

projet de recherche

# RECYPLAST DEMO

développement d'un jumeau numérique pour l'extrusion de plastique recyclé

Jérôme ROCHETEAU

Nantes, jeudi 1<sup>er</sup> juin 2023



# aperçu

1. contexte et problématique
2. développer un jumeau numérique
  - 2.1. connecter le jumeau physique
  - 2.2. exploiter le jumeau numérique
  - 2.3. construire le jumeau numérique
  - 2.4. évaluer le jumeau numérique
3. bilan et perspectives

# contexte et problématique

construire un démonstrateur d'extrusion plastique recyclé

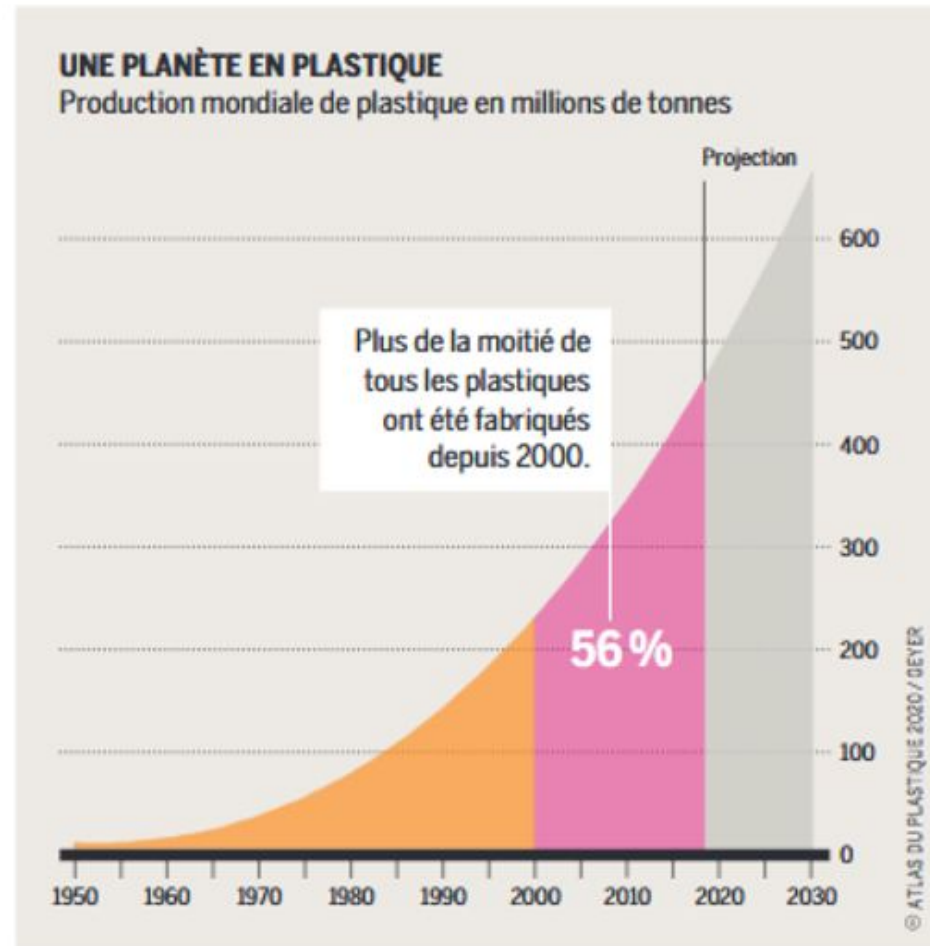
# le contexte

quelques facteurs :

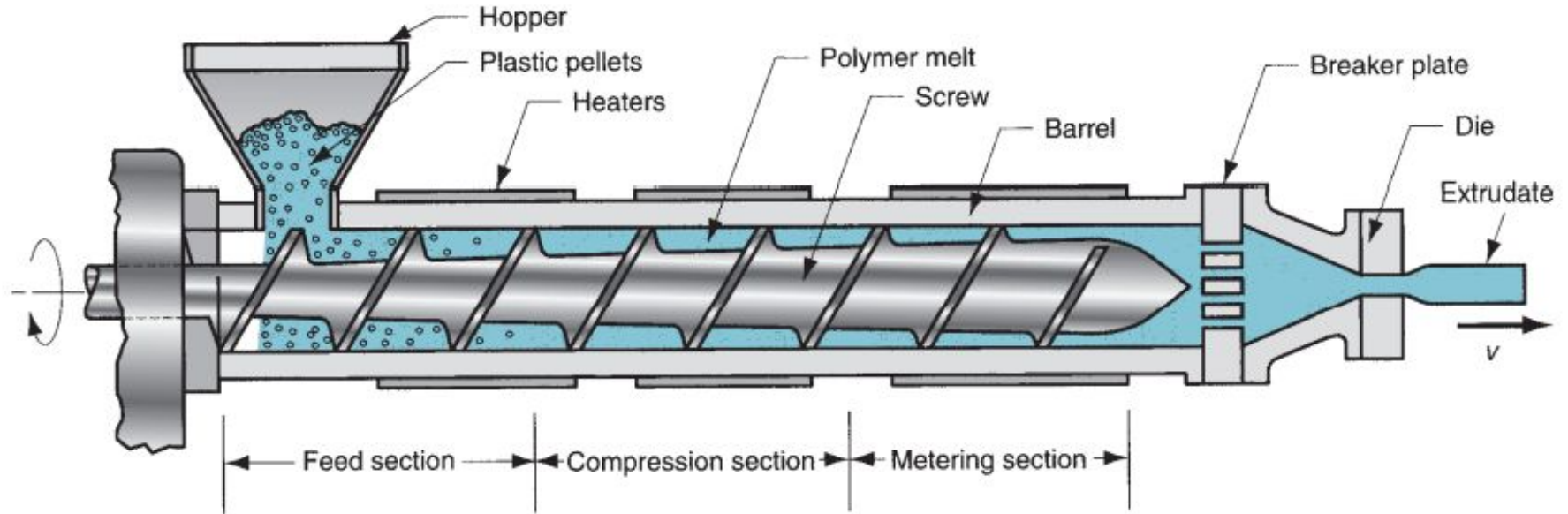
- augmentation de la production de plastique
- accumulation des déchets
- réglementation environnementale

une piste :

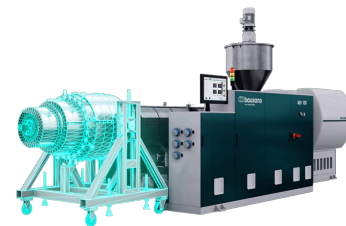
- utiliser du plastique recyclé dans les procédés de fabrication (extrusion, injection, etc)



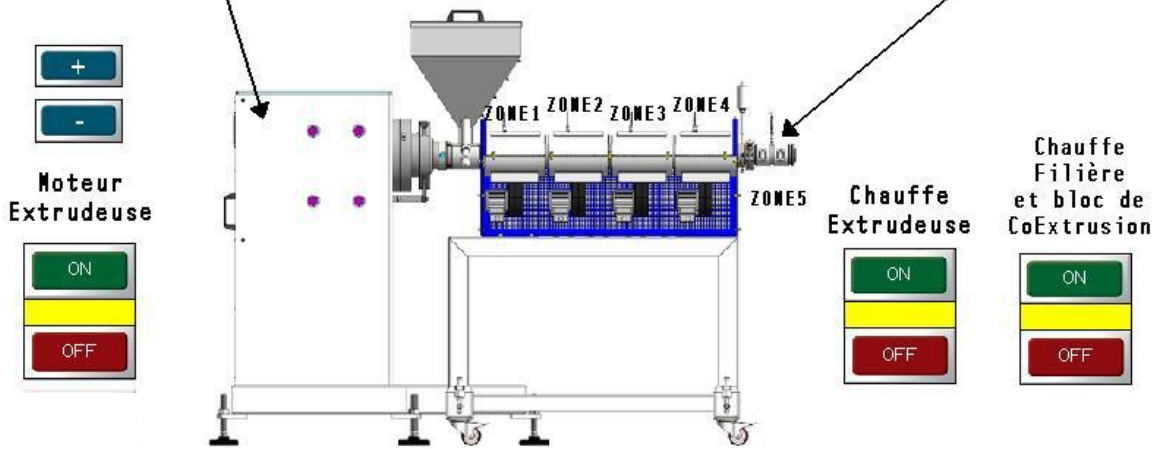
# le contexte



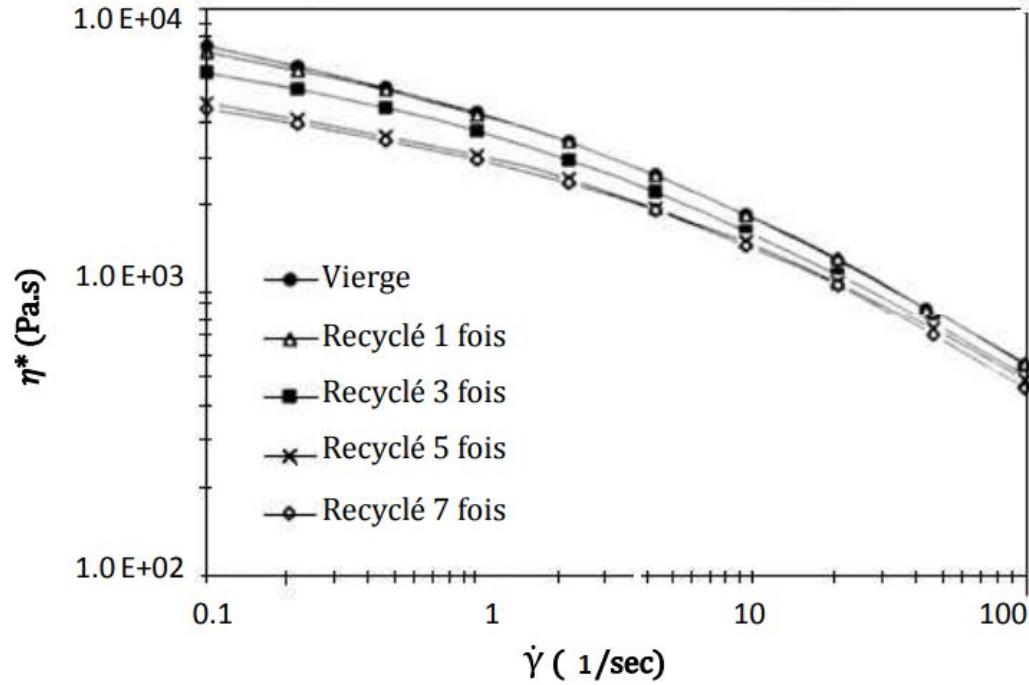
# le contexte



Moteur Vitesse (tr/min)	Consigne	Consigne	Consigne	Consigne	Consigne	Consigne	Pression matière
	0	0°C	0°C	0°C	0°C	0°C	0 bar
Moteur Courant	Mesure	Mesure	Mesure	Mesure	Mesure	Mesure	Température matière
0 %	0	0°C	0°C	0°C	0°C	0°C	0°C



# le problème



plastique *vierge*

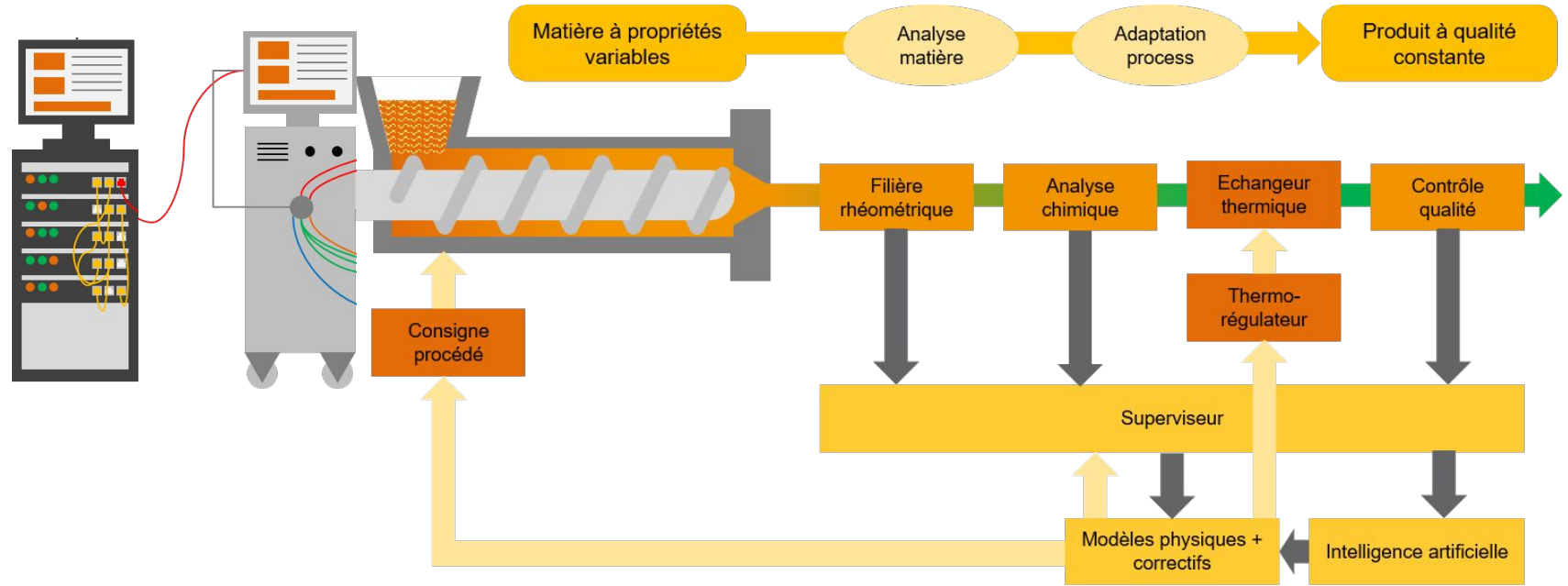
propriétés homogènes  $\Rightarrow$  consignes fixes

plastique *recyclé*

propriétés hétérogènes  $\Rightarrow$  consignes variables

Figure 1 : les courbes de viscosité du PP vierge et PP recyclé à  $T = 240^\circ\text{C}$ .

