

SÉCURITÉ DES PONTS : L'INNOVATION OUVRE DE NOUVELLES VOIES

**Bilan de l'appel à projets
Ponts connectés 2021-2023**



PROGRAMME DU 17 SEPTEMBRE 2024

8h30

Accueil des participants

09h00

Ouverture par **Pascal Berteaud, directeur général du Cerema**

09h15

Présentation de l'appel à projets « ponts connectés »

André Orcesi (Cerema)

09h30

Présentation bilan de 4 solutions lauréates

AP'PONTS, AUDACE, CAHPREEX, CI3S

10h20

Table ronde #1 : Quelle surveillance pour quel patrimoine ?

Quel apport de la gestion prédictive ?

Hélène Klich (MTECT/DGITM), Nicolas Bardou (ASFA), Michel Kahan (Syntec Ingénierie)

10h50

Pause

11h05

Présentation bilan de 4 solutions lauréates

AINSPECTA, GEOPONT, GERICO, MIMIA

11h55

Table ronde #2 : Comment améliorer la gestion des ouvrages dans les petites collectivités ?

Hervé Maurey (Sénateur de l'Eure), Sylvain Laval (AMF), Eric Ollinger (MTECT/DGITM), Pascal Berteaud (Cerema)

12h30

Déjeuner

14h00

Présentation bilan de 4 solutions lauréates

MAJ, IA2, MIRAUAR, SOFIA

14h50

Table ronde #3 : Quelles étapes à franchir pour industrialiser de nouveaux outils de gestion ?

Pascale Dumez (IMGC), Christophe Biernacki (INRIA), Séverine Belly (Cerema)

15h20

Pause

15h35

Présentation bilan de 5 solutions lauréates

SOS-A, SURVOUT, VIASAGAX, VIGI, VIVOA

16h35

Table ronde #4 : Comment évaluer et certifier le traitement et le diagnostic par l'IA ?

Quoc-Cuong Pham (CEA), Christophe Raulet (IMGC), Cyrille Fauchard (Cerema)

17h05

Clôture par **David Zambon, directeur technique Infrastructures de Transport et Matériaux du Cerema**

UN APPEL À PROJET PORTEUR DE NOUVELLES SOLUTIONS

Lancé en 2021 dans le cadre du Programme National Ponts en réponse à l'enjeu majeur de sécurité des ponts, l'appel à projets « Ponts connectés » se veut porteur de nouvelles solutions plus pratiques, plus performantes et moins coûteuses pour les collectivités afin de mieux surveiller et entretenir leur patrimoine.

L'entretien des infrastructures nécessite des investissements lourds alors que les budgets des gestionnaires sont de

plus en plus contraints. Les avancées les plus récentes en matière d'instrumentation, de télécommunication, de traitement de données et d'intelligence artificielle, actuellement développées par les centres de recherches et les entreprises, sont susceptibles d'apporter des réponses efficaces aux problématiques de surveillance et de gestion des infrastructures.

L'objectif de cet appel à projets est d'évaluer, à travers des expérimentations en vraie

grandeur, les capacités de ces méthodes, communément regroupées sous le vocable de « ponts connectés » ou « smart bridges », à assurer le maintien des performances intrinsèques des ouvrages d'art et la sécurité des personnes et des biens qui les empruntent.

Le Cerema, qui dispose d'une expertise historique dans le domaine des ouvrages d'art, a assuré le pilotage des expérimentations et des évaluations des 17 projets lauréats.



