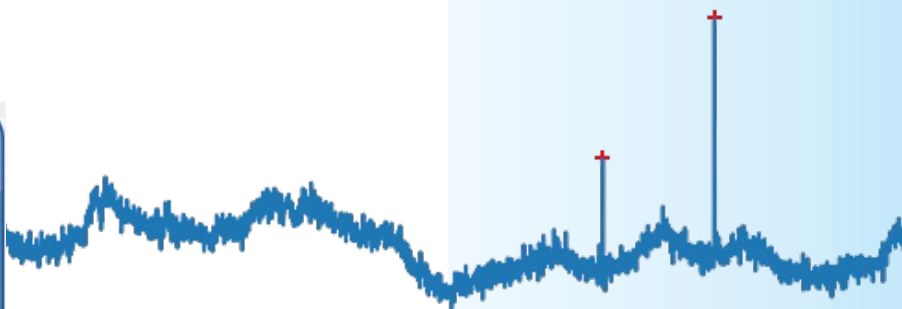




A HYBRID AI-WAVELET MODEL FOR DETECTING SINGULARITIES

*ASNR/PSE-ENV/STAAR/LRTA & ASNR/PSE-ENV/SIRSE/ LTD
Kathleen Pelé, Romain Vidal, Loïc Valéry et Erwan Manach
NERIS Workshop - 30 avril 2026*

CONTEXT: MONITORING OF ASNR DATA AND OPERATORS

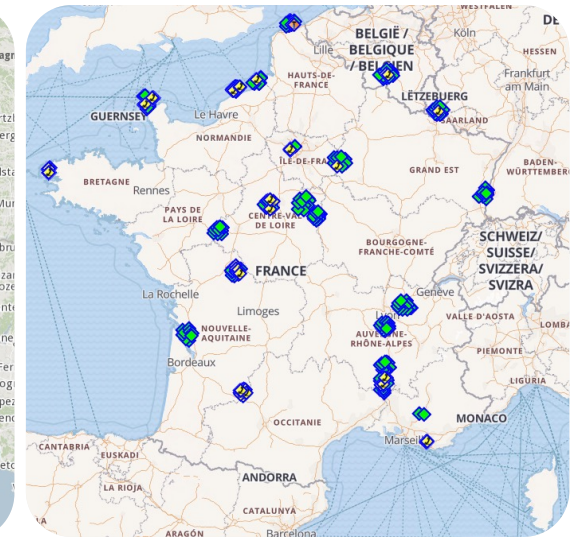
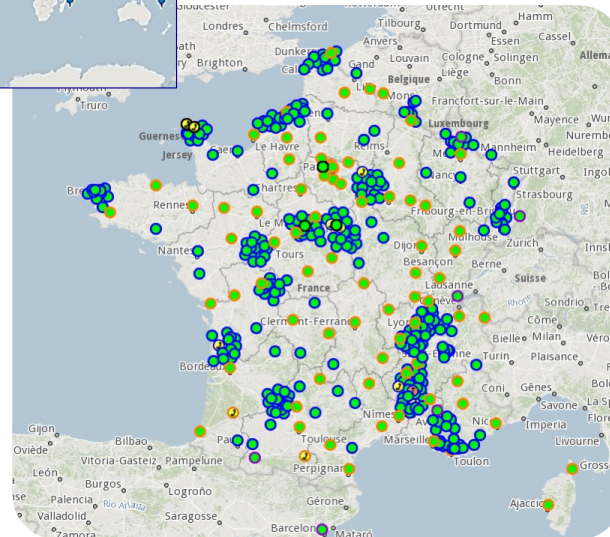


481 beacons ASNR

526 operators beacons

Current context :

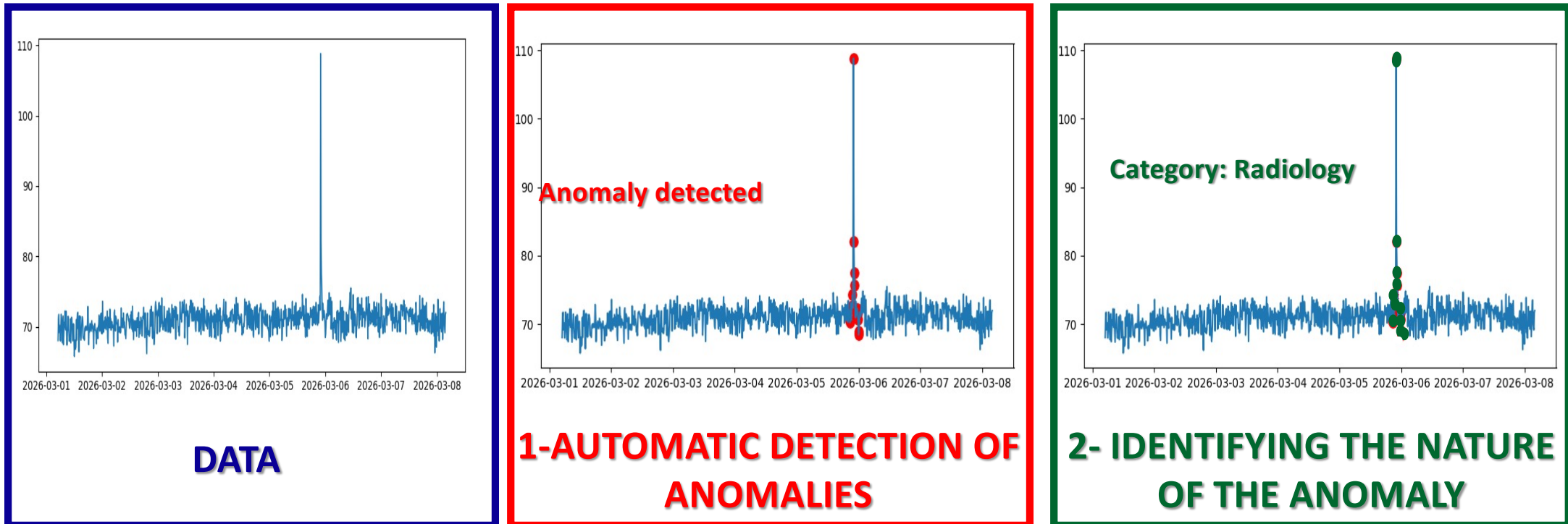
- Current detection uses a threshold-based approach: a 7-day moving average of the signal upper and lower threshold values defined by experts
- **Constraints :**
 - Permanent standby across the entire network
 - Alarms not detected below the thresholds



Objective :

To develop an automated detection and classification tool using signal processing and data science methods

GENERAL PRINCIPLE OF THE METHOD

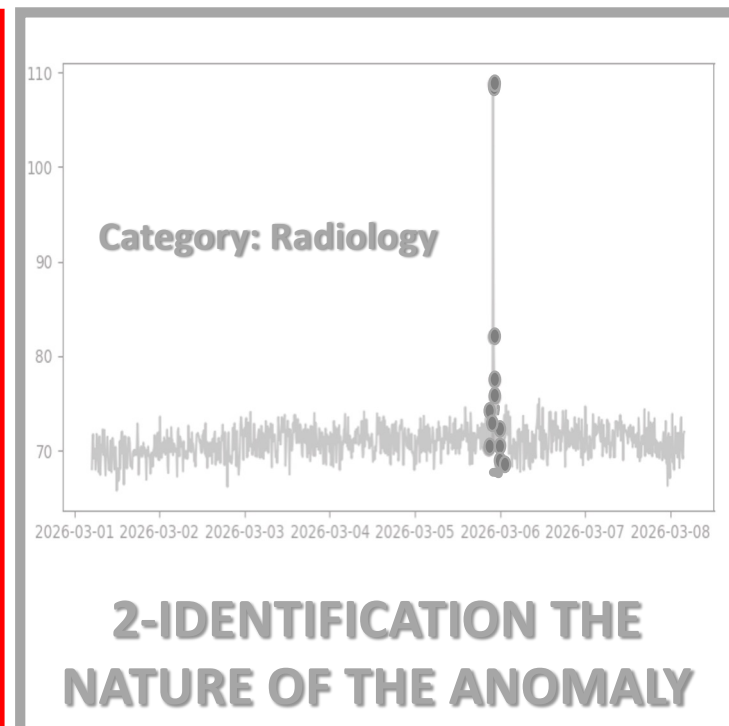
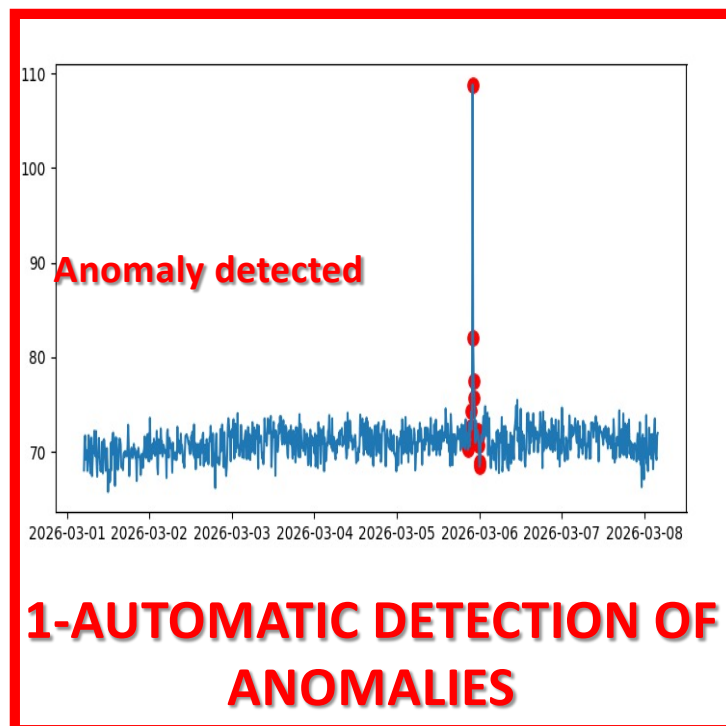
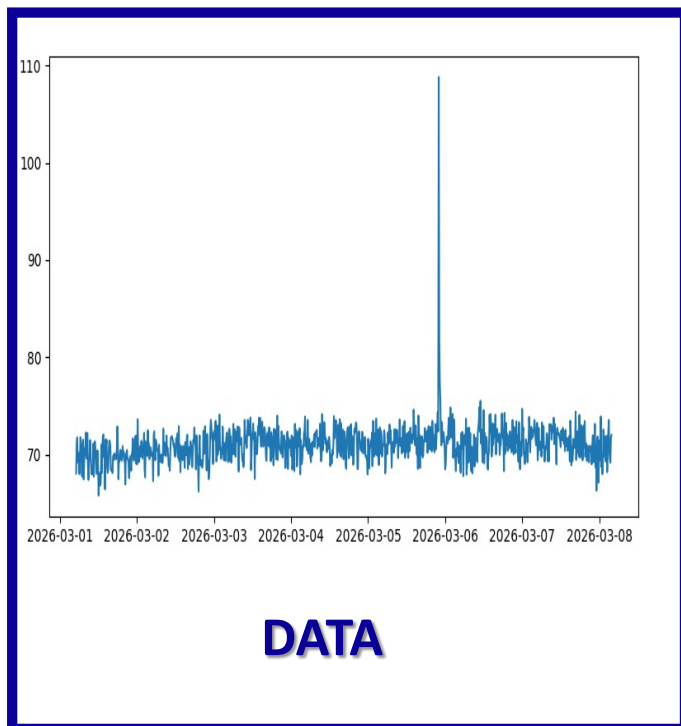


