11 :00-13 :00
- 11 :18 - [PBR] Returned to depot. Battery remaining :aining : 0.8 min. Recharge start.
- 12 :18 - [PBR] Recharge end
- 12 :18 - [PBR] Depart sortie#4 with [43, 27, 28, 34, 22, 33, 58, 23, 6, 38, 32, 52, 66, 36, 37, 17]
- 12 :19 - [PBR] Delivered parcel 43 (1.06 kg) with window 13 :00-15 :00
- 12 :22 - [PBR] Delivered parcel 27 (0.34 kg) with window 11 :00-13 :00
- 12 :23 - [PBR] Delivered parcel 28 (1.10 kg) with window 11 :00-13 :00
- 12 :27 - [PBR] Delivered parcel 34 (1.53 kg) with window 12 :00-14 :00

- 12 :30 - [PBR] Delivered parcel 22 (1.49 kg) with window 11 :00-13 :00
- 12 :31 - [PBR] Delivered parcel 33 (0.77 kg) with window 12 :00-14 :00
- 12 :35 - [PBR] Delivered parcel 58 (1.79 kg) with window 14 :00-16 :00
- 12 :36 - [PBR] Delivered parcel 23 (1.36 kg) with window 11 :00-13 :00
- 12 :38 - [PBR] Delivered parcel 6 (1.13 kg) with window 09 :00-11 :00
- 12 :41 - [PBR] Delivered parcel 38 (0.76 kg) with window 12 :00-14 :00
- 12 :42 - [PBR] Delivered parcel 32 (1.59 kg) with window 12 :00-14 :00
- 12 :44 - [PBR] Delivered parcel 52 (1.17 kg) with window 14 :00-16 :00
- 12 :45 - [PBR] Delivered parcel 66 (0.12 kg) with window 15 :00-17 :00
- 12 :47 - [PBR] Delivered parcel 36 (0.69 kg) with window 12 :00-14 :00
- 12 :49 - [PBR] Delivered parcel 37 (1.85 kg) with window 12 :00-14 :00
- 12 :49 - [PBR] Delivered parcel 17 (1.78 kg) with window 10 :00-12 :00
- 12 :56 - [PBR] Returned to depot. Battery remaining :aining : 1.8 min. Recharge start.
- 13 :56 - [PBR] Recharge end
- 13 :56 - [PBR] Depart sortie#5 with [78, 54, 41, 30, 8, 55, 19, 49, 60, 45, 44, 62, 61, 57, 7, 79]
- 14 :01 - [PBR] Delivered parcel 78 (0.20 kg) with window 16 :00-18 :00
- 14 :03 - [PBR] Delivered parcel 54 (1.40 kg) with window 14 :00-16 :00
- 14 :05 - [PBR] Delivered parcel 41 (0.50 kg) with window 13 :00-15 :00
- 14 :08 - [PBR] Delivered parcel 30 (1.44 kg) with window 12 :00-14 :00
- 14 :12 - [PBR] Delivered parcel 8 (1.96 kg) with window 09 :00-11 :00
- 14 :13 - [PBR] Delivered parcel 55 (0.18 kg) with window 14 :00-16 :00
- 14 :18 - [PBR] Delivered parcel 19 (1.21 kg) with window 10 :00-12 :00
- 14 :19 - [PBR] Delivered parcel 49 (0.41 kg) with window 13 :00-15 :00
- 14 :21 - [PBR] Delivered parcel 60 (1.40 kg) with window 15 :00-17 :00
- 14 :22 - [PBR] Delivered parcel 45 (0.41 kg) with window 13 :00-15 :00
- 14 :24 - [PBR] Delivered parcel 44 (0.06 kg) with window 13 :00-15 :00
- 14 :25 - [PBR] Delivered parcel 62 (0.88 kg) with window 15 :00-17 :00
- 14 :26 - [PBR] Delivered parcel 61 (1.61 kg) with window 15 :00-17 :00
- 14 :29 - [PBR] Delivered parcel 57 (0.44 kg) with window 14 :00-16 :00
- 14 :30 - [PBR] Delivered parcel 7 (1.92 kg) with window 09 :00-11 :00
- 14 :31 - [PBR] Delivered parcel 79 (1.58 kg) with window 16 :00-18 :00
- 14 :35 - [PBR] Returned to depot. Battery remaining :aining : 0.4 min. Recharge start.
- 15 :35 - [PBR] Recharge end
- 15 :35 - [PBR] Depart sortie#6 with [48, 21, 40, 71, 63, 74, 0, 11]
- 15 :42 - [PBR] Delivered parcel 48 (1.59 kg) with window 13 :00-15 :00
- 15 :44 - [PBR] Delivered parcel 21 (0.28 kg) with window 11 :00-13 :00
- 15 :48 - [PBR] Delivered parcel 40 (1.01 kg) with window 13 :00-15 :00
- 15 :52 - [PBR] Delivered parcel 71 (0.72 kg) with window 16 :00-18 :00
- 15 :56 - [PBR] Delivered parcel 63 (1.06 kg) with window 15 :00-17 :00
- 16 :05 - [PBR] Delivered parcel 74 (1.23 kg) with window 16 :00-18 :00
- 16 :06 - [PBR] Delivered parcel 0 (0.86 kg) with window 09 :00-11 :00
- 16 :10 - [PBR] Delivered parcel 11 (0.72 kg) with window 10 :00-12 :00
- 16 :15 - [PBR] Returned to depot. Battery remaining :aining : 0.3 min. Time 16 :15

