

# QUALITÉ IMAGE

LÀ OÙ LA MAGIE DES ALGORITHMES DE CORRECTION S'ARRÊTE, LE  
BESOIN EN CARACTÉRISATION SOL COMMENCE.

Présentation préparée par le Service Physique de la Mesure Optique, CNES

Camille DESJARDINS ; Arthur DICK ; Lucas LANDIER ; Sébastien MARCQ ; Aimé MEYGRET

Damien RODAT

**25 JUIN 2024**

Journée Communauté d'Expert Optique et OptoElectronique (COMET-OEE) « Etalonnage sol des instruments optiques »  
37. Rue de Metz, 31 000 Toulouse

# SOMMAIRE

- 01 Les besoins en Qualité Image
- 02 Premier apport de la caractérisation sol :  
consolider le bilan d'erreur
- 03 Second apport de la caractérisation sol :  
nourrir les algorithmes de correction d'image



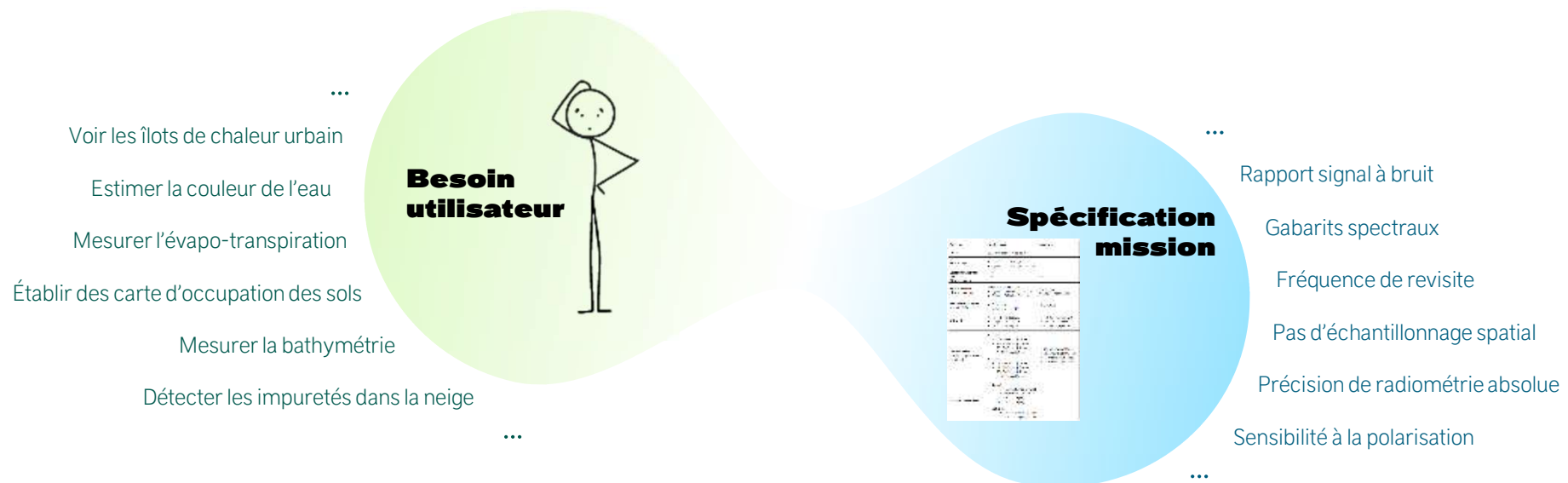
# 01

## **LES BESOINS EN QUALITÉ IMAGE**

# D'OÙ VIENNENT LES SPÉCIFICATIONS D'UNE MISSION SPATIALE ?

LES BESOINS

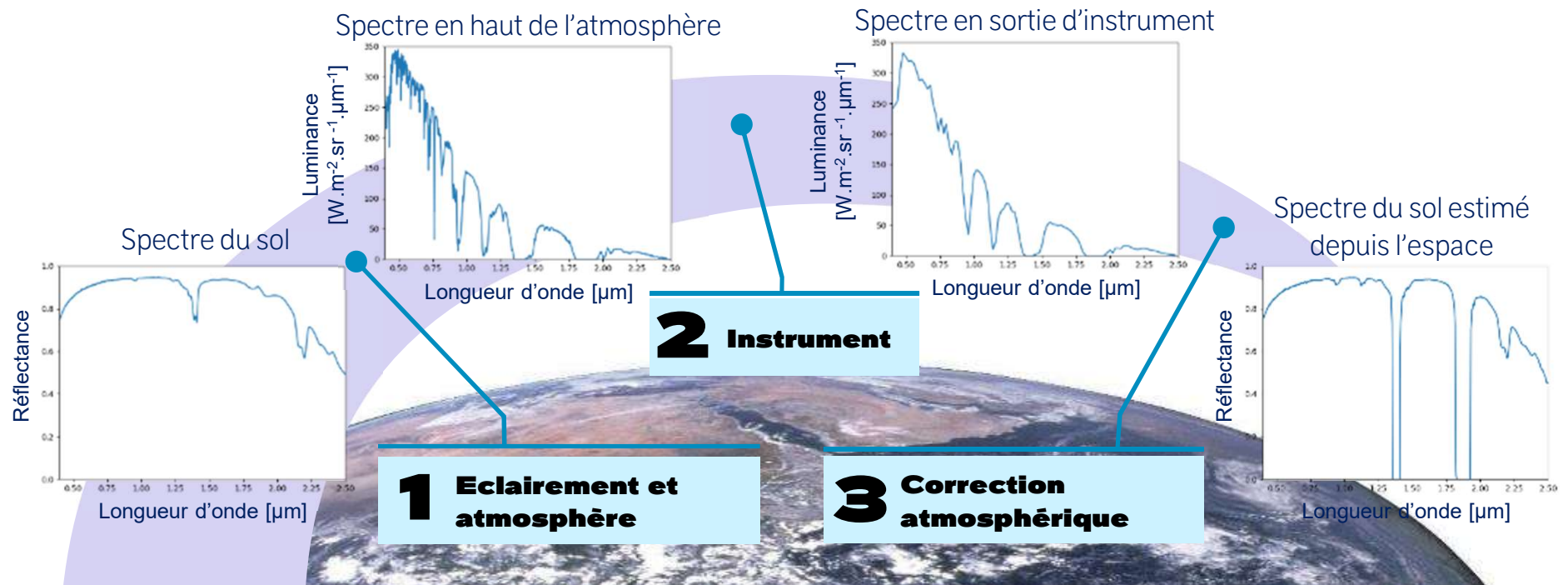
La mission spatiale répond aux **besoins d'une communauté d'utilisateurs**, les spécifications de la mission traduisent les besoins en objectifs pour la mission.



