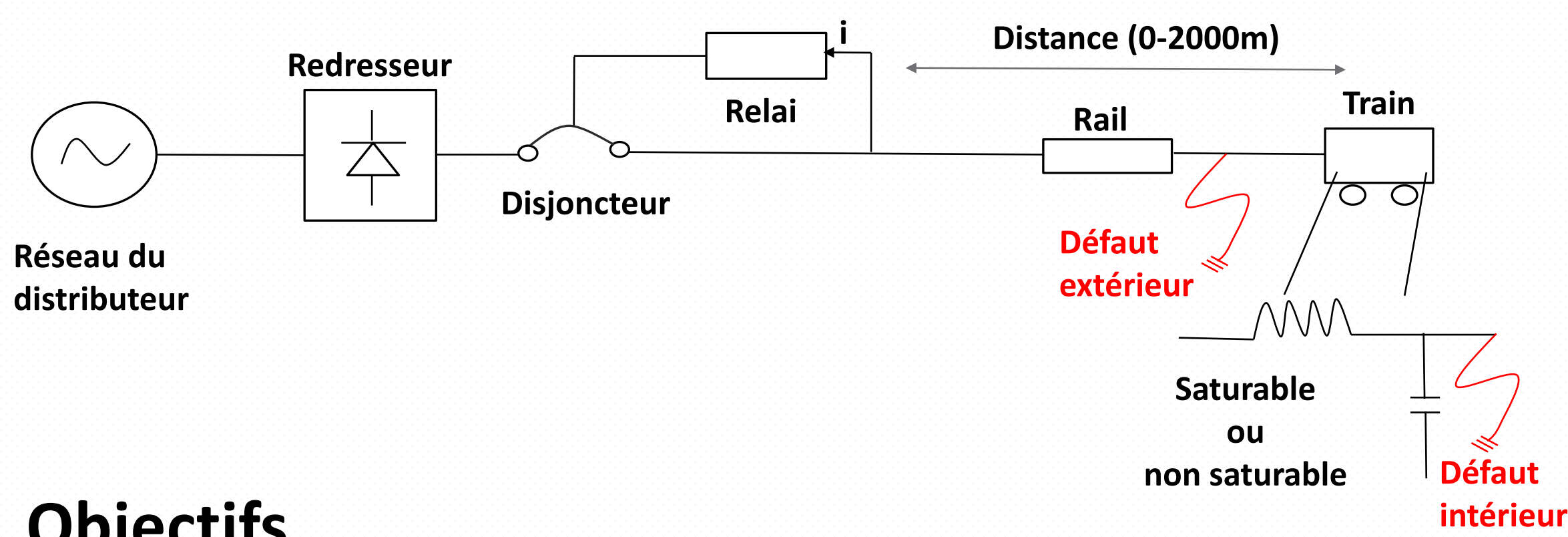


Améliorer la fiabilité et la sécurité des métros grâce à la détection et à la classification automatique des problèmes électriques

Nassim El Assad (étudiant), Maxime Berger, Mehdi Adda
Département de mathématiques, informatique et génie

Problématique

- Les réseaux électriques de métro sont exposés à des anomalies pouvant causer des interruptions, des dommages et des risques humains.
- Les systèmes de protection doivent détecter les situations dangereuses tout en évitant les faux déclenchements.
- Les méthodes traditionnelles présentent des zones d'incertitude, pouvant entraîner des erreurs de détection.

