



# PRÉSENTATION

---

## MAINTENANCE PRÉDICTIVE DANS LES INSTALLATIONS DES BÂTIMENTS

Une approche basée sur l'apprentissage automatique



2022 – 2023

Professeur : Leila Kloul

M2 AMIS | Mobilités & Smart Cities | UVSQ



# ÉQUIPE



**Sarah OUHOCINE**



**Djillali BOUTOUILI**



# **SOMMAIRE**

01

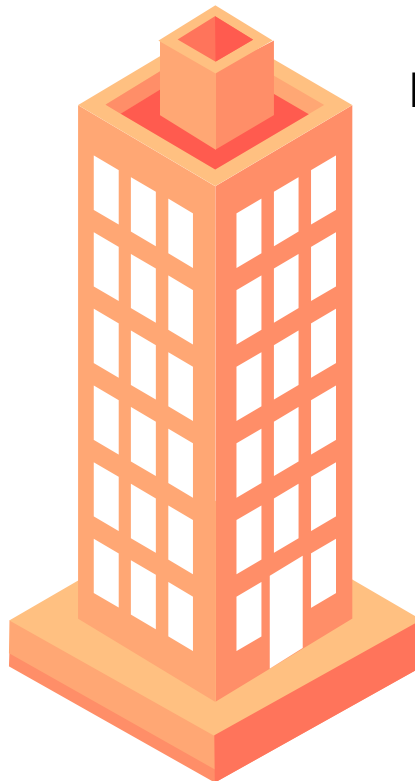
**INTRODUCTION**

02

**ÉTUDE DE  
L'EXISTANT**

03

**CONCEPTION  
DU MODÈLE**



**IMPLÉMENTATION  
DU MODÈLE**

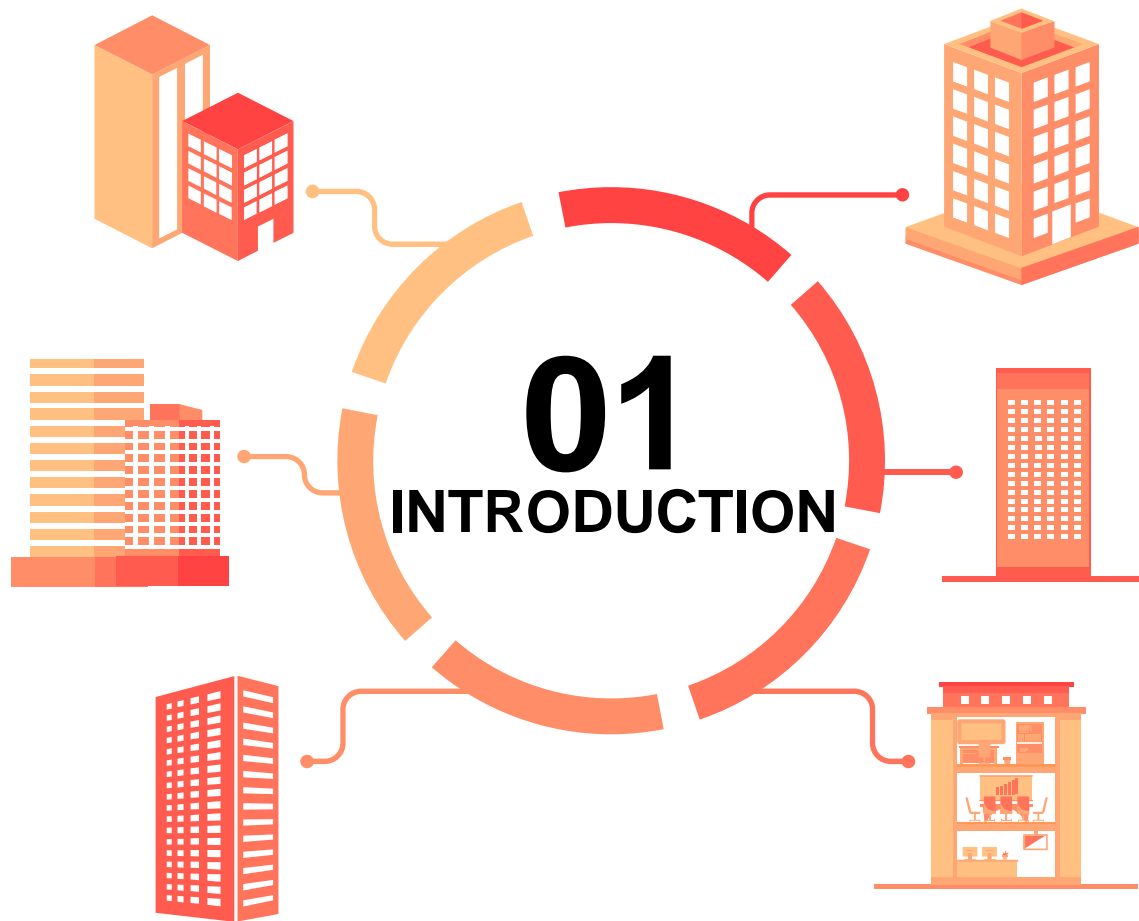
04

**RÉSULTATS**

05

**CONCLUSION**

06



# Contexte

- ✓ En **Europe**, les bâtiments sont responsables de 40% de la consommation d'énergie.



- ✓ Une grande partie de l'énergie est consommée par les installations des bâtiments tels que les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC).



# Contexte

- ✓ Les pratiques de maintenance et le mauvais fonctionnement des installations des bâtiments entraînent un gaspillage d'énergie important (de 20 à 30%).



Une fuite dans **le système de chauffage** peut entraîner une augmentation de la consommation d'énergie pour maintenir la température souhaitée.



**Un système de ventilation** qui ne fonctionne pas correctement peut entraîner une consommation d'énergie inutile pour échanger de l'air entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment.



Une panne dans **le système de climatisation** peut entraîner une surchauffe dans le bâtiment, ce qui peut entraîner une consommation d'énergie supplémentaire pour refroidir l'espace.

- ✓ Pour atteindre les objectifs d'efficacité énergétique, **les pratiques de maintenance** des installations des bâtiments doivent être améliorées et optimisées

# Problématique

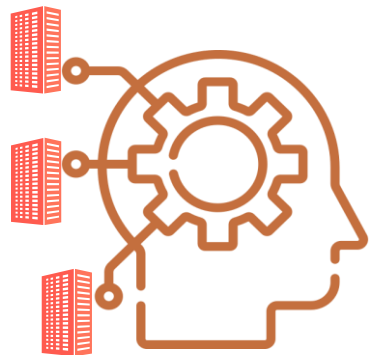


- ✓ Économiser de l'énergie en prédisant les défaillances des installations de chauffage, ventilation et climatisation (CVC) dans les bâtiments à l'avance, en utilisant :

Une approche de **maintenance prédictive** basée sur des techniques **d'apprentissage automatique**.

- ✓ **L'apprentissage automatique**

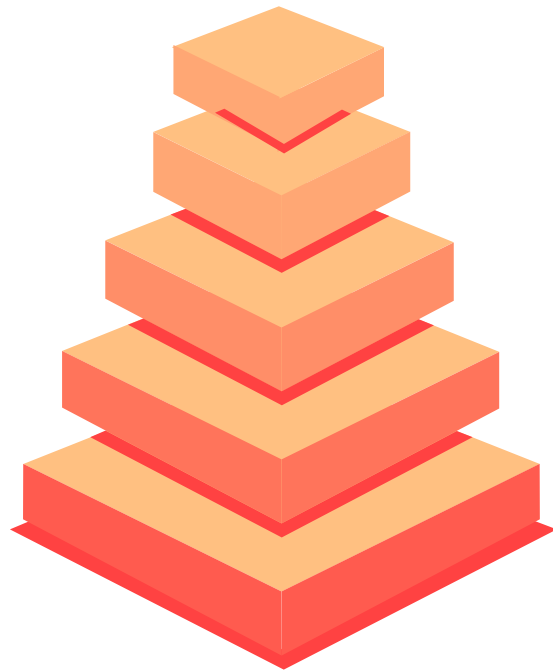
En anglais, "**machine learning**", est un sous-domaine de l'intelligence artificielle (IA) qui consiste à développer des algorithmes qui peuvent apprendre à partir des données et effectuer ainsi, des tâches sans être explicitement programmées pour le faire.



