



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

Liberté  
Égalité  
Fraternité



# CryoSense - L'IA pour la fiabilité des vannes

Etude R&T Transport Spatial contribuant au Vecteur d'Innovation Prioritaire « Système de Transport Spatial Intelligent »  
Objectif : Contribuer à l'amélioration de la disponibilité du système de lancement Ariane 6 et de futurs systèmes de lancement mis en œuvre au CSG

Caroline BETBEZE - Arthur BARBIER  
CNES (Direction du Transport Spatial) Stéphane ORIOL - Guillaume BEZIER - Bastien LEBAS

## Comment anticiper les défaillances des vannes

### Contexte

Les **vannes cryogéniques** sont des composants essentiels de la gestion des fluides nécessaires aux lancements.



Risques de défaillance des vannes liés aux contraintes thermiques



Indisponibilité du segment sol et durées de maintenance



Utiliser l'**IA** et la **détection d'anomalies** pour analyser et détecter les **signaux faibles** avant qu'ils ne mènent à une **défaillance opérationnelle** dans le but d' la disponibilité du segment sol Ariane 6.

### Données utilisées



Période de données : 06/2023 → 08/2025



Données utilisées : Temps d'ouverture/de fermeture, température, pression, spécification...



Données labellisées : Labellisation réalisée manuellement par le CNES

Vannes

308

Taux d'anomalies: 25%

Phases anormales

406

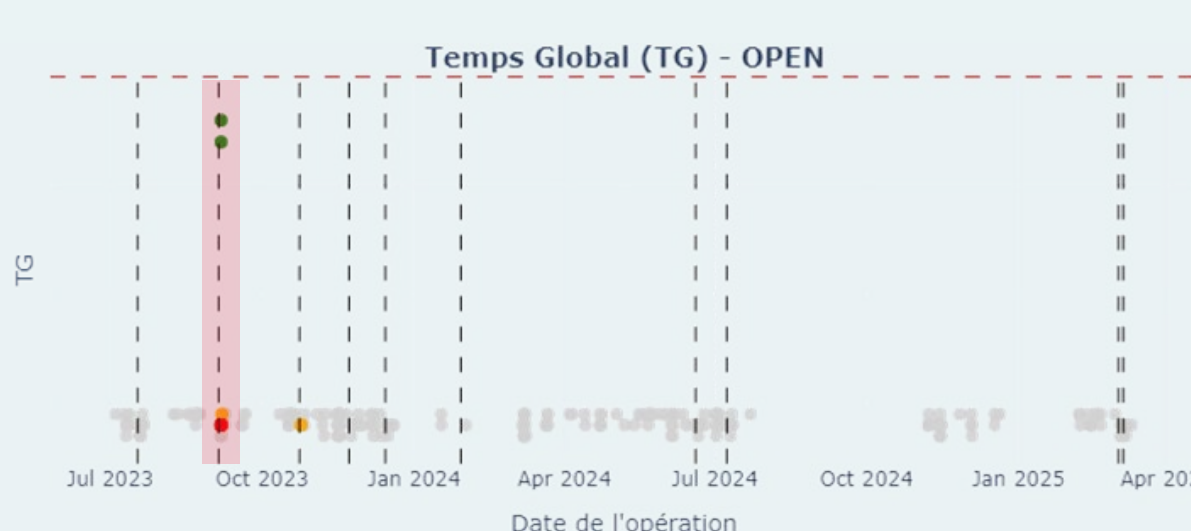
Opérations

122 119

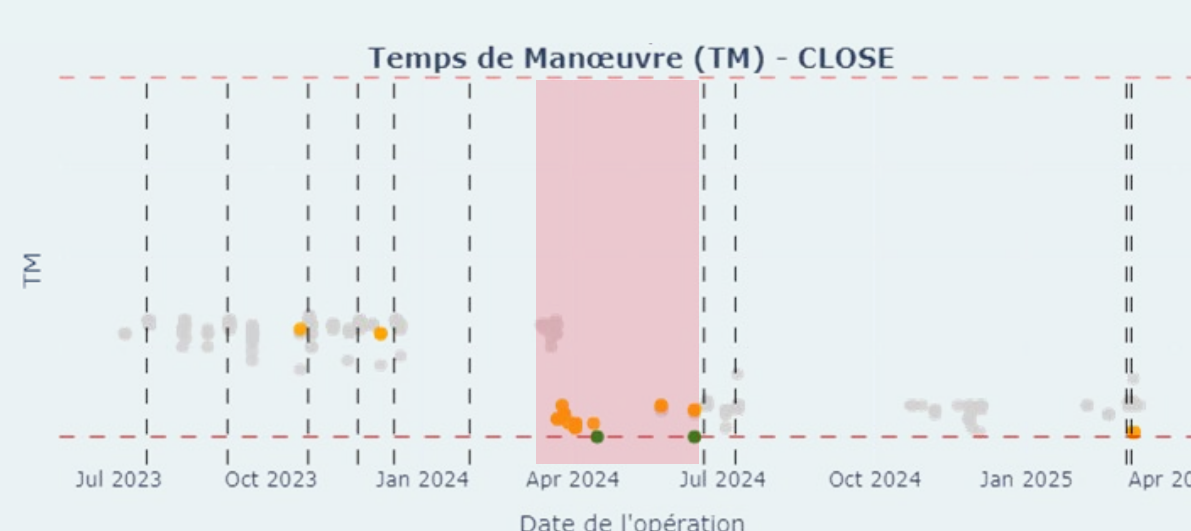
Taux d'anomalies: 1.54%

### Exemples de phases anormales

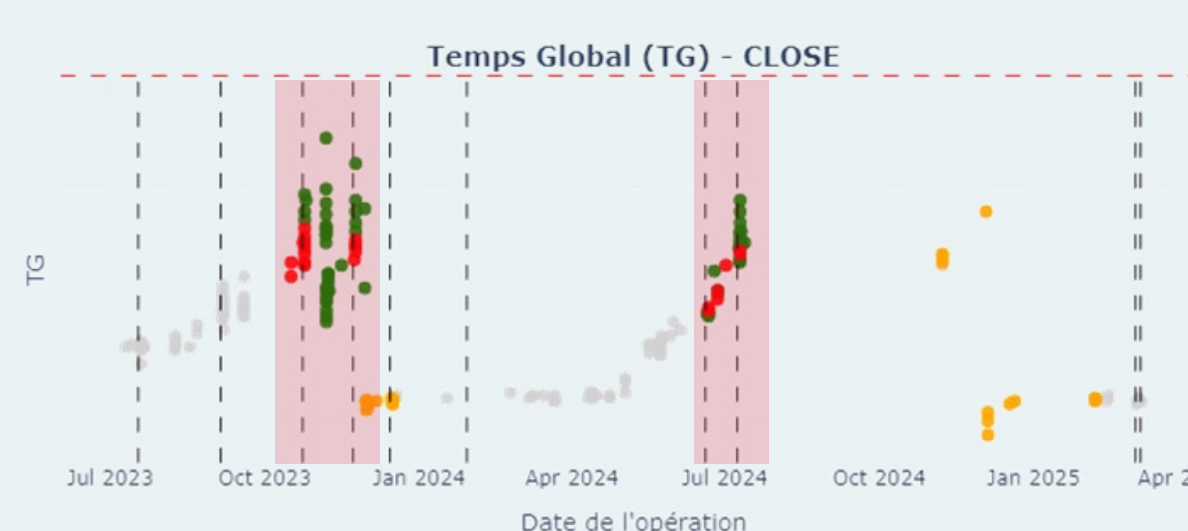
Valeur extrême soudaine



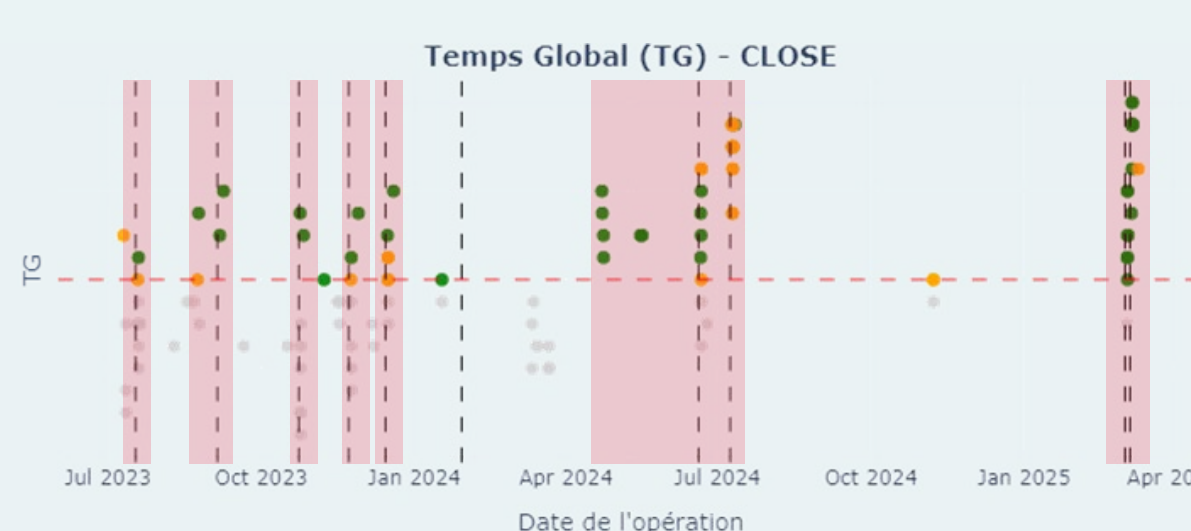
Changement de comportement nominal



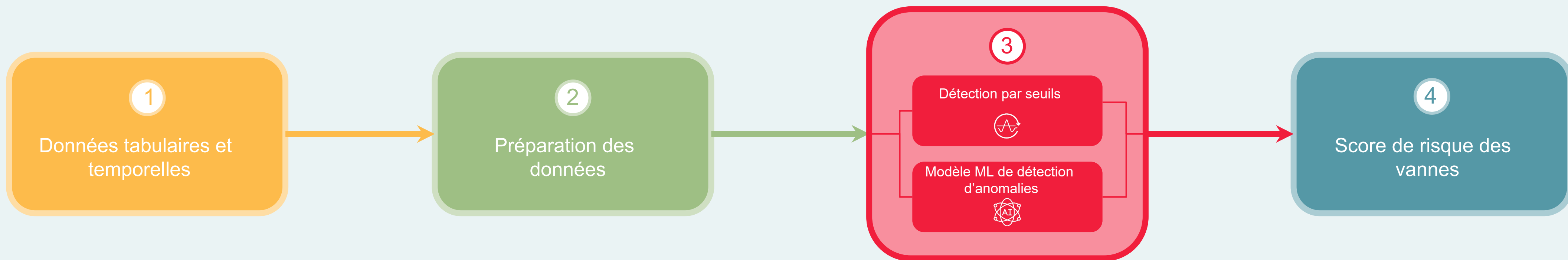
Dérive



Valeurs en dehors des spécifications



### Solution développée



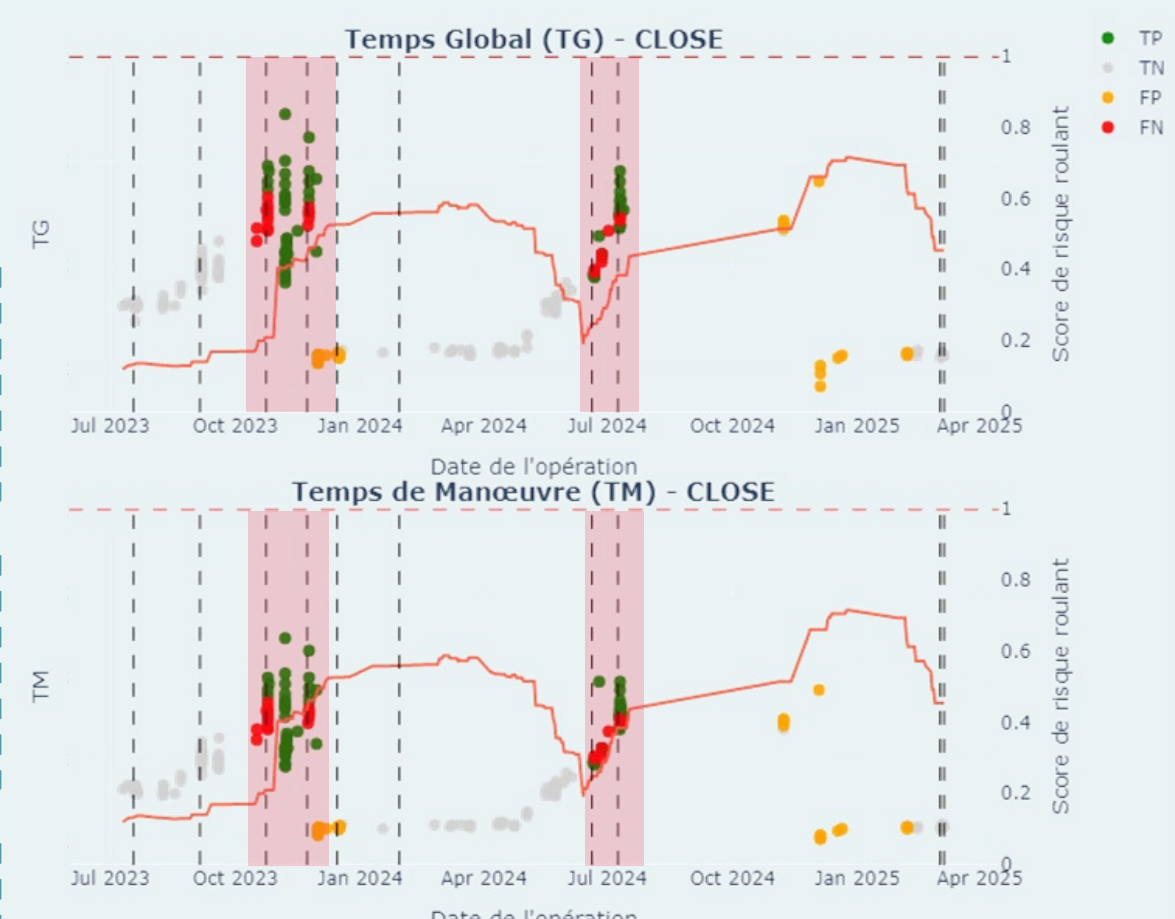
### Évaluation

Différents niveaux de granularité d'évaluation de performance

**Opération**  
La prédiction du modèle est comparée avec la réalité terrain pour une opération donnée

**Phase anormale**  
On considère que le modèle a bien détecté la phase s'il a détecté au moins une opération anormale au sein de la phase.

**Couple Vanne / Type**  
On considère que le modèle a bien détecté le couple Vanne / Type s'il a correctement détecté au moins une opération anormale



