



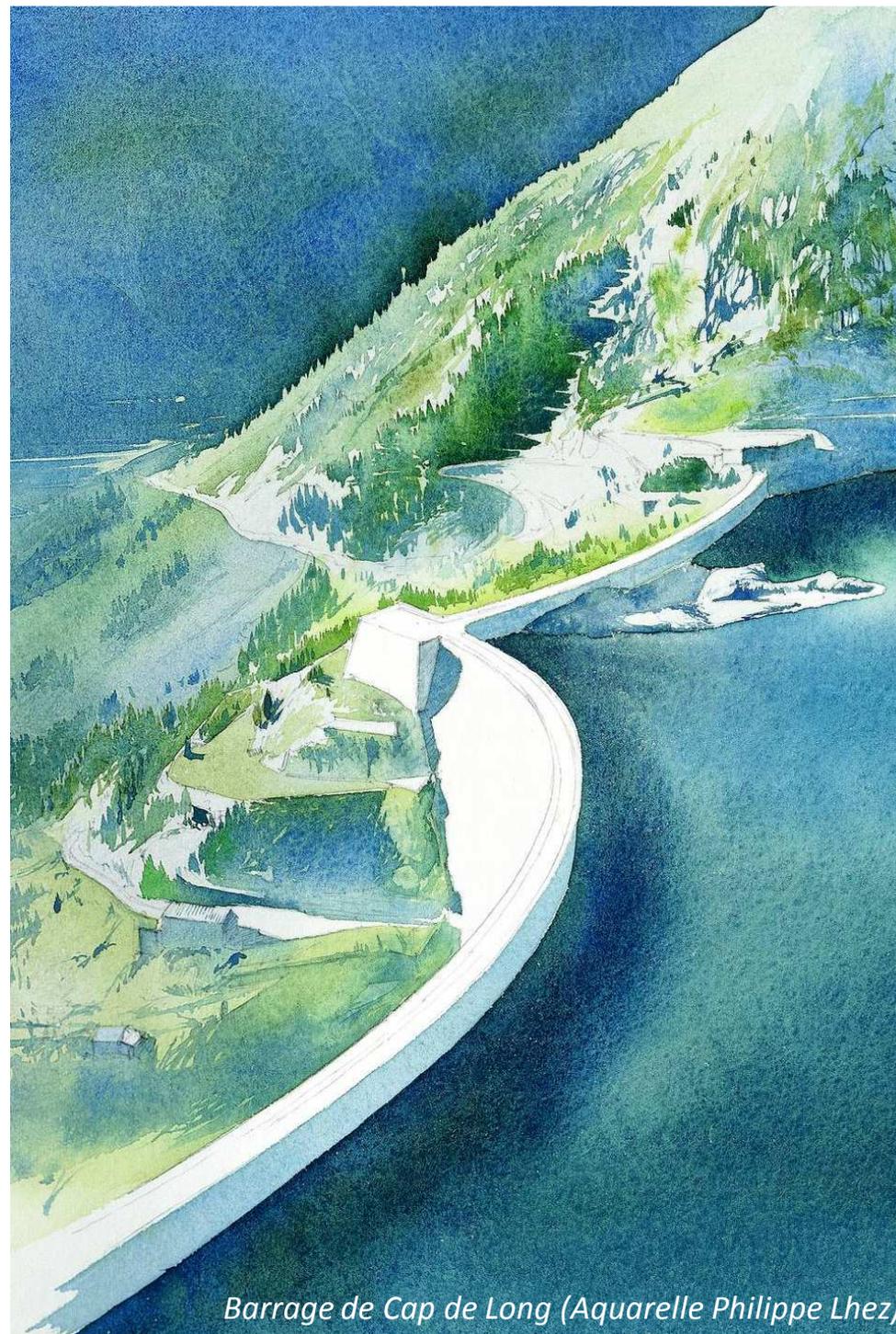
Thème D : Instrumentation et surveillance des fondations :
tenue à moyen et long terme

Auscultation renforcée des digues principales du port Tanger Med II: Surveillance des tassements différentiels de caissons

