



AD-SIGNVM
UN SIGNAL D'AVANCE

SHM-France
by **Precond**

14 Mars 2023
Nantes

Atelier 5 – Intelligence artificielle & traitement des données

Edge computing par des équipements légers pour
la **surveillance vibratoire**

Mise à l'épreuve sur une **expérience à l'échelle 1**

Surveillance vibratoire AD-SIGNUM



Le besoin : disposer d'un **système économique d'aide à la décision**, notamment dans le cadre de la **maintenance des structures de génie civil**

L'objectif : **alerte de premier niveau**

Le point de départ : l'**Analyse Modale Opérationnelle**

Les spécifications : système de détection précoce de l'endommagement, permanent et continu, **utilisant un minimum de capteurs**, autonomes (puissance : 50mW), sans câble **et, surtout, totalement automatique quelque soit le type de structure surveillée.**

Solution AD-SIGNUM

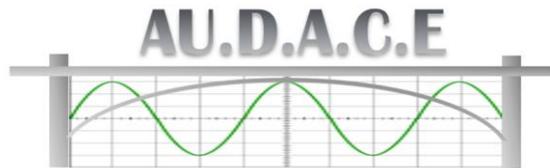
Solution **passive**, utilisant le **bruit ambiant**, pas d'excitation, **capteurs PROBE-2 hybrides**

- très sensibles (**géophones**) : capables de mesurer l'imperceptible
- très grande dynamique (**accéléromètres MEMS**) : capable de quantifier des chocs

Très faible empreinte sur site : peu de points de mesure, aucun câble

Service mixte :

- **approche AMO**
- **mais aussi** : détection de chocs avec analyse spectrale *in situ*. Développement en cours dans le cadre de l'appel à projet des ponts connectés (rendez-vous en 2024 !)



AUto-Diagnostic **Après** un **Choc** **E**ndommageant

Solution AD-SIGNUM : le capteur



AD-SIGNVM
UN SIGNAL D'AVANCE



Edge computing



Définition (source : wikipedia) : « **méthode d'optimisation employée dans le cloud computing qui consiste à traiter les données à la périphérie du réseau, près de la source des données** »

Mise en œuvre dans les capteurs PROBE-2 :

- pour chaque échantillon (8 ms @ 125 échantillons/s) :

 - calcul du spectre

 - calcul de densité spectrale de puissance (DSP) par accumulation

 - sélection de la « meilleure » DSP

- pour chaque fin de période (1 jour, 4 heures ... 15 minutes) : transmission de la DSP

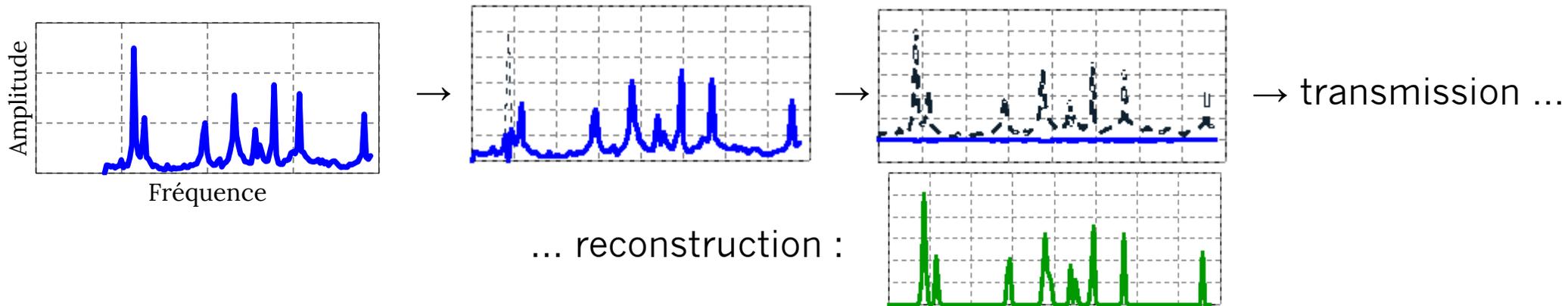
Dans le nuage : AMO

Compression destructive



Réduire la donnée... algorithme de compression destructive

Sélection et réduction de la mesure → résultat : 300 000:1
→ 4 SMS par jour et par capteur



État : algorithme de suivi quotidien de fréquences propres à partir de 4 SMS/capteur

Edge computing



Avantages majeurs : comme **les calculs sont faits au plus près de la donnée**

→ pas de transfert de données brutes

→ **transfert uniquement de résultats utiles issus des calculs**

→ « **less data** » en opposition au « **big data** » => **empreinte carbone réduite !**

Réduction du volume de données transmises par rapport à un traitement 100 % hors capteur :

1 : 300 000

Résumé des traitements SHM (hors chocs)

Traitement de
~450 Mo chaque jour

Dans le capteur/les capteurs :

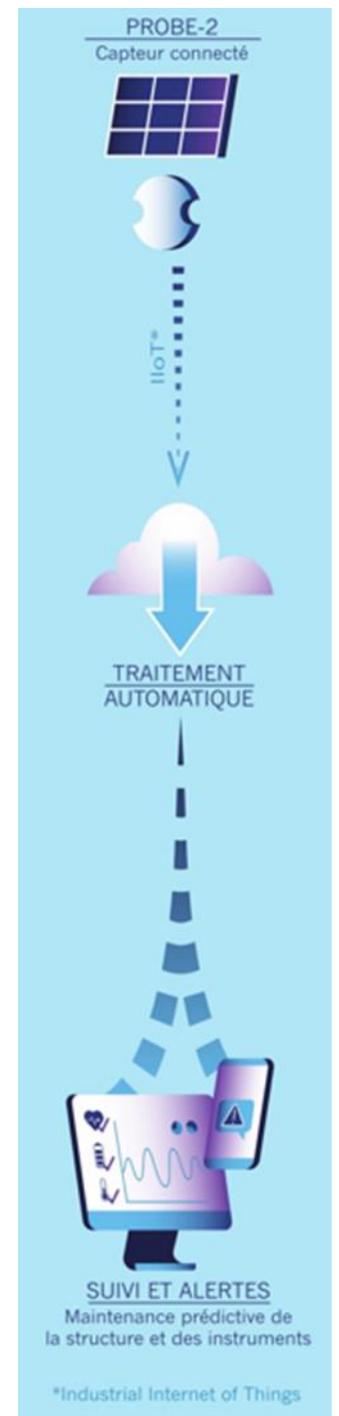
Calcul continu des spectres

- construction de DSP
- sélection des « meilleures » DSP (X,Y,Z)
- compression (destructive)
- transmission...

