



IMT Atlantique

Bretagne-Pays de la Loire
École Mines-Télécom

XR-CSB: EXplainable Representation of Complex System Behavior using automata for multivariate times series

[Ikram Chraibi Kaadoud](#), Lina Fahed, Tian Tian,
Yannis Haralambous et Philippe Lenca

IMT Atlantique, Brest, France
Lab-STICC, UMR CNRS 6285

ikram.chraibi-kaadoud@imt-atlantique.fr

APIA @ PFIA 2022

Sommaire

- **Définitions**
- **Introduction & contexte**
- **Méthodologie XR-CSB : Explainable Representation of Complex System Behavior**
- **Evaluation : Scalabilité & évaluation qualitative**
- **Conclusion**



IMT Atlantique
Bretagne-Pays de la Loire
École Mines-Télécom

XR-CSB : Explainable Representation of Complex System Behavior using automata
for multivariate times series – Chraïbi Kaadoud
1^{er} Juillet 2022 – APIA@PFIA 2022

Définitions



IMT Atlantique
Bretagne-Pays de la Loire
École Mines-Télécom

XR-CSB : Explainable Representation of Complex System Behavior using automata
for multivariate times series – Chraïbi Kaadoud
1^{er} Juillet 2022 – APIA@PFIA 2022

Explicabilité

Interprétabilité

Fournir une **description** des mécanismes internes d'un système afin d'explicitier le comportement du modèle en fonction de modification des entrées ou des paramètres.

Modèle
IA

« Je peux voir ce qu'un modèle a fait
(ou supposément fait) ! »

Public cible
Data scientists/
Développeurs/Chercheurs
IA
... Individu doté de
connaissances techniques



Explicabilité

Interprétabilité

Fournir une **description** des mécanismes internes d'un système afin d'expliciter le comportement du modèle en fonction de modification des entrées ou des paramètres.

« Je peux voir ce qu'un modèle a fait (ou supposément fait) ! »

Public cible
Data scientists/
Développeurs/Chercheurs
IA
... Individu doté de
connaissances techniques

Modèle
IA

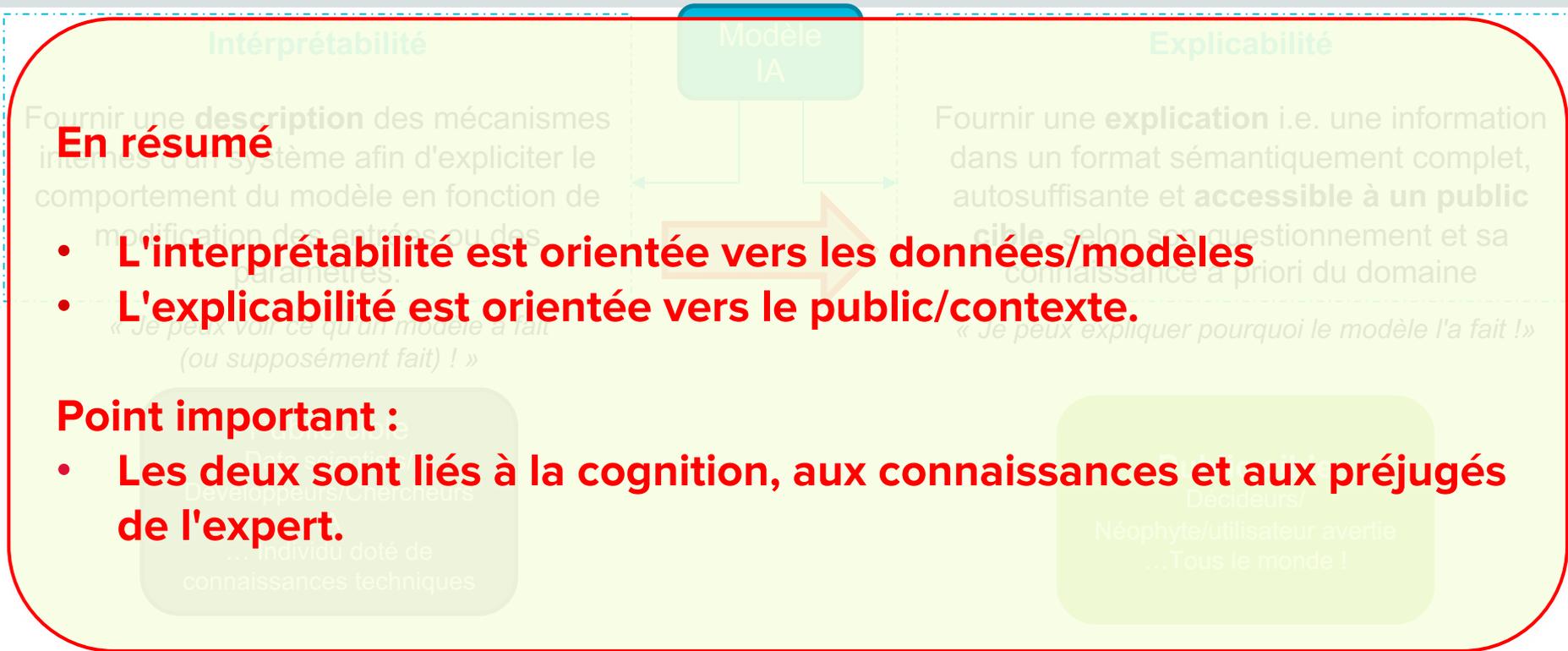
Explicabilité

Fournir une **explication** i.e. une information dans un format sémantiquement complet, autosuffisante et **accessible à un public cible**, selon son questionnement et sa connaissance à priori du domaine

« Je peux expliquer pourquoi le modèle l'a fait ! »

Public cible
Décideurs/
Néophyte/utilisateur avertie
... Tous le monde !