Maxime TATIN
Gregory LEBON
Fabien NEUGUE
Vincent LAMOUR



Colloque CFBR – Fondations des Barrages
8 et 9 avril 2015 – Chambéry



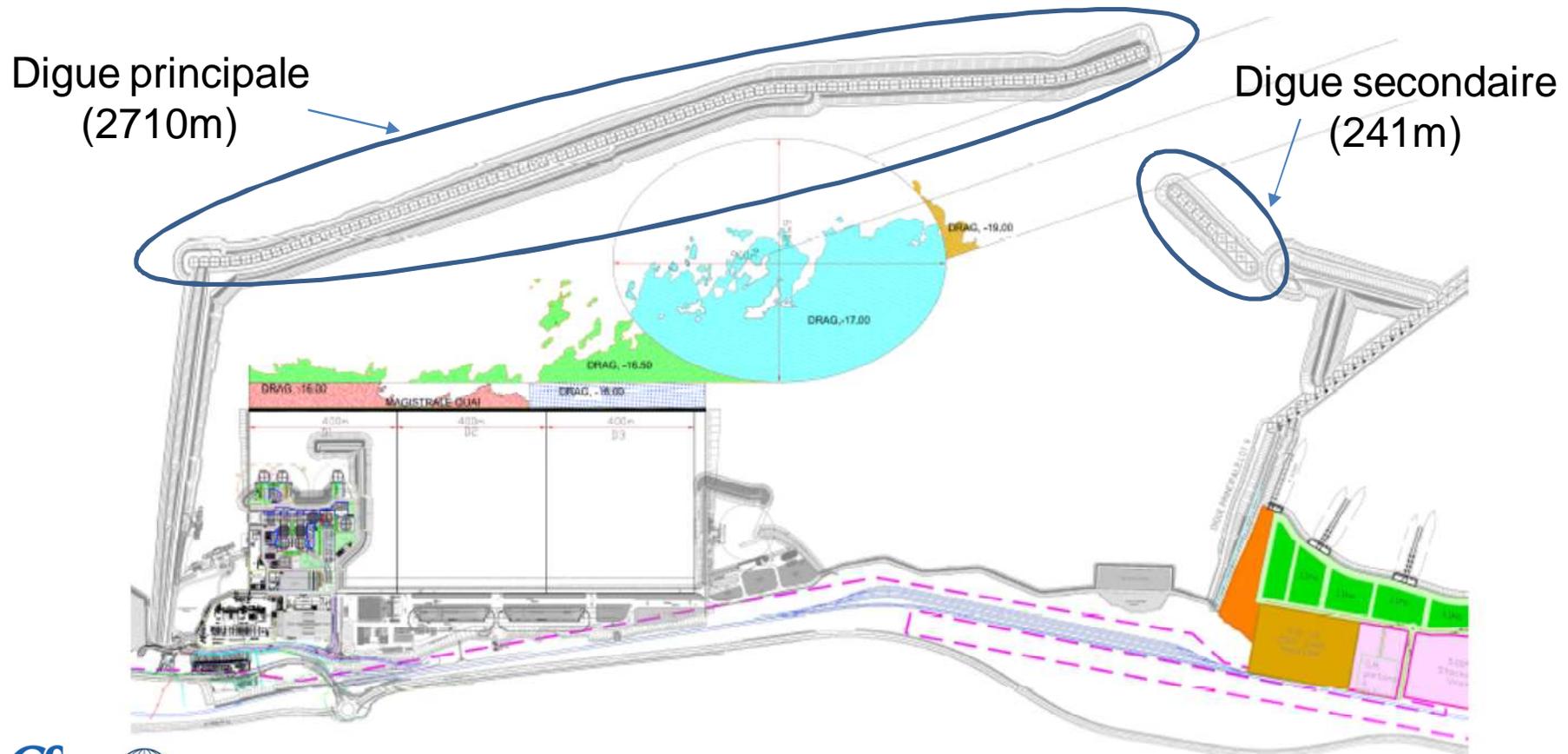
Barrage de Cap de Long (Aquarelle Philippe Lhez)

SOMMAIRE

- 1. Description du projet**
- 2. Dispositif d'auscultation**
- 3. Gestion des données et interprétation**
- 4. Conclusions**

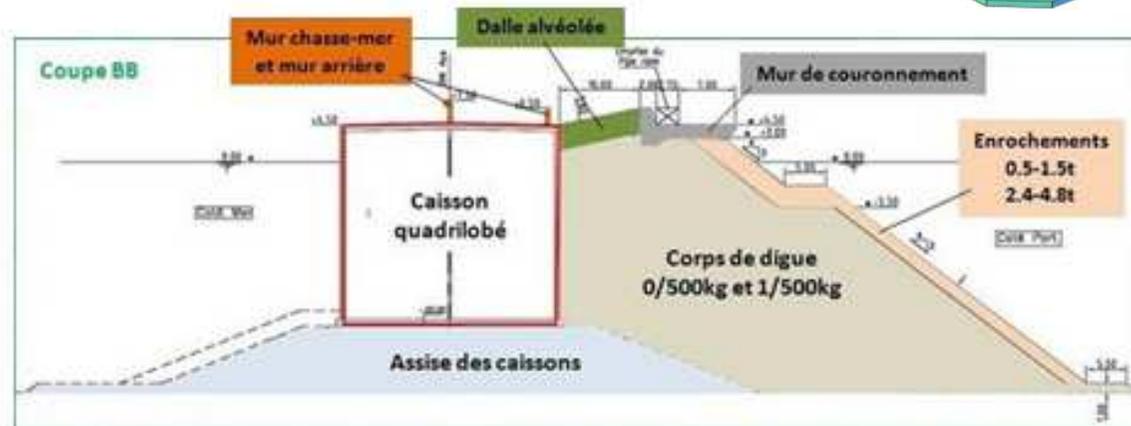
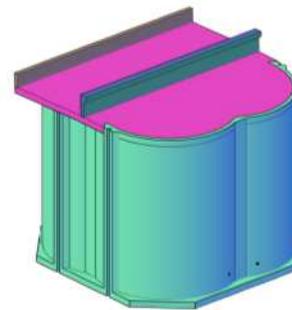
LE PROJET

- Extension du port maritime de Tanger-Méditerranée au Maroc (projet Tanger Med II) dans la zone de ksar El Majaz



LES DIGUES À INSTRUMENTER

- Réalisées en béton armé à partir de caissons préfabriqués quadrilobés.
- Caissons en béton ballastés et solidarisés en place
- Fondation en enrochement.