# Objectif

Le but de cette étude est de **proposer un framework générique pour la maintenance prédictive** afin de :

- ✓ Réduire les pannes imprévues.
- ✓ Minimiser les opérations défectueuses dans les installations des bâtiments.







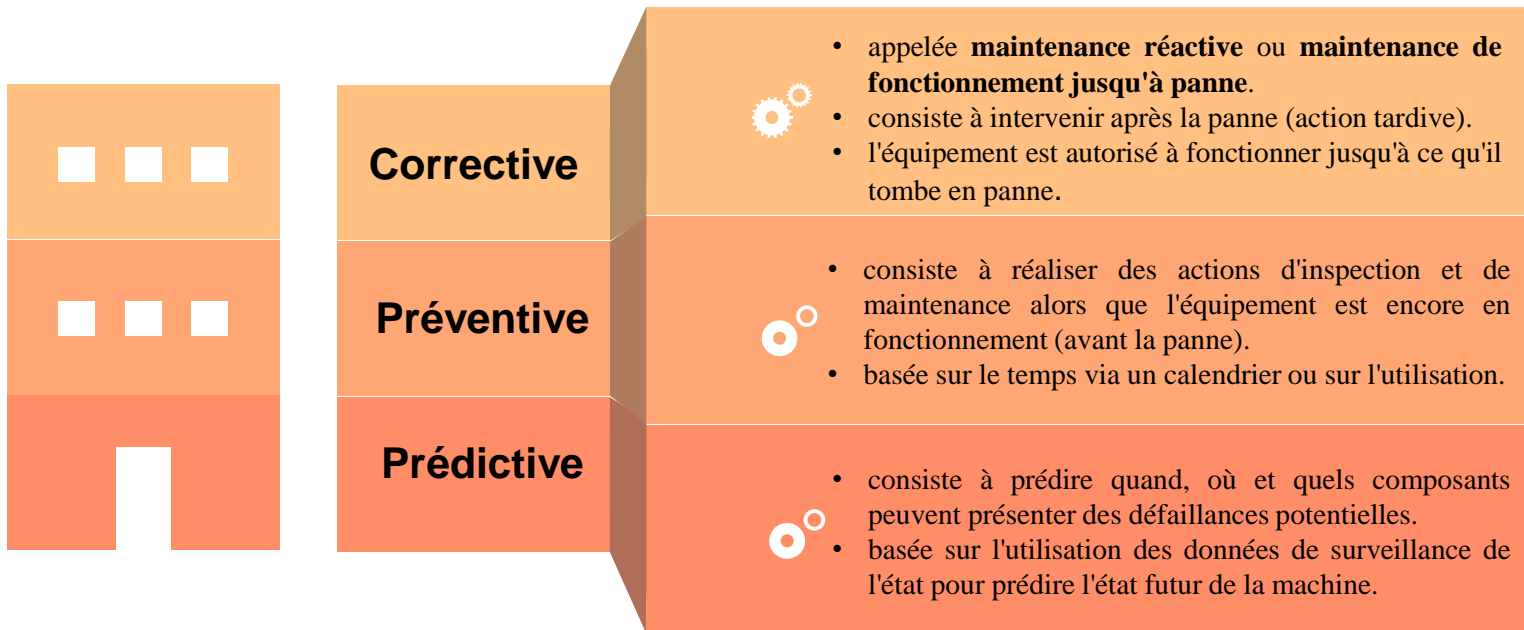
# ■ Maintenance

L'ensemble des actions techniques, administratives et managériales au cours du cycle de vie d'un système, un équipement ou une installation destinées à :

- ✓ le maintenir en bon état de fonctionnement.
- ✓ le remettre dans un état dans lequel il peut remplir la fonction requise.



# Approches de Maintenance



# 📁 Approches existantes

De nos jours, la majorité des maintenances dans les bâtiments sont principalement :

✓ **Correctives**

✓ **Préventives**



# Inconvénients des approches existantes



- ✓ **Correctives** : entreprises suite à
  - une plainte / réclamation d'un utilisateur.
  - une panne imprévue ou non planifiée.

- ✓ **Préventives** : basé sur :
  - un planning temporel de control.
  - un planning d'utilisation.

## ✓ **Inconvénients** :

### 1. Coûts élevés : en raison

- de la nécessité d'effectuer des réparations rapides.
- de remplacer les équipements défectueux.

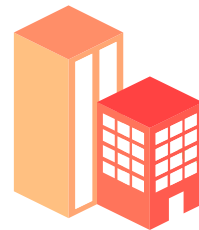
**2. Temps d'arrêt** : la maintenance corrective peut entraîner des temps d'arrêt importants pour les activités dans le bâtiment, ce qui peut avoir un impact sur les activités commerciales.

**3. Manque de planification** : la maintenance corrective peut ne pas être planifiée de manière efficace, ce qui peut entraîner des retards et des coûts supplémentaires.

## ✓ **Inconvénients** :

### 1. Coûts élevés : en raison

- des actions d'inspections régulières souvent inutiles.
- de la nécessité de remplacer régulièrement les pièces utilisées avant qu'elles ne causent des problèmes.



# Amélioration de l'existant

- ✓ Des études antérieures ont porté sur l'amélioration de la maintenance préventive.
- ✓ L'enjeu est d'anticiper **le moment idéal** pour effectuer les actions d'inspections et de maintenance dans la limite du **budget** et des **ressources disponibles**.
- ✓ Dans ce but, des études ont été menées pour optimiser les périodes d'inspections dans les installations CVC, en utilisant :
  - des techniques d'optimisation telles que la méthode de **Monte Carlo**.
  - des techniques d'exploration de données et de prévision de séries chronologiques.

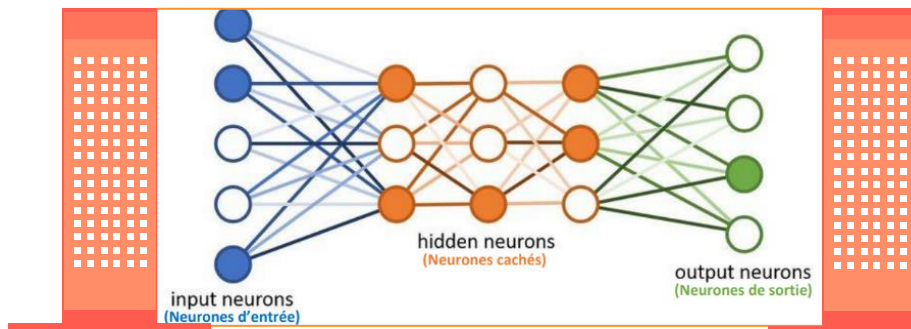


Ces actions peuvent aider à prolonger la durée de vie des installations et à éviter des coûts supplémentaires liés aux réparations ou aux remplacements de dernière minute.

Cependant, des pannes imprévues se produisaient toujours.

# SOLUTION

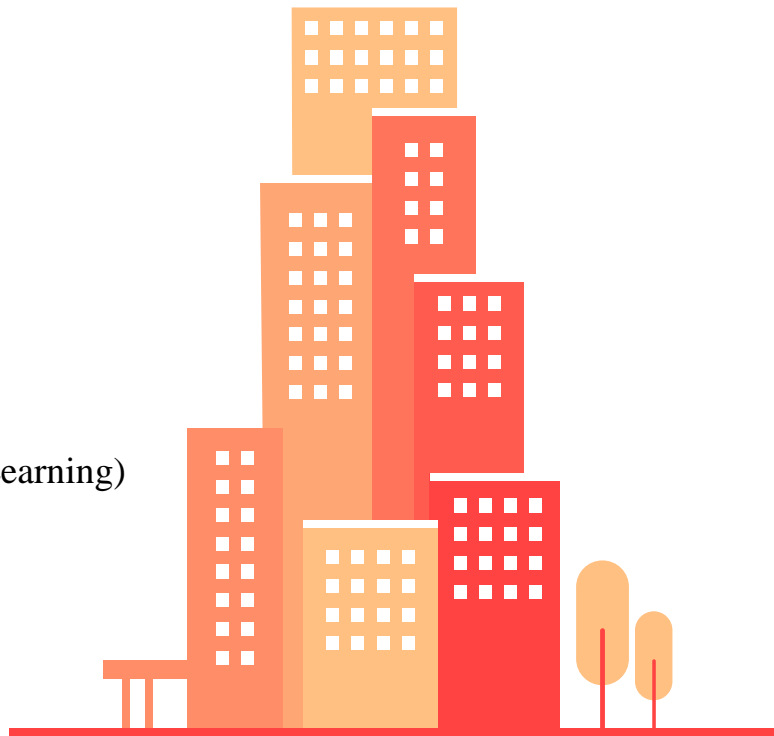
- ✓ Une approche de **maintenance prédictive** et de **détection d'anomalies** basée sur l'apprentissage profond (Deep Learning).
- ✓ **L'apprentissage profond**
  - un sous-domaine de l'IA qui se concentre sur l'utilisation de réseaux de neurones pour résoudre des problèmes complexes
  - Les réseaux de neurones : modèles mathématiques qui imitent le fonctionnement du cerveau humain en utilisant des couches de neurones interconnectées pour analyser et comprendre les données
  - Les réseaux de neurones sont formés à partir de grandes quantités de données, ce qui leur permet de faire des prédictions plus **précises** et de **s'adapter** aux nouvelles données au fil du temps.