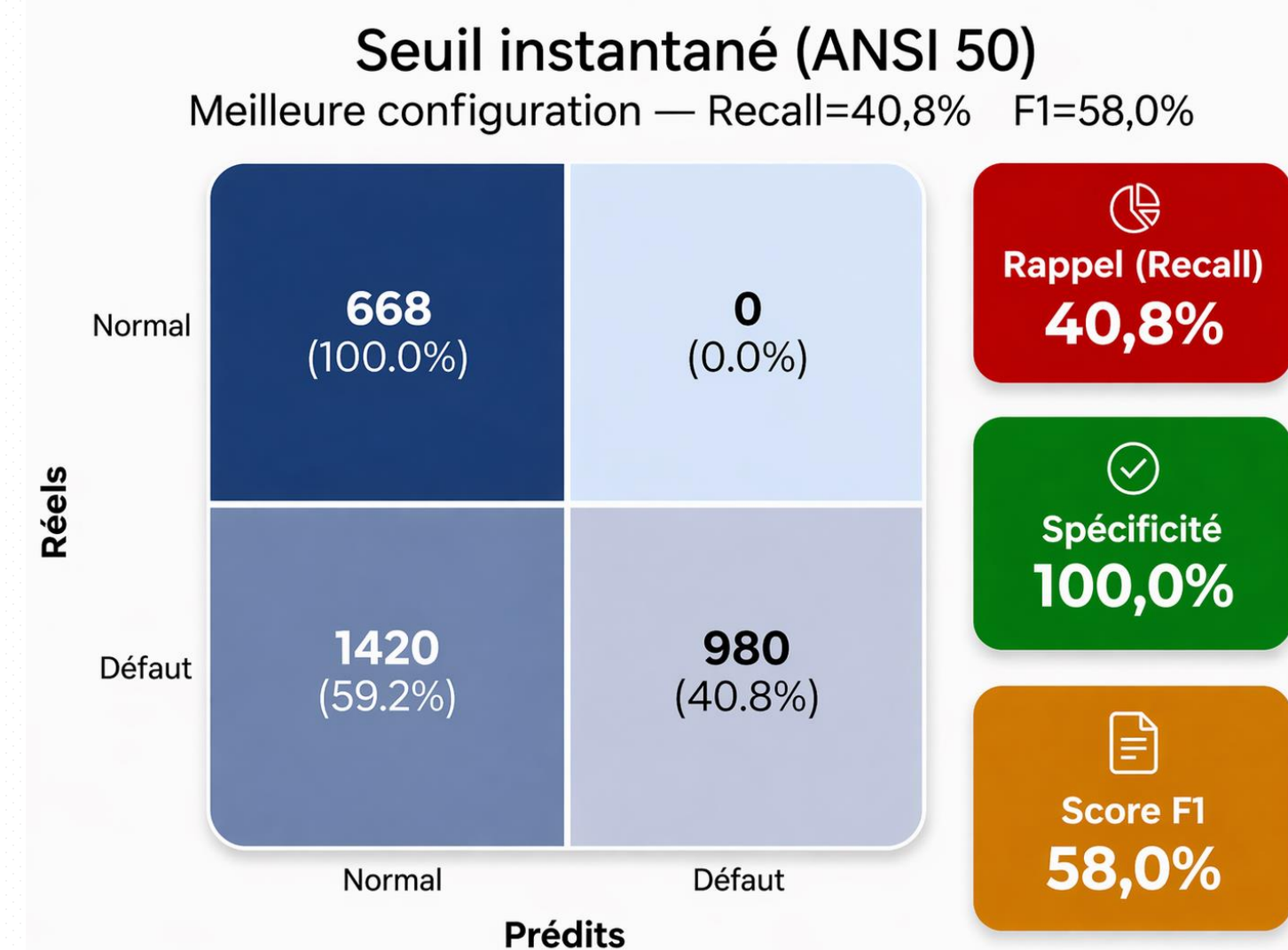


Objectifs

- Détecter automatiquement les régimes normaux et défectueux
- Identifier précisément la nature des défauts
- Améliorer la fiabilité des systèmes de protection