Dans le nuage :

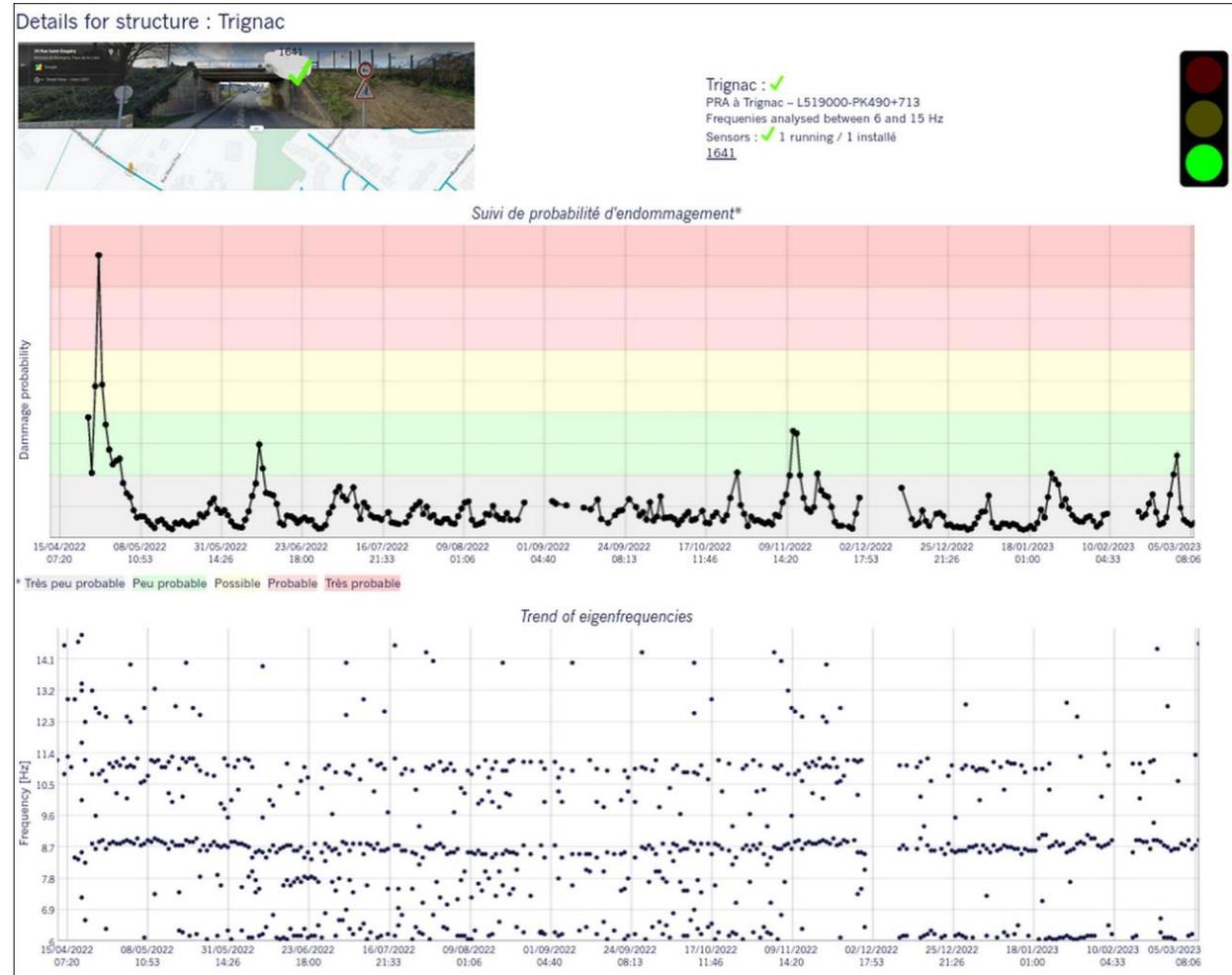
- Analyse modale pour chaque période (1j ... 1/4h)
 - ensemble de FP candidates
 - suivi de distribution des FP
- Evaluation automatisée des données
 - détection de changement
 - détection de dommage
 - alerte

~10 messages/jour
(SMS ou data)