# deux hypothèses



1. mesurer les propriétés de la matière en continu  
*filières rhéométriques*
2. adapter les consignes intelligemment et (semi-)automatiquement  
*jumeaux numériques*



# jumeaux numériques

1. développer un jumeau numérique
  - 1.1. connecter le jumeau physique
  - 1.2. construire le jumeau numérique
  - 1.3. exploiter le jumeau numérique
  - 1.4. évaluer le jumeau numérique
2. proposer une méthode de développement de jumeaux numériques

# jumeaux numériques

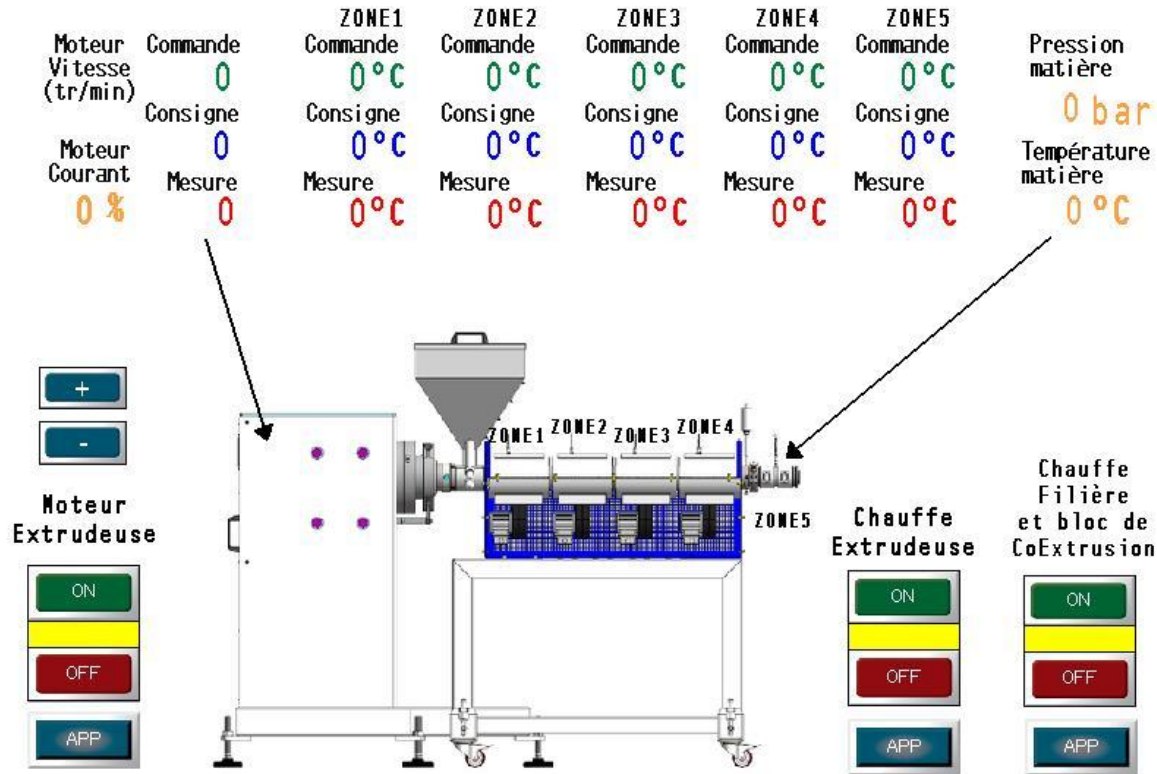
1. développer un jumeau numérique
  - 1.1. connecter le jumeau physique
  - 1.2. construire le jumeau numérique
  - 1.3. exploiter le jumeau numérique
  - 1.4. évaluer le jumeau numérique
- ~~2. proposer une méthode de développement de jumeaux numériques~~

