

## Objectifs

Les infrastructures civiles (ponts, bâtiments, réseaux...) sont de manière constante et continue soumises à des environnements agressifs, au vieillissement de leurs éléments ou de leurs matériaux constitutifs, à des évolutions ou à des conditions exceptionnelles d'exploitation.

Ces facteurs amplifient l'effet de toute erreur de conception ou de construction ou d'endommagements accidentels : ils fournissent ainsi l'espace à de nouvelles ou de plus rapides dégradations structurales.

Durabilité et durée de vie effectives en sont fortement réduites. Mais toute action de maintenance, de réparation, de réhabilitation, de limitation d'exploitation ou d'arrêt d'exploitation n'a de pertinence que si l'on dispose de manière adaptée et pertinente de procédures et de méthodes pour évaluer la capacité de résistance résiduelle, et l'aptitude au service.

# Projet National S3

## Surveillance de Santé Structurale

### ... suite Objectifs

Afin d'améliorer l'évaluation de la performance des ouvrages, ou à défaut d'en avoir une vision objective et correcte, il est important de pouvoir caractériser de manière pertinente le comportement réel de l'ouvrage.

Ce processus de détermination, de suivi et d'évaluation de cette aptitude au service est le principe même de ce que l'on appelle la Surveillance de Santé Structurale (S3). Dans ce contexte, le thème central du projet de recherche a été de définir une procédure de conception complète et intégrée de la surveillance de santé structurale pour le diagnostic et l'évaluation des ouvrages.

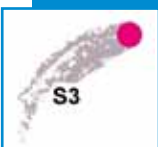
## Programme réalisé

*Le Projet National S3 s'est développé en cinq opérations dédiées chacune à un thème particulier.*

1

### Corpus technologique de la surveillance opérationnelle (animé par Edwin DIDAY, Bernard BASILE et Sébastien PIOT)

Dans le cas de la gestion de grands ouvrages, des données provenant de sources liées à la surveillance d'exploitation ou à la surveillance structurale convergent vers les mêmes centres de contrôles. L'intégration de l'ensemble de ces données est rarement réalisée. Par ailleurs, la sélection des données est une étape essentielle qui consiste à ne retenir que les informations principales relatives à la stratégie de surveillance retenue (et ainsi à en rejeter d'autres). Enfin, la nature dispersée et non cohérente des données (quantitatives à partir d'une métrologie et/ou qualitatives à partir d'inspections visuelles) complexifie la problématique de la fusion des données. Ce thème a permis de rappeler et de préciser les méthodes disponibles à l'étude de la fusion de données et de les décliner à la problématique de la surveillance de santé structurale pour les structures du génie civil.





Jauges de déformation.

## 2

### Corpus technique du diagnostic

(animé par André ORCESI, Alexandre CURY et Pierre WYNIIECKI)

Le paradigme de la surveillance de santé structurale repose sur l'introduction d'indicateurs fiables et robustes permettant de détecter, localiser, quantifier et prédire un endommagement. Dans un premier temps, les travaux de ce groupe ont visé à définir des indicateurs de l'endommagement structural et à définir une procédure de sélection (critères, pertinence, robustesse, sensibilité...) de ces indicateurs. Dans un deuxième temps, des modèles statistiques (utilisant des algorithmes de reconnaissance de forme) ont été développés pour séparer les valeurs des indicateurs liées à une modification structurale de celles qui ne le sont pas. Ces modèles sont apparus indispensables dans l'apprentissage des seuils de détection d'anomalie, problématique rencontrée systématiquement par les gestionnaires de grands ouvrages.



Pont sur l'Adour.

## 3

### Corpus technique de l'évaluation structurale

(animé par André ORCESI, Nicolas SOUIL et David CLAIR)

Le corpus technique de l'évaluation structurale vise à conceptualiser, modéliser, concevoir des expériences pour mesurer et quantifier le comportement structural aussi bien que les phénomènes, afin de prendre des décisions. Ceci fait de l'identification structurale, non pas un outil de validation de modèle seulement, mais également un cadre général d'intégration des données de gestion, et de maintenance d'une exploitation. Les travaux du groupe ont permis d'étudier l'ajustement de modèles sur les données expérimentales pour la prédiction de la performance structurale.