# SOLUTION

## ✓ **Avantages :**

- réduire les pannes non planifiées
  - réduire les coûts et les pénalités de maintenance,
  - améliorer le confort et la sécurité des habitants.
- 
- ✓ L'approche utilise 3 algorithmes d'apprentissage profond (Deep Learning)
    - 1) auto-encodeurs.
    - 2) réseaux de neurones récurrents (RNN).
    - 3) mémoire longue à court terme (LSTM).



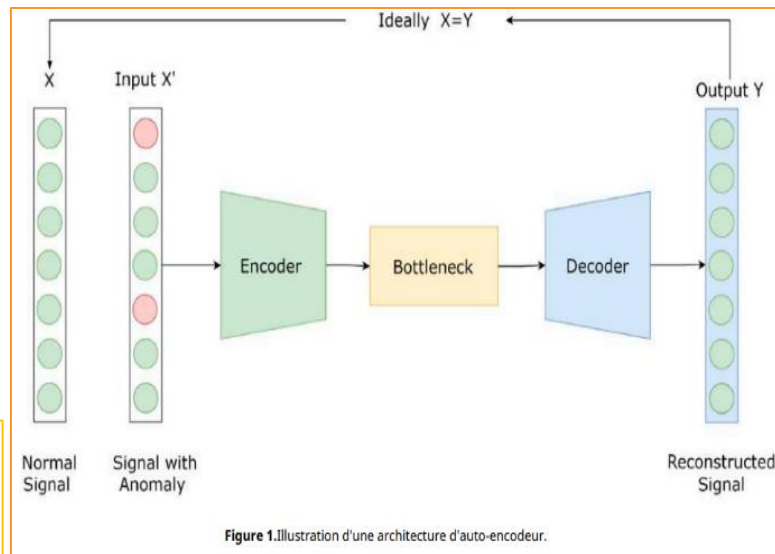


# 1) Auto-encodeurs

Un auto-encodeur est composé de deux processus :

- ✓ **L'encodeur** : transforme les données d'entrée en essayant de déceler les représentations cachées.
- ✓ **Le décodeur** : essaie de reconstruire les données d'entrée à partir des représentations cachées.

**Le bottleneck** : contrôle la quantité d'informations transmises, ce qui permet de forcer l'auto-encodeur à extraire les caractéristiques les plus importantes des données d'entrée.

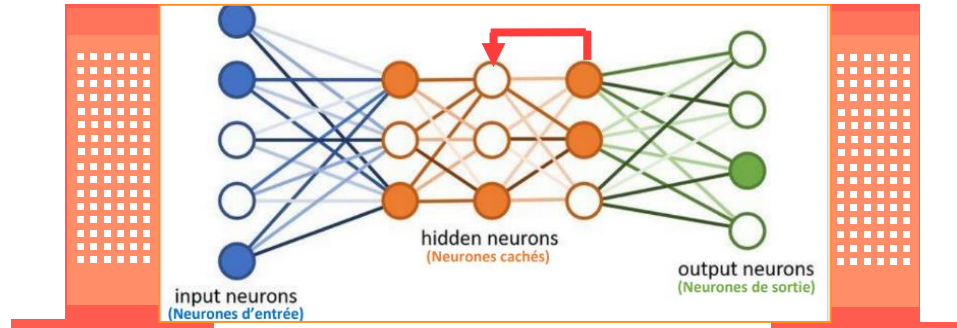


- ✓ Le processus d'encodage et de décodage est un circuit d'apprentissage qui essaie de reconstruire les entrées avec **le minimum d'anormalité** et de **bruit**.
- ✓ Les auto-encodeurs sont largement utilisés pour les applications de **détection d'anomalies**.



## 2) Réseaux de neurones récurrents (RNN)

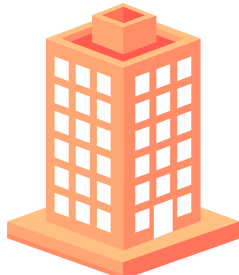
- ✓ Réseau neuronal artificiel conçu pour traiter des données séquentielles sous forme de données de séries chronologiques et de données textuelles et vocales
- ✓ Les RNN peuvent conserver l'information sur les éléments précédents dans une séquence en utilisant une **boucle cachée** dans le modèle.