# jumeaux numériques

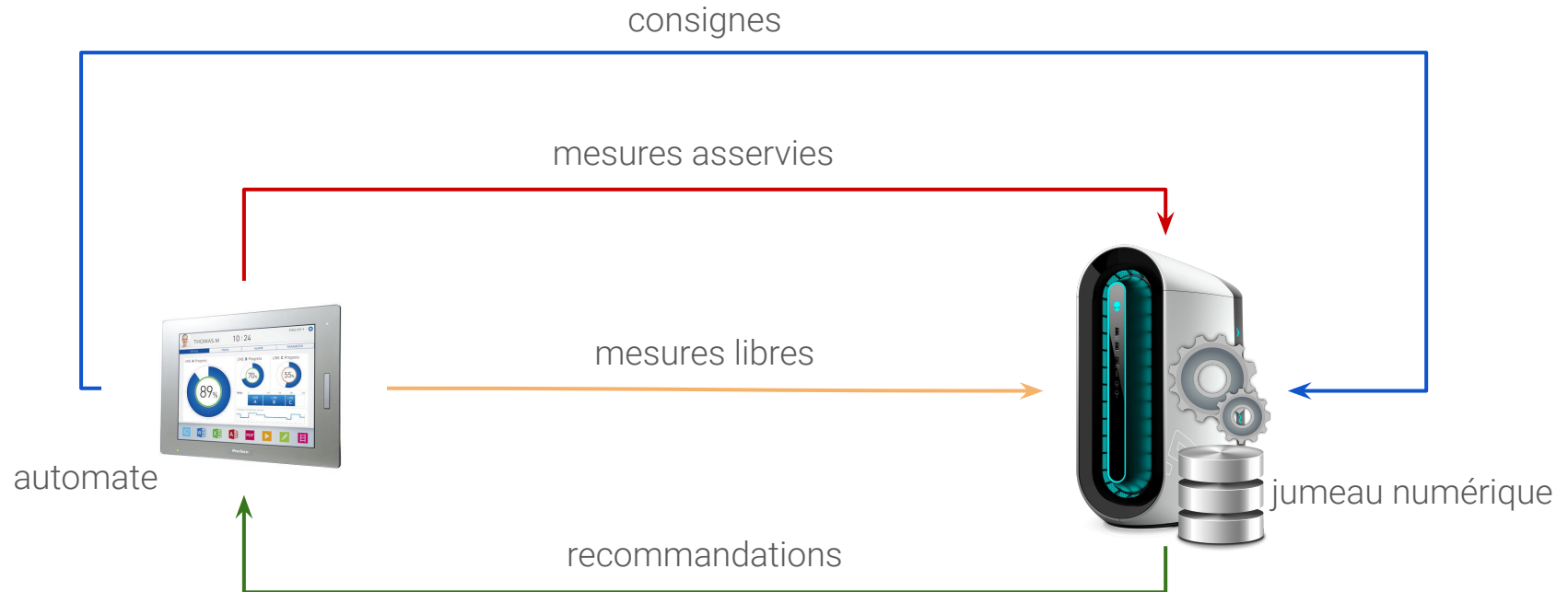
connecter le jumeau physique

1. interface de l'opérateur
2. flots de données

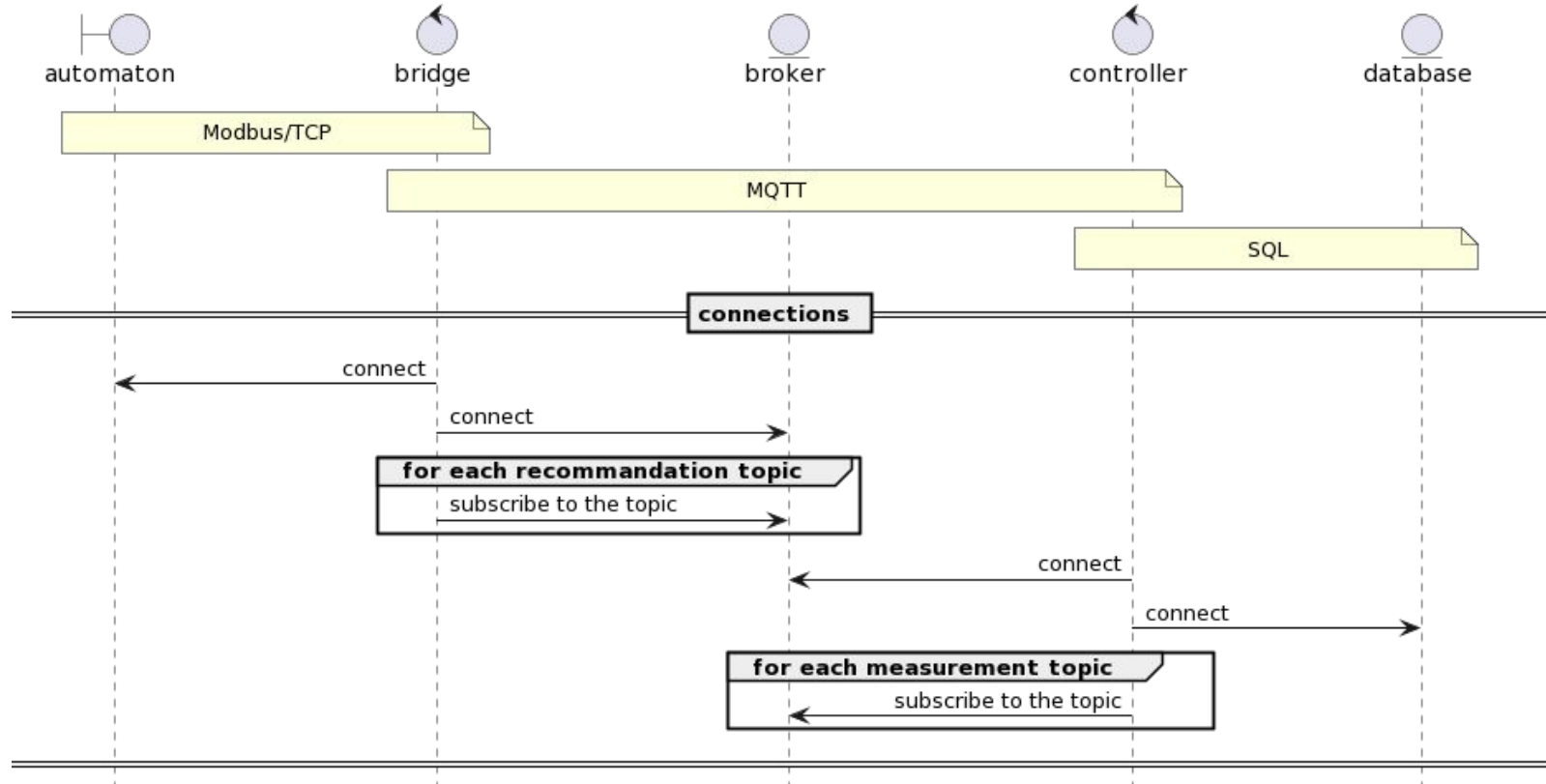
# interface de l'opérateur



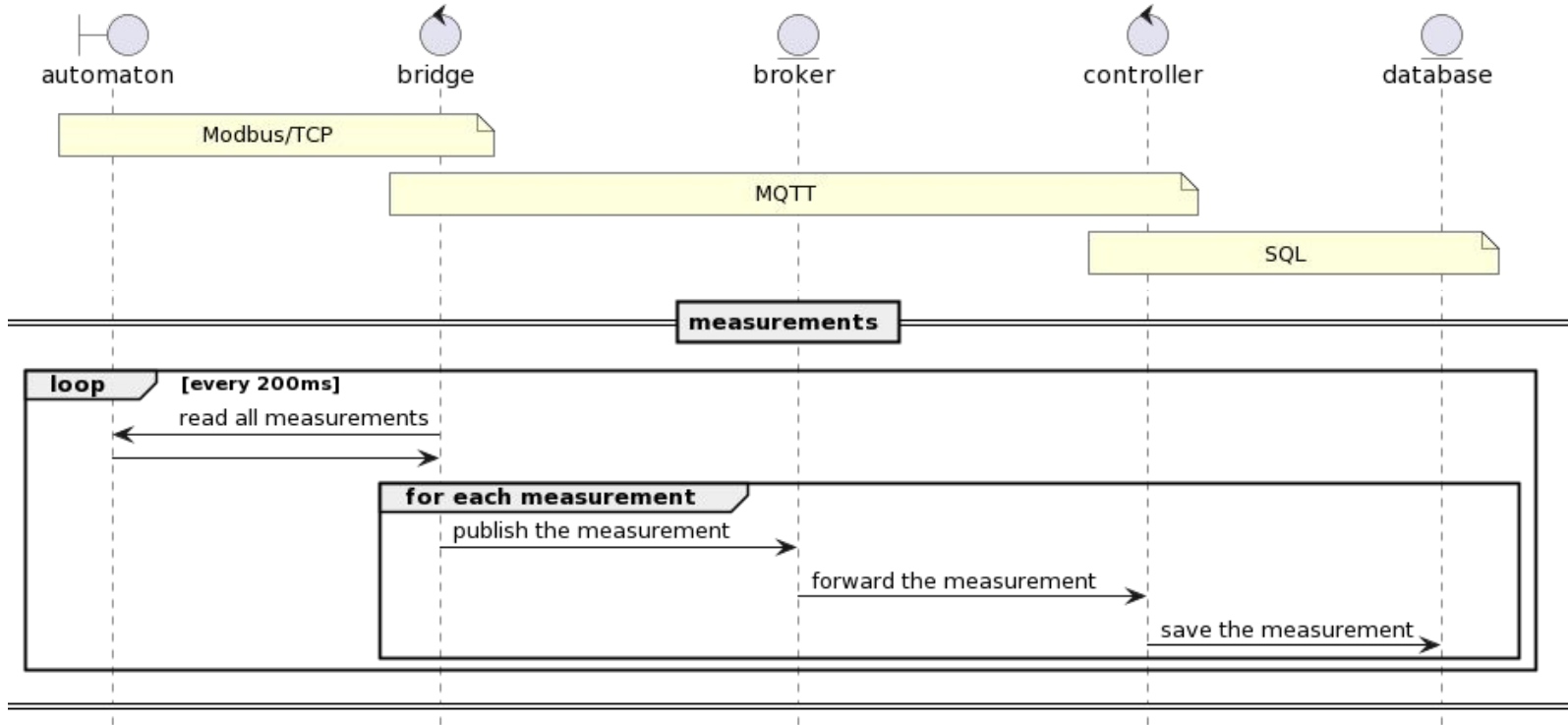
# flots de données



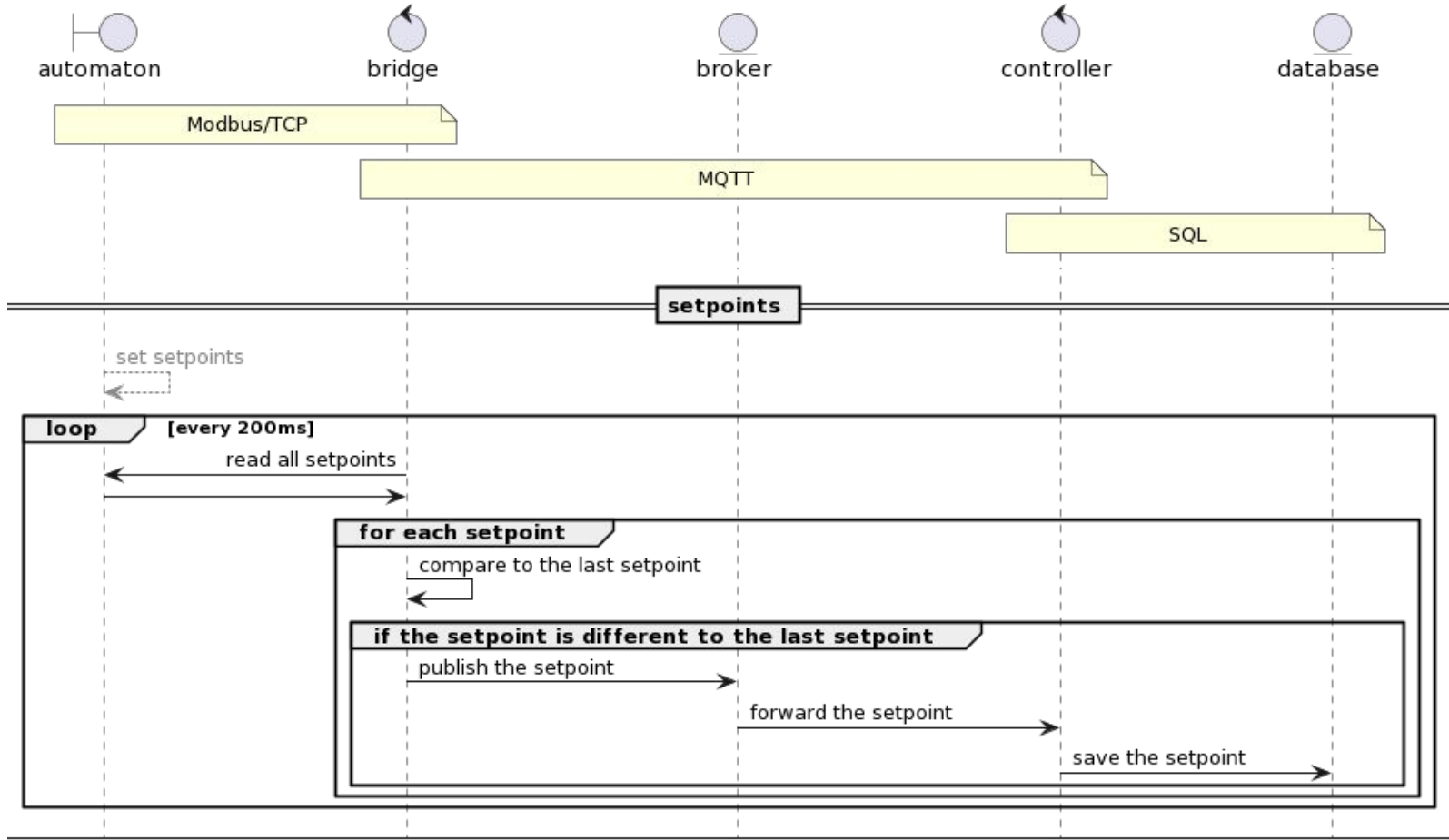
# flots de données



# flots de données

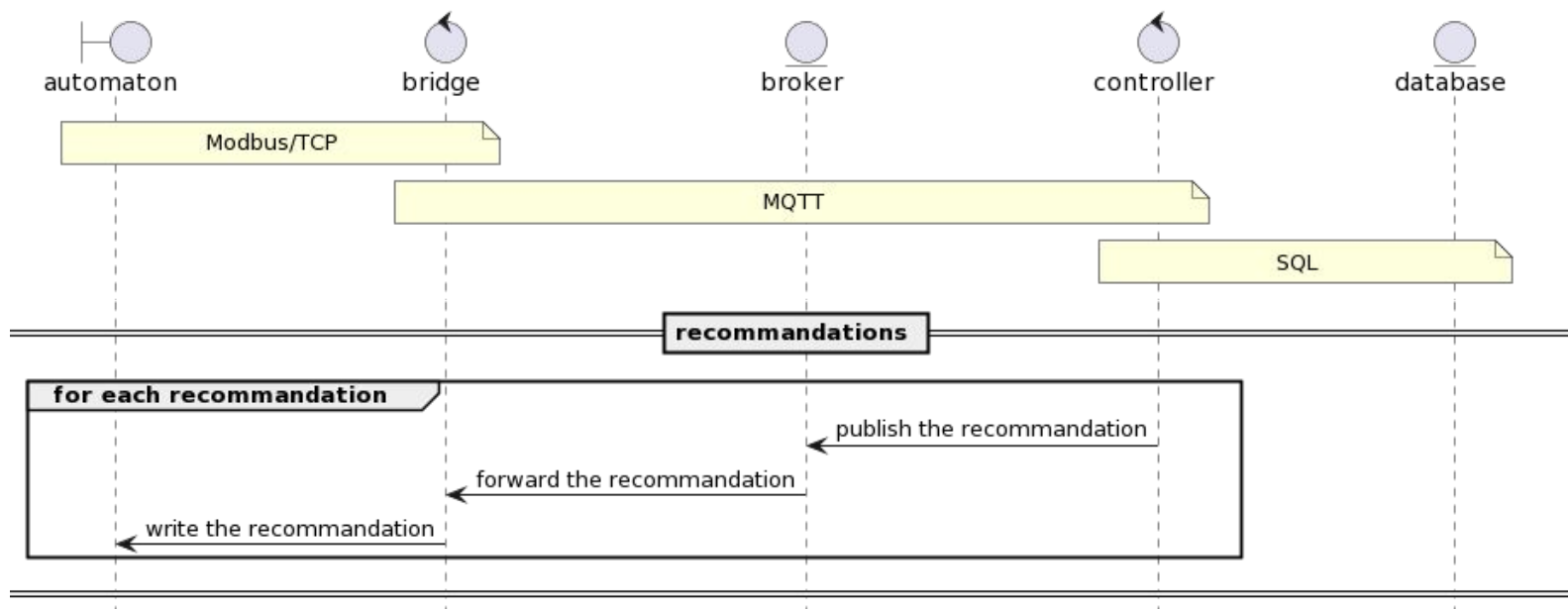


# flots de données

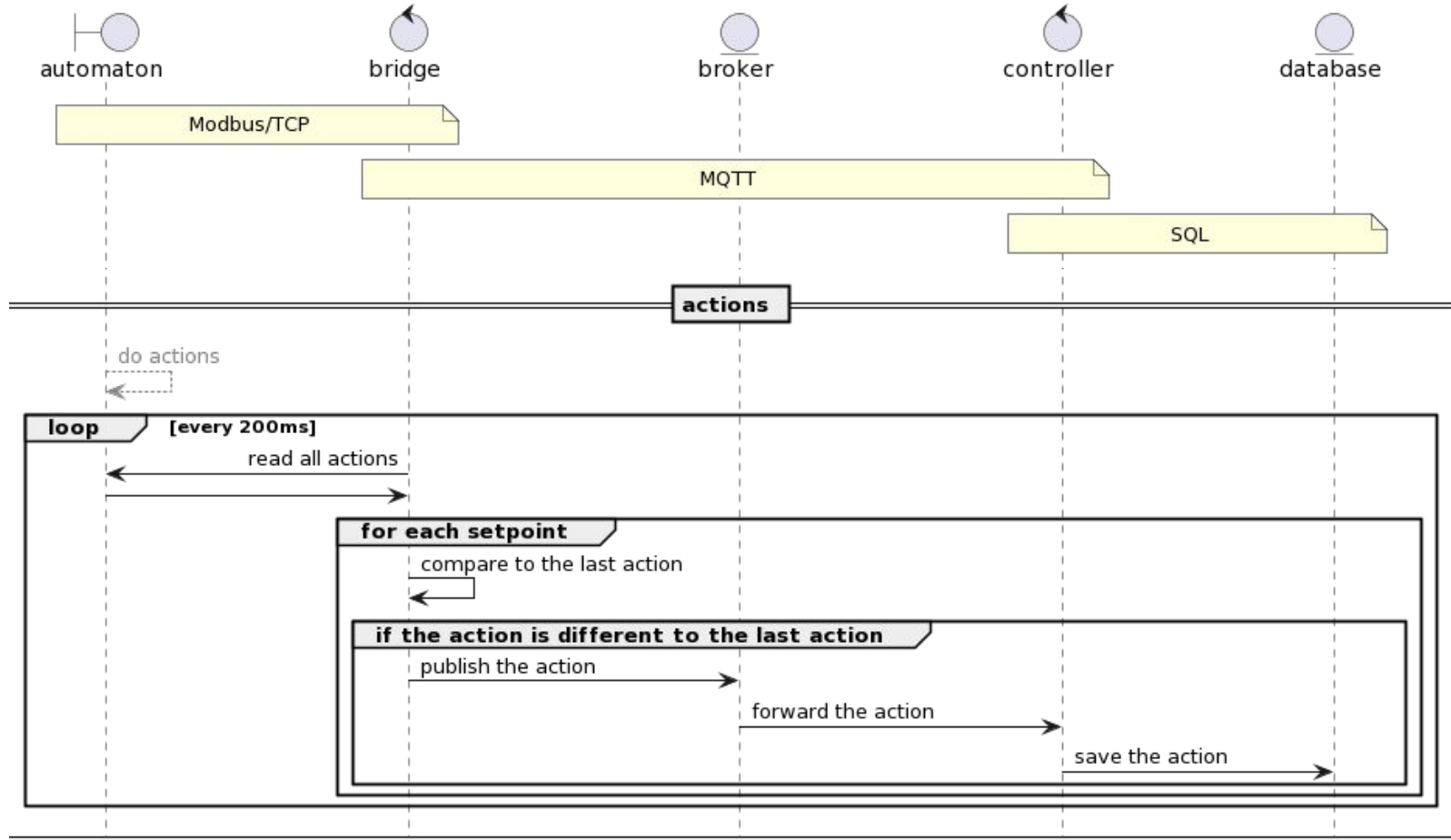




# flots de données

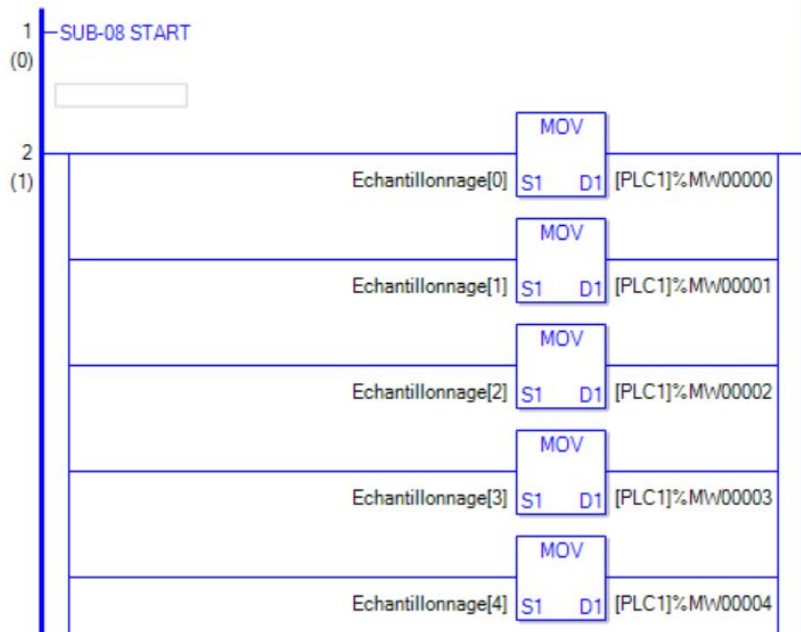


# flots de données



# automate

## relevés de mesure



Device/PLC

[Add Device/PLC](#) [Delete Device/PLC](#)

Device/PLC 1 Device/PLC 2

[Change Device/PLC](#)

Summary

Manufacturer  Series  Port

Text Data Mode  [Change](#)

Communication Settings

Port No.

