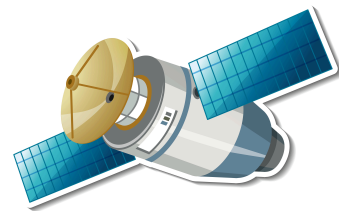

Cas d'étude :

Optimisation du plan d'acquisition d'un satellite optique
d'observation terrestre



Auteurs : Adil GHALEM et Nouh CHELGHAM

Évalué par Hélène FARGIER

Notre étude de cas à pour but l'optimisation de la planification d'acquisition d'images par le satellite **SPOT 5**. Ce satellite est équipé de trois instruments d'imagerie, disposés en positions avant, milieu, et arrière par rapport à la trajectoire orbitale. Chacun de ces instruments peut réaliser des prises de vue avec un angle de vision oblique ajustable, permettant de capturer des images de zones géographiques sous différents angles.

Contexte et Enjeux

Nous nous plaçons du point de vue de la Société **SPOT Image** dont l'objectif est de déterminer, pour chaque journée, quelles images seront capturées par le satellite et quel instrument sera utilisé pour chaque prise, tout en tenant compte de plusieurs contraintes :

Contraintes déjà programmées

- Les images **mono** nécessitent l'un des trois instruments

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

- Les images **stéréo** ont besoin des instruments avant et arrière

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

- La date de début d'une acquisition dépend uniquement de la date à laquelle le satellite va traverser la zone cible, modulo l'angle de l'instrument considéré.
- Lorsque deux images sont programmées sur le même instrument, un délai suffisant doit être observé entre la fin du premier et le début du second ; ça correspond au temps nécessaire pour faire pivoter le miroir afin de cibler la bonne zone
- Un instrument ne peut pas réaliser des images simultanément.

```
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 ;
};
```

Contrainte que nous devons programmer

- Comme les données ne peuvent être retransmises que si le satellite est proche d'une station au sol, il faut envisager le cas où il faut stocker toutes les images sélectionnées. Donc, la

contrainte est que les images sélectionnées ne doivent pas dépasser la **capacité maximale** de stockage du satellite.

De plus, des probabilités nous sont fournies

- Probabilité de **défaillance** de chaque instrument
- Intervalle de **probabilité inférieur** et **supérieur** que des nuages soient présents

Notations

- Un nombre **NbImages** de demandes d'images
- Un tableau **TY[NbImages]** de taille indiquant, pour chaque image le type de l'image : 1 pour l'image mono, 2 pour les images stéréo
- Un tableau **PM[NbImages]** précisant la quantité de mémoire nécessaire à chaque image (déjà doublée pour les images stéréo)
- Un tableau **PA[NbImages]** de taille NbImages, spécifiant le gain pour chaque image (ce que les clients sont prêts à payer)
- Le nombre **NbInstruments** d'instruments
- Un tableau bidimensionnel **DD[NbImages][NbInstruments]**

Code

Contrainte de capacité de stockage

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

Cette ligne impose une contrainte qui limite la somme des tailles des images **sélectionnées** ($\text{selection[im]} * \text{PM[im]}$) afin qu'elle n'excède pas la capacité maximale de stockage du satellite (**PMmax**).

Fonction objectif

Initialement, le problème contient une incertitude représentée par des **probabilités imprécises** : chaque image avait une probabilité de nuages définie dans un intervalle, avec une borne inférieure (**ProbaInf**) et une borne supérieure (**ProbaSup**). Cela traduisait une incertitude imprécise, où le niveau de confiance en l'absence de nuages n'était pas fixé, mais encadré par un intervalle. Cependant, en décidant de prendre en compte uniquement la probabilité supérieure de nuages (**ProbaSup**), qui représente le **scénario pessimiste**, on simplifie cette incertitude en une **probabilité unique et fixe**. Cette simplification fait passer le problème d'un cadre de probabilités imprécises à une **incertitude probabilisée** (ou risque), où chaque événement est associé à une probabilité concrète.

Voici la fonction de maximisation proposée.

```
maximize (sum(ima in Images : TY[ima] == 1)
  (PA[ima] * (1 - ProbaSup[ima]) * selection[ima] *
  (1 - (sum(ins in Instruments ) assignedTo[ima,ins] * Failure[ins] ))))

+
```

```
(sum(ima in Images : TY[ima] == 2)
(PA[ima] * (1 - ProbaSup[ima]) * selection[ima] *
(1 - (Failure[1] + Failure[3] - Failure[1] * Failure[3] ))));
```

La fonction de maximisation est celle d'une **utilité espérée**, car elle intègre les probabilités associées à la qualité des images et aux risques de défaillance des instruments, en pondérant le gain de chaque image par sa probabilité d'être obtenue dans de bonnes conditions.

Cette fonction **maximise** le gain attendu des images capturées par le satellite en pondérant chaque gain (**PA[ima]**) par la probabilité d'obtenir une image exploitable, en tenant compte de la probabilité de nuages et de la défaillance possible des instruments.

Probabilité de ciel dégagé :

Chaque gain est pondéré par la probabilité que la zone soit sans nuages (**1 - ProbaSup[ima]**). Si la probabilité de nuages est de 1, la capture est inutile car elle n'aura aucun gain potentiel.

Sélection des images :

Le terme `selection[ima]` est égal à 1 si l'image `ima` est sélectionnée pour la capture, permettant de ne compter que les images choisies dans le calcul du gain.

Défaillance des instruments :

Pour les images **mono** (`TY[ima] == 1`), on prend en compte la probabilité de défaillance de l'instrument assigné. La formule (**1 - (sum(ins in Instruments) assignedTo[ima,ins] * Failure[ins])**) signifie que, pour chaque instrument potentiel, si celui-ci est assigné (`assignedTo[ima,ins] = 1`), le calcul inclut la probabilité qu'il fonctionne correctement (**1 - Failure[ins]**). Pour les images **stéréo** (`TY[ima] == 2`), qui nécessitent l'utilisation simultanée des **instruments 1 et 3**, la probabilité de fonctionnement sans défaillance des deux instruments est donnée par **1 - (Failure[1] + Failure[3] - Failure[1] * Failure[3])**. Cela représente la probabilité de bon fonctionnement, en supposant **l'indépendance des défaillances** des deux instruments.

Résultats :

Jeux de données qui nous intéressent

- Spot 4 : Contient 20 images

Ici les instruments sont supposés pour être totalement fiables (la probabilité d'échec est égale à 0)

- Spot 5 : Contient 40 images

Ici il existe des probabilités de défaillance non négligeables, notamment pour l'instrument 3.

Données	Nombre d'images	Objectif
spotproba4	20	333
spotproba5	40	553.6458