Simulation des relais de protection

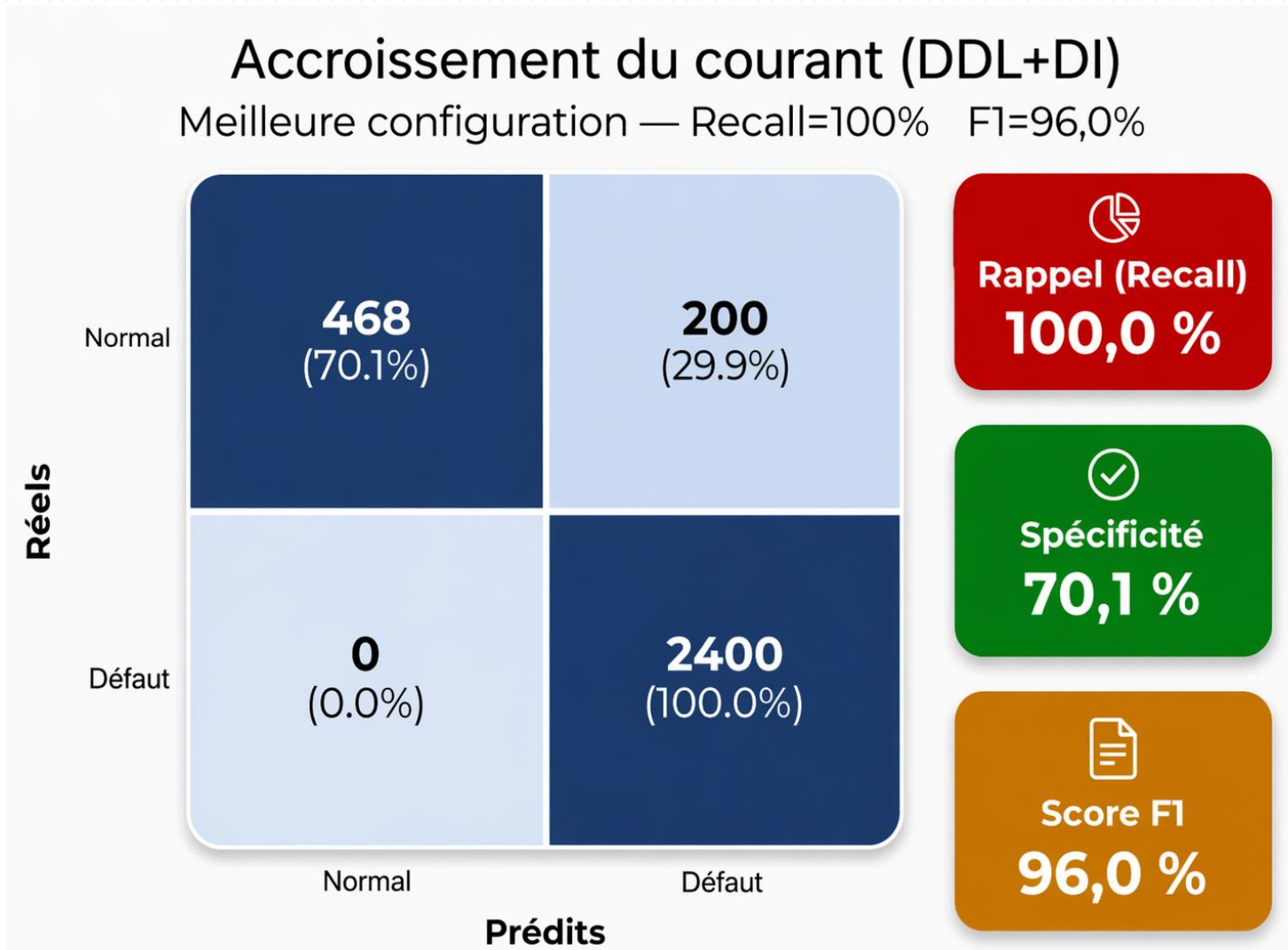
1. Déclenchement instantané basé sur un seuil (ANSI 50)



1 420 défauts non détectés sur 2 400 — le relais laisse passer 59,2 % des défauts.

0 fausse alarme — les régimes normaux sont toujours correctement identifiés.

2. Déclenchement basé sur l'accroissement du courant dans le temps



Tous les défauts détectés — 0 défaut manqué sur 2 400 (Recall = 100 %).

200 fausses alarmes sur 668 cas normaux → risque de déclenchements intempestifs.

