



OPTIMISATION DU PLAN D'ACQUISITION D'UN SATELLITE OPTIQUE D'OBSERVATION TERRESTRE

Binôme :

Mohamed Amine KASMI
Fatima-Ezzahrae BROUMI

Encadrant :

Hélène FARGIER

Contents

| | | |
|----------|--|----------|
| 1 | Introduction | 2 |
| 1.1 | Contexte du case study | 2 |
| 1.2 | Objectifs du case study | 2 |
| 2 | Description du modèle | 2 |
| 2.1 | Variables de paramètres | 2 |
| 2.2 | Variables de décision | 3 |
| 2.3 | Présentation des Contraintes | 3 |
| 3 | Code et discussion des contraintes et de la fonction objectif | 3 |
| 3.1 | Première contrainte : Transition entre acquisitions | 3 |
| 3.2 | Deuxième contrainte : Attribution des images mono | 4 |
| 3.3 | Troisième contrainte : Attribution des images stéréo | 4 |
| 3.4 | Quatrième contrainte : Limite de mémoire | 5 |
| 3.5 | Cinquième contrainte : Assignation des images sélectionnées | 5 |
| 3.6 | Sixième contrainte : Probabilité de fonctionnement de l'instrument | 6 |
| 3.7 | Fonction objectif : Maximiser le gain | 6 |
| 4 | Tests et résultats | 6 |
| 4.1 | Tests et débogage | 7 |
| 4.2 | Solutions pour les problèmes 'spotproba4' et 'spotproba5' | 8 |
| 5 | Conclusion: | 9 |

1 Introduction

1.1 Contexte du case study

Ce projet vise à optimiser la planification des acquisitions d'images par le satellite SPOT5, développé pour répondre aux besoins d'imagerie de la Terre. Avec des ressources limitées en mémoire et des conditions d'acquisition incertaines, le modèle cherche à maximiser le gain total tout en respectant des contraintes physiques et techniques.

1.2 Objectifs du case study

- Compléter le modèle fourni en ajoutant les contraintes manquantes.
- Intégrer les incertitudes météorologiques et les risques de défaillance des instruments.

2 Description du modèle

Dans ce projet, nous avons travaillé avec plusieurs variables essentielles pour modéliser et optimiser la sélection et l'acquisition d'images par des instruments d'observation satellitaire. Ces variables couvrent des aspects comme les caractéristiques des images, les spécificités des instruments et les contraintes techniques liées à la mémoire et aux probabilités de défaillance. Leur utilisation permet de formuler des contraintes et de maximiser le gain associé aux images sélectionnées.

2.1 Variables de paramètres

- **NbImages** : Nombre total d'images disponibles pour la planification.
- **TY[Images]** : Type de chaque image (1 pour mono, 2 pour stéréo).
- **PM[Images]** : Mémoire requise pour chaque image.
- **PA[Images]** : Gain ou "payoff" associé à chaque image.
- **ProbaInf[Images]** et **ProbaSup[Images]** : Bornes inférieure et supérieure de probabilité de nuages pour chaque image.
- **NbInstruments** : Nombre total d'instruments disponibles.
- **Failure[Instruments]** : Probabilité de défaillance de chaque instrument.
- **DD[Images, Instruments]** : Date de début possible pour chaque image en fonction de l'instrument.
- **AN[Images, Instruments]** : Angle de dépointage pour chaque image en fonction de l'instrument.

- **DU** : Durée d'acquisition commune à toutes les images.
- **VI** : Vitesse de rotation des instruments.
- **PMmax** : Capacité maximale de mémoire disponible.

2.2 Variables de décision

- **selection[Images]** : Variable binaire qui vaut 1 si l'image est sélectionnée pour l'acquisition, sinon 0.
- **assignedTo[Images, Instruments]** : Variable binaire qui indique si une image est assignée à un instrument spécifique.
- **probaInstrumentOK[Images]** : Probabilité que l'image soit acquise correctement avec l'instrument assigné, en fonction de la probabilité de défaillance et de la couverture nuageuse.