6 THÈMES D'INNOVATION POUR UNE GESTION INTELLIGENTE DES OUVRAGES D'ART

- Ponts connectés en continu
- Apprentissage par l'instrumentation de familles d'ouvrages ou de familles de pathologies
- Apprentissage automatique basé sur l'intelligence artificielle appliquée à l'instrumentation des ouvrages
- Surveillance des ouvrages d'art par télédétection
- Inspection par imagerie des ouvrages d'art
- Capteurs innovants ou usage innovant de capteurs pour la surveillance des ouvrages d'art

CHIFFRES CLEFS

**23 avril
2023**

annonce des **17 projets lauréats**

48 entités lauréates

comptant des **entreprises**, des **collectivités**, des **centres de recherches**

8 millions d'euros

de **financement global** dont 4 millions subventionnés par l'Etat

3 ans

d'**expérimentation** et d'**évaluation** des 17 projets lauréats

6,5

TRL moyen atteint par les projets

50 %

des projets poursuivent vers l'industrialisation

60 %

des lauréats **souhaitent poursuivre avec une assistance du Cerema**

Les principales pathologies affectant les ponts

Les pathologies qui affectent les ouvrages d'art, peuvent se traduire par des effets locaux ou globaux qu'il convient de bien connaître si l'on veut envisager de les détecter par une instrumentation.

Parmi les actions appliquées aux ouvrages pouvant initier des désordres ou pathologies, il convient de suivre ou détecter par mesures directes ou indirectes :

- Les actions climatiques : vents extrêmes, variation de gradients thermiques, courant (affouillements), avalanches (en montagne),
- Les actions chimiques : corrosion en milieu humide, chlorures, sulfates ou autres agents chimiques,
- Les mouvements du sol : séismes, glissements de terrain, tassements, effondrements de cavités souterraines,
- Les actions d'exploitation et accidentelles : surcharges ou passages de charges exceptionnelles, chocs, incendies, explosions.

Ces actions induisent des effets, sollicitations, contraintes ou déformations, dépendant du type de structure et de leur état, eux-mêmes à l'origine des désordres et pathologies décrites ci-dessous.

Une première famille de désordres couramment relevés n'a pas d'impact immédiat sur la résistance et le comportement mécanique des structures, mais

présente un risque élevé pour la durabilité des ouvrages et la sécurité des personnes. Cette famille comprend notamment :

- l'initiation de la corrosion d'armatures de béton armé ou d'acier de charpente,
- les éclatements du béton d'enrobage des armatures passives,
- les endommagements d'appareils d'appui,
- les défauts de l'étanchéité et de l'assainissement,
- les endommagements de certains équipements (joints de chaussée),
- les défauts d'étanchéité des gaines de précontrainte extérieure,
- les détériorations localisées de maçonnerie (chute de moellons, disjointoiement),
- l'initiation de fissures de fatigue dans les structures métalliques,
- l'initiation d'affouillements.

Ces pathologies, souvent repérables par les inspections visuelles ou des moyens déportés (lunettes, drones...), sont difficilement détectables par des instrumentations orientées sur l'analyse des comportements mécaniques (déformations, fréquences de vibration...). Pour détecter leurs effets mécaniques, il faudrait les laisser se développer bien au-delà des critères actuels de sécurité prévus dans une bonne gestion, ce qui entraînerait un risque pour les usagers et des surcoûts de réparation extrêmement élevés.

Les affouillements ont ici une place à part car ils ne sont généralement repérables que par une inspection subaquatique ou une bathymétrie. De même les fissures de fatigue dans les structures métalliques sont souvent difficiles à détecter avant d'avoir une ampleur critique, sauf par des moyens sophistiqués.

Une deuxième famille de pathologies liées à des insuffisances de résistance des structures ou de leurs appuis est susceptible d'entraîner des modifications du comportement mécanique global ou d'éléments de structures. Cette famille comprend notamment :

- les insuffisances d'aciers passifs ou actifs, y compris haubanages,
- les insuffisances de résistance de structures métalliques,
- les détériorations importantes d'appareils d'appui (blocages, flambement),
- les dégradations importantes de matériaux comme les réactions de gonflement interne du béton,
- les détériorations importantes de maçonneries,
- les déplacements ou déformations des fondations,
- les affouillements.

Ces pathologies sont actuellement identifiées lors des inspections périodiques par la détection de défauts d'alignement, de déplacements, de fissures et, pour les parties métalliques de déformations plastiques, de cloquages et de voilements.