OBJECTIFS ET CONTRAINTES

▪ Objectifs de l'instrumentation:

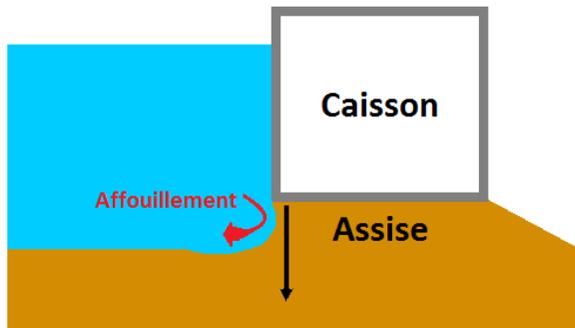
- Valider le comportement à long terme de l'ouvrage
 - ❖ Vieillessement de la structure
 - ❖ Interaction des caissons avec la fondation
- Prévenir l'apparition de désordre

▪ Contraintes techniques du dispositif:

- Linéaire important (2.7km en site offshore)
- Durable (adapté à la durée de vie de l'ouvrage)
- Résistant aux agressions intenses (environnement marin)
 - ❖ Agressions chimiques, corrosion très forte
 - ❖ Fréquence élevée de tempête avec forte houle (houle centennale >10m)
 - ❖ Risque de foudre et courants vagabonds (protection cathodique)

PRINCIPAUX RISQUES

- Affouillement de l'assise des caissons



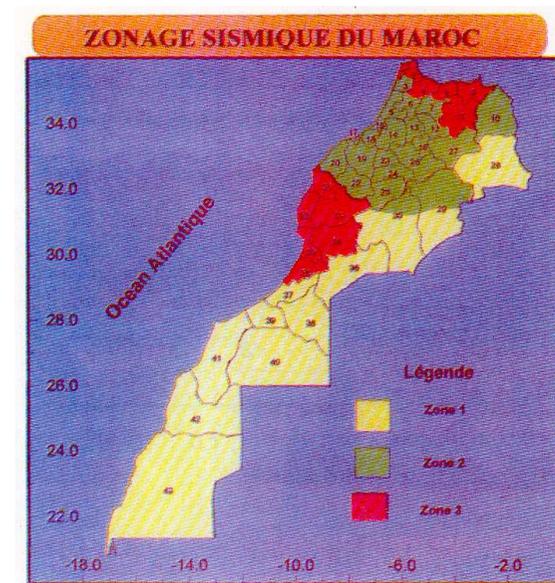
- Tempête, choc de vague



- Choc de bateaux



- Séisme



DISPOSITIF INSTALLÉ

Pathologies	Désordres	Capteurs
Affouillement partiel	Rotation du caisson	Inclinomètre, pendule inverse
Affouillement total	Déplacements verticaux différentiels	Jointmètre (axe vertical)
Choc de bateau	Déplacements horizontaux différentiels	Jointmètre (axes horizontaux)
Séisme	Vibration, déplacement, rotation	Accéléromètre, jointmètre, inclinomètre, pendule
Tempête, houle		
Corrosion	Protection cathodique sur l'ensemble de l'ouvrage (suivi par maître d'oeuvre)	

■ Mesures exhaustives sur l'ouvrages

- Ensemble des 106 caissons instrumentés par plus de 350 capteurs
 - ❖ Jointmètres triaxiaux (ensemble des caissons)
 - ❖ Inclinomètres (¼ des caissons)
 - ❖ Pendules inversés (5 caissons)
 - ❖ Accéléromètre (1 caisson en tête de digue)
 - ❖ Chaque mesure est associée à une mesure de température.

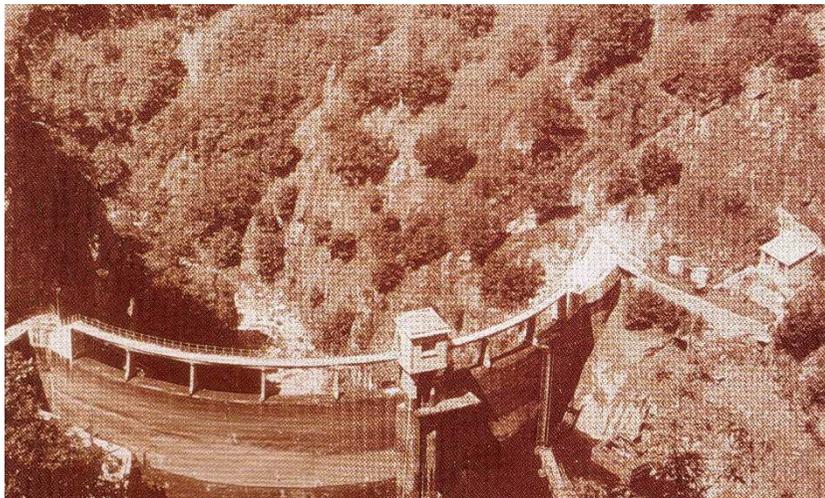
■ Conditions sévères

- Capteurs à corde vibrante pour les jointmètres et les inclinomètres avec liaison fibre optique
- Technologie optique pour les pendules automatiques
- Ensemble du matériel adapté aux conditions marines
 - ❖ capteurs et supports en Inox 316L/318 => haute résistance à la corrosion

CAPTEURS A CORDE VIBRANTE

■ Long retour d'expérience (80 ans)

- Le barrage-voûte de la Bromme (1930-1932) a été le premier barrage ausculté par témoins sonores (La Truyère)