Explicabilité



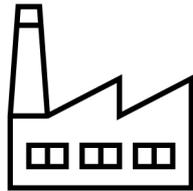
Introduction & contexte



IMT Atlantique
Bretagne-Pays de la Loire
École Mines-Télécom

XR-CSB : Explainable Representation of Complex System Behavior using automata
for multivariate times series – Chraïbi Kaadoud
1^{er} Juillet 2022 – APIA@PFIA 2022

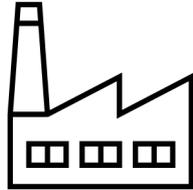
Contexte applicatif



Contexte métier : Centrale thermique

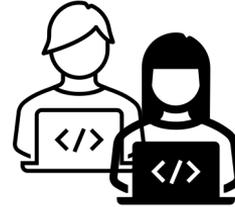
- 8 équipements différents
- 377 capteurs aux **unités variables** et aux **plages de valeurs différentes** réparties de manière hétérogène par équipement

Contexte applicatif



Contexte métier : Centrale thermique

- 8 équipements différents
- 377 capteurs aux **unités variables** et aux **plages de valeurs différentes** réparties de manière hétérogène par équipement



Notre partenaire : Editeur de logiciel

- 377 séries temporelles multivariées non étiquetées, au comportement **chaotique** (i.e. irrégulier) et a priori **non déterministe**
- Pour chaque série temporelle : relevé toutes les 10min
- Période de 4 ans

Introduction : Contexte et motivation

- Une centrale thermique est considérée comme **un système complexe** composée d'équipements, chacun **relié à plusieurs capteurs** qui renvoient une valeur à des périodes données.
- **Notre contexte scientifique** : L'étude **d'un système complexe**
 - ➔ Composé de séries temporelles multivariées, **ses variables**, non étiquetées, au comportement irrégulier et a priori non déterministe.
 - ➔ Dynamique dans le temps

Introduction : Contexte et motivation

- Une centrale thermique est considérée comme **un système complexe** composée d'équipements, chacun **relié à plusieurs capteurs** qui renvoient une valeur à des périodes données.
- **Notre contexte scientifique** : L'étude **d'un système complexe**
 - ➔ Composé de séries temporelles multivariées, **ses variables**, non étiquetées, au comportement irrégulier et a priori non déterministe.
 - ➔ Dynamique dans le temps

Notre questionnement :

Comment comprendre l'évolution d'un système complexe ?

Introduction : Contexte et motivation

- Une centrale thermique est considérée comme **un système complexe** composée d'équipements, chacun **relié à plusieurs capteurs** qui renvoient une valeur à des périodes données.
- **Notre contexte scientifique** : L'étude **d'un système complexe**
 - ➔ Composé de séries temporelles multivariées, **ses variables**, non étiquetées, au comportement irrégulier et a priori non déterministe.
 - ➔ Dynamique dans le temps

Notre questionnement :

Comment comprendre l'évolution d'un système complexe ?

Domaine de l'explicabilité en Intelligence Artificielle (IA).

Introduction : Contexte et motivation

Un état d'un système complexe est :

Décrit par les valeurs
des séries temporelles

Peut durer dans le
temps

Correspondent à des
intervalles de valeurs

Introduction : Contexte et motivation

Un état d'un système complexe est :

Décrit par les valeurs
des séries temporelles

Peut durer dans le
temps

Correspondent à des
intervalles de valeurs

Notre questionnement :

Comment **comprendre les états des séries temporelles multivariées d'un système complexe** ?

→ Comment détecter et comprendre leur évolution?

→ Comment représenter cette évolution de manière intelligible et explicable ?

Introduction : Contexte et motivation

Un état d'un système complexe est :

Décrit par les valeurs
des séries temporelles

Peut durer dans le
temps

Correspondent à des
intervalles de valeurs

Notre questionnement :

Comment **comprendre les états des séries temporelles multivariées d'un système complexe ?**

→ Comment détecter et comprendre leur évolution?

→ Comment représenter cette évolution de manière intelligible et explicable ?

H0 : A un instant t , les valeurs de la série temporelle représentent l'état du système.

Introduction : Contexte et motivation

Un état d'un système complexe est :

Décrit par les valeurs
des séries temporelles

Peut durer dans le
temps

Correspondent à des
intervalles de valeurs

Notre questionnement :

Comment **comprendre les états des séries temporelles multivariées d'un système complexe ?**

→ Comment détecter et comprendre leur évolution?

→ Comment représenter cette évolution de manière intelligible et explicable ?

H0 : A un instant t , les valeurs de la série temporelle représentent l'état du système.

H1: Les états du système sont caractérisable par **différentes métriques exploratoires**: vitesse, vélocité et accélération des valeurs au sein de l'état.

Introduction : Contexte et motivation

Un état d'un système complexe est :

Décrit par les valeurs des séries temporelles

Peut durer dans le temps

Correspondent à des intervalles de valeurs

Notre questionnement :

Comment **comprendre les états des séries temporelles multivariées d'un système complexe ?**

→ Comment détecter et comprendre leur évolution?

→ Comment représenter cette évolution de manière intelligible et explicable ?

H0 : A un instant t , les valeurs de la série temporelle représentent l'état du système.

H1: Les états du système sont caractérisable par **différentes métriques exploratoires**: vitesse, vélocité et accélération des valeurs au sein de l'état.

H2: Les états du système, font partie d'un FSA, pour lequel il existe des représentations visuelles efficaces.

Introduction : Contexte et motivation

Un état d'un système complexe est :

Décrit par les valeurs des séries temporelles

Peut durer dans le temps

Correspondent à des intervalles de valeurs

Notre questionnement :

Comment **comprendre les états des séries temporelles multivariées d'un système complexe** ?

→ Comment détecter et comprendre leur évolution?

→ Comment représenter cette évolution de manière intelligible et explicable ?

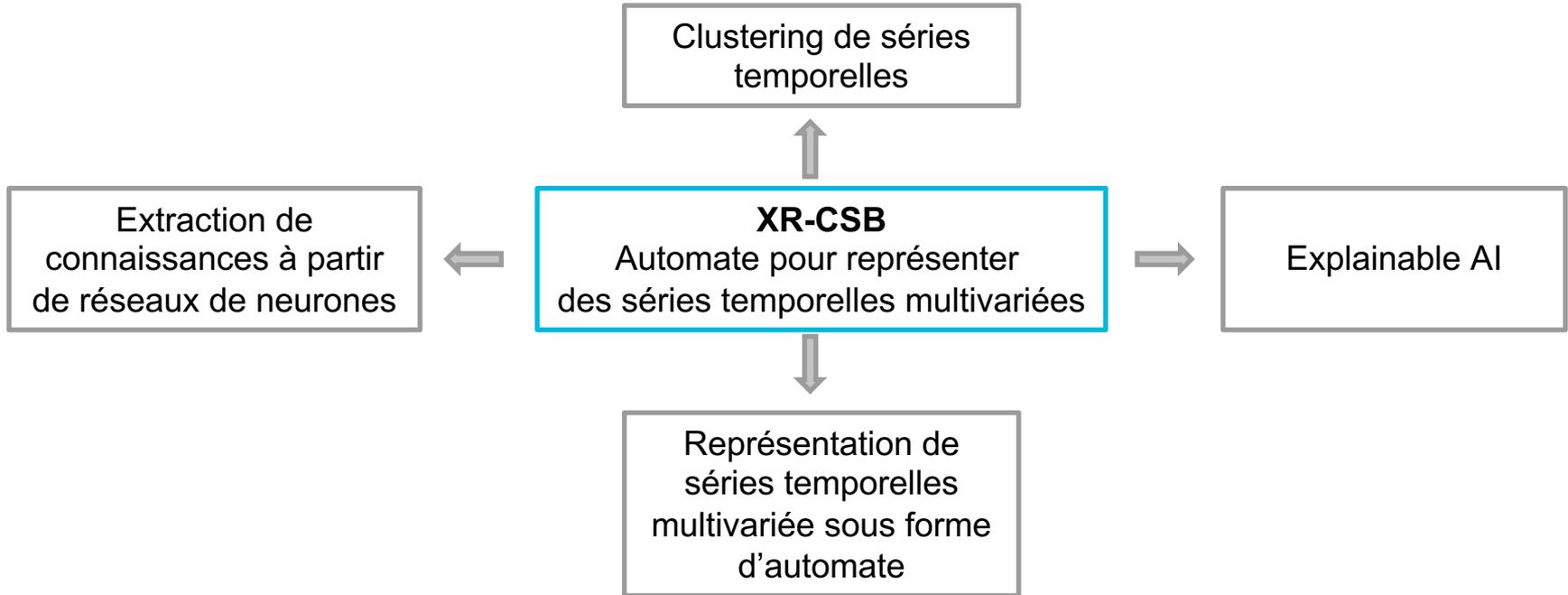
H0 : A un instant t , les valeurs de la série temporelle représentent l'état du système.