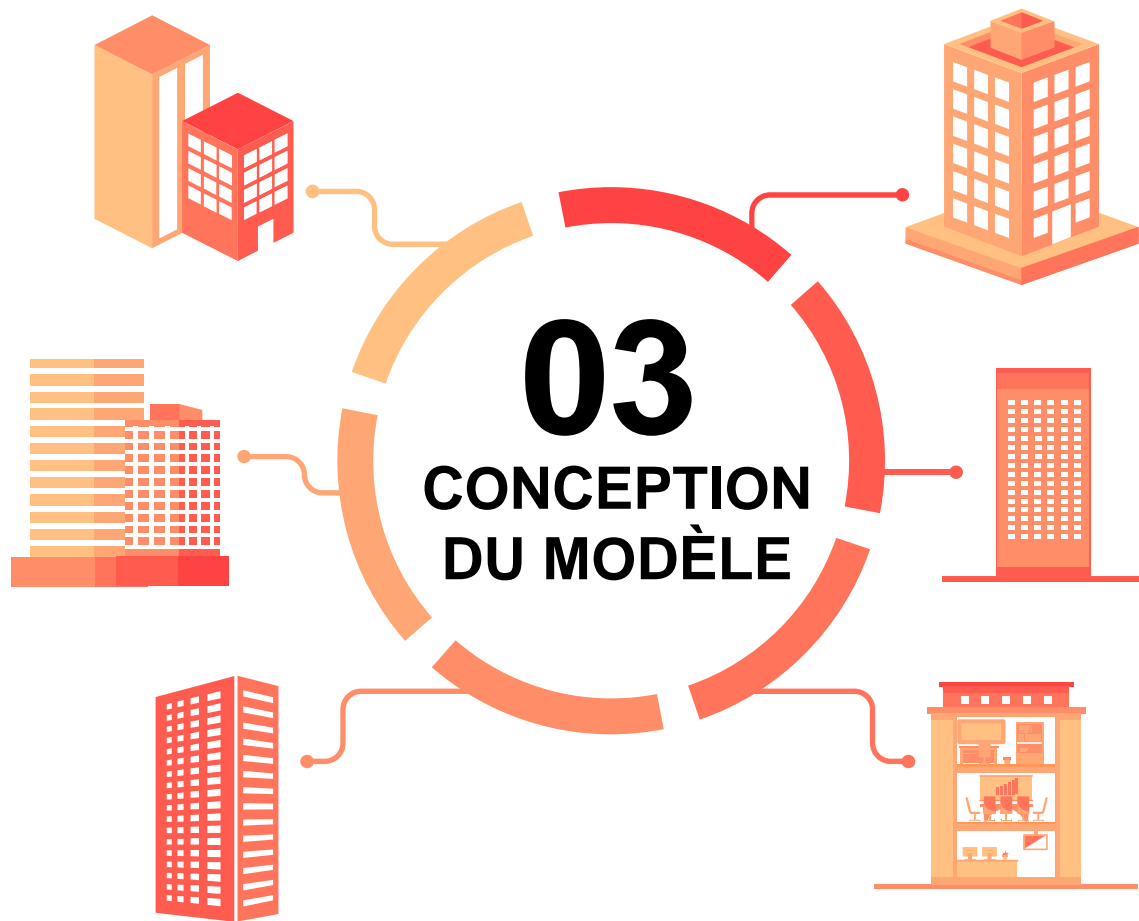




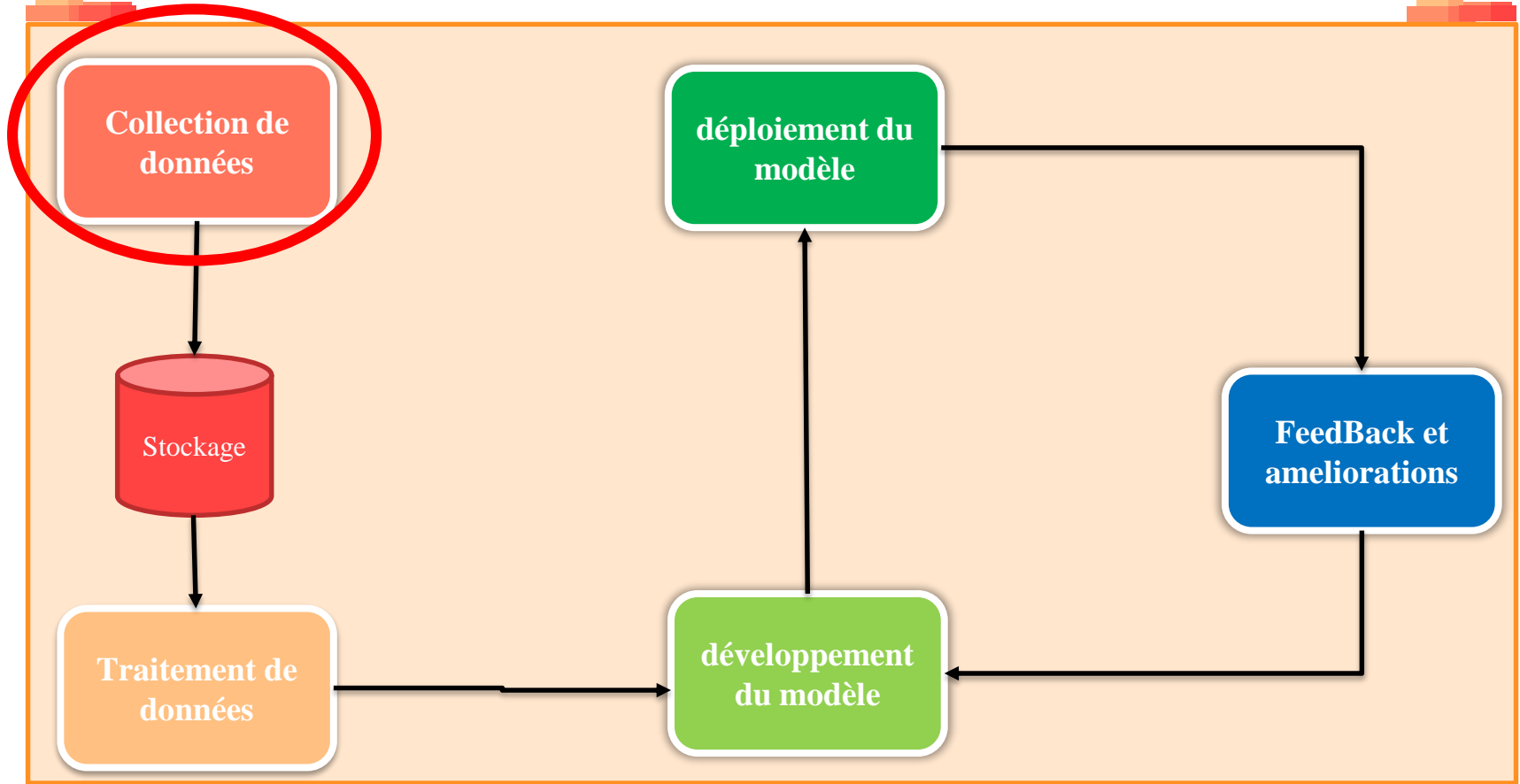
### 3) Mémoire longue à court terme (LSTM).

- ✓ LSTM est une variante de l'architecture du réseau neuronal récurrent artificiel (RNN)
- ✓ Capables de capturer des dépendances à long terme dans une séquence i.e. ils peuvent capturer des informations sur le passé de la séquence.
- ✓ Grâce à cette caractéristique, les LSTM sont largement utilisés dans des applications de :
  - **détection d'anomalies**
  - **prévision de séries temporelles**





