

# GeRICO

## Gestion des risques structurels par ponts Connectés



STRAINS



*Projet aidé par l'Etat dans le cadre du Programme du Plan de Relance et suivi par le Cerema*



# APPEL À PROJETS PONTS CONNECTÉS

Un groupement d'acteurs complémentaires, des expériences communes ayant permis d'identifier un besoin récurrent

Un gestionnaire impliqué bien que non partenaire :  
Le Département de la Loire Atlantique

Partenaire	Rôle dans le projet	Compétences apportées au projet	Apports du projet au partenaire
<b>SCE</b>	Mandataire - Calculs linéaires, Approche AMO	AMO, Calcul ouvrages complexes	Renforcement de l'expertise AMO
<b>OSMOS</b>	Mise en œuvre de l'instrumentation, Exploitation et tri des data	Instrumentation	Développement de matériels plus accessibles s'appuyant sur la technologie de la corde optique
<b>STRAINS</b>	Calculs dynamiques et non linéaires, en appui à SCE pour l'interprétation des data	Calculs avancés	Valorisation de l'expertise calculs avancés
<b>Ville d'Angers</b>	Mise à disposition de son patrimoine	Gestionnaire OA	Renforcement des capacités de suivi

# GERICO

- Une famille d'ouvrages : les ouvrages de type Treillis métalliques
- Un constat : une surveillance difficile, faute d'instrumentation accessible et d'approches méthodologiques homogènes.
- Un principe de mesure : déformation en continu sur une durée minimum de 12 mois
- Une technologie : capteurs de déformation (Corde Optique) à connexion filaire, inclinomètres, accéléromètres, fissuromètres
- Des difficultés pressenties :
  - Sur la caractérisation des matériaux et des assemblages
  - Sur la caractérisation des désordres
  - Sur le filtrage des signaux pour se concentrer sur les modes propres principaux pour des structures de géométrie complexe



# GERICO

- Des moyens adaptés à l'ambition du projet et pour l'analyse des données :
  - Données statiques et dynamiques grâce à la prise de mesure à haute fréquence (100 Hz)
  - Ajustement des besoins en termes d'instrumentation
  - "Operational Modal Analysis" (OMA)
- Un résultat à destination directe des collectivités :
  - Informations sur la circulation réelle (pesage des convois lourds) et ses effets sur les ouvrages
  - Indice synthétique d'évolution, détection d'anomalies du comportement mécanique en temps réel et identification en temps réel des causes probables, déclenchement des IDP

# GERICO

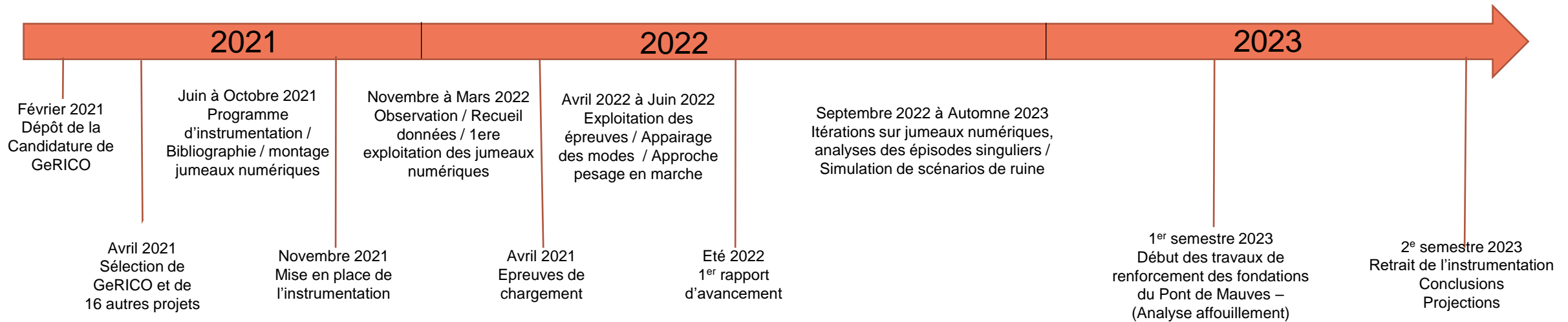
Des cas pratiques définis avec le soutien des collectivités

Des ouvrages ayant déjà fait l'objet d'études avancées par les membres du groupement

Ouvrages proposés	Typologie	IE	Enjeux et objectifs de l'étude
Grand pont de Mauves / La Loire RD 31 à MAUVES / LOIRE CD 44 Loire Atlantique 	Pont cage en fer puddlé de 1882. Poutres latérales et treillis multiples rénové en 2020. 482 ml 11 travées, appuis fondés sur pieux bois	2 IQA	Instrumentation de 2 travées contiguës à une pile soumise à affouillement/tassement. Suivi du comportement mécanique sous exploitation.
Pont Du Haut Village / La Loire RD 37 St Julien de Concelles CD 44 Loire Atlantique 	Pont cage en fer puddlé 1882. Poutres latérales et treillis multiples. 225 ml 5 travées appuis fondés sur pieux bois	2E IQA	Instrumentation des 2 travées contiguës à P10 présentant un risque d'affouillement et/ou de tassement. Suivi du comportement mécanique sous exploitation.

# GERICO

## Avancement du projet





# GERICO

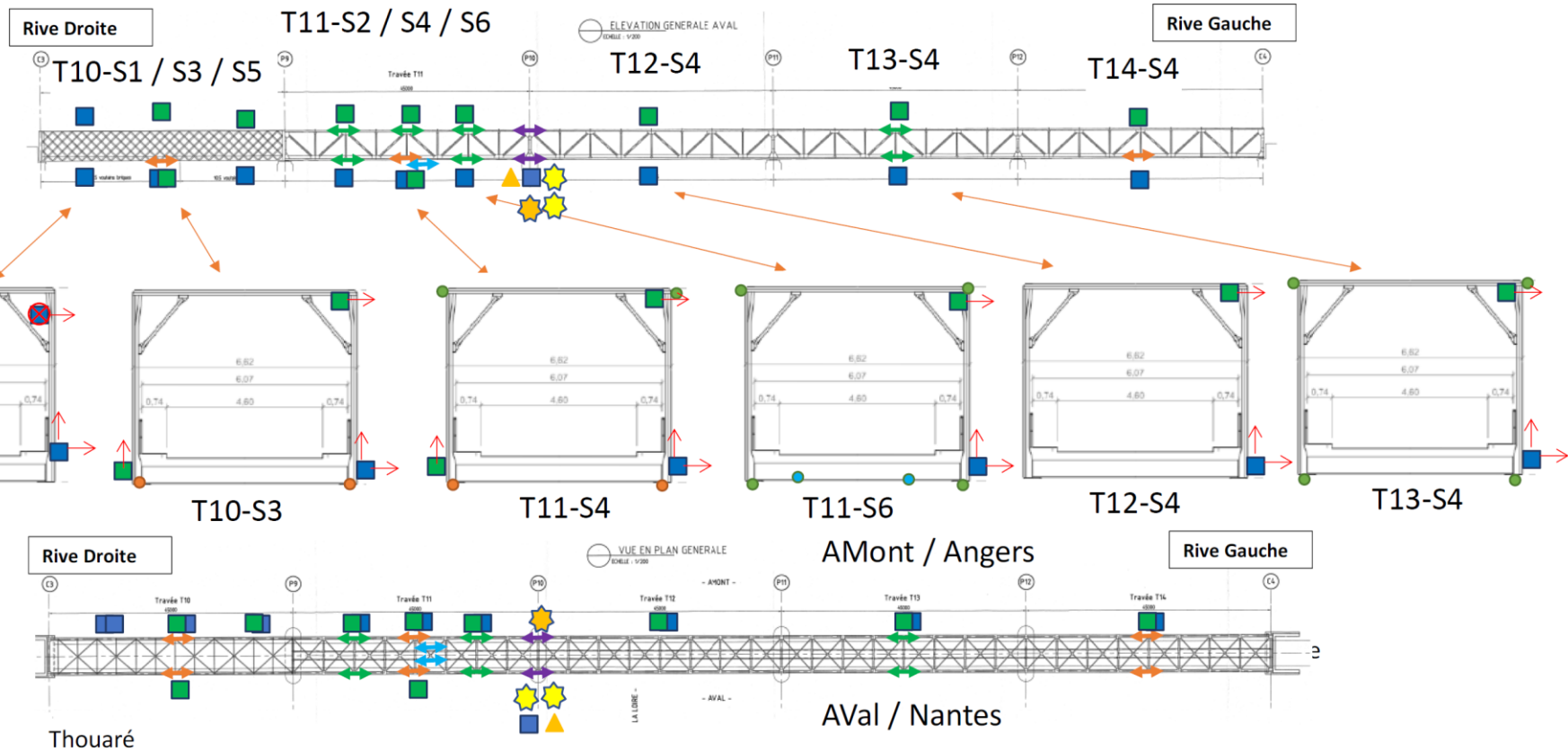
## Instrumentation : Pont du Haut-Village