# SIMULATION DE LA CHAÎNE D'ACQUISITION

LES BESOINS

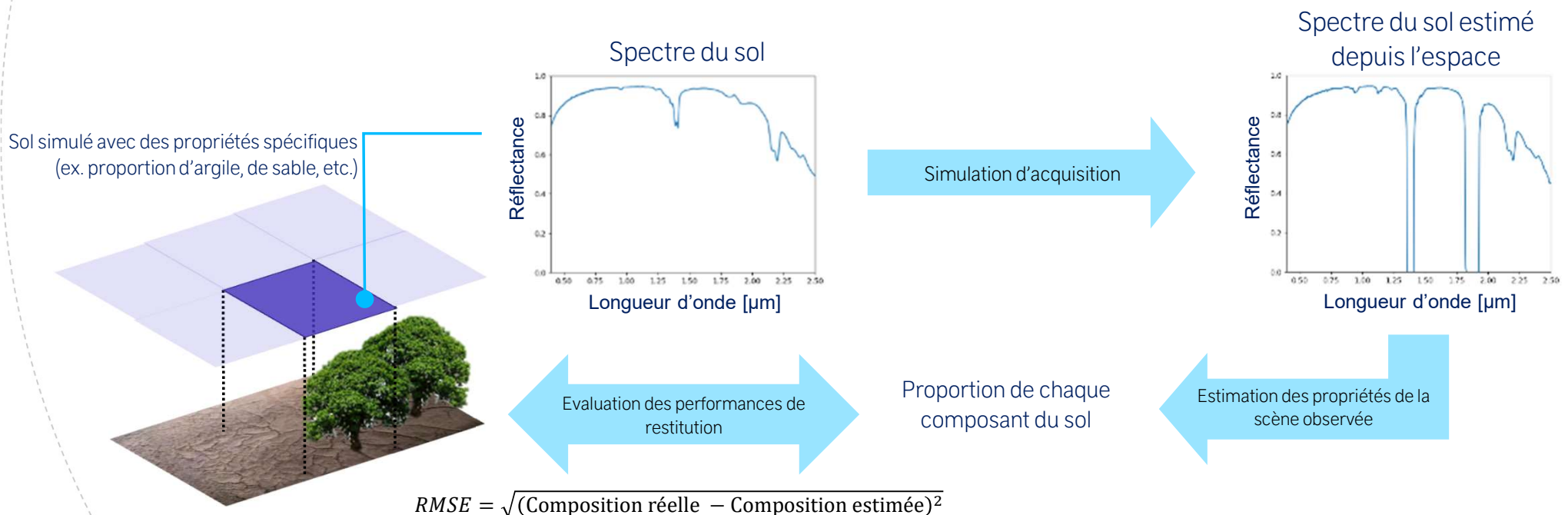
La première étape consiste à **simuler des images** telles qu'elles seront obtenues par le satellite en cours de conception.



# EXPLOITATION DE SCÉNARIOS D'UTILISATEURS FINAUX

LES BESOINS

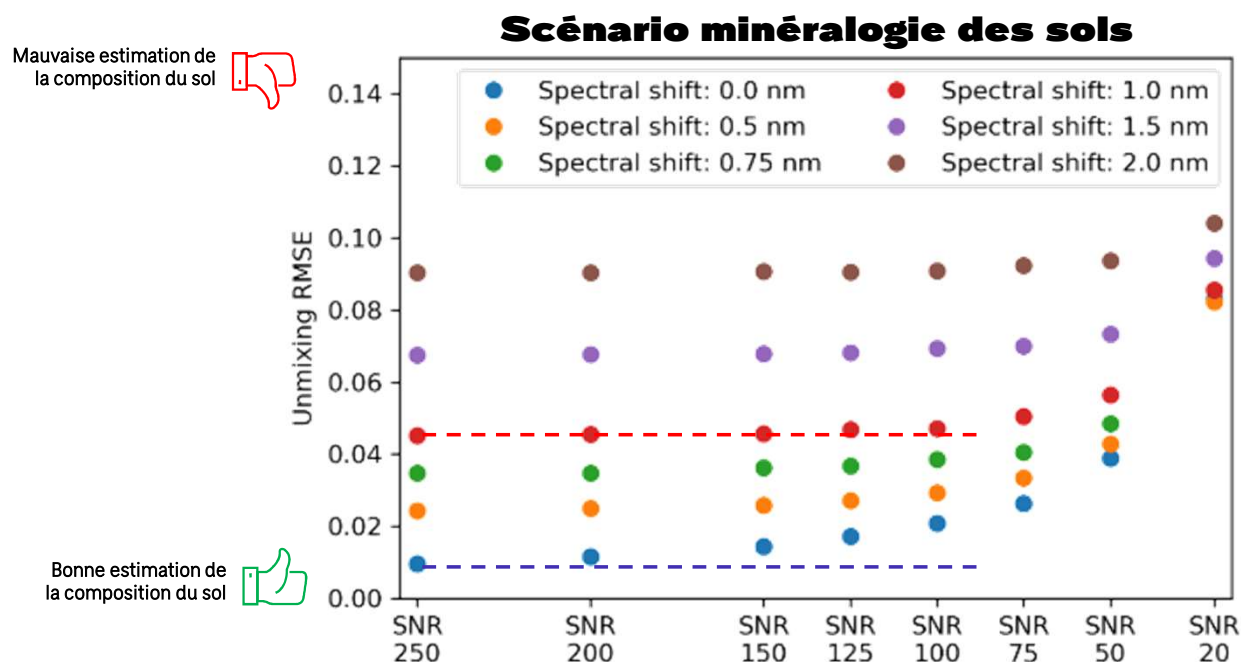
La seconde étape consiste à **exploiter les images** comme les utilisateurs finaux le feront afin d'évaluer les performances obtenues.