# CONCEPTION DU MODÈLE

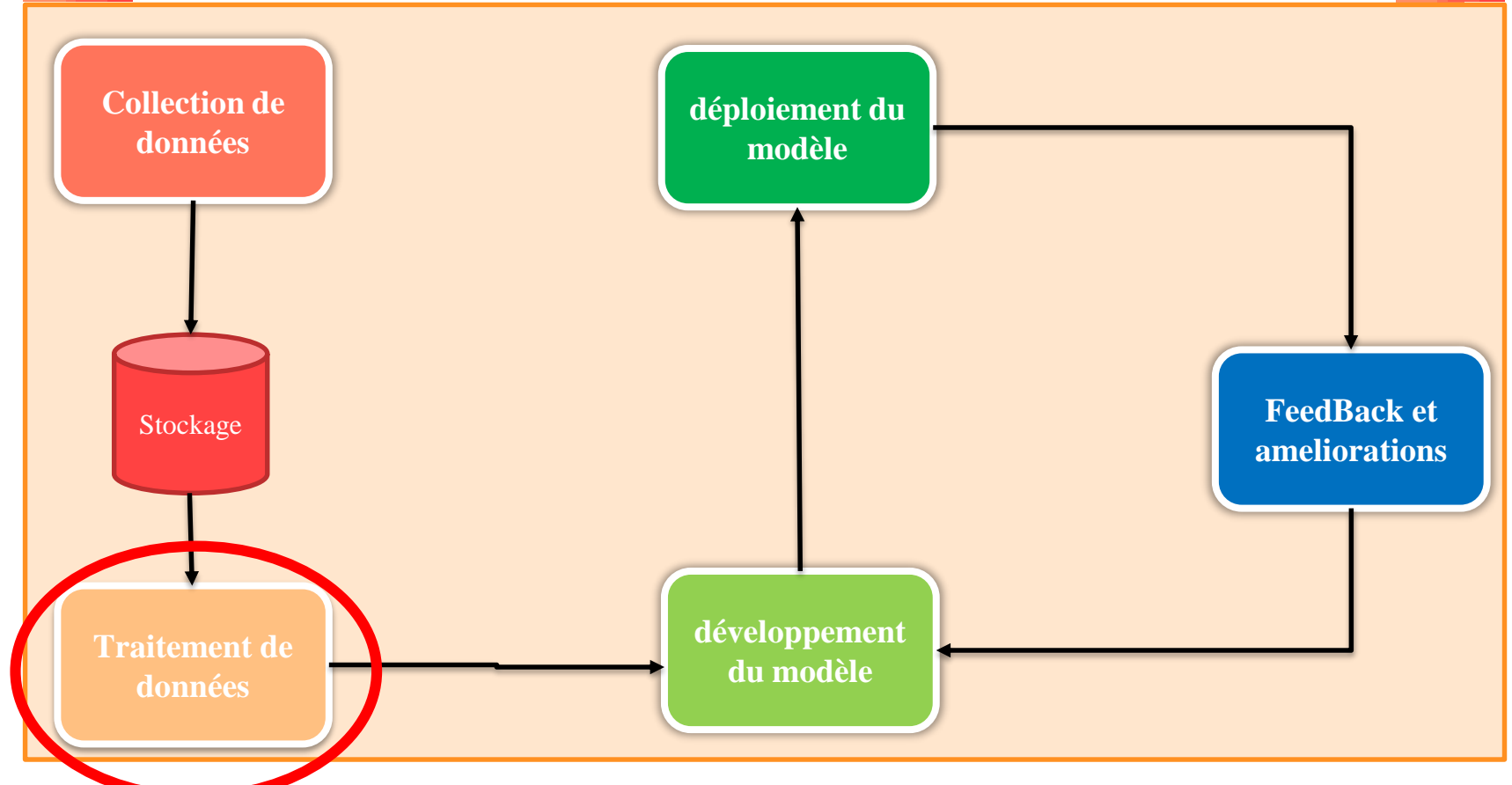


# Collecte De Données

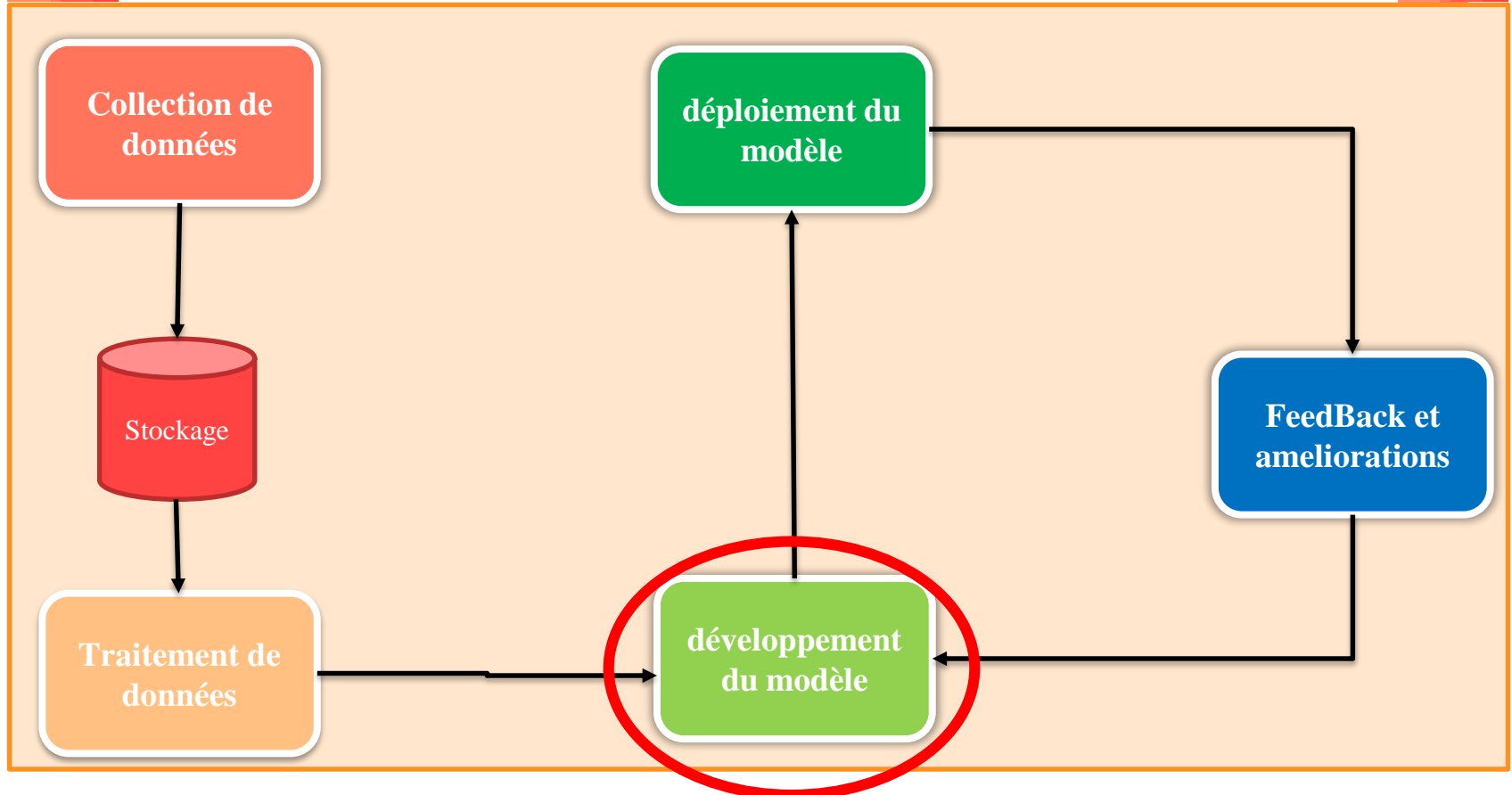


Source de données	Acronyme	Dispositif	Données
<b>BAS</b> Building Automation Systems	Systèmes d'automatisation du bâtiment	Physique & Logiciel	Température, consommation d'énergie, débit d'aire et d'eau, etc...
<b>CMMS</b> Computerised Maintenance Management Systems	Systèmes informatisés de gestion de la maintenance	Logiciel	Planification des activités de maintenance préventive, historique des activités de maintenance, gestion du stock, etc...
<b>BIM</b> Building Information Modelling	Modélisation des informations du bâtiment	Logiciel	Visualisation 3D de l'architecture du batiment ainsi que son cycle de vie

# CONCEPTION DU MODÈLE

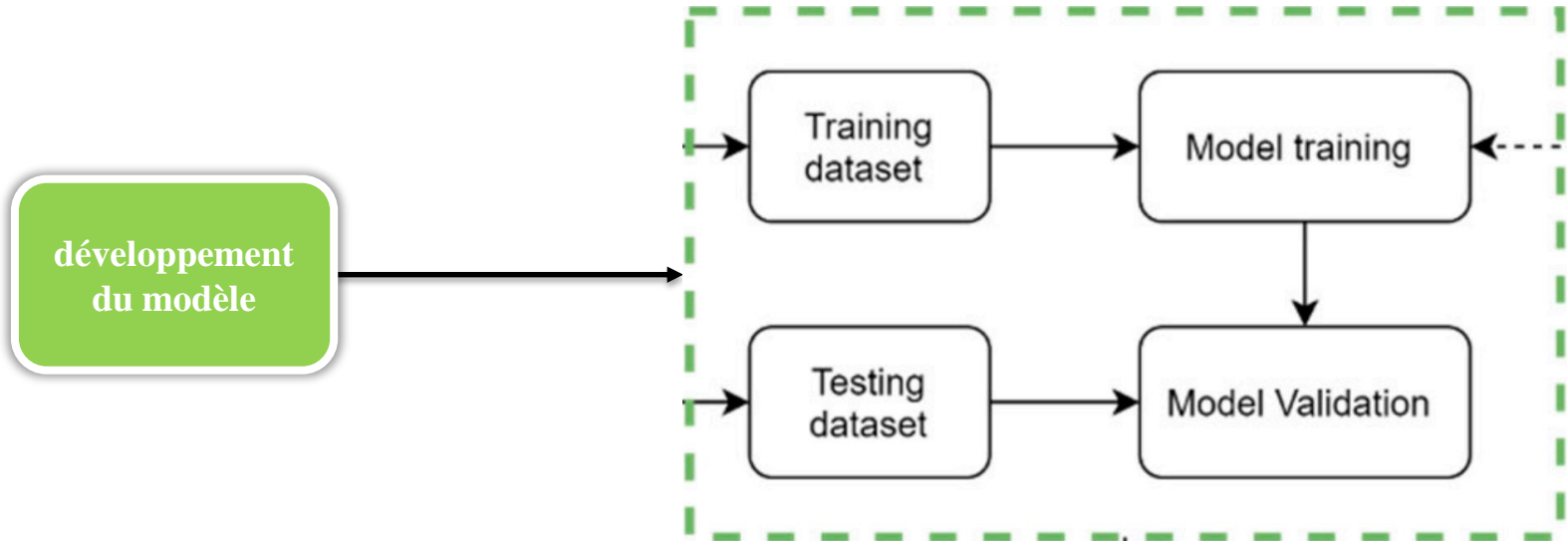


# CONCEPTION DU MODÈLE





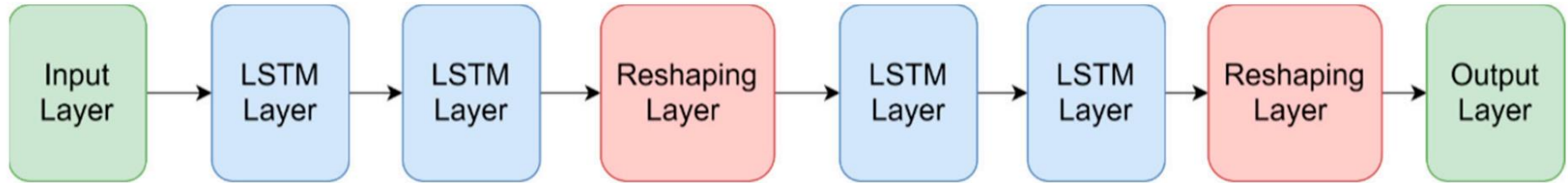
## 📁 Développement Du Modèle



# Développement Du Modèle

Nous avons opté pour un **réseau auto-encodeur** avec **des couches LSTM** dans notre choix de modèle.