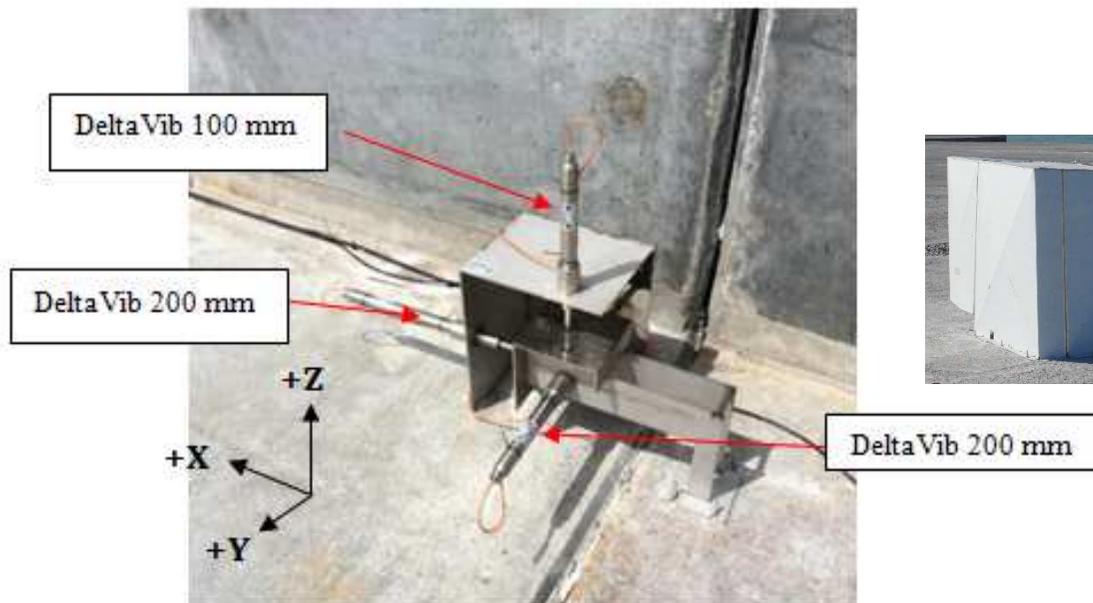
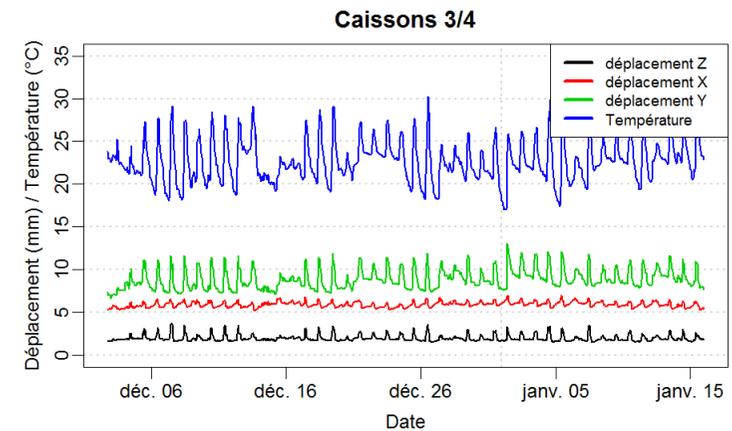
[N. Rosin-Corre, C. Noret, J.L. Bordes, CFBR 2012]

■ Avantages :

- Longévité du capteur (> 50 ans)
- Stabilité dans le temps (non dérive)
- Haute précision et résolution
- Immunité vis-à-vis des bruits environnants
- Indépendance vis-à-vis de la longueur des câbles
- Peu d'entretien/maintenance

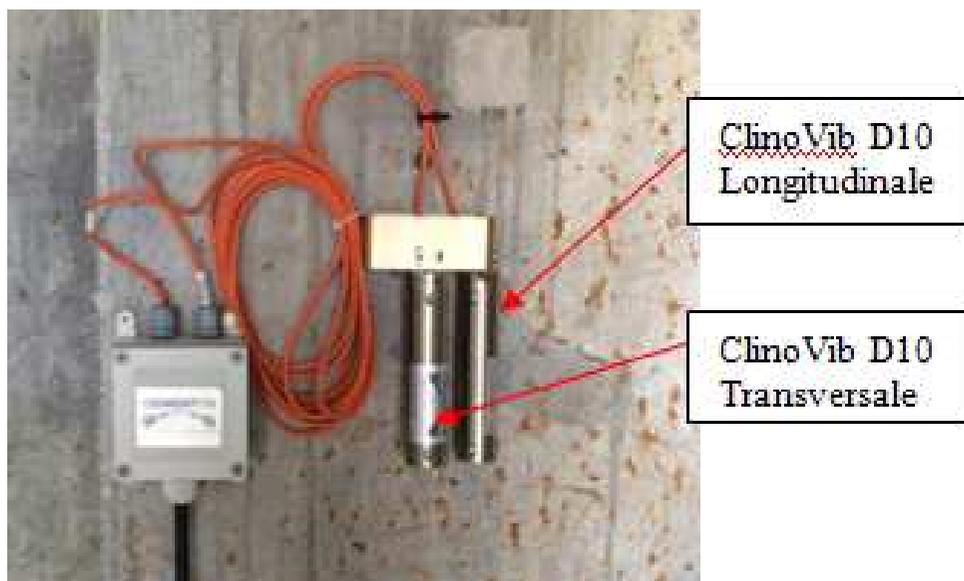
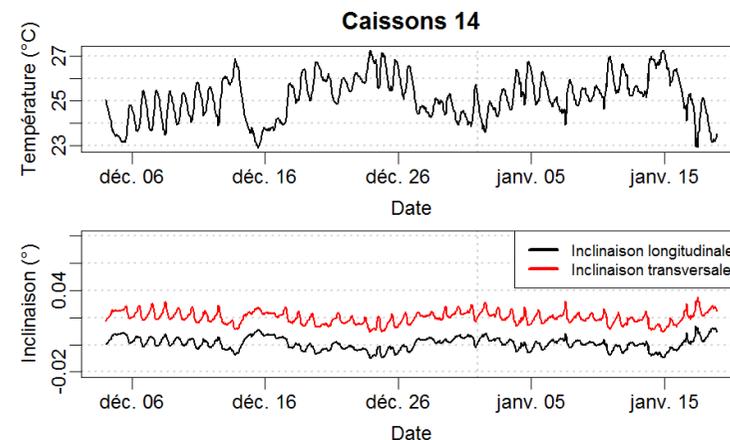
CAPTEURS INSTALLÉS