# EQUILIBRER LE JEU DE SPÉCIFICATIONS

LES BESOINS

Les **différents contributeurs** à la performance finale peuvent ainsi **être équilibrés** pour répondre au mieux aux besoins des utilisateurs sans sur-contraindre l'instrument.



Entre un SNR de 100 et de 250 :

- la performance est x 2 si la réponse spectrale est parfaitement connue ;
- la performance est inchangée si la réponse spectrale est connue à 1 nm près.

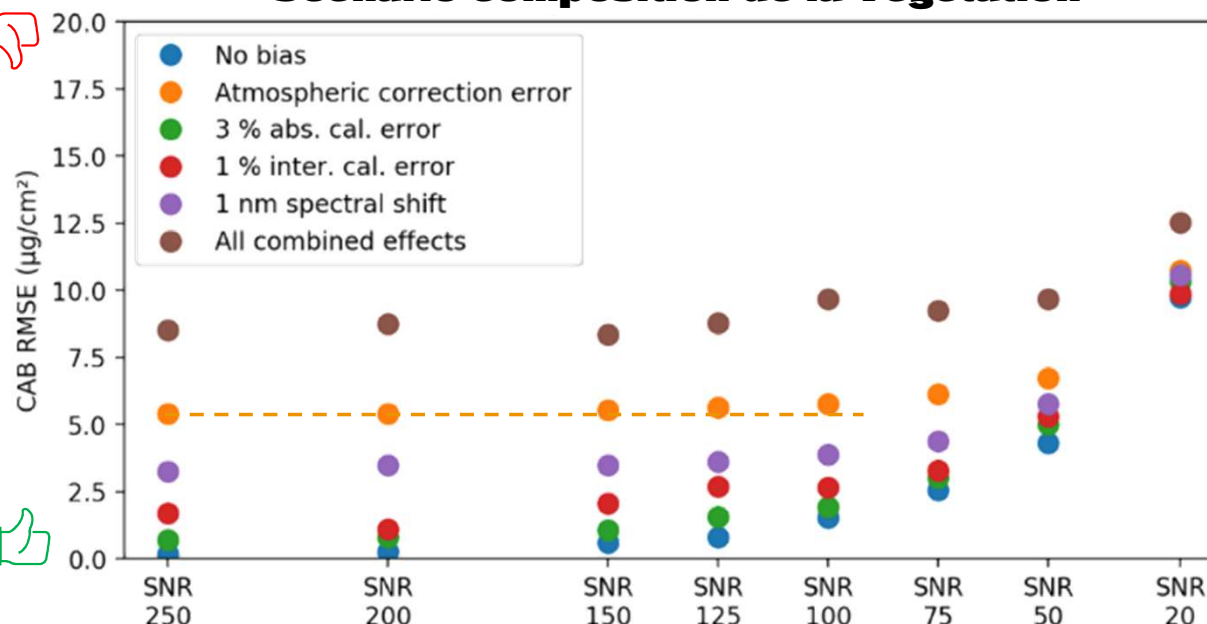
# EQUILIBRER LE JEU DE SPÉCIFICATIONS

LES BESOINS

Les **différents contributeurs** à la performance finale peuvent ainsi **être équilibrés** pour répondre au mieux aux besoins des utilisateurs sans sur-contraindre l'instrument.

**Scénario composition de la végétation**

Mauvaise estimation de la teneur en chlorophylle



Bonne estimation de la teneur en chlorophylle



Entre un SNR de 100 et de 250 :

- la performance finale est identique essentiellement à cause de la correction atmosphérique ;
- la précision de correction atmosphérique dépend elle-même de l'instrument (canaux spectraux dédiés, connaissances des réponses spectrales, etc.).