## A.4 GNRPA Summary

### A.4.1 Résumé des résultats de l'algorithme et chronologie des actions du drone

#### Final results :

- Final time : 16 :10 (minutes since 09 :00 : 430.2)
- Delivered in-window : 24
- Delivered out-window : 56
- Not delivered : 0
- Score : -2800

**Timeline :**

- 09 :00 - [GNRPA] Depart sortie#1 with [41, 51, 9, 25, 30, 46, 15, 75, 27, 67, 28, 3, 2, 64, 70, 43, 73, 20, 68, 78, 50, 4, 18, 79, 7, 11, 57]
- 09 :02 - [GNRPA] Delivered parcel 41 (0.50 kg) with window 13 :00-15 :00
- 09 :02 - [GNRPA] Delivered parcel 51 (0.39 kg) with window 14 :00-16 :00
- 09 :03 - [GNRPA] Delivered parcel 9 (1.03 kg) with window 09 :00-11 :00
- 09 :04 - [GNRPA] Delivered parcel 25 (0.13 kg) with window 11 :00-13 :00
- 09 :05 - [GNRPA] Delivered parcel 30 (1.44 kg) with window 12 :00-14 :00
- 09 :06 - [GNRPA] Delivered parcel 46 (1.61 kg) with window 13 :00-15 :00
- 09 :07 - [GNRPA] Delivered parcel 15 (1.55 kg) with window 10 :00-12 :00
- 09 :07 - [GNRPA] Delivered parcel 75 (0.82 kg) with window 16 :00-18 :00
- 09 :08 - [GNRPA] Delivered parcel 27 (0.34 kg) with window 11 :00-13 :00
- 09 :10 - [GNRPA] Delivered parcel 67 (1.39 kg) with window 15 :00-17 :00
- 09 :13 - [GNRPA] Delivered parcel 28 (1.10 kg) with window 11 :00-13 :00
- 09 :13 - [GNRPA] Delivered parcel 3 (1.15 kg) with window 09 :00-11 :00
- 09 :14 - [GNRPA] Delivered parcel 2 (0.77 kg) with window 09 :00-11 :00
- 09 :16 - [GNRPA] Delivered parcel 64 (1.28 kg) with window 15 :00-17 :00
- 09 :17 - [GNRPA] Delivered parcel 70 (0.57 kg) with window 16 :00-18 :00
- 09 :17 - [GNRPA] Delivered parcel 43 (1.06 kg) with window 13 :00-15 :00
- 09 :18 - [GNRPA] Delivered parcel 73 (1.87 kg) with window 16 :00-18 :00
- 09 :19 - [GNRPA] Delivered parcel 20 (0.69 kg) with window 11 :00-13 :00
- 09 :22 - [GNRPA] Delivered parcel 68 (0.93 kg) with window 15 :00-17 :00
- 09 :22 - [GNRPA] Delivered parcel 78 (0.20 kg) with window 16 :00-18 :00
- 09 :23 - [GNRPA] Delivered parcel 50 (0.41 kg) with window 14 :00-16 :00