Wait To Send  (ms)

Unit ID

Device-Specific Settings

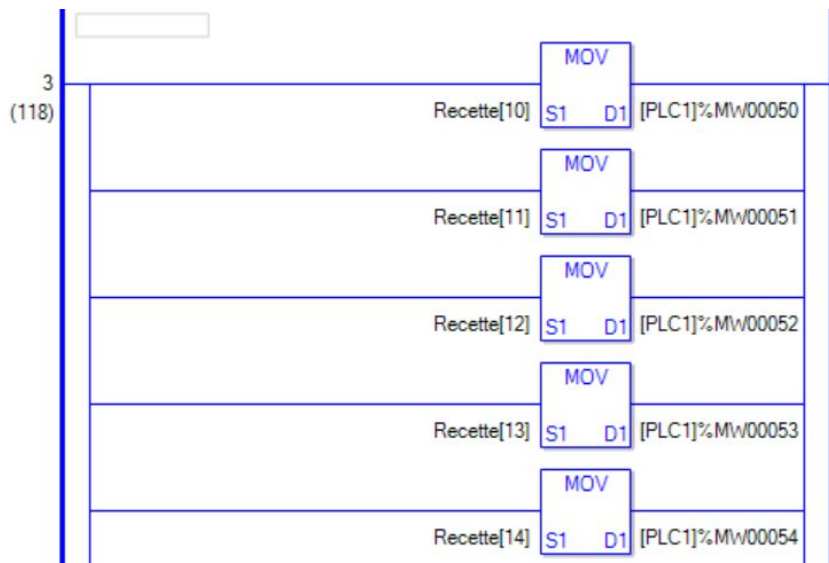
Allowable Number of Devices/PLCs  [Add Device](#)

No. Device Name Settings [Add Indirect Device](#)

No.	Device Name	Settings
<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="text" value="PLC1"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Rest of the bits in this word=Do not clear,IEC61131 Sy

# automate

# consignes



Device/PLC

[Add Device/PLC](#) [Delete Device/PLC](#)

Device/PLC 1 Device/PLC 2

Summary [Change Device/PLC](#)

Manufacturer  Series  Port

Text Data Mode  [Change](#)

Communication Settings

Port No.

Wait To Send  (ms)

Unit ID

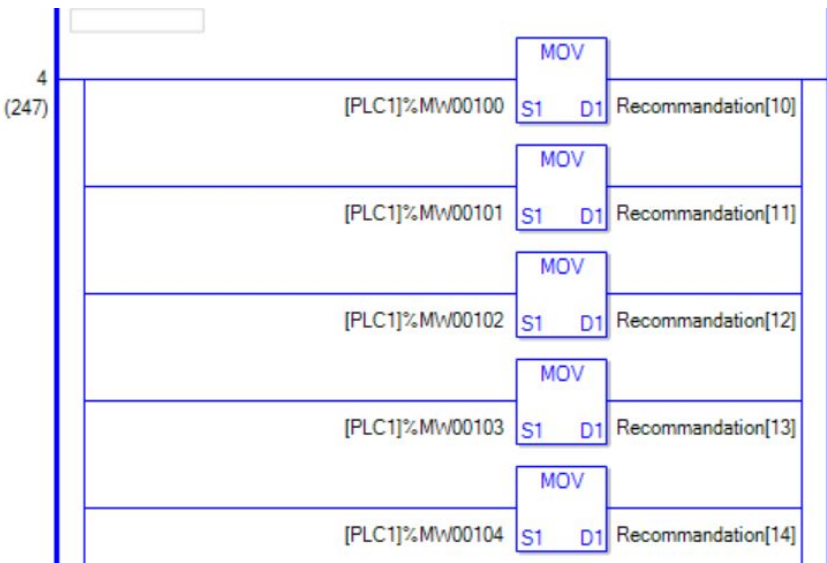
Device-Specific Settings

Allowable Number of Devices/PLCs  [Add Device](#)

No.	Device Name	Settings	<a href="#">Add Indirect Device</a>
<input type="checkbox"/> 1	<input type="text" value="PLC1"/>	<input type="checkbox"/> Rest of the bits in this word=Do not clear,IEC61131 Sy	<input type="checkbox"/>

# automate

## recommandations



Device/PLC

[Add Device/PLC](#) [Delete Device/PLC](#)

Device/PLC 1 Device/PLC 2

Summary [Change Device/PLC](#)

Manufacturer  Series  Port

Text Data Mode  [Change](#)

Communication Settings

Port No.

Wait To Send  (ms)

Unit ID

Device-Specific Settings

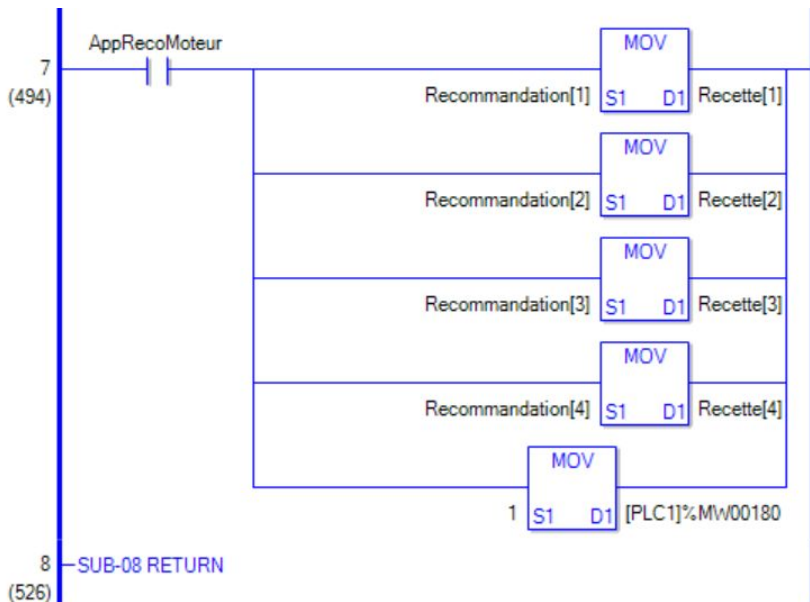
Allowable Number of Devices/PLCs  [Add Device](#)

No. Device Name Settings [Add Indirect Device](#)

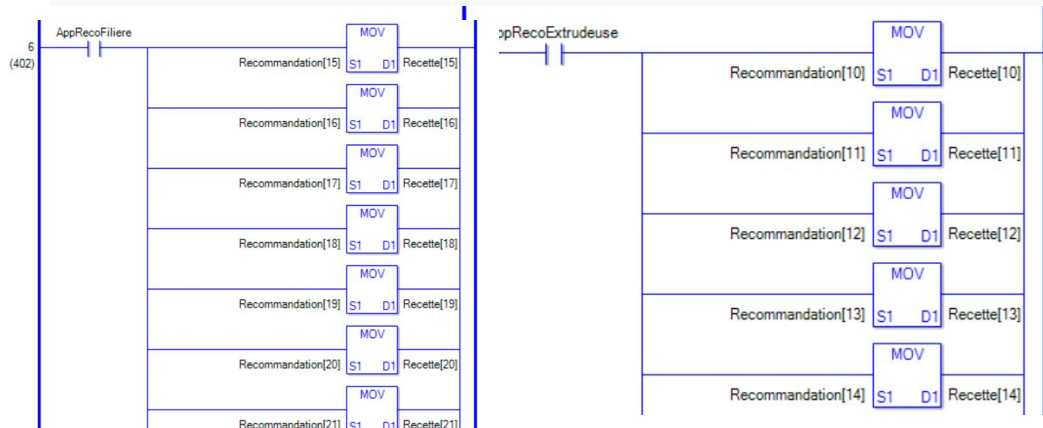
1

# automate

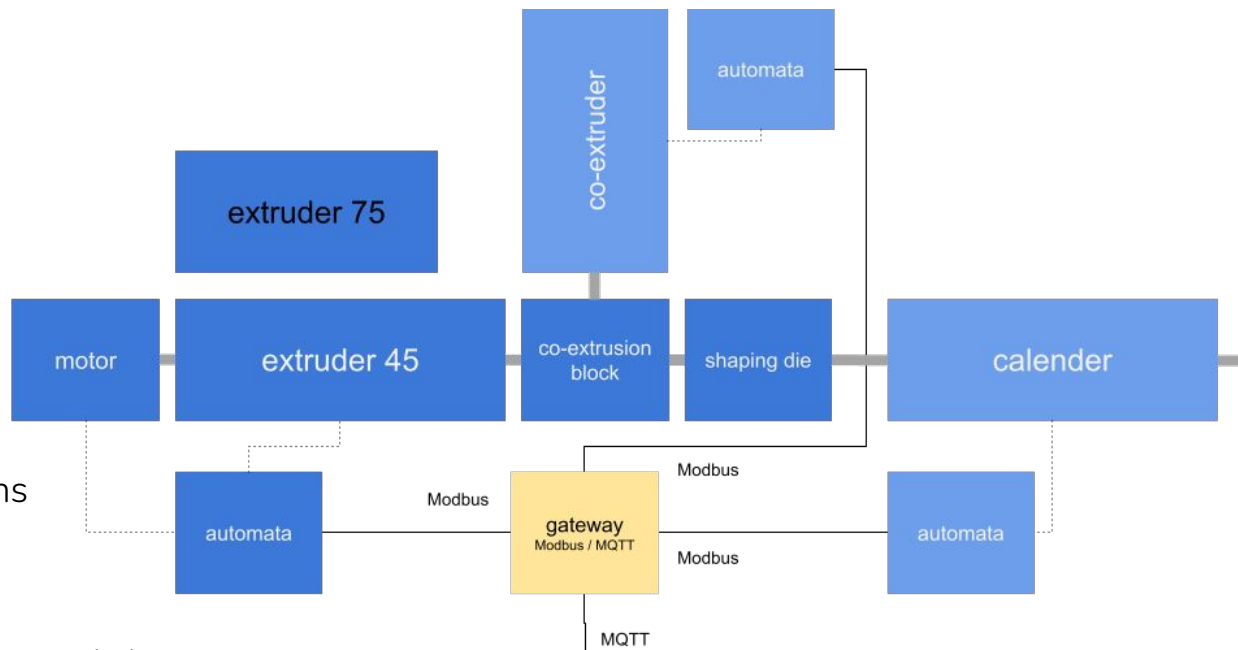
## recommandations



Device/PLC configuration interface. At the top right are links for [Add Device/PLC](#) and [Delete Device/PLC](#). Below, 'Device/PLC 1' and 'Device/PLC 2' are listed. A 'Summary' section includes 'Manufacturer' (Schneider Electric SA), 'Series' (MODBUS SLAVE), and 'Port' (Ethernet (TCP)). 'Text Data Mode' is set to 1 with a [Change](#) link. The 'Communication Settings' section shows 'Port No.' (502), 'Wait To Send' (0 ms), and 'Unit ID' (255), with a [Default](#) button. The 'Device-Specific Settings' section shows 'Allowable Number of Devices/PLCs' (1) and 'No. Device Name' (1 PLC1). A note states 'Rest of the bits in this word=Do not clear,IEC61131 Sy'.



# passerelle



## fonctionnalités

- passerelle Modbus / MQTT
- système de recommandations

## technologies

- carte VIA VAB 950
- listeners Tomcat (modbus4j, jgrapht)

## avantages

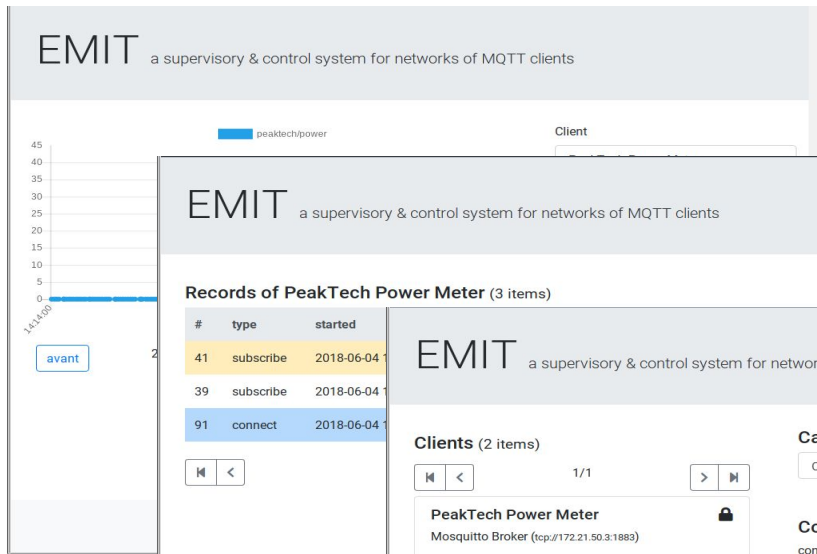
- sécurité
- extensibilité

## stratégies

- 1 topic MQTT par mesure (asynchrone)
- 1 topic MQTT pour les mesures (synchrone)



# plateforme



## fonctionnalités

- gérer des clients MQTT
- gérer le traitement des messages MQTT
- persister le résultat de ces traitements

## technologies

- interface HTTP
- moteurs MySQL + MongoDB

## stratégies

- 1 topic MQTT par mesure (asynchrone)
- 1 topic MQTT pour les mesures (synchrone)

#	type	started
41	subscribe	2018-06-04
39	subscribe	2018-06-04
91	connect	2018-06-04

**Clients (2 items)**

1/1

**PeakTech Power Meter**  
Mosquitto Broker (tcp://172.21.50.3:1883) [Select]

**Ardgetti PowerMeter**  
Mosquitto Broker (tcp://172.21.50.3:1883) [Select]

**Callback**  
Cast to Float and Persist in Messages [Detach]

**Connection**  
connected to Mosquitto Broker [Disconnect]

**Subscription**  
subscribed to peaktech/power [Unsubscribe]

**Publication**  
Topic: [Text Field]  
Payload: [Text Field]  
QoS: [Dropdown] Retained: [Dropdown] Persisted: [Dropdown]  
[Clear] [Publish]

Copyright © 2015-2018. ICAM. All rights reserved.