TOOLS USED

- SIGNAL PROCESSING : Filtering, Mexhat and Morlet wavelet coefficients
- DATA SCIENCE : Kohonen network, hierarchical ascending classification, calculation of probability distributions

1-ANOMALY DETECTION

GENERAL PRINCIPLE OF THE METHOD



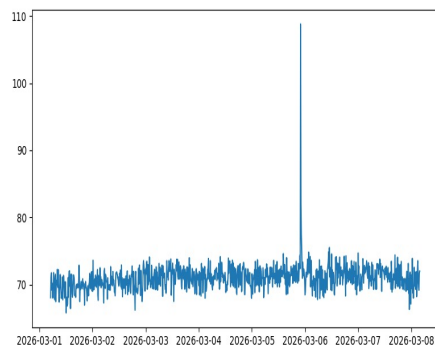
TOOLS USED

- SIGNAL PROCESSING : Filtering, Mexhat and Morlet wavelet coefficients
- DATA SCIENCE : Kohonen network, hierarchical ascending classification, calculation of probability distributions

1-ANOMALY DETECTION: GENERAL PRINCIPLE

The data

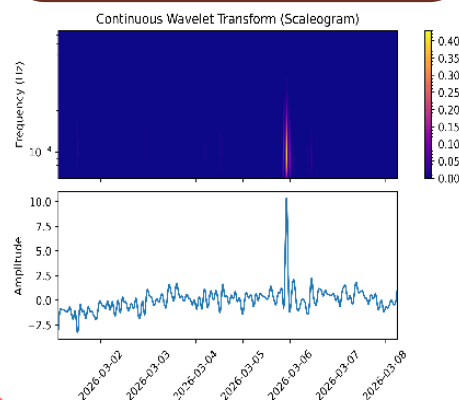
Historical data
Beacon 1054
2017-2020



Raw series

Signal processing

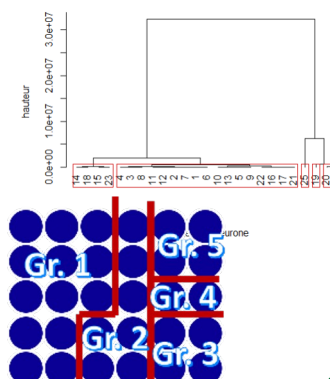
Filtering + Calculation
of wavelet
coefficients **Mexhat**
PERIOD : 22MIN-4H



Wavelet coefficient
matrix

IA model (learning)

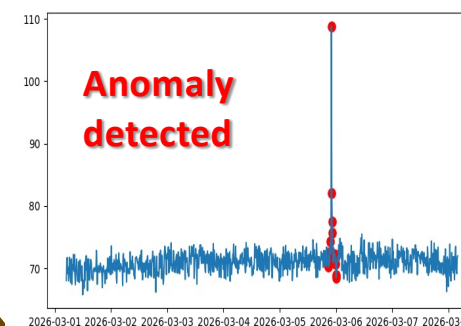
CAH
+
Kohonen



Identification card for
coefficients

Identification

Detection of anomalies
based on the reference
map



Labeled series

Date	Values (Bq/kg)
------	----------------

Date	Freq. 1	Freq. 2
------	---------	---------

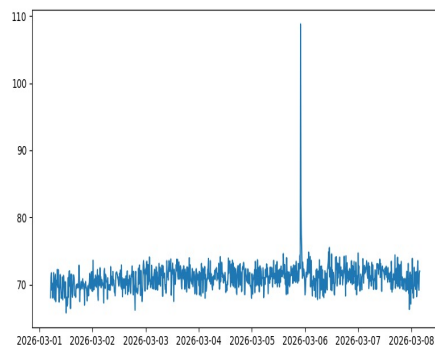
Date	Freq. 1	Freq. 2	Num. group
------	---------	---------	------------

Date	Freq. 1	Freq. 2	Num. groupe	Alarm
------	---------	---------	-------------	-------

1-ANOMALY DETECTION: GENERAL IN OPERATION

The data

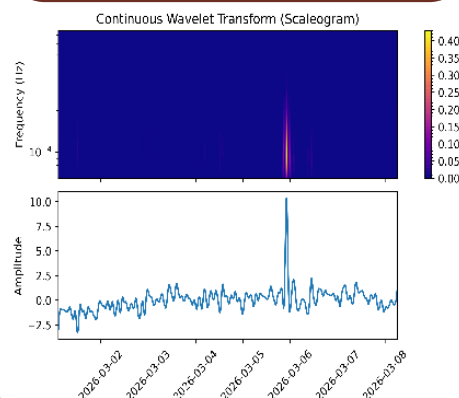
One-week time series
for any beacon



Raw serie

Signal processing

Filtering + Calculation
of wavelet
coefficients **Mexhat**
PERIOD : 22MIN-4H

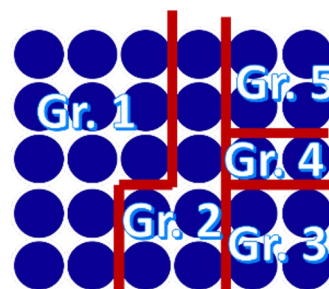


Wavelet coefficient
matrix

Date	Values (Bq/kg)
------	----------------

IA model (reference)

REFERENCE MAP :
CAH + Kohonen

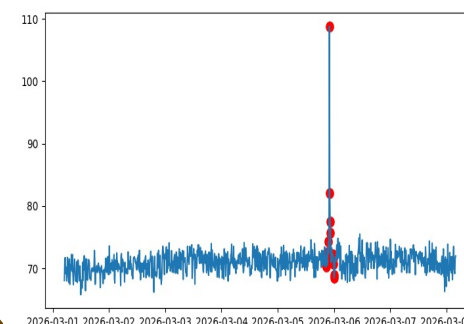


Identification card for
coefficients

Date	Freq. 1	Freq. 2	Num. groupe
------	---------	---------	-------------

Identification

Detection of anomalies
based on the reference
map

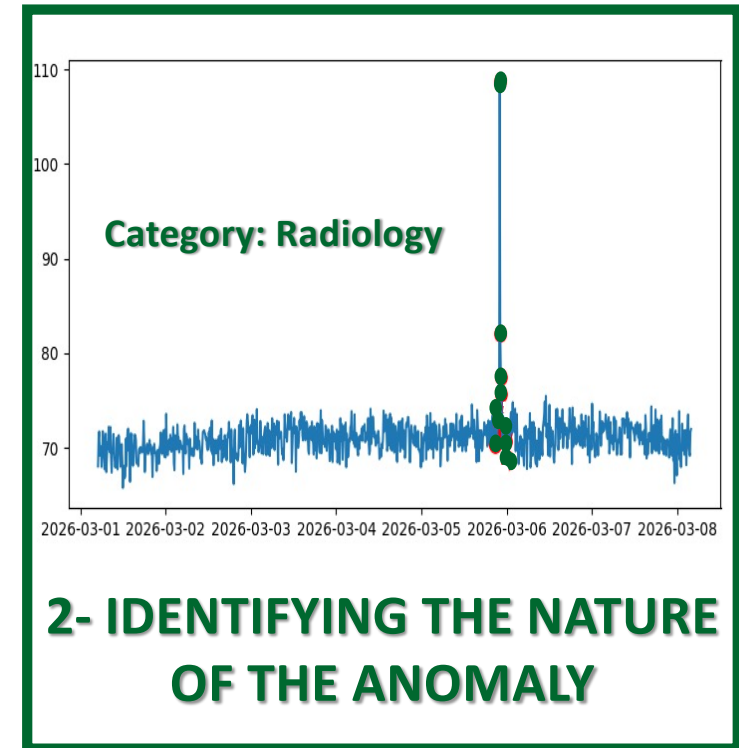
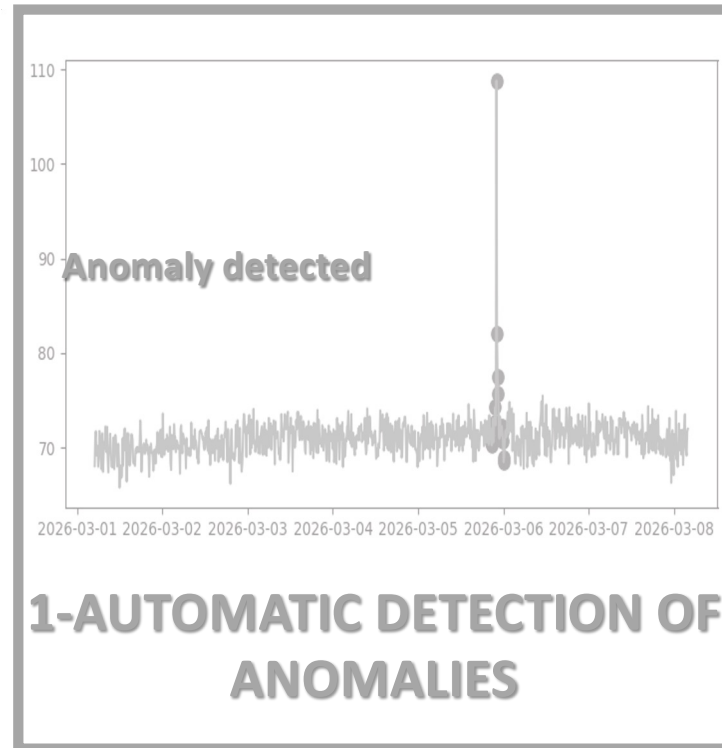
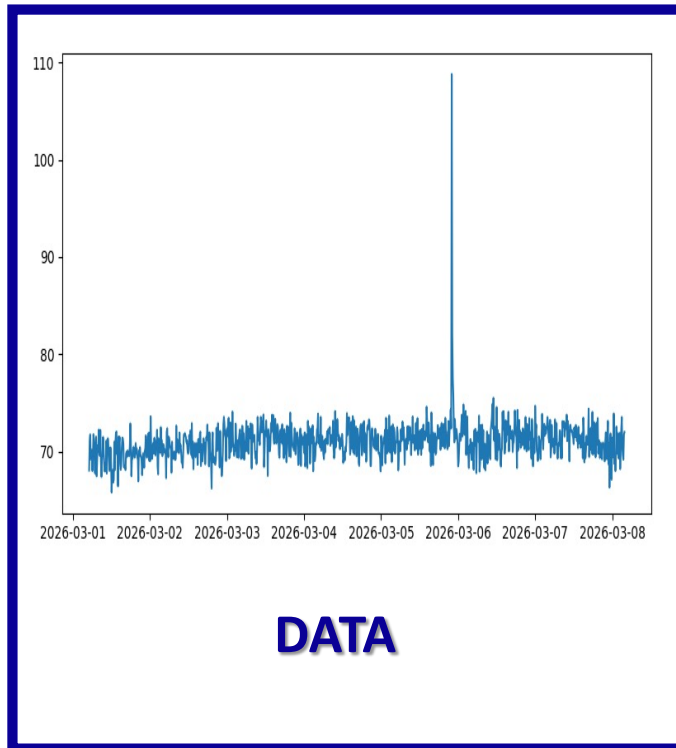