2.3 Presentation des Contraintes

- **Contrainte de transition** : Empêche la réalisation de deux images consécutives sur un instrument donné si le temps de transition est insuffisant.
- **Contrainte d'assignation pour les images mono** : Assure que chaque image mono est assignée à un instrument si elle est sélectionnée.
- **Contrainte d'assignation pour les images stéréo** : Les images stéréo doivent être assignées aux instruments 1 et 3 simultanément, et pas au 2.
- **Contrainte de mémoire** : Limite la mémoire totale des images sélectionnées à la capacité maximale PM_{max} .
- **Contrainte d'assignation** : Une image ne peut être assignée à un instrument que si elle est sélectionnée.
- **Calcul de probaInstrumentOK** : Définit la probabilité de succès d'acquisition en fonction du type d'image et de l'instrument assigné.

Ces variables et contraintes permettent d'optimiser la sélection des images en maximisant les gains tout en respectant les contraintes techniques des instruments et les probabilités de défaillance et de couverture nuageuse.

3 Code et discussion des contraintes et de la fonction objectif

3.1 Première contrainte : Transition entre acquisitions

Cette contrainte impose une limitation sur l'utilisation d'un même instrument pour l'acquisition de deux images successives. Elle garantit que le temps de

transition entre la fin de l'acquisition d'une image et le début de la suivante est suffisant pour que les deux acquisitions soient réalisables avec le même instrument. Si cette condition n'est pas remplie, il est impossible d'acquérir les deux images sur le même instrument.

La contrainte est définie comme suit :

```
forall(ordered ima1, ima2 in Images, ins in Instruments :  
    abs(DD[ima1,ins] - DD[ima2,ins]) * VI  
    < DU * VI + abs(AN[ima1,ins] - AN[ima2,ins])  
    ) {  
    assignedTo[ima1,ins] + assignedTo[ima2,ins] <= 1 ;  
};
```

Cette contrainte indique donc que deux images ne peuvent être attribuées au même instrument si le délai entre elles, ajusté selon la vitesse de rotation VI , est inférieur à la durée d'acquisition DU augmentée de la différence des angles de dépointage entre les images.

3.2 Deuxième contrainte : Attribution des images mono

Cette contrainte garantit que pour chaque image de type mono, il n'est possible de l'assigner qu'à un seul instrument. Elle s'assure que si une image est sélectionnée, elle doit être attribuée à l'un des instruments disponibles. Ainsi, la somme des assignations pour cette image sur tous les instruments doit être égale à l'indicateur de sélection de cette image.

La contrainte est définie comme suit :

```
forall(im in Images:TY[im]==1) //image mono assignee  
{  
    sum(ins in Instruments) assignedTo[im,ins] == selection[im];  
};
```

Cette contrainte implique que si l'image im est sélectionnée (c'est-à-dire que $selection[im] = 1$), alors elle doit être attribuée à exactement un instrument, ce qui est représenté par la somme des assignations $assignedTo[im,ins]$ étant égale à 1. Si l'image n'est pas sélectionnée ($selection[im] = 0$), alors elle ne peut pas être attribuée à aucun instrument.

3.3 Troisième contrainte : Attribution des images stéréo

Cette contrainte régule l'attribution des images de type stéréo. Elle stipule que lorsque une image stéréo est sélectionnée, elle doit être assignée aux instruments appropriés. Plus précisément, cette contrainte garantit que l'image est assignée aux instruments 1 et 3, tandis que l'instrument 2 ne doit pas être utilisé pour cette image.

La contrainte est définie comme suit :

```
forall(im in Images:TY[im]==2)
{
    assignedTo[im,1] == selection[im];
    assignedTo[im,3] == selection[im];
    assignedTo[im,2] == 0;
};
```

Cette contrainte signifie que si l'image im est sélectionnée ($selection[im] = 1$), alors elle doit être assignée aux instruments 1 et 3. Par contre, l'instrument 2 doit rester inactif pour cette image, ce qui est indiqué par $assignedTo[im, 2] = 0$.

3.4 Quatrième contrainte : Limite de mémoire

Cette contrainte veille à ce que la mémoire totale utilisée pour l'attribution des images ne dépasse pas la capacité maximale disponible. Elle s'assure que la somme des besoins en mémoire des images sélectionnées ne dépasse pas la limite PM_{max} .

La contrainte est définie comme suit :

```
sum(im in Images) PM[im] * selection[im] <= PMmax;
```

Cette contrainte signifie que la somme des besoins en mémoire ($PM[im]$) pour toutes les images im sélectionnées ($selection[im] = 1$) doit être inférieure ou égale à la mémoire maximale PM_{max} . Cela garantit que les ressources mémoire sont utilisées de manière optimale sans dépasser les capacités disponibles.