- 09 :24 - [GNRPA] Delivered parcel 4 (0.29 kg) with window 09 :00-11 :00
- 09 :28 - [GNRPA] Delivered parcel 18 (1.49 kg) with window 10 :00-12 :00
- 09 :30 - [GNRPA] Delivered parcel 79 (1.58 kg) with window 16 :00-18 :00
- 09 :31 - [GNRPA] Delivered parcel 7 (1.92 kg) with window 09 :00-11 :00
- 09 :32 - [GNRPA] Delivered parcel 11 (0.72 kg) with window 10 :00-12 :00
- 09 :34 - [GNRPA] Delivered parcel 57 (0.44 kg) with window 14 :00-16 :00
- 09 :39 - [GNRPA] Returned to depot. Battery remaining : 0.1 min. Time 09 :39
- 09 :39 - [GNRPA] Recharge start due to insufficient battery (0.1 < 0.2)
- 10 :39 - [GNRPA] Recharge end
- 10 :39 - [GNRPA] Depart sortie#2 with [13, 29, 39, 5, 61, 6, 10, 1, 12, 36, 35, 38, 34, 65, 22, 59, 21]
- 10 :39 - [GNRPA] Delivered parcel 13 (1.50 kg) with window 10 :00-12 :00
- 10 :40 - [GNRPA] Delivered parcel 29 (0.68 kg) with window 11 :00-13 :00
- 10 :41 - [GNRPA] Delivered parcel 39 (0.28 kg) with window 12 :00-14 :00
- 10 :47 - [GNRPA] Delivered parcel 5 (1.15 kg) with window 09 :00-11 :00
- 10 :49 - [GNRPA] Delivered parcel 61 (1.61 kg) with window 15 :00-17 :00
- 10 :50 - [GNRPA] Delivered parcel 6 (1.13 kg) with window 09 :00-11 :00
- 10 :52 - [GNRPA] Delivered parcel 10 (1.45 kg) with window 10 :00-12 :00
- 10 :53 - [GNRPA] Delivered parcel 1 (1.66 kg) with window 09 :00-11 :00
- 10 :56 - [GNRPA] Delivered parcel 12 (0.71 kg) with window 10 :00-12 :00
- 10 :59 - [GNRPA] Delivered parcel 36 (0.69 kg) with window 12 :00-14 :00
- 11 :00 - [GNRPA] Delivered parcel 35 (0.17 kg) with window 12 :00-14 :00
- 11 :02 - [GNRPA] Delivered parcel 38 (0.76 kg) with window 12 :00-14 :00
- 11 :04 - [GNRPA] Delivered parcel 34 (1.53 kg) with window 12 :00-14 :00
- 11 :06 - [GNRPA] Delivered parcel 65 (0.77 kg) with window 15 :00-17 :00
- 11 :07 - [GNRPA] Delivered parcel 22 (1.49 kg) with window 11 :00-13 :00
- 11 :10 - [GNRPA] Delivered parcel 59 (0.62 kg) with window 14 :00-16 :00
- 11 :13 - [GNRPA] Delivered parcel 21 (0.28 kg) with window 11 :00-13 :00