H1: Les états du système sont caractérisable par **différentes métriques exploratoires**: vitesse, vélocité et accélération des valeurs au sein de l'état.

H2: Les états du système, font partie d'un FSA, pour lequel il existe des représentations visuelles efficaces.

H3: Le FSA est une représentation synthétique, intelligible et compréhensible du comportement d'un système dans le temps.

Les domaines de recherche concernés



Méthodologie XR-CSB : EXplainable Representation of Complex System Behavior



IMT Atlantique
Bretagne-Pays de la Loire
École Mines-Télécom

XR-CSB : Explainable Representation of Complex System Behavior using automata
for multivariate times series – Chraïbi Kaadoud
1^{er} Juillet 2022 – APIA@PFIA 2022

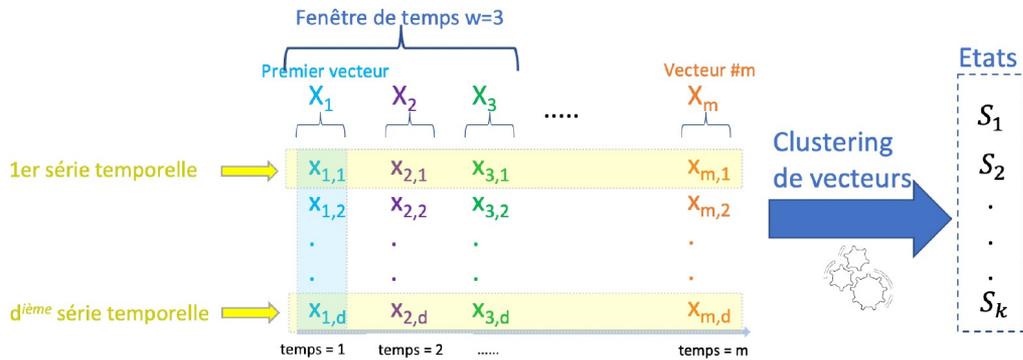
XR-CSB

Automate pour représenter des séries temporelles multivariées

XR-CSB

Automate pour représenter des séries temporelles multivariées

1) Extraction de connaissances:
Clustering vertical des séries temporelles afin de **détecter les états du système.**



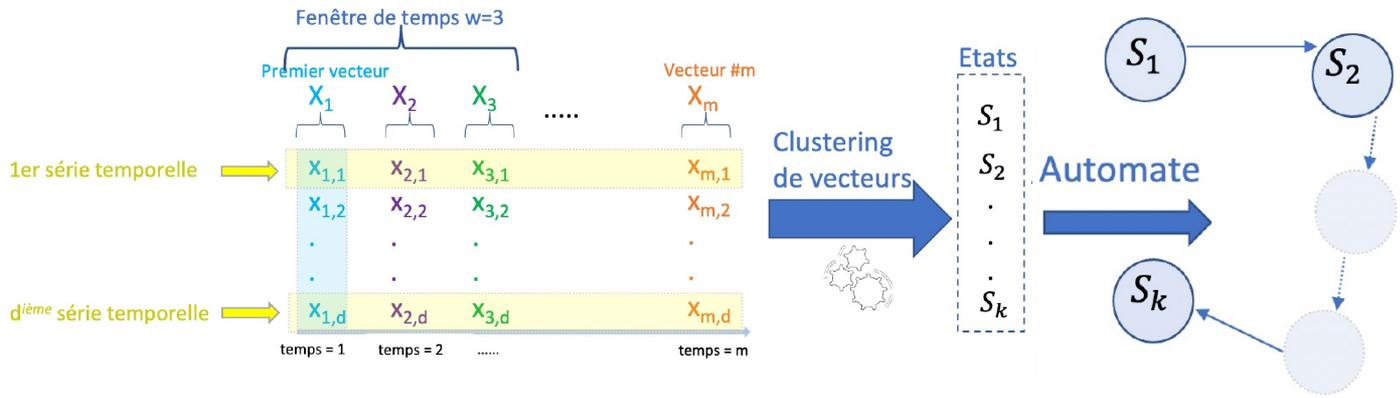
XR-CSB

Automate pour représenter des séries temporelles multivariées

1) Extraction de connaissances:
Clustering vertical des séries temporelles afin de **détecter les états du système.**



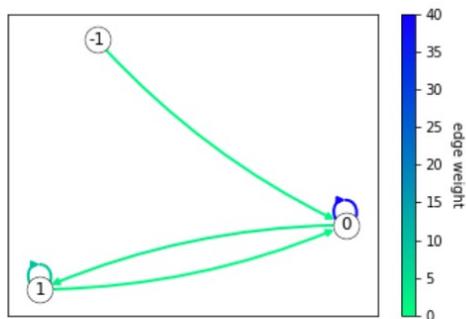
2) Représentation explicable de la connaissance:
Génération d'automate représentant le comportement de système complexe



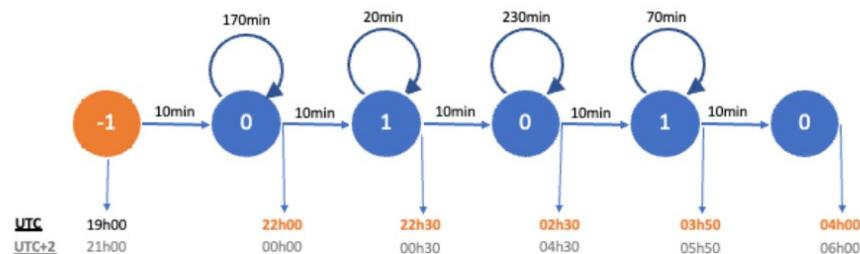
Algorithme de génération en annexe

Méthodologie XR-CSB: 4 propositions de représentation explicable

1 série temporelle
 $k=2$
 date : 19/04/2019
 Durée : 8h



(a)