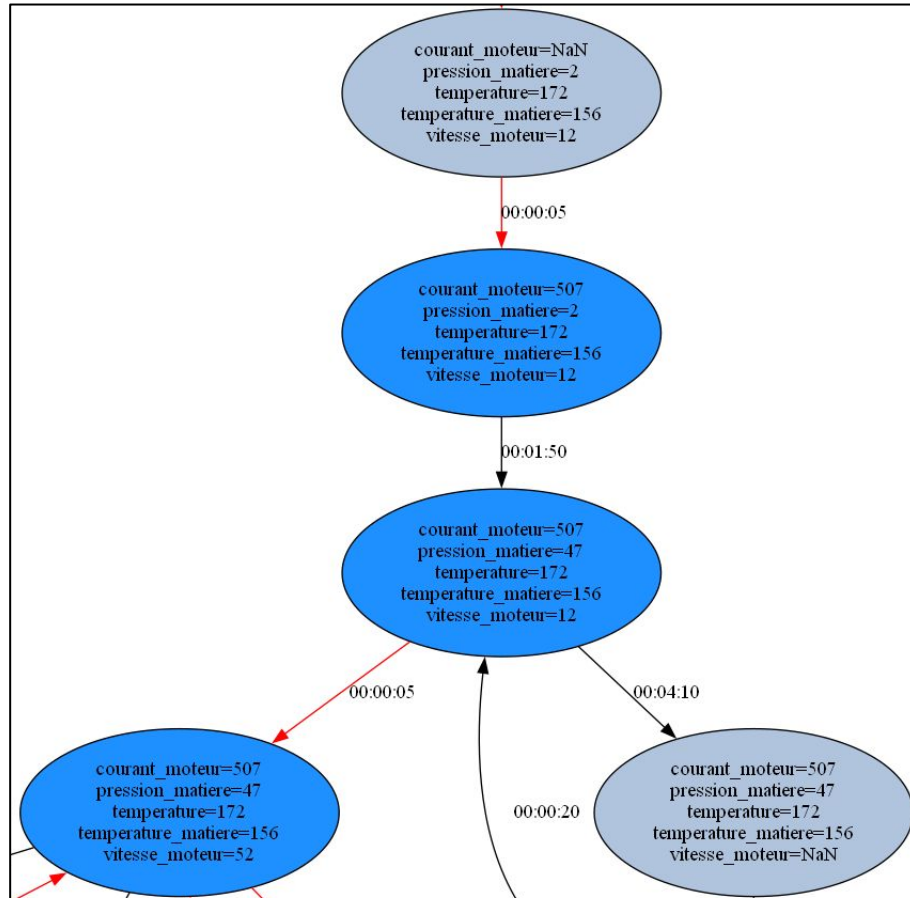


# jumeaux numériques

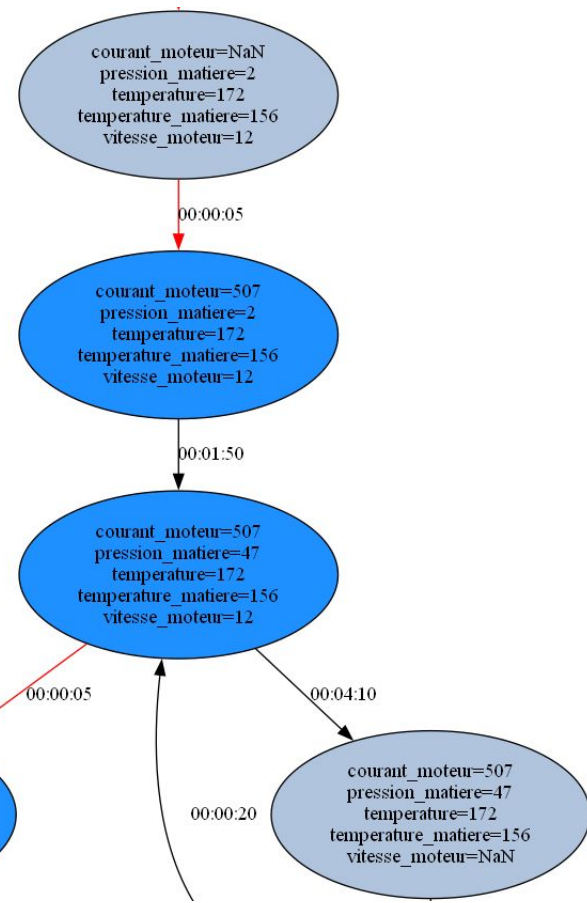
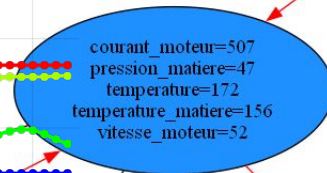
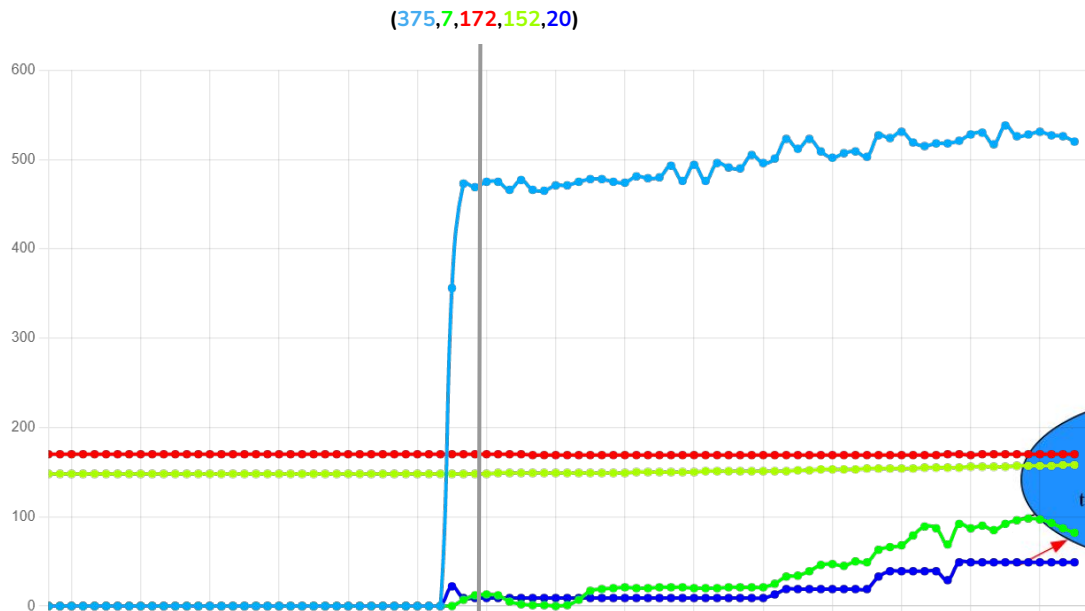
exploiter le jumeau numérique

1. définir le jumeau numérique
2. identifier l'état *courant*
3. trouver le *plus court* chemin
4. recommander des consignes