L'instrumentation liée à ces pathologies et utilisée dans le cadre de la haute surveillance ou de la surveillance renforcée, a montré une bonne sensibilité dans le cas où les capteurs sont placés de manière optimale par rapport aux zones de pathologies recherchées. Malheureusement, cette condition n'est pas toujours simple à respecter avec un nombre « raisonnable » de capteurs. Elle peut être assez facilement respectée pour la flexion longitudinale des tabliers, les mouvements des fondations ou le fonctionnement des appareils d'appui, mais reste plus délicate pour des phénomènes seulement très locaux comme les insuffisances vis-à-vis de la flexion transversale ou de l'effort tranchant.

Une troisième famille de pathologies concerne les désordres non directement accessibles par inspections visuelles qui nécessitent généralement des moyens d'auscultation ou une instrumentation spécifique. Cette famille comprend notamment :

- les ruptures de fils ou de torons (précontrainte extérieure, suspentes, haubans),
- la perte de tension ou la surtension de câbles (suspentes, haubans),
- les mouvements de sol et de fondations de faible amplitude,
- les réactions de gonflement interne du béton de pièces en béton non accessibles (ex : semelles de fondation),
- la pénétration d'agents agressifs dans le béton (chlorures, sulfates),
- l'initiation et la propagation de la corrosion d'armatures, avant apparition de fissures sur le parement béton.

Il est particulièrement intéressant, dans le cadre d'instrumentations et de collecte de données pour le suivi des ouvrages, de suivre à la fois les actions et leurs effets et de relier les deux, notamment pour la maintenance prédictive, la maîtrise ou le contrôle des actions d'exploitation et le renforcement éventuel de certains ouvrages.

17 SOLUTIONS EXPÉRIMENTÉES EN GRANDEUR NATURE

Ce format d'appel à projets très ciblé autour de retombées pratiques et rapides, avec des objectifs ambitieux mais crédibles, est jugé globalement très attractif et s'est avéré bénéfique, tant du côté des acteurs des consortium que du Cerema pour **donner une impulsion forte dans le domaine de l'innovation en génie civil.**

Les groupements entreprises/universités/maître d'ouvrage se sont révélés très adaptés pour les phases de R&D. Il est le **garant d'avancées très opérationnelles** pour assurer un double succès, une **gestion du patrimoine plus accessible aux collectivités et une industrie plus performante.**



TYPLOGIE DES 48 ENTITÉS LAURÉATES

32 %
de grandes entreprises

19 %
de petites entreprises

17 %
de centre de recherche

16 %
de maîtres d'ouvrages publics

10 %
de moyennes entreprises

6 %
de maîtres d'ouvrages privés

Des projets portés par une diversité d'acteurs avec un fort marqueur territorial

Il ressort beaucoup de projets portés par des grandes entreprises avec des terrains d'expérimentation dans les régions, mais aussi des projets avec un fort marqueur régional comme le projet CI3S avec des acteurs issus de Clermont-Ferrand et le projet VIGI avec des acteurs issus de la Savoie.

Les collectivités territoriales sont très présentes avec des villes ou métropoles (Paris, Lille, Angers, Saint-Quentin en Yvelines, Bastia), des conseils départementaux (38,46,74), la diversité des territoires se trouve aussi dans les acteurs universitaires mobilisés sur Brest, Clermont-Ferrand, Nancy, Lyon, Grenoble qui accompagnent les acteurs d'Ile de France comme le CEA, l'université Gustave Eiffel et l'école Centrale-Supelec.

6,5 : TRL moyen atteint par les projets

Le TRL moyen atteint par les projets est de 6,5, ce qui ouvre la voie à des poursuites vers l'industrialisation à court terme pour la moitié des lauréats, les plus avancés, pour l'autre moitié les acquis du projet s'inscrivent dans un processus à plus long terme. La poursuite d'une assistance du Cerema est souhaitée dans 60 % des cas.

8 millions d'euros de financement

Les 17 projets, portés par 48 entités lauréates, ont mobilisé 8 millions d'euros directement financés par les lauréats, dont 4 millions financés par l'Etat. Les petites structures comme les plus grandes ont pu avoir accès à toute la gamme de montant des subventions, ce qui souligne que même les petites structures ont été à même de présenter des projets ambitieux.