3.5 Cinquième contrainte : Assignment des images sélectionnées

Cette contrainte garantit que les images ne peuvent être assignées aux instruments que si elles ont été sélectionnées. Elle établit une relation entre la sélection des images et leur assignation à un instrument spécifique.

La contrainte est définie comme suit :

```
forall(ima in Images, ins in Instruments) {
    assignedTo[ima, ins] <= selection[ima];
}
```

Cette contrainte stipule que pour chaque image ima et chaque instrument ins , l'assignation de l'image à l'instrument ne peut pas excéder le fait que l'image a été sélectionnée ($selection[ima] = 1$). Ainsi, si une image n'est pas sélectionnée, elle ne peut pas être assignée à un instrument.

3.6 Sixième contrainte : Probabilité de fonctionnement de l'instrument

Cette contrainte définit la probabilité que l'instrument fonctionne correctement lors de l'acquisition d'une image. Elle prend en compte le type d'image et la probabilité d'échec des instruments.

La contrainte est définie comme suit :

```
forall(ima in Images) {
    probaInstrumentOK[ima] ==
        (TY[ima] == 2 ?
            (1 - Failure[1]) * (1 - Failure[3]) *
            (1 - ProbaSup[ima])
        :
            sum(ins in Instruments)
            (assignedTo[ima, ins] * (1 - Failure[ins]) *
            (1 - ProbaSup[ima])));
}
```

Cette contrainte indique que, pour chaque image *ima*, la probabilité que l'instrument soit opérationnel (*probaInstrumentOK[ima]*) dépend du type d'image. Pour les images stéréo (*TY[ima] == 2*), elle est calculée comme le produit des probabilités de non-échec des instruments utilisés. Pour les autres images, elle est calculée comme la somme des probabilités de non-échec pondérées par leur assignation à l'instrument.

3.7 Fonction objectif : Maximiser le gain

Cette fonction objectif vise à maximiser le gain total provenant des acquisitions d'images, en prenant en compte la probabilité de fonctionnement de l'instrument et les attributs des images sélectionnées.

La fonction objectif est définie comme suit :

```
maximize sum(ima in Images)
(PA[ima]*selection[ima]*probaInstrumentOK[ima]);
```

Cette fonction indique que le gain est maximisé en calculant la somme des produits des valeurs associées à chaque image (*PA[ima]*), de leur sélection (*selection[ima]*), et de leur probabilité de fonctionnement (*probaInstrumentOK[ima]*). L'objectif est d'optimiser le choix des images à acquérir pour maximiser le rendement total.

4 Tests et résultats

Nous disposons de cinq ensembles de données comportant des problèmes impliquant trois images (2 mono et une stéréo). Nous commençons par examiner les 3 premiers qui ont été utilisés pour tester et déboguer le modèle.

4.1 Tests et débogage

- Résultats de 'spotproba1.dat':

Cas 1:

pas de nuages
instruments ok

Solution (optimal) with objective 70
Image1 on 2 at date 230
Image2 on 1 at date 150
Image2 on 3 at date 350
Image3 on 1 at date 220

Cas 2:

proba de nuages = 0.1
instruments ok

Solution (optimal) with objective 63
Image1 on 2 at date 230
Image2 on 1 at date 150
Image2 on 3 at date 350
Image3 on 1 at date 220

Cas 3:

proba de nuages = [0.1, 0.3]
instruments ok

Solution (optimal) with objective 49
Image1 on 2 at date 230
Image2 on 1 at date 150
Image2 on 3 at date 350
Image3 on 1 at date 220

Cas 4:

pas de nuages
instrument 2 en panne

Solution (optimal) with objective 60
Image2 on 1 at date 150
Image2 on 3 at date 350
Image3 on 1 at date 220

Cas 5:

proba de nuages et défaillance variantes

Solution (optimal) with objective 14.661
Image1 on 2 at date 230
Image2 on 1 at date 150
Image2 on 3 at date 350
Image3 on 1 at date 220

- La première chose que nous remarquons est que, plus on complique les conditions d'un cas à l'autre, plus le gain continue à diminuer.