Méthodologie :

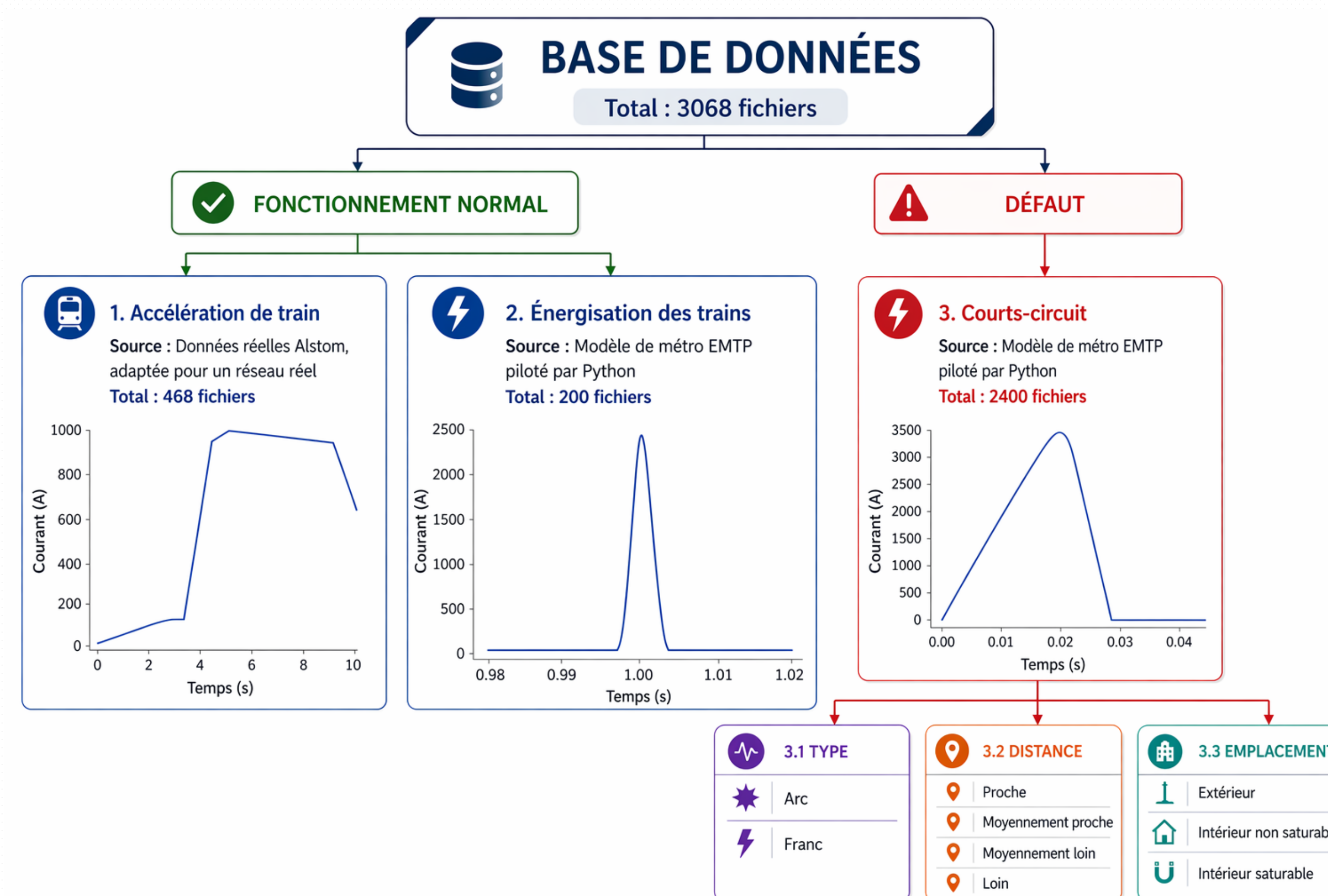
1. Génération d'une base de données

Notre base de données contient 3068 signaux générés par simulation :