ZOOM SUR LES 17 PROJETS

APPONTS

Surveillance d'ouvrages avec capteurs autonomes

Le projet porte sur la surveillance d'ouvrages par analyse modale avec capteurs MEMS (Micro-Electro-Mechanical-Systems) sous vibration ambiante. L'instrumentation a été appliquée à des ouvrages de typologies différentes pour permettre de localiser et de quantifier l'évolution des désordres ou changement de comportement structural.

Porteur : Apave
Partenaires : SERCEL
Maîtres d'ouvrages : Paris, CD 38



AUDACE

Surveillance d'ouvrages par capteurs et aide au diagnostic des ouvrages soumis à un choc PL

Le projet s'attèle à la surveillance des tabliers de ponts vis-à-vis de l'aléa de chocs du au passage de poids lourds sous l'ouvrage. Il vise à mesurer en temps réel, grâce à de nouveaux capteurs connectés innovants, certains paramètres de comportement de l'ouvrage pour identifier toute anomalie issue d'un choc véhicule routier. Il associe au signal détecté une description de l'évènement et de ses effets grâce à un algorithme d'analyse des données permettant d'en évaluer la gravité et de déclencher une action rationnelle et graduée du gestionnaire.

Porteur : Sisgeo
Partenaires : LEMTA, SNCF



MIRAUAR

Aide au diagnostic d'ouvrages par imagerie (réalité augmentée) et intelligence artificielle

Le projet vise à développer un outil d'aide à l'évaluation des ouvrages par réalité augmentée. Une base de modèles numériques génériques est utilisée pour entraîner l'intelligence artificielle à reconnaître la typologie de l'ouvrage et à le décomposer automatiquement en éléments constitutifs élémentaires. Il est ensuite développé une ergonomie de type réalité augmentée couplée à un modèle d'intelligence métier afin de guider l'utilisateur lors de sa visite et un traitement par intelligence artificielle quantifiera les défauts puis les qualifiera grâce aux catalogues de désordres de l'IQOA (Image de la qualité des ouvrages d'art).

Porteur : Setec
Partenaires : Geodesial-Sogelink Bloc-In-Bloc, LIRIS



GERICO

Surveillance d'ouvrages métalliques avec capteurs

Le projet porte sur la surveillance des ouvrages de type treillis métalliques à partir d'une instrumentation par cordes optiques et accéléromètres. L'objectif est d'analyser le comportement mécanique de l'ouvrage, de détecter voire anticiper les désordres tout en quantifiant la sollicitation des ouvrages par les charges de circulation.

Porteur : SCE
Partenaires : OSMOS, STRAINS, Angers Loire Métropole



CI3S

Surveillance des ouvrages et détection des désordres par capteurs et intelligence artificielle

Le projet porte la mise en place d'un système d'instrumentation composé d'un réseau de capteurs, d'un système d'acquisition et d'algorithmes de traitement des données employant des approches physiques et des méthodologies d'intelligence artificielle. Il vise à caractériser le fonctionnement de la structure avec l'ambition de localiser les désordres et informer le gestionnaire.

Porteur : Cideco
Partenaires : Université Clermont Auvergne, CD 63



DETECTION AUTOMATIQUE DE DESORDRES - AINSPECTA

Aide au diagnostic d'ouvrages par intelligence artificielle et imagerie (réalité augmentée)

Le projet porte sur le développement d'une application capable de détecter, analyser et identifier les types de défaut présents sur les ouvrages d'art, principalement les ouvrages métalliques, afin de mieux envisager leur entretien avec trois axes :

1. la détection se fait à partir d'images captées par drones ;
2. l'analyse de ces images utilise des réseaux de neurones pour détecter les défauts et alimenter le rapport d'inspection ;
3. dès l'inspection, l'inspecteur a un retour en direct des défauts et pathologies présents sur l'ouvrage d'art via une tablette, puis à l'aide d'une lunette à réalité augmentée, il peut visualiser les défauts et pathologies.