- 11 :18 - [GNRPA] Returned to depot. Battery remaining : 0.9 min. Time 11 :18
- 11 :18 - [GNRPA] Recharge start due to insufficient battery ( $0.9 < 7.3$ )
- 12 :18 - [GNRPA] Recharge end
- 12 :18 - [GNRPA] Depart sortie#3 with [54, 37, 17, 42, 63, 69, 47, 16, 14, 24, 76, 31, 40, 77, 52, 33, 66, 56]
- 12 :22 - [GNRPA] Delivered parcel 54 (1.40 kg) with window 14 :00-16 :00
- 12 :25 - [GNRPA] Delivered parcel 37 (1.85 kg) with window 12 :00-14 :00
- 12 :25 - [GNRPA] Delivered parcel 17 (1.78 kg) with window 10 :00-12 :00
- 12 :26 - [GNRPA] Delivered parcel 42 (0.61 kg) with window 13 :00-15 :00
- 12 :26 - [GNRPA] Delivered parcel 63 (1.06 kg) with window 15 :00-17 :00
- 12 :28 - [GNRPA] Delivered parcel 69 (1.49 kg) with window 15 :00-17 :00
- 12 :28 - [GNRPA] Delivered parcel 47 (1.03 kg) with window 13 :00-15 :00
- 12 :29 - [GNRPA] Delivered parcel 16 (0.24 kg) with window 10 :00-12 :00
- 12 :34 - [GNRPA] Delivered parcel 14 (1.88 kg) with window 10 :00-12 :00
- 12 :34 - [GNRPA] Delivered parcel 24 (0.90 kg) with window 11 :00-13 :00
- 12 :36 - [GNRPA] Delivered parcel 76 (0.73 kg) with window 16 :00-18 :00
- 12 :37 - [GNRPA] Delivered parcel 31 (1.99 kg) with window 12 :00-14 :00
- 12 :39 - [GNRPA] Delivered parcel 40 (1.01 kg) with window 13 :00-15 :00
- 12 :40 - [GNRPA] Delivered parcel 77 (1.47 kg) with window 16 :00-18 :00
- 12 :41 - [GNRPA] Delivered parcel 52 (1.17 kg) with window 14 :00-16 :00
- 12 :43 - [GNRPA] Delivered parcel 33 (0.77 kg) with window 12 :00-14 :00
- 12 :44 - [GNRPA] Delivered parcel 66 (0.12 kg) with window 15 :00-17 :00
- 12 :45 - [GNRPA] Delivered parcel 56 (0.43 kg) with window 14 :00-16 :00
- 12 :54 - [GNRPA] Returned to depot. Battery remaining : 4.1 min. Time 12 :54
- 12 :54 - [GNRPA] Recharge start due to insufficient battery ( $4.1 < 13.0$ )
- 13 :54 - [GNRPA] Recharge end
- 13 :54 - [GNRPA] Depart sortie#4 with [48, 53, 58, 23, 62, 8, 72, 55, 45, 60, 49, 19, 32]
- 14 :01 - [GNRPA] Delivered parcel 48 (1.59 kg) with window 13 :00-15 :00
- 14 :02 - [GNRPA] Delivered parcel 53 (1.79 kg) with window 14 :00-16 :00
- 14 :03 - [GNRPA] Delivered parcel 58 (1.79 kg) with window 14 :00-16 :00
- 14 :04 - [GNRPA] Delivered parcel 23 (1.36 kg) with window 11 :00-13 :00
- 14 :06 - [GNRPA] Delivered parcel 62 (0.88 kg) with window 15 :00-17 :00
- 14 :09 - [GNRPA] Delivered parcel 8 (1.96 kg) with window 09 :00-11 :00
- 14 :12 - [GNRPA] Delivered parcel 72 (1.37 kg) with window 16 :00-18 :00
- 14 :14 - [GNRPA] Delivered parcel 55 (0.18 kg) with window 14 :00-16 :00
- 14 :16 - [GNRPA] Delivered parcel 45 (0.41 kg) with window 13 :00-15 :00
- 14 :17 - [GNRPA] Delivered parcel 60 (1.40 kg) with window 15 :00-17 :00
- 14 :20 - [GNRPA] Delivered parcel 49 (0.41 kg) with window 13 :00-15 :00
- 14 :20 - [GNRPA] Delivered parcel 19 (1.21 kg) with window 10 :00-12 :00
- 14 :22 - [GNRPA] Delivered parcel 32 (1.59 kg) with window 12 :00-14 :00
- 14 :33 - [GNRPA] Returned to depot. Battery remaining : 1.3 min. Time 14 :33
- 14 :33 - [GNRPA] Recharge start due to insufficient battery ( $1.3 < 17.2$ )
- 15 :33 - [GNRPA] Recharge end
- 15 :33 - [GNRPA] Depart sortie#5 with [74, 0, 44, 26, 71]
- 15 :42 - [GNRPA] Delivered parcel 74 (1.23 kg) with window 16 :00-18 :00
- 15 :44 - [GNRPA] Delivered parcel 0 (0.86 kg) with window 09 :00-11 :00
- 15 :49 - [GNRPA] Delivered parcel 44 (0.06 kg) with window 13 :00-15 :00
- 15 :59 - [GNRPA] Delivered parcel 26 (1.97 kg) with window 11 :00-13 :00
- 16 :00 - [GNRPA] Delivered parcel 71 (0.72 kg) with window 16 :00-18 :00
- 16 :10 - [GNRPA] Returned to depot. Battery remaining : 3.2 min. Time 16 :10