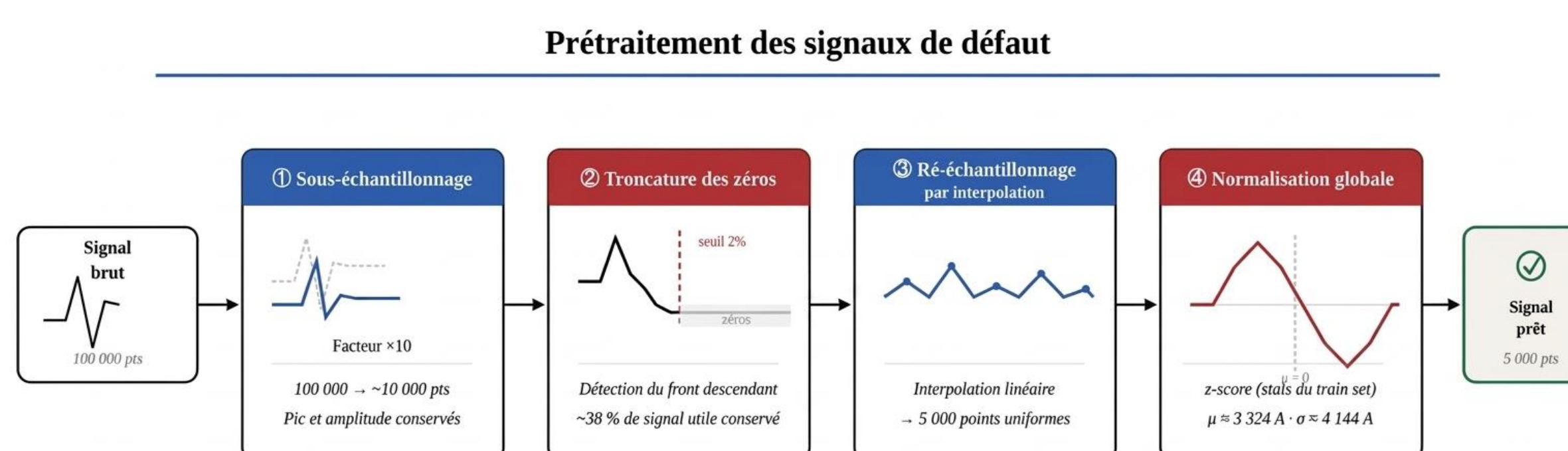
- 200 cas d'**energisation des trains** (modèle de simulation EMTP® piloté par Python avec API EMTP-Python)
- 468 cas d'**accélération des trains** (données réelles d'Alstom)
- 2400 cas de **défauts** (modèle de simulation EMTP® piloté par Python avec API EMTP-Python)