Porteur : Corrosia
Partenaires : WEAVERIZE



GEOPONT

Auscultation d'ouvrages par propagation d'ondes

Le projet consiste à utiliser les techniques du radar (ondes électromagnétiques) et de la sismique (ondes mécaniques) pour caractériser les pathologies du béton.

Porteur : UBY
Partenaires : Centrale Supélec, Spotlight
Maître d'ouvrage : Saint-Quentin-en-Yvelines



CAHPREEX

Détection de la corrosion des haubans et des câbles par capteurs autonomes

La corrosion des câbles à l'intérieur des ancrages ou des gaines PEHD n'est aujourd'hui pas facilement détectable lors d'inspections. Le projet porte la mise en œuvre de capteurs autonomes permettant de détecter la corrosion des haubans et des câbles : des capteurs RFID (Radio Frequency Identification) de corrosion sont immergés dans la zone d'enrobage puis ensuite interrogés afin de détecter le début de la corrosion initiée par la présence d'ions chlorures.

Porteur : Artelia
Partenaires : Université Bretagne Occidentale, Université Gustave Eiffel, APPR
Maître d'ouvrages : APPR/AREA



IA2

Détection des affouillements par capteurs

L'objet du projet est la détection des affouillements pour les ponts grâce à la caractérisation d'indicateurs de santé structurelle, statiques ou dynamiques. Le procédé est basé sur la détection de la perte de raideur d'un appui dû à l'assouplissement structurel occasionné par un affouillement. La méthodologie ambitionne avec des instrumentations et des maquettes numériques de déterminer pour chaque famille d'ouvrage une formule simple établissant la variation de grandeurs d'usage ainsi que des seuils d'alerte.

Porteur : Sixense Engineering

Partenaires : Sixense Monitoring, CD 46, Université Gustave Eiffel, Cofiroute



VIASAGAX

Détection des surcharges poids lourds

Le projet s'intéresse à la détection du dépassement des charges autorisées à circuler sur les ouvrages, avec la lecture automatique des plaques immatriculations des poids lourds et l'affichage sur Panneau à Messages Variables des dépassements.

Le système de pesage dynamique proposé s'appuie sur des géophones compensés en température à l'aide sondes, insérés dans la chaussée. L'alerte donnée pour un convoi trop lourd peut entraîner l'analyse du comportement de l'ouvrage à la suite du passage, afin de quantifier les effets.

Porteur : Freyssinet

Partenaires : CD 34, Eurovia



MIMIA

Surveillance d'ouvrages et aide au diagnostic par imagerie satellitaire

Trois axes de développement sont visés par le projet :

1. Aide par intelligence artificielle au recensement géographique des ouvrages d'art et à l'évaluation des risques environnementaux associés
2. Création d'un outil d'aide au relevé photographique in situ d'un ouvrage d'art par un non-sachant, assisté par intelligence artificielle
3. Création d'outil de traitement d'images pour aide à la détection de défauts par Intelligence Artificielle

Porteur : Sites

Partenaires : CORNIS, TRE-ALTAMIRA (groupe CSL)

Maitre d'ouvrage : Collectivité de Corse



VIGI

Surveillance d'ouvrages avec capteurs autonomes

Le projet vise la surveillance par l'instrumentation des ouvrages avec des capteurs autonomes permettant d'offrir des indicateurs robustes, représentatifs du comportement structural des ouvrages par l'analyse du comportement dynamique. Le système peut être interrogé par le personnel en charge de la gestion lors de visites, qui bénéficie alors d'informations sur le comportement structurel pour une prise de décision argumentée.

Porteur : Egis

Maitres d'ouvrages : SAVE, Université Grenoble-Alpes, ATMB (Autoroutes et Tunnel du Mont Blanc), ESCOTA (autoroutes Estérel-Côte d'Azur), CD74 (Conseil départemental Haute-Savoie)



SOS-A

Détection des affouillements par capteurs, imagerie et modélisation

Le projet porte sur une solution robuste et financièrement abordable à destination des collectivités territoriale en charge de la gestion d'un parc d'ouvrages d'arts en rivière. Cette solution s'appuie sur du traitement de données géographique (morphologiques) en temps réel, complété par une instrumentation des ouvrages. Toutes les données sont transmises à une plateforme de gestion 3D desdits ouvrages, permettant le suivi continu et l'envoi d'alertes au gestionnaire.

