

# Sélection d'Articles pour l'État de l'Art

## Sujet 6: Étude de variantes du problème de sac à dos dans le cadre des jeux de fantasy cyclisme

Yuxiang ZHANG  
Master AI2D - Sorbonne Université

Deuxième RDV - 06 novembre 2025  
Encadrant: Thibaut Lust

### Résumé

Ce document présente la sélection de 7 articles pour constituer l'état de l'art du projet d'initiation à la recherche. L'analyse se concentre sur le modèle de programmation linéaire en nombres entiers de Belien et al. (2017), qui servira de base à l'article de synthèse. Nous détaillons la problématique de recherche, la méthodologie de sélection des articles, et présentons une analyse technique approfondie de l'algorithme choisi.

**Mots-clés :** Fantasy cyclisme, sac à dos multi-étapes, optimisation, PLNE, analyse ex-post

## 1 Introduction

### 1.1 Contexte et Problématique

Les jeux de fantasy cyclisme posent des défis d'optimisation combinatoire particulièrement intéressants. Les participants doivent composer une équipe de coureurs sous contrainte budgétaire, avec la possibilité d'effectuer des transferts limités durant la saison. Cette problématique s'apparente à un problème de sac à dos dynamique avec coûts de transition.

### 1.2 Objectifs de la Synthèse

Cette synthèse bibliographique vise à :

- Identifier les approches existantes pour la modélisation des jeux fantasy cyclisme
- Analyser les liens avec le problème de sac à dos classique et multi-étapes
- Présenter en détail un algorithme complexe de la littérature
- Discuter des perspectives de recherche dans ce domaine

## 2 Méthodologie de Sélection des Articles

### 2.1 Critères de Sélection

La sélection des articles a été réalisée selon les critères suivants :

- **Pertinence thématique** : Lien direct avec l'optimisation dans les jeux de fantasy cyclisme
- **Contribution méthodologique** : Apport significatif en modélisation ou résolution
- **Complémentarité** : Couverture équilibrée des aspects théoriques et pratiques
- **Actualité** : Publications récentes, sauf pour les références fondamentales

## 2.2 Articles Sélectionnés

Article	Type	Contribution principale
Belien et al. (2017)	Modèle fondamental	Cadre MIP générique pour l'analyse ex-post des jeux fantasy
Belien et al. (2011)	Application pratique	Implémentation et validation sur le jeu Gigabike
Bampis et al. (2022)	Fondement théorique	PTAS pour le sac à dos multi-étapes
Ausloos (2024)	Analyse des règles	Impact des règles sportives sur l'optimisation
Durán (2021)	Revue du domaine	État de l'art complet des sports analytics
Kumabe & Yoshida (2022)	Analyse de sensibilité	Algorithmes stables pour le sac à dos
<b>Pisinger &amp; Saidi (2017)</b>	<b>Analyse post-optimale</b>	<b>Analyse de tolérance pour le sac à dos 0-1</b>

TABLE 1 – Sélection des 7 articles principaux pour l'état de l'art

## 2.3 Justification des Choix

Cette sélection couvre l'ensemble du spectre de recherche :

- **Belien (2017)** fournit le cadre formel et généralisable
- **Belien (2011)** montre l'applicabilité pratique au cyclisme
- **Bampis (2022)** établit les fondements théoriques
- **Ausloos (2024)** apporte la perspective des règles du sport réel
- **Durán (2021)** donne le contexte général du domaine
- **Kumabe (2022)** aborde la question de la stabilité des solutions
- **Pisinger & Saidi (2017)** fournit un cadre théorique pour l'analyse post-optimale du sac à dos, directement lié à notre problématique d'analyse de stabilité des solutions

**Note importante :** L'article de Pisinger & Saidi (2017) a été identifié lors de nos recherches bibliographiques complémentaires, en plus des six articles initialement proposés par l'encadrant. Cet article est particulièrement pertinent car il traite spécifiquement de l'analyse post-optimale du problème de sac à dos, ce qui correspond parfaitement à l'objectif de notre étude sur la stabilité des solutions optimales dans le fantasy cyclisme.

