



Projet National

GEstion Durable des Infrastructures (GEDI)

Etude de faisabilité



Table des matières

1. Introduction au contexte	5
2. Gestion durable des infrastructures : cadre et enjeux stratégiques	7
2.1. Les éléments constitutifs du contexte	7
2.2. De nouveaux défis	8
2.3. Les raisons d'agir aujourd'hui	11
3. Analyse des opportunités et des verrous	19
3.1. Des compétences riches mais des pratiques disparates	19
3.2. Mettre les avancées techniques et méthodologiques au service des pratiques opérationnelles	20
3.3. Une problématique d'une grande complexité	21
4. Les objectifs et le plan d'action	26
4.1. Des objectifs à plusieurs niveaux	26
4.2. Un projet structuré autour de quatre axes	28
5. Contenu détaillé du programme scientifique	30
5.1. Axe A – définir une politique de gestion durable du patrimoine	30
5.2. Axe B – la mise en œuvre d'une politique de gestion durable – moyens techniques et modèles	32
5.3. Axe C – faciliter la prise de décision et l'évaluation de la politique de gestion	38
5.4. Axe D – capitaliser l'expérience et former les acteurs	42
5.5. Cohérence du Projet National et gouvernance	48
5.6. Les résultats attendus - livrables	48
6. Planning – projet de budget – analyse SWOT	50
6.1. Planning du Projet National	50
6.2. Budget prévisionnel du Projet National	51
6.3. Analyse SWOT	52
7. Partenaires ayant manifesté leur intention de participer au Projet National	54
Références bibliographiques	55
Lettres de soutien	
Annexes	
Annexe 1 – Quelques données relatives au patrimoine d'infrastructures	
Annexe 2 – Inventaire et analyse des projets collaboratifs de recherche récents sur des thèmes connexes	
Annexe 3 – La gestion de patrimoine, un problème de décision en organisation	
Annexe 4 – Enquête préliminaire sur les pratiques de gestion patrimoniale	
Annexe 5 – Les moyens techniques d'évaluation du patrimoine (compléments)	
Annexe 6 – Pratiques et attentes en termes de capitalisation de la connaissance et de formation des acteurs	

Equipe de rédaction : Jean-Paul Balayssac (Univ. Paul Sabatier), Xavier Dérobert (IFSTTAR), Jean Salin (EDF), Géraldine Villain (IFSTTAR).

Avec la contribution de : Christian Crémona (SETRA), Frédéric Duprat (Univ. Paul Sabatier), Sidi Mohammed Elachachi et Franck Taillandier (Univ. Bordeaux), Philippe Lepert (IFSTTAR), André Orcesi (IFSTTAR), Franck Schoefs (Univ. Nantes).

Mise en forme et coordination : Denys Breyse (Université de Bordeaux)

Nota. Les porteurs de cette initiative sont impliqués depuis plusieurs années dans des projets de recherche collaborative et de R&D dans le domaine du diagnostic et de la gestion des infrastructures. Ce document résulte d'une démarche collective concertée : un premier ensemble de partenaires potentiels a été sollicité afin d'identifier les enjeux cruciaux et soumettre l'étude d'opportunité. Quatre axes de recherches ont été identifiés et un large nombre de partenaires potentiels (gestionnaires, services de l'Etat, bureaux d'ingénierie, entreprises, chercheurs académiques) ont été sollicités dans un second temps pour identifier les priorités et les modalités d'action. Cette étude de faisabilité résulte de la synthèse de leurs contributions.

1. Introduction au contexte

Il est largement reconnu qu'un des atouts majeurs de la France en termes de compétitivité est l'excellence de ses infrastructures. Ce patrimoine technique, dont la part la plus importante a été construite entre 1945 et 1975, est soumis à un vieillissement naturel qui induit des actions d'entretien mobilisant un budget conséquent, de manière à assurer les fonctions techniques essentielles en toute sécurité.

Les exemples de défaillance spectaculaires d'ouvrages pouvant résulter d'un déficit d'entretien ne manquent pas, et quelques catastrophes récentes ont ouvert un large débat outre-Atlantique¹... Ce débat a resurgi avec l'effondrement du pont autoroutier de Skagit, le 23 mai 2013, dans l'Etat de Washington² (figure 1). On a alors rappelé les chiffres publiés par l'American Society of Civil Engineers dans son récent rapport sur les infrastructures : 11 % des ponts américains sont estimés défectueux, soit plus de 66 000 ouvrages qui couvrent environ un tiers de la surface totale des tabliers³. L'investissement nécessaire est évalué à 76 milliards de dollars. De son côté l'administration fédérale des autoroutes (FHWA) a identifié plus de 150 000 ponts comme structurellement défectueux ou obsolètes⁴. Les enjeux de la maintenance du parc sont cruciaux en termes de sécurité, mais aussi de compétitivité pour les territoires.



Figure 1. Effondrement du pont de Skagit sur la I-5.

La France n'en est pas encore à ce point, les infrastructures publiques et privées ayant longtemps fait l'objet d'un programme d'entretien cohérent et satisfaisant. Sous la pression de contraintes budgétaires croissantes, les politiques publiques pourraient cependant conduire à restreindre les budget d'entretien et nous amener à une situation comparable.

« Entretien une route, ce n'est pas comme on le disait autrefois, réparer les dégradations à mesure qu'elles se produisent, c'est les prévenir. Une dégradation n'est pas une nécessité de la circulation, mais une faute de la part de ceux qui sont chargés d'entretenir. (...) Dès qu'il est démontré que l'effet de la circulation est d'user les routes, que chaque cheval chargé parcourt 1km consomme pour 1 centime de pierres, il devient évident qu'il faut fournir tous les ans autant de centimes qu'il y a de chevaux par jour et par kilomètre. »⁵

¹ L'effondrement qui s'est produit le 31 juillet 2011 dans un tunnel routier à Montréal a ouvert un large débat sur l'état des infrastructures québécoises (<http://209.171.32.187/gouvqc/coommuniques/GPOF/Aout2011/03/c9137.html>). La chute d'une dalle de façade de l'hôtel Marriott sous l'effet de la corrosion, qui avait fait une victime à Montréal le 16 juillet 2009 (<http://www.radio-canada.ca/regions/Montreal/2009/07/17/003-bloc-beton-enquete.shtml>) avait déjà induit une modification législative. L'effondrement du Pont de Minneapolis (16 victimes le 1 août 2007) a provoqué un large débat national sur l'état des infrastructures aux Etats-Unis. L'effondrement s'est produit pendant des travaux de maintenance, mais résulte aussi d'un problème de conception.

² <http://www.heraldnet.com/article/20130602/OPINION/706029963>, consulté le 4 juin 2013

³ <http://www.infrastructurereportcard.org/a/#p/bridges/conditions-and-capacity>, consulté le 4 juin 2013

⁴ <http://www.fhwa.dot.gov/bridge/nbi/no10/defbr12.cfm>, consulté le 4 juin 2013.

⁵ Citation de Jules Dupuit, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 1842, cité par A. Cazala et al, Audit de modernisation, Rapport sur la comparaison au niveau européen des coûts de construction, d'entretien et d'exploitation des routes, Contrôle Général Economique et financier et CG des Ponts et Chaussées, décembre 2006 (<http://lesrapports.ladocumentationfrancaise.fr/BRP/074000038/0000.pdf>).

La question ne se limite pas à la maintenance des ponts et des chaussées, mais peut être étendue à tous les patrimoines techniques : tunnels, réseaux urbains d'eau et d'assainissement, digues et barrages, centrales de production d'énergie et bâtiments industriels, réseau ferré, infrastructures portuaires... Leur vieillissement est inéluctable, du fait de l'évolution des matériaux sous l'action de l'environnement, mais il s'agit de maintenir ce patrimoine dans un état garantissant qu'il assure ses fonctions avec un niveau de sécurité admissible pour l'utilisateur. Les budgets de plus en plus contraints et le désengagement de l'Etat d'un certain nombre de domaines ont conduit depuis quelques années les acteurs à pousser quelques cris d'alarme dans les revues professionnelles et la presse technique :

Patrimoine d'ouvrages d'art : une situation critique
(Travaux, 882, juillet-août 2011)

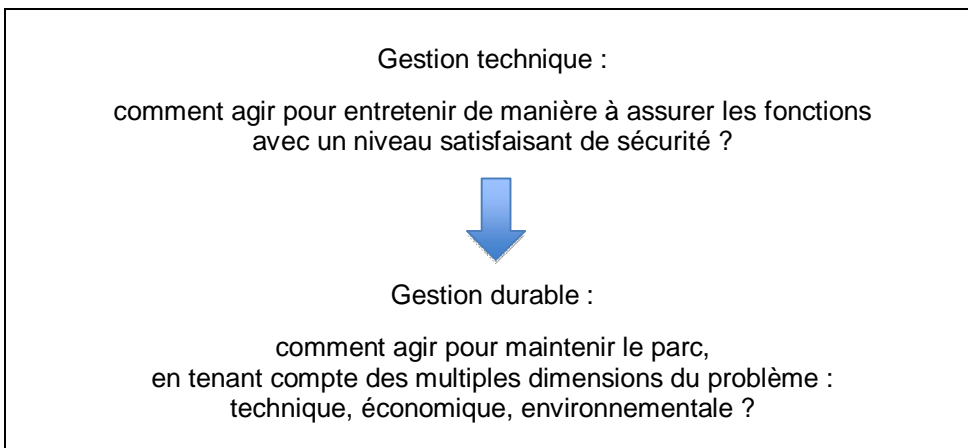
Rénovation des réseaux. L'abonné et le contribuable appelés à régler la facture ?
(Chantiers de France, 442, juillet-août 2011)

Mobilisation pour préserver le patrimoine
(Route actualité, 196, décembre 2011)

Digues et barrages. Attention danger !
(Chantiers de France, 453, octobre 2012)

Un patrimoine routier en péril
(Route actualité, 206, avril 2013)

Ces alertes ont été reprises dans un récent dossier de presse de la FNTP [FNTP, 2013] et d'autres instances [SNIT, 2011]. Un autre élément doit être mis en avant. Traditionnellement, la problématique de la gestion d'un parc d'infrastructures privilégiait une vision essentiellement technique (assurer les fonctions mécaniques en toute sécurité). La demande sociétale est aujourd'hui telle que les gestionnaires doivent élargir leur questionnement, pour passer d'une gestion technique à une gestion durable.



C'est à cette deuxième question qu'ambitionne de répondre le Projet National GeDI, dont les objectifs généraux sont de **mettre au point des procédures et développer des outils permettant de mettre en œuvre une gestion durable des infrastructures.**

L'architecture du Projet National sera conçue de manière à ce que les entreprises de travaux et les bureaux d'ingénierie puissent se doter de compétences nouvelles, atout de compétitivité qu'elles pourront valoriser en France comme à l'étranger.

2. GEstion Durable des Infrastructures : cadre et enjeux stratégiques

2.1. Les éléments constitutifs du contexte

Les décisions à prendre dans le cadre d'une gestion durable portent **sur le long terme** (évaluer des risques sur la durée de service d'un ouvrage ou sur la durée d'une concession) aussi bien que **sur le court terme** (définir et mettre en œuvre des actions prioritaires). Elles portent sur les **composants individuels** (où intervenir) aussi bien que sur **l'ensemble du parc** (justifier des budgets). Enfin, elles peuvent concerner différents patrimoines, les performances étant jugées à une autre échelle que celle des regards usuels : une voie de communication peut être déficiente à cause d'un ouvrage d'art, d'une dégradation de la chaussée ou de la signalisation, d'un éboulement de talus... Les conséquences des défaillances peuvent dépasser largement le périmètre immédiat de l'infrastructure, du fait par exemple de l'indisponibilité des infrastructures, et l'impact économique et social peut être conséquent. Enfin, les infrastructures peuvent avoir un degré élevé d'interdépendance (réseaux fluides portés par les ouvrages d'art par ex.).

De nombreuses évolutions réglementaires et législatives requièrent d'améliorer significativement les pratiques actuelles, issues de l'expérience accumulée, mais mal adaptées à une complexité croissante. **Ces enjeux ne sont pas spécifiques à la France** : la Plate-forme Technologique Européenne Construction (ECTP), mise en place en 2005, a identifié la problématique de la gestion des infrastructures comme cruciale pour la compétitivité économique des pays membres. Elle a ainsi mis en place un « focus area » Networks, qui a identifié, parmi six tâches de haute priorité, deux tâches directement relatives à l'amélioration de gestion des infrastructures⁶ :

« 2.3.1.1. : des standards européens et de nouveaux modèles théoriques et numériques pour évaluer, suivre et prédire les performances à long terme des ouvrages et composants (ponts, tunnels, chaussées, réseaux d'eau et d'assainissement...) soumis au vieillissement et à la détérioration ;

2.3.1.2. : de nouveaux concepts pour prolonger la durée de vie des ouvrages, améliorer leurs performances ou leur réponse aux risques, sans réduire la sécurité, et avec un impact positif sur la maintenance. »

Dans le cadre de l'ECTP, l'initiative reFINE⁷ souligne qu'il est nécessaire « d'accroître radicalement la durée de service des infrastructures au-delà de ses limites actuelles ». Ce souci s'inscrit dans une logique de « Greening Infrastructure Networks », qui répond à une démarche de **développement durable** : le meilleur moyen d'économiser les ressources est d'éviter d'en consommer de nouvelles, en prolongeant la vie de l'existant. Les dimensions sociales et humaines du développement durable sont aussi centrales, du fait des conséquences potentielles d'une gestion défaillante : perte de disponibilité ou abaissement des performances, menaces pour la sécurité des usagers... Les pays asiatiques s'inscrivent dans une logique comparable : l'Asian Concrete Model Code (ACMC) a été établi en 2001, selon le même principe que les Eurocodes. C'est le premier code international à couvrir les champs de la maintenance et de la réparation, ce qui rend possible l'adoption future de codes intégrant le LCM (Life Cycle Management) [Ueda, 2011].

⁶ Axes définis lors de la réunion du Focus Area « Networks », le 15 février 2006. Ils sont issus d'une concertation et d'une synthèse des besoins exprimés par l'ensemble des pays membres (ECTP – FA Networks – Bruxelles – From Strategic Research Agenda to Structured Research Recommendations).

⁷ reFINE (Research for Future Infrastructure Networks in Europe, <http://www.ectp.org/TFI.asp>) est une initiative du secteur européen de la construction.

Une véritable Gestion Durable doit viser à une prise en compte intégrée et rationnelle de l'ensemble de ces aspects. Les patrimoines qui seront étudiés dans le cadre du Projet national GeDI ne sont pas encore totalement figés à ce jour (nous reviendrons sur cette question au § 4.2). L'Annexe 1 fournit à titre indicatif quelques éléments chiffrés sur les patrimoines (infrastructures, réseaux urbains, bâtiments industriels...) potentiellement concernés par le Projet National GEDI.

La mise en œuvre d'une Gestion Durable des Infrastructures passe notamment par :

- Une rationalisation des pratiques, s'appuyant sur un partage d'expériences, notamment dans l'analyse des options et la prise de décisions ;
- Une capacité à anticiper, c'est-à-dire à prévoir les effets d'une politique de gestion de patrimoine (de construction, d'exploitation, d'entretien) ;
- La mise à disposition des moyens d'évaluer l'impact des décisions prises par les gestionnaires sur les performances de leur patrimoine : sa durabilité, sa sécurité, son empreinte environnementale...

2.2. De nouveaux défis

Le contexte de la gestion patrimoniale des infrastructures est en forte évolution et les gestionnaires doivent faire face à de nouveaux défis.

2.2.1. Une évolution du contexte de la gestion

Le premier défi est celui de **l'âge des infrastructures**, qui arrivent à la fin de (ou parfois dépassent) la durée de service pour laquelle elles ont été conçues et/ou témoignent des signes du vieillissement. Le maintien des fonctionnalités et de la sécurité doit être assuré. Les questions de sécurité sont cependant essentielles pour certains types d'ouvrages, pour lesquels elles structurent la surveillance et la maintenance (parc nucléaire, barrages). Le vieillissement peut aussi déboucher sur une perte de fonctionnalité ou de disponibilité, ou une réduction du niveau de service dont pâtiront les exploitants et les usagers (c'est particulièrement le cas pour les réseaux de distribution d'eau potable, figure 2).