Labeled series

Date	Freq. 1	Freq. 2	Num. groupe	Alarm
------	---------	---------	-------------	-------

2- IDENTIFYING THE NATURE OF THE ANOMALY

GENERAL PRINCIPLE OF THE METHOD



TOOLS USED

- SIGNAL PROCESSING : Filtering, Mexhat and Morlet wavelet coefficients
- DATA SCIENCE : Kohonen network, hierarchical ascending classification, calculation of probability distributions

2- IDENTIFYING THE NATURE OF THE ANOMALY: GENERAL PRINCIPLE

Data labelled by the LTD

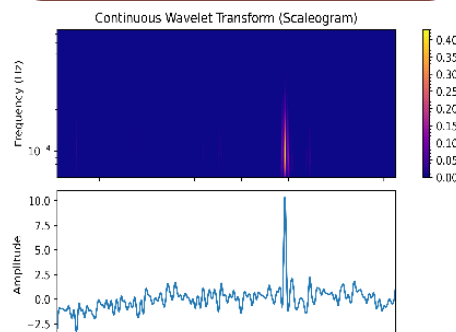
Beacons 1054 et 1199
on 2017-2020

- 352 'radiological meteorological' events
- 104 'radiological atmospheric' events
- 65 'failures'

Raw event

Signal processing

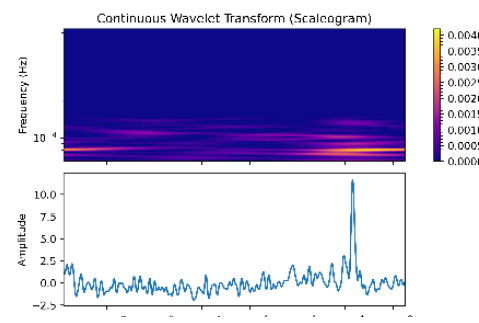
Calculation of wavelet coefficients **Mexhat**
PERIOD : 22MIN-4H



Maximum duration of the anomaly

Signal processing

Calculation of wavelet coefficients **Morlet**
PERIOD : 22MIN-4H

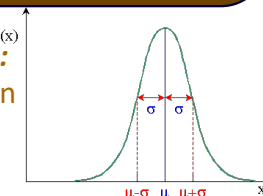


Frequency range of the anomaly

Formulation of probability laws

Creation of three normal distributions characteristic of each type of event

Radio Meteo :
Moy = 188 min
Std = 91 min

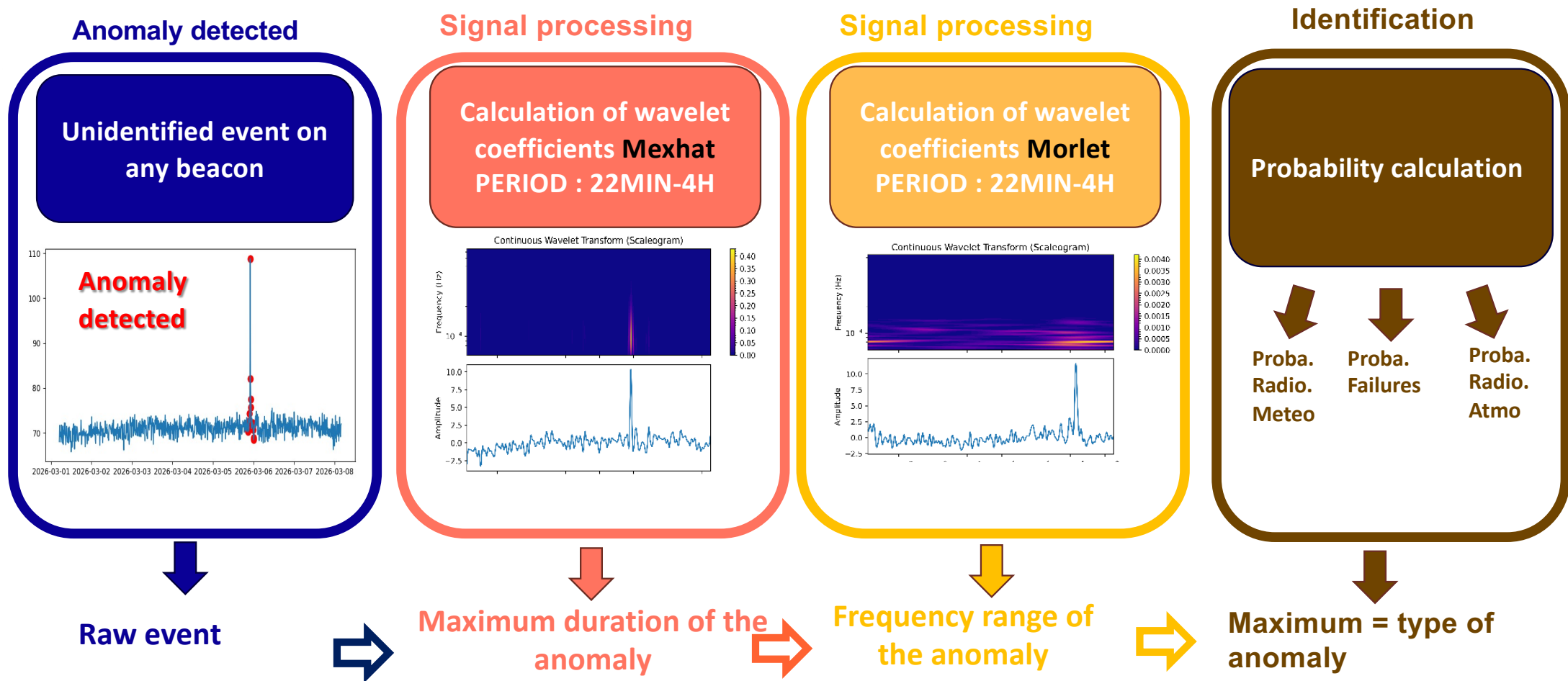


Failures : Moy = 52 min
Std = 73 min

Radio Atmo : Moy = 113.6 min
Std = 81.2 min

Membership probability calculation

2- IDENTIFYING THE NATURE OF THE ANOMALY: ~~GEN~~ **IN OPERATION**



3- PERFORMANCE

PERFORMANCE

Performance history for the 163 test beacons from 2017 to 2020

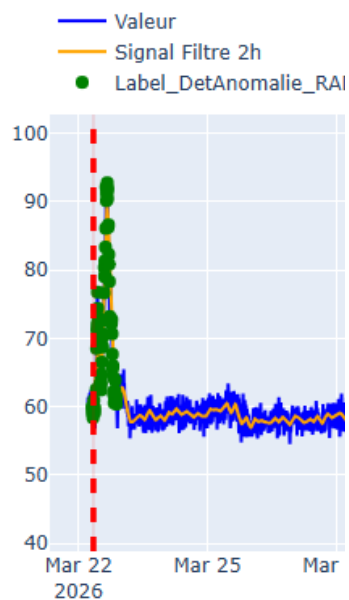
- Average performance: 93% detection rate for labelled anomalies
- Numerous detections were also made for unlabelled alarms.

Objective: To quantify performance in real time

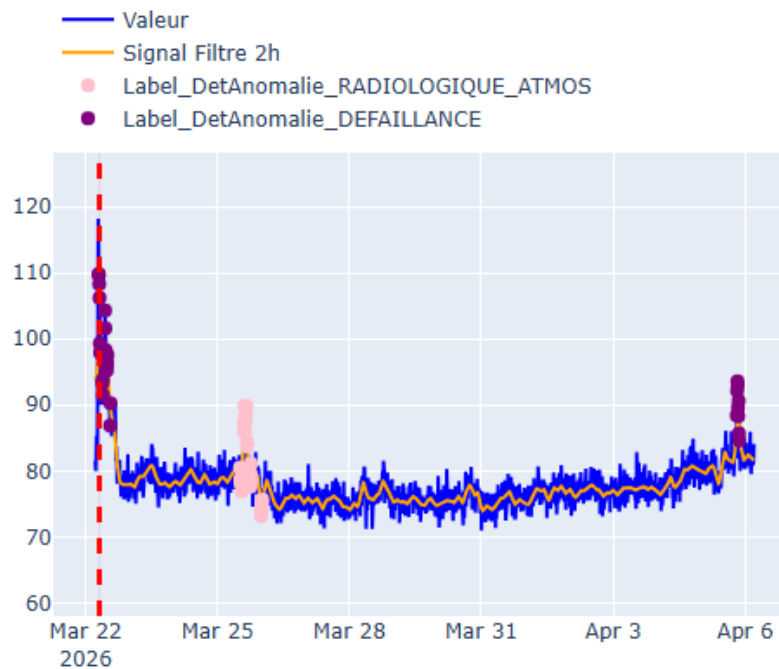
- To identify false anomalies and partial labelling
- To validate the classification
- Example: 600 alarms over the period from 22 March 2026 to 4 April 2026

EXAMPLE OF REAL-TIME DETECTION

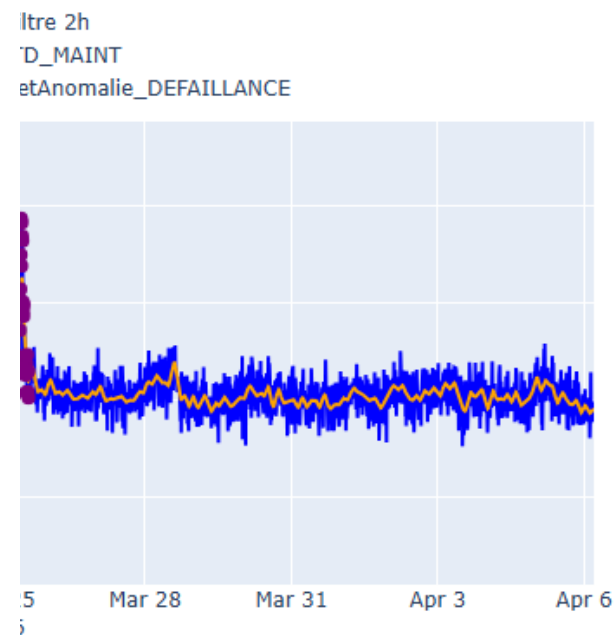
Balise numéro 732 - LES ANGLETS_38_AGG_CP