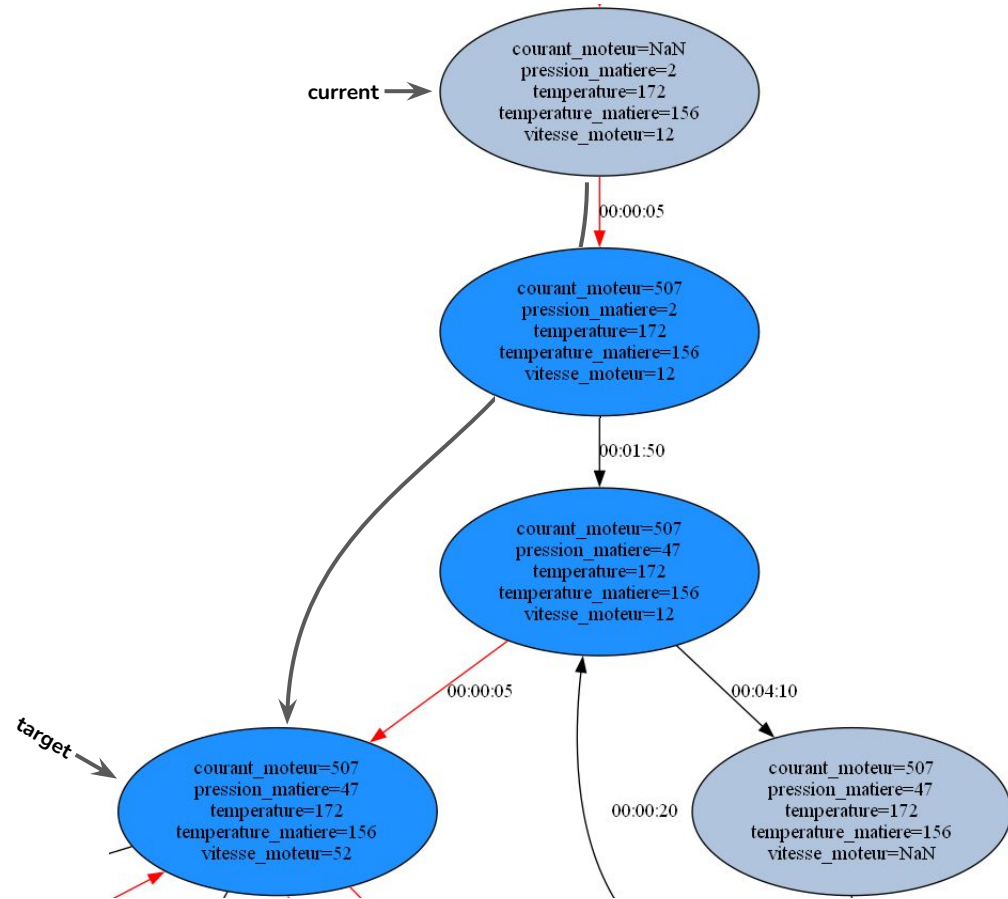
# définir le jumeau numérique



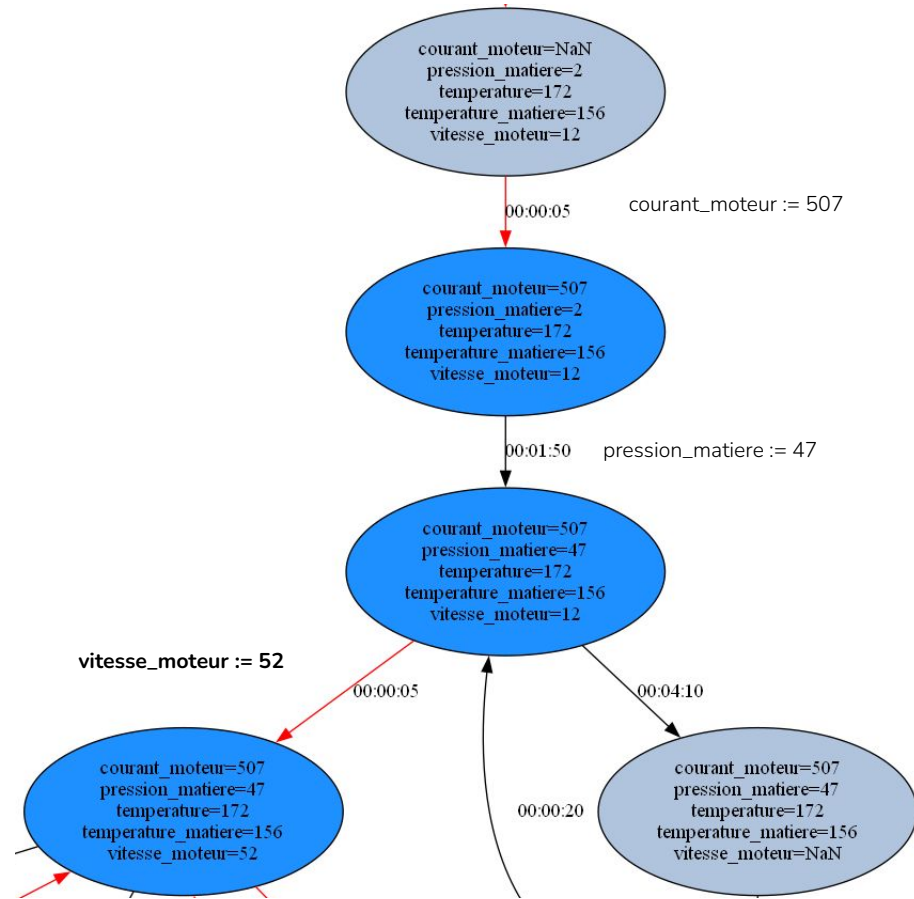
# identifier l'état courant



# trouver le plus court chemin



# recommander des consignes

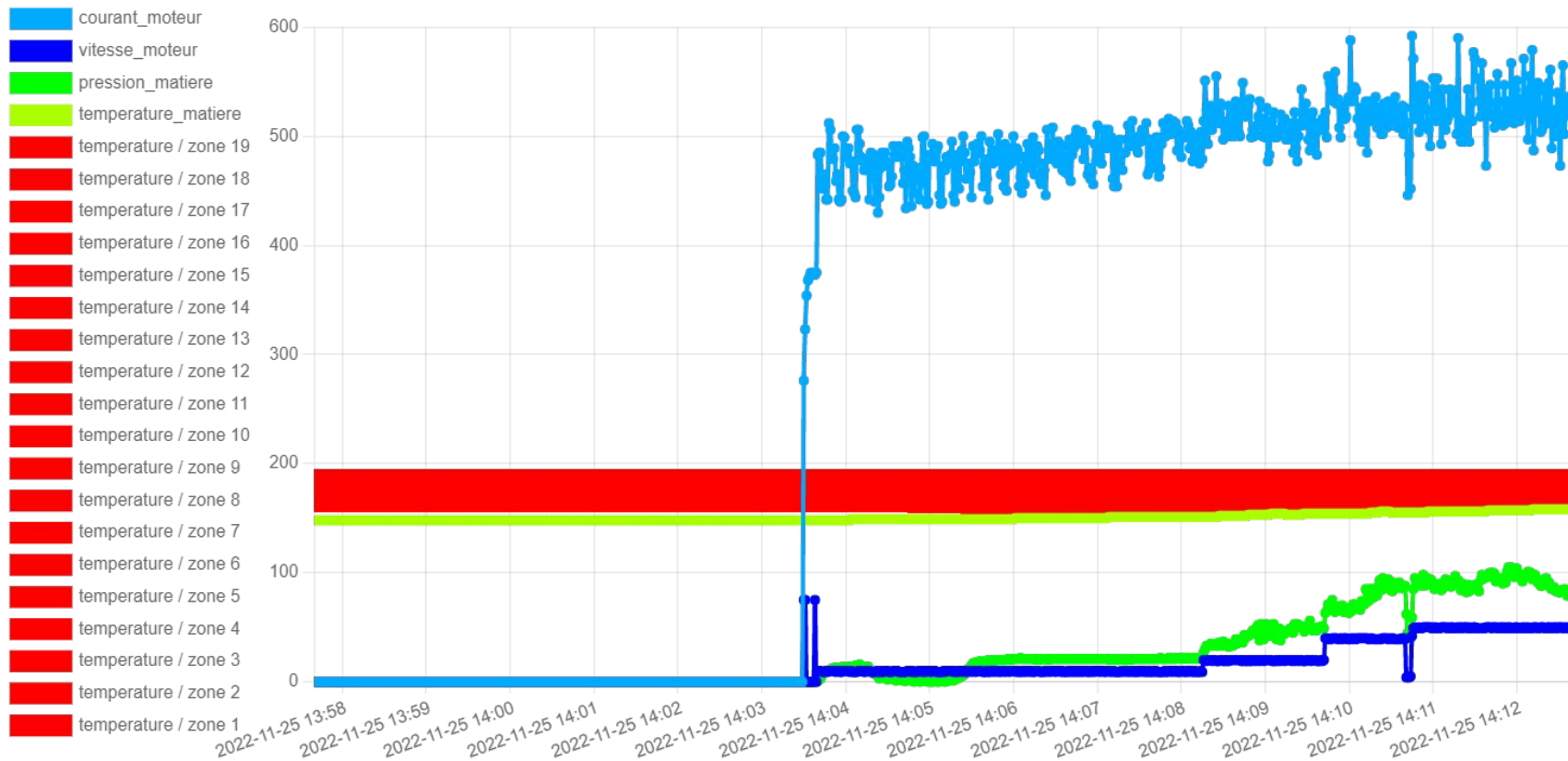


# jumeaux numériques

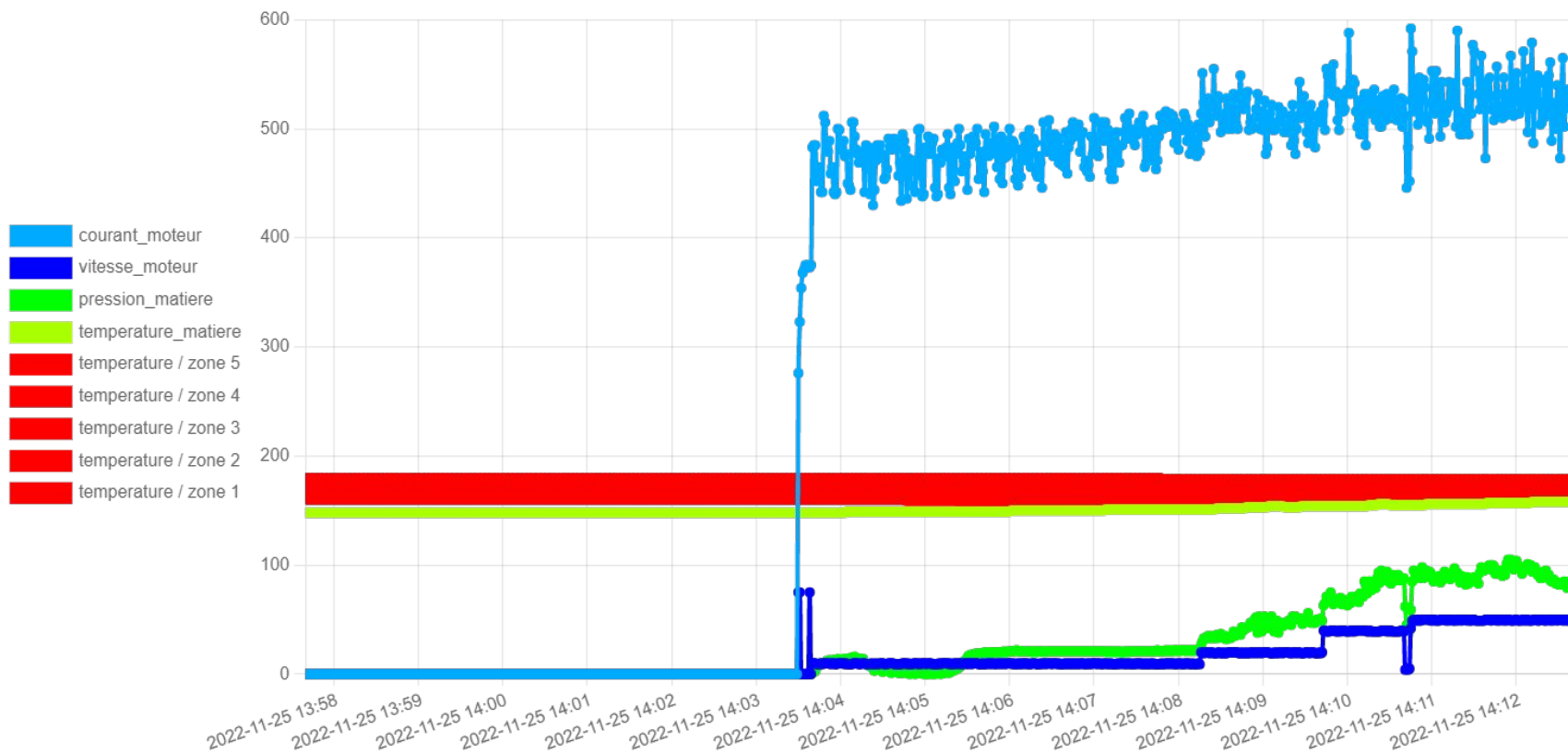
construire le jumeau numérique

1. filtrer les séries temporelles
2. synchroniser les abscisses
3. compléter les ordonnées
4. agréger les ordonnées
5. partitionner les ordonnées
6. construire un automate temporisé