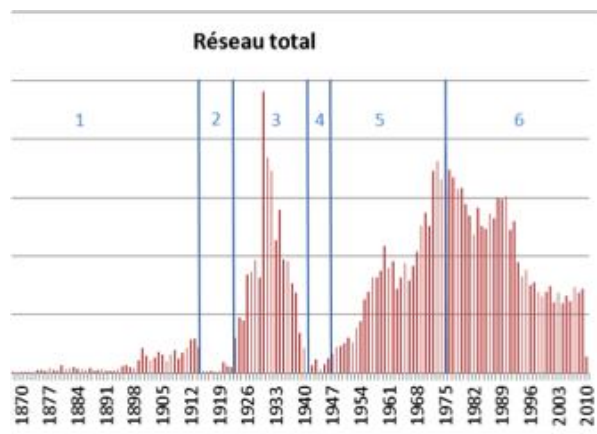


Figure 2. L'image d'un patrimoine riche mais vieillissant : le cas du réseau d'eau potable d'une grande agglomération (distribution des âges des conduites)

Les gestionnaires doivent faire face à des **contraintes budgétaires croissantes** (restrictions des budgets alloués à l'entretien, arbitrages et nécessaire priorisation). Ces contraintes rendent nécessaires à la fois l'identification des budgets à mobiliser dans une stratégie de gestion sur le long terme (comment éviter que l'ensemble du patrimoine ne se dégrade ?) et la capacité à hiérarchiser les priorités de manière rationnelle.

« Le taux moyen estimé nécessaire de renouvellement des chaussées est de 8 %. Durant la période 2005/2007, il était situé pour le réseau national entre 4 et 5%. Le plan de relance avait permis de le porter à 8% en 2009. Il est ensuite retombé à 6% en 2010 et à moins de 5% en 2011⁸. Le linéaire nécessitant de grosses réparations augmente. [...] Le problème est identique pour le réseau départemental structurant : la baisse très importante des crédits routiers des conseils généraux les amène à dégrader le niveau de service de leurs routes et à laisser une dégradation progressive de leur patrimoine routier s'installer. » [Cula, 2011]

Par ailleurs, **l'articulation entre le plan de long terme (gestion patrimoniale) et les actions de court terme (stratégie d'entretien) est rarement formalisée**, les budgets étant le plus souvent décidés de manière distincte et les services concernés étant différents. Dans le domaine des réseaux, [Burn et al, 2010] ont analysé comment les différents niveaux d'échelle de temps et d'espace s'organisent, depuis la maintenance opérationnelle (local / très court terme) jusqu'à la gestion patrimoniale stratégique (global / long terme) en passant par le niveau intermédiaire de la gestion patrimoniale tactique. Ils considèrent qu'une approche en termes de « qualité de service » doit permettre d'unifier les approches et les modèles aux différentes échelles. Une décision optimale en termes de maintenance pourrait reposer sur une analyse coût/bénéfice, qui est aujourd'hui rarement conduite, tant il est difficile de formaliser l'ensemble des enjeux et d'apprécier précisément les risques.

Les compétences des gestionnaires de patrimoine sont disparates et leurs modes d'organisation variés. Si plus de 200 000 ponts sont recensés en France, seuls 15 000 sont sous le contrôle de l'Etat et 5 000 sous celui de sociétés autoroutières, les autres faisant l'objet d'une maîtrise d'ouvrage dispersée. Se pose le problème de la sensibilisation de ces maîtres d'ouvrage, en l'absence de réelle contrainte réglementaire et de pression du monde de l'assurance. La récente mais profonde **réorganisation des services de l'Etat et des missions du Réseau Scientifique et Technique du MEDDE**⁹ laisse aujourd'hui de nombreux gestionnaires désemparés (insuffisance des compétences internes, manque d'interlocuteurs), notamment les collectivités de taille modeste [Daudigny, 2010, Virlogeux, 2011]. L'absence (ou le risque de disparition) d'une « doctrine » fait par exemple craindre une détérioration rapide des patrimoines techniques dont sont chargés les collectivités territoriales. Le retrait des services de l'Etat s'est accompagné de la création d'entreprises privées qui ont souvent repris une partie de ses compétences, mais sans que perdurent la vision plus intégratrice de la diversité des patrimoines et la volonté d'enrichir des bases de données. On remarque également que le niveau de compétences des gestionnaires peut être variable, certains ayant par exemple été contraints par la réglementation de mettre en place, très tôt, une politique de gestion préventive. Des outils comme les notations IQOA (pour les ouvrages d'art), IORN (pour les chaussées du réseau national), ou encore les procédures VSC (visites simplifiées comparées, applicables à des patrimoines diversifiés) constituent autant d'exemples reconnus de systèmes de notation des performances du patrimoine. Leur pérennité dans un contexte de gestion évolutif est à assurer. Un autre défi est de

⁸ Il serait autour de 4% en 2012 (Route actualités 206, avril 2013).

⁹ Un rapport du Sénat de 2010 met en avant la difficulté que va engendrer la disparition quasi-programmée de l'ingénierie publique pour les petites collectivités territoriales. En particulier, ce rapport met en avant la disparition progressive des compétences en ingénierie conventionnelle disponibles dans les anciennes DDE et habituellement dédiée aux collectivités les plus démunies, vers de nouvelles typologies de missions, davantage orientées vers le conseil, l'expertise ou l'animation à travers les nouvelles DDT (Directions Départementales des Territoires). Ces collectivités (conseils généraux, communautés urbaines, communes) qui ont aujourd'hui la charge d'un parc de bâtiments et d'infrastructures parfois très important n'ont pas concrètement les moyens de l'assumer, du point de vue technique et du point de vue de l'ingénierie. Elles ont donc besoin de disposer d'outils leur permettant progressivement, sinon d'assumer elles-mêmes des missions d'ingénierie, mais pour le moins d'établir un rapport de forces avec les prestataires en ingénierie privée dans le cadre par exemple de lancement d'appel d'offres [Daudigny, 2010].

faire évoluer ces systèmes pour prendre en compte plus largement les aspects non techniques de l'évaluation (impacts environnementaux, dimensions sociales).

« Il faut que l'administration – au sens large – et la profession s'organisent pour faire face à l'inévitable évolution qu'implique la réduction du volume des travaux neufs et l'accroissement des besoins d'entretien et de réparation. Il faudra de plus en plus inspecter, entretenir et réparer. » [Virlogeux, 2011]

Un autre élément nouveau est le développement des **Contrats de Partenariat**, qui incite à « penser sur le temps long » et à réfléchir dès la conception à la manière dont les ouvrages vieilliront et seront entretenus, ouvrant la voie à des innovations techniques (capteurs intégrés, réflexions sur la « maintenabilité »...). La conception et le dimensionnement peuvent être modifiés par le souci de prendre en compte plus explicitement les coûts d'exploitation.

2.2.2. De nouvelles exigences – la prise en compte de la durabilité

Les **exigences sur les infrastructures existantes changent**, du fait d'une évolution de la réglementation¹⁰, des usages (augmentation de trafic p.ex.) ou d'une modification des conditions de service (par exemple la nécessité d'une meilleure résistance aux séismes). A moyen et long terme, l'impact du changement climatique pourra se traduire en agressions plus sévères qui pourront requérir une adaptation des ouvrages.

Parmi les nouvelles exigences, celle de **durabilité** occupe une place prééminente. Ce vocable de durabilité revêt un double sens. On peut parler d'exigence de durabilité au sens où l'on demande aux matériaux des propriétés pérennes. La durabilité caractérise alors la capacité d'un ouvrage à conserver les fonctions d'usage pour lequel il a été conçu, tout en maintenant son niveau de fiabilité, avec des coûts d'entretien aussi réduits que possible. Cette exigence a, depuis une vingtaine d'années, modifié la manière de concevoir les ouvrages, puisque l'on peut vérifier des « états limites de durabilité » au même titre que des états limites ultimes ou de service¹¹, et s'engager dans des approches dites performancielles, de manière à satisfaire ces nouvelles exigences [Baroghel-Bouny, 2012] appliquées au CND [Villain, 2012], de manière à satisfaire ces nouvelles exigences. Mais, même si de nombreuses questions restent ouvertes, on reste là dans le champ de l'ingénierie traditionnelle.

La deuxième acception du vocable correspond à la durabilité au sens du développement durable¹², c'est à dire des actions que l'on peut conduire en pesant leur impact du triple point de vue des conséquences économiques, sociales et environnementales (auxquelles on ajoute usuellement la bonne gouvernance). **Les pouvoirs publics et les gestionnaires sont de plus en plus préoccupés par le caractère durable / soutenable de leur politique et de leurs actions.** Dans la suite du texte, le mot durable ne sera employé qu'avec cette deuxième signification.

¹⁰ Par exemple, le décret n° 2007-1735 du 11/12/07 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques et au comité technique permanent des barrages et des ouvrages hydrauliques et modifiant le code de l'environnement a profondément modifié les exigences, instituant la notion d'étude de danger, qui doit être périodiquement réactualisée et donc tenir compte de l'état de l'ouvrage existant.

¹¹ De nombreuses études ont montré par exemple le coût exorbitant de la corrosion, qui est estimé dans les pays développés à plusieurs points de PIB, et l'on sait que la corrosion du béton armé est, de loin, le mécanisme de détérioration des ouvrages qui a le plus d'impact (une étude de la FHWA l'avait estimé en 2001 à 276 milliards de dollars annuels pour les USA, soit 3.1 % du PNB, Cost of corrosion study unveiled, NACE).

¹² L'adjectif « soutenable », de *sustainability*, n'a pas eu le succès escompté par ses promoteurs, et le double sens du mot « durable » permet parfois d'entretenir l'ambiguïté.

Pour ce qui relève des politiques de gestion patrimoniale, « penser durable » suppose que l'on travaille sur le « temps long », ce qui n'a rien d'innovant, mais aussi que l'on se préoccupe de l'ensemble des conséquences des actions :

- quelle est la contribution sociale des infrastructures et quels sont les impacts de leur dysfonctionnement potentiel ?
- quel est le coût environnemental de leur entretien ou de leur défaillance ?
- comment prendre des décisions qui relèvent de compromis [Benoit et Rousseaux, 2003] ?

Répondre à de telles questions suppose que l'on dispose d'outils d'analyse et d'évaluation adaptés au problème, et pouvant servir de support de discussion entre techniciens-ingénieurs et gestionnaires-décideurs. De tels outils sont développés dans de multiples domaines de la construction et de l'aménagement (éco-comparateurs, analyses de cycle de vie, grilles d'évaluation de projets...) [CERTU, 2006, Tessier, 2012] mais le retour d'expérience et leur validation demeurent exceptionnels [Keller et al, 2010, Fribourg, 2012, Crespi Reghizzi, 2013]. Les logiques usuelles de gestion, diverses selon les patrimoines concernés, reposent traditionnellement sur des critères techniques, fonctionnels et économiques. Intégrer ces préoccupations plus diverses requiert d'acquérir et de formaliser des connaissances nouvelles, et de mettre en place des procédures et des outils innovants.

Il est un domaine particulier qui aborde aujourd'hui pleinement la question de la gestion durable : il s'agit de la gestion des services de l'eau, à la suite du décret et de l'arrêté du 2 mai 2007¹³. Des indicateurs de performance, qui couvrent les dimensions environnementale, économique et sociale sont intégrés dans le rapport sur le prix et la qualité du service, pour en donner une vision synthétique. Des méthodes d'évaluation ont donc été proposées et sont actuellement affinées [Canneva, 2013].

2.3. Les raisons d'agir aujourd'hui

2.3.1. Une communauté d'acteurs – des projets et des questionnements partagés

Depuis une dizaine d'années un nombre significatif de projets collaboratifs de recherche ont été conduits en France. Ils ont regroupé autour d'objets communs gestionnaires d'ouvrages, développeurs de méthodes, bureaux d'ingénierie et chercheurs académiques. La plupart de ces projets ont pu se développer dans le cadre favorable du programme « Villes Durables » de l'ANR ou du Programme C2D2 du Réseau Génie Civil et Urbain.

Ces projets sont nés soit de la volonté d'approfondir un problème spécifique mal traité (par exemple la détection des vides dans les gaines de précontrainte, ou les mécanismes d'érosion interne des digues), soit de développer des techniques et protocoles innovants. Ils ont souvent été portés par la volonté de gestionnaires (EDF, SETRA...) de disposer de moyens pour mieux répondre aux questions de gestion opérationnelle des ouvrages. Outre des avancées significatives sur certains sujets, leur retombée majeure a été la constitution d'un réseau informel d'acteurs (une « communauté » scientifique et technique), bien identifiée et aujourd'hui reconnue au meilleur niveau international sur ces questions du diagnostic, de l'évaluation et de la gestion des ouvrages. La figure qui suit recense, sans viser à l'exhaustivité, douze de ces projets initiés depuis 2005. C'est l'existence d'un tel réseau qui a permis par exemple le très récent succès (mai 2013) à l'Appel à Projets « Initiatives

¹³ Circulaire 12/DE du 28 avril 2008 – Mise en œuvre du rapport sur le prix et la qualité des services publics d'eau et d'assainissement en application du décret 2007-675 du 2 mai 2007, MEDAD.

d'Excellence » pour le Projet ENDE, qui sera consacré aux questions de l'évaluation dans le génie civil nucléaire et au développement de techniques de diagnostic innovantes.

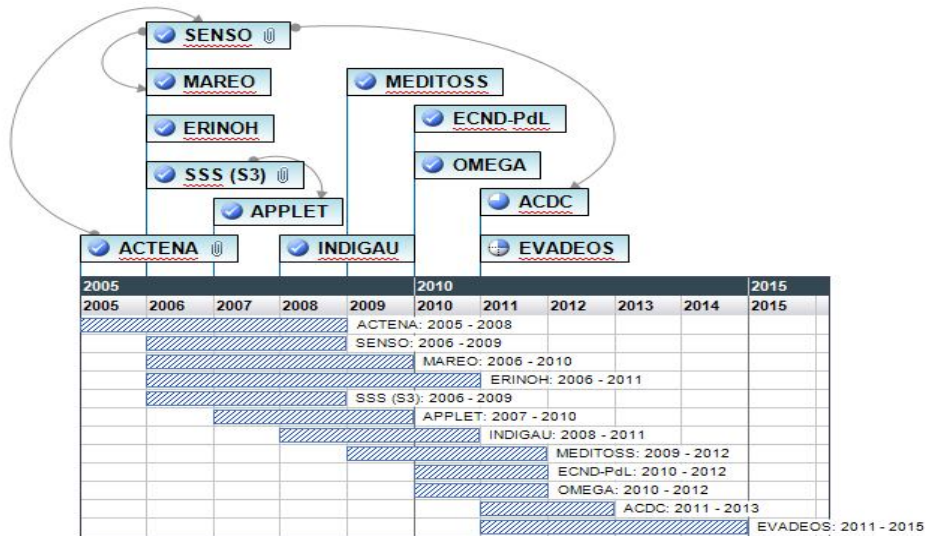


Figure 3. Frise chronologique des projets collaboratifs de recherche français relatifs à la gestion des ouvrages.

Nous nous bornerons ici à citer ces projets et leur objet d'étude, sachant qu'ils sont décrits plus en détail dans l'Annexe 2 de ce rapport :

- Actena (www.ndt.net/article/cofrend2008/papers/066.pdf, ANR, 2005-2008), Développement de méthodes d'auscultation de la précontrainte, des tirants et des ancrages de câble.
- Senso (<http://www-lmdc.insa-toulouse.fr/SENSO/EspPartSENSO/Documents-SENSO/Memoire-SENSO.pdf>, ANR, 2006-2009), Stratégie d'évaluation non destructive pour la surveillance des ouvrages : mise au point de techniques, sélection des techniques les plus appropriées et fusion de l'information
- S3 (http://or.lcpc.fr/scube/_DEPOT/s3_cp_gen_050209.pdf, Région Ile de France et Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2007-2011), Surveillance de la Santé Structurale des ouvrages
- Erinoh (<http://c.f.m.s.free.fr/Manifestations/110127/FRY.pdf>, ANR et IREX, 2006-2011), Erosion interne des ouvrages hydrauliques
- Applet (<http://or.lcpc.fr/applet/>, ANR, 2007-2010), Approche prédictive, performantielle et probabiliste de la durée de vie des ouvrages
- MAREO (http://www.pole-geniecivil-ecoconstruction.fr/download_assets/12, FUI, 2006-2010), Maintenance et réparation d'ouvrages littoraux et fluviaux en béton : optimisation par analyse de risques
- Meditoss (<http://www.ifma.fr/lami/presentation/pdf/MS/Fiche%20projet%20MeDiTOSS.pdf>, ANR, 2009-2012), Méthodologie de Diagnostic des Tunnels et Ouvrages Souterrains en Service
- Indigau (<http://indigau.com/>, ANR, 2008-2011), Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement
- ECND-PdL (Région PdL, 2010-2012), Evaluation et contrôle non destructifs en région Pays de la Loire, Programme d'action SETRA/CTOA, Optimiser la gestion du patrimoine routier existant
- OMEGA (ANR, 2010-2012) Outil METHodologique d'aide à la Gestion intégrée d'un système d'Assainissement (<http://www.graie.org/OMEGA2/>)
- ACDC (RGC&U, 2011-2013), Protocoles de mesure et d'exploitation à utiliser dans une finalité de diagnostic et de préservation des performances des ouvrages

- Evadéos (ANR, 2011-2015), Evaluation non destructive pour la prédiction de la dégradation des structures et l'optimisation de leur suivi.