- **Jointmètre 3D (DeltaVib®)**
 - Corps et support en Inox 318
 - Mesure dans les 3 directions de l'espace :
 - ❖ Écartement des joints
 - ❖ Cisaillement horizontal et vertical
 - Mesure de température intégrée par thermistance



CAPTEURS INSTALLÉS

- **Inclinomètre 2D (ClinoVib®)**
 - Corps et support en Inox 318
 - Mesure des variations angulaires du caisson :
 - ❖ Longitudinale
 - ❖ Transversale
 - Mesure de température intégrée par thermistance
 - Local en béton armé



ClinoVib D10
Longitudinale

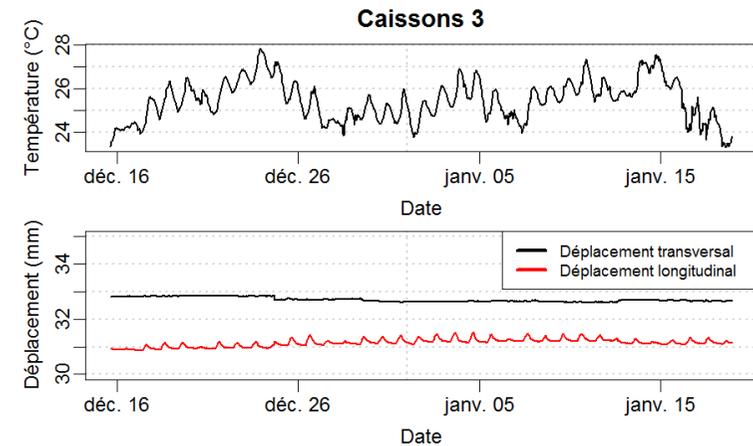
ClinoVib D10
Transversale



CAPTEURS INSTALLÉS

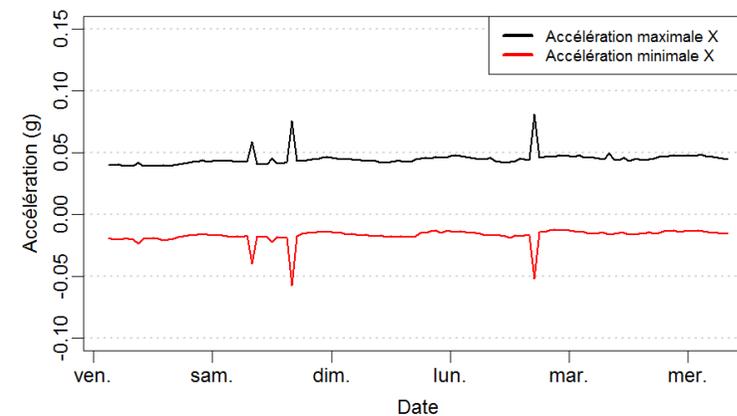
■ Pendule inversé

- Chaise, support et cuve en Inox 318
- Mesure des déplacements selon deux axes horizontaux
- Système de télémessure optique (matrice CCD) pour pendule (*PenduLog*®)
- Local en béton armé