21 accéléromètres



26 cordes optiques

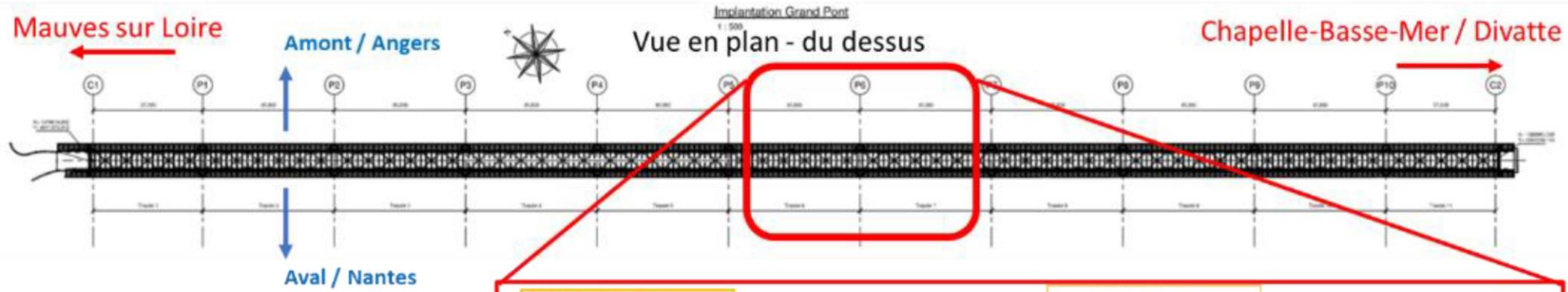


3 stations EDAS

- |  |  |  |                              |
|--|--|--|------------------------------|
|  | Cordes optiques en place (x6)                      |  | Accéléromètre bi-axe (x11)   |
|  | Cordes optiques pour contrôle affouillement (x4)   |  | Accéléromètre mono-axe (x10) |
|  | Cordes optiques pour le WIM (mesures essieux) (x2) |  | Inclinomètre bi-axe (x1)     |
|  | Cordes optiques pour recalage modèle (x14)         |  | Station existante            |
|  |  |  | Nouvelles stations (x2)      |

# GERICO

Instrumentation :  
Pont de Mauves



2 accéléromètres

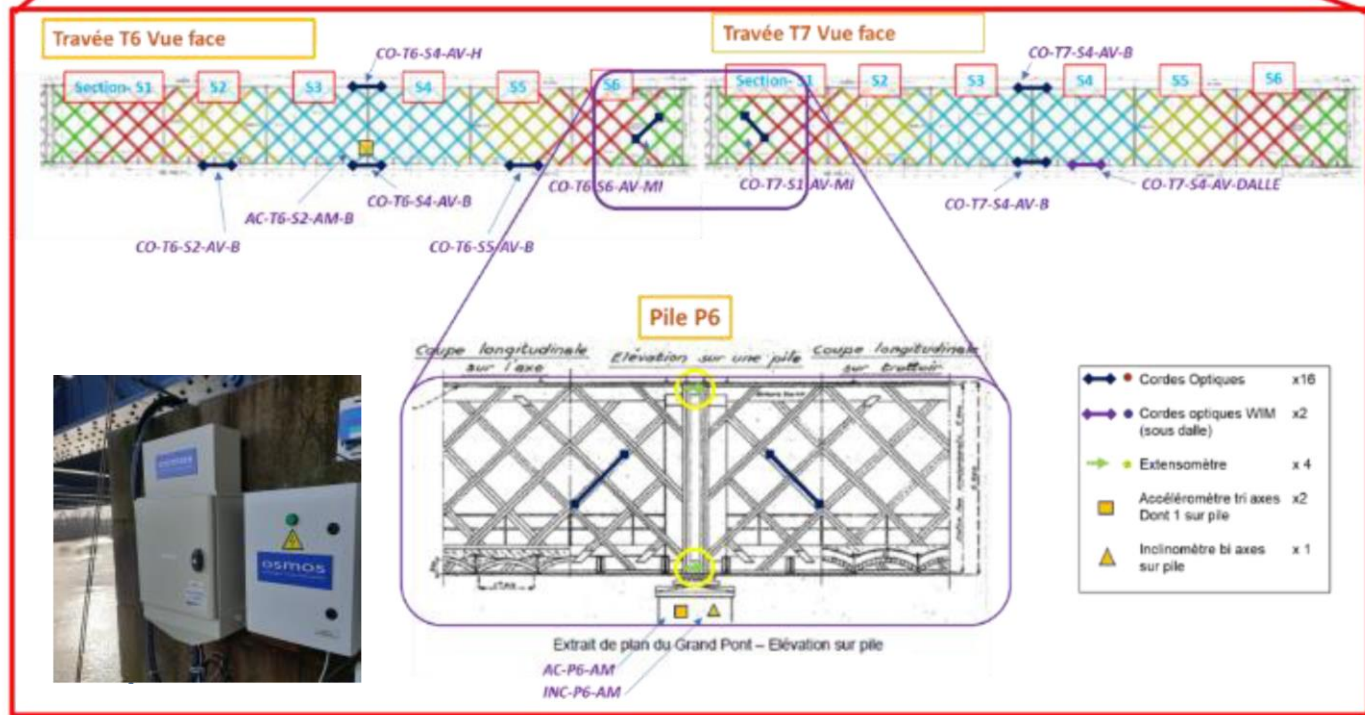
Instrumentation sur  
Travée T6  
Travée T7  
Pile P6



18 cordes optiques



4 extensomètres



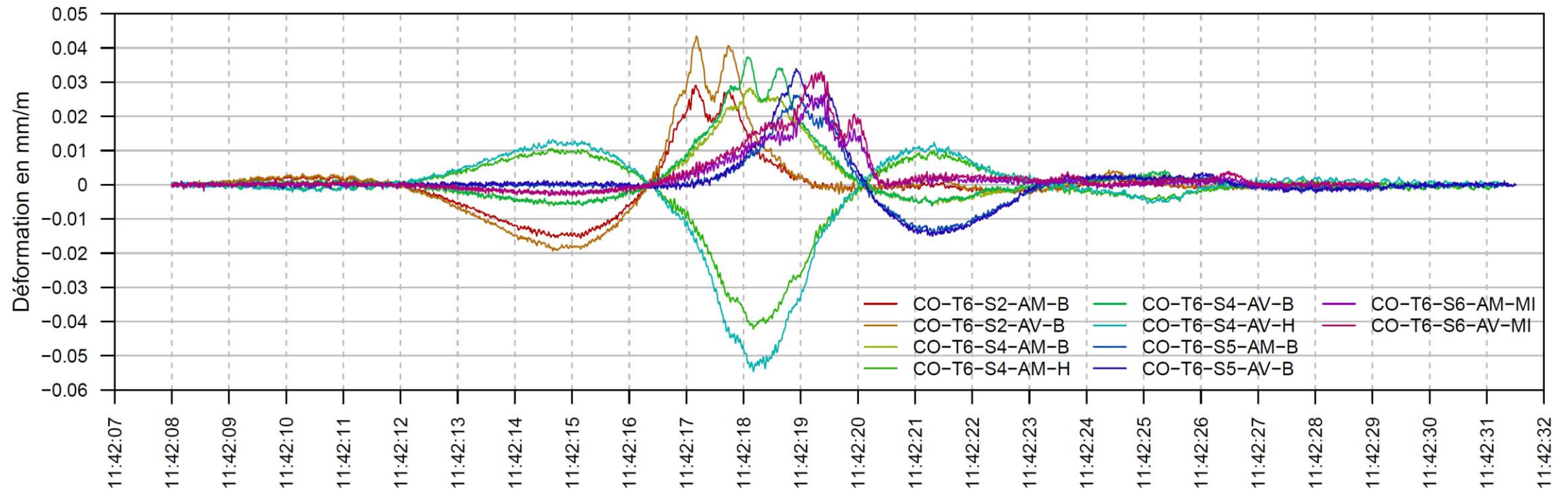
2 stations EDAS



# GERICO

Données brutes : exemple sur les cordes optiques de la travée T6 du pont de Mauves au passage d'un véhicule

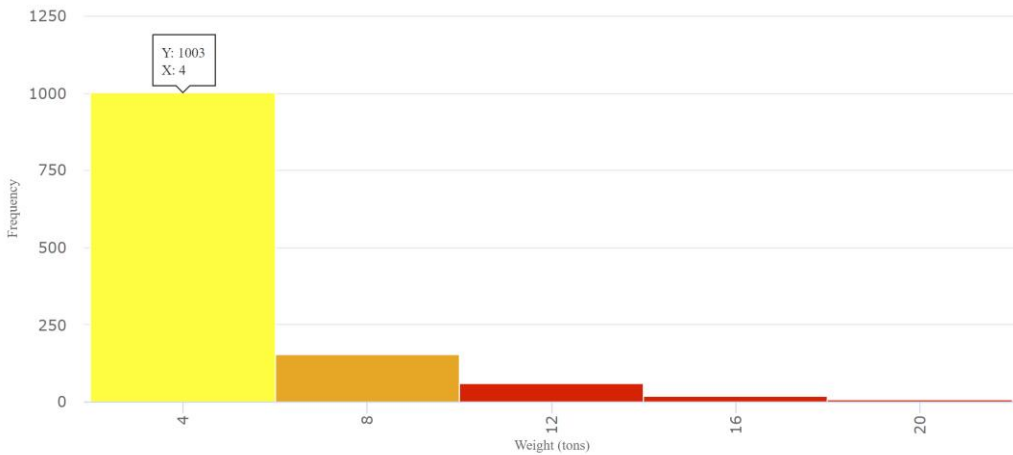
CO Travée 6 : Évènement du 30/03/2022 à 11:42:07