Balise numéro 814 - LE TOUVET_38_AGG_CP

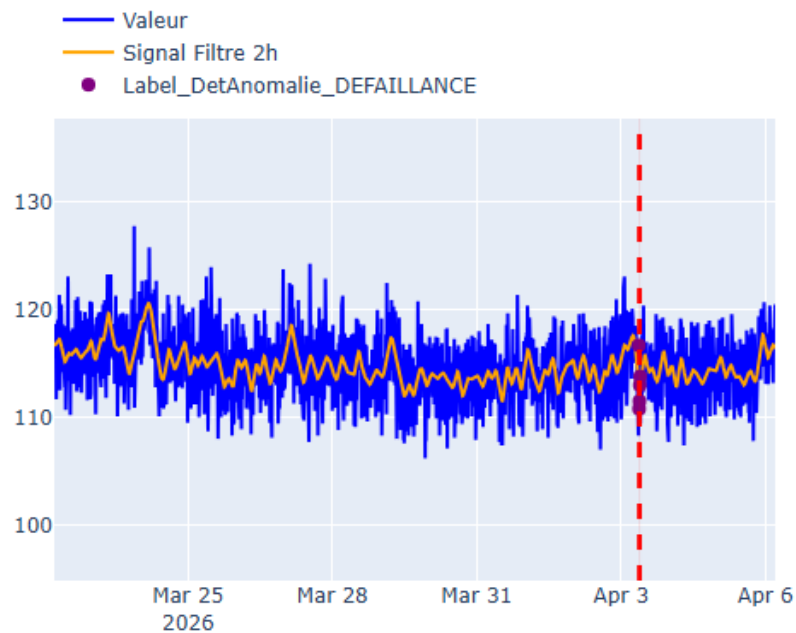


Balise numéro 67 - STRASBOURG_67_AGG_CP

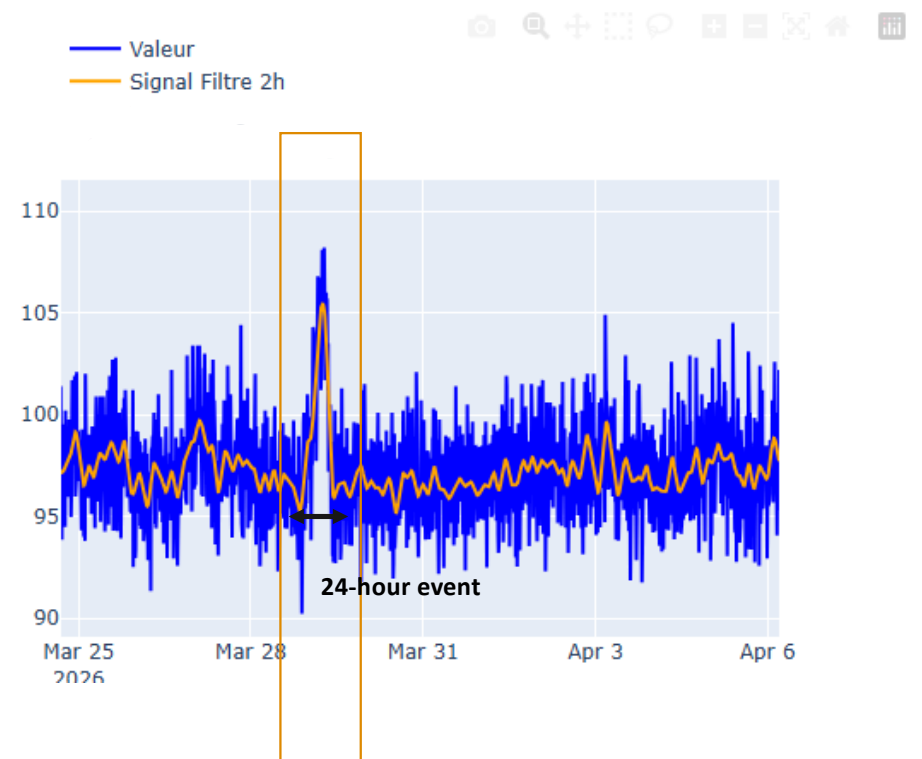


FALSE POSITIVES AND UNDETECTED ANOMALIES

Balise numéro 805 - DOUARNENEZ_29_AGG_CP



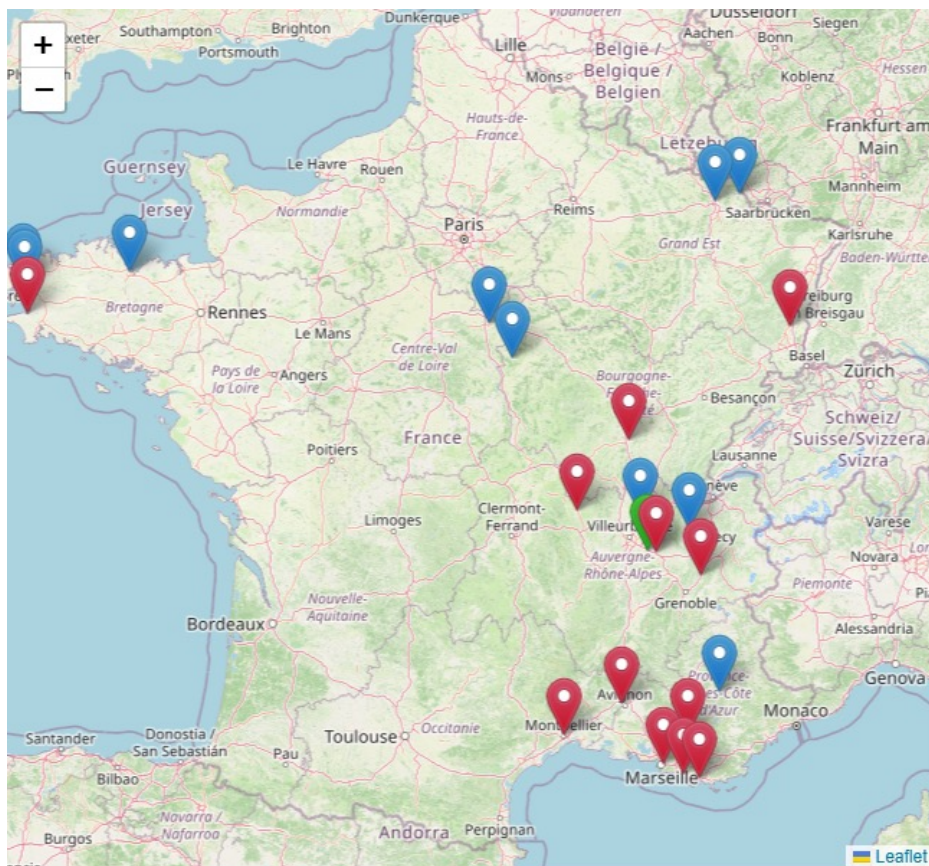
Balise numéro 800 - LANDERNEAU_29_AGG_CP