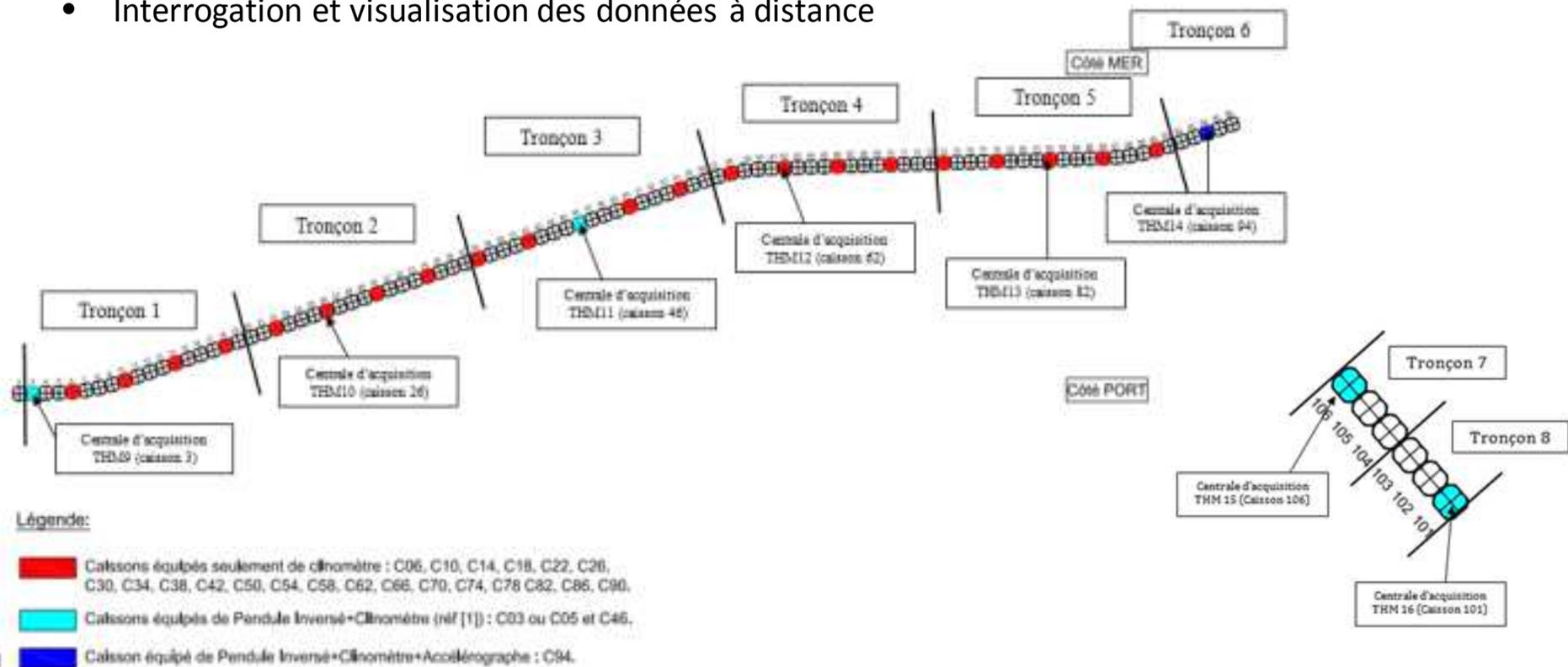
CAPTEURS INSTALLÉS

- **Accéléromètre 3D**
 - Corps de capteur en titane
 - Mesure les accélérations au point de fixation selon 3 axes (technologie MEMS-capacitive)
 - Etendu de mesure +/- 2g
 - Fréquence 0-1000 Hz
 - Haute sensibilité



ACQUISITION DES DONNÉES

- Réseau de 8 centrales d'acquisition **THMLogger**® réparties sur les digues
 - Découpage en 8 tronçons
- Communication via réseau fibre optique et RF 2.4 Ghz
- Ensemble du réseau raccordé à une centrale maitre (base de données dédiée)
 - Stockage des données sur un serveur RAID sécurisé
 - Interrogation et visualisation des données à distance