Cette activité s'est aussi traduite par l'implication dans plusieurs projets européens, dont certains sont décrits plus en détail en Annexe 2. La thématique la plus abordée par les projets financés par la CE est celle des infrastructures de transport. On citera par exemple :

- ✓ Le Projet BRIME (Bridge Management in Europe), conduit dans le cadre du quatrième PCRD (<http://www.trl.co.uk/brime/intro.htm>) qui a dès 2002 établi le cadre et les outils d'un BMS (Bridge Management System)¹⁴.
- ✓ Le projet MEDACHS (<http://www.medachs.u-bordeaux1.fr/>, Atlantic Area, 2005-2007), Marine environment damage to Atlantic coast structures and buildings: methods of assessment and repair, dédié au développement de méthodes de qualification in situ des matériaux,
- ✓ Le projet DURATINET (<http://www.duratinet.org/>, Atlantic Area, 2009-2011), Network « Durable transport infrastructure in the Atlantic area », coordonné par le LNEC (Portugal) qui a eu pour objectif de constituer une base de connaissances à destination des gestionnaires, en synthétisant le savoir (sur les techniques d'inspection, les modes d'altération, les solutions de réparation, les modèles statistiques...). Les équipes françaises y ont été très actives. Aujourd'hui un large panel de documentation technique à l'usage des gestionnaires est disponible en ligne (<http://durati.lnec.pt/techguide/index.html>).
- ✓ Le projet Sustainable Bridges (<http://www.sustainablebridges.net/>) soutenu dans le cadre du sixième PCRD qui est plus dédié à l'amélioration et à la mise à niveau du patrimoine de ponts existants pour faire face à des exigences croissantes en termes de capacité et de trafic.
- ✓ Le projet TRACC, financé par le programme INTERREG IV, pour développer et valider des techniques routières innovantes, réduisant en particulier les impacts environnementaux.
- ✓ Le projet MAINLINE (Maintenance, renewal and improvement of rail transport infrastructure to reduce economic and environmental impacts, 2011-2014, <http://www.mainline-project.eu>) qui vise à développer des modèles économiques du cycle de vie des infrastructures ferroviaires, à développer des méthodes de surveillance et des outils d'aide à la décision pour la gestion du patrimoine existant. Ce projet se concentre sur le développement de nouvelles techniques et procédures d'intervention de maintenance réduisant les impacts. Le SETRA en est le principal partenaire français. Une idée du projet est que les méthodes et outils développés pour le patrimoine ferroviaire puissent être généralisables et applicables à d'autres types de patrimoine.

D'autres projets pourraient être cités, conduits en Europe ou en Amérique du Nord [Samaris, 2006], qui visent à développer le formalisme et les outils d'une gestion des infrastructures. Il faut cependant constater qu'ils sont souvent consacrés aux infrastructures de transport et privilégient une vision technique de la gestion.

Pour revenir à l'échelon national, jusqu'à ce jour, les projets sont nés et se sont développés au fil des opportunités (appels à projets, intérêt de tel ou tel partenaire) sans s'intégrer dans une ligne directrice prédéfinie. Ils ont regroupé des partenariats de taille variable, se sont intéressés à tel ou tel maillon de la chaîne de gestion, et ont concerné des patrimoines variables. Il convient cependant de souligner que ces projets étaient ciblés : soit sur une des phases de la gestion (par exemple l'inspection ou l'évaluation non destructive), soit sur un type d'ouvrages ou de patrimoine (tunnels en maçonnerie, réseaux urbains, digues...). Enfin, **les dimensions propres au développement**

¹⁴ On appelle Bridge Management System un ensemble de règles et de procédures utilisées pour identifier une stratégie de maintenance. On emploie usuellement le terme pour évoquer des logiciels qui organisent et appliquent ces règles, en s'appuyant en général sur une base de données relative aux ouvrages et à leur inspection [NCHRP, 2007].

durable, si elles commencent à être abordées, structurent rarement la démarche globale. Les recherches sur les réseaux techniques urbains (INDIGAU, à la suite du PN RERAU) abordent cependant la question de la gestion patrimoniale sous un angle plus large, couvrant les questions techniques, mais aussi les dimensions propres aux usages, aux performances attendues¹⁵...

Le Tableau de synthèse de la page suivante approfondit ce constat. Pour chaque projet, il précise :

- le type de patrimoine concerné,
- les échelles de temps et d'espace cibles,
- le type d'enjeux,
- les objets de recherche : modèles, techniques de mesure, aide à la gestion.

Ce tableau permet de confirmer la similitude des problématiques pour des patrimoines très divers. Il confirme aussi la prééminence des enjeux scientifiques et techniques, avec la prise en compte des enjeux économiques. Il montre enfin que les efforts sont équilibrés sur l'ensemble des maillons : acquisition et traitement de données, développement de modèles, surveillance-gestion et décision. Peu de projets ont réellement abordé la question de la durabilité de la gestion / gouvernance, en intégrant les dimensions environnementales et d'usage. Sur ces sujets, les acteurs du domaine de l'eau (Projets INDIGAU et OMEGA) et ceux du domaine des risques sont certainement plus avancés. On peut par exemple citer le développement de la méthode EAU&3E ou celui d'indicateurs de développement durable attaché au sol urbain dans le Projet ANR D2SOU (ces deux projets sont brièvement décrits en Annexe 2).

¹⁵ On peut aussi évoquer le Projet Data4IAM (Making decision support systems a viable solution for efficient, effective and economic urban water infrastructure asset management), soumis au FP7, et auquel participent pour la France IRSTEA, l'INSA de Lyon et G2C Ingénierie. Ce projet vise à approfondir les connaissances pour mieux évaluer les compromis technico-économiques, en particulier du fait des incertitudes sur la pérennité des solutions techniques.

PROJET	TYPE D'INFRASTRUCTURE						Type de gestion	Echelle	Type d'enjeux					Type de recherche						Durée	Lien Entre projets	Remarques						
														Modèle		Mesure		Décision, gestion										
	Routes	Ouvrages d'art	Ouvrages souterrains	Réseaux Assainissements	Constructions liées à la production d'énergie	Ouvrages Maritimes et hydrauliques	Tous ouvrages confondus	Court terme (état)	Long terme (prévision)	Ouvrage	Patrimoine	Réseau	Sociaux et Humains	Environnementaux	Economiques	Techniques	Scientifiques	Modèle Prédictif	Modèle Numérique calcul	Développement CND (Mesure, Erreur, Fiabilité)	Stratégie/Méthodologie d'évaluation (Indicateurs, diagnostic)	Etablissement d'une base de données	Méthodologie de suivi (surveillance structurale)	Cadre du recalcul - réingénierie	recommandation (maintenance/ réparation/ réhabilitation)	Gestion et aide à la décision et	(si reprise d'un projet ou suite dans la même optique)	
ACTENA	X						X			X					X	X			X	X						3ans	SENSO	B.P non accessible
SENSO	-	-	-	-	-	-	X	X		X					X	X			X	X	X	X	X			3ans	ACTENA	B.A
SSS	X				X		X	X		X		X	X	X			X			X					X	3ans	APPLET	-
ERINOH						X		X		X			X	X	X	X			X			X				5 ans	-	-
APPLET	-	-	-	-	-	-	X		X		X			X	X	X	X		X				X	X	X	3ans	SSS	Corrosion
MAREO						X		X	X		X			X	X	X	X		X	X			X	X	X	4ans	-	Optimisation maintenance
MEDITOSS			X				X				X			X	X	X		X	X	X		X		X	X	3ans	-	-
INDIGAU				X			X				X		X		X			X	X	X		X		X	X	3ans	-	-
ECND-PdL	-	-	-	-	-	-	X	X		X				X	X	X	X	X	X						X	2ans	-	-
OMEGA				X			X				X	X	X	X						X					X	2ans	-	-
ACDC	X				X		X	X		X		X	X			X	X	X	X				X		X	2ans	SENSO	
EVADEOS	X				X		X	X		X					X			X	X				X		X	4ans	-	Corrosion

Tableau 1. Analyse comparative des projets collaboratifs nationaux : type de patrimoine, échelle, enjeux traités

2.3.2. Des techniques et des outils en évolution

Le contexte de la gestion patrimoniale est aussi marqué par le développement récent d'outils, de techniques et de méthodes dont peuvent se saisir les acteurs. Ces progrès concernent l'ensemble de la chaîne de la gestion : (a) la métrologie et l'acquisition de données, (b) le traitement de l'information, (c) les méthodes d'évaluation environnementales, (d) les outils logiciels d'aide à la gestion, (e) les bases de données et de connaissance.

Citons quelques exemples :

- (a) la métrologie et les capteurs. Les capacités d'acquisition d'informations relatives à l'état du patrimoine se démultiplient : capteurs intégrés à l'ouvrage, systèmes de mesure à grande vitesse, reconnaissance par drones. Il **n'existe cependant aucune organisation permettant de vérifier les performances des dispositifs en condition d'emploi et leur conformité à des références, de former et valider les compétences des opérateurs**. Cette absence de procédures formalisées de validation des techniques est un frein à leur plus large diffusion et à leur appropriation par les services en charge de la gestion des infrastructures ;
- (b) le traitement de l'information. Les moyens numériques sont de plus en plus performants (traitement de données, analyse d'images, inversion...) mais le frein majeur reste celui de l'expertise nécessaire pour interpréter les mesures, les replacer dans leur contexte, éliminer les sources de biais... Les projets de recherche ont largement permis d'avancer sur cette voie, **mais les méthodes d'analyse restent encore une affaire d'experts** ;
- (c) la nécessité de prendre en compte l'ensemble des impacts environnementaux a été un moteur pour le développement progressif d'outils et de méthodes d'analyse et, simultanément, celui de bases de données permettant de procéder à des évaluations environnementales (analyses de durée de vie, quantification des impacts), en particulier pour les matériaux de construction et le bâtiment. Des procédures se sont aussi développées à plus grande échelle (impact des projets, dans le cadre des études d'impact imposées par la législation) ou pour évaluer les impacts des opérations d'entretien. La vision procurée demeure cependant parcellaire et relativement indépendante des autres dimensions de l'évaluation (technique, économique...) et souvent assez largement empreinte du poids des secteurs industriels [Cimbéton, sans date, Vial et al, 2009]. Disposer de **méthodes d'évaluation environnementale validées collectivement** apporterait un réel bénéfice pour l'aide à la décision ;
- (d) les outils d'aide, les simulateurs. Les outils d'ingénierie développés permettent de gérer de grandes quantités d'informations, de disposer de « tableaux de bords » de l'état du patrimoine. Ils peinent cependant à proposer des plans de gestion, aussi bien sur le temps long (besoins d'investissement) que sur le temps court (priorisation des opérations). Le **développement de simulateurs de gestion est une voie récente**, qui devra reposer sur des procédures de validation à mettre en place ;
- (e) les bases de données et la formalisation de la connaissance. La gestion de grandes quantités de données sur de longues périodes ouvre de nouveaux horizons. Traiter ces données pour acquérir de nouvelles informations est un enjeu crucial, déjà abordé par certains maîtres d'ouvrages (par exemple pour la surveillance du parc barrages et la détection du franchissement de seuils d'alerte). La **formalisation du retour d'expérience**, entre autres après incidents ou défaillances permettrait de franchir un pas, mais elle se heurte à de nombreux

obstacles techniques et organisationnels. Sa mise en œuvre a été théorisée par J. Wood (2008) et est aujourd'hui mise en œuvre au Royaume-Uni par le SCOSS¹⁶.

2.3.3. Pour une structuration de la filière professionnelle de la gestion du patrimoine

Dans un contexte technique et sociétal en profonde évolution, les acteurs professionnels ne sont pas restés inactifs. Leur mobilisation a deux moteurs principaux :

- le danger qui résulterait d'une perte de compétences
- les opportunités offertes par des besoins nouveaux.

Par exemple, dans le domaine des infrastructures routières, l'IDRRIM a vu le jour (<http://www.idrrim.com/idrrim/missions.htm>) avec comme missions de fédérer les acteurs pour la cohérence de la doctrine et des règles de l'art, et de mettre en œuvre des moyens pour réagir aux évolutions techniques et sociétales.

Attaquer la question de la GEstion Durable des Infrastructures impose de répondre à des défis complexes, mais est riche de retombées potentielles. Au-delà des seules conséquences pour le patrimoine concerné et les finances des gestionnaires, on peut envisager le développement d'un secteur économique particulier, celui de l'« **ingénierie de la gestion durable** », dépassant l'ingénierie de la conception et intégrant l'ensemble du cycle de vie des ouvrages. L'offre professionnelle de ce secteur (bureaux d'études et de contrôle, entreprises de travaux) gagnera en structuration, en lisibilité et en efficacité et concernera des **pans d'activité à forte valeur ajoutée**. Pour paraphraser le Président du STRRES¹⁷, elle viserait non pas à « plus de travaux » mais à « mieux de travaux ». La mise en place de doctrines et procédures validées par la profession et le développement d'outils, de techniques, de logiciels... seront des éléments structurants essentiels. Elle s'appuiera sur la **formation** et pourra aussi conduire à une démarche de certification des techniques (de contrôle, de réparation) et des opérateurs telle qu'elle existe dans l'industrie mais qui fait encore défaut dans le secteur de la construction.

La **promotion d'une « ingénierie de la maintenance »** est au cœur des préoccupations d'acteurs comme IMGc, association regroupant des acteurs de l'ingénierie, de la maîtrise d'ouvrage et du monde académique (<http://www.imgc.fr/>), qui prône par exemple la mise en place d'un carnet d'entretien des ouvrages... Cette volonté recoupe celle des professionnels du domaine routier qui préconisent de privilégier une gestion patrimoniale (technique et financière) des infrastructures et de disposer d'indicateurs de la qualité de service, sous la forme d'un rapport annuel de l'état des lieux. Pour eux, il s'agit aussi de revisiter les dispositifs contractuels de gestion et d'exploitation des réseaux à partir d'une logique de performance pour affecter les ressources dédiées à l'entretien et à l'amélioration (Route actualité 206, avril 2013). L'ingénierie privée doit aussi s'organiser pour faire face au besoin croissant d'inspection, de diagnostic et de maîtrise d'ouvrage pour que les travaux nécessaires puissent être réalisés dans les meilleures conditions [Tridon, 2012, Virlogeux, 2011].

Le constat a aussi été fait d'un manque de transfert de compétences entre secteurs industriels voisins ou entre différents cadres de maîtrise d'ouvrage. Le **secteur de la construction pourrait bénéficier de pratiques plus avancées dans le domaine de l'analyse des risques ou de la maintenance préventive en aéronautique ou en génie nucléaire**. La maîtrise des risques appliquée à la gestion des

¹⁶Le SCOSS (Standing Committee on Structural Safety) est sous l'égide de la profession (ICE) et des pouvoirs publics (HSE). Il a mis en place une procédure de REX, le CROSS (Confidential Report on Structural Safety) et a une politique de développement des partenariats avec d'autres pays (<http://www.structural-safety.org/reports/>).

¹⁷ STRRES – syndicat des entreprises de réparation et de renforcement des structures, <http://www.strres.org/>

infrastructures de génie est susceptible de fournir un cadre décisionnel permettant une meilleure définition des responsabilités et des budgets, tout en fiabilisant l'identification des causes de dérives ou d'incidents. Elle permettrait notamment de gérer l'importance croissante du vieillissement de l'état des infrastructures, en proposant une priorisation des actions et une optimisation sur le long terme des performances économiques (au sens large) des projets. Symétriquement, des pratiques mises en œuvre efficacement dans certains domaines (ouvrages d'art du réseau national, réseaux urbains) pourraient être adaptées dans d'autres secteurs¹⁸.

2.3.4. Pour renforcer le positionnement international des acteurs

Nombre des partenaires susceptibles de participer au Projet National GEDI sont déjà actifs à l'international, où ils valorisent leur savoir-faire en termes de méthodes innovantes pour le suivi des ouvrages. C'est le cas de la plupart des partenaires académiques, impliqués dans de nombreuses collaborations, des organismes publics, qui participent à de multiples projets européens, mais aussi de certains gestionnaires d'ouvrages (EDF, SNCF...) ou de représentants de l'ingénierie (p. ex. Advitam avec la Ville de New-York pour la surveillance des ouvrages, ou Oxand pour l'analyse intégrée des risques en gestion de patrimoine).

Le développement d'une « **doctrine nationale** » dans le domaine de la Gestion Durable des Infrastructures offrira sans conteste de nouvelles opportunités de développement. Un constat identique a été fait récemment quant à l'opportunité que pouvait procurer un investissement fort (aux Etats-Unis¹⁹) pour développer la connaissance et les technologies à la suite de défaillances spectaculaires d'ouvrages.