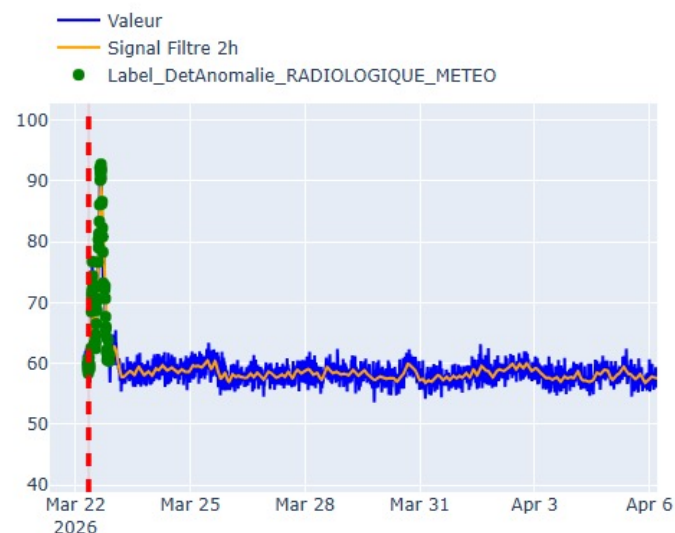
4-PROTOTYPE

DEVELOPMENT OF A VALIDATION TOOL: MAP VISUALISATION

Using the Dash-Leaflet interface

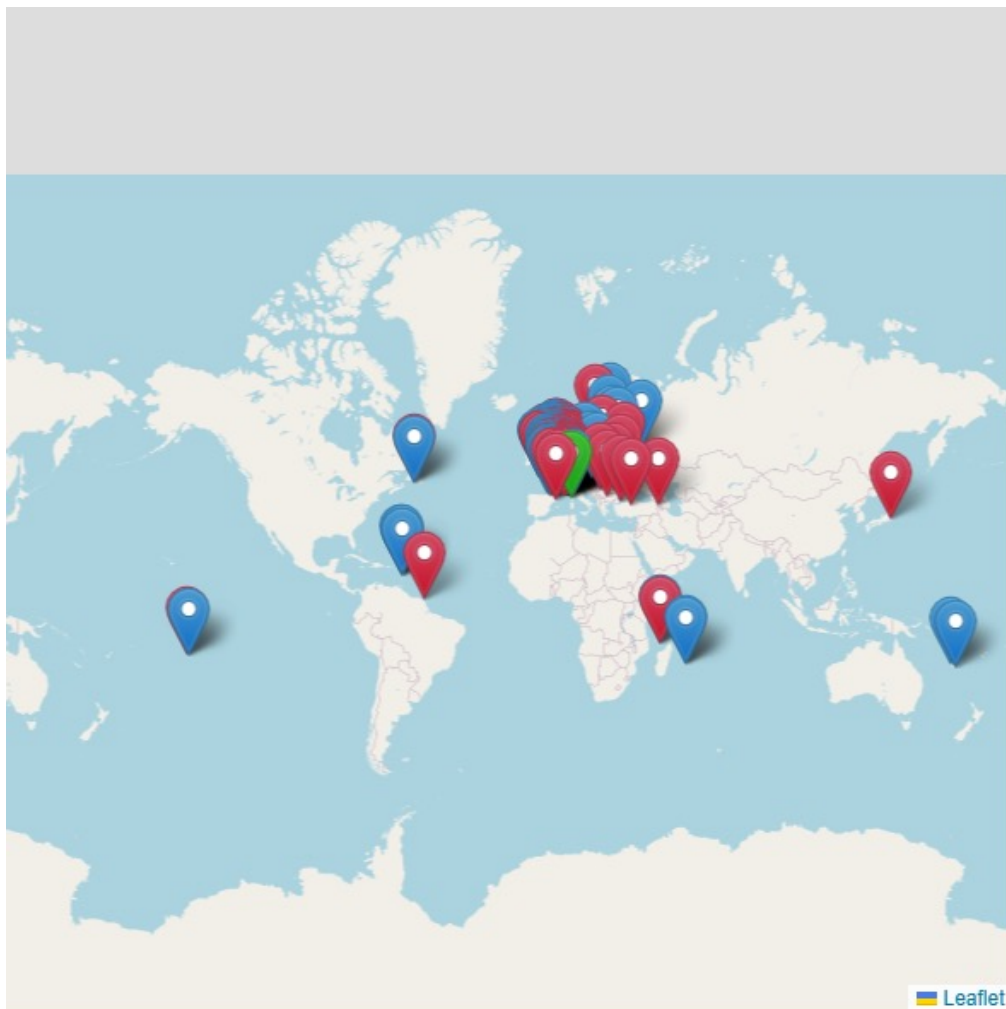


Balise numéro 732 - LES ANGES_30_AGG_CP

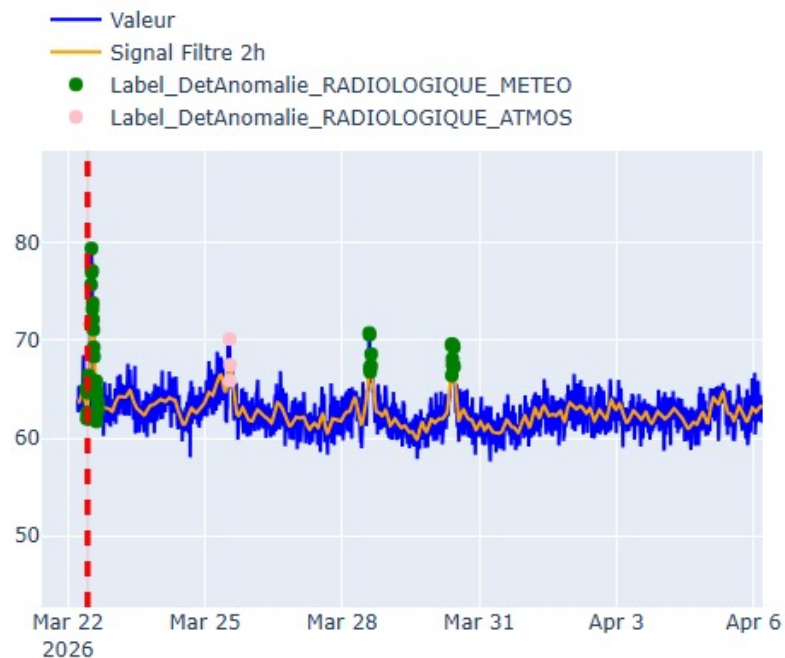


L'alarme à la date 2026-03-22 07:40:13 jusqu'au 2026-03-22 09:10:13 est classée comme 'radiologique météorologique'. Est-ce que vous confirmez ?

Commentaire associé à cette balise / cet événement :

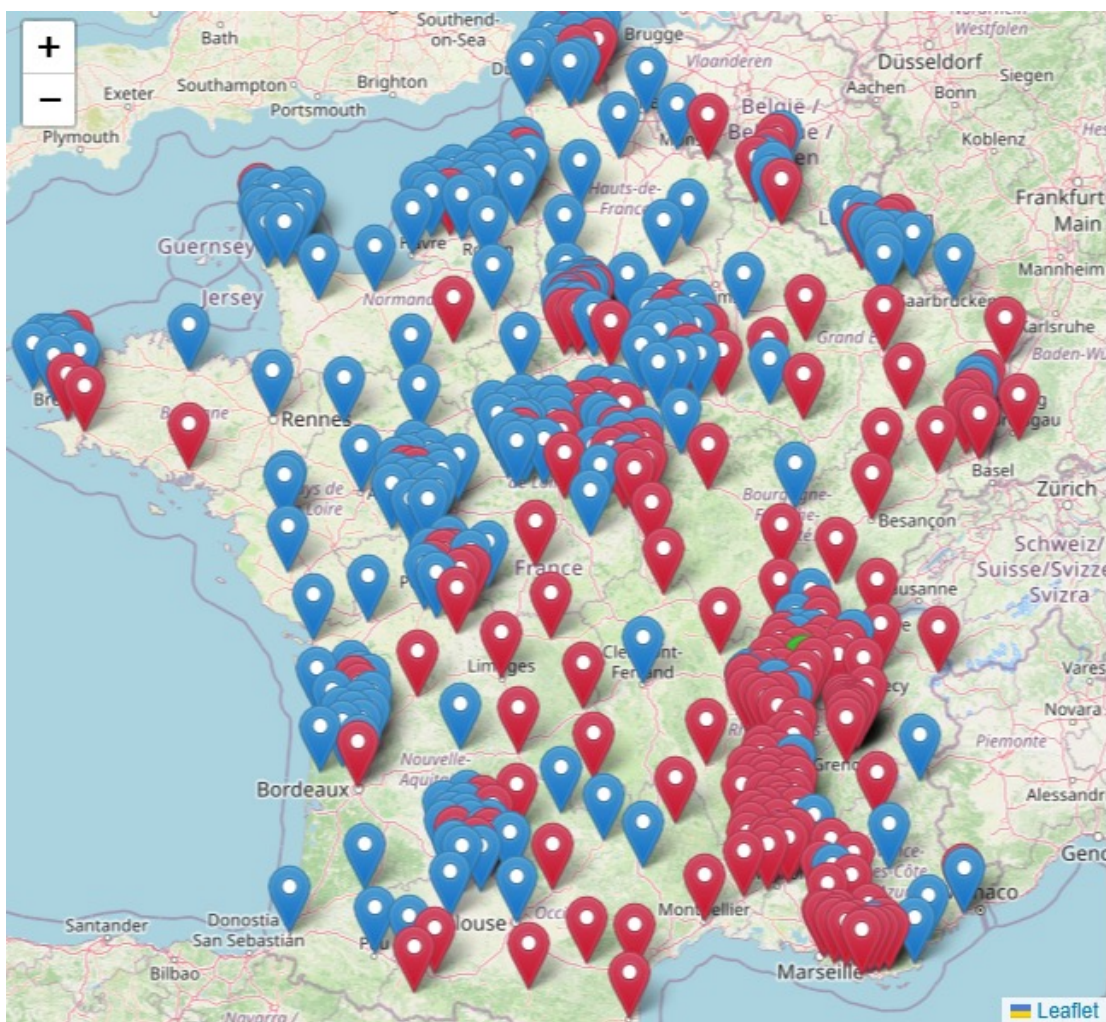


Balise numéro 1143 - SATHONAY-CAMP_69_AGG_CP

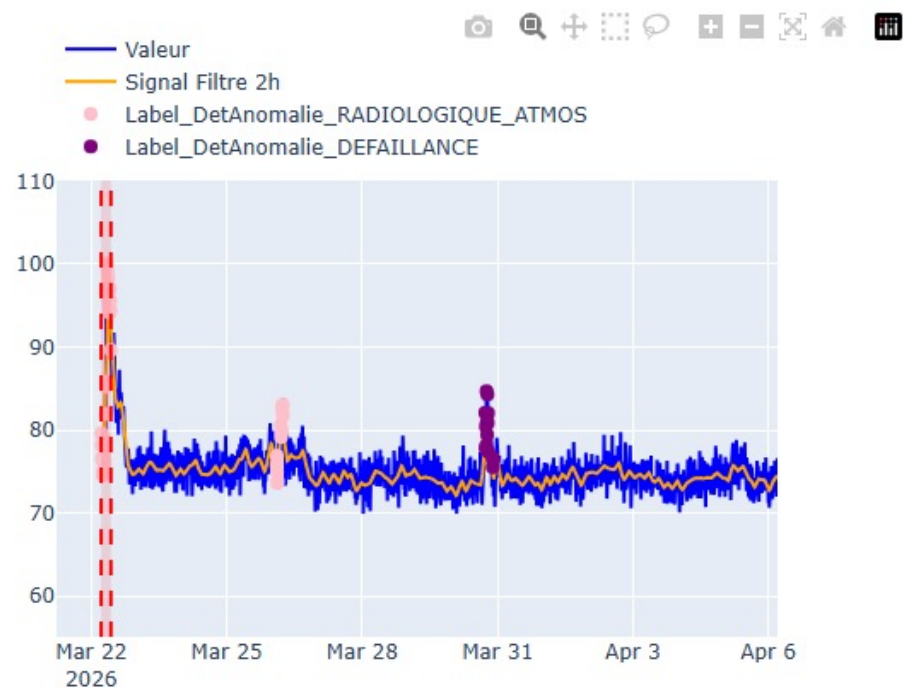


L'alarme à la date 2026-03-22 09:50:28 jusqu'au 2026-03-22 11:10:28 est classée comme 'radiologique météorologique'. Est-ce que vous confirmez ?

Commentaire associé à cette balise / cet événement :



Balise numéro 1921 - EYBENS_38_AGG_CP



L'alarme à la date 2026-03-22 05:20:37 jusqu'au 2026-03-22 10:30:37 est classée comme 'radiologique atmosphérique'. Est-ce que vous confirmez ?