(b)

XR-CSB

Automate pour représenter des séries temporelles multivariées

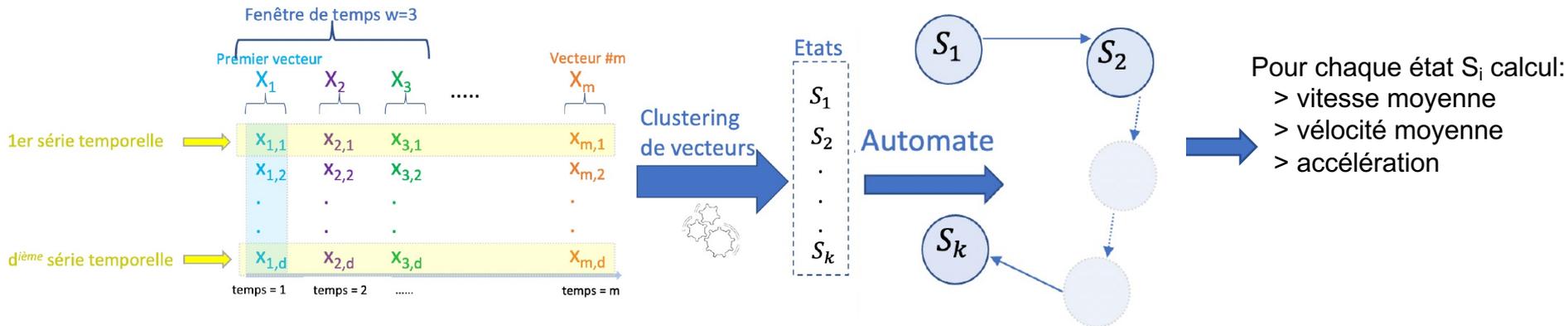
1) Extraction de connaissances:
Clustering vertical des séries temporelles afin de **détecter les états du système.**



2) Représentation explicable de la connaissance:
Génération d'automate représentant le comportement de système complexe



3) Pre-modeling explainability:
 Calcul de métriques pour caractériser les états des automates.



Algorithme de génération en annexe

Méthodologie XR-CSB: Automate enrichie

Hypothèse 1 : Il est possible de caractériser les états d'un automate pour expliquer l'évolution du système

Soit $W \in [t_{\text{start}}, t_{\text{end}}]$, la fenêtre de temps sur laquelle le système doit être expliqué.

Pour chaque état $S(t_{\text{start}}, t_{\text{end}})$ de l'automate extrait, calcul de **métriques explicatives** pour enrichir cet automate

- **la vitesse moyenne Sp** : Correspond à la valeur moyenne des vitesses de variation des valeurs entre les temps t et $t - 1$.

$$Sp = \left(\sum \frac{\text{Valeur_capteur}}{\text{temps_en_min}} \right) / \text{Nombre_Sp}$$

- **la vitesse moyenne Vl** : Correspond à la valeur moyenne des vitesses calculées pour chaque vitesse. Cette métrique représente la vitesse moyenne des valeurs ainsi que son sens d'évolution (c'est-à-dire la dynamique de l'évolution des valeurs) pour l'état considéré S_i .

$$Vl = \left(\sum \frac{\text{Valeur_capteur}_{t-1} - \text{Valeur_capteur}_t}{\text{temps_en_min}_{t-1} - \text{temps_en_min}_t} \right) / \text{Nombre_Vl}$$

- **l'accélération moyenne Ac** : correspond à la valeur moyenne des accélérations. Cette métrique représente la rapidité de changement de vitesse Sp des valeurs des états en évolution sur une période w donnée.

$$Ac = \left(\sum \frac{Sp_{t-1} - Sp_t}{\text{temps_en_min}_{t-1} - \text{temps_en_min}_t} \right) / \text{Nombre_Ac}$$

Notons que si **un état S_i se produit X fois** dans une fenêtre W , alors **les métriques explicatives seront calculées à chaque fois** en utilisant les vecteurs liés à cet état pendant cette fenêtre temporelle, indépendamment de la durée de l'état.

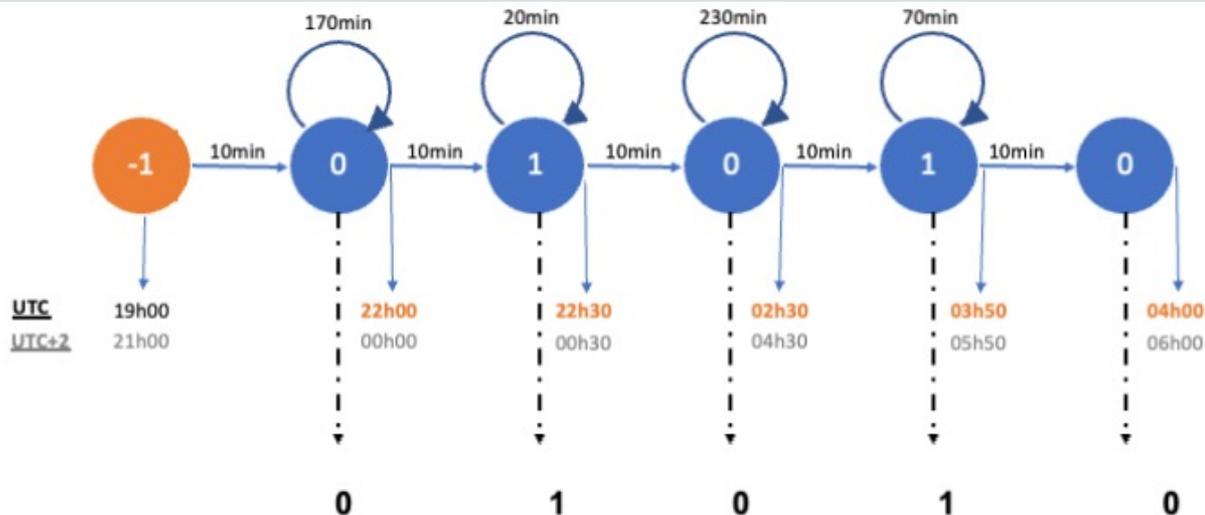
Méthodologie XR-CSB: 4 propositions de représentation explicable