### 3 Analyse Synthétique des Articles

Article	Objectif	Méthode	Lien avec le projet
Using Mixed-Integer Programming to Win a Cycling Game, Beliën et al., 2011	Sélectionner l'équipe optimale dans un jeu de fantasy cycling pour maximiser les points sur la saison.	Modélisation MIP en trois étapes : 1) problème de sac à dos par période, 2) multi-périodes avec budget et transferts, 3) contraintes logiques sur les transferts.	Montre comment un problème combinatoire réel peut être formulé et résolu. Base pédagogique pour notre analyse.
Optimization modelling for analyzing fantasy sport games, Beliën et al., 2017	Développer un modèle d'optimisation ex-post universel pour analyser les jeux de fantasy sport.	Modèle MIP flexible pour maximiser les points totaux avec contraintes sur budget, composition d'équipe, transferts multi-périodes.	Donne un cadre ex-post général pour analyser les performances et transferts optimaux, directement applicable à notre sujet.
Should one (be allowed to) replace the Cipollini's ?, Ausloos, 2024	Évaluer si le remplacement de coureurs est pertinent et comment différents indicateurs modifient la hiérarchie.	Comparaison statistique entre méthode UCI classique et temps d'équipe "ajusté", calcul des corrélations de rang.	Illustre l'importance de la définition des contraintes dans les modèles multi-périodes.
Multistage Knapsack, Bampis et al., 2019	Résoudre le problème du sac à dos multistade avec transitions entre étapes.	Modélisation ILP, analyse de la relaxation LP, conception d'un PTAS pour nombre constant d'étapes.	Fournit des méthodes pour gérer des contraintes dynamiques et transitions dans des problèmes de sac à dos multi-périodes.
Sports scheduling and other topics in sports analytics, Durán, 2021	Faire un état de l'art complet des sports analytics.	Enquête bibliographique exhaustive : PLNE pour planification, problèmes de faisabilité, assignation d'arbitres.	Offre une vision large des problèmes combinatoires appliqués au sport, utile pour situer notre problème dans son contexte.
Average Sensitivity of the Knapsack Problem, Kumabe & Yoshida, 2022	Concevoir des algorithmes pour le sac à dos stables en moyenne.	Algorithme stable combinant classification des objets, glouton modifié, mécanisme exponentiel.	Montre comment intégrer stabilité et robustesse dans un problème de sac à dos dynamique.
Tolerance analysis for 0-1 knapsack problems, Pisinger & Saidi, 2017	Étudier la robustesse de la solution optimale du sac à dos 0-1 face aux perturbations des coefficients.	Algorithmes de programmation dynamique pour l'analyse de tolérance exacte et méthodes approximatives basées sur des bornes supérieures.	Fournit un cadre théorique pour l'analyse post-optimale, directement applicable à l'étude de la stabilité des équipes optimales dans le fantasy cyclisme.

TABLE 2 – Résumé détaillé des articles et leur lien avec notre projet

## 4 Analyse Technique de l’Algorithme Principal

### 4.1 Présentation du Modèle Belien et al. (2017)

Le modèle de Belien et al. représente l’état de l’art pour l’analyse ex-post des jeux de fantasy sports. Sa généralité permet une application à divers sports, dont le cyclisme.

### 4.2 Formalisation du Problème

#### 4.2.1 Ensembles et Indices

$P = \{1, 2, \dots,  P \}$	Ensemble des joueurs (coureurs)
$T = \{1, 2, \dots,  T \}$	Ensemble des périodes (fenêtres de transfert)
$\Theta = \{1, 2, \dots,  \Theta \}$	Ensemble des événements (courses)
$\Pi = \{1, 2, \dots,  \Pi \}$	Ensemble des types de joueurs