Commentaire associé à cette balise / cet événement :

PURPOSE OF THE VALIDATION

Detection

- Quantify current performance (true and false positives) to compare optimizations on undetected alarms:
 - **Better target the frequencies under consideration: extend to lower frequencies (equivalent to a 12-hour/24-hour period)**
 - **Optimize the Kohonen map**

Nature of the anomaly

- Extend the training dataset for identification:
 - **Improving the probability rules**
 - **Add other criteria? (weather, rain, etc.)**
 - **Consistency with neighbouring tags**

5- CONCLUSION

CONCLUSION

Development of methods and tools

- Implementation of signal processing tools (Morlet and Mexhat wavelets) + AI classification tools (Kohonen and CAH): Python + R
- Development of a prototype using map visualisation: Python (Dash)

Improvement and Validation

- Validation on the prototype: Refining detection and identification

Perspectives

- *Application to other sensors (Fukushima)*
- *Can be used with sensors in other fields: peak detection in a signal*

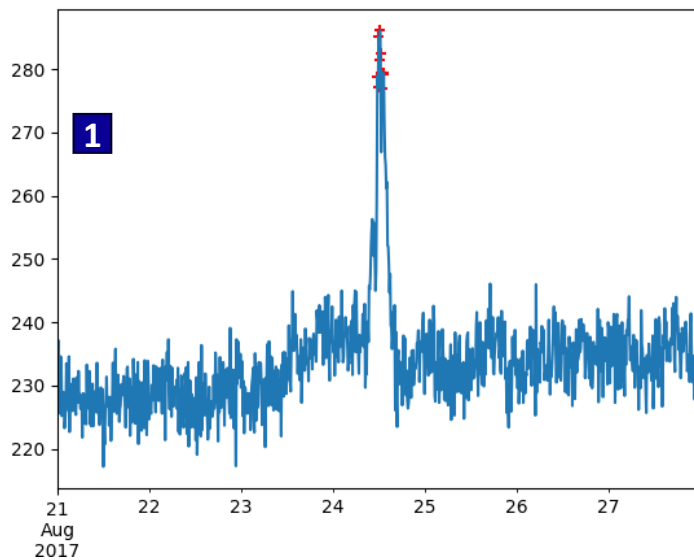
6- ANNEXE

1-DÉTECTION DES ANOMALIES

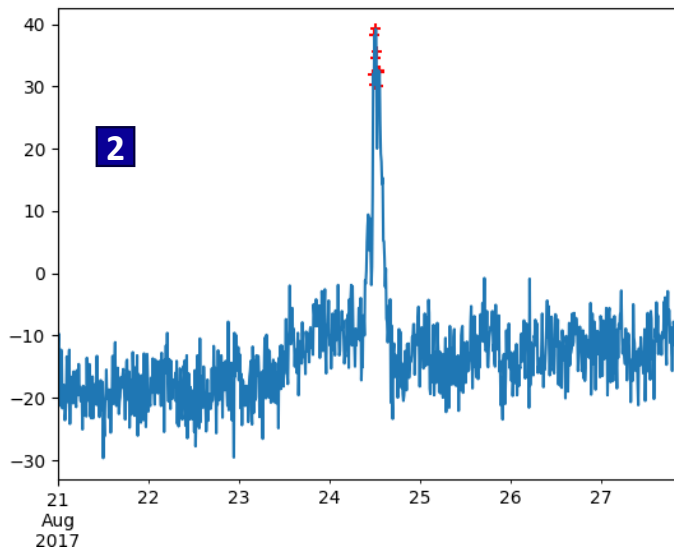
DÉTAIL : TRAITEMENT DU SIGNAL (FILTRAGE)

Analyse fréquentielle avec

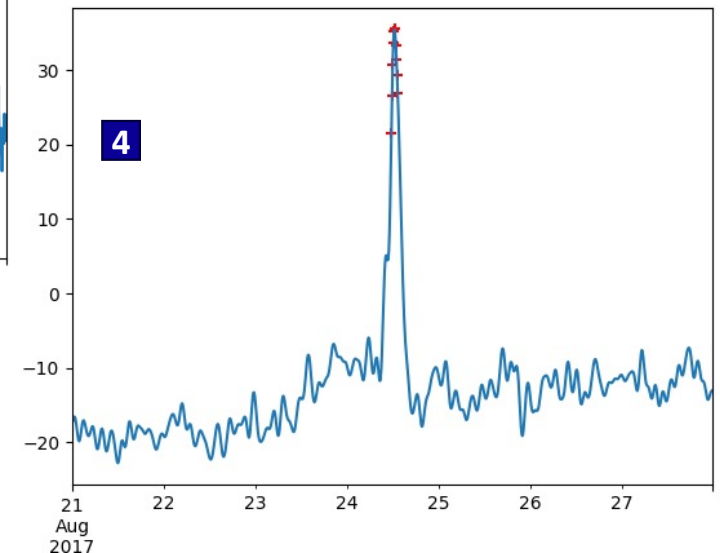
- 3** transformée de Fourier rapide (FFT) : déterminer les composantes fréquentielles d'intérêt du signal



Signal brut du 21/08/2017 au 28/08/2017



Soustraction de la valeur moyenne



Filtrage passe-bas (fréquence de coupure 2h)

1-DÉTECTION DES ANOMALIES

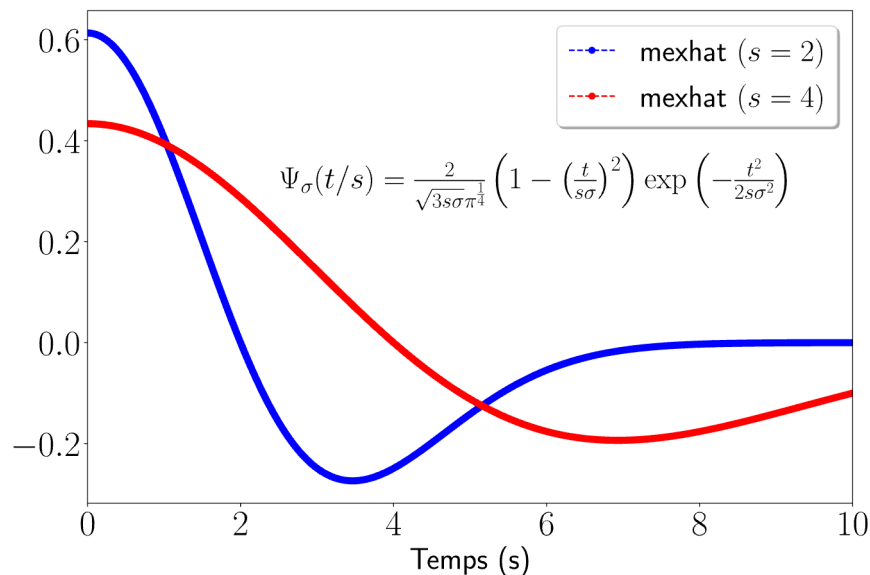
DÉTAIL : CALCUL DES COEFFICIENT EN ONDELETTES

5

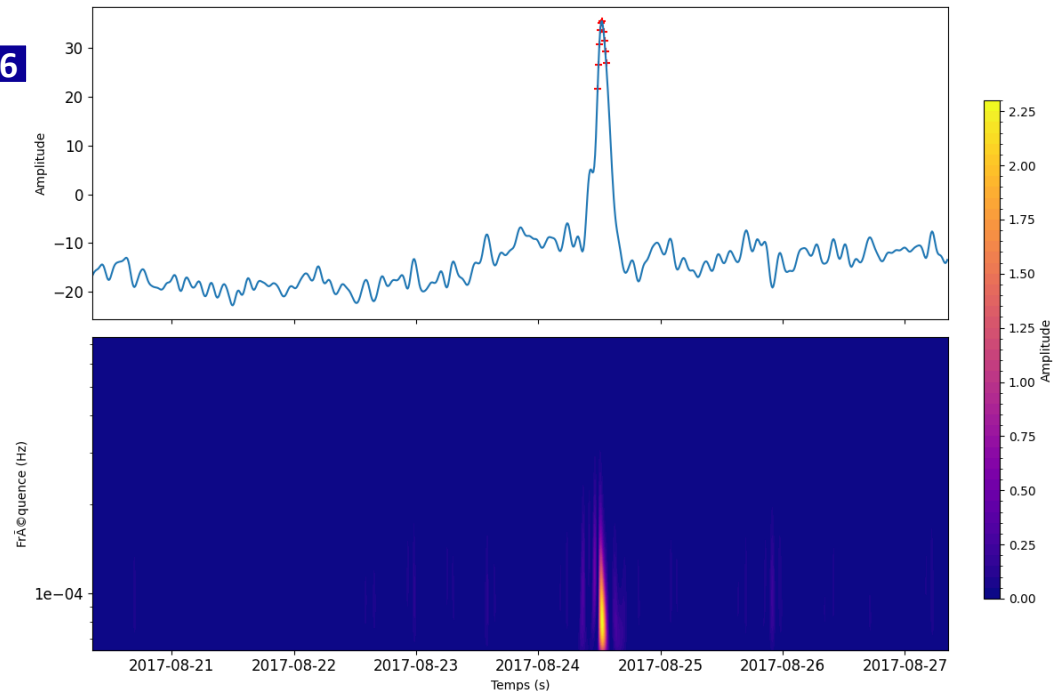
Calcul de la Transformée en Ondelettes

↳ Choix de l'ondelette mère : **Mexhat**

↳ Convolution du signal avec les ondelettes filles re-scalée avec le paramètre d'échelle s



6



Visualisation sous forme Scalogramme

(module au carré de la transformée en ondelettes)

↳ Chaque ligne horizontale correspond à la convolution du signal avec une ondelette fille, re-scalée par l'échelle s variant dans la plage de fréquence étudiée

1-DÉTECTION DES ANOMALIES

DÉTAIL : BASE APPRENTISSAGE

Données de la balise 1054

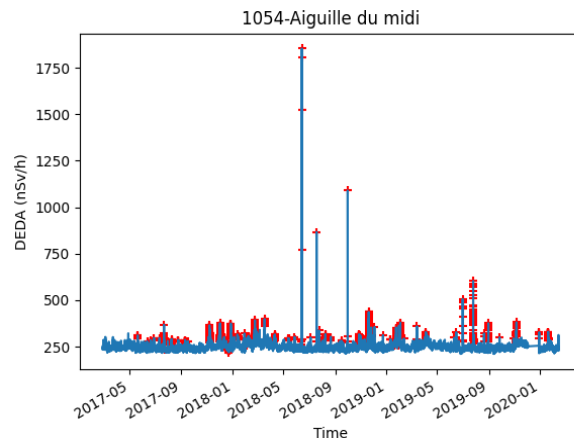
Période d'observation : 02/2017 à 01/2020

2564 phénomènes d'alarmes « labellisés » :

1703 « Radiologique »

823 « Maintenance »

38 « Défaillance »



Transformée en
ondelettes

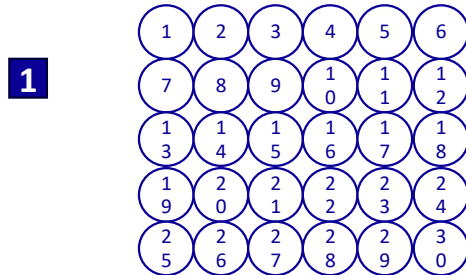
Temps

Période : 22min-4h
Fréquence

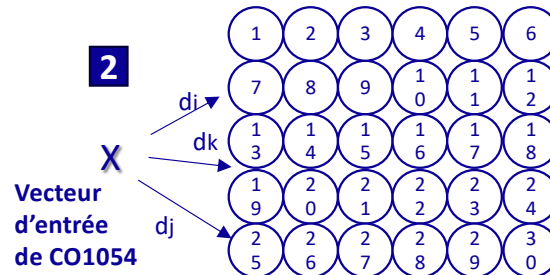
Matrice des coefficients
ondelette de 1054 :
CO1054