La France a longtemps occupé une place de tout premier plan à l'international dans le domaine de la conception et de la construction des ouvrages. Face à une demande sans cesse croissante de besoins techniques et d'ingénierie dans le domaine de la gestion des infrastructures existantes, il convient de **doter les acteurs (entreprises de construction et ingénierie) d'outils qu'ils pourront par la suite largement valoriser à l'export.**

Un autre bénéfice attendu de cette mobilisation nationale serait le poids plus fort que pourraient prendre les acteurs nationaux dans le cadre de la rédaction des futurs Eurocodes concernant l'évaluation des ouvrages existants. Disposer d'une doctrine nationale, reposant sur des méthodes et outils largement partagés, permettrait de peser plus fortement sur l'orientation des textes qui régiront prochainement ce domaine, facilitant ainsi la diffusion de ces pratiques.

¹⁸ A. Adjadj et al. relèvent le manque de formalisme et de rigueur pour la gestion patrimoniale du génie civil dans les installations industrielles (Maîtrise du vieillissement des installations industrielles : comparaison des politiques en France et dans 4 pays étrangers, INERIS, 17^{ème} Congrès de Maîtrise des Risques et de Sécurité de Fonctionnement, La Rochelle, 5-7 octobre 2010).

¹⁹ « Des pays comme le Brésil, la Russie, l'Inde et la Chine sont largement derrière les Etats-Unis en ce qui concerne le développement de leurs infrastructures. Avec la croissance de ces marchés, la demande pour des [... compétences] plus avancées suivra » ; <http://www.bloomberg.com/news/2013-05-30/the-opportunity-of-failing-bridges.html>

3. Analyse des opportunités et des verrous

3.1. Des compétences riches mais des pratiques disparates

Les multiples maîtres d'ouvrage en charge d'un important patrimoine technique ont développé et formalisé au fil des ans des stratégies relatives à leurs modes de gestion (inspection, évaluation, voire réparation). Par exemple, les services de l'Etat ont développé une doctrine pour la gestion des ouvrages d'art qui s'est traduite par une révision en 2010 du corpus de recommandations relatives à la gestion des ouvrages d'art (ponts, tunnels, soutènements...).

Les instructions ITSEOA-2010²⁰

Les textes s'appliquent aux ouvrages gérés par les DIR mais ont été rédigés de manière à pouvoir être transposés à l'organisation et aux méthodes de gestion d'autres maîtres d'ouvrages. Une nouveauté a été l'introduction de l'analyse de risques pour différentes familles d'ouvrages sensibles. [Lacoste, 2010]. Les objectifs sont fixés à deux niveaux :

- au niveau du parc dans son ensemble, qu'il s'agit de préserver et de valoriser en optimisant les moyens techniques, humains et financiers,*
- au niveau des ouvrages individuels, dont il s'agit de maintenir l'état fonctionnel afin d'assurer à la fois le niveau de service et le niveau de sécurité pour les usagers.*

La question de l'organisation du maître d'ouvrage est traitée par l'ITSEOA en distinguant trois niveaux :

- le niveau décisionnel : définition de la politique, fixation des objectifs, analyse des actions, évaluation de la politique...*
- le niveau organisationnel : programmation des actions, surveillance et contrôle de ce programme, capitalisation des résultats...*
- le niveau opérationnel : réalisation des opérations de contrôle et d'entretien courant, organisation des mesures relatives à l'exploitation et à la sécurité...*

La société EDF a, elle aussi, mis en place depuis plusieurs dizaines d'années, des procédures formalisées pour la surveillance de son patrimoine d'ouvrages de production d'énergie (nucléaire, hydraulique), qui est organisé autour de l'exigence première : la sécurité et la fiabilité des installations [Stephan et Salin, 2012]. Les études de danger et les revues de sûreté y occupent une place importante [Perez, 2010 ; EDF, 2012]. Son savoir-faire est reconnu pour être au meilleur niveau international. La comparaison avec les préoccupations et les pratiques d'autres types de patrimoines montrent d'intéressantes similitudes qui n'ont cependant pas été formalisées. Dans le domaine routier, certains gestionnaires ont développé des méthodologies très originales, intégrant des outils multicritères d'aide à la décision [Sanchez, 2007]. Une expertise a aussi développée par d'autres gestionnaires d'infrastructures de transport (SNCF [Talfumière, 2011 ; Schmitt et al, 2011], RATP [Llanca, 2012 ; Paterna Hidalgo et al, 2012 ; Rhayma et al, 2013]...). D'autres exemples pourraient être pris chez les gestionnaires de digues, ou chez ceux des réseaux techniques urbains (eau et assainissement [Breysse et al, 2007]).

²⁰ Ces recommandations témoignent de réelles avancées dans le domaine, qui confirment la position de pointe de la France dans le domaine (Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art, Editions Setra, Décembre 2010).

Chacun de ces gestionnaires a développé une large expertise sur son patrimoine spécifique, avec des avancées plus ou moins innovantes dans tel ou tel domaine (recours aux techniques de contrôle non destructif, méthodologie d'évaluation des ouvrages, analyse de risque, analyse multicritère et prise en compte de critères non techniques, aide à la décision...). On peut noter que de premiers efforts ont été entrepris récemment dans le domaine du génie civil portuaire pour comparer les pratiques [Boéro et al, 2007]. Cependant, force est de constater que ces avancées ont été menées de manière indépendante et parallèle, sans véritable échange entre les domaines, et sans que les avancées d'un domaine puissent bénéficier à d'autres.

Un même constat a été établi par l'INERIS [Adjadj et al, 2010] sur le génie civil des installations industrielles, qui a en outre pointé dans ce domaine de multiples insuffisances : *« Il n'y a pas de réglementation spécifique à l'inspection du génie civil qui est souvent réalisée sur la base du volontariat. [...] L'opérateur juge de lui-même, selon ses propres critères, que l'état des éléments de génie civil nécessite l'intervention du service de maintenance. [...] On ne trouve nulle part d'éléments sur la qualification et la formation des personnes réalisant les inspections ».*

Le Projet National GEDI a pour ambition de favoriser les échanges entre gestionnaires d'ouvrages pour, sans remettre en cause les disparités existantes, mettre en relief la cohérence qui peut s'en dégager et tirer le meilleur parti des savoir-faire développés par chacun et en faire bénéficier plus largement l'ensemble des acteurs.

3.2. Mettre les avancées techniques et méthodologiques au service des pratiques opérationnelles

A chacun ses missions et ses compétences. Si le monde académique a pour mission de développer les connaissances et d'améliorer leur diffusion, les gestionnaires ont avant tout des préoccupations opérationnelles : ils demandent de disposer d'un cadre validé dans lequel ils pourront mettre en œuvre un programme de gestion des infrastructures qui satisfasse les priorités définies par les décideurs politiques et les autorités de contrôle. C'est ainsi que des recommandations concernant la gestion des infrastructures revêtent usuellement la forme suivante :

- (a) des instructions générales, rappelant le cadre global, fixant l'objet et la périodicité des interventions,
- (b) les modalités de recueil des éléments qui constitueront les « archives » du patrimoine et de son évolution au fil des ans,
- (c) les informations techniques sur les opérations de surveillance : périodicité, techniques, analyse et exploitation des données, logique de décision.

Jusqu'à ce jour, l'essentiel des recommandations existantes a privilégié le regard technique, assurant le maintien d'un niveau de sécurité / fiabilité cible, évitant des défaillances brutales, et assurant indirectement que le patrimoine se détériore excessivement, au risque d'induire des coûts futurs inacceptables de remise à niveau. Il s'agit de franchir une étape, en élaborant un cadre de recommandations qui élargisse les objectifs de la gestion du patrimoine, en passant de la seule vision technique à une vision plus globale, et permettant aussi d'évaluer la qualité de la gestion elle-même.

Les avancées récentes du monde académique (dans le cadre des projets listés au § 2.3) ont été nombreuses, qu'elles aient porté sur les techniques de mesure (instrumentation, contrôle non destructif), sur l'analyse des données, sur l'évaluation des impacts environnementaux, sur les logiques d'évaluation multicritère et les outils d'aide à la décision, mais la traduction de ces avancées vers les

pratiques opérationnelles est demeuré très limité. **L'interface entre ces deux mondes (académique et opérationnel) doit être au cœur d'un Projet National.**

Les verrous à lever sur ces questions sont bien connus [Godart et Breysse, 2005]. Les principaux viennent de :

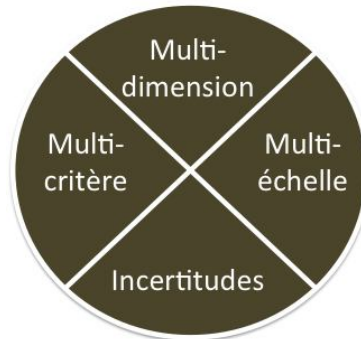
- la **difficulté pour les gestionnaires à formuler leurs objectifs** en termes explicites qui puissent se traduire par des programmes d'actions techniques (inspection, évaluation, réparation...) visant à les satisfaire,
- la **difficulté pour les spécialistes techniques à traduire leurs résultats** de mesure et d'évaluation en termes directement utiles à la prise de décision, rendant par exemple difficile l'évaluation de la sécurité ou de la durée de service résiduelle.

Un troisième verrou réside dans la **grande disparité des patrimoines techniques** (type d'ouvrages et familles de matériaux, exigences de service, environnement, cadre réglementaire, modalités de gestion). La pratique actuelle consiste à apporter des réponses spécifiques à chaque problème, sans chercher une cohérence ni à tirer parti des compétences mobilisées dans des domaines proches.

Le Projet National GEDI devra s'attaquer à ces trois verrous.

3.3. Une problématique d'une grande complexité

La grande complexité de la problématique de la gestion durable du patrimoine provient de ce qu'elle est multidimensionnelle, multi-échelle, multicritère et que les incertitudes y tiennent une place importante.



3.3.1. Une problématique multidimensionnelle

La problématique du management des infrastructures a été modélisée par les experts comme relevant de trois domaines en interaction, comme l'illustre la figure 4 [Duratinet, 2012]. Ce sont les domaines respectifs :

- (a) de la mesure et du traitement des données,**
- (b) de la modélisation des matériaux et des structures,**
- (c) de la décision et de la gouvernance.**

Ces trois domaines mobilisent des compétences différentes et concernent différents métiers. Si l'on étend les objectifs de la gestion et les exigences au-delà des seules exigences de sécurité structurelle, le champ des deux premiers domaines s'élargit au-delà des questions traditionnelles d'ingénierie et

ouvre de nouvelles questions : mesure et évaluation dans le champ de l'environnement, de l'utilité sociale, de l'économie...

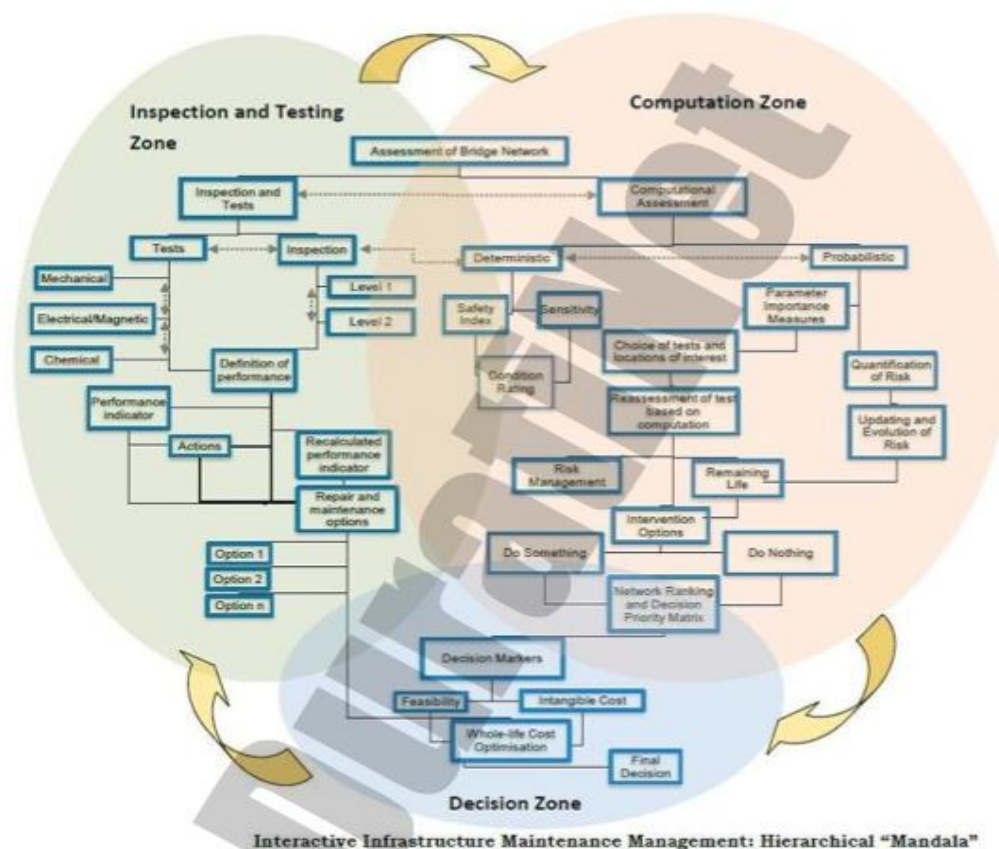


Figure 4. Les interactions entre les trois domaines couvrant la gestion des ouvrages

Une difficulté majeure est **l'interaction entre ces trois domaines**, constitutive des problématiques de gestion, et qui requiert un dialogue permanent entre les experts des différents champs :

- les **données** à acquérir dépendent de leur utilité, d'où interaction entre modélisateurs et spécialistes de la **mesure**,
- les **décisions** sont prises sur la base des estimations des **modèles**,
- c'est la **stratégie de gestion** qui impose la méthodologie et les **moyens** (techniques de surveillance, modèles d'évaluation).

3.3.2. Une problématique multi-échelle

Comme nous l'avons déjà évoqué à plusieurs reprises, une politique de gestion efficace du patrimoine doit rendre cohérents :

- des objectifs, des actions et des décisions à long terme (« stratégie de gestion », politique patrimoniale) et à court terme (« tactique », gestion opérationnelle),
- des objectifs, des actions et des décisions attachées à l'ensemble du patrimoine (parc / réseau) et à des ouvrages individuels.

Le Tableau 2 recense quelques unes des questions concrètes auxquelles le gestionnaire attend des réponses opérationnelles.

	A l'échelle des ouvrages	A l'échelle de l'ensemble d'un patrimoine
Sur le « temps court »	<i>Comment disposer de points de référence (y compris de « points zéro ») pour évaluer l'état du patrimoine ? Comment quantifier la sécurité / le niveau de performance de l'existant ? Comment établir/justifier (a) le choix de solutions d'entretien/réparation dans une situation donnée ? (b) des priorités entre ouvrages d'un même parc ?</i>	<i>Comment établir/justifier des priorités entre ouvrages d'un même parc ? Comment rendre cohérentes des décisions à l'échelle d'un patrimoine ? Comment coordonner les interventions pour réduire les impacts ?</i>
Sur le « temps long »	<i>Comment avoir une idée des cinétiques d'évolution et des risques encourus (aujourd'hui et dans le futur) ? Comment actualiser les connaissances tout au long de la vie de l'ouvrage, par exemple après la survenue d'un événement imprévu ?²¹ Comment anticiper des événements / scénarios plausibles ? (ex. réchauffement climatique, action extrême...) Comment justifier l'absence d'entretien, voire l'abandon d'un ouvrage ?</i>	<i>Comment optimiser les stratégies d'entretien du patrimoine ? (de manière à minimiser les coûts/impacts sur l'ensemble du cycle de vie ?) Comment établir /justifier la mobilisation d'investissements sur le moyen et long terme ? Dans quel état sera le parc à une échéance donnée et quels moyens mobiliser pour viser tel niveau de performance ?</i>

Tableau 2. Quelques questions concrètes des gestionnaires

De nombreuses interactions existent entre ces échelles :

- interactions temporelles : la politique patrimoniale ne peut pas se résumer à une succession pré-programmée de décisions et d'interventions, qui seront nécessairement remises en question (événements imprévus, contraintes budgétaires...),
- interactions spatiales, significatives pour tous les ouvrages en interaction physique, dès qu'ils font partie d'un réseau / itinéraire.

Si les interactions spatiales peuvent être assez aisément modélisées et prise en compte, ce n'est pas le cas des interactions temporelles étant donné la diversité des « trajectoires possibles », qui dépendent d'une multitude d'événements aléatoires. L'existence de solutions analytiques formelles ne permet pas de déduire des conclusions utilisables. **Le recours aux simulateurs de gestion** offre un vaste potentiel de progrès, en permettant de quantifier les effets à long terme de décisions et d'actions de court terme, et de comparer des variantes. En montrer l'intérêt aussi bien pour la formation des acteurs que pour la gestion opérationnelle sera un des enjeux du projet national.