Quelques applications

Ponts-rails :
ouvrages SNCF, portée ~10 m

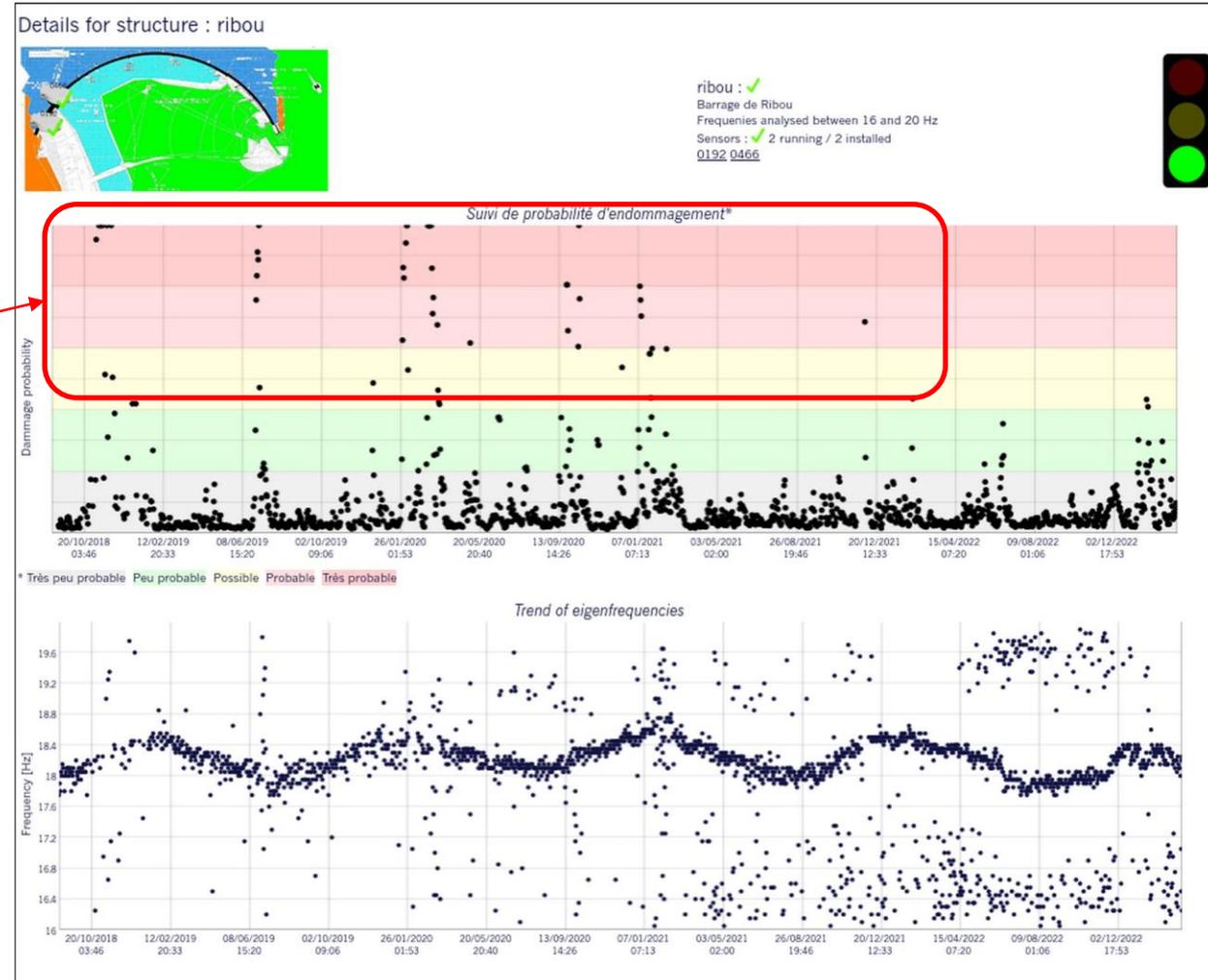


Quelques applications

Barrage (Ribou)

La source d'excitation principale est probablement liée à la cavitation dans la conduite de prélèvement

=> Changements de régimes dans les conduites annexes hors barrage



Expérience échelle 1 : déconstruction d'un bâtiment

Merci à l'entreprise Marelle de nous avoir autorisé à installer nos systèmes

Description de la structure :

Batiment Jules Ferry - Ancienne école d'Infirmières de Fécamp

R+3, structure en poteaux-poutres de béton armé

L=50m, l=9m, h=11m



Expérience échelle 1 : Programme de déconstruction

- 1/ dépose des appuis de fenêtre (présence d'amiante)
- 2/ abattage manuel de la partie supérieure du pignon SO
- 3/ abattage de la structure principale par grignotage



Expérience échelle 1 : Dispositif installé

- ★ 1 capteur PROBE-2 au plafond du RDC
- ★ 1 numériseur sismologique au sol du RDC (données non encore interprétées)



Expérience échelle 1 : Interface utilisateur

Interface synthétique et simplifiée

- code couleur explicite de probabilité d'endommagement
- diagnostic double : structure & capteurs
- détails structure et capteurs accessibles en backend



Mes structures Déconnexion

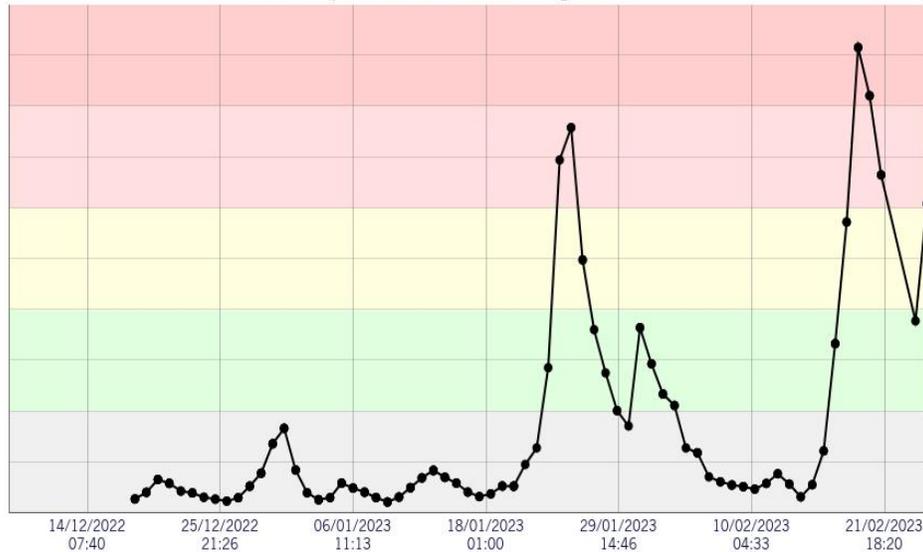
Détails structure : Fecamp



Fecamp : **X**
Bâtiment à détruire
Fréquences analysées entre 5 et 20 Hz
Capteurs : **X** 0 opérationnel / 1 installé
1660