1-DÉTECTION DES ANOMALIES

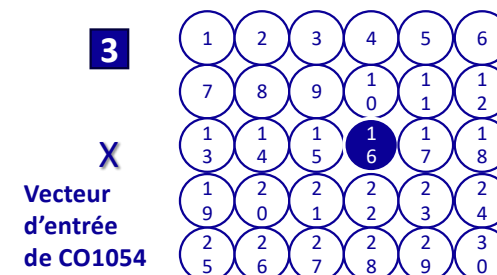
DÉTAIL : PRINCIPE DU RÉSEAU DE KOHONEN



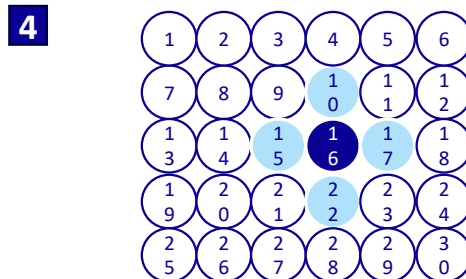
Choix de la topologie (carte carrée avec 30 neurones) et **initialisation aléatoire des vecteur poids**



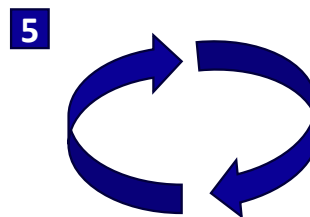
Calcul des distances



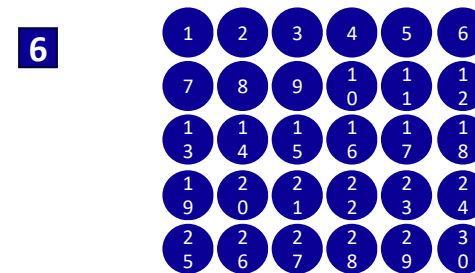
Sélection du BMU : Best Matching Unit



Mise à jour des vecteurs poids des neurones voisins avec une fonction de voisinage (*bubble* ou *gaussian*)



Répétition pour toutes les données d'entrées : phase d'apprentissage non supervisée

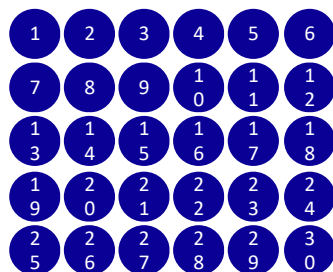


Carte de Kohonen finale
Des données proches sur la carte présentent des profils similaires et inversement

1-DÉTECTION DES ANOMALIES

DÉTAIL : CLASSIFICATION HIÉRARCHIQUE ASCENDANTE

6

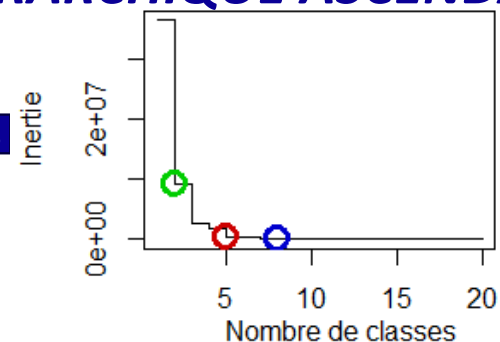


Carte de Kohonen finale

7

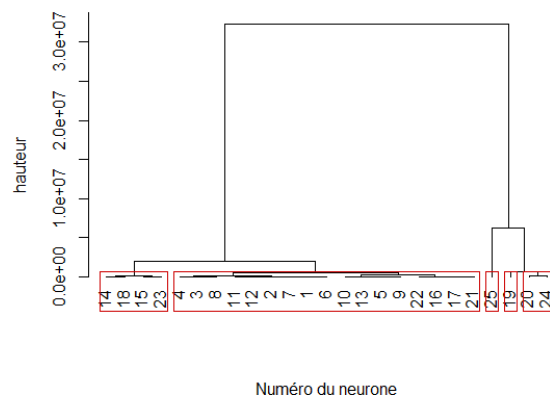
Calcul de la matrice de distance des 30 vecteurs Codebooks

8



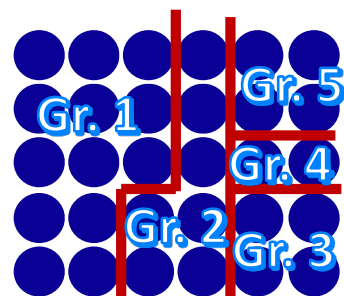
Analyse de l'inertie (Baisse d'inertie forte jusqu'à 5 puis devient marginale, indiquant la meilleure partition)

9



Visualisation de la répartition : Dendrogramme divisé en 5 groupes

10



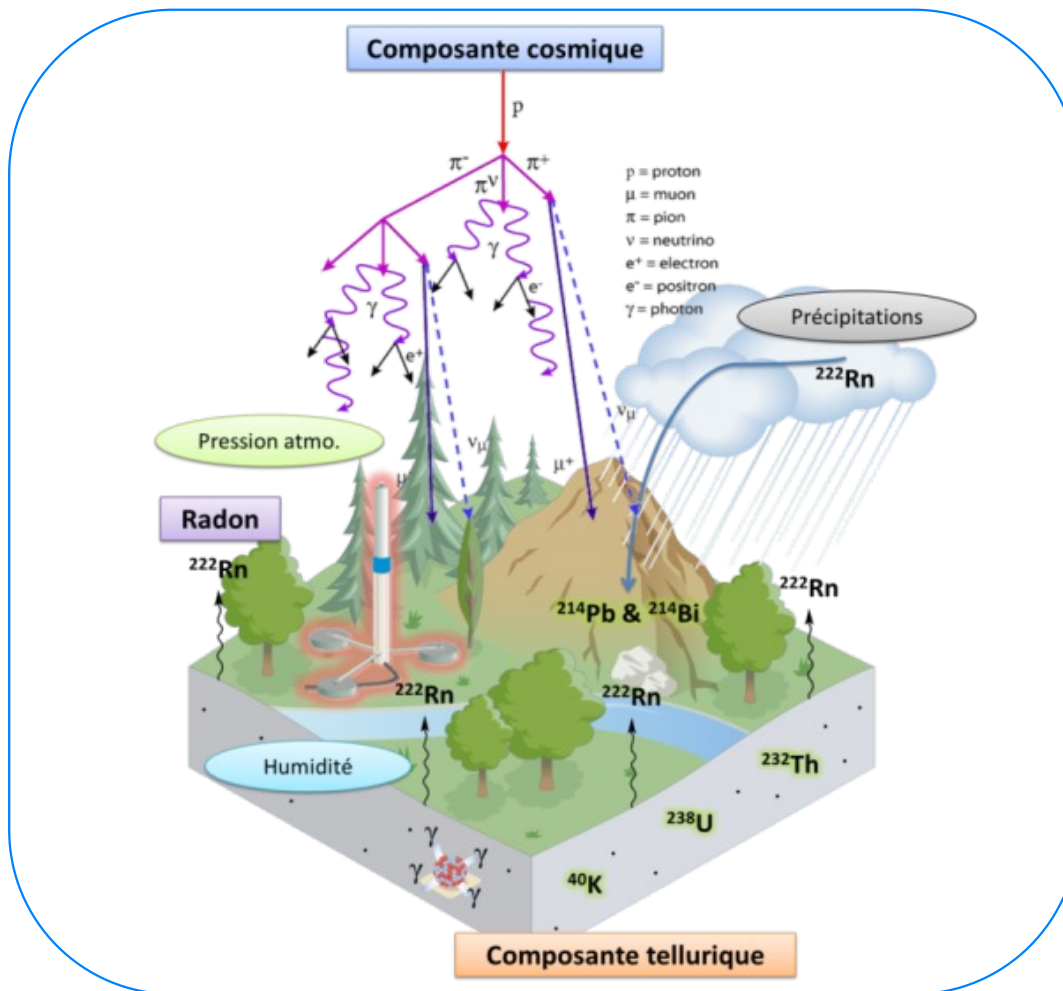
Carte de Kohonen partitionnée

11



Visualisation des HeatMaps par variable : identification du groupe « critique » selon la partition : Gr.5

QUE MESURE UNE BALISE TÉLÉRAY



En routine

le rayonnement cosmique
le rayonnement tellurique

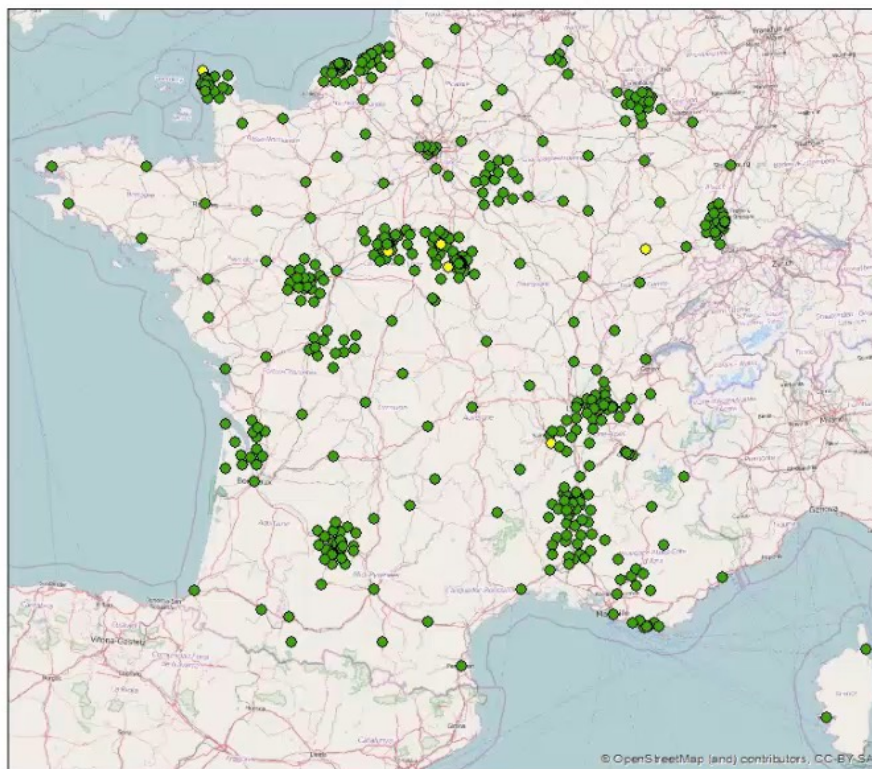
Trop souvent

le radon et ses descendants
(orages, inversion de
couches, ...)
les activités anthropiques
(rejets atmosphériques, tirs
gammagraphies, ...)

Les balises exploitants
détectent en plus les
contrôles d'étalonnages,
passages de convois ...