# filtrer les séries temporelles

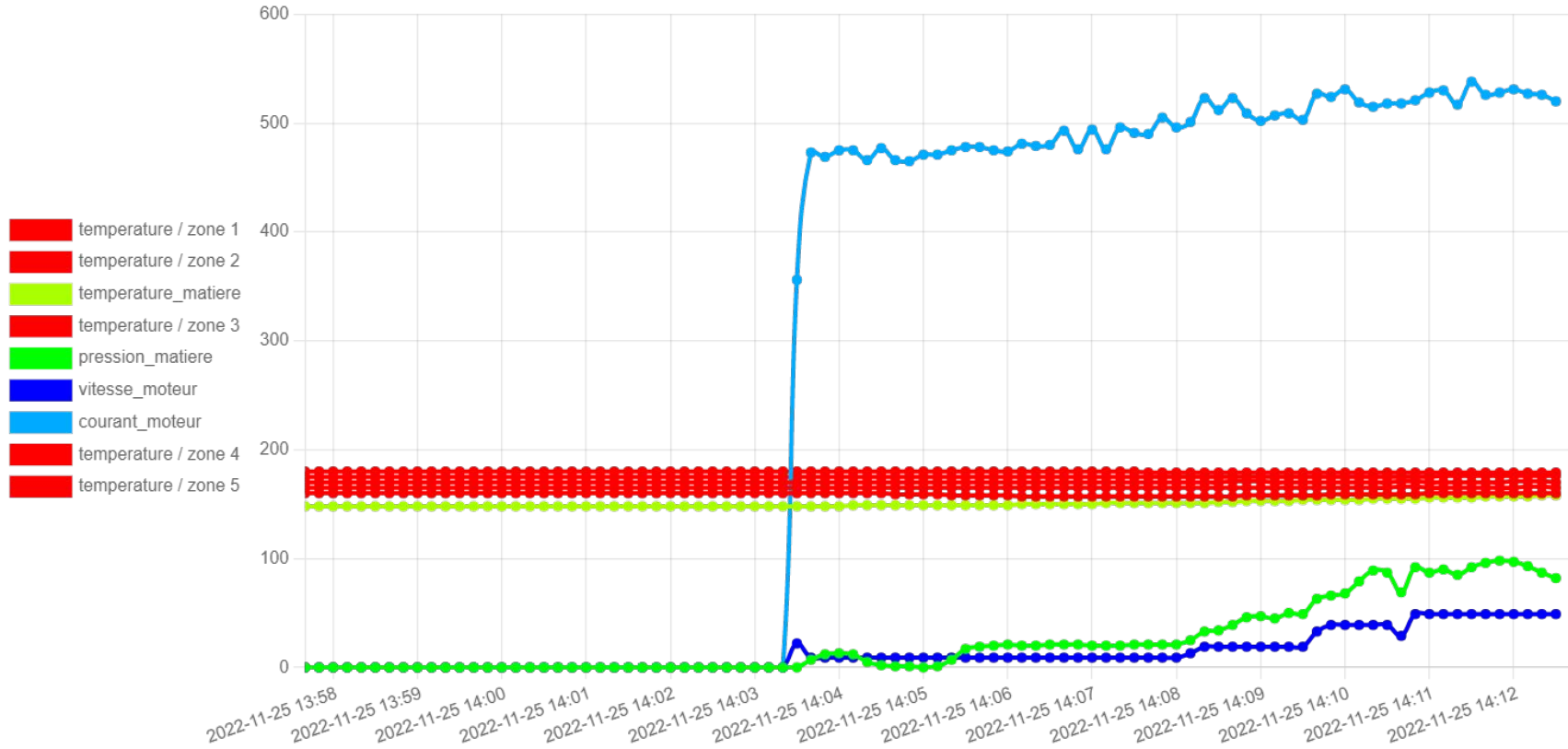


# filtrer les séries temporelles

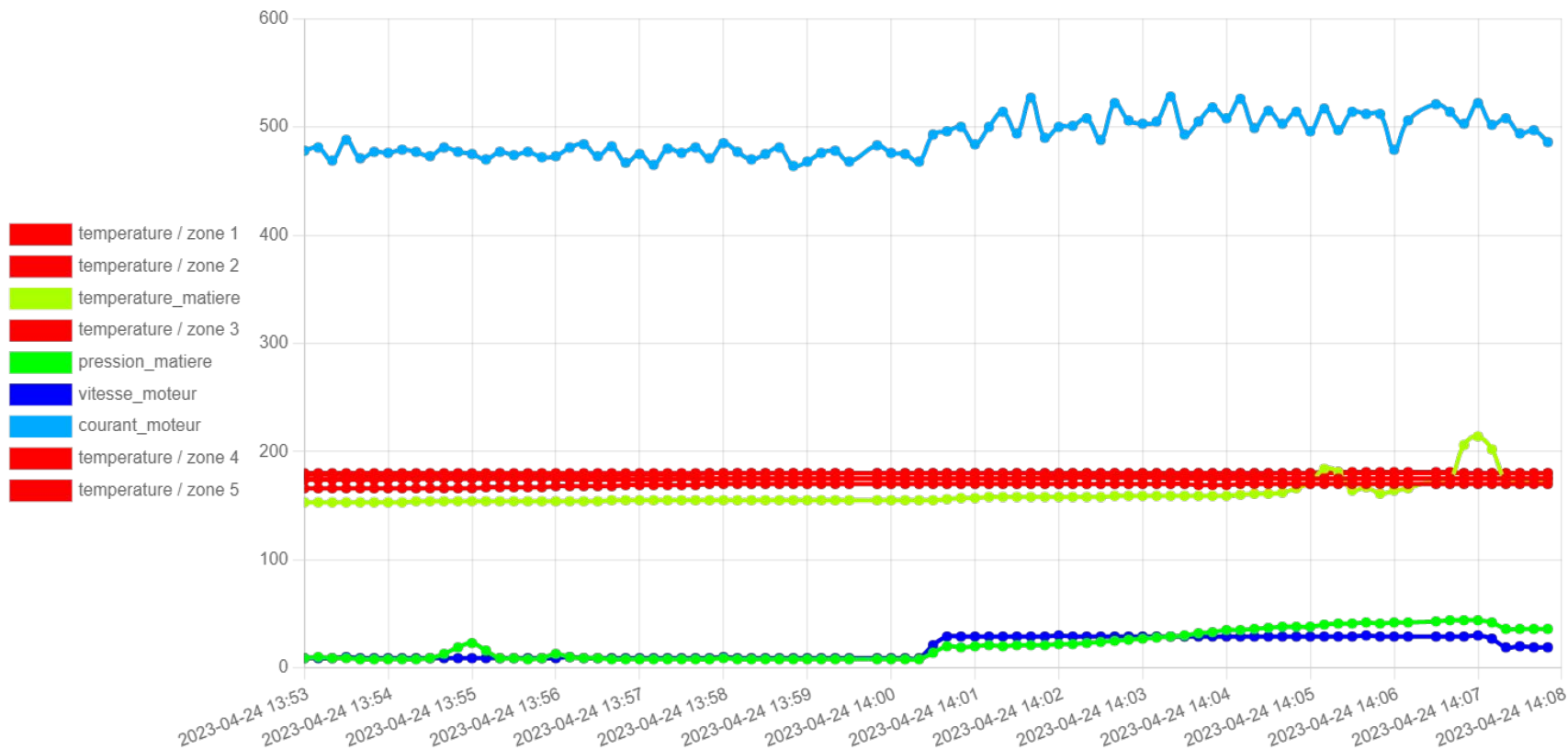




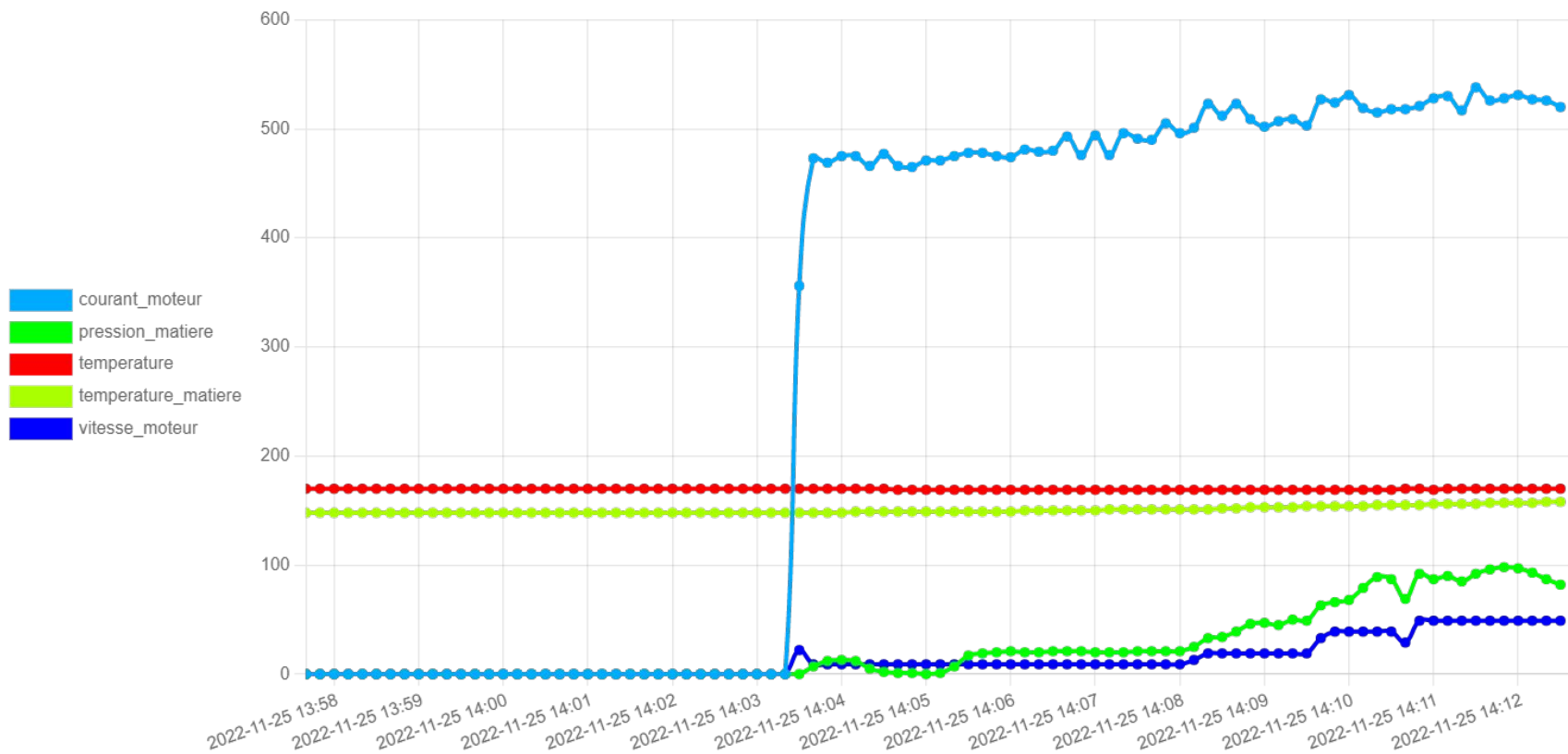
# synchroniser les abscisses



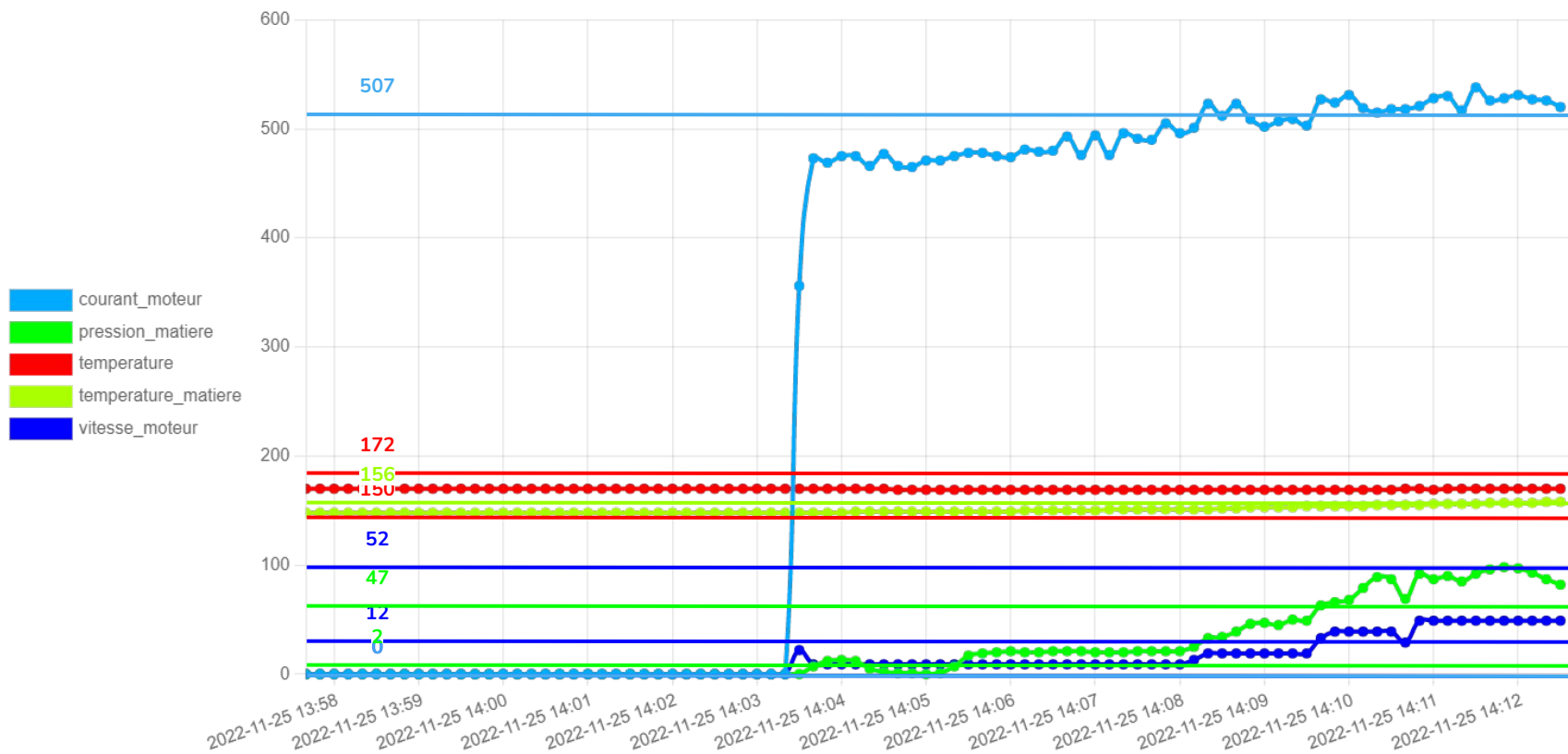
# compléter les ordonnées



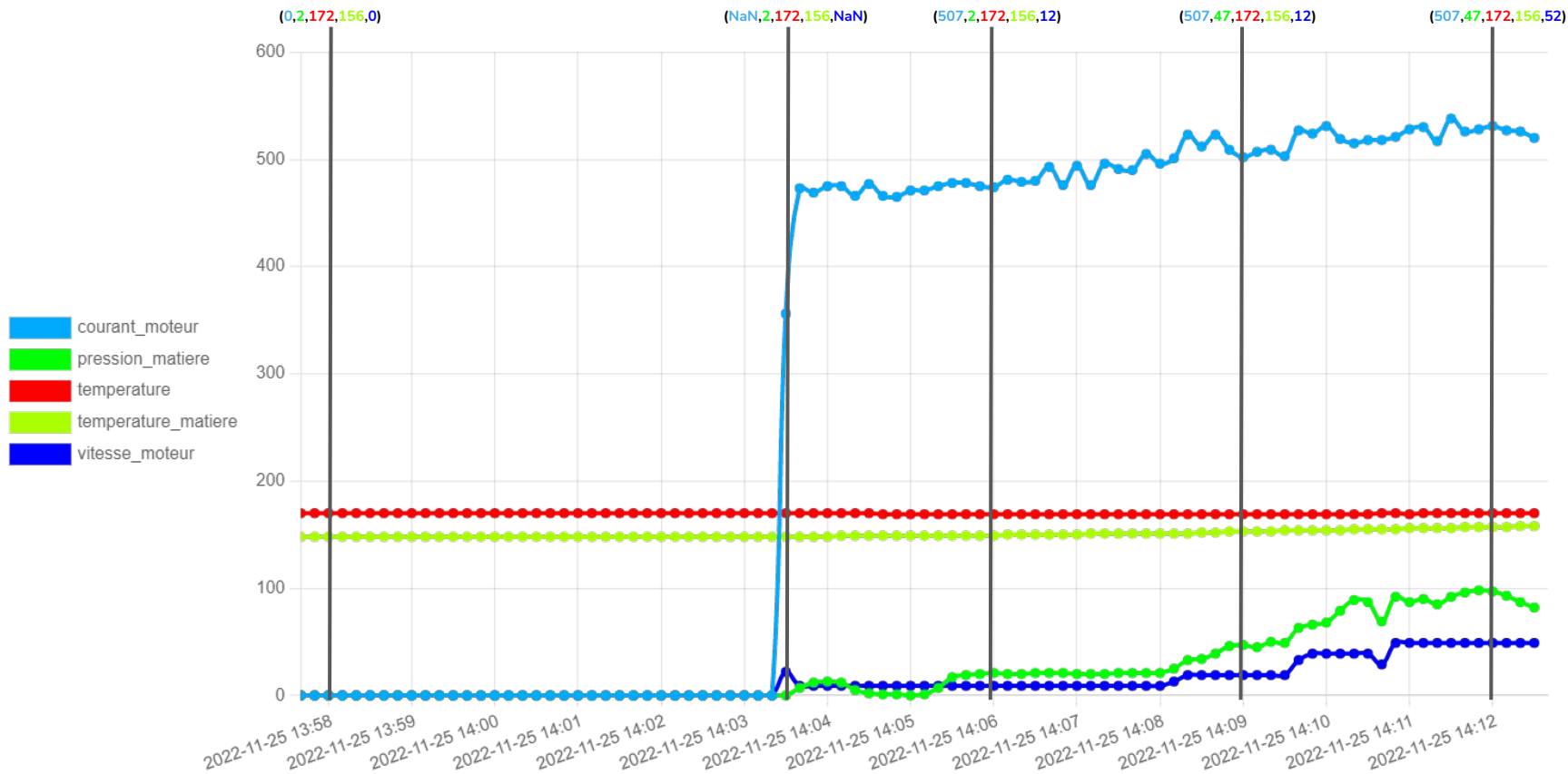
# agréger les ordonnées



# partitionner les ordonnées

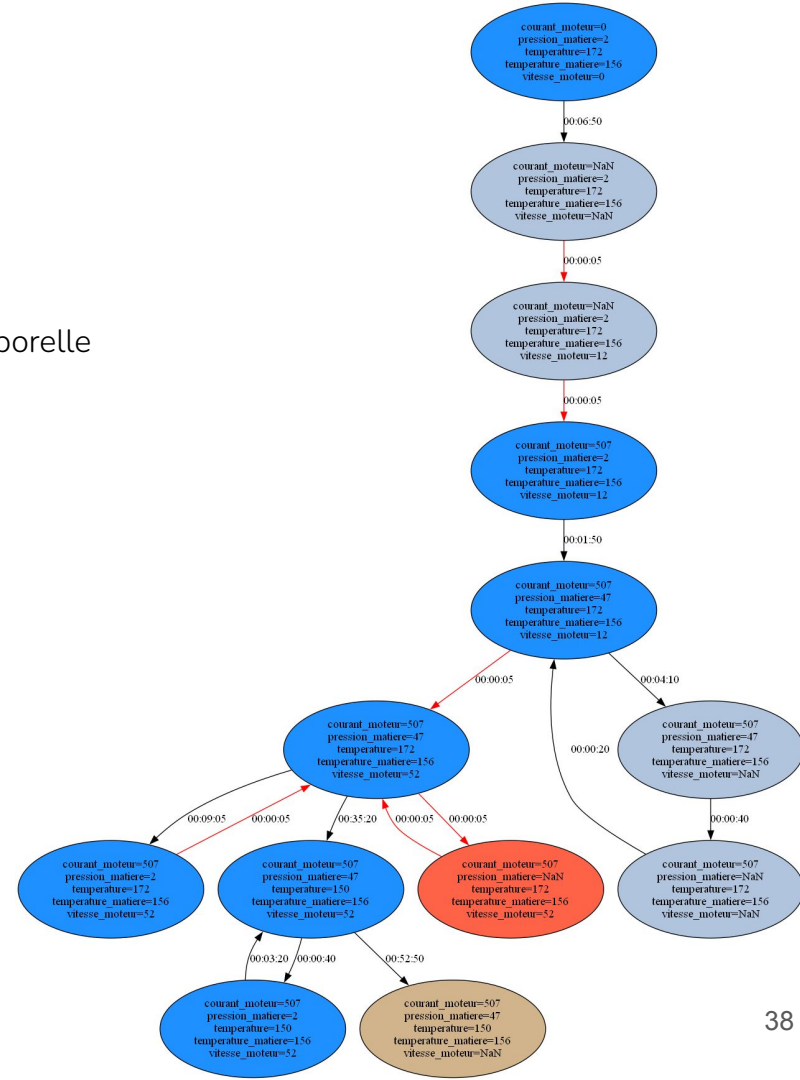


# construire un automate temporisé



# construire un automate temporisé

- filtre des séries temporelles : 9 relevés de mesure de l'extrudeuse
- fusion : moyenne des relevés de température
- durée de la fenêtre temporelle : 5s
- taille d'un état : 5% de la taille de la série temporelle
- rayon de voisinage d'un état : 50% de l'écart-type de la série temporelle
- mesure de distance : distance euclidienne
- agrégation des relevés de température de l'extrudeuse