# GERICO

## Résultats :

### Pesage en marche dynamique des véhicules, détection des surcharges en temps réel



Passages [ACCÉDER À SAFE TRAFFIC](#)

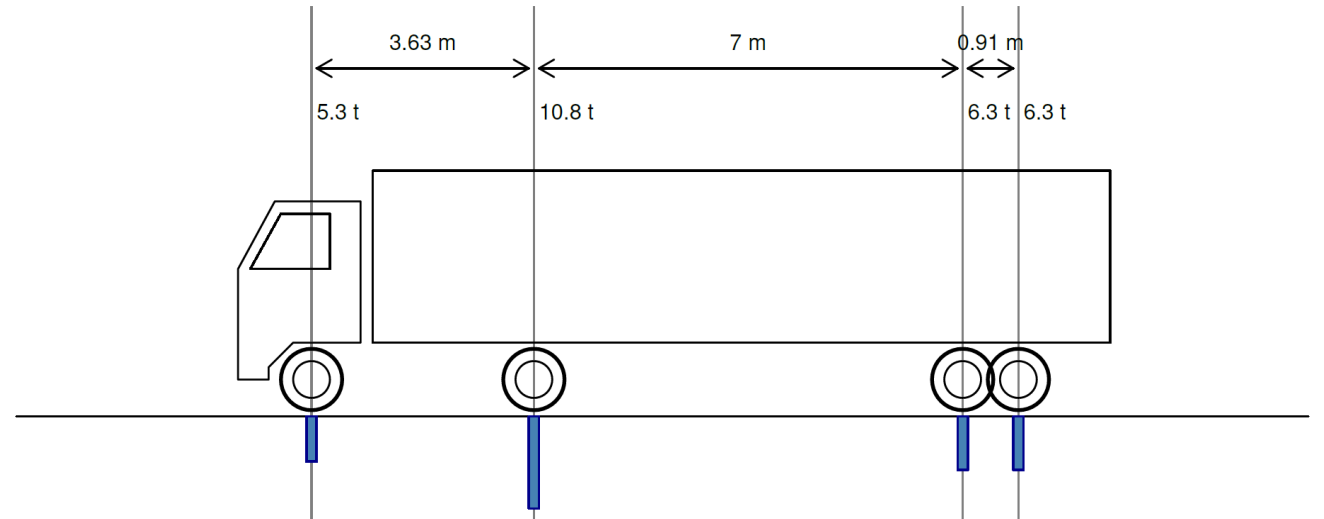
Tous

Voir	Id ↓	Date	Heure	Direction	Essieux	Longueur (m)	Vitesse (km/h)	Poids	Plaque	Image	Vidéo	Autorisation	Confiance	Actions
👁	13352	29/09/2022	08:47:29	N-S	3	11.129	29	16.3	-	-	-	-	4	🔗
👁	13351	29/09/2022	08:40:59	S-N	2	2.3	27.6	4	-	-	-	-	4	🔗
👁	13350	29/09/2022	08:37:03	N-S	2	4.827	56.1	4.6	-	-	-	-	3	🔗
👁	13349	29/09/2022	08:31:46	N-S	2	3.536	57.9	5.5	-	-	-	-	3	🔗

## Passage Data Sheet

Time : 2022/03/30 at 11:42:16 UTC  
 Maximum Strain (mm/m) : 0.0306  
 Gross Weight (tons) : 28.7  
 Number of Axles : 4  
 Length (m) : 11.5  
 Speed (km/h) : 46.7  
 Direction : N-S  
 Additional information : Crossing FALSE / Near FALSE

Confidence Level : 0 1 2 3 4 4 Reliable Result with good similarity to the load test cases



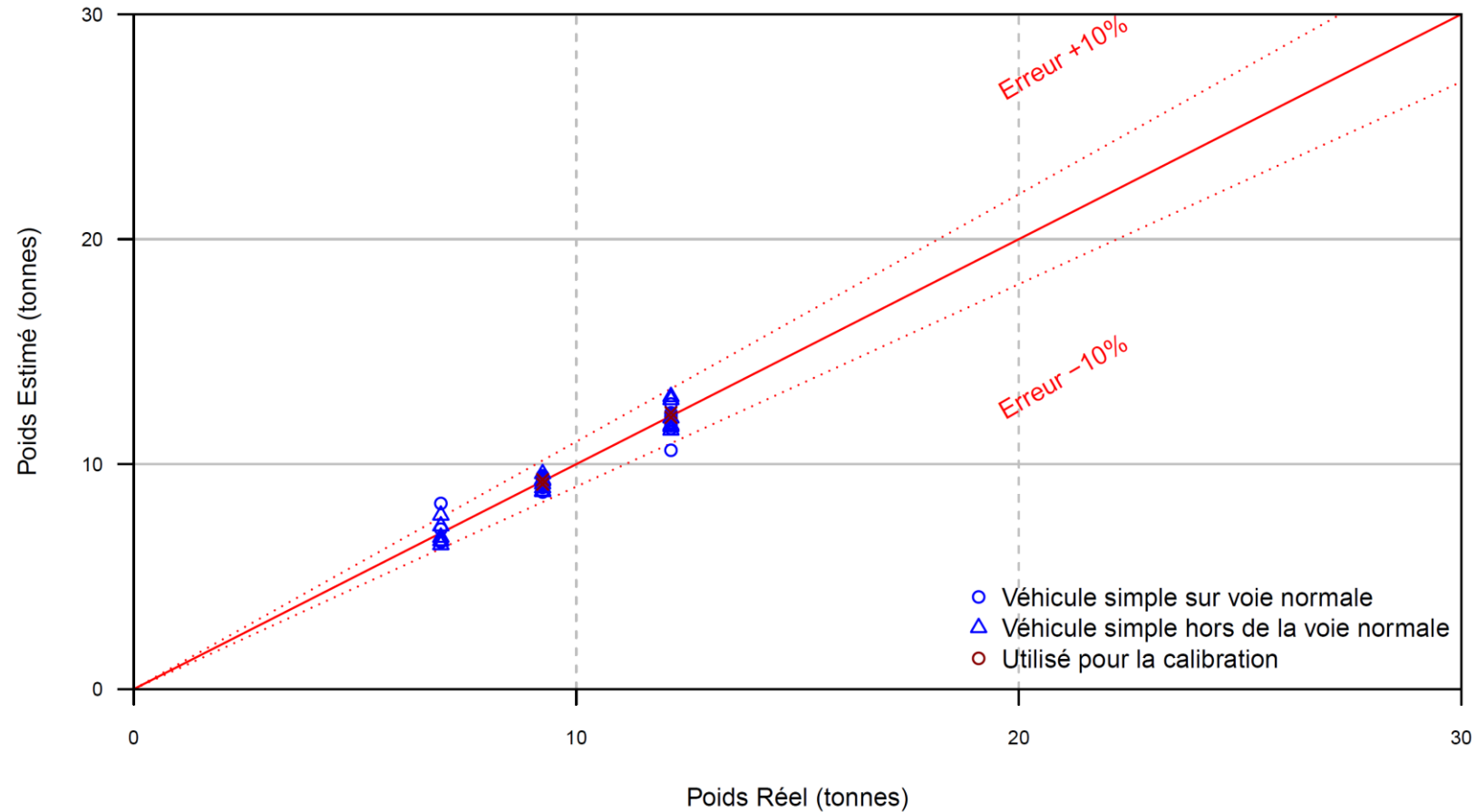
# GERICO

## Résultats :

Le pesage par pont instrumenté est calibré par un test de charge dynamique en conditions réelles de circulation, le 20/04/2022 pour le Haut-Village et le 21/04/2022 pour Mauves.

Poids total estimé avec une marge de +/- 10% pour le Haut-Village et +/- 7% pour Mauves.

Charge à l'essieu estimée avec une marge de +/- 10% sur le pont de Mauves.



# GERICO

## Analyse Modale :

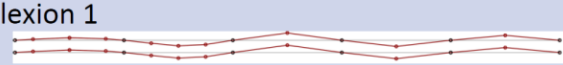

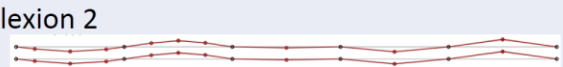




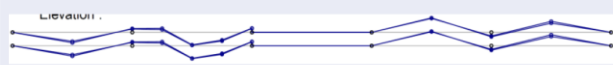




- Sur le Haut-Village :

Concordance entre modes en accélération et modes en courbure déduits des cordes optiques (pour les modes de flexion).









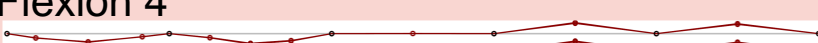










Vérification de la pertinence d'utiliser des mesures concaténées issues d'enregistrements séparés.

- Sur Mauves :

Modes en courbure uniquement, sur deux travées.