Phases anormales

Plusieurs opérations ont été identifiées comme anormales par le modèle au sein de ces phases

### Dashboard de suivi

Vannes nominales

Vannes à surveiller

Vannes à risque

KPIs svannes cryogéniques ur l'état global du parc des

Représentation graphique du réseau de vannes cryogéniques

### Performances

Modèle hybride de détection par seuils et de détection d'anomalies ML ( Isolation Forest )

70%

des opérations labellisées comme anormales sont effectivement détectées par le modèle

31%

des opérations détectées sont effectivement anormales (fausses alertes ou la labellisation manquante)

370 / 406

Nombre de phases anormales détectées (ie. au moins une opération détectée dans toute la phase)

40

Nombre de phases détectées par le modèle ML seul

140

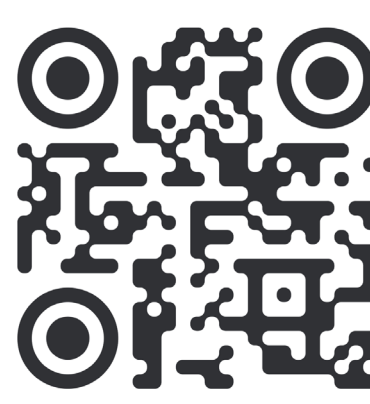
Nombre de phases détectées par le modèle ML et les seuils

190

Nombre de phases détectées par les seuils uniquement

F2- Score global 82%

Le modèle de détection hybride présente des **performances prometteuses**, permettant d'**anticiper les problèmes** éventuels sur les vannes tout en **limitant le nombre de fausses alertes**.







RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

Liberté  
Égalité  
Fraternité



# CryoSense - L'IA pour la fiabilité des vannes

Etude R&T Transport Spatial contribuant au Vecteur d'Innovation Prioritaire « Système de Transport Spatial Intelligent »

Objectif : Contribuer à l'amélioration de la disponibilité du système de lancement Ariane 6 et de futurs systèmes de lancement mis en œuvre au CSG

Caroline BETBEZE - Arthur BARBIER

CNES (Direction du Transport Spatial) Stéphane ORIOLE - Guillaume BEZIER - Bastien LEBAS

## Comment anticiper les défaillances des vannes cryogéniques ?

### Contexte

Les **vannes cryogéniques** sont des composants essentiels de la gestion des fluides nécessaires aux lancements.



Risques de défaillance des vannes liés aux contraintes thermiques



Indisponibilité du segment sol et durées de maintenance



Utiliser l'IA et la **détection d'anomalies** pour analyser et **détecter les signaux faibles** avant qu'ils ne mènent à une **défaillance opérationnelle** dans le but **d'améliorer la disponibilité du segment sol Ariane 6**.