# 02

PREMIER APPORT DE L'ÉTALONNAGE SOL

## **CONSOLIDER LES BILANS D'ERREUR**

# L'INSTRUMENT N'EST PAS PARFAIT

BILAN D'ERREUR

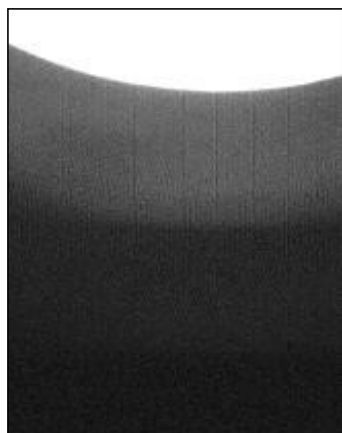
La caractérisation de l'instrument réel ou de ses sous-composants peut mettre en évidence de **nouveaux postes d'erreur** dans le bilan, remettant parfois en cause la capacité à atteindre la spécification.

**LUMIÈRE PARASITE**  
**KEYSTONE RÉMANENCE**  
**NON-UNIFORMITÉ DANS LE CHAMP**  
**RANDOM TELEGRAPH NOISE**

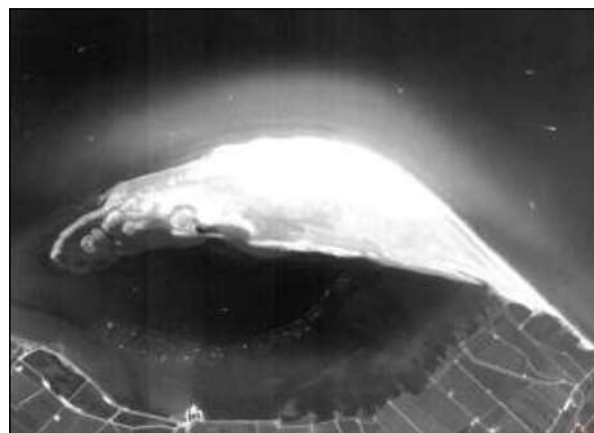
# PAS DE SOUCI, UN TRAITEMENT DE CORRECTION EST AJOUTÉ...

Heureusement, le traitement d'image apporte des **solutions magiques** pour éliminer les défauts, tout en limitant les surcoûts sur l'instrument...

De la lumière parasite sur VENμS ?



Bord de Lune



Plage et bord de mer (Delta Ebro)



Nuages au-dessus du Pacifique

Extraits de la bande B2

# PAS DE SOUCI, UN TRAITEMENT DE CORRECTION EST AJOUTÉ...

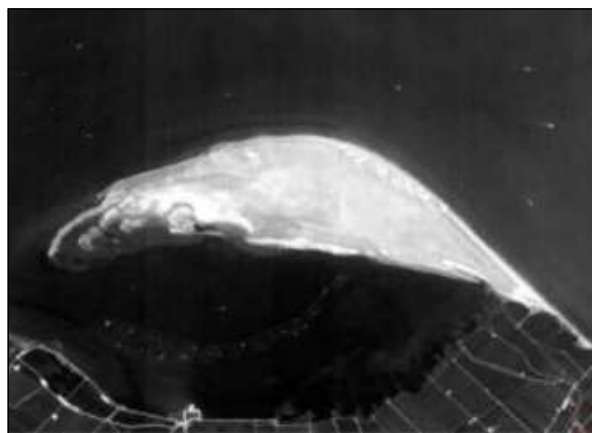
Heureusement, le traitement d'image apporte des **solutions magiques** pour éliminer les défauts, tout en limitant les surcoûts sur l'instrument...

De la lumière parasite sur VENμS ?