#### 4.2.2 Paramètres du Modèle

$v_{p\tau}$	Points du joueur $p$ dans l’événement $\tau$
$c_{pt}$	Coût du joueur $p$ en période $t$
$B$	Budget total disponible
$A_t$	Nombre maximal de transferts en période $t$
$D_\tau$	Nombre de joueurs marquant des points dans $\tau$
$L$	Pénalité par transfert
$\varepsilon$	Poids du budget restant (départage)

#### 4.2.3 Variables de Décision

$x_{pt} \in \{0, 1\}$	Sélection du joueur $p$ en période $t$
$y_{p\tau} \in \{0, 1\}$	Contribution aux points dans l’événement $\tau$
$z_{pt} \in \{0, 1\}$	Transfert du joueur $p$ en période $t$
$r_t \geq 0$	Budget restant en période $t$
$s_{pt} \in \{0, 1\}$	Joueur remplaçant
$w_{eG} \in \{0, 1\}$	Attribution du rang $e$ dans le groupe $G$

### 4.3 Fonction Objectif et Contraintes

#### 4.3.1 Fonction Objectif Principale

$$\max \sum_{p \in P} \sum_{\tau \in \Theta} v_{p\tau} y_{p\tau} - L \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} z_{pt} + \varepsilon r_{|T|} \quad (1)$$

**Analyse de la fonction objectif :**

- **Terme 1** : Maximisation du total des points (objectif principal)
- **Terme 2** : Pénalisation des transferts (coûts de transaction)
- **Terme 3** : Valorisation du budget restant (critère de départage)

### 4.3.2 Système de Contraintes

**Contraintes budgétaires :**

$$\sum_{p \in P} c_{p1}x_{p1} + r_1 = B \quad (2)$$

$$r_{t-1} + \sum_{p \in P} c_{pt}(x_{p,t-1} - x_{pt}) = r_t \quad \forall t > 1 \quad (3)$$

**Contraintes de transfert :**

$$z_{pt} \geq x_{pt} - x_{p,t-1} \quad \forall p \in P, \forall t > 1 \quad (4)$$

$$\sum_{p \in P} z_{pt} \leq A_t \quad \forall t > 1 \quad (5)$$

**Contraintes de composition d'équipe :**

$$\sum_{p \in P_\pi} x_{pt} \geq n_{\pi t} \quad \forall \pi \in \Pi, \forall t \in T \quad (6)$$

$$\sum_{p \in P_\pi} x_{pt} \leq N_{\pi t} \quad \forall \pi \in \Pi, \forall t \in T \quad (7)$$

## 4.4 Complexité Algorithmique

Le modèle représente un problème de programmation en nombres entiers de grande taille :

- Nombre de variables :  $O(|P| \times |T|)$
- Nombre de contraintes :  $O(|P| \times |T| + |\Theta|)$
- Complexité : NP-difficile (généralisation du sac à dos multidimensionnel)

## 5 Résultats et Discussion

### 5.1 Application au Cyclisme Fantasy

L'application du modèle au jeu Gigabike a démontré :

- Temps de calcul raisonnable (2-20 minutes)
- Solutions optimales 5% meilleures que les meilleurs joueurs humains
- Validation des paramètres du jeu (budget, nombre de transferts)

### 5.2 Limites et Forces du Modèle

**Forces :**

- Généricité et applicabilité à divers sports
- Prise en compte complète des règles complexes
- Validation empirique sur des données réelles

**Limites :**

- Hypothèse de connaissance parfaite des performances (analyse ex-post)
- Complexité computationnelle pour les très grandes instances
- Modèle déterministe (ne capture pas l'incertitude)

## 6 Perspectives de Recherche

### 6.1 Directions Futures

- **Optimisation stochastique** : Prise en compte de l'incertitude sur les performances
- **Métaheuristiques** : Développement d'algorithmes pour les très grandes instances
- **Apprentissage automatique** : Intégration de prédictions de performances
- **Extensions multi-objectifs** : Considération d'objectifs supplémentaires

## 6.2 Lien avec le Projet AI2D

Ce travail pourra être prolongé dans le cadre du module PAI2D par :

- Implémentation concrète des modèles étudiés
- Développement d'algorithmes approchés
- Tests sur des données réelles de courses cyclistes