Modes en accélération (journée du 20/01/2022)	Fa (Hz)	Damp. Acc	Fc (Hz)	Damp. Cou	Modes en courbure (journée du 20/01/2022)
Flexion 1 	2,94	1,5%	2,95	1,7%	
Flexion 2 	3,32	1,8%	3,31	1,9%	
Flexion 3 	3,62	1,9%	3,65	1,8%	
Flexion 4 	4,16	1,5%	4,24	1,8%	
Flexion 5 	4,51	1,6%	4,52 – 4,58	2,3%	
Torsion 1 	6,71	1,4%	Non détecté		
Torsion 2 	7,89	1,5%	Non détecté		
Torsion 3 	8,25	1,4%	Non détecté		
Torsion 4 	8,71	0,5%	Non détecté		

# Analyse Modale Opérationnelle : Comparaison hiver et été

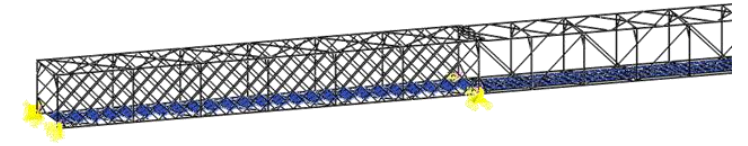
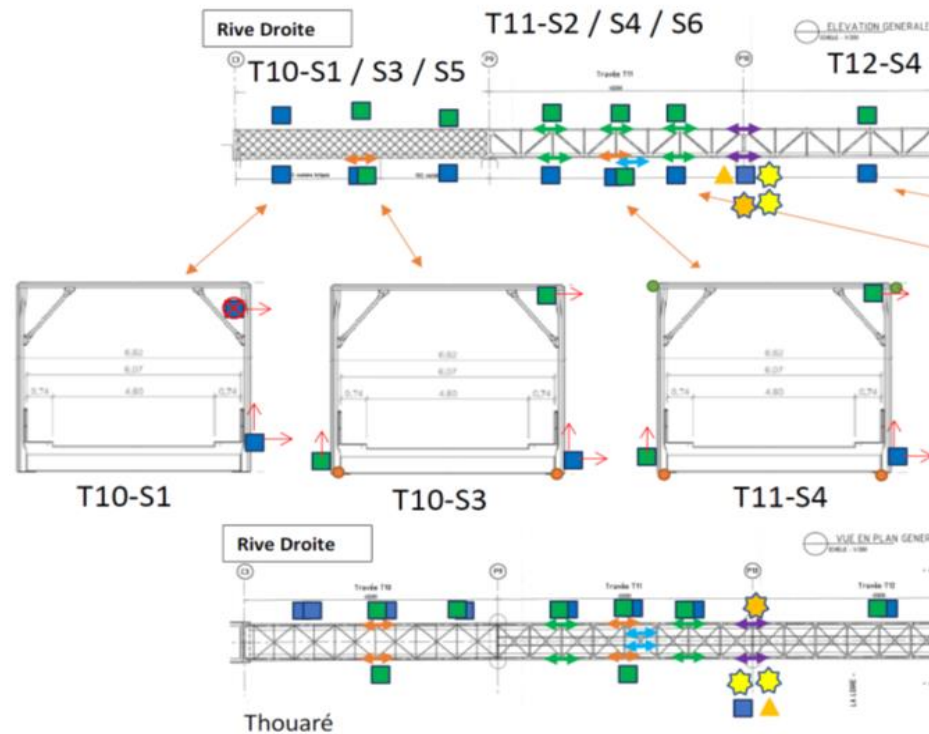
Modes en accélération (journée du 20/01/2022)	F (Hz)	Damp.	F (Hz)	Damp.	Modes en accélération (journée du 18/07/2022)
Non détecté			2,27	5,1%	Transversal 
Flexion 1 	2,94	1,5%	2,95	2,8%	Flexion 1 
Flexion 2 	3,32	1,8%	3,29	3,3%	Flexion 2 
Flexion 3 	3,62	1,9%	3,68	2,0%	Flexion 3 
Flexion 4 	4,16	1,5%	4,16	1,9%	Flexion 4 
Flexion 5 	4,51	1,6%	4,48	2,7%	Flexion 5 
Torsion 1 	6,71	1,4%	6,61	2,1%	Torsion 1 
Torsion 2 	7,89	1,5%	7,83	2,6%	Torsion 2 
Torsion 3 	8,25	1,4%	8,13	2,3%	Torsion 3 
Torsion 4 	8,71	0,5%	8,55	2,0%	Torsion 4 



# GERICO vers l'idée d'un jumeau numérique

Le **dialogue** entre mesures et **modèle structurel** permet :

- De mieux représenter la réalité de l'état de l'ouvrage à un instant t donné ;
- De simuler des scénarios de ruine de l'ouvrage ;
- De détecter des pathologies : affouillement de piles, dégradation de section conduisant à un déficit de raideur...