Un autre verrou vient de ce que l'efficacité des décisions repose sur la qualité et la représentativité des informations dont on dispose. Or le temps du décideur est souvent défini par des critères (échéances électorales, durée de concession), difficilement compatibles avec le « temps long » de la gestion durable. Il convient donc que les experts du domaine technique puissent **mettre en place des dispositifs (de retour d'expérience, de thésaurisation des données...)** qui démontrent l'intérêt à mettre en œuvre une politique durable, afin d'éclairer les décisions. L'évolution du contexte de la gestion (contrats de partenariat) peut être un élément déclencheur en ce sens.

²¹ C. Binet et al, Pont de la Rivière Saint-Etienne : "Prendre en compte l'importance des enjeux sociétaux et économiques attachés au bon fonctionnement des ouvrages est nécessaire: l'analyse des risques attachés aux ouvrages considérés comme vulnérables devrait être réévaluée périodiquement et après chaque événement important. Cette réévaluation devrait faire l'objet d'une procédure pré-établie définissant la nature des observations à faire et incluant l'obligation d'une décision formelle par un responsable au niveau pertinent sur les actions à conduire. » (Collapse of the bridge over the Saint-Étienne river in the island of La Réunion).

3.3.3. Une problématique multicritère

La gestion de patrimoine relève de ce que l'on peut appeler la « décision en organisation » [Roy et Bouyssou, 1993]²². Il revient aux décideurs de définir les objectifs et les critères d'évaluation de leur politique de gestion patrimoniale. Ces objectifs, à l'origine essentiellement techniques et d'ordre économique s'enrichissent aujourd'hui d'autres éléments : qualité du service, impact environnemental, utilité sociétale du patrimoine... Une politique efficace et cohérente requiert que ces objectifs soient clairement définis et traduits en termes opérationnels (critères).

Il faut aussi disposer de **méthodes d'évaluation multicritère** (aucune solution ne sera la meilleure sur chacun des critères), qui serve de support pour l'aide à la décision. Les outils d'aide à la décision, pourront être employés pour faciliter les échanges entre les acteurs techniques et non techniques.

Notre pari de développer un cadre cohérent dans lequel pourront s'inscrire les politiques de gestion de différents patrimoines présente un danger : une politique efficace doit être pleinement **adaptée aux spécificités de chaque contexte** (nature du patrimoine, enjeux, priorités du décideur, échéances visées et performances attendues, budget mobilisable...). La richesse (des compétences) et la diversité (des patrimoines) doivent rester des atouts, ce qui conditionnera l'architecture du programme scientifique.

Enfin le caractère durable de la politique impose que la politique elle-même puisse être évaluée, par sa capacité à atteindre les objectifs fixés.

3.3.4. La place centrale des incertitudes

Pour les experts en management des infrastructures [Duratinet, 2012] : « *L'optimisation du management de la maintenance n'est possible que si l'on dispose d'informations complètes sur les infrastructures et sur les actions que l'on peut conduire. Dans la réalité des incertitudes significatives existent et l'estimation de la sécurité (et de son évolution dans le futur) est largement incertaine* ». Ce constat reste pleinement pertinent si on étend la question à celle de la durabilité de la gestion, qui intègre des critères d'évaluation plus riches que la seule sécurité structurelle (valeur patrimoniale, impact environnemental, contribution des infrastructures au développement...).

Une récente synthèse des projets de recherche de ces dernières années ayant abordé les problèmes de risques en génie civil [MRGenCi, 2012] a mis en avant les insuffisances dans le domaine « de l'optimisation de la décision multicritère en contexte incertain », question qui est au cœur des problématiques de gestion durable. Cette place centrale des incertitudes doit être reconnue par l'ensemble des acteurs :

- incertitudes des mesures (échantillonnage, représentativité) et des évaluations qui en résultent,
- incertitudes sur les résultats des actions (durabilité des réparations),
- incertitudes sur le comportement futur des ouvrages (évolution des matériaux et des actions externes),
- incertitudes sur le processus de gestion (contraintes budgétaires futures)...

²² Le lecteur intéressé pourra consulter l'Annexe 3 qui fournit quelques éléments complémentaires sur cet aspect.

Le **concept de risque**²³, qui gouverne déjà la politique de gestion de certain patrimoines et a été récemment repris dans le cadre de la gestion des ouvrages d'art, **fournira un cadre cohérent** à l'ensemble de la démarche. La vision « risques » permet de jeter un regard unificateur : au « niveau micro », sur les performances des techniques d'évaluation et sur l'état des ouvrages (fiabilité) et, au « niveau macro » sur le niveau de service du patrimoine, l'impact des défaillances et la qualité de la gouvernance. En outre, le concept de risques permet de confronter sans difficultés les regards de praticiens œuvrant sur des patrimoines différents (les différences portent sur la nature des mécanismes de défaillance ou sur leurs conséquences, mais les concepts et les outils sont identiques). Ce même concept de risque est aussi compatible avec le principe des analyses coût-bénéfice, assez largement répandues, qu'il permet d'enrichir.

Pour terminer, l'une des faiblesses de la chaîne de gestion du patrimoine réside dans l'absence actuelle (au contraire de nombreux autres contextes industriels) de procédures de certification des techniques et des acteurs de la mesure sur les ouvrages. Le degré de qualité des mesures, maillon initial de l'évaluation doit être garanti (ou du moins connu), ce qui conduit à définir et à transposer des **procédures normalisées de qualification des techniques et des opérateurs** à ce secteur industriel.

²³ Le risque est défini (ISO 31000) comme « l'effet des incertitudes sur les objectifs ». Un tel concept peut couvrir aussi bien les risques relatifs au devenir des ouvrages (fiabilité, risque de défaillance) que les effets des incertitudes de mesure sur l'évaluation des ouvrages, ou celui des incertitudes budgétaires sur la mise en œuvre des opérations de maintenance.

4. Les objectifs et le plan d'action

4.1. Des objectifs à plusieurs niveaux

L'objectif majeur du Projet National est **d'élaborer un cadre méthodologique et des outils permettant de répondre aux enjeux de la GEstion Durable des Infrastructures**. Les concepts et outils à élaborer collectivement, à mettre au point et dont il faudra assurer la diffusion se placent à deux niveaux :

- celui de la gestion du patrimoine, à long terme (stratégie de gestion) et à court terme (gestion opérationnelle),
- celui de la gouvernance de cette politique.

Ils s'inscriront ainsi dans une double logique d'évaluation : évaluation du patrimoine d'une part, évaluation de la politique de gestion d'autre part.

La grande variété des compétences à mobiliser dans les trois domaines couverts (cf § 3.3.1) impose de concentrer les efforts sur : (a) les questions nouvelles traitées par le PN et (b) sur les interfaces entre les domaines.

Nos efforts porteront donc essentiellement sur :

- la formalisation des politiques de gestion et leur évaluation,
 - l'interface entre mesure et modélisation,
- la logique de décision en termes de gestion de patrimoine,
 - la prise en compte des incertitudes et des risques,
- le retour d'expérience, la qualification des procédés et la formation des personnels.

Inversement, on ne considérera pas comme prioritaires :

- le développement de techniques innovantes de mesure,
- le développement de nouveaux modèles visant à prédire l'évolution des performances des matériaux et des ouvrages.

Sur ces questions importantes, les acteurs mobiliseront les savoirs les plus récents, en s'efforçant de les valoriser au mieux dans le projet global.

L'ambition est de traiter des questions relatives à l'ensemble de la chaîne de gestion, pour une variété de patrimoines et en couvrant l'ensemble des dimensions du développement durable. Face à ce défi, nous articulerons une **méthodologie générique** (quelles connaissances et pratiques gagneront à être partagées, voire communes ?) et une **approche spécifique**, conditionnée par le caractère particulier de chaque patrimoine et la nécessité de produire des livrables opérationnels²⁴.

La démarche consistera à proposer une **architecture commune de gestion intégrée applicable à tout type d'ouvrage**, qui, ne pouvant être universelle, **sera déclinée** par nature de parc d'ouvrages. Elle permettra au décideur de se prononcer sur la base d'informations techniques et économiques objectives sur le maintien, la mise en œuvre d'une maintenance ou le retrait d'exploitation de l'ouvrage. Un autre enjeu est de doter les entreprises de compétences nouvelles : en favorisant leur implication dans cette architecture, pour améliorer la cohérence entre les demandes et les propositions, on atteindra une plus grande efficacité du dispositif.

²⁴ Les patrimoines gérés par certains maîtres d'ouvrage (collectivités territoriales ou complexes industriels) peuvent être extrêmement divers, allant des bâtiments aux réseaux en passant par les différentes voies de communication, d'où l'importance de disposer de méthodologies les plus homogènes possibles qui permettent d'utiliser un socle commun (concepts, références, vocabulaire, outils).

Mettre au point une nouvelle manière de gérer durablement les infrastructures impose de coupler les dimensions techniques (méthodes CND, modélisation...) à destination des acteurs en charge de la maintenance de terrain et les méthodologies de gestion (analyse de risque, aide à la décision, optimisation des plans d'action, prise en compte des interactions à autres échelles et des dimensions non techniques...) à destination des spécialistes opérationnels de la gestion. Il faut par exemple être capable d'évaluer aussi bien les performances de l'infrastructure que les performances du système de management. Ces deux familles d'acteurs n'ont pas besoin des mêmes informations, ni du même niveau de détail dans les informations qu'ils partagent, mais l'ensemble du système doit être cohérent.

On visera donc à développer **le cadre et les méthodes génériques** (la « doctrine ») permettant la mise en œuvre d'une véritable ingénierie intégrée de la gestion durable du patrimoine existant. Les travaux porteront sur :

- l'analyse et la validation des outils et méthodes (de diagnostic et de contrôle, d'évaluation, de prédiction, de réparation) ;
- la formalisation de la question de la « durabilité », couvrant les trois dimensions du DD (économique, environnementale, sociétale), et celle, essentielle pour la gestion, de la gouvernance. La notion d' « approche performancielle » pourra être adaptée et élargie dans ce contexte. L'expression des enjeux, des attentes et des risques offrira un cadre structurant;
- le développement d'outils pré-opérationnels permettant la mise en œuvre et l'évaluation des politiques de gestion.

Il faudra aussi satisfaire à des **objectifs spécifiques à certains types de patrimoine**. La spécificité peut résulter des fonctions à remplir, du contexte technique ou de gestion, des matériaux ou ouvrages eux-mêmes, de la nature des données disponibles... On pourra aussi opérer une distinction entre la gestion d'ouvrages uniques²⁵ et celle d'un patrimoine constitué d'un ensemble d'ouvrages (parc d'ouvrages, avec interactions organisationnelles et financières, ou réseau, avec interactions physiques/techniques). Il faudra alors étudier comment le cadre général mis en place peut être utilisé ou doit être adapté pour convenir aux usages attendus. Ces applications spécifiques répondent à de multiples enjeux : valider la doctrine générale et son adaptabilité, approfondir les questionnements en répondant à des questions concrètes, alimenter le REX en données de terrain. Il faut aussi, concrètement, pouvoir mettre en place les procédures d'évaluation de l'efficacité de la politique de gestion. Le Projet National n'aura cependant pas vocation à répondre à des questionnements à un niveau trop spécifique, qui relèvent de la compétence propre du gestionnaire.

En outre, la **thésaurisation de l'expérience** sera un élément clé pour le développement d'une politique de gestion durable. Il s'agira de l'organiser, de la faire vivre et de l'exploiter. Un objectif du Projet sera de mettre en place toutes les conditions nécessaires et de développer les méthodes pour que le REX soit pleinement intégré dans la politique de gestion, dans le cadre d'un processus d'amélioration continue. Les progrès attendus dans le cadre du Projet National GEDI devraient permettre aux experts nationaux de contribuer efficacement à la rédaction du futur Eurocode « évaluation des ouvrages ».

²⁵Les structures isolées relèvent fréquemment d'un maître d'ouvrage ayant soit une ingénierie intégrée, soit une maîtrise de celle-ci lorsqu'elle est sous-traitée. Dans le cadre du projet la démarche consiste à capitaliser les acquis de ces maîtres d'ouvrages.

4.2. Un projet structuré autour de quatre axes

Les actions conduites dans le PN sont structurées selon quatre axes qui couvrent l'ensemble des questions à traiter, et sont repérés sur la figure 5. A ce stade de l'étude, un ensemble de 12 actions a été identifié, à partir du travail collectif. Elles sont recensées dans le Tableau 3 et détaillées dans le paragraphe qui suit. Le tableau 4 illustre comment les quatre axes aborderont les questions relatives aux trois domaines définis sur la figure 4 (mesure, calcul, décision) que recouvre la gestion du patrimoine.

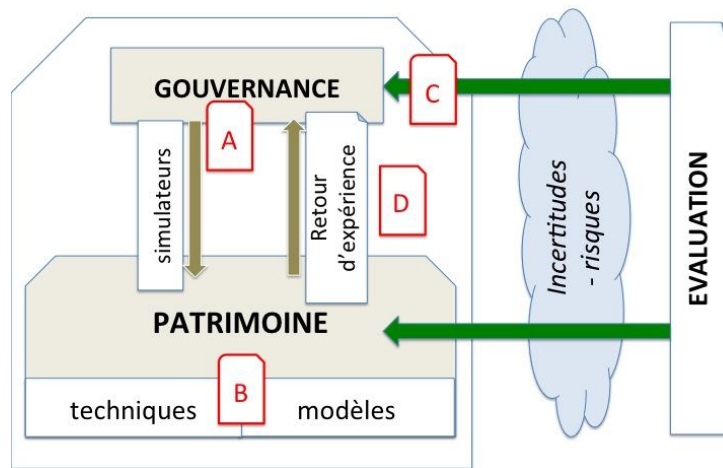


Figure 5. Schéma précisant les dimensions abordées par le PN

Axe	Action
Axe A. Définir une politique de gestion durable du patrimoine (la « doctrine »)	Action A1 : Proposer une politique de gestion partagée
	Action A2 : Intégrer de manière objective des critères de développement durable
Axe B. Mettre en œuvre une politique de gestion durable du patrimoine	Action B1 : Proposer des procédures validées pour l'évaluation technique et le suivi du patrimoine
	Action B2 : Valider les modèles de durée de service
	Action B3 : Contrôler l'efficacité des réparations et développer des modèles de réingénierie
Axe C. Faciliter la prise de décision et l'évaluation de la politique de gestion	Action C1 : Développer une logique multicritère systémique
	Action C2 : Développer des outils de simulation : gestion de patrimoine virtuel
	Action C3 : Intégrer la notion de risque dans les politiques de gestion et déterminer des stratégies optimales d'IMR
Axe D. Capitaliser l'expérience et former les acteurs	Action D1 : Promouvoir le retour d'expérience, les bases de connaissance et l'ingénierie forensique
	Action D2 : Qualifier les techniques de contrôle, former les opérateurs et gestionnaires
	Action D3 : Produire des supports de formation des acteurs de la gestion durable du patrimoine
	Action D4 : Synthétiser les résultats par type de patrimoine

Tableau 3. Schéma général des axes et des actions.

	Dimension de la mesure	Dimension des calculs et des modèles	Dimension de la décision et de la gouvernance
Axe A			
Axe B			
Axe C			
Axe D			

Tableau 4. Lien entre les axes et les composantes de la gestion du patrimoine.

Le contenu et le mode de travail du Projet National doivent répondre à un double objectif d'élaboration d'une méthodologie cohérente, indépendante des patrimoines considérés et de déclinaison opérationnelle de cette méthodologie sur des patrimoines particuliers.

Le Tableau 5 illustre de manière schématique comment nous comptons atteindre ces deux objectifs. Les « * » dans la partie droite du tableau illustrent l'existence d'applications dédiées à certains patrimoines (ces applications se feront en fait à l'échelle des 12 actions). Le choix des patrimoines (P1, P2...) n'est pas fait à ce stade et sera déterminé au cours de l'étude de montage.

Il a cependant été décidé **d'exclure de la réflexion les patrimoines** de type « bâtiments courants » pour lesquels les considérations liées à **l'efficacité énergétique** - au sens de la consommation d'énergie pour les usages - conditionnent fortement la gestion patrimoniale, et pour lesquels de nombreuses actions sont entreprises par ailleurs.

Les possibilités de patrimoines à explorer sont multiples : ouvrages portuaires, réseaux d'eau potable ou d'assainissement, ouvrages d'art, chaussées, barrages, centrales de production d'énergie... La mobilisation des partenaires et leur souhait marqué de s'impliquer dans telle ou telle action permet d'ores et déjà de préfigurer un programme plus détaillé des actions, mais nous avons préféré repousser ces choix à la phase de montage. De fait, nous aurons sans doute :

- ✓ quelques (1 ou 2 ?) patrimoines structurants, sur lesquels seront menées la plus grande part des actions, et sur lesquels on pourra valider l'ensemble de la méthodologie,
- ✓ des patrimoines pour lesquels ne seront conduites qu'une ou deux actions spécifiques,
- ✓ des patrimoines qui contribueront essentiellement au travail collectif des Axes A et D.