### Données utilisées



Période de données : 06/2023 → 08/2025



Données utilisées : Temps d'ouverture/de fermeture, température, pression, spécification...



Données labellisées : Labellisation réalisée manuellement par le CNES

Vannes

308

Taux d'anomalies: 25%

Phases anormales

406

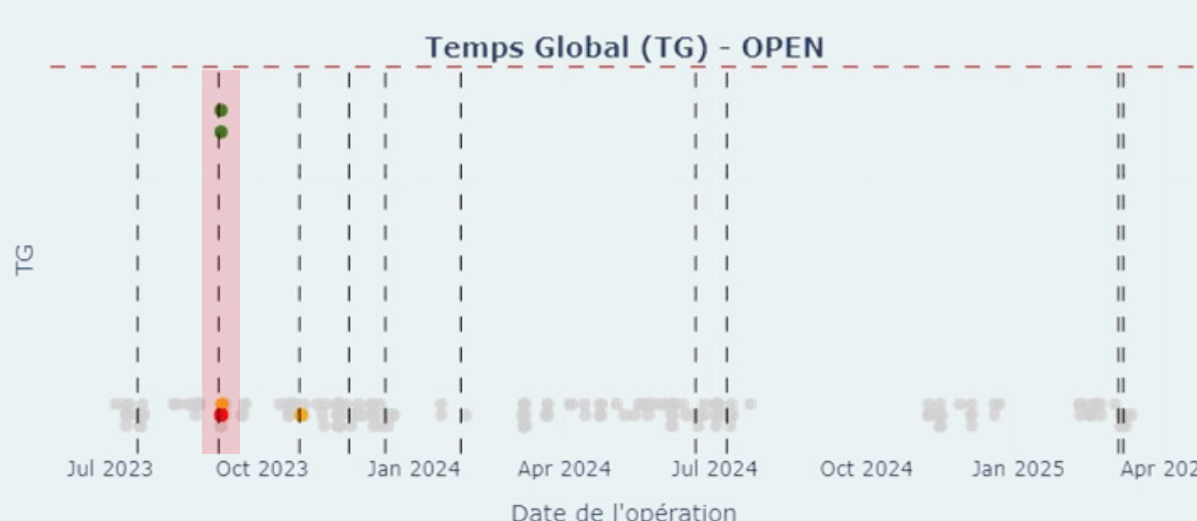
Opérations

122 119

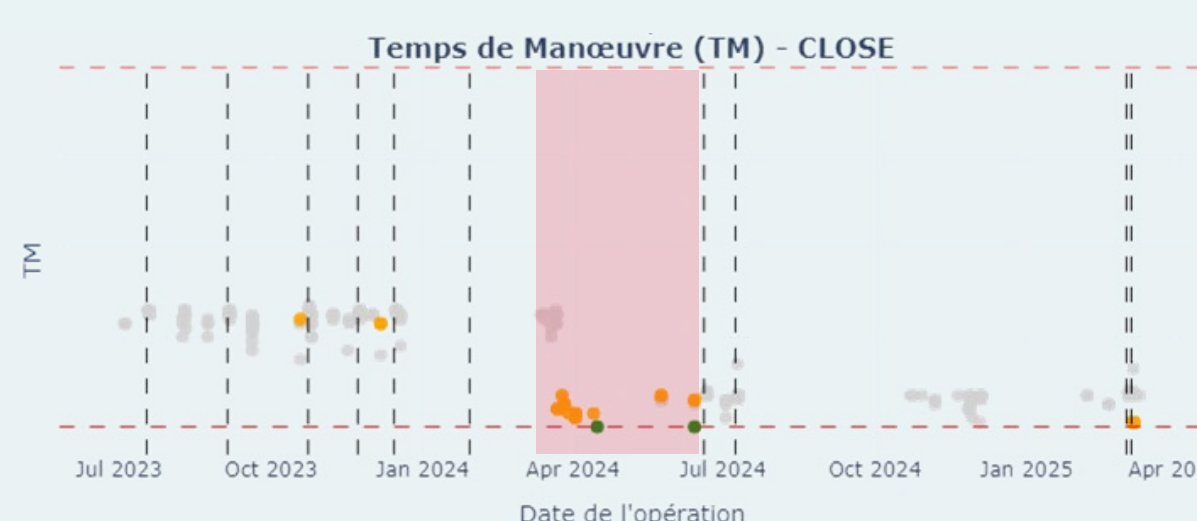
Taux d'anomalies: 1.54%

### Exemples de phases anormales

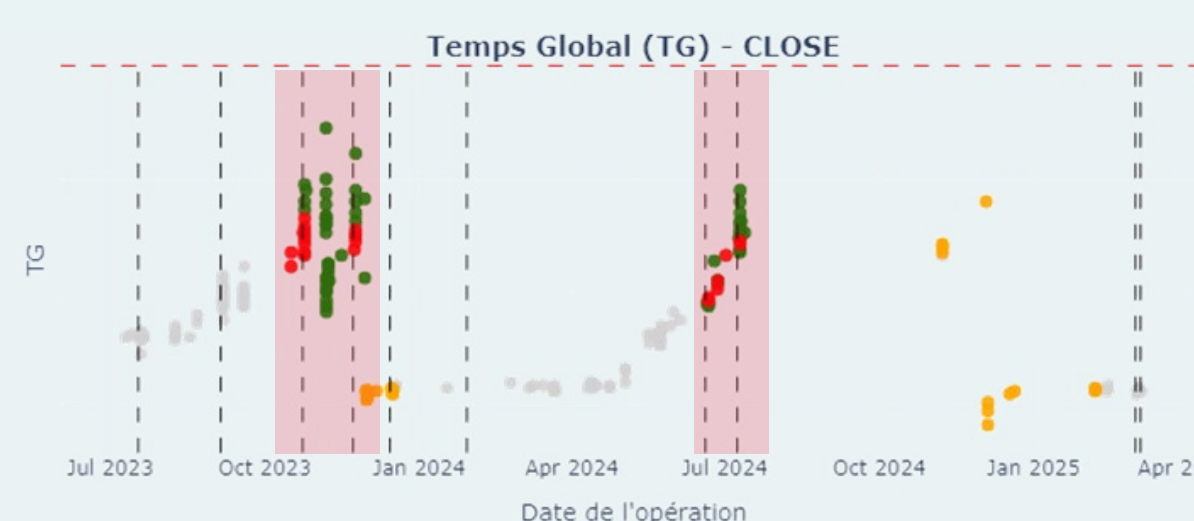