Ouvrage



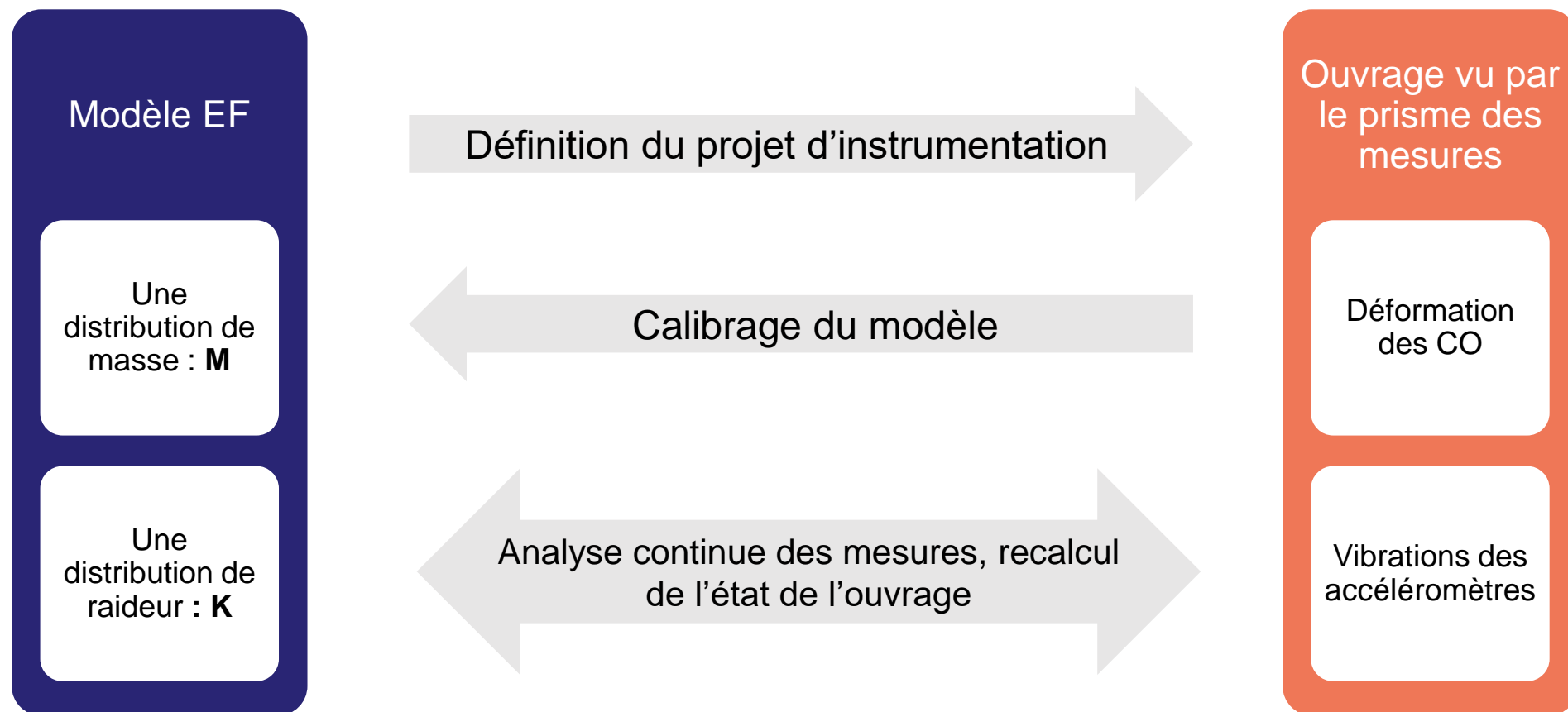
Instrumentation



Modèle Eléments Finis

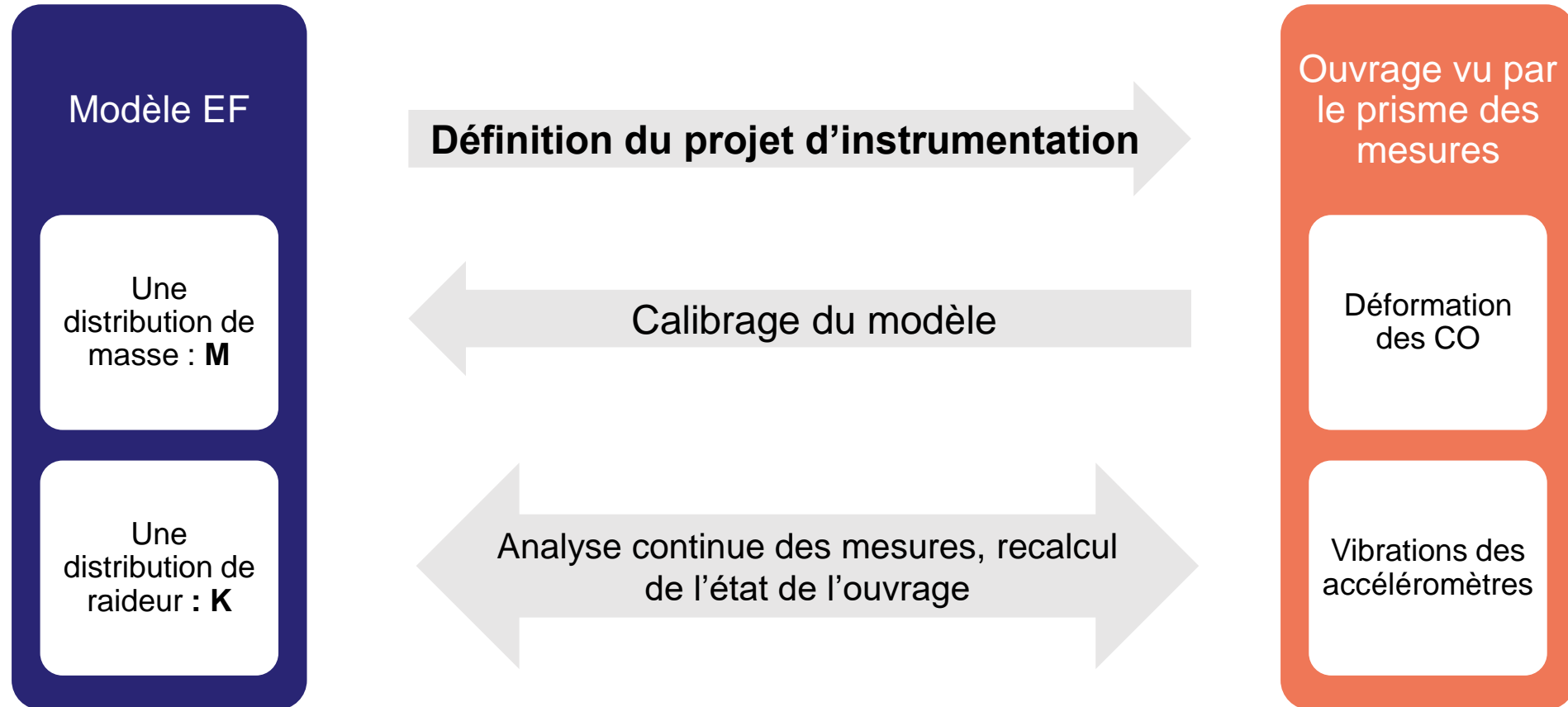
# GERICO

*Dialogue entre ouvrage et mesures*



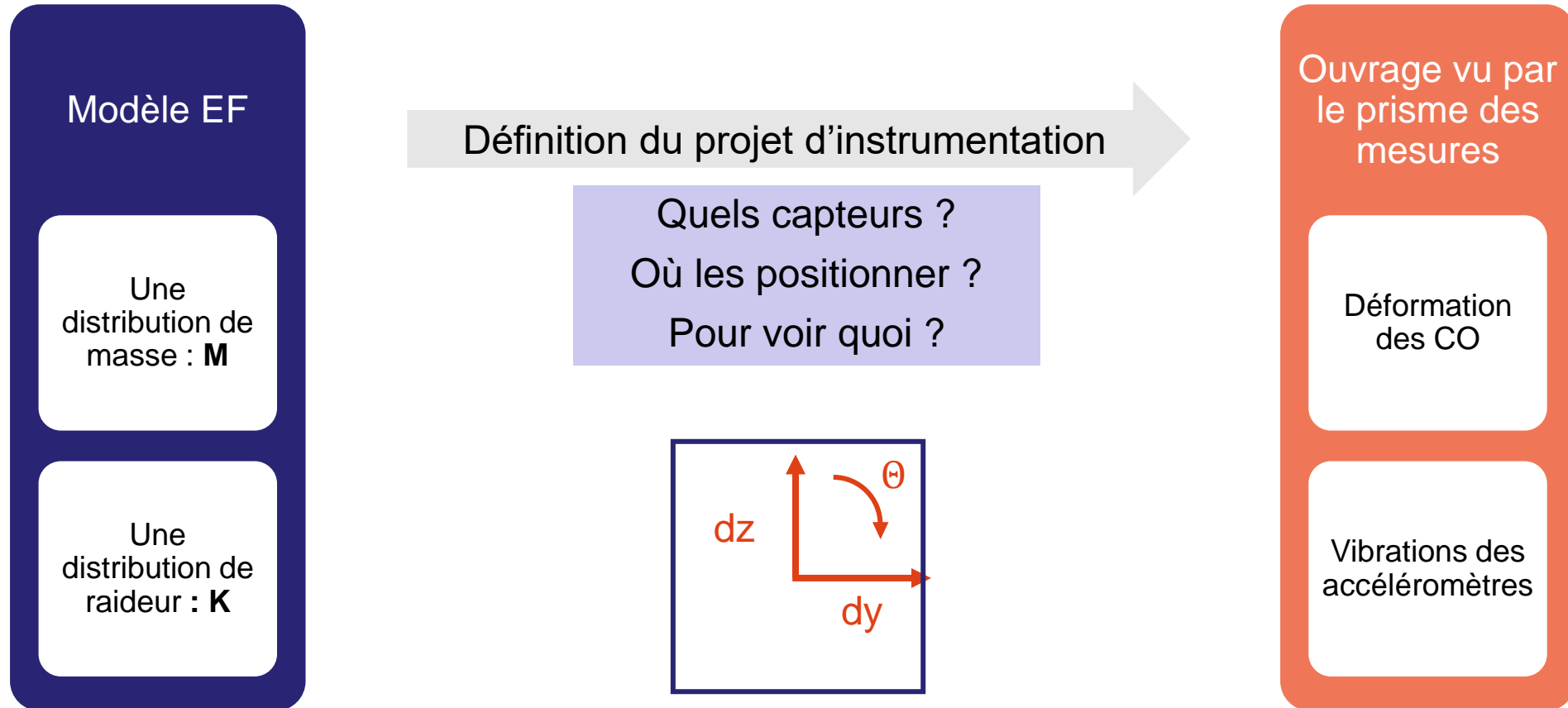
# GERICO

*Dialogue entre ouvrage et mesures*



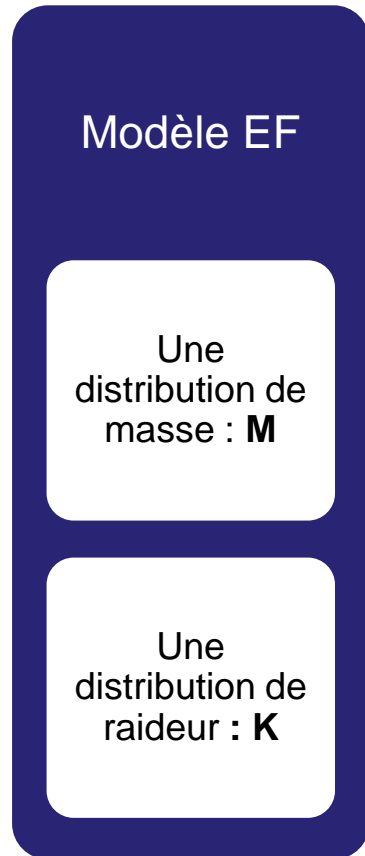
# GERICO

Définition du projet d'instrumentation



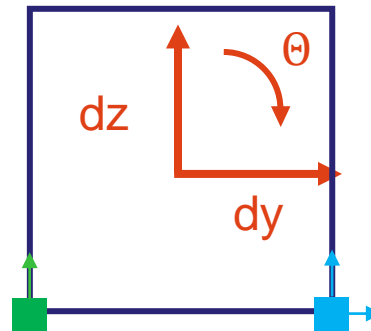
# GERICO

Définition du projet d'instrumentation



Définition du projet d'instrumentation

Quels capteurs ?  
Où les positionner ?  
Pour voir quoi ?