1 série temporelle

$k=2$

date : 19/04/2019

Durée : 8h



Number of records	18	3	24	8	1
Average speed	-3.905089e-04	0.001163	/	0.010555	0.000101
Average Velocity	8.657702e-04	0.007734	0.001904	-0.009200	/
Average acceleration	8.174802e-07	0.000005	/	-0.000101	/

Evaluation de la méthodologie XR-CSB: Scalabilité Evaluation Qualitative

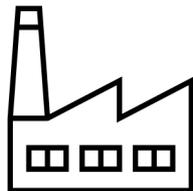


IMT Atlantique
Bretagne-Pays de la Loire
École Mines-Télécom

XR-CSB : Explainable Representation of Complex System Behavior using automata
for multivariate times series – Chraïbi Kaadoud
1^{er} Juillet 2022 – APIA@PFIA 2022

Rappel du contexte

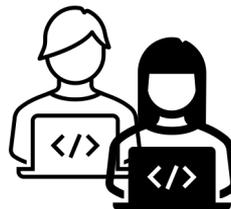
Une centrale thermique est considérée comme **un système complexe** composée d'équipements, chacun **relié à plusieurs capteurs** qui renvoient une valeur à des périodes données.



Contexte métier : Centrale thermique

- 8 équipements différents
- 377 capteurs aux **unités variables** et aux **plages de valeurs différentes** réparties de manière hétérogène par équipement

Notre cas d'étude : un équipement de 92 capteurs

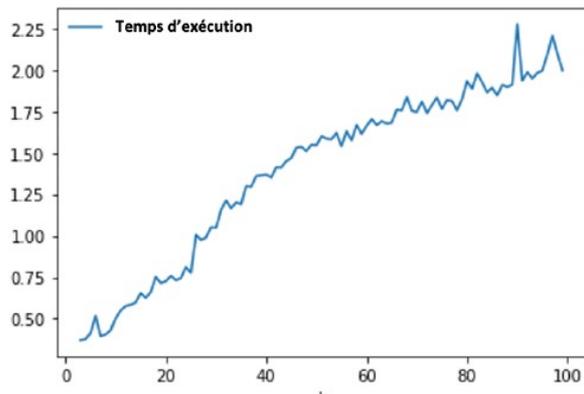


Notre partenaire : Editeur de logiciel

- 377 séries temporelles multivariées non étiquetées, au comportement **chaotique** (i.e. irrégulier) et a priori **non déterministe**
- Pour chaque série temporelle : relevé toutes les 10min
- Période de 4 ans

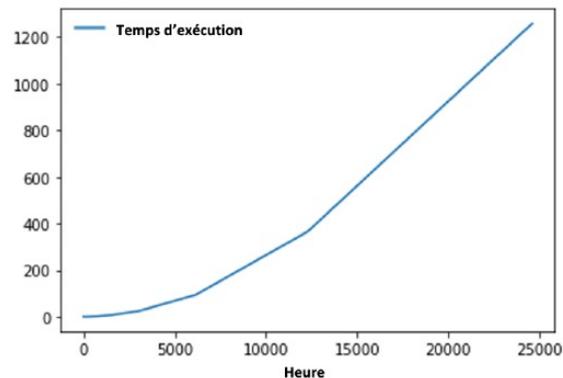
Méthodologie XR-CSB: Evaluation de la scalabilité

seconde



Temps d'exécution en fonction du nombre de clusters k : Analyse de 92 capteurs sur 24 heures, soit 144 enregistrements, pour k dans $\{3, \dots, 100\}$.

seconde



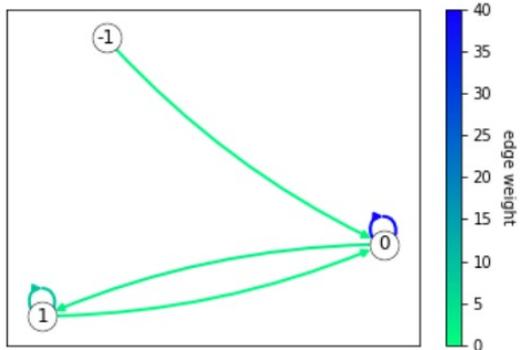
Temps d'exécution en fonction de la longueur de la fenêtre de temps W : Analyse de 92 capteurs, pour $k = 7$ et heures h dans $\{8, 16, 24, 48, 96, 192, 384, 768, 1,536, 3,072, 6,144, 12,288, 24,576\}$.

Time in hours h	Analyzed data time range	Number of timestamps	Execution time (seconds)
8		48	0.874505
16		96	0.56215
24	1 day	144	0.559607
48	2 days	288	0.594838
96	4 days	576	0.682949
192	8 days	1,152	0.854508
384	16 days	2,304	1.479854
768	32 days \approx 1 month	4,608	2.799857
1,536	2 months	9,216	8.098831
3,072	4 months	18,432	25.656004
6,144	8 months	36,864	94.151837
12,288	1 year and 5 months	73,728	365.858742
24,576	2 years and 10 months	137,156	1,258.109447

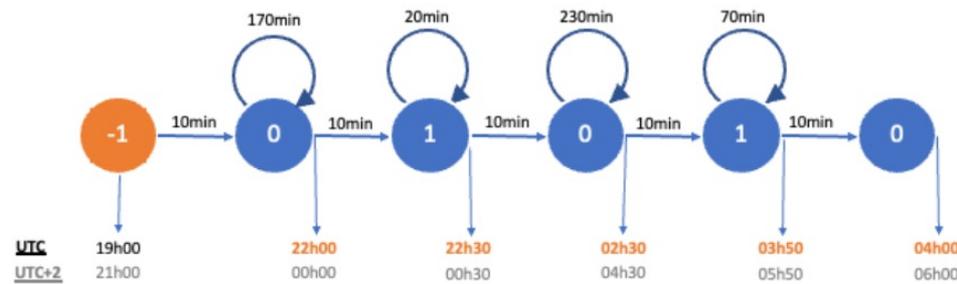
Résultats: Augmentation du temps d'exécution presque linéaire pour des valeurs croissantes de k et de w :

- $k < 40$, temps d'exécution = 1,25 secondes.
- $k = 100$, le temps d'exécution = 1.99736 secondes.
- $k = 7$, $W \approx 2$ ans de données, temps d'exécution = 1258.109447 secondes (≈ 20 minutes)

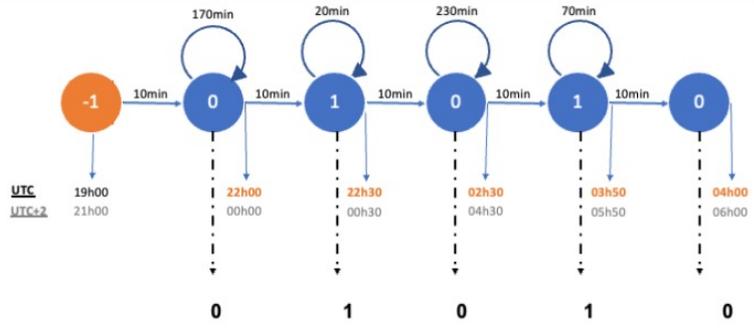
Méthodologie XR-CSB: Evaluation qualitative