Axes	Doctrine générique	Patrimoines spécifiques – déclinaison de la démarche – applications			
		P1	P2	P3	P4
A	*	*	*	*	*
B	*			*	*
C	*	*	*		
D	*			*	
Cohérence par patrimoine					

Tableau 5. Schéma de l'organisation générale, illustrant l'organisation entre la démarche générique et les applications spécifiques.

5. Contenu détaillé du programme scientifique

Nous allons maintenant préciser le contenu du programme d'action pour les quatre axes. Pour chaque axe, nous préciserons les objectifs spécifiques, nous identifierons quelques actions structurantes et les livrables attendus.

Nous avons choisi à ce stade de ne pas mettre en avant dans le programme des actions spécifiques relatives à tel ou tel type de patrimoine. Celles-ci seront nécessaires, à la fois parce qu'elles correspondent à certains des besoins des gestionnaires, et parce qu'elles permettront de valider les démarches plus génériques développées dans le projet national. Notre souci à ce stade (étude de faisabilité) a été de privilégier une démarche collective, qui sera complétée et enrichie lors de l'étude de montage par la définition plus précise des applications spécifiques. Nous reviendrons sur ce point au § 5.5.

5.1. Axe A : Définir une politique de gestion durable du patrimoine (« la doctrine »)

5.1.1. Contexte et enjeux, objectifs

Lors de la préparation de ce projet, une enquête préliminaire a été menée auprès de différents maîtres d'ouvrages responsables de patrimoines divers (routes, ouvrages d'art, tunnels, infrastructures portuaires), pour faire le point sur leurs pratiques, leurs difficultés éventuelles et leurs attentes. Elle a confirmé que la gestion patrimoniale n'est uniforme ni dans son approche, ni dans sa perception. A titre d'illustration sept réponses sont reproduites en Annexe 4 ainsi qu'une brève synthèse.

Il ressort de cette enquête qu'un effort doit encore être fait pour sensibiliser les donneurs d'ordre à la mise en place d'une gestion patrimoniale rationnelle ne négligeant pas l'action préventive (au lieu de l'entretien curatif le plus souvent pratiqué). Certains maîtres d'ouvrages soulignent également un manque d'outils d'aide à la décision simples permettant de simuler et de proposer des politiques de suivi des ouvrages et d'en mesurer les effets et les écarts par rapport aux objectifs fixés. Il semble également nécessaire de mettre en place une politique adaptable à différents ouvrages voire plus simplement à différentes parties d'ouvrage. L'amélioration des outils et des méthodologies d'inspection, de la qualité des modèles de prédiction et des outils décisionnels semble également un point clé pour améliorer la qualité du suivi des ouvrages. Enfin, il apparaît également important de mettre en place une démarche systémique permettant d'associer ou de combiner de manière pertinente et efficace plusieurs champs disciplinaires tels que la modélisation probabiliste et les méthodes d'optimisation.

En vue d'établir *in fine* une démarche globale intégrante, il semble important dans un premier temps de **définir ce que doit être une politique de gestion durable** type, partagée et modulable qui s'appuie sur des critères environnementaux, sociaux, économiques et techniques. En ce qui concerne l'organisation du travail, la définition de la politique pourra s'appuyer sur une **analyse comparée de pratiques de gestions existantes et mises en œuvre selon le type d'ouvrage** (barrages, tunnels, parc du réseau routier national...) et **selon le maître d'ouvrage** (Etat, SNCF, EDF, Conseils Généraux, Villes, Sociétés d'Autoroutes concédées ou non,...). La politique de gestion devra être modulable en fonction de la taille de l'infrastructure, de son importance stratégique, de son état de dégradation, des enjeux et des exigences du maître d'ouvrage.

En outre, une politique de gestion durable consiste à implémenter les principes du développement durable dans le secteur de la construction, de la gestion et de l'exploitation des ouvrages en évaluant

les entités sur leur cycle de vie selon quatre niveaux : environnemental, économique, sociétal et technique/fonctionnel. On peut ainsi identifier les enjeux suivants :

- **Gérer un patrimoine ou un ouvrage dans sa globalité**, plutôt qu'au travers de ses composants pris séparément. Adopter une telle approche « holistique » et multi-échelles devrait permettre de rationaliser les besoins de maintenance des divers composants du patrimoine sur la base d'objectifs stratégiques prédéfinis, et de fournir une stratégie de gestion efficiente, traitant de manière pertinente l'interaction entre stratégie globale et planification locale ;
- Développer des procédures avancées de gestion patrimoniale qui **intègrent les attentes et exigences des divers acteurs** – ou parties prenantes (maîtres d'ouvrages, usagers, riverains...) : temps d'indisponibilité, coûts directs et indirects, qualité de service... ;
- **Incorporer les effets négatifs des stratégies et des options de gestion** sur la société, le monde végétal et animal et la biodiversité (impacts environnementaux, nuisances...).

Au-delà des partenaires moteurs de cet axe, ce travail devra mobiliser l'ensemble des acteurs, de manière à établir le cadre doctrinal dans lequel s'inscriront les autres actions.

5.1.2. *Détail des actions*

Action A1 : Proposer une politique de gestion partagée

* Objectif A1-1 - Analyse des politiques existantes.

Cette analyse est l'élément initiateur de l'action et plus largement de l'ensemble des travaux de l'axe A. Il faut souligner la variété des ouvrages et des patrimoines de Génie Civil ainsi que la diversité des organismes gestionnaires (public, privé, OPAC, Conseils Généraux ou Régionaux, Communes, Communautés de communes, etc). Ce double niveau de diversité a nécessairement généré du savoir-faire qui est encore insuffisamment diffusé et donc peu partagé. La raison de cette faible divulgation n'est pas liée à un désir des gestionnaires de retenir l'information mais davantage au manque de possibilités d'échanger des expériences.

Le Projet National organisera un **audit formalisé** qui permettra à chaque communauté de gestionnaires (ouvrage isolé, ensemble d'ouvrages ou patrimoine) de communiquer ses pratiques. Il est également proposé d'élargir l'état de l'art aux gestionnaires européens ou nord-américains avec lesquels certains partenaires potentiels du projet ont des relations étroites. Même s'il faudra envisager ultérieurement de considérer les ouvrages par famille, la mise en commun des pratiques permettra de confronter des cultures probablement différentes, mais qui ont toutes un même objectif, une politique de gestion optimisée.

* Objectif A1-2 - Intégration efficace des informations obtenues.

Un des points clés dans la gestion des ouvrages et des patrimoines bâtis réside dans la difficulté rencontrée par certains gestionnaires pour s'approprier efficacement les informations obtenues à chaque étape du processus de suivi d'un ouvrage. Un des exemples concerne l'actualisation des données disponibles après une requalification ou une modification de l'ouvrage ou du patrimoine. C'est un problème que les gestionnaires de réseaux enterrés connaissent bien. L'audit proposé précédemment permettra également de comparer les pratiques de différents gestionnaires pour faire face à cette problématique. Les outils existants (base de données, enquêtes IQOA, etc.) seront analysés et des améliorations pourront être proposées. La mise en commun des pratiques existantes devrait aboutir à une procédure innovante d'intégration de l'ensemble des informations relatives à un ouvrage ou un patrimoine.

Partenaires ayant manifesté leur intérêt :

Accoast, CEREMA/SETRA, PANSN, LGCIE, Roquelle (consult.), institut Pascal, GRECAU – PsyECCA, CEA, IXEAD, EDF, GeM-UN, CETE Lyon, IRSTEA, DIADES, Advitam, IFSTTAR, I2M, Serv. Public Wallonie, Bouygues concession – ALIS, Eiffage TP, CETU, CETE Sud-Ouest, LMDC, LOCIE

Action A2 : Intégrer de manière objective des critères de développement durable (économiques, sociaux, environnementaux)

Cet axe vise à établir le cadre méthodologique du concept de gestion « durable » qui recouvre évaluations sociétales, environnementales et économiques sur le cycle de vie. On pourra ainsi comparer diverses stratégies de gestion. Quatre objectifs sont fixés à cette action :

Objectif A2-1 : Répondre aux attentes et exigences des divers acteurs

Les attentes des parties prenantes (usagers, maîtres d'ouvrages...) sont multiples (sécurité, qualité de service...) et parfois antagonistes. Il convient de s'interroger sur les approches possibles pour concilier demande et offre pour les intégrer dans une démarche de gestion durable.

Objectif A2-2 : Relier performance du patrimoine et performance de la politique

Il s'agit de mieux formaliser le concept de performance d'une gestion durable, de comprendre comment les composants interagissent, et les conséquences de ces interactions sur les attentes des acteurs.

Objectif A2-3 : Définir les indicateurs de performance de la politique de gestion

La définition d'indicateurs de performance est essentielle pour l'implémentation d'un processus de gestion durable. Ces indicateurs doivent permettre d'évaluer et de suivre la pertinence de cette stratégie de gestion. Les indicateurs peuvent différer selon qu'il s'agit de suivre un composant ou un patrimoine. Ils doivent fournir une valeur d'utilité.

Objectif A2-4 : Définir le cadre théorique d'une gestion optimisée efficiente

Le développement de stratégies de gestion durable repose sur la construction d'un cadre théorique «multi-objectifs» basé sur une démarche préventive qui implique l'intégration de processus d'évolution. La notion d'utilité doit fournir un cadre homogène pour les indicateurs exprimant les aspects sociétaux, environnementaux, économiques mais aussi techniques. Les enjeux techniques feront notamment appel aux principes d'analyse de risques. Ces objectifs doivent permettre d'aborder les enjeux précédents :

- Au niveau stratégique, en identifiant la manière dont les décisions prises affectent le caractère durable du patrimoine, en termes de qualité, de service, de coût et de risque ;
- Au niveau opérationnel en précisant une planification efficiente des interventions ;
- Au niveau des exigences en élargissant le seul caractère technique à des enjeux sociétaux et environnementaux.

Partenaires ayant manifesté leur intérêt

CEREMA/SETRA, ACCOAST, PANSN, Institut Pascal, GRECAU-PsyECCA, GeM-UN, CEREMA/CETE Lyon, IRSTEA, IFSTTAR, I2M, CETU, CEREMA/CETE Sud-Ouest, LOCIE

5.1.3. Livrables

Ils se présenteront sous la forme de rapports qui établiront les bases doctrinales de la Gestion Durable des Infrastructures.

Pour l'Action A1 :

- Bilan des outils de collecte et d'actualisation des données patrimoniales (un rapport)
- Propositions d'évolution de ces outils pour une meilleure traçabilité des données (un rapport)

Pour l'Action A2 :

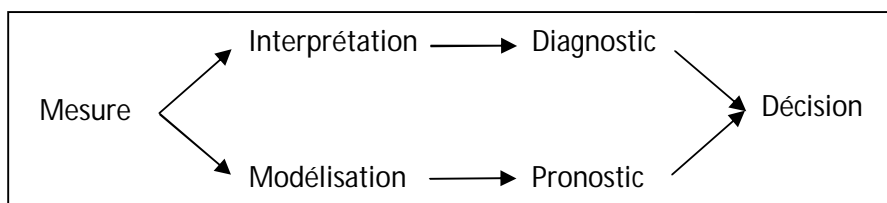
- Rapport état de l'art : description et formalisation des attentes et des besoins des acteurs
- Rapport état de l'art : mesure de la performance et de ses indicateurs
- Développement d'une méthodologie d'analyse multicritère
- Rédaction de recommandations pour la gestion durable du patrimoine

On veillera particulièrement à ce que les textes soient rédigés dans une logique opérationnelle. Ils seront largement illustrés d'exemples relatifs à divers types de patrimoines.

5.2. Axe B : la mise en œuvre d'une politique de gestion durable – moyens techniques et modèles

5.2.1. Contexte et enjeux

L'enjeu majeur est d'assurer la cohérence de la chaîne



sans oublier que, comme illustré à la figure 3, cette chaîne « boucle » et que les décisions peuvent porter sur la définition des mesures et des modèles.

Il faut être capable d'articuler des moyens techniques (techniques d'évaluation des performances, modèles de durée de vie) et les critères quantitatifs correspondants (mesures et écart-type, seuils d'acceptabilité, probabilités d'occurrence...) **afin d'aider à une prise de décision objective**. Cette articulation doit être assurée à la fois entre court et long terme, et entre les différentes échelles, locales et globales, pour assurer leur pertinence et leur cohérence. Ces moyens permettront d'assurer le suivi des dégradations et de prendre en compte l'évolution des cinétiques au cours du temps. En outre, dans une logique d'optimisation des moyens, on dégagera des priorités d'utilisation des moyens en fonction des éléments identifiés dans l'axe A. Les dimensions économiques et financières devront être traitées dans l'élaboration des scénarii.

Pour être efficace et rationnelle une politique de gestion de patrimoine doit s'appuyer sur une **méthodologie d'évaluation des ouvrages** fiable et robuste. Compte-tenu de la grande variété de patrimoines, les moyens d'évaluation sont évidemment multiples et leur degré de fiabilité est variable : surveillance visuelle (lorsqu'elle est possible), caractérisation des matériaux (directe par prélèvement ou indirecte par contrôle non destructif), suivi dans le temps, monitoring... On doit préciser la qualité et la représentativité des indicateurs qui sont déduits des mesures et s'assurer de leur lien avec les données d'entrée des modèles prévisionnels.

Il faut aussi assurer la cohérence des modèles de dégradation au fil du temps, et sur les différentes échelles pour passer du matériau à l'ouvrage dans sa globalité. Enfin les modèles doivent être exploitables dans les approches d'aide à la décision développées dans l'axe C.

La mise en œuvre des réparations s'appuie aujourd'hui sur un panel de techniques et de produits commerciaux dont la disponibilité est assez élevée. Mais s'il est vrai que ces produits font généralement l'objet de certifications par des organismes de contrôle indépendants, rien ne garantit que leur efficacité soit assurée dans tous les contextes d'utilisation. De même les informations manquent souvent sur l'efficacité à long terme (la pérennité) des réparations et sur leur impact sur le cycle de vie de l'ouvrage. Il paraît utile de développer des procédures d'évaluation de l'efficacité de la réparation et des moyens à mettre en œuvre pour adapter le suivi de l'ouvrage post-réparation.

5.2.2. Détail des actions

Action B1 : Proposer des procédures validées pour l'évaluation technique et le suivi du patrimoine

Objectif B1-1 Elaboration de modes opératoires pour la mise en œuvre des méthodes d'évaluation non destructive et de monitoring

Il s'agira dans un premier temps de recenser les moyens disponibles, de définir leur champ d'application et leurs modalités de mise en œuvre sur site pour chaque indicateur ou fonctionnalité visée. Les notions de variabilité et de représentativité de la mesure seront abordées en lien avec l'utilisation des indicateurs dans le cadre d'une modélisation probabiliste de la durée de service résiduelle. Les procédures de recalage de l'évaluation non destructive des indicateurs par des prélèvements seront également définies.

Objectif B1-2 Zonage des ouvrages par pré-auscultation par techniques non destructives rapides

Il s'agit de proposer aux gestionnaires une procédure formalisée permettant de délimiter les zones à risque sur ouvrages. Cette démarche est aujourd'hui implicite ; elle demeure toutefois relativement qualitative et liée à l'expertise de l'inspecteur d'ouvrages. L'utilisation des outils de contrôle non destructif ou des moyens de monitoring doit aboutir à la mise en place une batterie d'indicateurs ou plus directement d'observables issus des mesures qui permettraient de s'affranchir de la mesure des indicateurs. Partant de là des seuils d'alerte sur la base de ces observables pourraient être proposés permettant au gestionnaire de concentrer ses moyens de suivi ou de surveillance sur les zones les plus suspectes. La première idée est de limiter autant que possible les investigations les plus précises et donc les plus coûteuses aux zones de l'ouvrage qui nécessitent le plus d'attention, tout en disposant de moyens d'investigation plus rapides permettant de qualifier l'état global de l'ouvrage. La seconde idée est de définir une méthodologie de suivi des ouvrages permettant de détecter l'apparition de nouvelles zones suspectes au cours de leur vieillissement. Ces seuils d'alerte pourraient d'abord être définis de façon relative en comparant leurs valeurs dans des zones endommagées à celles obtenues

sur des zones saines. Un calage plus précis pourrait alors être envisagé une fois faite la caractérisation plus précise des zones les plus suspectes.

Objectif B1-3 Mise en œuvre des méthodes d'évaluation sur sites tests

Dans le cadre du projet national, des sites tests seront identifiés ou conçus de toutes pièces (cf Action D2). Ils seront ici mis à profit pour tester les techniques d'évaluation et de monitoring dans une double optique²⁶ :

- mise à l'épreuve et validation des procédures de recalage à la fois spatial et temporel,
- pour de nouvelles méthodes d'évaluation, après rédaction du mode opératoire sur site, mise en œuvre pour vérifier leur pertinence pour évaluer un indicateur choisi et valider la technique.