Suivi de probabilité d'endommagement*



Probabilité d'endommagement

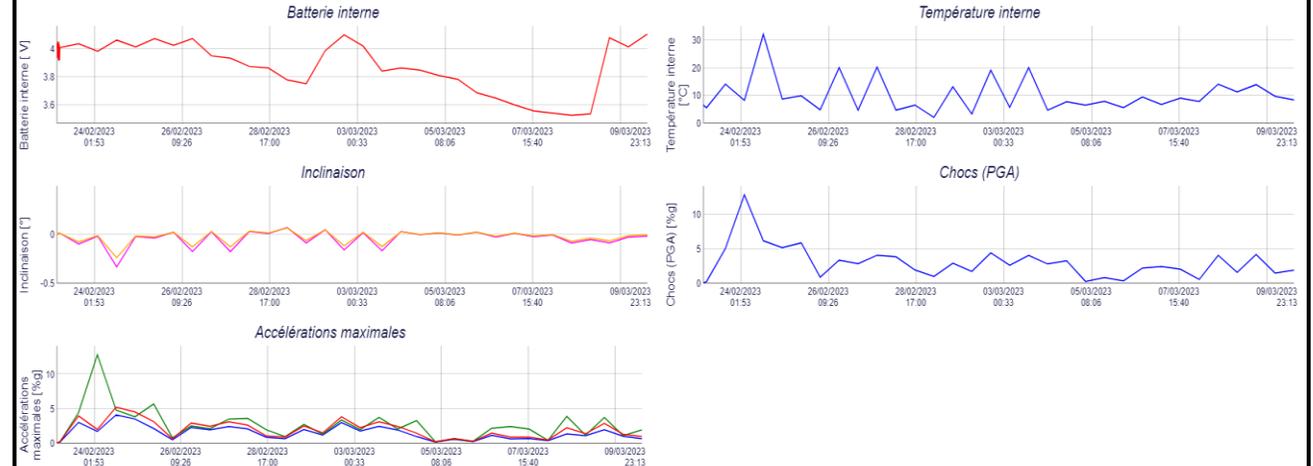
* Très peu probable Peu probable Possible Probable Très probable

Détails capteur : 1650

Structure : Maresquier



1650
Capteur sur alimentation secteur
Sur le déversoir
Mise en service : 23/02/2023
Orientation : Verticale
Dernier message : 10/03/2023 - 16:31



Expérience échelle 1 : Chronologie

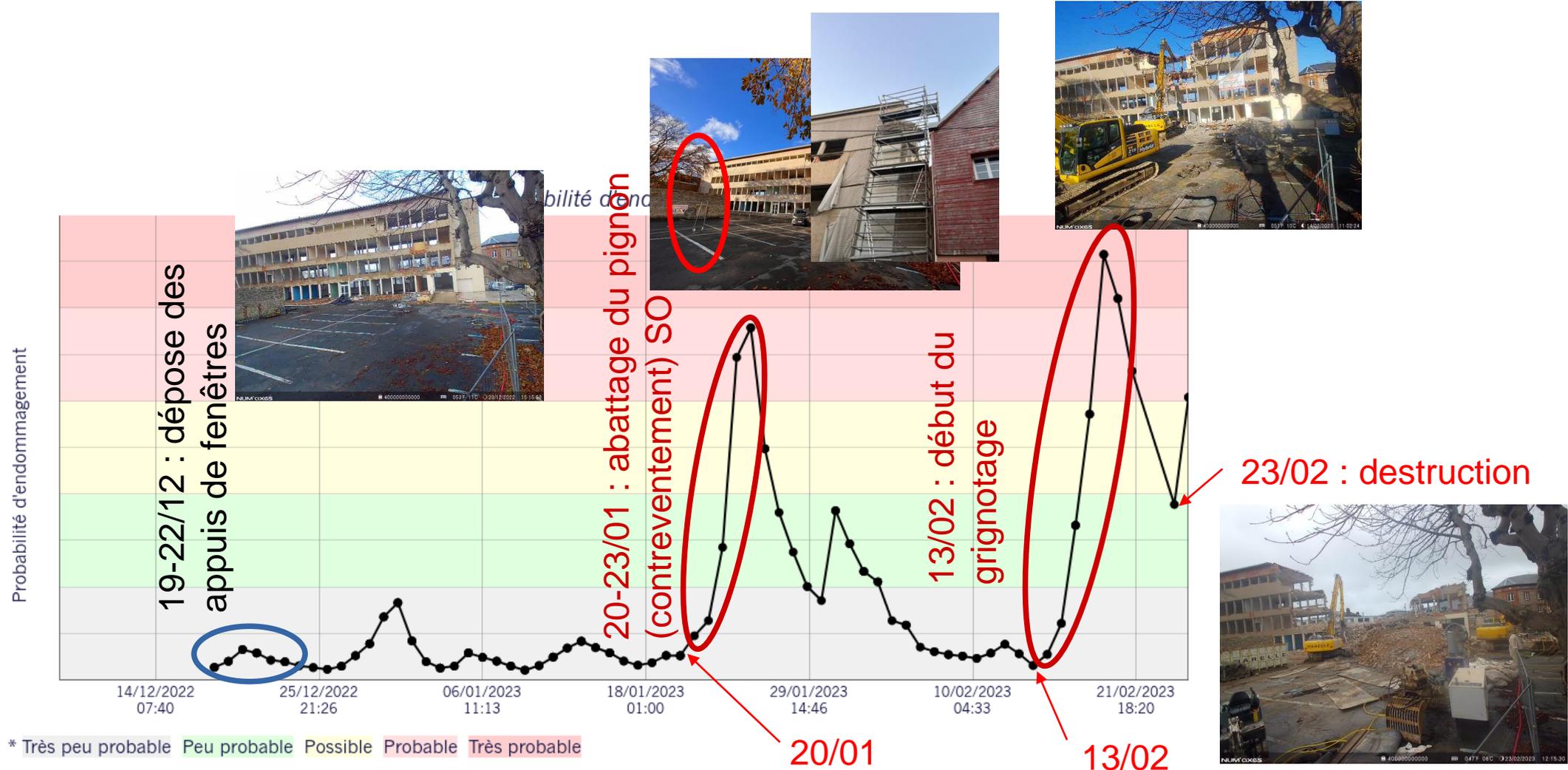
19-22/12 : dépose des appuis de fenêtres

20-23/01 : abattage de la partie supérieure du pignon SO (contreventement)

13/02 : début du grignotage



Expérience échelle 1 : Résultats chronologiques



Expérience échelle 1 : Conclusions

Résumé : un seul capteur pour un bâtiment R+3 de 50 m de long, placé en RDC en sous-face d'une poutre à ~20 m de l'extrémité NE.