(a)



(b)



Number of records	18	3	24	8	1
Average speed	-3.905089e-04	0.001163	/	0.010555	0.000101
Average Velocity	8.657702e-04	0.007734	0.001904	-0.009200	/
Average acceleration	8.174802e-07	0.000005	/	-0.000101	/

(c)



(d)

Evaluation qualitative

Rappel objectif : Evaluer plusieurs représentations visant à expliquer le comportement dans le temps de capteurs individuels puis d'un équipement composé de plusieurs capteurs

Questionnaire structuré en quatre parties principales:

- Les trois premières portent sur trois études de cas

Cas d'utilisation (A) : Analyse d'un capteur C1 dont l'unité physique est t/h

(1) lorsque celui-ci présente un comportement monotone : courbe plate,

(2) lorsqu'il présente un comportement dynamique puisque la courbe varie

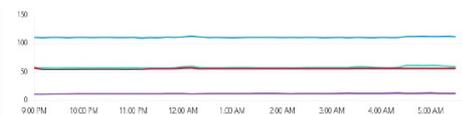
Cas d'utilisation (B) : Analyse des 92 capteurs de l'équipement B

- La dernière sur le profil de l'expert du domaine

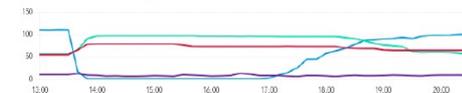
Chaque partie comprend plusieurs questions à choix multiples.

Objectif brièvement défini et données métiers spécifié : Capteur et équipement explicité

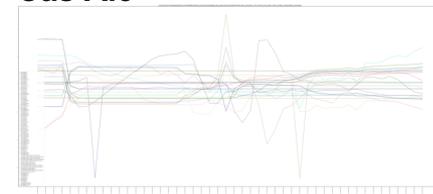
Cas A.1



Cas A.2



Cas A.3



Evaluation qualitative

Rappel objectif : Evaluer plusieurs représentations visant à expliquer le comportement dans le temps de capteurs individuels puis d'un équipement composé de plusieurs capteurs

Questionnaire structuré en quatre parties principales:

- Les trois premières portent sur trois études de cas

Cas d'utilisation (A) : Analyse d'un capteur C1 dont l'unité physique est t/h

(1) lorsque celui-ci présente un comportement monotone : courbe plate,

(2) lorsqu'il présente un comportement dynamique puisque la courbe varie

Cas d'utilisation (B) : Analyse des 92 capteurs de l'équipement B

- La dernière sur le profil de l'expert du domaine

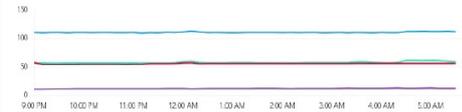
Chaque partie comprend plusieurs questions à choix multiples.

Objectif brièvement défini et données métiers spécifié : Capteur et équipement explicité

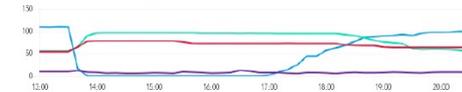
Pour éviter l'introduction de biais

- L'objectif du travail réalisé n'a pas été communiqué dans le questionnaire
- Seul les résultats (représentations) ont été communiqué pour évaluer l'acceptabilité et le caractère explicatif
- L'implication d'un collaborateur interne n'a pas été explicité

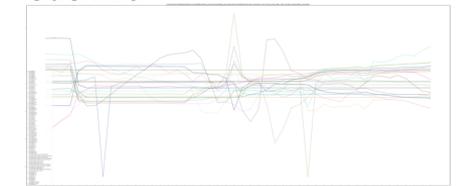
Cas A.1



Cas A.2



Cas A.3



Evaluation qualitative

Rappel objectif : Evaluer plusieurs représentations visant à expliquer le comportement dans le temps de capteurs individuels puis d'un équipement composé de plusieurs capteurs

Profil des répondants de l'échantillon

Six personnes ont répondu à notre questionnaire:

3 travaillent sur des systèmes complexes depuis moins d'un an,

1 d'entre elles entre 1 et 2 ans

2 depuis plus de 5 ans

Remarque :

100% utilisent des représentations visuelles (i.e. tout modèle de présentation graphique de l'information) aux quotidiens

Evaluation qualitative

Rappel objectif : Evaluer plusieurs représentations visant à expliquer le comportement dans le temps de capteurs individuels puis d'un équipement composé de plusieurs capteurs

Profil des répondants de l'échantillon

Six personnes ont répondu à notre questionnaire:

3 travaillent sur des systèmes complexes depuis moins d'un an,

1 d'entre elles entre 1 et 2 ans

2 depuis plus de 5 ans

Profil professionnel

Parmi les répondants, tous un profil technique et travaillent régulièrement dans l'analyse des systèmes:

4 data scientist (66,7%) / 1 ingénieur Machine Learning(16,5%) / 1 responsable (16,5%) .

Remarque :

100% utilisent des représentations visuelles (i.e. tout modèle de présentation graphique de l'information) aux quotidiens

Evaluation qualitative

Rappel objectif : Evaluer plusieurs représentations visant à expliquer le comportement dans le temps de capteurs individuels puis d'un équipement composé de plusieurs capteurs

Profil des répondants de l'échantillon

Six personnes ont répondu à notre questionnaire:

- 3 travaillent sur des systèmes complexes depuis moins d'un an,
- 1 d'entre elles entre 1 et 2 ans
- 2 depuis plus de 5 ans

Profil professionnel

Parmi les répondants, tous un profil technique et travaillent régulièrement dans l'analyse des systèmes:

4 data scientist (66,7%) / 1 ingénieur Machine Learning(16,5%) / 1 responsable (16,5%) .

Confiance en l'IA: 100% font confiance aux résultats **uniquement en fonction des enjeux**

Remarque :

100% utilisent des représentations visuelles (i.e. tout modèle de présentation graphique de l'information) aux quotidiens

Evaluation qualitative

Rappel objectif : Evaluer plusieurs représentations visant à expliquer le comportement dans le temps de capteurs individuels puis d'un équipement composé de plusieurs capteurs

Profil des répondants de l'échantillon

Six personnes ont répondu à notre questionnaire:
3 travaillent sur des systèmes complexes depuis moins d'un an,
1 d'entre elles entre 1 et 2 ans
2 depuis plus de 5 ans

Profil professionnel

Parmi les répondants, tous un profil technique et travaillent régulièrement dans l'analyse des systèmes:
4 data scientist (66,7%) / 1 ingénieur Machine Learning(16,5%) / 1 responsable (16,5%) .