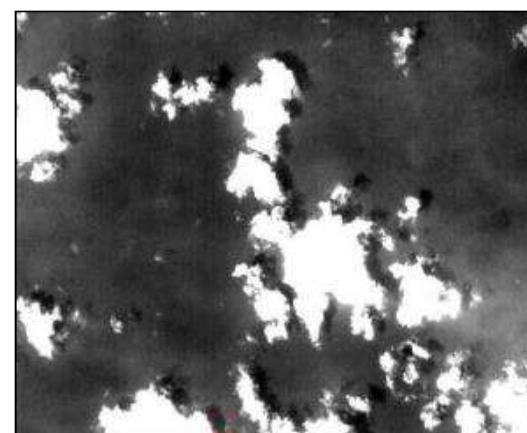
Non, aucun souci 😊



Bord de Lune



Plage et bord de mer (Delta Ebro)



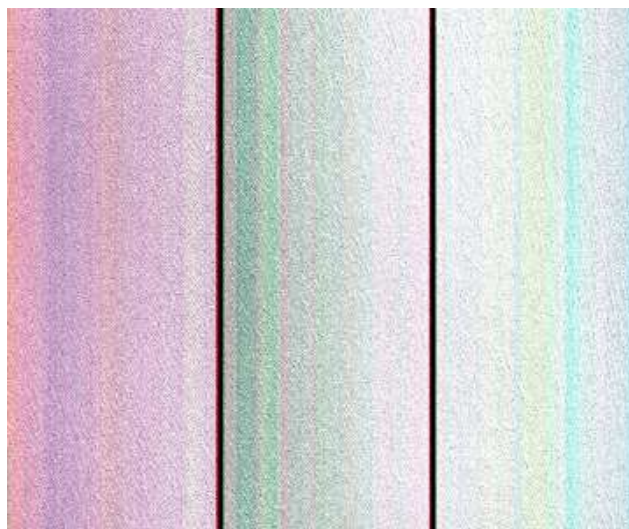
Nuages au-dessus du Pacifique

Extraits de la bande B2

# PAS DE SOUCI, UN TRAITEMENT DE CORRECTION EST AJOUTÉ...

Heureusement, le traitement d'image apporte des **solutions magiques** pour éliminer les défauts, tout en limitant les surcoûts sur l'instrument...

Une égalisation douteuse sur Pléiades 1B ?



Antarctique

Composition colorée RVB

# PAS DE SOUCI, UN TRAITEMENT DE CORRECTION EST AJOUTÉ...

Heureusement, le traitement d'image apporte des **solutions magiques** pour éliminer les défauts, tout en limitant les surcoûts sur l'instrument...

Une égalisation douteuse sur Pléiades 1B ?

Non, aucun souci 😊



Antarctique

Composition colorée RVB

... **SAUF QUE**

BILAN D'ERREUR

Pour tous les algorithmes de correction, la magie n'opère qu'à partir de **données d'entrée fiables**.

LUMIÈRE PARASITE  
KEYSTONE RÉMANENCE

NON-UNIFORMITÉ DANS LE CHAMP

RANDOM TELEGRAPH NOISE

**CARACTÉRISATION FINE**  
**ALGORITHMES DE CORRECTION**

# 03

SECOND APPORT DE L'ÉTALONNAGE SOL

## **NOURRIR LES ALGORITHMES**



# D'OÙ PROVIENNENT LES DONNÉES DES ALGORITHMES ?

NOURRIR LES  
ALGORITHMES

La source des données est **double** :

## Etalonnage **sol**

- équipements complexes accessibles (pas de contrainte de poids);
- analyses complémentaires possibles;
- éventuellement, changement du matériel de vol.

## Etalonnage **vol**

- représentatif de l'état réel de l'instrument (passage au vide, perturbation du lancement, etc.);
- représentatif de la mission de l'instrument (cibles observées, distances, etc.)