## 4

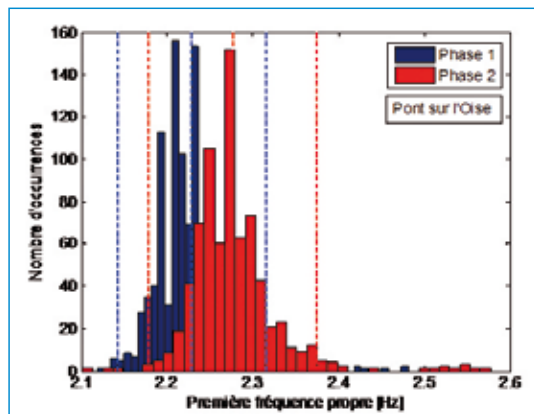
### Scenarii d'applications et implémentation

(animé par André ORCESI, Bernard BASILE et Alexis Courtois)

Ce thème a permis de considérer différents cas d'application pour les différents concepts théoriques introduits dans le projet. Ainsi, les ouvrages suivants ont été considérés :

- les ouvrages majeurs neufs (pont de Rion Antirion),
- les ouvrages majeurs anciens (pont sur l'Adour, pont sur l'Oise),
- les flottes d'ouvrages (flotte des aéroréfrigérants d'EDF, flotte d'ouvrages à poutrelles enrobées gérées par la SNCF).

Il a été mis en évidence comment la surveillance de santé structurale peut être conçue pour un ouvrage « unique » (surveillance spécifique) ou pour une « flotte » d'ouvrages (surveillance type). Par ailleurs, l'intégration de la surveillance de santé structurale, de la surveillance d'exploitation et celle liée à la sécurité est apparue comme l'étape finale d'une approche systémique cohérente et efficace de la surveillance des ouvrages.



Suivi dynamique du pont sur l'Oise - histogrammes de la première fréquence propre avant (phase 1) et après (phase 2) les travaux de renforcement (intervalles de confiance à 95 % en pointillés).

## 5

### Recommandations pour un carnet de santé

(animé par Renaud LECONTE et Adrien HOUEL)

La rédaction de recommandations sur la surveillance de santé structurale est un élément clé de la valorisation du projet. Ces recommandations ont pour objectif de préciser les modalités d'application de la surveillance de santé structurale et d'y préciser les cadres expérimentaux, les outils analytiques de diagnostic et d'évaluation et les éléments métrologiques permettant l'accès à l'information recherchée et attendue. Le carnet de santé constitue l'ensemble des décisions prises pour un ouvrage ou une flotte d'ouvrages selon les actions identifiées dans les autres thèmes. Il est un élément essentiel pour l'aide à la définition d'une politique de santé de l'ouvrage ou de la flotte d'ouvrages.



Capteurs par fibre optique.

## Organisation

### La Direction du Projet

- Coordinateur du projet : André ORCESI (IFSTTAR)
- Suivi IREX : Christian BERNARDINI

### Les partenaires

- Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (IFSTTAR)
- Electricité de France - DTG (EDF) - Université Blaise Pascal - LAMI (Clermont II) - SYROKKO - SITES - ADVITAM - CETE Lyon - LR Lyon - CETE du Sud-Ouest - LR Bordeaux - INGEROP - AVLS - Syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et renforcement de structures - GETEC - SNCF

## Publications

- Les travaux de ce projet ont fait l'objet de nombreuses publications scientifiques et techniques (11) diffusées dans des conférences et revues internationales.

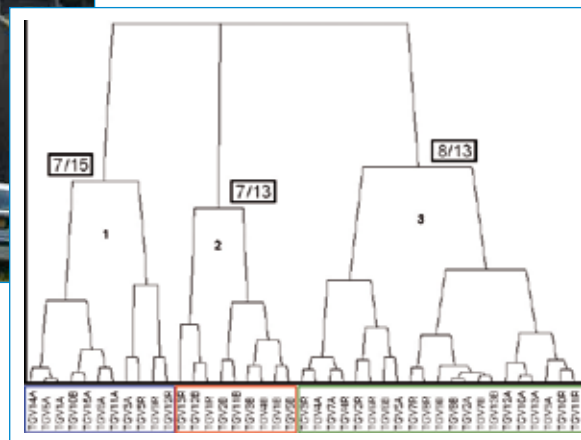
## Durée Budget

### Le Projet National S3 s'est déroulé de 2007 à 2011.

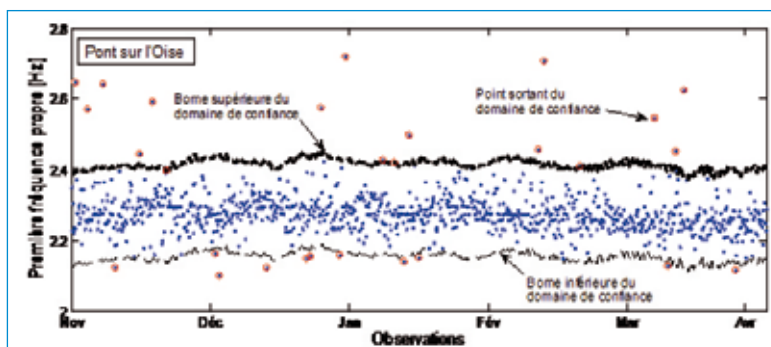
- La rédaction des rapports de synthèse des résultats ainsi que d'un guide de recommandations se poursuit en 2011. Le budget s'est élevé à 1 605 998 € HT dont une subvention de la Région Ile-de-France de 405 663 € HT, une subvention du MEDDTL de 271 172 €, le solde en apports en nature et cotisations des partenaires.