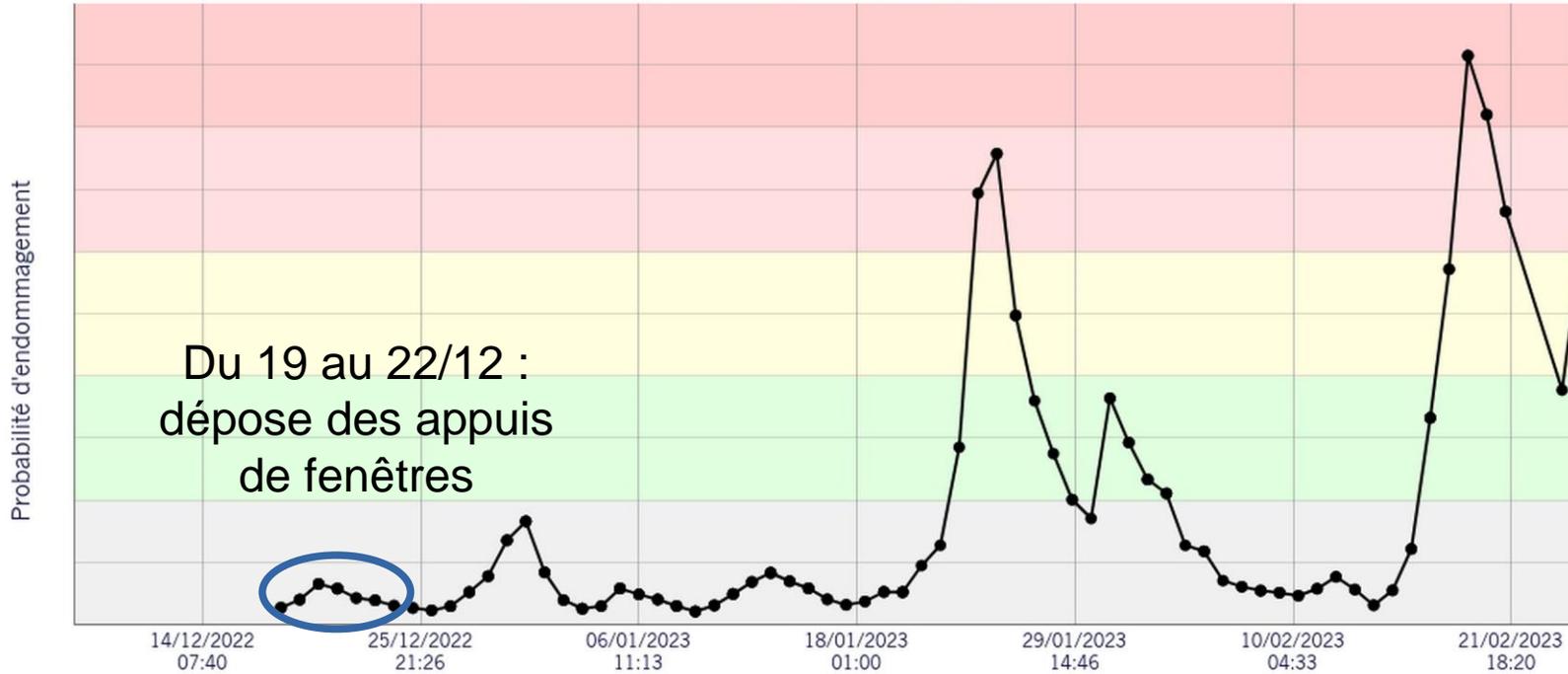
Démolition par étapes :

- dépose des appuis de fenêtres, **non structurels** => pas de détection en terme de FP malgré travaux générant de fortes vibrations

Expérience échelle 1 : Chronologie vs chocs

Dépose des appuis de fenêtres, **non structurels** => pas de modification en terme de distribution de FP malgré travaux générant de fortes vibrations