❖ EMTP® : Electromagnetic transients program

❖ API : Application Programming Interface



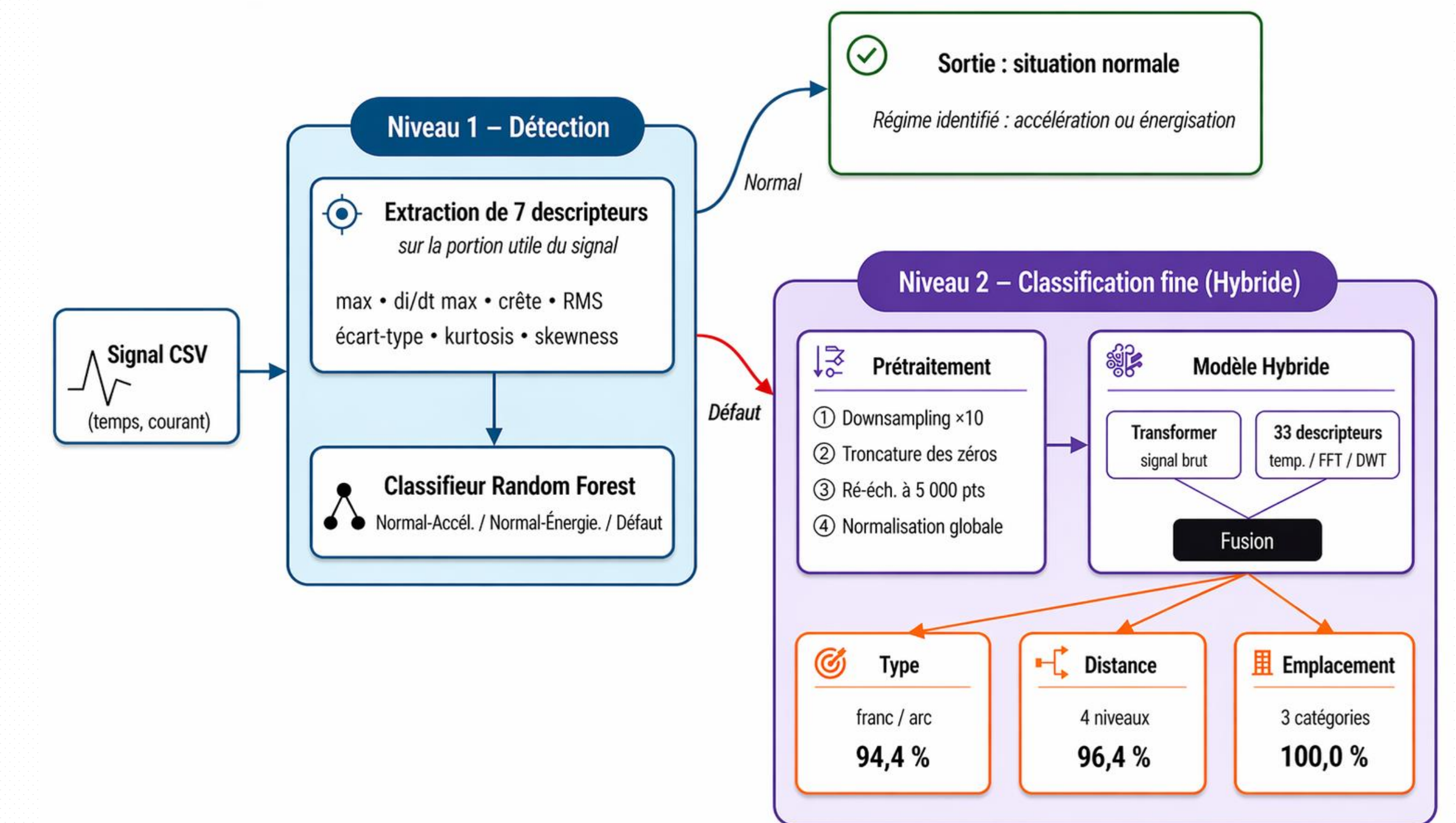
2. Prétraitement des données



3. Détection et classification en cascade

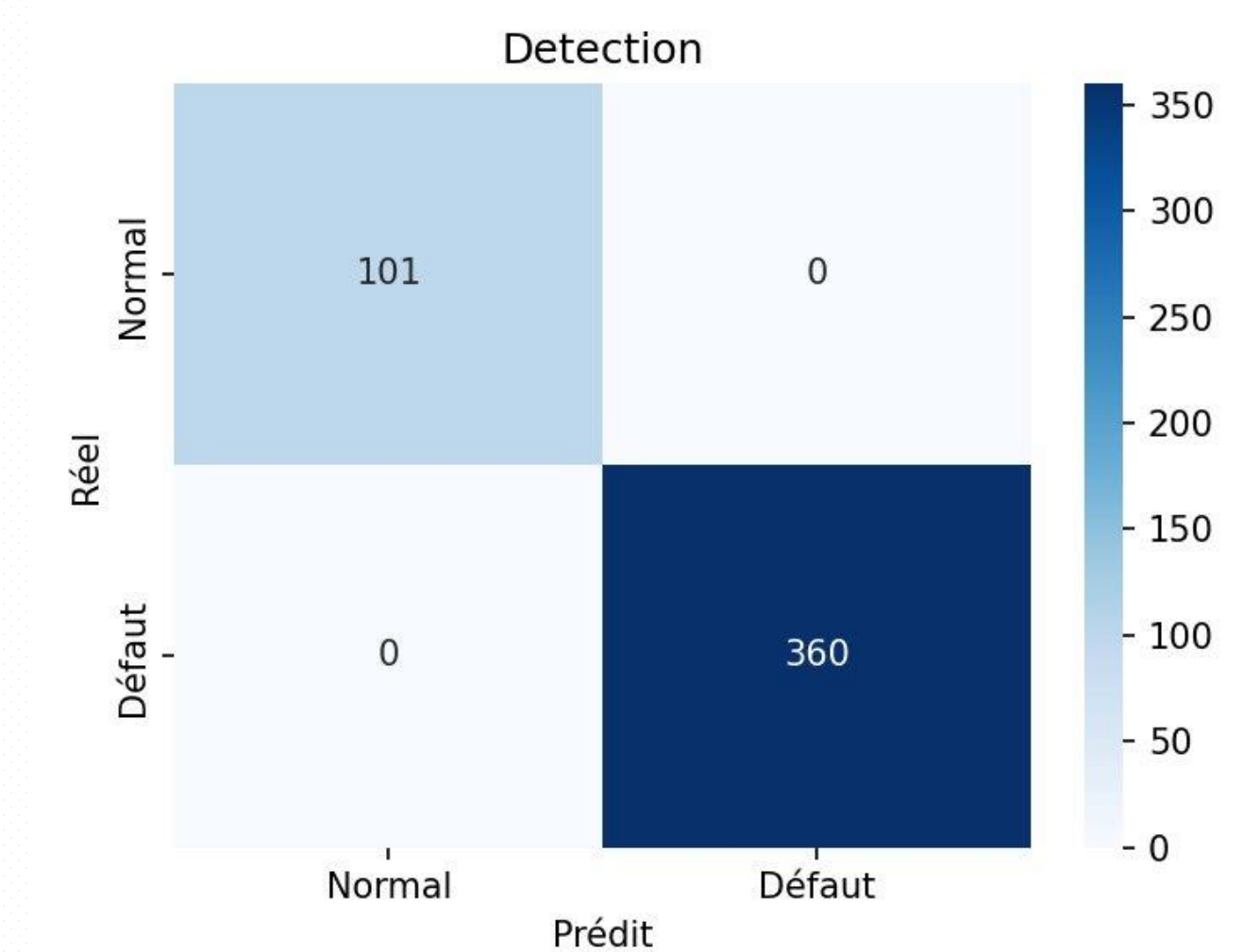
Pour cela, nous avons utilisé une architecture en cascade qui comporte deux niveaux :

- Classifieur XGBoost** : Il détecte la nature du régime (normal ou défaut), à partir de l'extraction de 7 descripteurs physiques des signaux,
- Transformers + descripteurs (Hybride)** : Lorsqu'un défaut est détecté, le modèle des Transformers précise la nature exacte du défaut en prenant comme entrée à la fois le signal brut et une branche contenant 33 descripteurs de ce signal. Trois têtes de sortie prédisent indépendamment le type, la distance et l'emplacement.