## 7 Plan de Travail Détaillé

### 7.1 Calendrier de Rédaction

Phase	Échéance
Lecture approfondie et prise de notes détaillées	13 novembre 2025
Rédaction de l'introduction et revue de littérature	20 novembre 2025
Analyse technique détaillée de l'algorithme Belien	27 novembre 2025
Rédaction des résultats, discussion et conclusion	30 novembre 2025
Révision et mise en forme finale	1-5 décembre 2025
Soumission de l'article de synthèse	6 décembre 2025

TABLE 3 – Calendrier prévisionnel pour la rédaction de l'article de synthèse

### 7.2 Structure Prévisionnelle de l'Article de Synthèse

#### 1. Introduction

- Contexte des jeux de fantasy cyclisme
- Problématique de l'optimisation sous contraintes
- Objectifs de la synthèse

#### 2. État de l'art

- Revue des 7 articles sélectionnés
- Analyse comparative des approches
- Cartographie du paysage scientifique

#### 3. Cadre théorique

- Problème de sac à dos classique et multi-étapes
- Complexité computationnelle
- Méthodes de résolution

#### 4. Analyse de l'algorithme Belien et al.

- Présentation détaillée du modèle MIP
- Analyse des variables et contraintes
- Discussion des choix de modélisation

#### 5. Application au cyclisme fantasy

- Résultats sur le jeu Gigabike
- Analyse des performances
- Validation empirique

#### 6. Discussion et perspectives

- Limites des approches existantes
- Directions de recherche futures
- Opportunités pour le projet AI2D

#### 7. Conclusion

- Synthèse des contributions
- Principaux enseignements
- Implications pour la recherche

## Questions pour l'Encadrant

1. La sélection proposée des 7 articles vous semble-t-elle optimale pour couvrir le domaine ?
2. Le niveau de détail technique de l'analyse de l'algorithme Belien est-il adapté aux attentes de l'article de synthèse ?
3. Faut-il accorder plus d'importance à certains aspects particuliers (complexité algorithmique, applications pratiques, etc.) ?
4. Avez-vous des suggestions pour améliorer la structure proposée pour l'article de synthèse ?
5. Des ressources bibliographiques supplémentaires seraient-elles recommandées pour enrichir l'état de l'art ?
6. L'article supplémentaire de Pisinger & Saidi (2017) que nous avons identifié vous semble-t-il pertinent pour notre problématique d'analyse post-optimale ?

## Conclusion

Ce document présente une proposition structurée pour le deuxième RDV du module d'initiation à la recherche. La sélection d'articles couvre les aspects fondamentaux du domaine, avec un focus sur l'analyse technique de l'algorithme de Belien et al. (2017). L'ajout de l'article de Pisinger & Saidi (2017) sur l'analyse de tolérance renforce notre revue bibliographique en apportant une perspective théorique importante sur la stabilité des solutions. Le plan de travail détaillé permettra de produire un article de synthèse de qualité dans les délais impartis.

## Références Bibliographiques

1. Belien, J., Goossens, D., & Van Reeth, D. (2017). Optimization modelling for analyzing fantasy sport games. *INFOR : Information Systems and Operational Research*.
2. Belien, J., Goossens, D., Van Reeth, D., & De Boeck, L. (2011). Using mixed integer programming to win a cycling game. *INFORMS Transactions on Education*.
3. Bampis, E., Escouffier, B., & Teiller, A. (2022). Multistage Knapsack. *Journal of Computer and System Sciences*.
4. Ausloos, M. (2024). Should one (be allowed to) replace the Cipollini's? *Annals of Operations Research*.
5. Durán, G. (2021). Sports scheduling and other topics in sports analytics : a survey with special reference to Latin America.
6. Kumabe, S., & Yoshida, Y. (2022). Average Sensitivity of the Knapsack Problem.
7. **Pisinger, D., & Saidi, A. (2017). Tolerance analysis for 0-1 knapsack problems. European Journal of Operational Research.**