Suivi de probabilité d'endommagement*



* Très peu probable Peu probable Possible Probable Très probable



Expérience échelle 1 : Conclusions

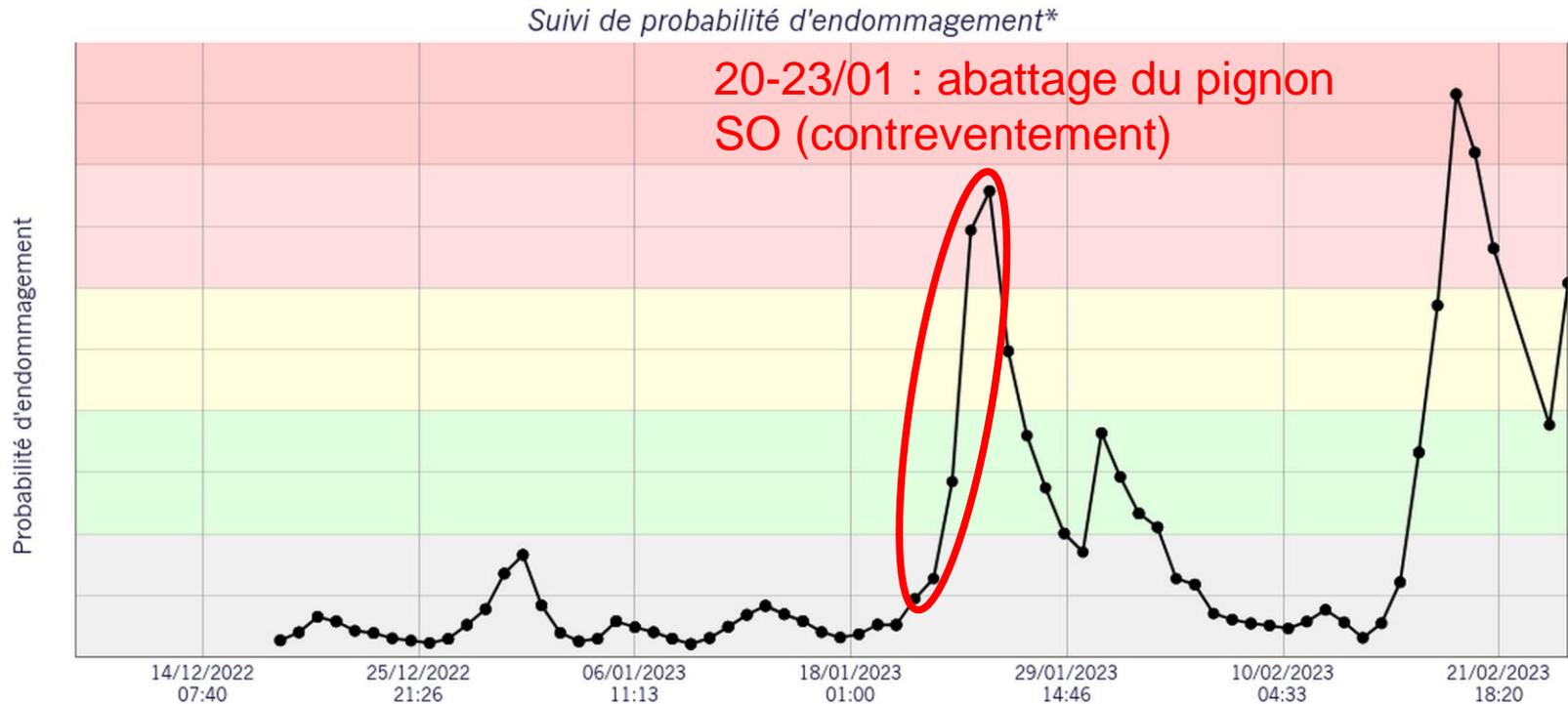
Résumé : un seul capteur pour un bâtiment R+3 de 50 m de long, placé en RDC en sous-face d'une poutre à ~20 m de l'extrémité NE.

Démolition par étapes :

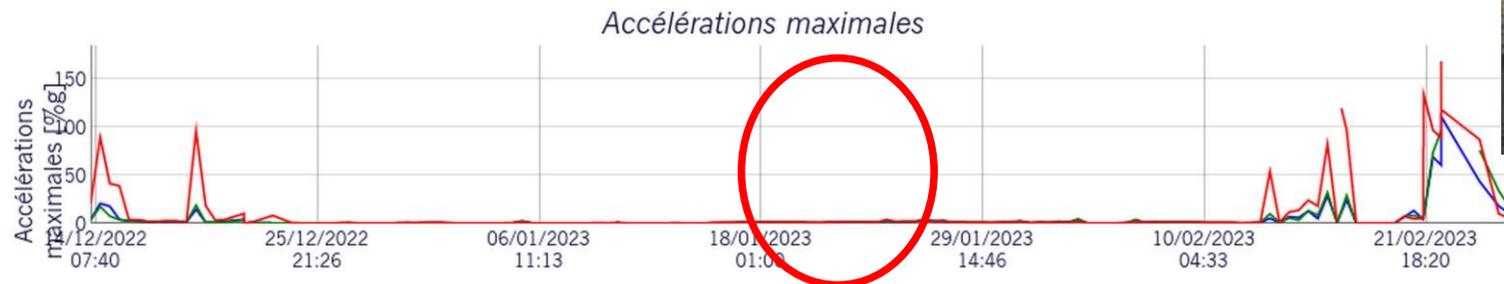
- dépose des appuis de fenêtres, **non structurels** => pas de détection en terme de FP malgré travaux générant de fortes vibrations
- abattage manuel du pignon SO, contreventement structurel => détection d'une anomalie (sans augmentation des amplitudes des vibrations du bâtiment)

Expérience échelle 1 : Chronologie vs chocs

Abattage manuel du pignon SO, **contreventement structurel** => détection d'une anomalie (sans augmentation des amplitudes des vibrations du bâtiment)



* Très peu probable Peu probable Possible Probable Très probable



Expérience échelle 1 : Conclusions

Résumé : un seul capteur pour un bâtiment R+3 de 50 m de long, placé en RDC en sous-face d'une poutre à ~20 m de l'extrémité NE.

Démolition par étapes :