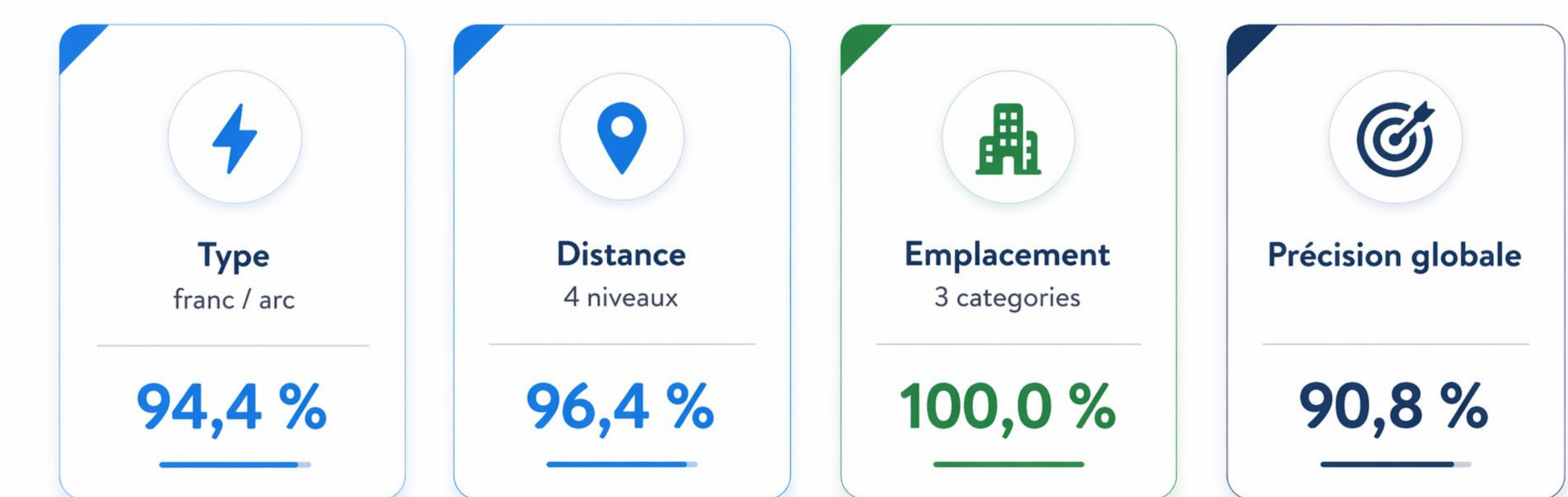


Résultats

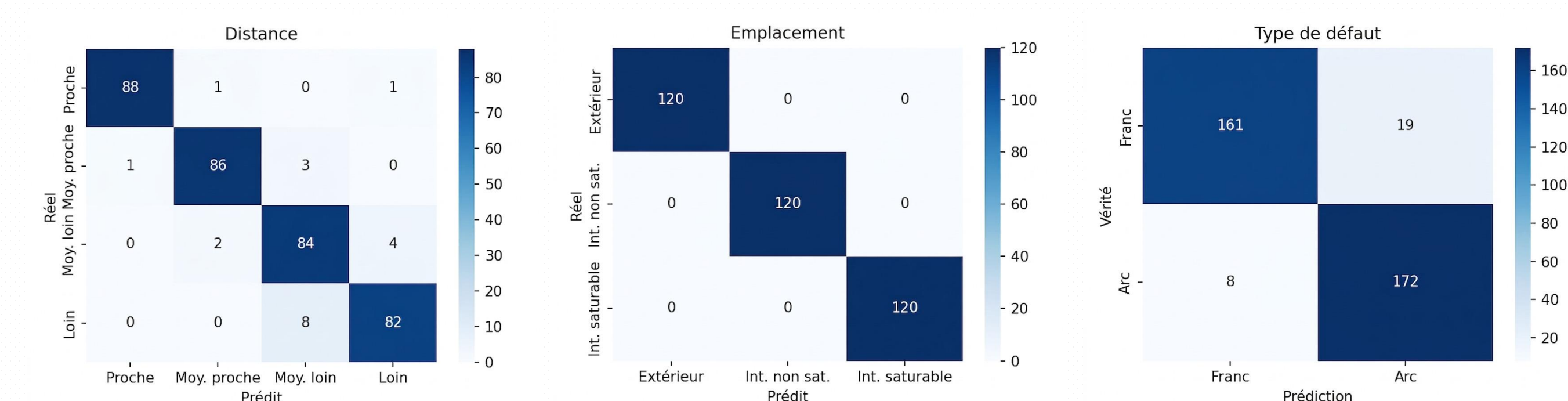
Niveau 1 – Détecteur Random Forest : précision 100% sur le jeu de test.



Niveau 2 – Modèle Hybride : précision des trois têtes de classification



Matrices de confusion – Modèle Hybride



Conclusion

Ce travail montre que l'utilisation de l'apprentissage automatique permet d'améliorer la détection et la classification des défauts électriques dans les réseaux de métro et peut dépasser les limites des systèmes de protection traditionnels. L'approche en cascade proposée offre à la fois une détection fiable et un diagnostic précis, ce qui contribue à renforcer la sécurité et la continuité du service.