Confiance en l'IA: 100% font confiance aux résultats **uniquement en fonction des enjeux**

Explications souhaitées:

66,7% : Explications multi-modales
16,7% : Explications visuelles

Remarque :

100% utilisent des représentations visuelles (i.e.. tout modèle de présentation graphique de l'information) aux quotidiens

Remarque :

0 % : Explications uniquement textuelles ou tabulaires.
16,7% : Seul les résultats comptent

Evaluation qualitative

Rappel objectif : Evaluer plusieurs représentations visant à expliquer le comportement dans le temps de capteurs individuels puis d'un équipement composé de plusieurs capteurs

Profil des répondants de l'échantillon

Six personnes ont répondu à notre questionnaire:
3 travaillent sur des systèmes complexes depuis moins d'un an,
1 d'entre elles entre 1 et 2 ans
2 depuis plus de 5 ans

Profil professionnel

Parmi les répondants, tous un profil technique et travaillent régulièrement dans l'analyse des systèmes:
4 data scientist (66,7%) / 1 ingénieur Machine Learning(16,5%) / 1 responsable (16,5%) .

Confiance en l'IA: 100% font confiance aux résultats **uniquement en fonction des enjeux**

Explications souhaitées:

66,7% : Explications multi-modales
16,7% : Explications visuelles

Expérience professionnelle dans le comportement des systèmes complexes:

33,3% ont répondu "occasionnellement" (50% des projets),
50% ont répondu "parfois" (60% des projets)
16,7% ont répondu "régulièrement" (70% des projets).

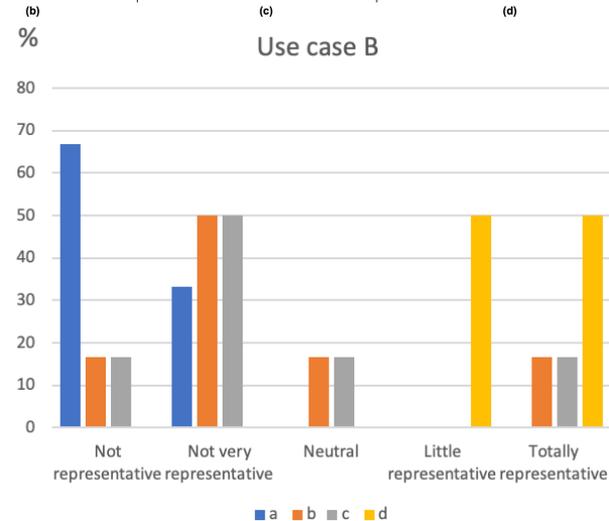
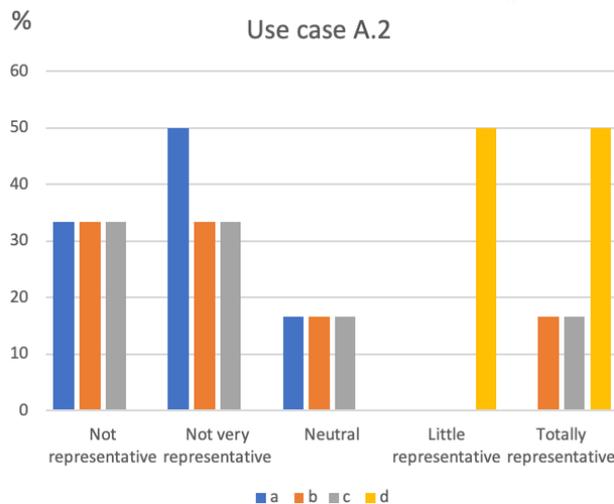
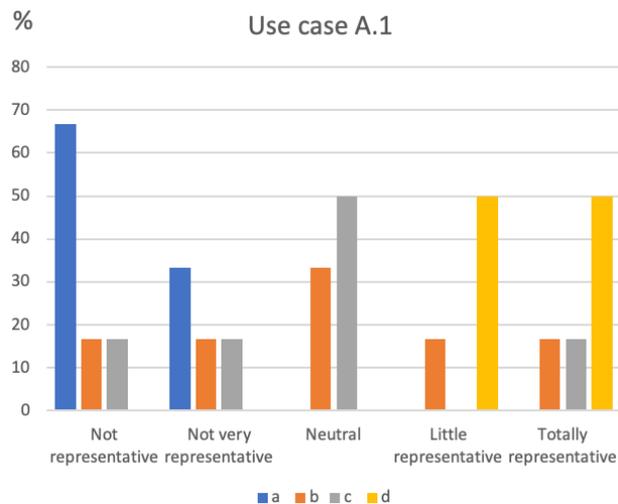
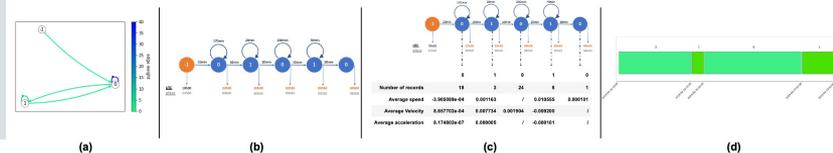
Remarque :

100% utilisent des représentations visuelles (ie. tout modèle de présentation graphique de l'information) aux quotidiens

Remarque :

0 % : Explications uniquement textuelles ou tabulaires.
16,7% : Seul les résultats comptent

Résultats



Évaluation de l'explicabilité de chaque représentation pour chaque cas d'utilisation. Les valeurs sont des pourcentages

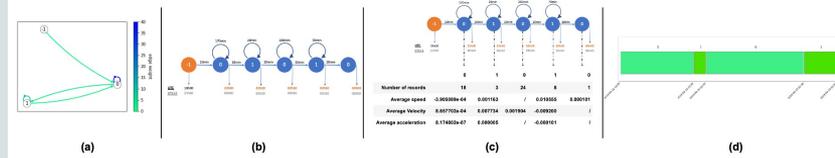
Résultat de l'Évaluation du pouvoir explicatif des représentations :

- les représentations (b), (c) et (d) sont considérées comme "faiblement représentatives" ou "totalement représentatives".
- La représentation (a) n'a pas convaincu les experts interrogés.
- **la représentation (d) est la plus intéressante pour les experts à 83,3%.**

Le rôle des métriques exploratoires : pas de rejet mais pas d'adoption majeure.

Un seul participant (16,7%) a commenté le caractère "intéressant" de ces métriques.

Résultats



Commentaires intéressants :

- Préconisation d'une fusion des représentations (b) et (d).
- les représentations (b) et (d) sont « agréables et intéressantes car les états sont identifiables ainsi que les distributions temporelles ».
- La représentation (c) est « intéressante mais limitée en termes d'explicabilité du comportement ».