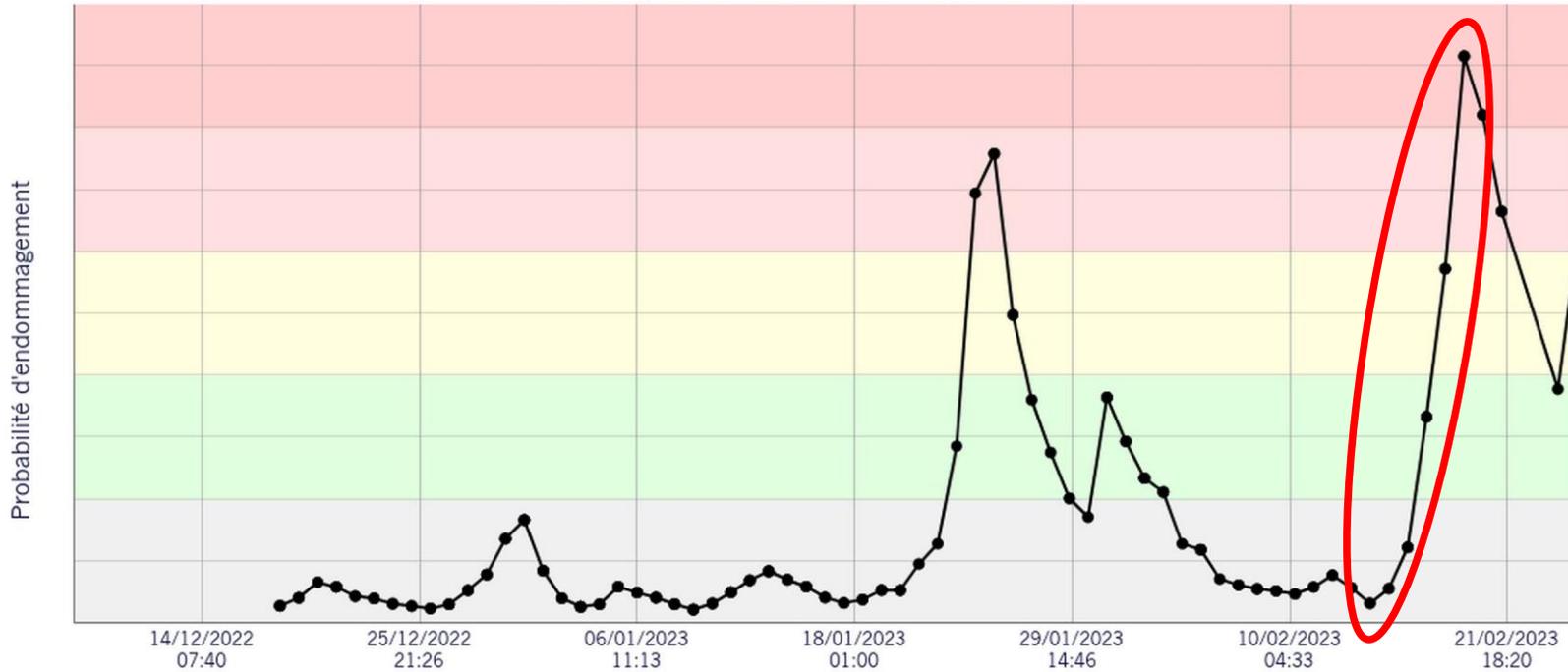
- dépose des appuis de fenêtres, **non structurels** => pas de détection en terme de FP malgré travaux générant de fortes vibrations
- abattage du pignon SO, contreventement : détection d'une anomalie (sans augmentation des amplitudes des vibrations du bâtiment)
- dès le début du grignotage par le sommet => détection

Expérience échelle 1 : Chronologie vs chocs

Abattage manuel du pignon SO, **contreventement structurel** => détection d'une anomalie (sans augmentation des amplitudes des vibrations du bâtiment)