Porteur : Quardina

Partenaires : Coredia, DYNAOPT, CD 64



SURVOUT

Surveillance d'ouvrages en maçonnerie sous trafic courant et convois exceptionnels

L'objectif principal du projet est de proposer une méthode permettant une bonne appréhension du fonctionnement des ouvrages en maçonneries et de leur comportement mécanique sous trafic courant et sous l'impact éventuel de convois exceptionnels.

Pour cela, le projet repose sur l'addition :

- d'une surveillance continue, dynamique, autonome et connectée,
- d'une surveillance distribuée exhaustive,
- d'une surveillance des mesures de convergence,
- d'un modèle de calcul paramétré développé.

Porteur : Quadric (Groupe Artelia)

Partenaire : CD 38



VIVOA

Aide à l'inspection d'ouvrages par analyse d'images

Basée sur le traitement et l'analyse de vidéos panoramiques 360°, l'outil restitué, au travers d'une plateforme web de visualisation collaborative, une visite immersive valorisée de l'ouvrage, que l'on peut comparer à un « micro street-view détaillé ». Elle intègre également, grâce à un algorithme d'intelligence artificielle (IA), la localisation et l'identification des principaux désordres.

Porteur : Sixense Engineering

Partenaires : Sixense Mapping, Sixense Digital, Ville d'Angers



MAJ

Détection d'endommagement des joints de chaussée par capteurs acoustiques et intelligence artificielle

Le projet vise à reconnaître l'endommagement des joints de chaussée par leur instrumentation en développant une oreille numérique experte, entraînée par intelligence artificielle, analysant le signal sonore sous passages de poids lourds.

Porteur : Freyssinet

Partenaires : Freyssinet International & Cie, Synpas'Up (Vinci Construction France - VCF)



SOFIA

Aide à l'inspection d'ouvrages par analyse d'images

Le projet vise à doter l'inspecteur spécialisé en ouvrages d'art d'un outil « intelligent » de recueil et d'analyse des défauts d'ouvrages. Cet outil permettra d'améliorer la fiabilité des jugements et d'instruire de manière automatisée les procès-verbaux d'inspection.

Porteur : Socotec

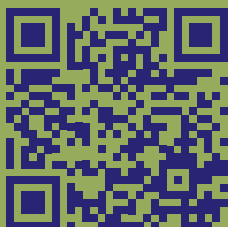
Partenaire : CEA-List

Maitre d'ouvrage : SANEF



**ACCÉDEZ AUX BILANS DÉTAILLÉS
DE CHAQUE PROJET SUR LE SITE
DU CEREMA :**

www.cerema.fr/pontsconnectes



**TOUTES NOS ACTUALITÉS,
SOLUTIONS, ACTIVITÉS
ET SERVICES**

cerema.fr

**NOTRE OFFRE
AUX COLLECTIVITÉS
TERRITORIALES :
REJOIGNEZ-NOUS !**

cerema.fr/collectivites-territoriales

**NOS PROGRAMMES
D'INNOVATION & RECHERCHE
AU SERVICE DES ACTEURS
ÉCONOMIQUES**

cerema.fr/carnotclimadapt
cerema.fr/ceremalab

**NOTRE PLATEFORME
D'EXPERTISE COOPÉRATIVE**

expertises-territoires.fr

**NOS RESSOURCES
DOCUMENTAIRES**

doc.cerema.fr

**NOS OUTILS ET
RESSOURCES WEB**

cerema.fr/outils

**NOS ÉVÈNEMENTS,
CONFÉRENCES
ET WEBINAIRES**

cerema.fr/evenements

**NOS FORMATIONS
CERTIFIÉES**

cerema.fr/formations

**25, AV. FRANÇOIS
MITTERRAND
CS 92803 69674
BRON CEDEX FRANCE**



@CEREMA



@CEREMACOM