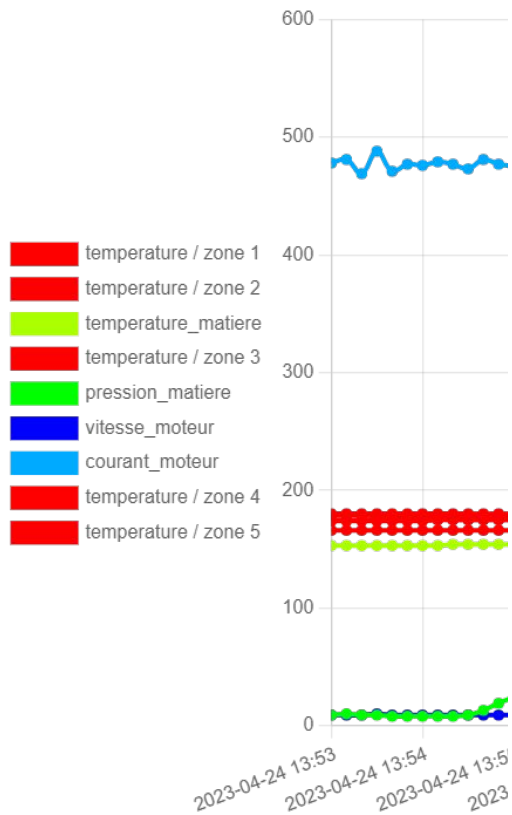


# jumeaux numériques

évaluer le jumeau numérique

1. qualité des données
2. pertinence des recommandations
3. importance des propriétés
4. sélection des paramètres

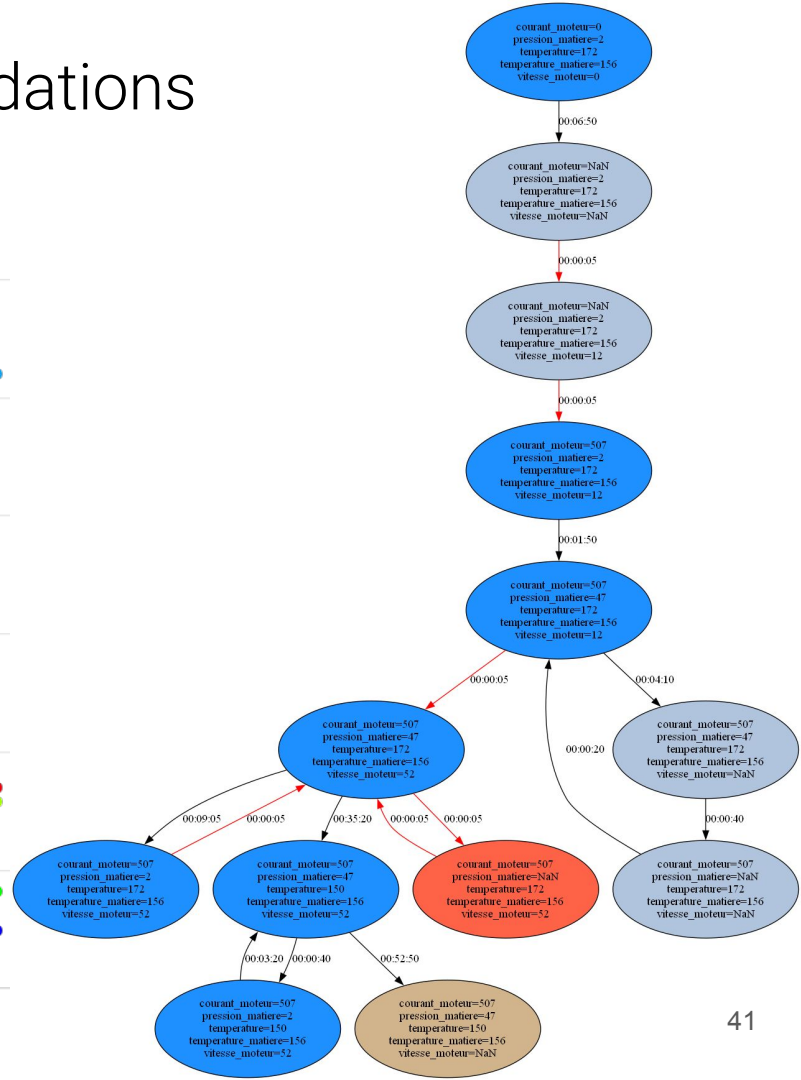
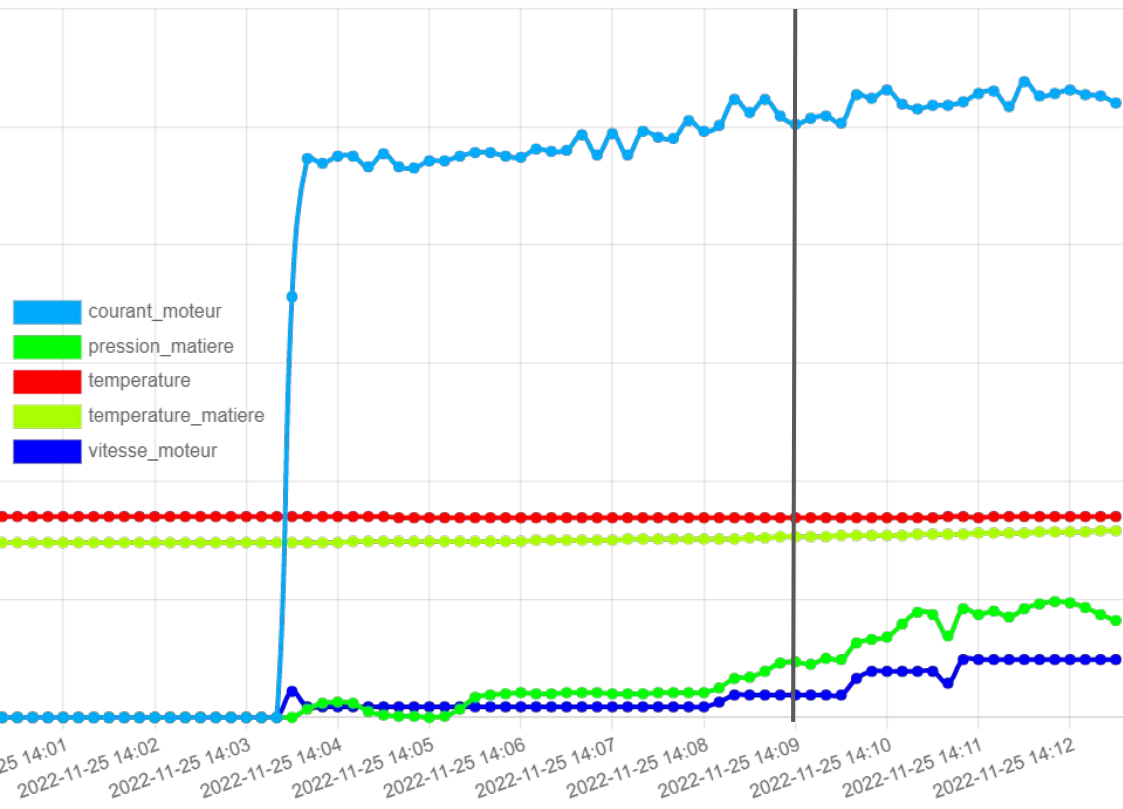
# évaluer la qualité des données



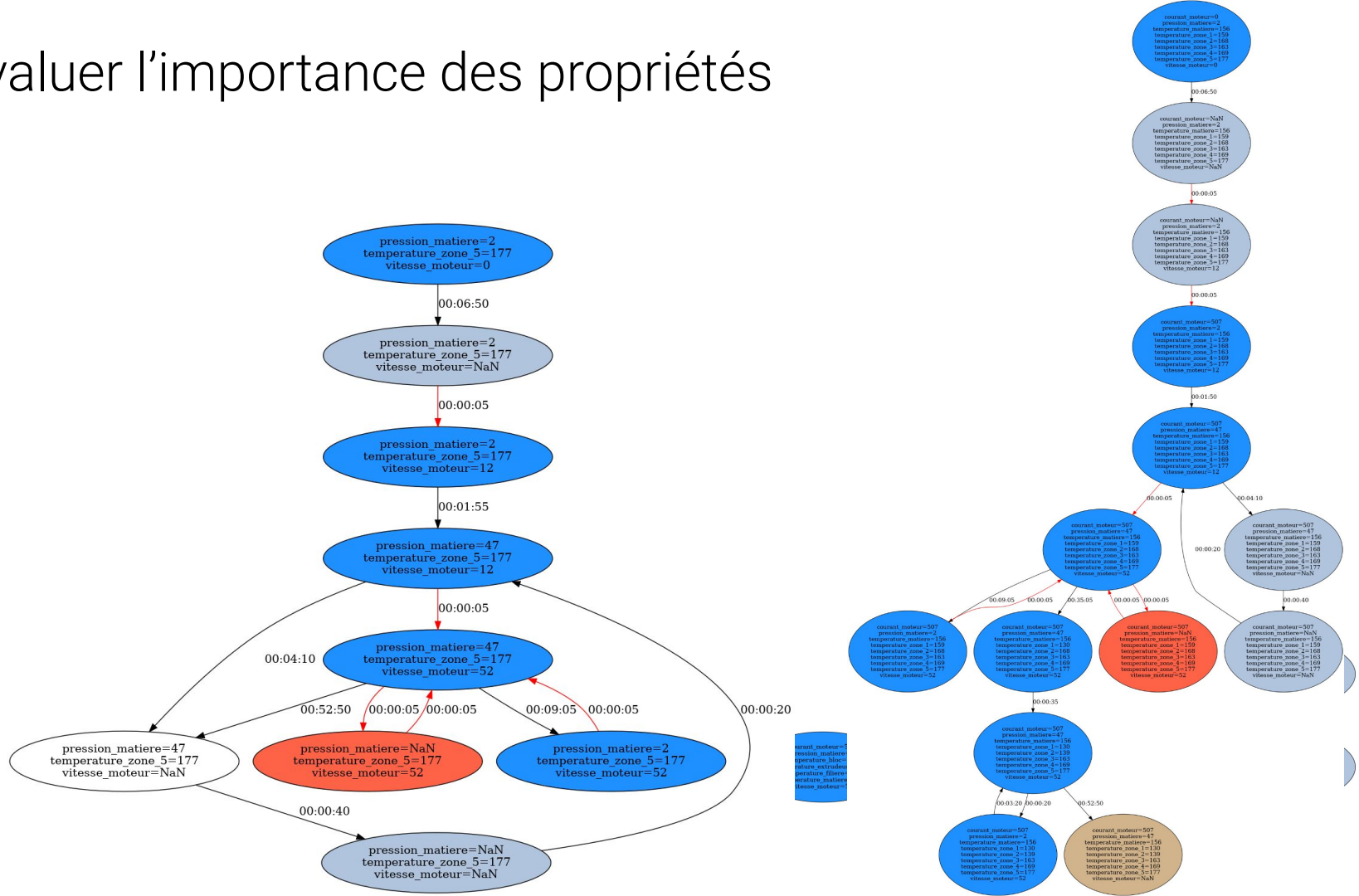
données	durée	température zone 1	température zone 2	température zone 3	température zone 4	température zone 5	température matière	pression matière	vitesse moteur	courant moteur
1	2	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1	5	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1	10	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1	15	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1	30	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1	60	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2	2	99,78	99,84	99,84	99,84	99,84	99,80	99,78	99,78	99,78
2	5	99,92	99,87	99,87	99,87	99,87	99,83	99,83	99,83	99,83
2	10	100,00	99,93	99,93	99,93	99,93	99,93	99,93	99,93	99,93
2	15	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,90	99,90	99,90	99,90
2	30	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2	60	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
3	2	99,88	99,92	99,92	99,92	99,92	99,90	99,89	99,89	99,89
3	5	99,96	99,94	99,94	99,94	99,94	99,92	99,92	99,92	99,92
3	10	100,00	99,96	99,96	99,96	99,96	99,96	99,96	99,96	99,96
3	15	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,95	99,95	99,95	99,95
3	30	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
3	60	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00



# évaluer la pertinence des recommandations



# évaluer l'importance des propriétés





bilan et perspectives

# bilan et perspectives

## **bénéfices**

1. approche minimaliste
2. approche générique
3. approche outillée
4. approche explicable

## **limites**

1. manque de jeux de données
2. manque de propriétés (cruciales)
3. manque d'analyses

## **ingénierie**

1. digitalisation complète de l'atelier plasturgie
2. déploiement d'une architecture ouverte
3. formalisation d'une méthode de développement

## **science**

1. campagne d'évaluation approfondie
2. modèle alternatif basé sur RNN LSTM
3. intégration de modèles analytiques

merci