- Apprentissage non supervisé.
- Données séquentielles ( température, vibrations..etc)



## Développement Du Modèle

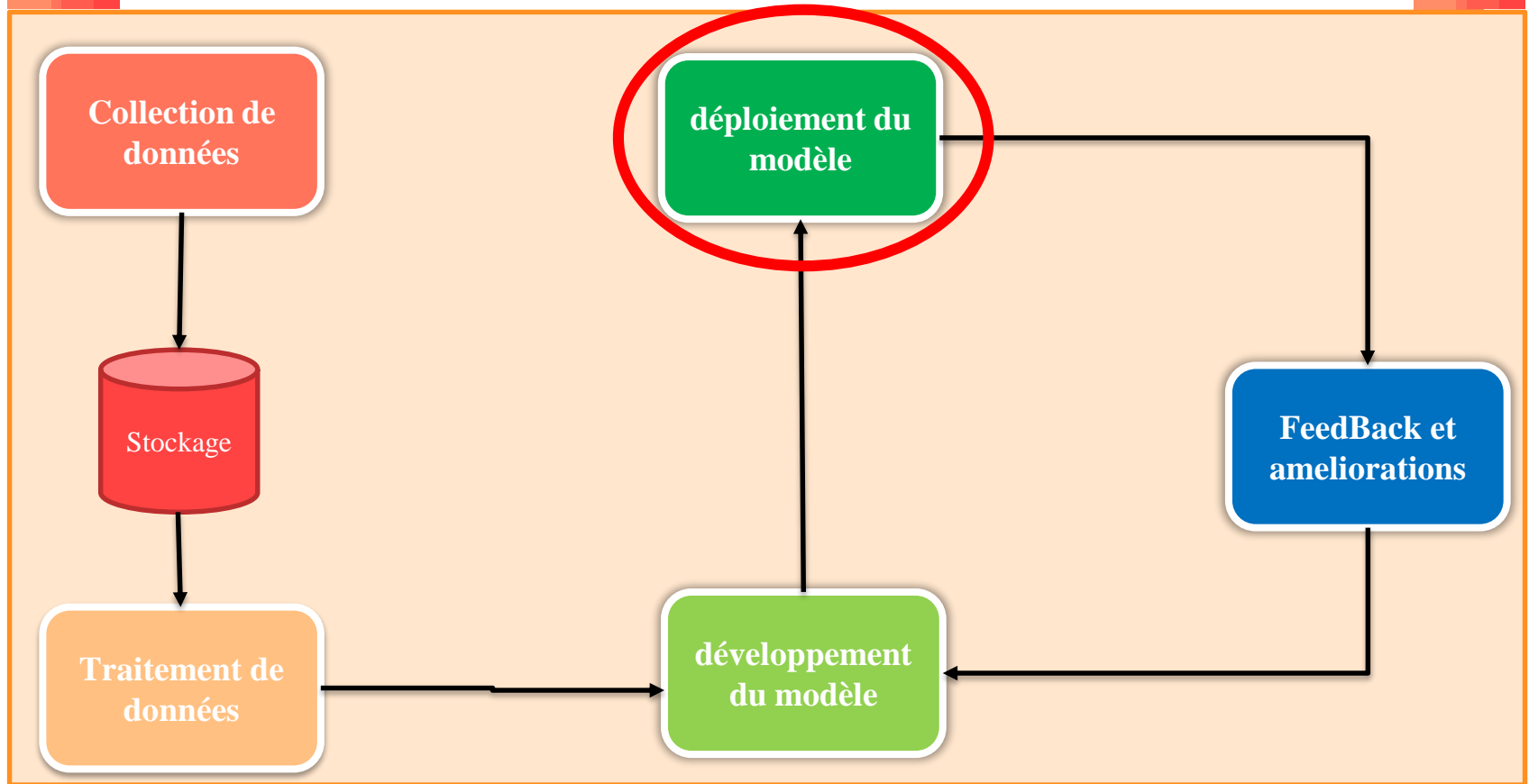
### Métrique d'évaluation

Let  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  and  $\hat{X} = (\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_n)$

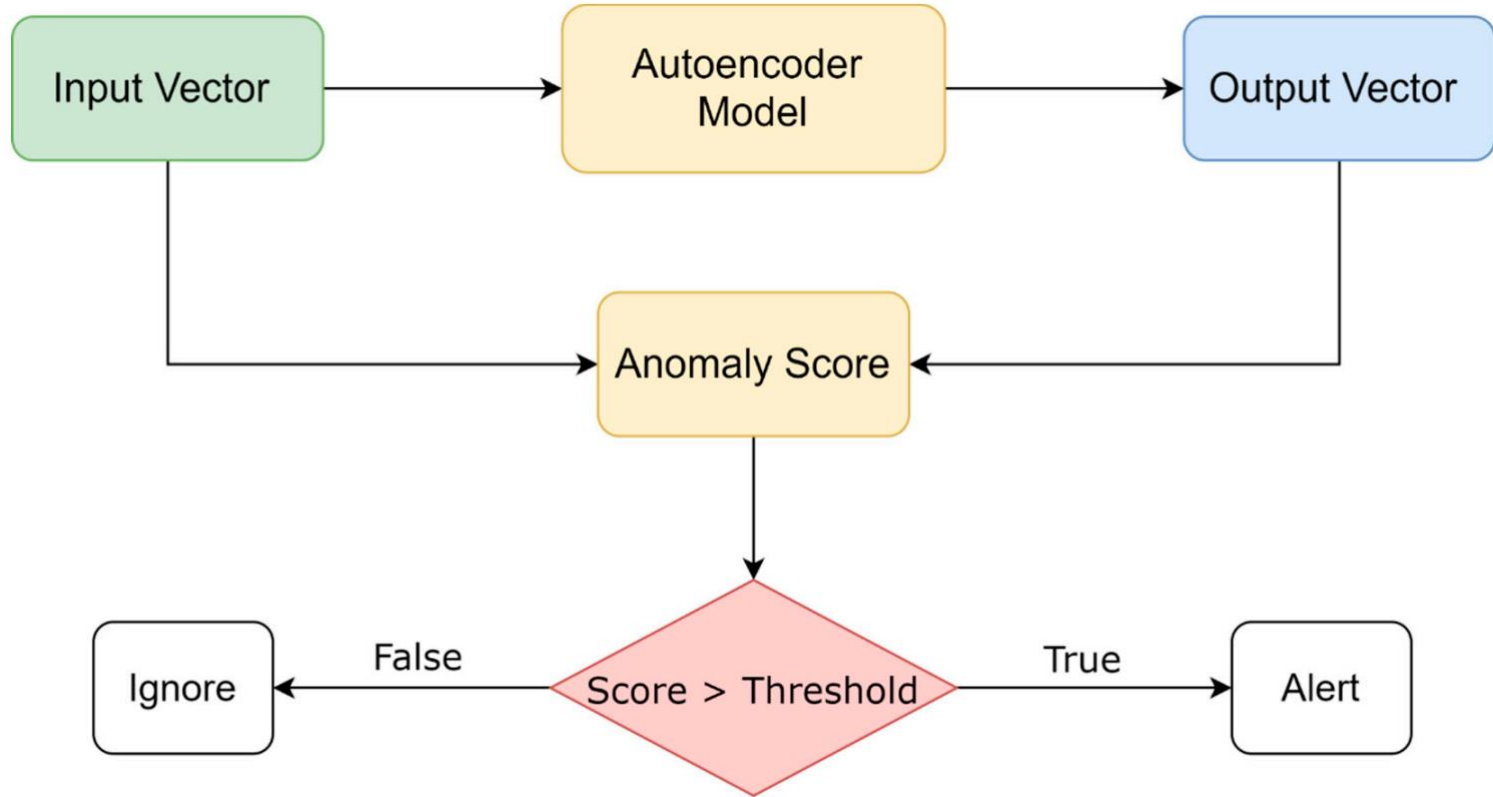
$$\text{RMSE}(X, \hat{X}) = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - \hat{x}_i)^2}{n}}$$