Retour sur les seuils d'intelligibilité en terme :

- nombre de nœuds pour un automate déplié intelligible : 6 à 10 nœuds
- nombre de capteurs au delà desquels l'analyse d'un système complexe devient inintelligible : 10 à 15 capteurs

Retour intéressant : le profil technique **qui a le plus d'expérience (plus de 5 ans) recommande 6 nœuds** pour un graphe déplié et une **analyse entre 10 et 15 capteurs**.

Discussion :

- Choix des métriques et la création des représentations guidée par les données (approche data science) et non par le public
- Implication des experts en fin de processus sans aucun besoin explicite d'explicabilité de leur part
 → Or le public cible doit être inclus dans les phases en amont et dans la vie du projet XAI, **(travaux en cours de publication)**
- Les experts n'ont aucune connaissance du contexte et de l'objectif du travail réalisé.

Conclusion



IMT Atlantique
Bretagne-Pays de la Loire
École Mines-Télécom

XR-CSB : Explainable Representation of Complex System Behavior using automata
for multivariate times series – Chraïbi Kaadoud
1^{er} Juillet 2022 – APIA@PFIA 2022

Conclusion

XR-CSB, méthodologie basé sur le **clustering vertical et la génération d'automates** dépliés pour décrire et comprendre le comportement d'un système complexe dans le temps.

Conclusion

XR-CSB, méthodologie basé sur le **clustering vertical et la génération d'automates** dépliés pour décrire et comprendre le comportement d'un système complexe dans le temps.

XR-CSB aide a représenter le comportement du système

- qu'il soit **simple** (une série temporelle) ou **complexe** (une centaine de séries temporelles),
- sur de **courtes** ou **longues** fenêtres de temps,
- que le comportement soit ponctuel (un pas de temps), ou répétés.

Conclusion

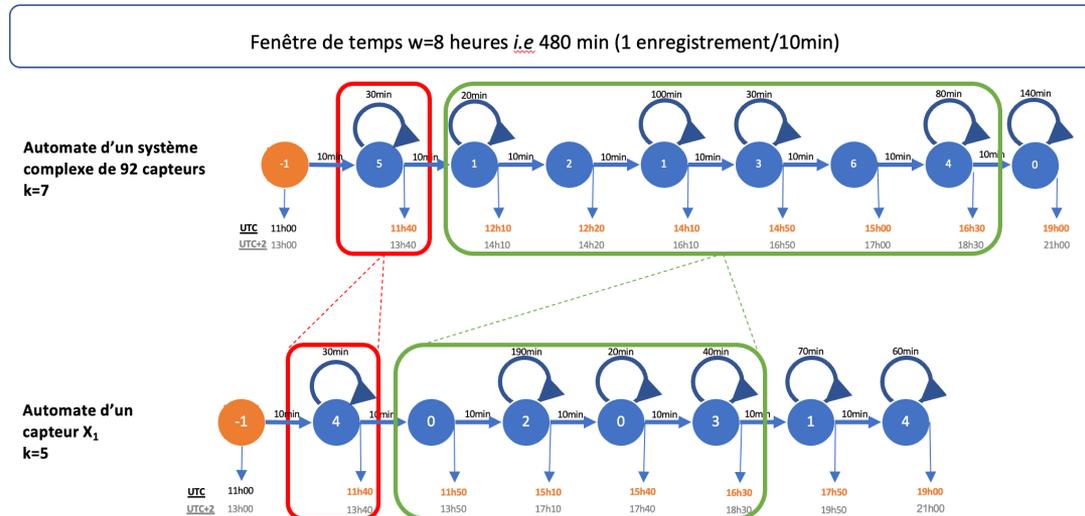
XR-CSB, méthodologie basé sur le **clustering vertical et la génération d'automates dépliés** pour décrire et comprendre le comportement d'un système complexe dans le temps.

XR-CSB aide a représenter le comportement du système

- qu'il soit **simple** (une série temporelle) ou **complexe** (une centaine de séries temporelles),
- sur de **courtes** ou **longues** fenêtres de temps,
- que le comportement soit ponctuel (un pas de temps), ou répétés.

Travaux en cours de publication :

- Evaluation de l'acceptabilité des représentations selon le niveau d'expertise (**Soumis à KDIR 2022**)
- Extraction de connaissances hiérarchique à partir de données hétérogènes (labellisation des clusters à partir de rapport PDF) (**En cours de rédaction**)





IMT Atlantique
Bretagne-Pays de la Loire
École Mines-Télécom

APIA @ PFIA 2022

Merci pour votre attention!

Questions ?

« XR-CSB: EXplainable Representation of Complex System Behavior using automata for multivariate times series »

[Ikram Chraibi Kaadoud](#), Lina Fahed, Tian Tian, Yannis Haralambous et Philippe Lenca

ikram.chraibi-kaadoud@imt-atlantique.fr

Twitter: [@IkramChraibiK](https://twitter.com/IkramChraibiK)

Annexes

Algorithme de génération d'automates

Temps	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4
P	0	1	2	3	4
C	0	1	2	2	0

P = Pattern

C = Cluster

Temps	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4
P	0	1	2	3	4
C	0	1	2	2	0

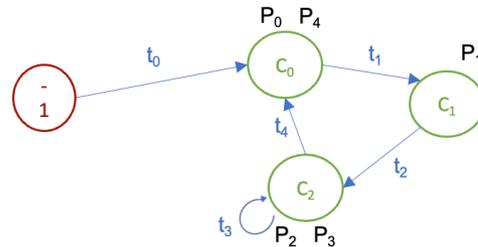
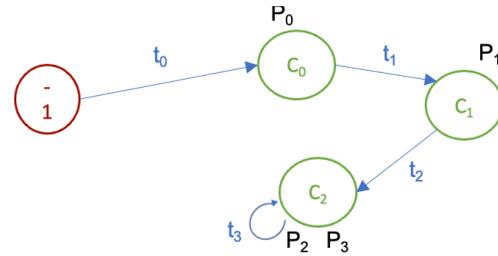
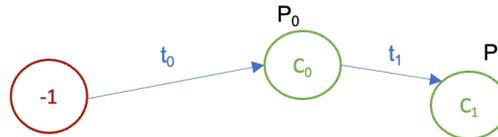
P = Pattern

C = Cluster

Temps	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4
P	0	1	2	3	4
C	0	1	2	2	0

P = Pattern

C = Cluster



Résultat : un automate à état finis

Temps	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4
Symbole	a	b	c	d	e
P	0	1	2	3	4
C	0	1	2	2	0

P = Pattern

C = Cluster