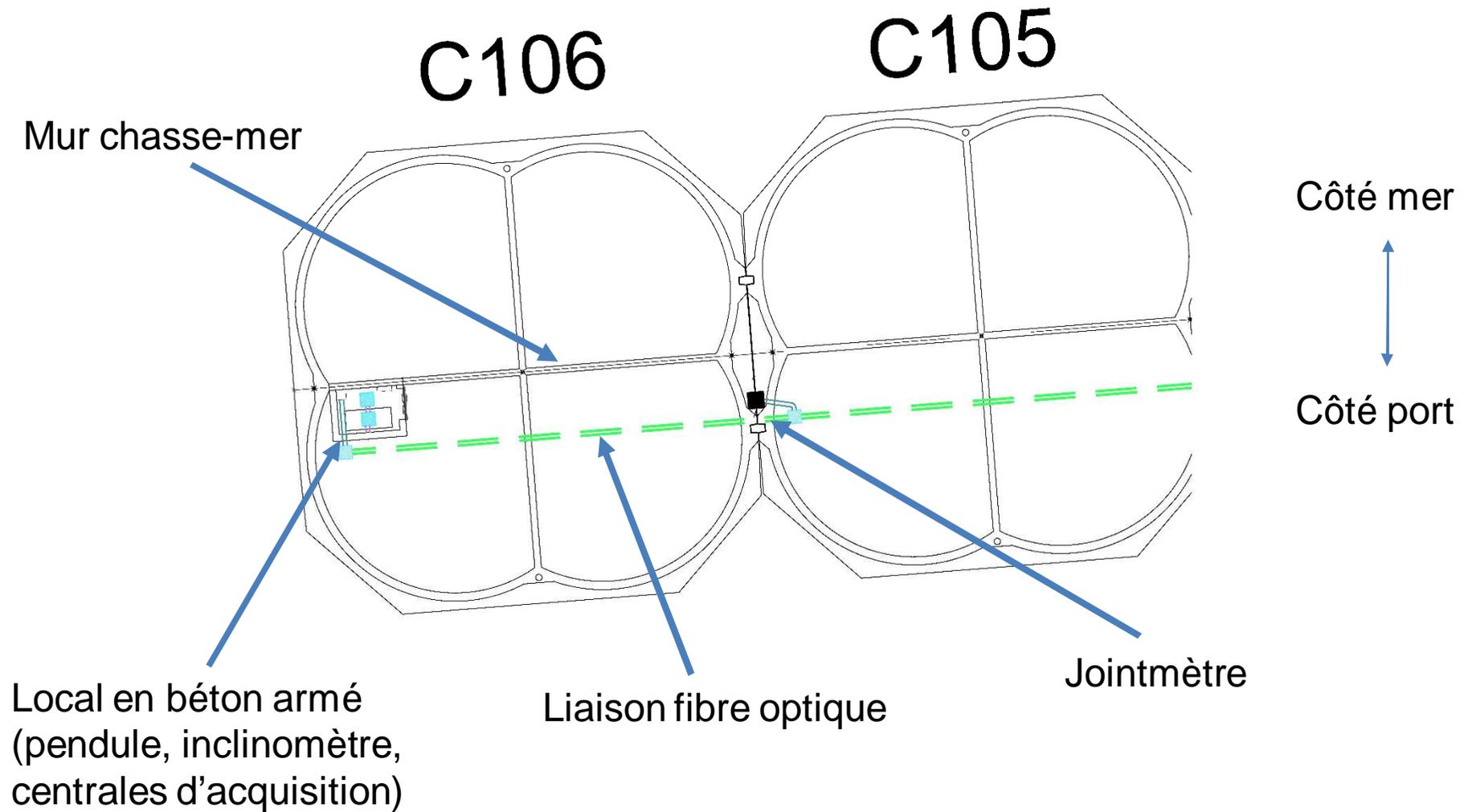
CENTRALE D'ACQUISITION

- **Acquisition statique (centrale THM logger®) :**
 - 1 mesure par heure sur l'ensemble des capteurs
 - Mean Time Between Failure de plusieurs centaines d'années
 - Plage d'utilisation très élevée de -55°C à + 85°C
 - Capteur de température interne
 - Très basse consommation (<0,1W)
 - Electronique fabriquée aux USA

- **Acquisition dynamique :**
 - Enregistrement 1 fois par heure des extremums sur la période et des signaux franchissant un certain seuil (choc de bateau, séisme, tempête).
 - Plage d'utilisation très élevée de -20°C à + 60°C
 - Echantillonnage 1000 Hz
 - Basse consommation (<5W)



POSITIONNEMENT



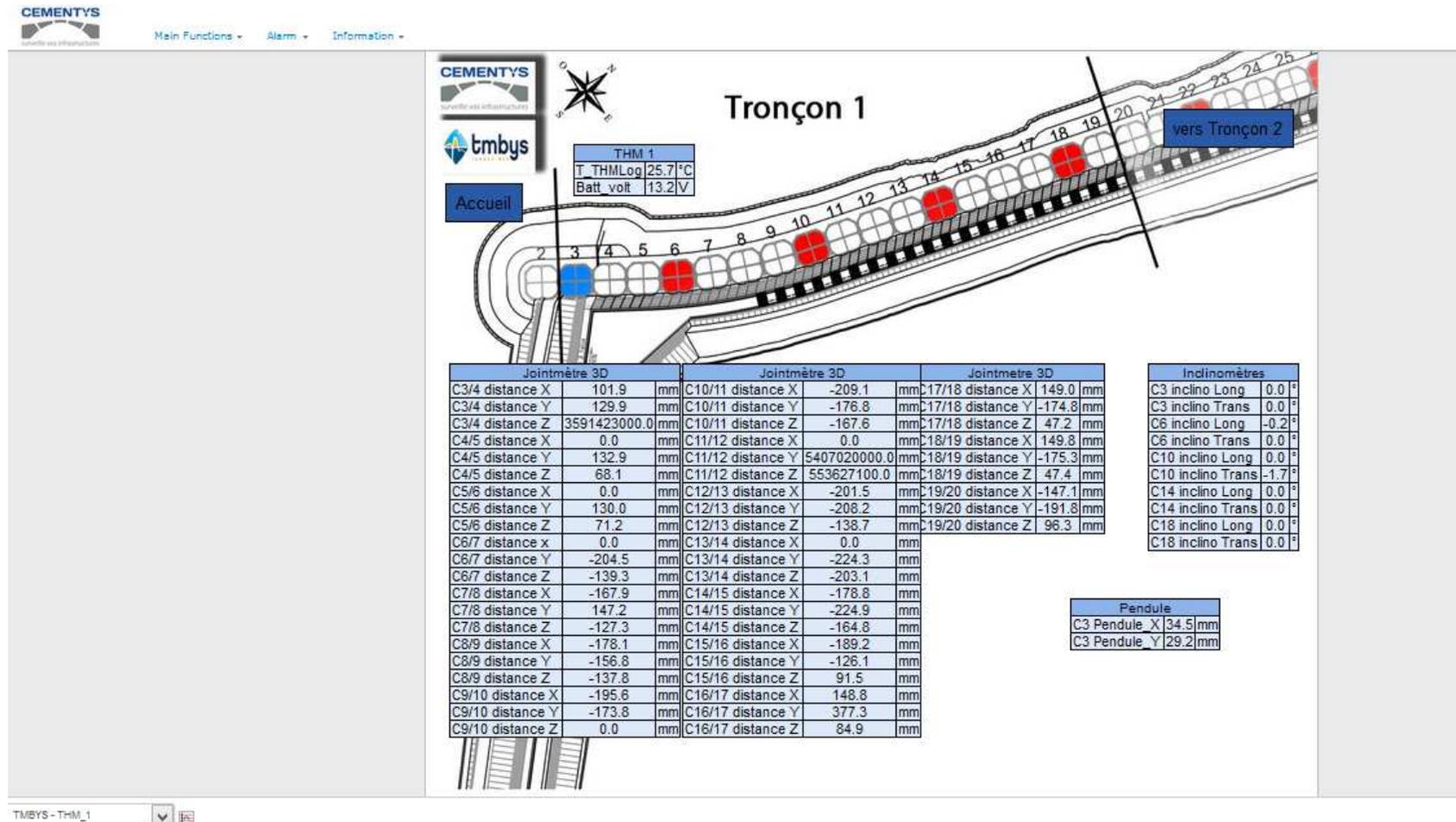
INTERFACE WEB (*THMInsight*[®])

The screenshot displays the THMInsight web interface. At the top left, there is a navigation menu with 'Main Functions', 'Alarm', and 'Information'. The main content area features a satellite image of a port with a long dam structure. Overlaid on the bottom of the satellite image is a technical diagram of the dam, divided into eight segments labeled 'Tronçon 1' through 'Tronçon 8'. A legend titled 'Légende' provides the following information:

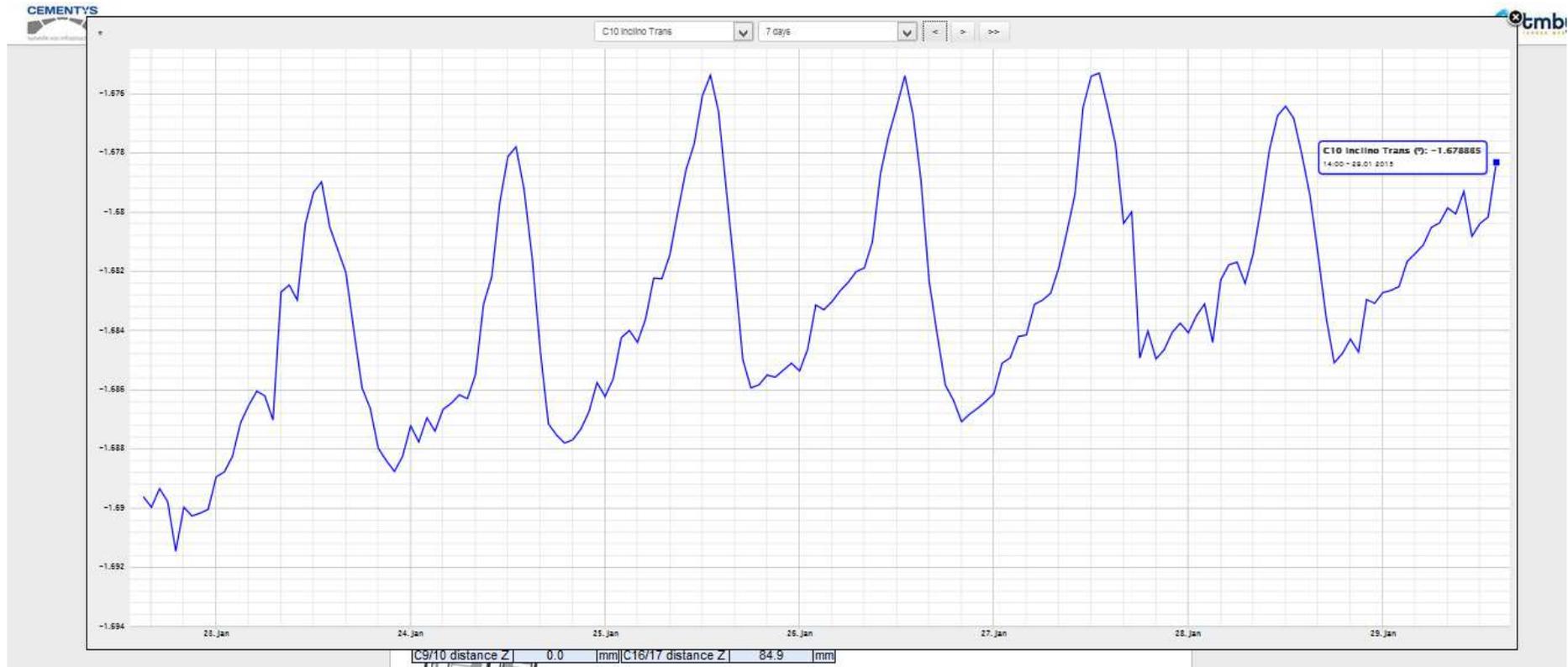
Légende	
Caissons équipés de clinomètre	■ (Red)
Caissons équipés de clinomètre + pendule inversé	■ (Blue)
Caissons équipés de pendule inversé + clinomètre + accélérographe	■ (Dark Blue)

The diagram shows various colored markers along the dam segments, corresponding to the legend. A compass rose is visible in the top right corner of the interface. The bottom left corner shows a dropdown menu with 'TMBYS - Digue' selected.

INTERFACE WEB (THMInsight®)



INTERFACE WEB (THMInsight®)



INTERPRETATION DES DONNÉES

- **Traitement des données directement sur le serveur local**

- **Analyse statistique sur mesure du type HST pour corrélérer les différents phénomènes explicatifs avec les mesures.**
 - Phénomènes susceptibles de faire réagir la digue:
 - ❖ Hauteur d'eau (marée, houle)
 - ❖ L'effet thermique (saisonnier + température réelle)
 - ❖ Les charges statiques et roulantes sur la digue
 - ❖ Présence ou non de bateau le long de la digue (station de ravitaillement)
 - ❖ Le vieillissement (effet temporel)
 - Correction des données et définition d'alarmes en cas d'apparition de comportement anormal
 - Phase d'apprentissage en cours

- **La corrélation entre les mesures dynamique et statique permettra l'analyse des conséquences irréversibles sur la digue dues à un évènement ponctuel.**

CONCLUSIONS

- Instrumentation installée dès la phase de construction (supervision CEMENTYS, pose TMBYS)
- 350 capteurs à corde vibrante, spécifiquement conçus pour résister dans un milieu agressif tel qu'un port maritime, 5 pendules inversés et un sismographe.
- Surveillance continue durant la durée de vie de l'ouvrage
- Détection des désordres dès leur naissance (maintenance préventive).
- Suivi en temps réel (centrales d'acquisition *THMLogger*[®] et interface *THMInsight*[®]).
- Le port Tanger Med II devient ainsi le port le plus instrumenté au monde



MERCI



maximetatin@cementys.com