Partenaires ayant manifesté leur intérêt

Accoast, Setra, PANSN, LGCIE, Roquelle, institut Pascal, GRECAU – PsyECCA, CEA, IXEAD, GeM-UN, CETE Lyon, IRSTEA, DIADES, Advitam, IFSTTAR, LMDC, I2M, Serv. Public Wallonie, Bouygues concession – ALIS, Eiffage TP, CETU, CETE Sud-Ouest

Action B2 : Valider les modèles de durée de service

Etablir le diagnostic d'état et le pronostic d'évolution de l'état d'un ouvrage suppose que l'on soit capable :

- de définir les moyens d'investigation et d'interpréter les résultats des mesures,
- de relier les modèles qui décrivent l'évolution progressive des dégradations des matériaux depuis l'état sain jusqu'à leur dégradation complète,
- de relier les dégradations locales du matériau à des indicateurs pertinents à l'échelle de l'ouvrage, en intégrant l'ensemble des états-limites redoutés,
- d'alimenter les modèles à partir des données accessibles à l'inspection (relevés visuels, mesures CND, déplacements, analyse vibratoire...),
- d'intégrer de manière cohérente l'ensemble des erreurs et incertitudes (variabilité, incertitudes de mesure et de modèle).

L'objectif de l'action n'est pas de développer de nouvelles connaissances dans ce domaine²⁷ mais de **consolider les connaissances existantes pour les mécanismes de dégradation les plus courants en synthétisant les modèles existants**. Le gestionnaire disposera ainsi, pour un ouvrage existant, d'une « banque de modèles », fussent-ils simplifiés, pour qualifier/quantifier le degré d'avancement des dégradations de cet ouvrage (par exemple en quantifiant sa durée de service résiduelle). Sur la base des compétences des partenaires mobilisés, ce travail sera mené pour les mécanismes de dégradation

²⁶ Ce travail pourra s'inspirer par exemple de l'expérience en cours au Royaume-Uni qui a mis en place en 2009, sous l'égide d'Elena Barton, la « National Physical Laboratory footbridge », une passerelle expérimentale destinée à servir d'ouvrage support pour de multiples expériences (Barton, 2011). Des contacts très positifs ont été établis avec E. Barton et seront approfondis lors de l'étude de montage. Par ailleurs des contacts ont d'ores et déjà été pris dans le cadre de la maquette VERCORS dont EDF vient de prendre, en mai 2013, la décision de la construction. Cette maquette d'environ 30 m de haut constituera une innovation mondiale. Une réunion sera rapidement programmée avec les promoteurs de ce projet pour analyser la manière dont l'existence de VERCORS pourra être mise à profit dans le cadre du Projet National.

²⁷ Ce domaine est très vaste et pourrait justifier à lui seul d'opérations de type Projet National, comme c'est le cas actuellement avec le projet DVDC.

potentiels les plus fréquents : corrosion du béton armé et des ouvrages métalliques, réactions sulfatiques internes et RAG dans le béton, fatigue (ouvrages d'art et chaussées), tenue dans le temps des sols traités.

L'action visera en particulier à :

- consolider les connaissances sur la cinétique des dégradations, en intégrant autant que possible l'effet des conditions environnementales et celui des opérations d'entretien qui visent à les ralentir,
- relier les dégradations locales du matériau et le comportement d'ensemble de l'ouvrage, dans une logique de vérification d'états-limites (cette démarche pourra être menée dans une logique de « réduction de modèle », depuis l'échelle de l'ouvrage vers celle du matériau, en tenant compte du caractère plus ou moins sensible des différentes parties de l'ouvrage),
- quantifier comment les résultats d'inspection permettent de mieux estimer le degré d'avancement des dégradations et de réactualiser les modèles,
- quantifier les incertitudes de prédiction en fournissant une fourchette pour l'estimation des états futurs.

Les travaux de l'Action B2 seront aussi valorisés au sein de l'Action C2 (simulateur de patrimoine virtuel).

Partenaires ayant manifesté leur intérêt

Accoast, Setra, PANSN, LGHCIE, Roquelle, institut Pascal, GRECAU – PsyECCA, CEA, IXEAD, GeM-UN, CETE Lyon, IRSTEA, DIADES, Advitam, IFSTAR, LMDC, I2M, Serv. Public Wallonie, Bouygues concession – ALIS, Eiffage TP, CETU, CETE Sud-Ouest

Action B3 : Contrôler l'efficacité des réparations et développer les modèles de réingénierie

Objectif B3-1 Application des procédures d'évaluation destructives et non destructives aux réparations

Il s'agit de mettre au point des procédures d'évaluation des matériaux de réparation et des techniques de réparation pour démontrer leur efficacité vis-à-vis d'une fonction attendue (par exemple résistance, perméabilité...). Les essais de qualification non destructive pourront d'abord être développés au laboratoire, mais se placer dans une optique d'emploi sur site, pour le contrôle de la mise en œuvre de la réparation (par exemple sa densité ou sa bonne adhérence au matériau ancien).

Plus particulièrement, on note que la zone de « faiblesse » d'un ouvrage suite à une réparation est souvent à l'interface entre le support et la réparation. Par conséquent, des méthodes non destructives assorties de leur mode opératoire sont donc nécessaires pour évaluer ces interfaces ou zones de transition.

Objectif B3-2 Prise en compte des modes de fonctionnement exceptionnel dus aux travaux de réparation

Lors des phases de travaux de réparation, une structure peut subir des modes de fonctionnement non prévus à l'origine (ex hydrodémolition, armatures à nu et, fouille au pied des piles...) qui peuvent remettre en cause la capacité portante et plus généralement le fonctionnement mécanique de cette structure et donc augmenter le risque d'endommagement. Il s'agit donc, à partir de l'analyse d'études de cas, de développer des recommandations génériques pour l'évaluation de l'ouvrage réparé, pour permettre son recalcul avec des modèles physico-chimiques ou mécaniques.

Objectif B3-3 Réingénierie suite à une réparation ou suite à une inspection détaillée

Suite à une réparation évaluée in situ ou à une inspection détaillée, des résultats d'évaluation sont disponibles et devraient être pris en compte dans les modèles physico-chimiques ou mécaniques de durée de vie ou de calcul de structure en lien avec l'action B2. Il s'agit plus d'adapter les modèles cités précédemment et de développer la procédure de recalcul que de développer de nouveaux modèles de réingénierie tout en choisissant les modèles favorisant l'intégration des évaluations de manière plus aisée. Des études de cas permettront de référencer et comparer ces méthodes afin notamment d'évaluer les gains en durée de vie.

Partenaires ayant manifesté leur intérêt

Accoast, Setra, PANSN, LGCIE, Roquelle, institut Pascal, GRECAU – PsyECCA, CEA, IXEAD, GeM-UN, CETE Lyon, IRSTEA, DIADES, Advitam, IFSTTAR, LMDC, I2M, Serv. Public Wallonie, Bouygues concession – ALIS, Eiffage TP, CETU, CETE Sud-Ouest, LOCIE

5.2.3. Livrables

Pour l'Action B1 :

- Fascicules décrivant les procédures opérationnelles pour l'utilisation des techniques d'évaluation destructive et non destructive : mise en œuvre sur chantier, présentation et exploitation des résultats, consignes pour la traçabilité. Ces documents destinés à l'ensemble des acteurs seront aussi exploités et valorisés dans le cadre des Actions D2 et D3 (formation des acteurs aux méthodes d'évaluation).
- Recommandations pour une utilisation experte des techniques (procédure de calibration, possibilité de combinaison des méthodes et de fusion de données). Ce document est destiné aux spécialistes des techniques, et sera aussi valorisé dans le cadre de l'Action D2.

Pour l'Action B2 :

- Rapport de synthèse décrivant chacun des mécanismes de dégradation cités plus haut et les modèles associés, et expliquant comment quantifier l'état d'avancement de la dégradation à l'échelle de l'ouvrage.
- Logiciel démonstrateur sur quelques études de cas synthétiques (réseaux, poutres béton armé...).

Pour l'Action B3 :

- Recommandations pour l'évaluation des réparations et la réingénierie suite à réparations.

On veillera particulièrement à ce que les textes soient rédigés dans une logique opérationnelle. Ils seront largement illustrés d'exemples relatifs à divers types de patrimoines.

5.3. Axe C : Faciliter la prise de décision et l'évaluation de la politique de gestion

5.3.1. Contexte et enjeux

La politique de gestion et son évaluation sont multicritères, tenant compte des impacts environnementaux, sociaux/sociétaux et économiques (analyses du cycle de vie élaborées dans l'axe A) et des performances techniques (caractérisées selon les moyens et les critères quantitatifs définis dans l'axe B). L'optimisation du suivi de l'ouvrage (organisation des actions d'inspection ou de surveillance, hiérarchisation des opérations de maintenance) nécessite également de disposer d'outils d'aide à la prise de décision efficaces à l'échelle concernée (parc, ouvrage...).

L'objectif que l'on s'assigne est double : d'une part **développer et valider des modèles d'aide à la prise de décision** pour qu'elle s'appuie sur des éléments objectifs d'appréciation et, d'autre part **évaluer la politique de gestion et sa gouvernance**, i.e. apprécier l'écart, lorsque cela sera possible, entre les objectifs que le maître d'ouvrage s'est fixés et ce qu'il atteint grâce à sa politique de gestion. Les méthodes d'évaluation seront structurées par une analyse intégrée des risques. Enfin, afin de tester différents scénarii de cycles de vie et aider à la prise de décision, des structures/patrimoines virtuels et des **prototypes de simulateurs numériques** de gestion du patrimoine seront développés.

5.3.2. Détail des actions

Action C1 : Développer une logique multicritère systémique

Il s'agit de **développer des fonctions d'utilité** intégrant l'approche performancielle technique, mais aussi l'analyse des cycles de vie (approche performancielle, environnementale et économique) au travers d'une **analyse multicritère**. Cette action est centrée sur des aspects méthodologiques sur l'approche multicritère/multi-objectifs. Elle bénéficiera des retours d'expérience de différents partenaires prenant en compte des critères économiques, environnementaux et sociétaux dans leur politique de gestion. On s'appuiera en particulier sur les méthodes éprouvées de type VSC pour le patrimoine portuaire, qui dispose d'un retour d'expérience significatif (ACV sur les opérations de réhabilitation, choix des techniques de réhabilitation du béton armé en milieu portuaire en fonction de l'efficacité, de la durabilité, du coût et de l'impact environnemental des différentes techniques).

L'un des enjeux majeurs de cette action est de proposer une réponse pertinente à la complexité décisionnelle. La complexité provient de différents aspects propres à ce type de décision : elle est multi-échelle (parc, ouvrage...), multicritère, multi-acteurs, incertaine (présence de risques, information incomplète, méconnaissance...), et repose sur des données très hétérogènes (qualitatives, quantitatives...) et peut se révéler parfois subjective (dimension politique, habitudes...). L'objectif n'est pas de développer une nouvelle méthode d'aide à la décision, mais de combiner des méthodes existantes (qu'elles soient multi-objectifs i.e. recherche de solutions non dominées ou multicritères i.e. recherche du meilleur compromis entre les critères) afin de répondre efficacement au problème posé.

Les deux actions C1 et C2 (développement de simulateurs de gestion de patrimoine) seront menées conjointement. L'analyse des résultats fournis par le simulateur de gestion de patrimoine permettra d'affiner la démarche retenue (variante de méthodes afin de l'adapter plus efficacement au problème, apport d'une nouvelle méthode...).

Partenaires ayant déclaré leur intérêt : Université Bordeaux, CETE Ouest, ENPC, CETE Lyon, Locie, STERN

Action C2 : Développer des outils de simulation : gestion de patrimoines virtuels

Cette action a pour double objectif de simuler d'une part le devenir de patrimoines d'ouvrages (notion de patrimoine virtuel) et d'autre part les actions d'IMR (inspection, maintenance, réparation/remplacement) que l'on peut appliquer à des patrimoines réels ou virtuels. Le recours au simulateur de patrimoine virtuel (SPV) permettra de **valider les concepts méthodologiques de l'Action C1**, et **d'étudier les stratégies optimales de maintenance (Action C3)**. Au-delà de ces utilisations, le simulateur permettra de comparer et d'analyser des scénarii de gestion, mais aussi de tester la robustesse de la gestion (vis à vis de scénarios futurs ou de situations accidentelles).

La gestion de patrimoine s'appuie sur de multiples outils et connaissances pour faire le diagnostic d'état des infrastructures, pour programmer les travaux, pour faire de l'analyse de stratégies d'entretien sur le moyen et le long terme, etc. Ces démarches se heurtent à un obstacle : de nombreuses données très utiles, souvent indispensables, pour comprendre et modéliser le comportement des ouvrages, ne sont pas disponibles dans les bases de données réelles. De plus les données inscrites dans la base sont souvent très imprécises. Dans ce contexte, le concept de SPV repose sur une approche alternative. Le SPV est un outil de simulation qui permet de générer des patrimoines d'infrastructures. Il n'y a pas de différence formelle entre un patrimoine réel et un patrimoine virtuel, tous deux représentés par des bases de données qui sont, d'un point de vue informatique, strictement identiques. Seuls les contenus diffèrent : les données contenues dans la base d'un patrimoine réel sont recueillies sur ce patrimoine alors que les données du SPV sont générées en suivant certaines règles expertes et/ou en appliquant certains modèles. Les données des deux types de patrimoines peuvent être représentées et exploitées de la même façon, avec les mêmes outils (de statistique, algorithmique, de restitution ...).

UnSPV est constitué de deux modules distincts mais complémentaires :

- une base de données (virtuelle ou semi-virtuelle) représentative et un ensemble de modèles et/ou d'indicateurs permettant de reproduire le processus de "vieillessement" (la cinétique de dégradation) du patrimoine. Elle est constituée aussi bien de variables mesurables (par l'inspection, la surveillance,...) que de variables non directement accessibles mais estimées par l'expert comme influençant le processus de vieillissement-dégradation. Dans le cadre du Projet National, les modèles de vieillissement utilisés seront issus des travaux de l'Action B2.
- un module permettant de définir, décrire et simuler la mise en œuvre des actions d'IMR à moyen ou long terme. Ces actions et leurs effets doivent elles aussi reproduire au mieux ce qui se passe dans la réalité (critères de déclenchement, coûts, conséquences...) et leur description résulte d'une analyse de la connaissance experte. Notons que ce second module (simulation du processus de gestion) peut être combiné à une base de données réelles.

Des SPV ont déjà été développés et mis en œuvre dans le cadre des infrastructures de chaussées (Réseau Routier Virtuel – RRV) et dans celui des réseaux techniques urbains (assainissement), mais leur principe peut être étendu à tout type de patrimoine sous réserve d'identification de la connaissance experte du domaine.

Le SPV peut être vu comme un jeu électronique de simulation (tel Flight Simulator[®], Simcity[®]...) grâce auquel l'utilisateur peut jouer le rôle d'un gestionnaire de réseau. Dans le cadre du Projet National, les SPV seront utilisés à des fins de production de connaissances, par les vastes possibilités de simulation qu'ils offrent (comparaison de l'efficacité de différentes stratégies de gestion) et comme des démonstrateurs pour la formation (voir Action D3). Le SPV permet par exemple de comparer, sur un même système les différentes trajectoires suivies pour différents choix faits lors de la gestion (choix de

la densité des inspections, de la qualité des mesures, du nombre d'interventions...) quand un système réel ne peut suivre qu'une seule trajectoire et rend toute analyse de variante, de fait, impossible. Le simulateur peut donc être utilisé pour justifier des procédures d'inspection, de maintenance ou de réparation/remplacement, en quantifiant leurs apports opérationnels en termes de réduction des incertitudes dans les processus de décision ou de réduction des coûts globaux.

Le SPV permet aussi d'engager des analyses plus spécifiques. Ainsi, on propose de simuler les effets de la fatigue des ouvrages en combinant la simulation microscopique du trafic et celle de l'ouvrage. Il est généralement admis que l'état congestionné du trafic est le plus agressif pour les ouvrages. Pourtant, des travaux récents ont montré que le trafic sous forme de flux par vagues est plus dommageable en termes d'effets extrêmes pour les ouvrages. A l'aide d'un logiciel de micro-simulation du trafic, on étudiera comment le passage d'un ouvrage engendre des perturbations du trafic, ce qui peut en retour avoir des impacts sur le processus de fatigue. Un tel modèle de trafic permet de déterminer l'évolution du trafic le long d'une section de route, avec pour paramètres d'entrée une image du trafic à un instant donné et des données sur la section de route considérée. Une durée de vie de l'ouvrage pourra en être déduite, qui sera comparée avec celle estimée avec les méthodes usuelles (Eurocode, règlements de calcul, ..).

Partenaires ayant déclaré leur intérêt : IFSTTAR, Advitam, Université Bordeaux, SETRA, CETE Ouest.

Les partenaires impliqués dans cette action contribueront soit en fournissant des données replacées dans leur contexte (campagne de diagnostics sur ouvrages portuaires et sur les ouvrages du réseau routier national), soit en élaborant les deux modules (modules « données et modèles », module « gestion ») du simulateur. Par ailleurs, l'extraction de la connaissance experte reposera sur des interactions fortes et continues avec les gestionnaires des patrimoines considérés, de manière à modéliser de manière pertinente leurs pratiques de gestion (fréquence, nature des actions, coûts...).