Pont rail PK 075+317.



Classification des états d'un ouvrage à l'aide de l'analyse de données symboliques.



Suivi dynamique du pont sur l'Oise – utilisation de modèles de régression et détection de points sortant du domaine de confiance.

# Applications et retombées du Projet National

**L'intérêt de ce projet a résidé dans la création de groupes de travail permettant des échanges entre des approches variées, afin de favoriser le transfert de connaissances et de méthodes entre des chercheurs ou des gestionnaires qui ont chacun une approche spécifique en raison de la nature du patrimoine à gérer.**

■ Un autre gain de la coopération a été d'obtenir une meilleure compréhension et une meilleure interaction entre l'instrumentation et l'évaluation. Le projet a mis les besoins des gestionnaires et des bureaux d'ingénierie au centre de la problématique de la surveillance de santé structurale et a certainement permis de lever certains verrous technologiques, notamment pour l'étude de la fusion et la discrimination de données, en faisant appel à des spécialistes de statistiques.

■ Les retombées scientifiques et techniques du Projet National S3 sont de plusieurs ordres et diffèrent selon les partenaires du projet. Les retombées du projet portent autant sur le développement de méthodes et d'outils scientifiques et techniques que sur l'établissement de principes méthodologiques. Ainsi, les maîtres d'ouvrage recherchent une appréciation pertinente, efficace et opérationnelle de l'état et de la performance des ouvrages basée sur des investigations in situ et le développement d'indicateurs robustes, couplés ou non avec des modèles de calcul. L'élaboration de profils de performance au moyen d'indicateurs significatifs représente donc une avancée significative. Le projet a apporté aux maîtres d'ouvrage, des recommandations pour le suivi de ces ouvrages, notamment :

- quelles observations effectuer sur l'ouvrage, quelle fréquence et avec quels moyens pour répondre aux besoins de maintenance et d'alerte ?
- comment traiter et synthétiser des données diverses, comme la correction des observations en fonction des conditions environnementales (pour séparer le comportement irréversible et le comportement réversible), les liens entre les mesures ponctuelles et des mesures plus intégratrices, les liens entre données quantitatives et qualitatives...
- proposer des indicateurs de comportement et des seuils d'alerte qui soient fiables et performants,
- proposer des méthodes d'évaluation de la structure pour permettre une prévision de tenue des fonctions dans le temps (principalement la tenue structurale).

■ Le Projet National S3 a permis de définir une procédure de conception complète et intégrée de la surveillance de santé structurale pour le diagnostic et l'évaluation des ouvrages. Pour les laboratoires de recherche publics et les universités, il a permis de développer des compétences et une expertise, mais aussi d'assurer des transferts technologiques entre mécaniciens et statisticiens.

■ Dans ce cadre, la possibilité de travailler sur des données massives, disparates (nécessitant donc une fusion) et arrivant par flot, issues de mesures de diagnostic et d'évaluation des ouvrages de la gestion patrimoniale, a conduit à la mise au point d'une méthodologie nouvelle complémentaire aux développements théoriques menés jusqu'à présent, adaptant notre acquis à la problématique de l'étude et de la prévision de l'état des ouvrages. Inversement, ces actions théoriques ont permis aux ingénieurs de mieux cerner la problématique de la fusion de données qualitatives et quantitatives en vue de l'amélioration des techniques de diagnostic et d'évaluation de la performance des ouvrages.

■ Un tel apport est considérable pour une mise en place efficace, pertinente et robuste de la surveillance opérationnelle. La recherche d'indicateurs robustes et corrigés d'effets environnementaux a également permis une avancée significative sur la construction de profils de performance utiles aux bureaux d'études et aux maîtres d'ouvrage.

■ Les recommandations, et notamment l'élaboration d'un carnet de santé, constituent enfin une retombée technique importante pour les bureaux d'ingénierie concernés par la surveillance d'ouvrages, et les sociétés en charge de l'instrumentation et de la surveillance opérationnelle.

**“ Les retombées du projet portent autant sur le développement de méthodes et d'outils scientifiques et techniques que sur l'établissement de principes méthodologiques. ”**