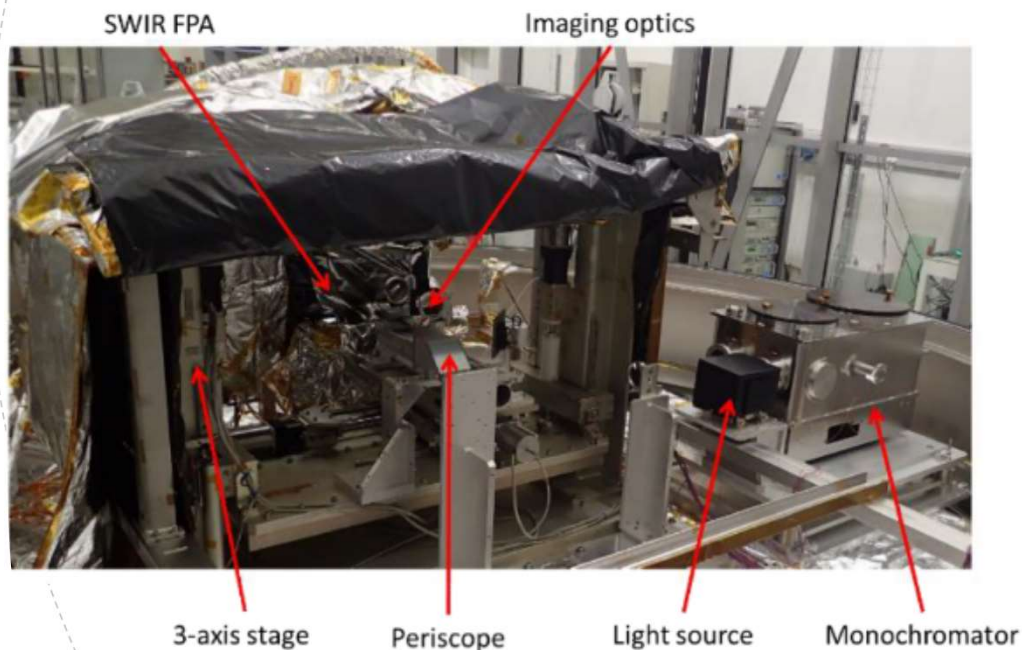
La combinaison des deux est souvent nécessaire.

Exemple : distribution de la lumière parasite mesurée au sol, niveau absolu adapté en vol.

# QUELQUES EXEMPLES D'ÉTALONNAGE AU SOL

NOURRIR LES  
ALGORITHMES

## Dispositif de caractérisation spectrale de Sentinel-2 C



Les caractérisations faites au sol sont très nombreuses. Sont notamment mesurées :

- les paramètres du modèle radiométrique (linéarité, étalonnage absolu, obscurité, etc.);
- la non-uniformité dans le champ de vue ;
- les réponses spectrales ;
- la Fonction de Transfert de Modulation (FTM) ;
- la lumière parasite ;
- le modèle de bruit ;
- la diaphonie électronique ;
- etc.

La plupart des mesures sont ponctuelles, puis **interpolées par modèle** à l'ensemble des configurations possibles. La modélisation peut altérer la précision des paramètres.

Les réponses spectrales de Sentinel-2 A/B ont été mesurées pour quelques pixels par détecteurs et par bandes. Les nouveaux Sentinel-2 (C et D) ont été caractérisés pour **tous** les pixels du champ.

# QUELQUES EXEMPLES D'ÉTALONNAGE EN VOL

NOURRIR LES  
ALGORITHMES

Lors qu'il est réalisable, l'étalonnage en vol est préféré à l'étalonnage au sol. Il se fait :

- soit avec des **prises de vues spécifiques** (dites *vicarious*) :
  - étalonnage absolu ;
  - suivi multi-temporel ;
  - étalonnage inter-bande ;
  - étalonnage inter-capteur ;
  - mesure de Fonction de Transfert de Modulation (FTM) ;
  - étalonnage spectral partiel ;



- soit grâce à des **étalons à bord**.