Ouvrage vu par  
le prisme des  
mesures

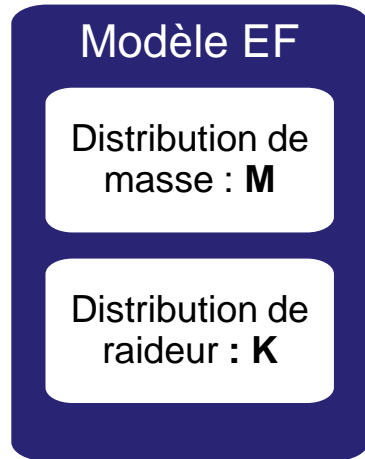
Déformation  
des CO

Vibrations des  
accéléromètres



# GERICO

Définition du projet d'instrumentation



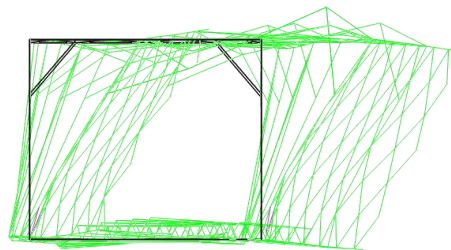
Définition du projet d'instrumentation

Quels capteurs ?  
Où les positionner ?  
Pour voir quoi

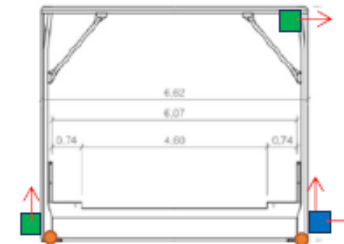
Ouvrage vu par le prisme des mesures

Déformation des CO

Vibrations des accéléromètres



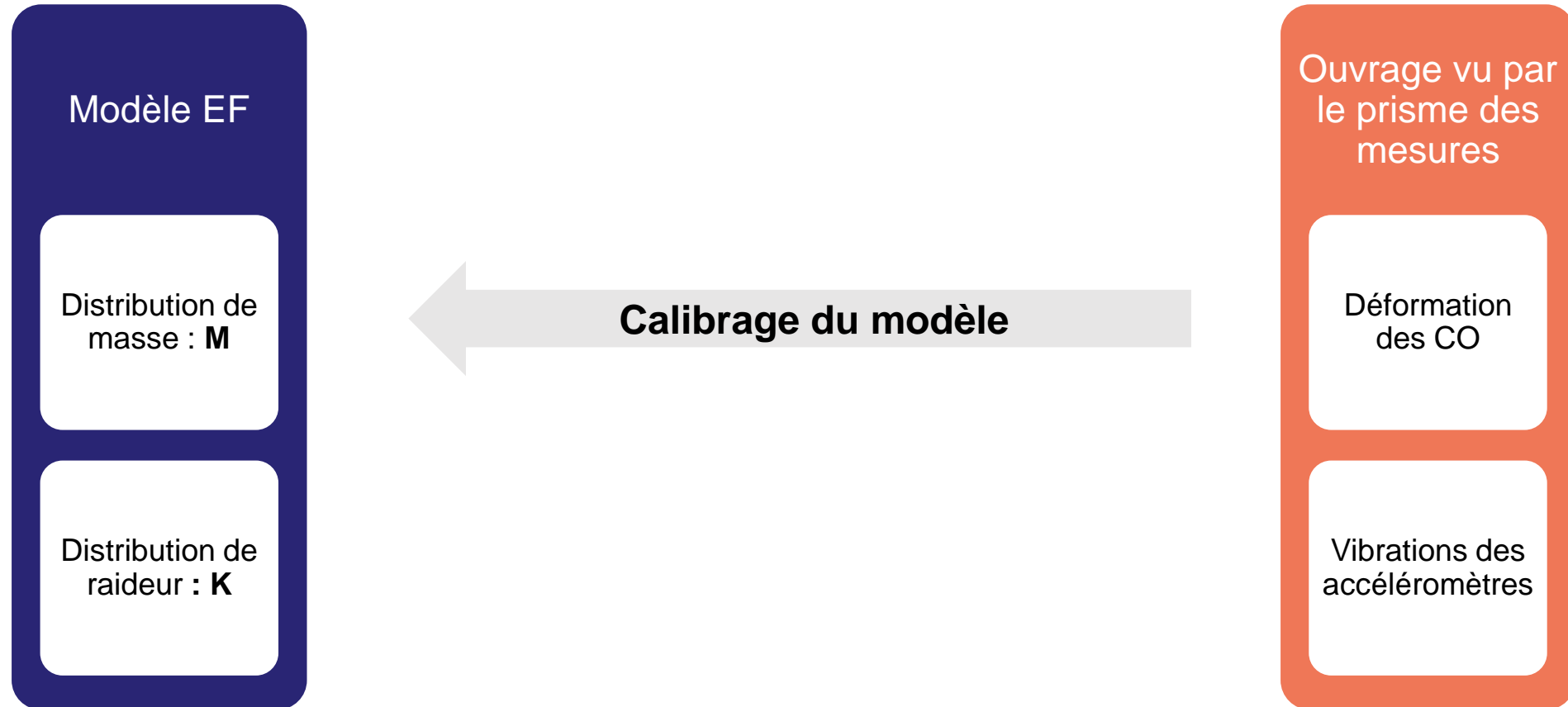
Mode de mise en parallélogramme : le cadre du pont se tord et n'agit pas comme un bloc monolithique



3 accéléromètres dans une section pour voir ce phénomène et le distinguer d'une torsion