Suivi de probabilité d'endommagement*

À partir du 13/02 : grignotage



* Très peu probable Peu probable Possible Probable Très probable

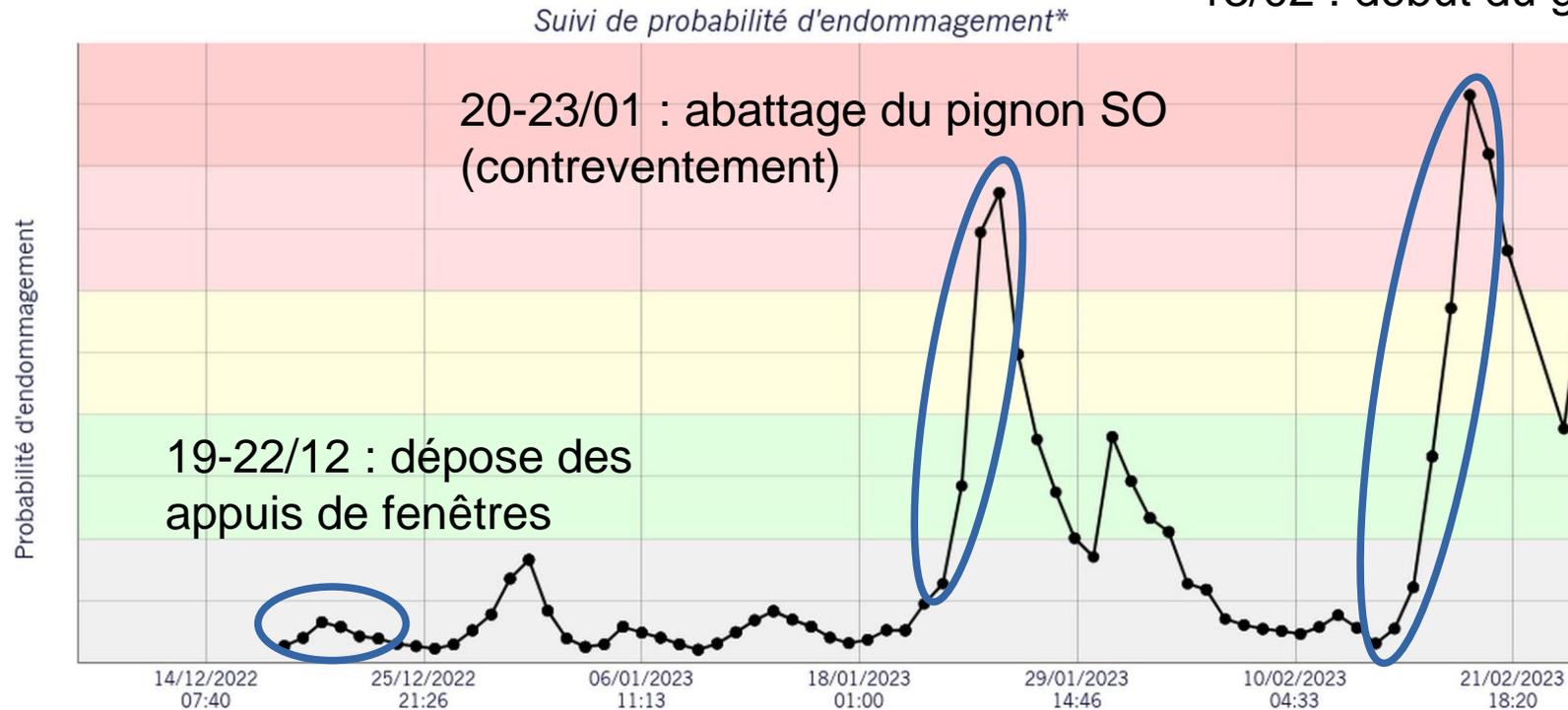


Accélérations maximales

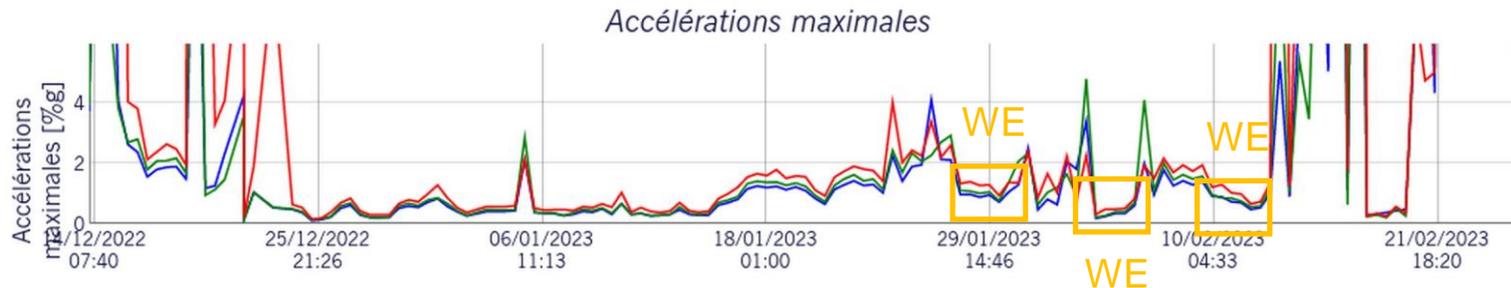


Expérience échelle 1 : Chronologie vs chocs

13/02 : début du grignotage



* Très peu probable Peu probable Possible Probable Très probable



Expérience échelle 1 : abattage du 20/12 => 08/03

<http://rtdata.staneo.fr/Export/video.mp4>



Expérience échelle 1 : épilogue

OÙ EST
~~CHARLIE?~~
PROBE-2





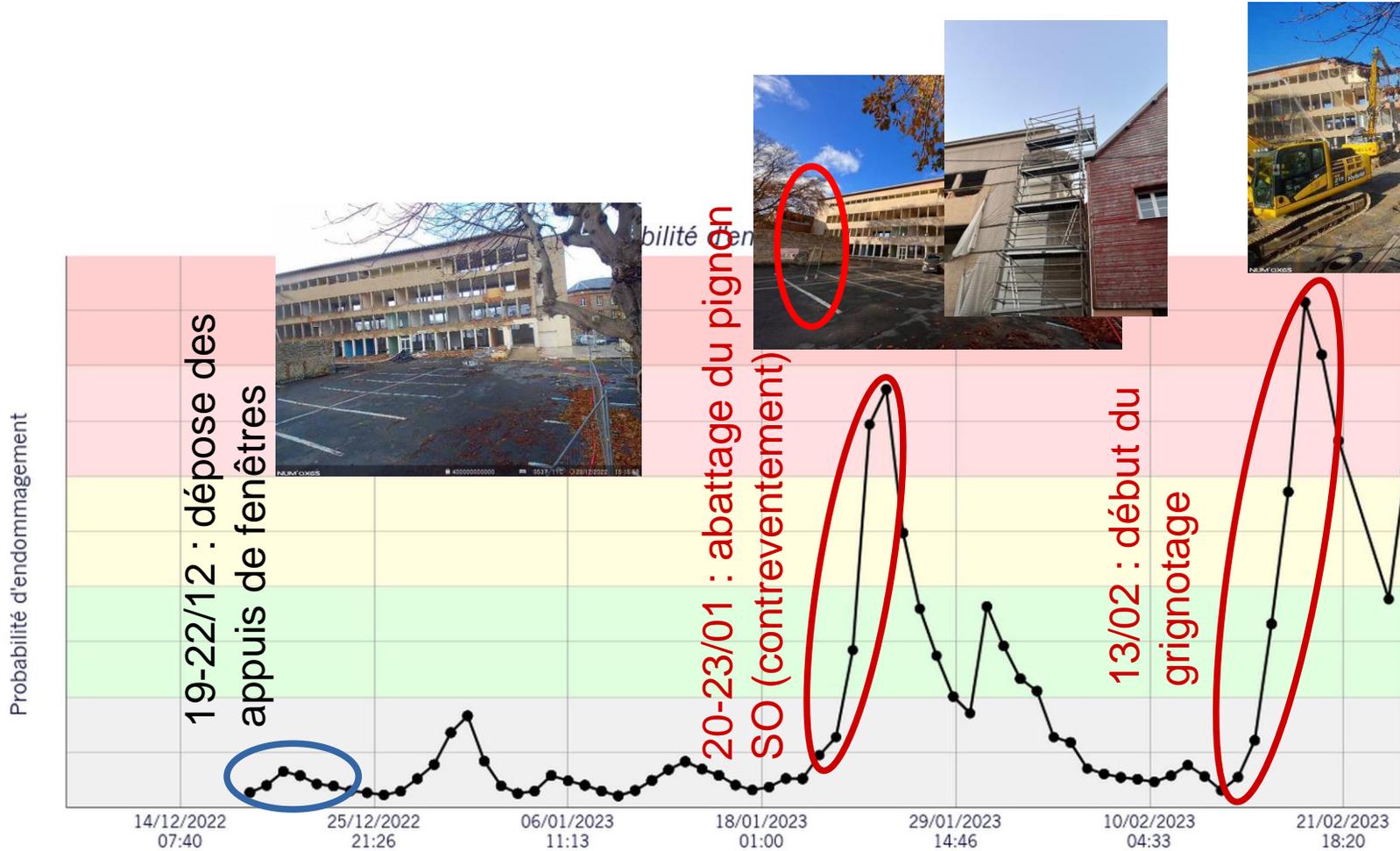
AD-SIGNVM

UN SIGNAL D'AVANCE

Merci de votre attention !



A vos questions !



* Très peu probable Peu probable Possible Probable Très probable