#### Valeur extrême soudaine



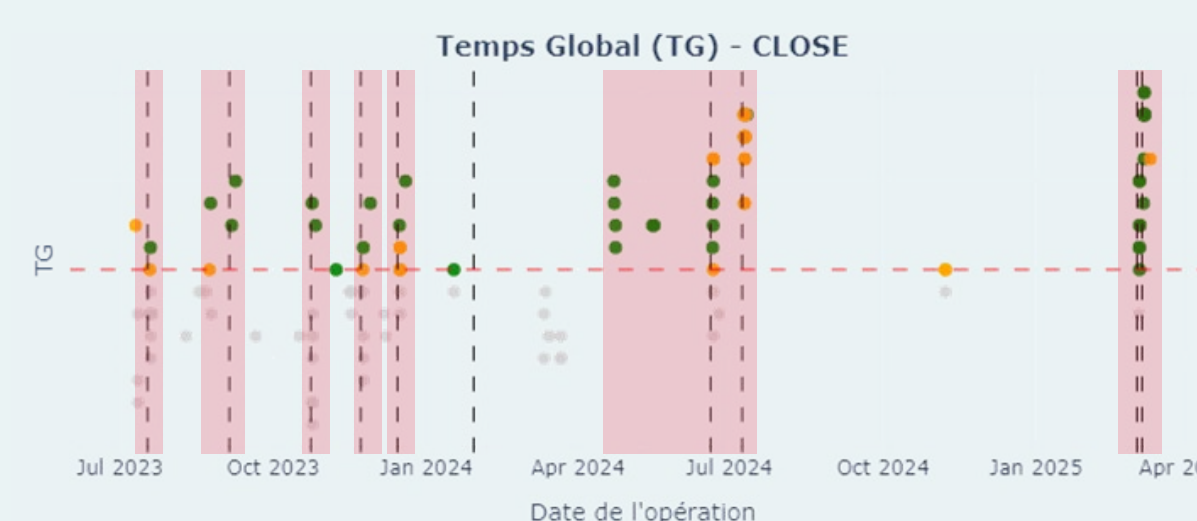
#### Changement de comportement nominal



#### Dérive



#### Valeurs en dehors des spécifications



### Solution développée

1

Données tabulaires et temporelles

2

Préparation des données

3

Détection par seuils



Modèle ML de détection d'anomalies



4

Score de risque des vannes

### Évaluation

Différents niveaux de granularité d'évaluation de performance