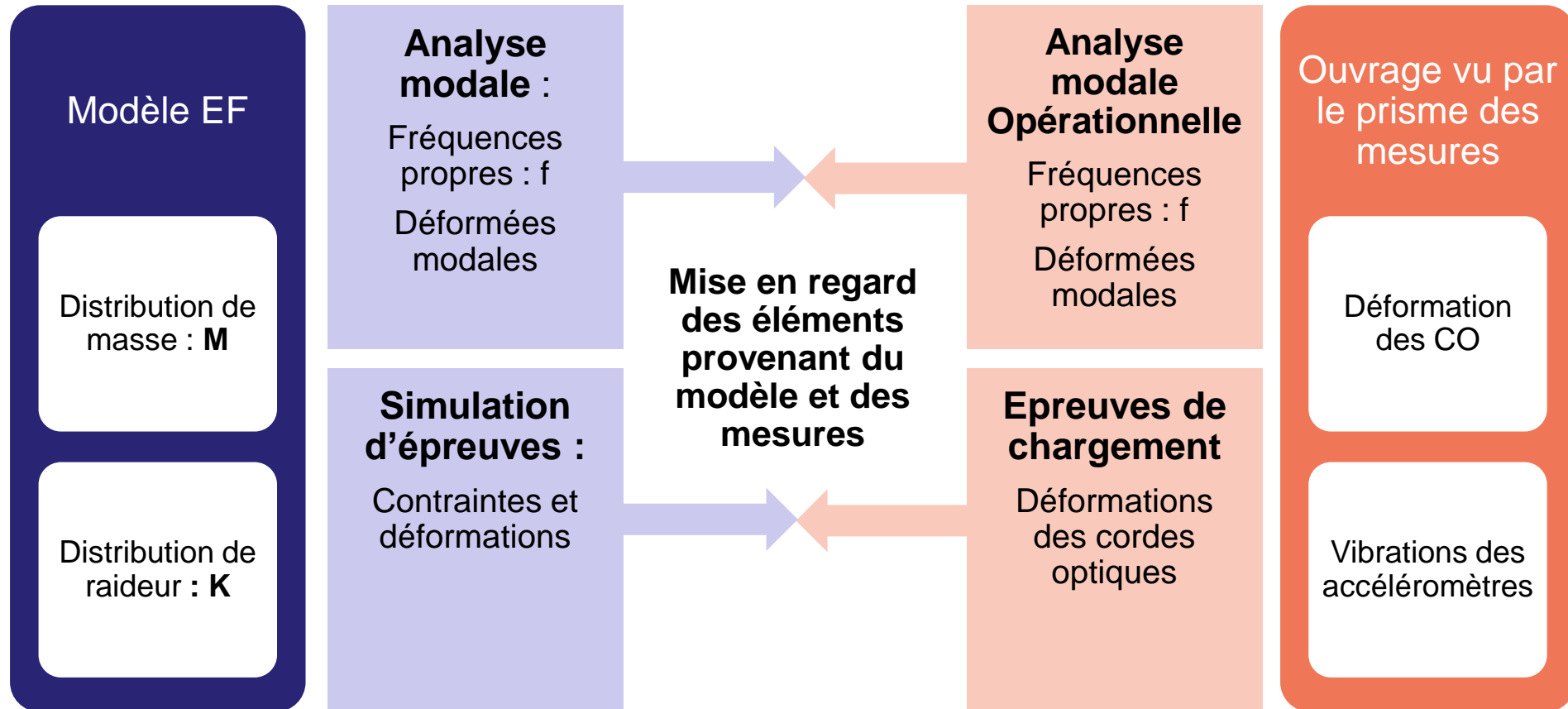
# GERICO

*Dialogue entre ouvrage et mesures*



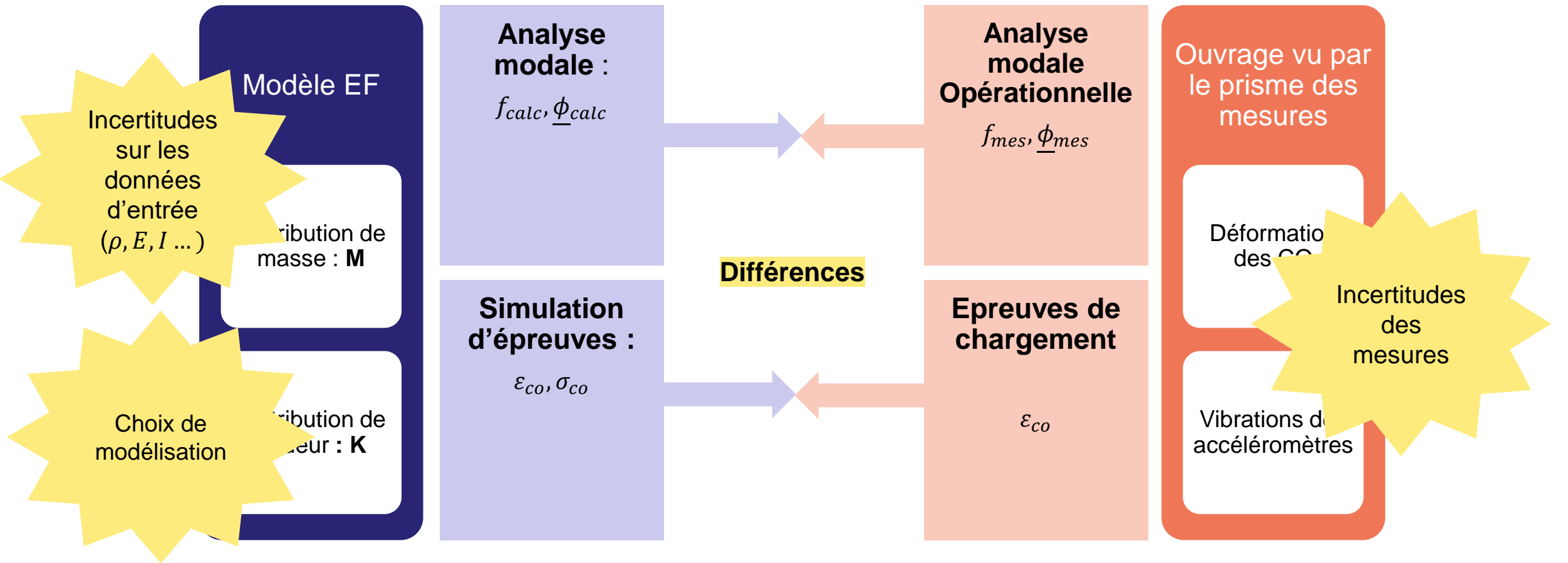
# GERICO

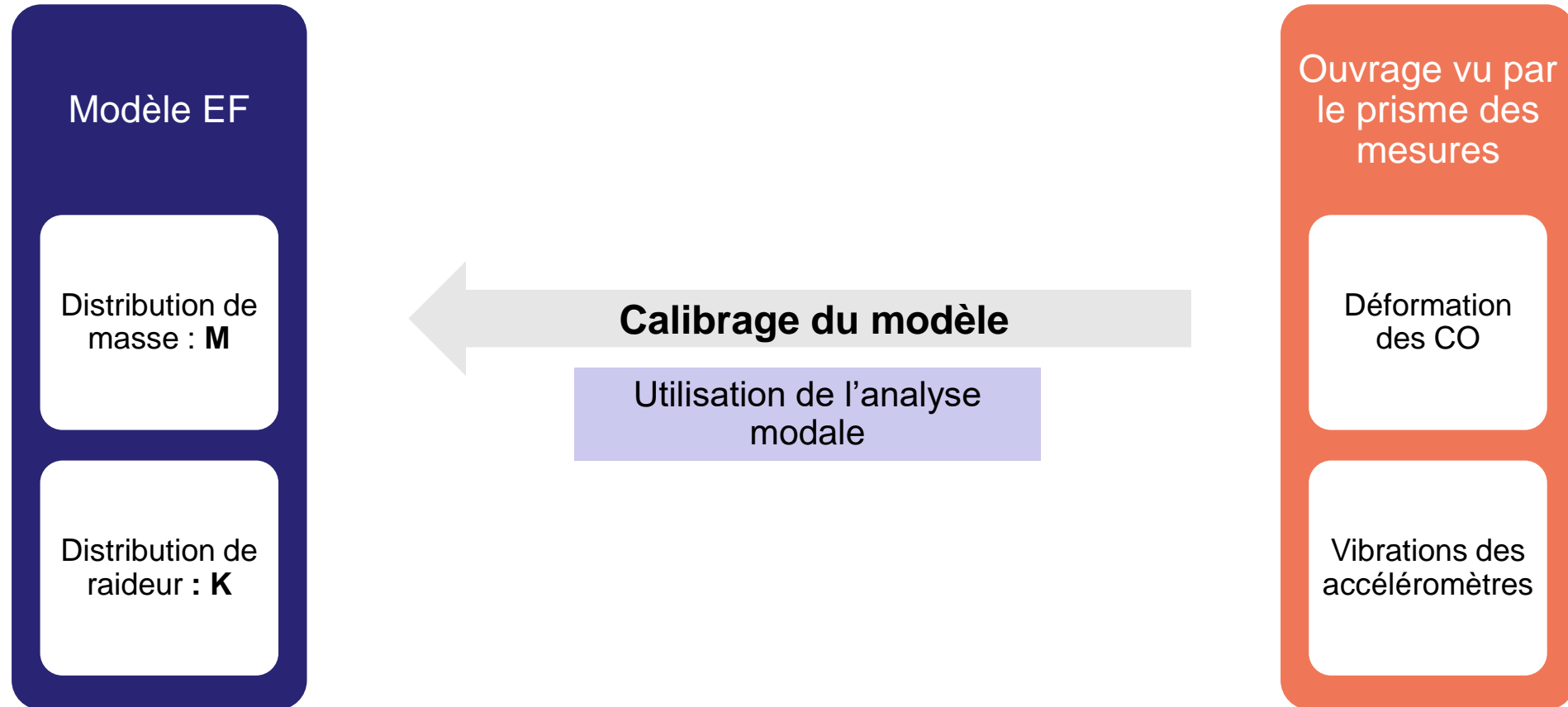
Dialogue entre ouvrage et mesures : les outils



# GERICO

Dialogue entre ouvrage et mesures : les outils





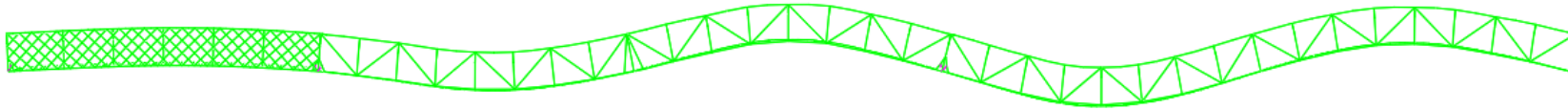


# GERICO *Exemple d'appairage réussi*

## Mode exp. 1 – Flexion verticale

Fréquence numérique : 2,530 Hz

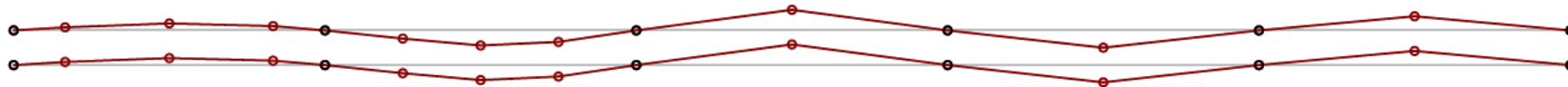
Indice de corrélation : 0,932



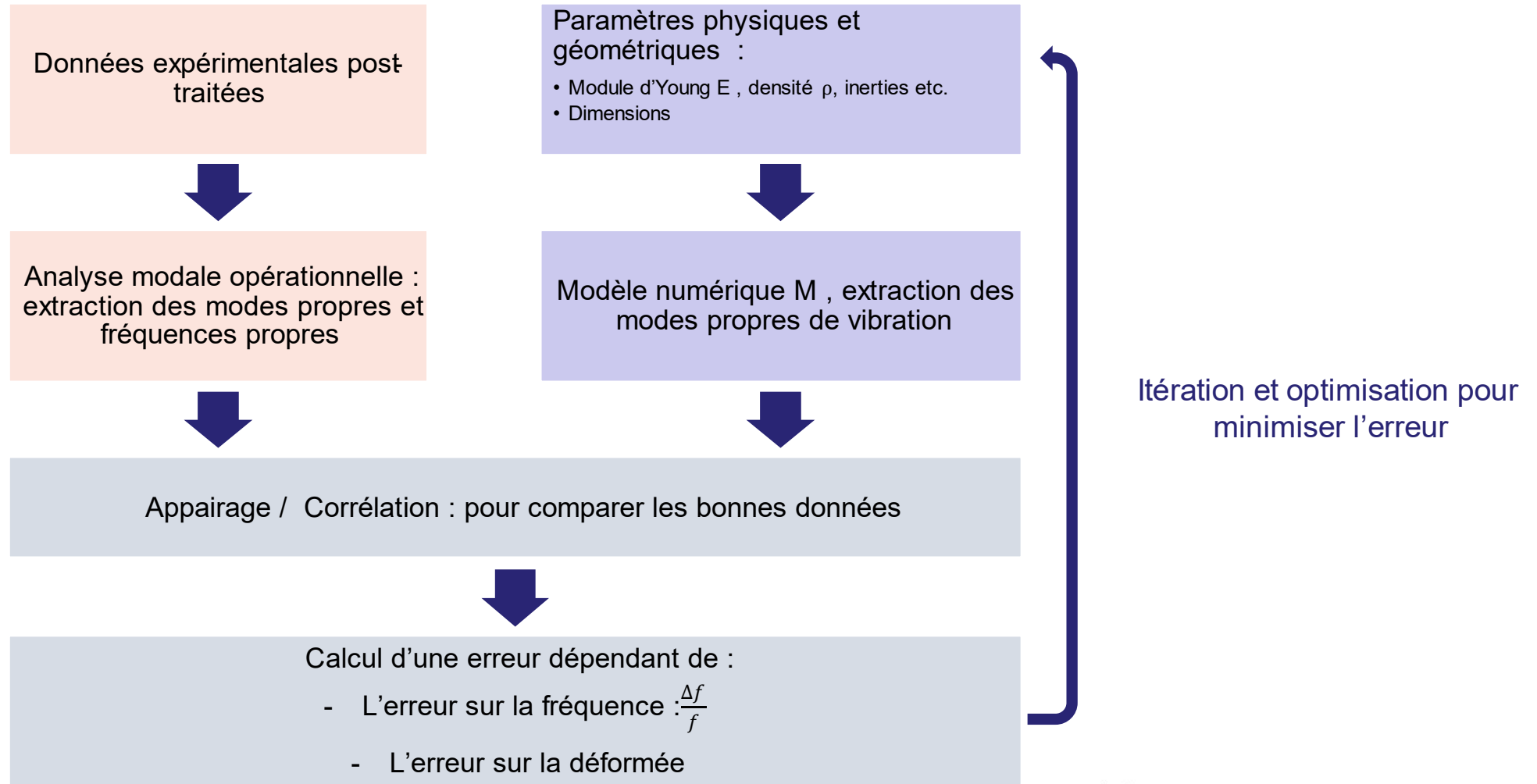
Mode  $f = 2.89$  Hz, amortissement = 0.0187