- Faisons d'autres tests sur le cas 4 :

Image 1 est sélectionnée
si on augmente son gain
à 30:

Solution (optimal) with objective 70
Image1 on 1 at date 130
Image3 on 1 at date 220

Image 1 est assignée
à l'instrument 2 si on
diminue sa probabilité
de défaillance à 0.9:

Solution (optimal) with objective 61
Image1 on 2 at date 230
Image2 on 1 at date 150
Image2 on 3 at date 350
Image3 on 1 at date 220

- Résultats de 'spotproba2.dat', 'spotproba2.dat':
- De même, nous avons effectué des tests avec ces données. Pour 'spotproba2', l'image 1 n'est pas sélectionnée en raison de contraintes de mémoire, tandis que pour 'spotproba3', l'image 1 n'est pas sélectionnée non plus, mais cette fois à cause des durées élevées.

4.2 Solutions pour les problèmes 'spotproba4' et 'spotproba5'

Maintenant que nous avons ajusté le modèle aux nouvelles contraintes et effectué les tests, nous sommes confiants que les solutions pour ces deux jeux de données, obtenues par ce modèle, sont les meilleurs plans d'acquisition.

- Résultats de 'spotproba4.dat':
solution (optimal) with objective 333
Image1 on 2 at date 200
Image3 on 2 at date 250
Image5 on 1 at date 220
Image6 on 2 at date 330
Image7 on 3 at date 450
Image9 on 3 at date 490
Image10 on 2 at date 400
Image11 on 1 at date 300
Image13 on 3 at date 530
Image15 on 2 at date 520
Image16 on 1 at date 430
Image17 on 2 at date 550
Image19 on 1 at date 470
Image20 on 3 at date 700

→ Seulement 14 images sélectionnées sur 20.

- Résultats de 'spotproba5.dat':

Sans incertitudes:

solution (optimal) with objective 890

Image3 on 2 at date 250
 Image4 on 1 at date 200
 Image4 on 3 at date 400
 Image6 on 2 at date 330
 Image7 on 1 at date 250
 Image9 on 1 at date 290
 Image10 on 2 at date 400
 Image13 on 1 at date 330
 Image14 on 1 at date 400
 Image14 on 3 at date 600
 Image15 on 2 at date 520
 Image17 on 2 at date 550
 Image19 on 3 at date 670
 Image20 on 2 at date 600
 Image21 on 1 at date 500
 Image21 on 3 at date 700
 Image23 on 1 at date 550
 Image25 on 2 at date 710
 Image26 on 3 at date 830
 Image27 on 2 at date 750
 Image29 on 2 at date 790
 Image30 on 3 at date 900
 Image33 on 3 at date 930
 Image34 on 1 at date 800
 Image34 on 3 at date 1000
 Image35 on 2 at date 920
 Image37 on 2 at date 950
 Image39 on 3 at date 1070
 Image40 on 1 at date 910
 Image40 on 3 at date 1110

Avec incertitudes:

solution (optimal) with objective 553.64580005

Image1 on 2 at date 200
 Image2 on 1 at date 130
 Image2 on 3 at date 330
 Image3 on 2 at date 250
 Image5 on 2 at date 320
 Image6 on 1 at date 230
 Image7 on 2 at date 350
 Image9 on 1 at date 290
 Image10 on 2 at date 400
 Image12 on 1 at date 320
 Image12 on 3 at date 520
 Image13 on 2 at date 430
 Image15 on 2 at date 520
 Image16 on 1 at date 430
 Image17 on 2 at date 550
 Image19 on 1 at date 470
 Image20 on 2 at date 600
 Image21 on 1 at date 500
 Image21 on 3 at date 700
 Image23 on 1 at date 550
 Image25 on 1 at date 610
 Image26 on 2 at date 730
 Image27 on 1 at date 650
 Image29 on 2 at date 790
 Image30 on 1 at date 700
 Image33 on 1 at date 730
 Image35 on 2 at date 920
 Image36 on 1 at date 830
 Image37 on 2 at date 950
 Image39 on 1 at date 870

→ Dans le cas sans incertitudes, seulement 25 images ont été sélectionnées sur 40, tandis que dans le cas avec incertitudes, 27 images ont été sélectionnées

5 Conclusion:

Ce projet a permis de développer un modèle d'optimisation pour la planification des acquisitions d'images par le satellite SPOT5, en tenant compte des contraintes techniques et des incertitudes météorologiques et de défaillance. Les tests ont montré qu'augmenter les incertitudes ou les contraintes réduisait le gain total, mais permettait d'affiner la sélection des images pour garantir des acquisitions optimales.