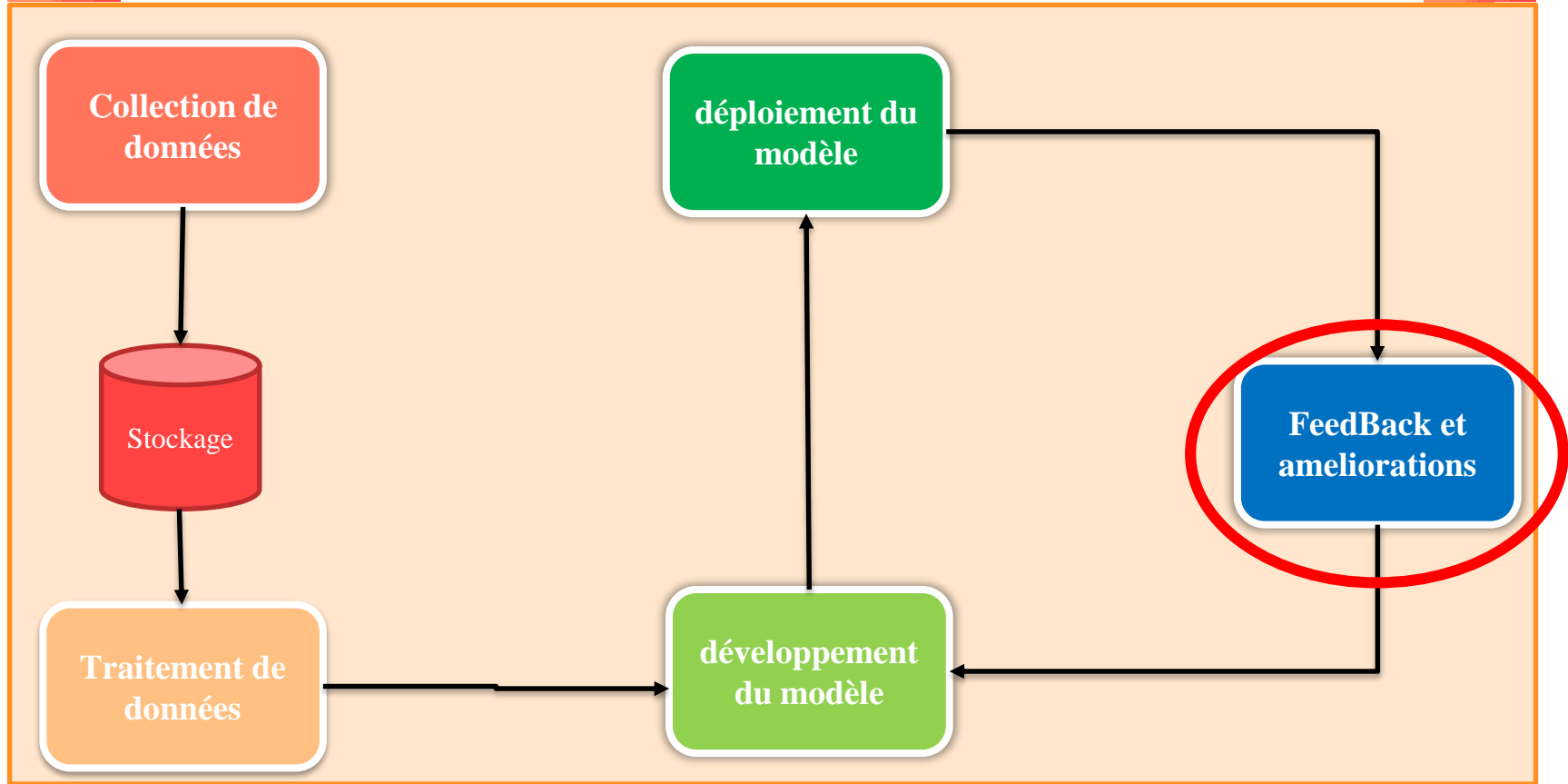
# CONCEPTION DU MODÈLE

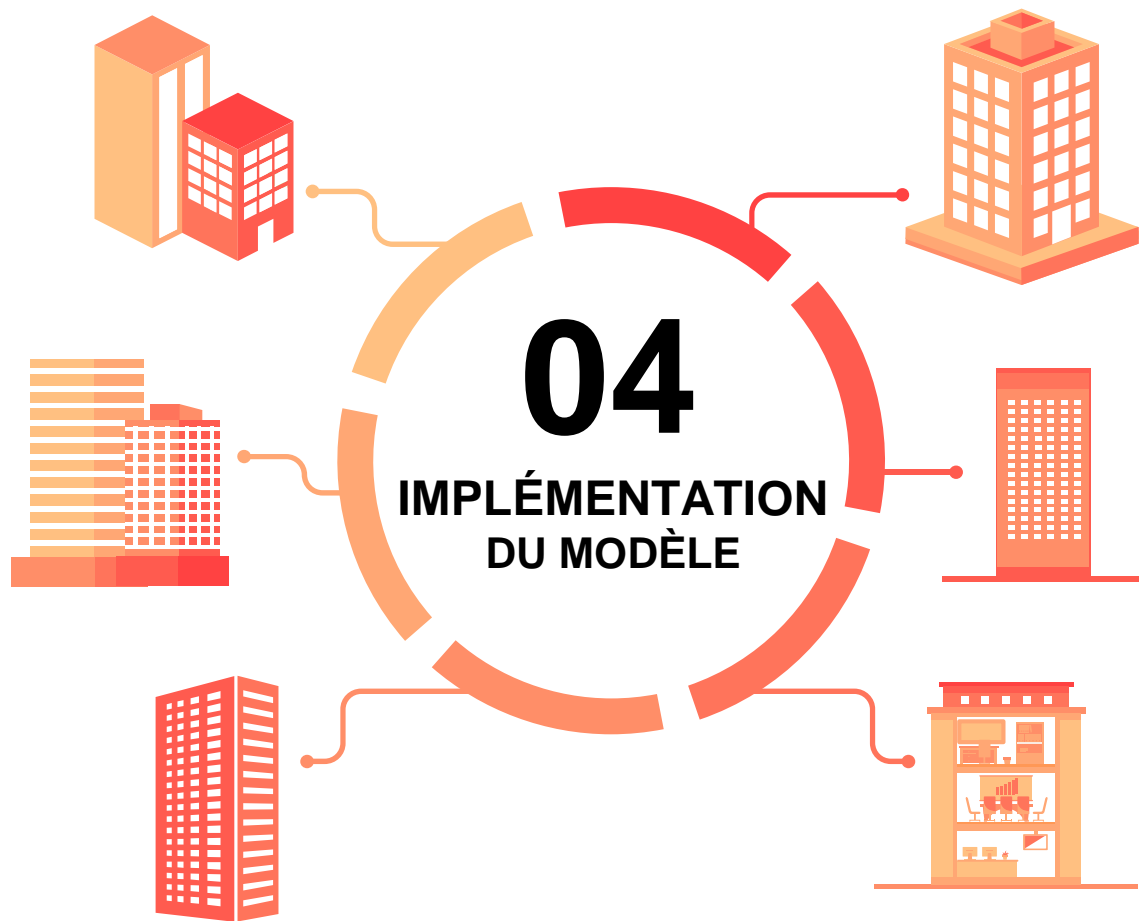


## 📁 Déploiement Du Modèle



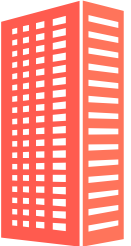
# CONCEPTION DU MODÈLE





# Building Context

- ✓ Centre sportif en région parisienne.
- ✓ Surface de 15,000 m<sup>2</sup>
- ✓ Installations étudiées : 2 CTA, 3 Chaudière et 3 pompes doubles.
- ✓ Equipé d'un système "BAS"