mode 1

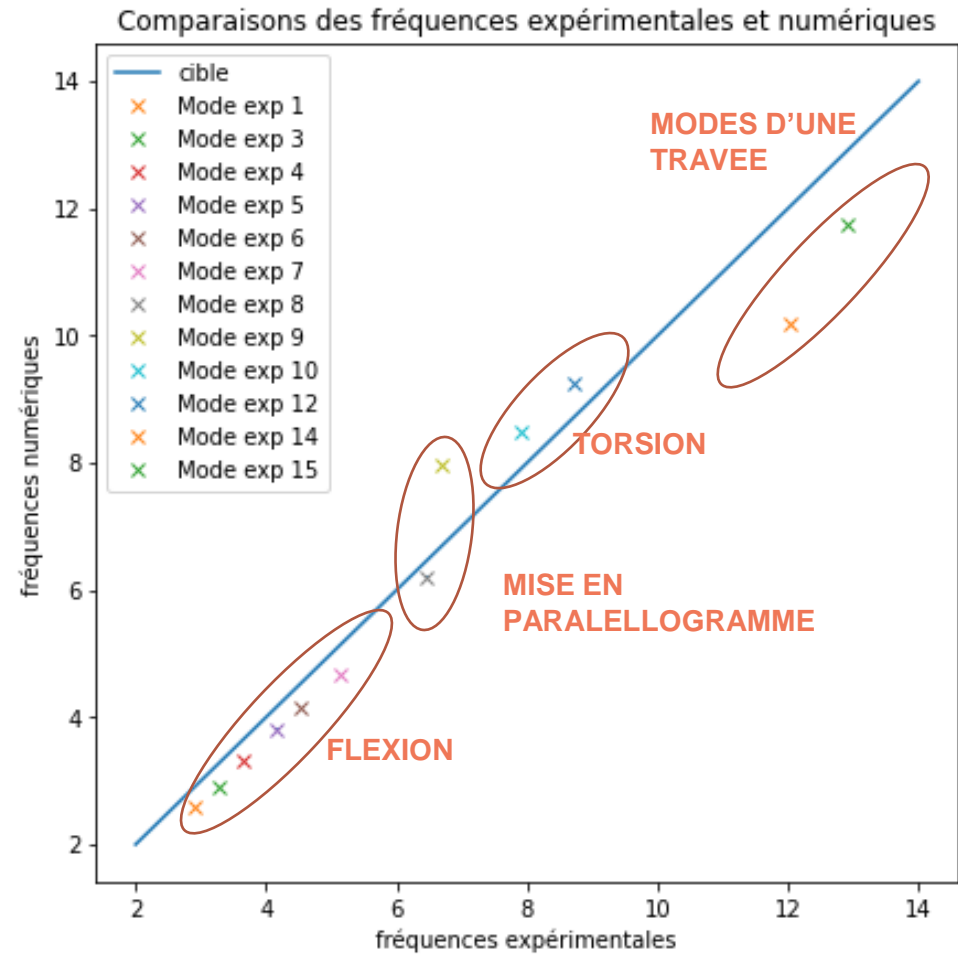
Élévation :



# GERICO *Principe du processus de recalage*

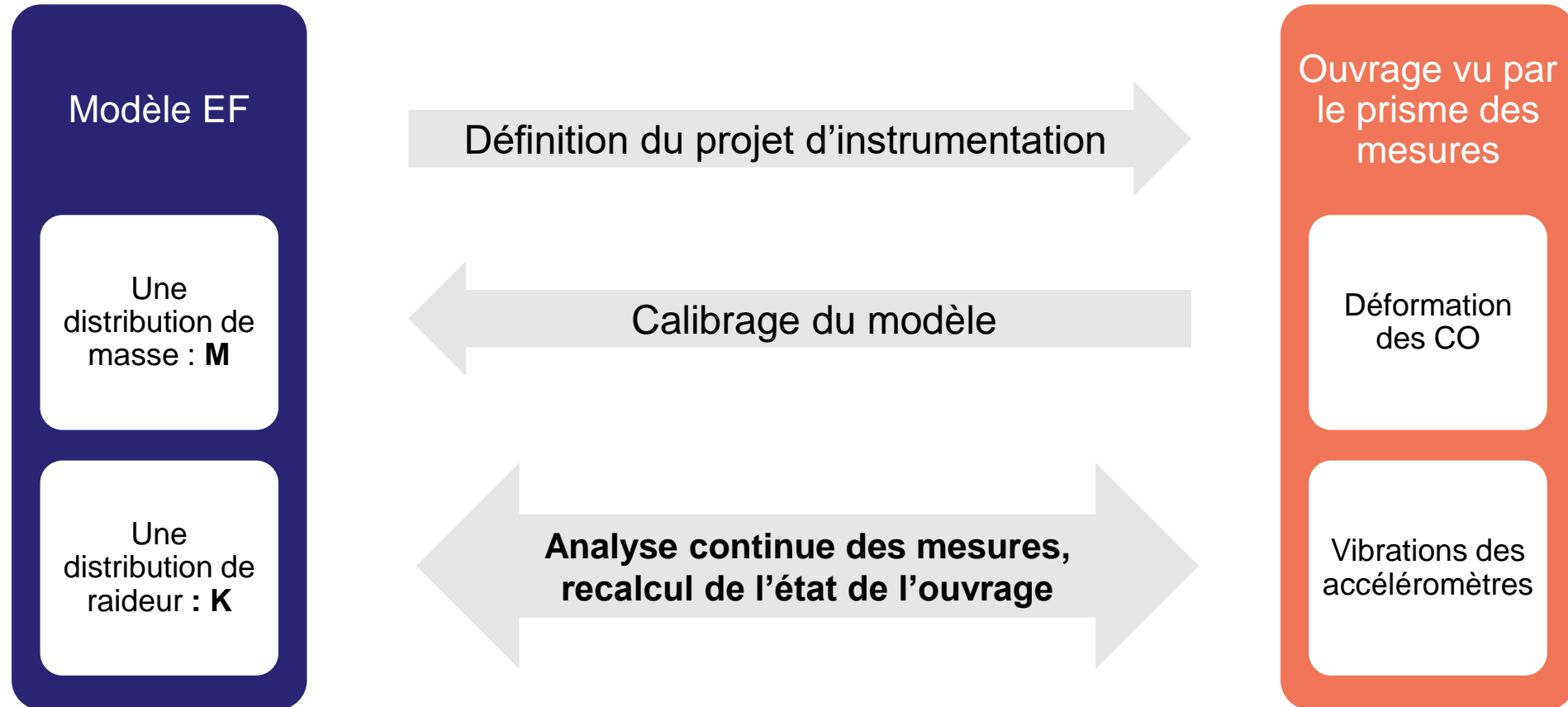


# GERICO *Comparaison des fréquences*



# GERICO

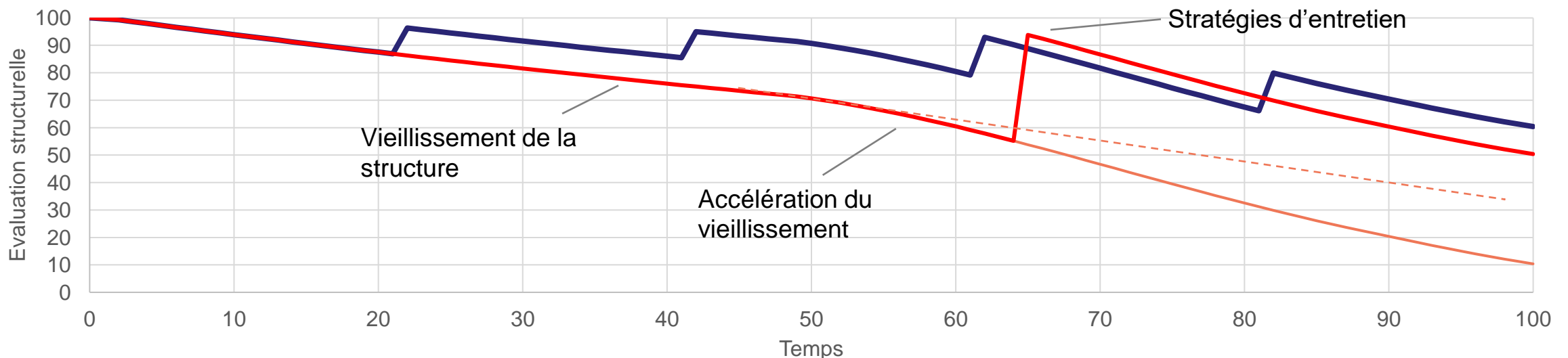
*Dialogue entre ouvrage et mesures*



# GERICO

- Bénéfice collectif / Gains économiques et sociétaux en matière de gestion de patrimoine
  - Etablissement d'une démarche méthodologique pour ce type d'ouvrage
  - Analyse critique, par comparaison théorie/pratique, des études de portances traditionnelles
  - Surveillance continue en complément des IDP qui peuvent être plus espacées.
  - Pesage dynamique pour la vérification de l'observance des limitations de tonnage.
  - Détection d'une évolution du comportement structurel avant apparition des signes visuels de vieillissement, pour maintenir le niveau de service des ouvrages.

=> Anticipation et aide à la décision du MOA pour l'élaboration d'un programme pluriannuel de maintenance et le maintien du niveau de service des ouvrages



**Merci de votre  
attention**