#### Opération

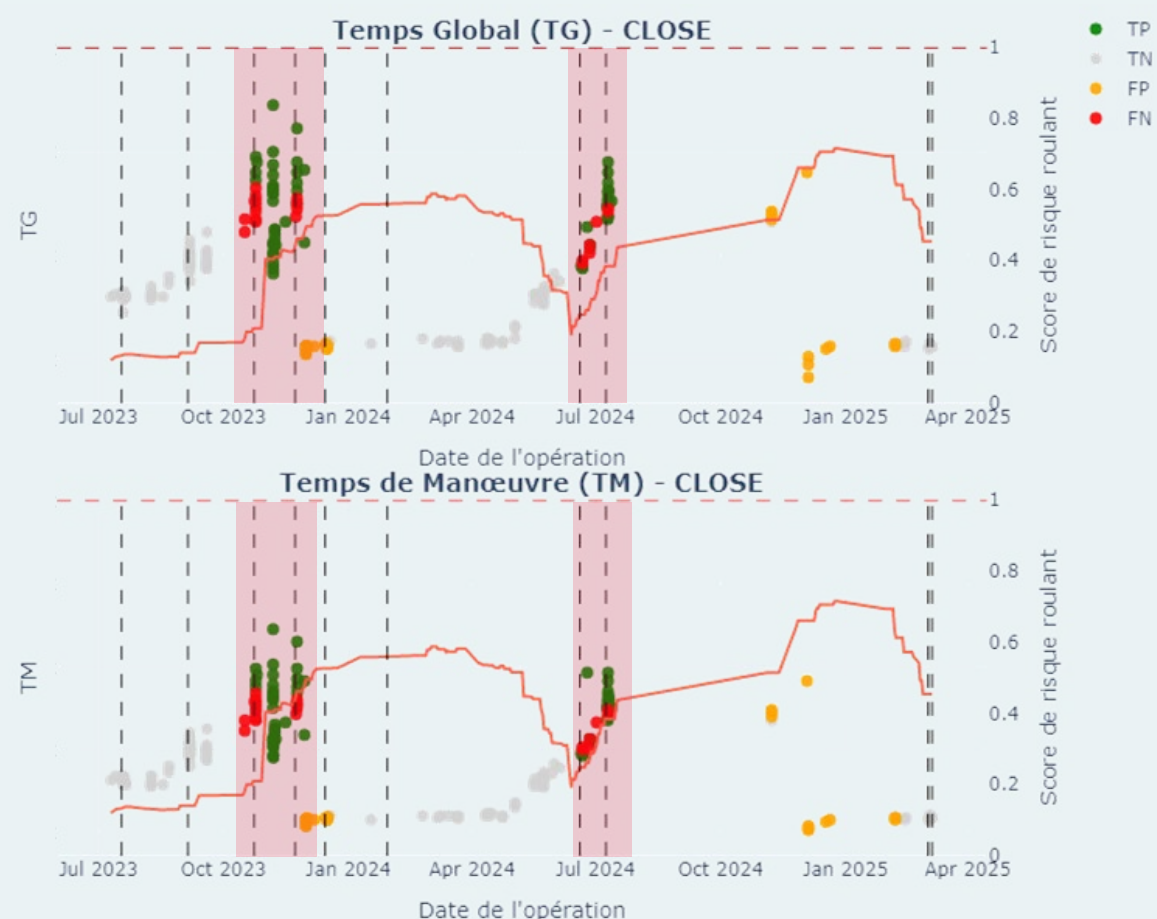
La prédiction du modèle est comparée avec la réalité terrain pour **une opération donnée**.

#### Phase anormale

On considère que le modèle a bien détecté la phase s'il a détecté **au moins une opération anormale** au sein de la phase.

#### Couple Vanne / Type

On considère que le modèle a bien détecté le couple Vanne / Type s'il a correctement détecté **au moins une opération anormale**.