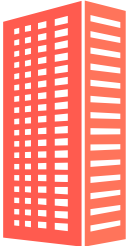


# IMPLÉMENTATION DU MODÈLE

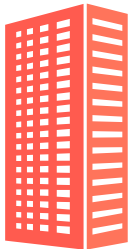
- ✓ Outils de collecte de données :
  - ✓ IOT, BAS, CMMS...etc

Quantity	Installation	Attached IoT Devices
2	AHU	Vibration device Electric meter device
3	Boilers	Vibration device
3	Double pump	Vibration device

- ✓ Les données sont envoyées et stockées sur la plateforme web de **OBJECNUIS** ( Filiale de bouygues Telecom spécialisé en IOT)



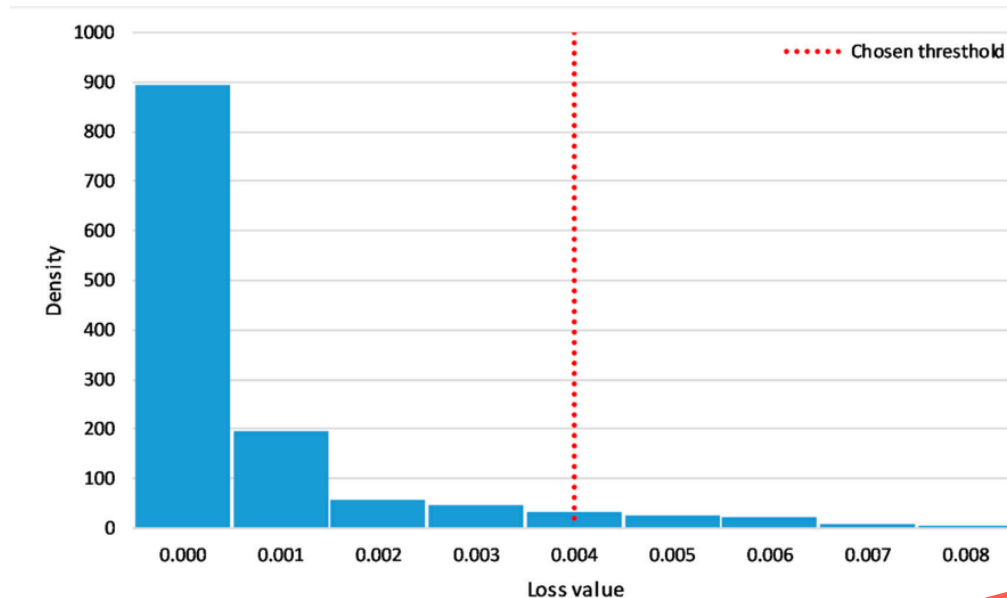
# ❏ IMPLÉMENTATION DU MODÈLE



# IMPLÉMENTATION DU MODÈLE

✓ Collecte de données de 30jours.

✓ Un score d'anomalie de 0.004 est fixé.



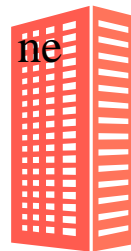


# RÉSULTATS

- ✓ Test pendant 45 jours.

Installation	Alert Date	Feedback
Boiler 2	14 April 2020	Confirmed Failure
Boiler 2	15 April 2020	Confirmed Failure
AHU 2	25 April 020	Not Confirmed
Boiler 2	12 May 2020	Not Confirmed
AHU 1	Not detected	Failure not detected

- ✓ Le framework peut **réellement prédire** les pannes à l'avance.
- ✓ Les **faux positifs sont acceptés** car correspondent à de petites anomalies déclenchant pas de pannes.
- ✓ L'algo doit être testé et amélioré sur un **plus grand dataset**.



# Discussion

01

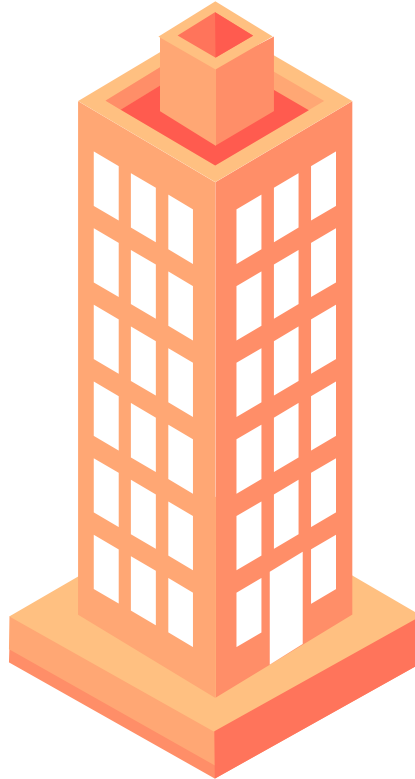
**Très peu de pannes dues au COVID**

02

**Periode de collecte de données pas assez grande**

03

**Periode de feedback et d'amélioration insuffisante**



**Absence de dataset opensource dans cette thématique**

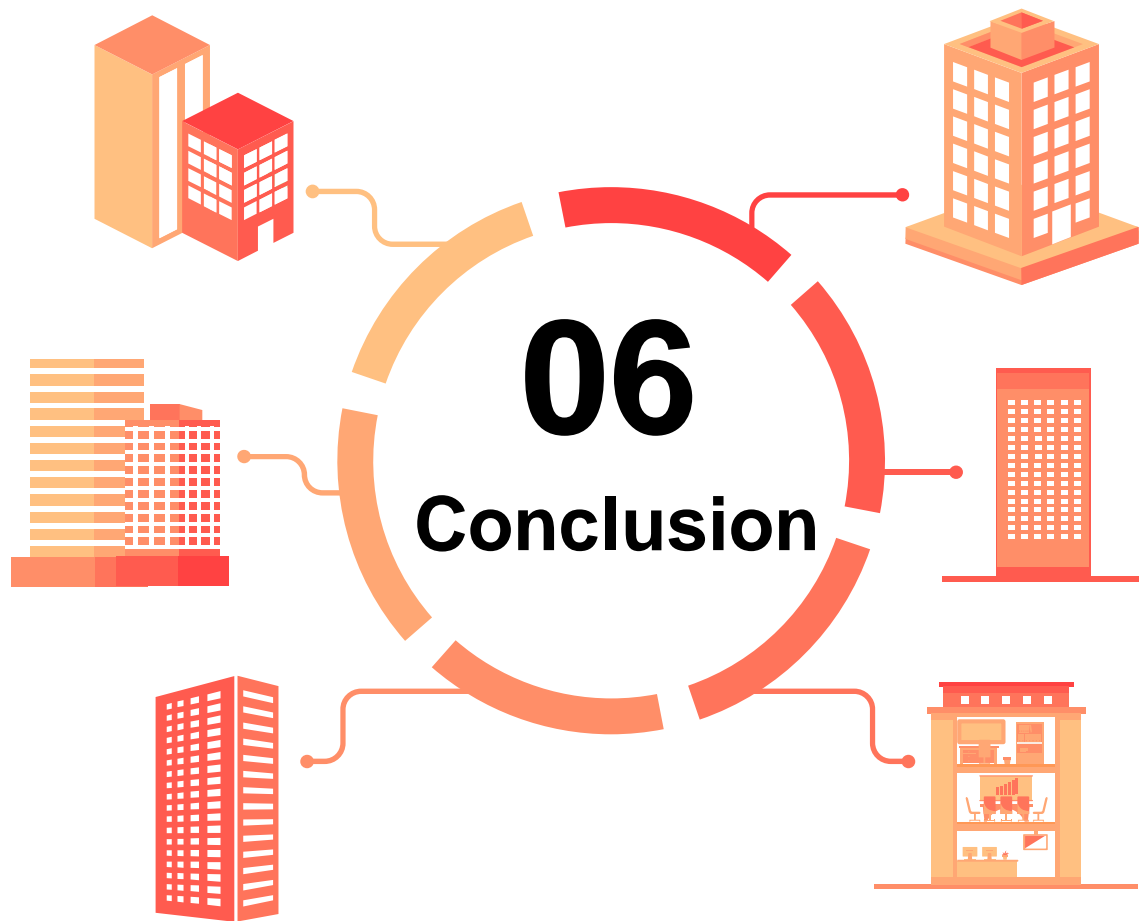
04

**Difficulté à créer un model général**

05

**Immense Return on investment**

06





MERCI

---

**MERCI DE VOTRE ATTENTION**

---

Des Questions ?