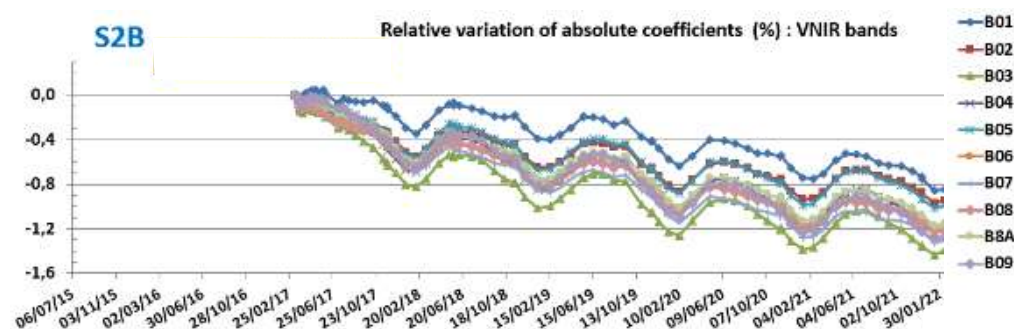
# UN CAS TYPIQUE DE COMBINAISON ENTRE SOL ET VOL

NOURRIR LES  
ALGORITHMES

Les étalons embarqués à bord peuvent servir de référence pour **caractériser en vol** :

- l'étalonnage absolu ;
- l'étalonnage inter-bande ;
- l'égalisation ;
- le décalage spectral ;
- les obscurités.

Mais **un étalon doit impérativement être bien caractérisé au sol** pour être exploité en vol.



Oscillations saisonnières du coefficient d'étalonnage de Sentinel-2 B vraisemblablement dues à une imprécision sur la connaissance de la BRDF du diffuseur.

# BILAN DES DONNÉES REQUISES ET DE LEUR SOURCE

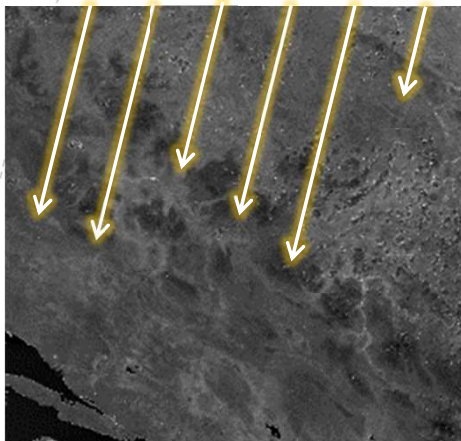
NOURRIR LES ALGORITHMES

	Besoins spécifiés (mission hyperspectrale)											Données impossibles à obtenir en vol (à l'heure actuelle)
	Etal. absolu	Etal. inter-bande	Etal. spectral	Égalisation	Stabilité temporelle	Rapport Signal à Bruit	Lumière parasite, diaphonie	Fonction de Transfert de Modulation (FTM)	Polarisation	Performance de géolocalisation	Co-registration inter-bande	
Données requises pour atteindre la spécification	Directions de visée									x	x	
	BRDF du diffuseur	x	x		x							x
	Coefficient d'étalonnage	x										
	Caractérisations optiques	Vérif. des performances			Vérif. des performances							x
	Réponse spectrale	x	x	x	x							x Limité à la détection d'anomalie
	Linéarité du détecteur	x	x	x	x							x Limité à la détection d'anomalie
	Défaut du détecteur (rémanence, etc.)	x	x	x	x							x Limité à la détection d'anomalie
	Non-uniformité des pixels	x	x	x								
	Rapport Signal à Bruit					Vérif. des performances						
	Signal d'obscurité	x	x	x	x							
	FTM							Vérif. des performances				
	Polarisation				x				Vérif. des performances			x
	Cross-talk (électronique, optique)				x		x					x
	Noyaux de lumière parasite				x		x					x



# CONCLUSIONS

# CONCLUSIONS



Correction impossible de la variabilité spectrale en bord de détecteur

Les traitements numériques de correction permettent d'améliorer sensiblement la qualité image et de rendre la mission compatible des besoins utilisateurs **si des données fiables et précises sont disponibles**.

Il existe deux sources de données :

- l'étalonnage au **sol**, très complet mais pas toujours parfaitement représentatif des conditions réelles de prise de vue.
- l'étalonnage en **vol**, plus représentatif mais limité à certaines mesures et dépendant de caractérisations sol préalables.

Certaines données critiques ne sont **accessibles que par une mesure au sol** :

- les caractéristiques des étalons embarqués à bord ;
- les réponses spectrales ;
- les modèles de réponse du détecteur (linéarité, etc.) ;
- la lumière parasite, la diaphonie électronique ;
- le taux de sensibilité à la polarisation.