QUE MESURE UNE BALISE TÉLÉRAY

Effets d'un orage sur le réseau TELERAY
12/13 Septembre 2015



IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

Légende

Hausse du débit
de dose en nSv/h

- 0 - 10
- 10 - 20
- 20 - 40
- > 40

12/09/2015 00:00

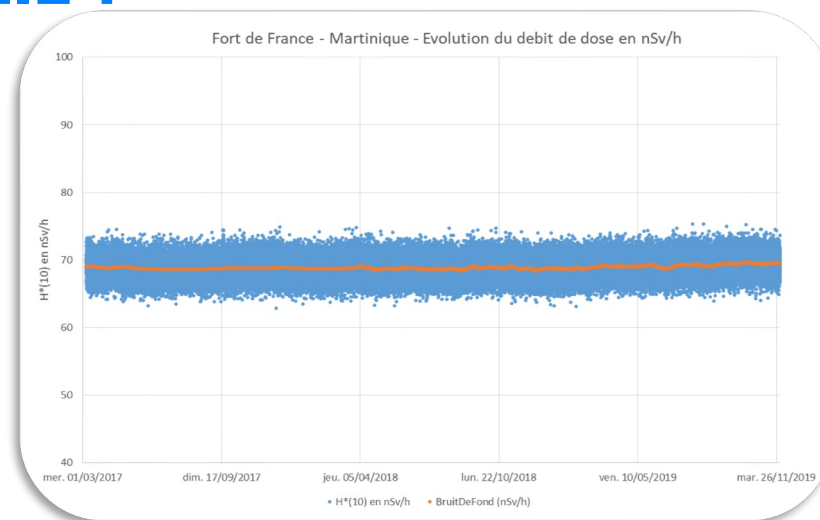
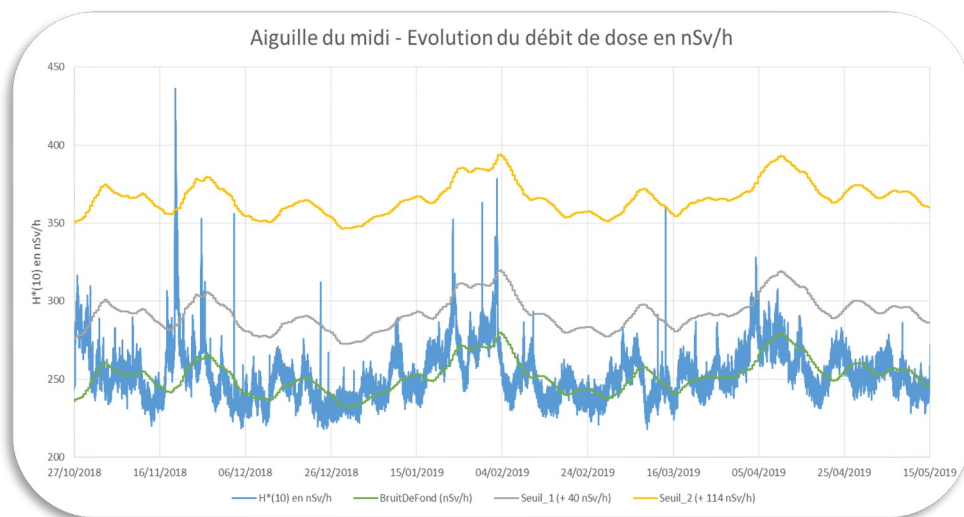
COMMENT EST DÉTECTÉE UNE ANOMALIE ?

ETAPE 1/4 : CALCUL DYNAMIQUE D'UN BRUIT DE FOND PROPRE À L'ENVIRONNEMENT DE LA BALISE

Sur 7 jours glissants

Avec les mesures validées automatiquement par la supervision (VA)

Mesure VA = n'ayant pas d'anomalie radiologique ou technique



ETAPE 2/4 : AJOUTS DE 2 SEUILS DE DÉTECTION AU BRUIT DE FOND CALCULÉ

- **Seuil 1** : BDF + 40 nSv/h
=> **Seuil d'alarme** (SMS : répétition, persistance et regroupement de balises)
- **Seuil 2** : BDF + 114 nSv/h (= 1 mSv/an)
=> **Seuil d'alerte** (SMS : dépassement simple du seuil 2, persistance et regroupement de balise...)

COMMENT EST TRAITÉE UNE « ALARME/ALERTE »



ETAPE 3/4 : INVESTIGATION ET EXPERTISE DU SIGNAL PAR L'OPÉRATEUR D'ASTREINTE

- Météo,
- Interlocuteurs locaux,
- Etude du signal,
- ...

Lorsque l'investigation est terminée l'opérateur d'astreinte doit l'acquitter avec la bonne validation

=> Dans SPARTE, toutes les mesures au-dessus du seuil 1 sont :

- **NVA** : « non validée automatiquement » en attendant la validation manuelle de l'opérateur

ETAPE 4/4 : VALIDATION DES MESURES NVA PAR L'OPÉRATEUR

- Validée Manuellement (VM)
- Non Validée Manuellement (NVM)

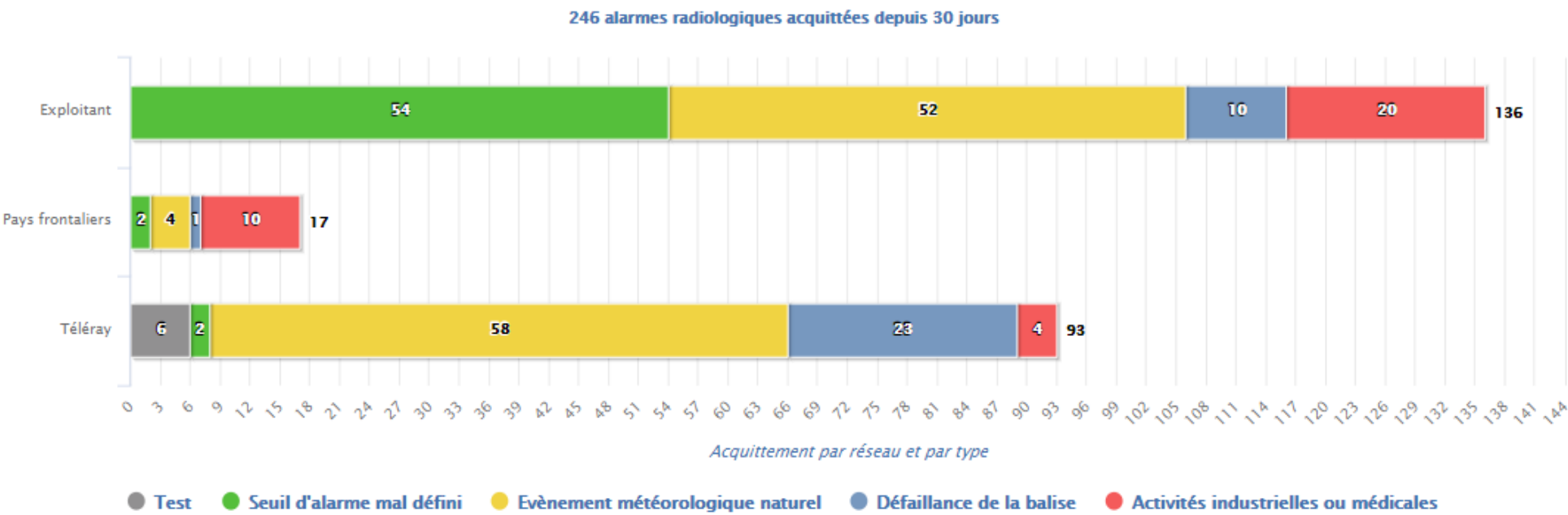
Les mesures sont par la suite exportées aux différentes plateformes de restitutions

	Commentaires prédéfinis lors de l'acquiescement des défauts	Libellés de validation manuelle des données	
Listes :	ACQUITTEMENT : L'acquiescement permet à l'utilisateur de retirer un défaut (PEC et disparu) de la liste des alarmes. La sélection d'un commentaire prédéfini permet de justifier les causes du défaut.	LIBELLES : Les libellés de validation peuvent être identiques aux commentaires prédéfinis proposés lors des acquiescements des défauts radiologiques.	Etats associés
Liste pour les défauts radiologiques	Défaillance de la balise	Défaillance de la balise : état capteur	NVM
	Événement météorologique naturel	Défaillance de la balise : pic électronique	NVM
	Événement radiologique : activités industrielles ou médicales	Événement radiologique : phénomène météorologique	VM
	Maintenance : seuil d'alarme mal défini	Événement radiologique : activité industrielle ou médicale sans rejet	VM
	Maintenance : test	Événement radiologique : rejet atmosphérique	VM
		Événement radiologique : étalonnage de l'exploitant	VM
		Événement radiologique : exposition de la balise à une source	VM
		Événement radiologique : tir de gammagraphie	VM
		Événement radiologique : transport de matières nucléaires	VM

RÉPARTITION DES ALARMES

L'ASTREINTE TELERAY : JUSQU'À PLUSIEURS CENTAINES D'ALARMES RADIOLOGIQUES PAR MOIS

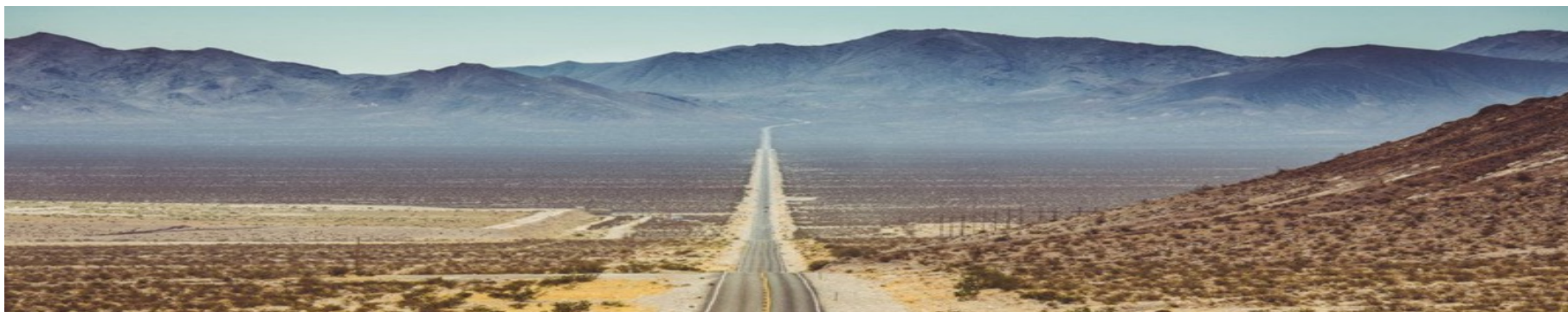
Exemple sept 2025



TESTS / POCS/ COLLABORATIONS

2020 et 2021 : SCIDONI

- Trois stages (LTD / SVDDA) démontrent la faisabilité et l'utilité de travailler sur la détection d'anomalie et l'analyse du couplage des données Téléray aux données météo pour pré-classifier (et anticiper) les alarmes météo. Bonne cohérence également pour les défaillances (pics électroniques)



2025 : Echanges avec le LRTA sur la possibilité de réalisation d'un démonstrateur pour

- ✓ Détection d'anomalie et d'évènements sous le seuil d'alarme
- ✓ Pré-classifier les évènements