#### Phases anormales

Plusieurs opérations ont été identifiées comme anormales par le modèle au sein de ces phases

### Dashboard de suivi

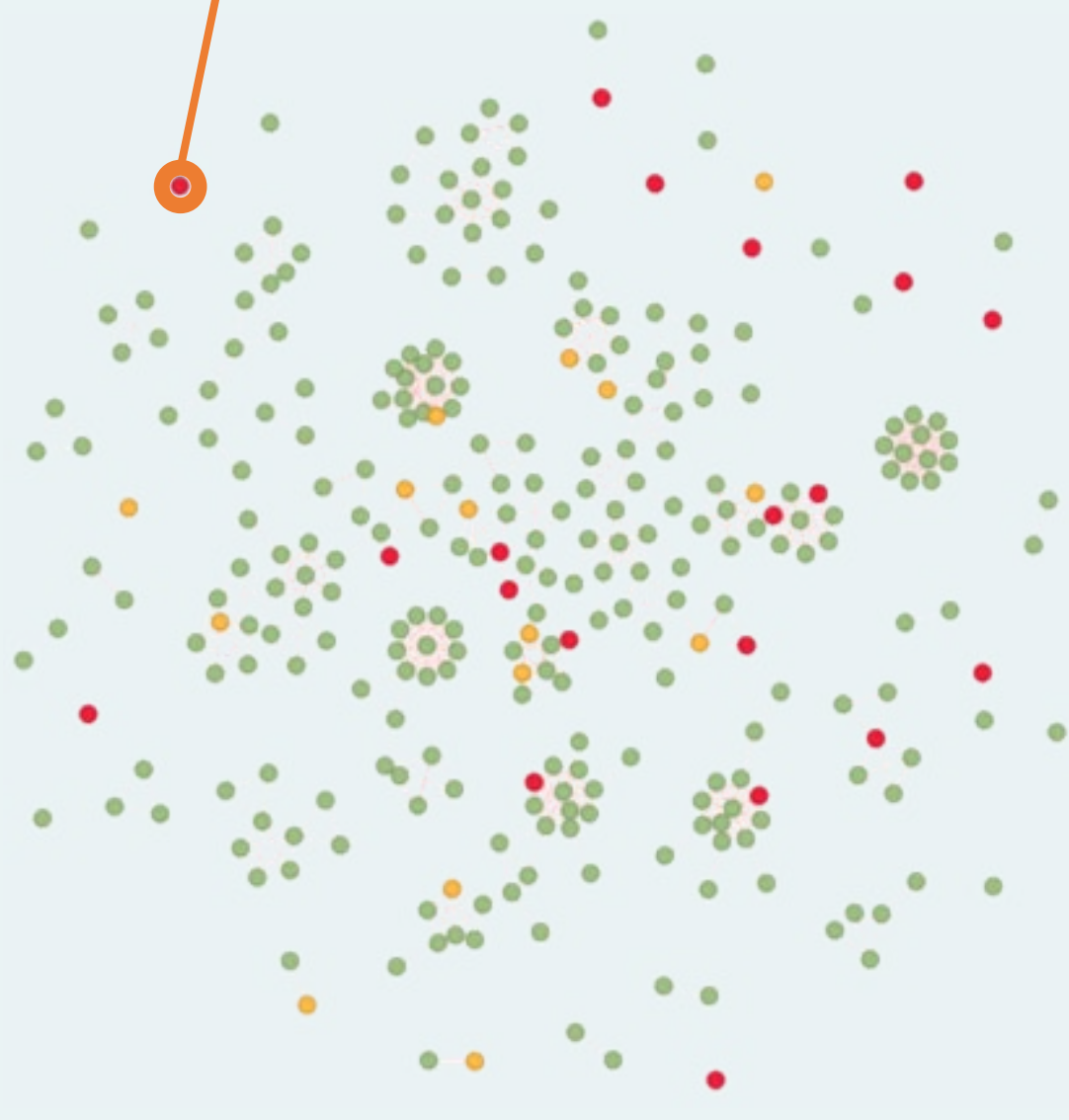
Vannes nominales

Vannes à surveiller

Vannes à risque

KPIs sur l'état global du parc des vannes cryogéniques

Représentation graphique du réseau de vannes cryogéniques



### Performances

#### Modèle hybride de détection par seuils et de détection d'anomalies ML (Isolation Forest)

70%

des opérations labellisées comme anormales sont effectivement détectées par le modèle

31%

des opérations détectées sont effectivement anormales (fausses alertes ou labellisation manquante)

370 / 406

Nombre de phases anormales détectées (ie. au moins une opération détectée dans toute la phase)

40

Nombre de phases détectées par le modèle ML seul

140

Nombre de phases détectées par le modèle ML et les seuils

190

Nombre de phases détectées par les seuils uniquement

F2 - Score global 82%

Le modèle de détection hybride présente des **performances prometteuses**, permettant **d'anticiper les problèmes** éventuels sur les vannes tout en **limitant le nombre de fausses alertes**.