Action C3 : Intégrer la notion de risque dans les politiques de gestion et déterminer des stratégies optimales d'IMR.
--

Les concepts méthodologiques de l'action C1 seront appliqués aussi bien sur des patrimoines réels que des patrimoines virtuels qui auront été examinés dans l'action C2 afin de déterminer des scénarii optimaux de gestion. Un enjeu est le développement de méthodes basées sur l'analyse de « risques » et sur l'« évaluation stratégique » des éléments du patrimoine.

La question de la maîtrise des risques structuraux sur le cycle de vie des ouvrages représente une problématique majeure. Les méthodes actuelles de dimensionnement permettent aux ingénieurs de disposer d'un cadre adapté pour concevoir des structures courantes qui se comportent correctement sous des chargements identifiés avec un niveau de fiabilité donné. Les règlements de conception et d'évaluation sont donc les principaux moyens par lesquels la société s'assure de la sécurité des constructions. Pour la plupart, ils prescrivent ce qui doit être fait, quelles charges devraient être utilisées, quels coefficients de sécurité doivent être introduits. Cependant, les défaillances sont souvent la conséquence de bien d'autres causes, comme les erreurs humaines (de conception ou de construction), les actions accidentelles, ou les dégradations non détectées... Une défaillance localisée peut alors se traduire par des conséquences majeures.

Pour un patrimoine d'ouvrages, il peut cependant être difficile d'estimer avec précision le niveau de risque auquel une structure particulière est soumise. Par ailleurs, les fonctions d'une structure ne sont pas nécessairement constantes dans le temps. Les fonctions initiales, c'est-à-dire celles qui ont motivé

la construction de l'ouvrage, peuvent être modifiées soit volontairement à cause d'un changement voulu des fonctions ou d'une extension de la durée de vie, soit involontairement à cause d'actions externes ou de dégradations.

Dans ce contexte, il est primordial de développer des outils pour la quantification de risque structural sur le cycle de vie des ouvrages, l'évaluation technico-socio-économique et l'aide à la décision à l'échelle du patrimoine d'ouvrages. La méthode d'analyse de risque permet de tenir compte des niveaux de criticité des ouvrages et des enjeux qui leur sont associés. Un travail important consistera à **coupler la méthodologie d'analyse de risque avec une modélisation des niveaux de performance** des ouvrages, et d'optimisation des stratégies de maintenance. Cette approche pourra s'étendre jusqu'à l'analyse des risques à l'échelle du patrimoine dans sa globalité pour déterminer son évolution en fonction des politiques appliquées. Elle sera appliquée pour étudier des stratégies de gestion d'un patrimoine d'ouvrages d'art du réseau routier national et déterminer des politiques optimales de maintenance. La contribution des procédures de surveillance structurale à la maîtrise du risque sera analysée.

Les partenaires seront impliqués par le développement des outils d'analyse et par la fourniture de bases de données (ouvrages concernés par des mécanismes de gonflement, données de surveillance sur ouvrages d'art en France ou aux USA).

Partenaires ayant manifesté leur intérêt : IFSTTAR, SETRA, Advitam, Oxand, Phimeca

5.3.3. Livrables

Ils se présenteront pour partie sous la forme de rapports de synthèse méthodologique et pour partie sous la forme de prototypes logiciels et de leur notice d'utilisation.

Pour l'Action C1 :

- Etat de l'art des différentes méthodes multi-critères/multi-objectifs
- Critères de choix d'une méthode décisionnelle en fonction des contraintes et attentes du gestionnaire et du contexte de l'étude.

Pour l'action C2 :

- Développement d'un prototype de simulateur de patrimoines virtuels (SPV)
- Développement d'un simulateur d'IMR adapté à des patrimoines virtuels/réels
- Rapport de synthèse sur les effets de fatigue sur ouvrage en interaction avec le trafic

Pour l'action C3 :

- Note méthodologique sur l'application de l'analyse de risque appliquée à des patrimoines virtuels/réels

Pour l'ensemble des actions :

- Rapport de synthèse sur les éléments qui influencent la durabilité des stratégies de gestion

5.4. Axe D : Capitaliser l'expérience et former les acteurs

5.4.1. Contexte, enjeux

Les animateurs de l'Axe D ont rédigé et diffusé un questionnaire auprès des partenaires potentiels (cf Annexe 6) afin de mieux cerner les attentes et définir le programme d'action. L'analyse des réponses a fait ressortir les attentes en termes de langage et pratique communs, de mutualisation de données, d'accessibilité à ces données en ligne, de meilleure qualification et formation des acteurs, de certification des techniques... **L'Axe D vise à renforcer les compétences des acteurs de la gestion du patrimoine à travers le partage d'informations, de données et de formations.** Cet axe se décompose en quatre actions avec deux objectifs majeurs.

Un premier objectif est de **capitaliser et de partager les informations**, données, savoir-faire en termes de techniques et pratiques ; d'améliorer ces pratiques par la diffusion d'expériences réussies ; et d'étudier comment la base de données de retour d'expérience (REX) peut être exploitée pour améliorer les modèles, les méthodes et pratiques.

Le deuxième objectif porte sur la **formation et la qualification des acteurs** en mettant en place des supports de formation, du diagnostic à la gestion de patrimoine, et des **plates-formes de structures tests** servant de références nationales. Les actions seront dirigées d'une part vers les opérateurs et les inspecteurs d'ouvrages et d'autre part vers les gestionnaires d'ouvrages. Le référentiel de formation (objectifs, contenu et méthodes d'évaluation) s'appuiera sur les procédures (guides techniques ou logiciels) développées au sein des Axes A à C du Projet National. Les plates-formes de structures tests constitueront une **innovation importante avec une double fonction** : (a) de support pour la formation et qualification des opérateurs, (b) de base pour le développement et la validation de nouvelles méthodes d'auscultation non destructives et de suivi (SHM). Ce dernier point, que permettra la mise en place des plate-formes ne sera toutefois pas couvert dans le périmètre du Projet National.

Enfin, comme différents types de patrimoines sont concernés par ce Projet National, on synthétisera les résultats essentiels obtenus en les déclinant de manière opérationnelle pour chacun des patrimoines étudiés. Ce sera l'objet de la quatrième action de cet axe.

5.4.2. Détail des actions

Action D1 : REX – bases de connaissance – ingénierie forensique

Depuis une vingtaine d'années s'est développé un champ particulier de l'ingénierie, consacré plus particulièrement au retour d'expérience sur les défaillances d'ouvrages à fort impact, et à leur exploitation. Cette discipline, appelée l'ingénierie forensique - traduction littérale de la dénomination anglo-saxonne (*forensic engineering*), cherche à expliquer les causes de ces défaillances. Ainsi, constatant que la plupart des défaillances sont en fait des incidents fréquents, révélateurs de mauvaises pratiques, et générateurs de non qualité, de surcoûts et de risque, la communauté des « ingénieurs forensiques » s'est structurée autour de conférences (ICE, ASCE), de comités techniques (ASCE, IASE...) et ouvrages [Delatte, 2009].

La démarche consistant à développer des bases de données pour améliorer la connaissance générale existe dans d'autres secteurs d'activité comme l'aéronautique (géré par le Bureau d'Enquêtes et

d'Analyses), l'industrie (Base ARIA gérée par le MEDDE²⁸), le bâtiment (gérée par l'Agence Qualité Construction) ou les barrages²⁹. Un récent recensement de bases de données (BD) existantes [Breysse, 2013] a montré l'intérêt de mettre en place une telle démarche dans le domaine du génie civil, à l'image de celle mise en place au Royaume-Uni par le SCOSS avec le CROSS (Confidential Report On Structural Safety).

L'Action D1 vise à :

- (a) **élaborer** et (b) **alimenter de manière pérenne une base de données de retour d'expérience** de défaillances dans le domaine de la construction,
- (c) identifier des modes de **production de connaissance** à partir des données,
- (d) définir l'articulation et le **contenu d'actions de formation** des acteurs de la construction durable s'appuyant sur la mémoire d'incidents et d'accidents et leur exploitation. Le contenu de la formation pourra être défini à la fois dans le cadre de la formation initiale et de la formation continue des ingénieurs, des maîtres d'ouvrage et des gestionnaires de patrimoine.

Cette action demandera le concours de participants ayant des compétences, connaissances et réseaux professionnels complémentaires. Elle devra en outre mobiliser :

- des compétences en modélisation et gestion de la connaissance, qui est le verrou scientifique essentiel à lever, pour être capable de passer de la description d'incidents ou accidents isolés (qui relève du récit) à l'analyse puis à la formalisation qui rend possible la mise en forme dans une base de données, puis l'exploitation ultérieure,
- un groupe d'experts, sollicités pour procéder aux analyses ou en valider les conclusions,
- plus largement, l'ensemble des acteurs de la profession pouvant à terme alimenter la base de faits nouveaux. La collecte des informations constitue un verrou non négligeable, mais qui a été traité efficacement dans d'autres pays. Les exemples britanniques (SCOSS/CROSS) et nord-américains établissent un cadre opérationnel dont on pourra s'inspirer¹. A ce titre, un partenariat avec des fédérations et associations professionnelles sera recherché.
- les formateurs, qui pourront exploiter les connaissances générées. Un partenariat avec l'AUGC pourrait être une piste.

Cette proposition veillera à créer une base de données pérenne ; cela nécessitera donc la recherche d'un adossement à une structure ou un organisme pérenne comme par exemple l'AFGC.

Partenaires ayant manifesté leur intérêt : IFSTAR, Université Bordeaux, IRSTEA, Eiffage TP

Action D2 : Qualifier les techniques de contrôle, former les opérateurs et les gestionnaires à ces techniques

Les maîtres d'ouvrage doivent être assurés de disposer de résultats d'investigations d'un niveau de qualité contrôlé par le respect de procédures qualifiées et la formation à ces procédures. Il est primordial de définir le niveau requis de compétences des opérateurs (par techniques) et de gérer leur formation pour atteindre ce niveau.

²⁸ www.aria.developpement-durable.gouv.fr : cette base recense les incidents ou accidents qui ont, ou auraient, pu porter atteinte à la santé ou la sécurité publiques, l'agriculture, la nature et l'environnement. Au 08/01/2013, y sont recensés 40 000 accidents dont 194 concernent par exemple la catégorie « Barrages ».

²⁹ Par exemple, la base NPDP recense des événements vécus par les barrages américains : ils concernent la conception, la construction, l'inspection, les modifications, les incidents... Environ 3 000 incidents sont ainsi décrits dans NPDP au 08/01/2013 par des textes de quelques centaines de mots.

Aujourd'hui, la COFREND est impliquée dans ces approches dans des secteurs d'activités majeurs, comme l'aéronautique, le ferroviaire, l'énergie ou utilisant des produits en acier, pour lesquels les CND s'avèrent indispensables à la qualité, la sécurité et la compétitivité. Elle s'appuie sur un **système national de certification de compétences** de ces personnels tout en favorisant l'enseignement et la formation. Pour le domaine du génie civil, la fédération des divers acteurs reste à construire.

Au sein du réseau scientifique et technique (RST) du MEDDE, il existe des formations techniques s'appuyant sur des guides techniques (Méthodes et Essais des LPC, IQOA, IQRN) permettant d'assurer une homogénéité des interventions sur ouvrages sur tout le territoire national. Dans le domaine des infrastructures routières, l'IDDRIM a pour mission de fédérer les acteurs pour la cohérence de la doctrine et des règles de l'art. On peut également citer le cas particulier de la détection et localisation des réseaux enterrés où la Direction Générale de la Prévention des Risques du MEDDE fédère la réglementation entre acteurs (concessionnaires, prestataires et collectivités territoriales) à travers la mise à disposition d'un site Internet (<http://www.reseaux-et-canalisation.ineris.fr/>), la rédaction de normes (normes AFNOR de la série NF S70-003) et la certification de techniques de détection et de géo-localisation (nécessaires pour les prestataires à partir de 2017). D'autre part, dans le cas des digues et barrages servant soit directement à la production d'électricité, soit à la protection des « ouvrages classés » la DREAL³⁰ (Rhône Alpes) a accrédité des BE et certifié les unités CIH et DTG d'EDF. Au sein du monde académique, des équipes de recherche élaborent et proposent des méthodologies d'emploi des techniques d'auscultation (dont certaines pouvant être considérées comme innovantes) dans le cadre de projets de recherche tant nationaux qu'internationaux (SENSO, APPLLET, ACDC, EVADEOS, Duratinet...)³¹.

Si dans différents domaines du génie civil, les acteurs tendent à coordonner leurs actions, ils ne sont pas organisés actuellement pour proposer des formations qualifiantes et des certifications, en dehors des réseaux enterrés. C'est ce manque que l'Action D2 vise à combler.

Objectifs et propositions

Le périmètre de l'action couvre :

- (a) la **formation** et la **qualification** des acteurs (des opérateurs) en mettant en place des **supports** de formation (professionnel), du diagnostic à la gestion de patrimoine. Pour ce qui relève de la formation aux techniques de mesure et de diagnostic, on s'efforcera d'adapter des formations existantes (notamment celles sous le contrôle de la COFREND) aux spécificités des matériaux et ouvrages du génie civil.
- (b) la définition et la mise en place de **plates-formes de structures tests** servant de références nationales assurant une double fonction : support de formation et de qualification des acteurs d'une part, support de développement et de validation des techniques d'autre part,
- (c) la **définition d'un référentiel de formation** (sur la base des guides méthodologiques rédigés dans les Axes A à C du Projet National) et l'aide à la mise en place de **modules** de formation dans des formations universitaires existantes (IUT, Masters, écoles).

Moyens

Au delà de nécessaires compétences théoriques et pratiques en techniques d'auscultation, on

³⁰ Arrêté du 18 février 2010 précisant les catégories et critères des agréments des organismes intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques ainsi que l'organisation administrative de leur délivrance.

³¹ L'ACI est particulièrement active dans ce domaine, avec plusieurs groupes de travail : ACI 228, *Nondestructive Testing of Concrete*; ACI 601-F, *Nondestructive Testing Technician*; ACI 301, *Specifications for Structural Concrete*; ACI 349, *Concrete Nuclear Structures*; and ACI 359, *Concrete Components for Nuclear Reactors*.

mobilisera :

- des acteurs du monde académique, impliqués dans des modules de formation pouvant être adaptés à des formations techniques professionnelles,
- un groupe d'experts, sollicités pour harmoniser les formations et rédiger des procédures/guides techniques,
- des acteurs spécialisés en certifications et approches qualifiantes,
- un groupe de réflexion associé à la conception de plates-formes de structures tests, avec la possibilité d'intégrer des ouvrages références.

Partenaires ayant manifesté leur intérêt : GeM, Ifsttar, PANSN, CETE Lyon, IXEAD, DIADES, CETU, CETE Sud-Ouest, COFREND, LOCIE

Actions D3 : Produire des supports de formation des acteurs de la gestion durable du patrimoine

Après une longue période durant laquelle les outils (méthodes, appareils, systèmes logiciels) ont mûri dans les laboratoires, les pratiques de gestion des infrastructures commencent réellement à évoluer aujourd'hui, tant chez les maîtres d'ouvrage ou les maîtres d'œuvre que dans les bureaux d'études (BE) et chez les consultants. L'un des freins que rencontre cette évolution réside dans le manque d'information et de formation des agents intervenant à tous les niveaux de cette chaîne. Les maîtres d'ouvrage sont réticents à se fier à des méthodes qui ne leur semblent pas encore largement éprouvées, et peuvent craindre d'être dessaisis du pouvoir de décision. Les maîtres d'œuvre sont réticents à utiliser des pratiques qu'ils maîtrisent mal, les bureaux d'études et les consultants hésitent à investir et à s'investir dans des méthodes que leurs commanditaires considèrent avec prudence.

La gestion des infrastructures est encore peu enseignée en formation initiale et lorsque c'est le cas, elle fait souvent l'objet d'un enseignement optionnel. C'est dire que cette connaissance est apportée le plus souvent lors de sessions de formation continue ou par compagnonnage. Tout en apportant un soin particulier au contenu et à l'organisation de ces sessions de formation continues, il faut faire progresser l'idée de gestion durable des infrastructures dans les cycles de formations initiales. Ceci milite en faveur du développement et de la formalisation d'un Savoir (c'est l'objet des axes précédents), de la maîtrise de ce Savoir dans le temps, et de la préparation de moyens de partage de ce Savoir.

Comme ils l'ont répondu au questionnaire que nous avons diffusé, il importe pour les Maîtres d'Ouvrage et les Maîtres d'œuvre de dégager des autres axes du projet le contenu d'une formation aux méthodes de management cohérentes avec les nouvelles méthodes et les nouveaux outils de gestion des infrastructures. Les décideurs doivent pouvoir s'appuyer avec confiance sur ces nouvelles méthodes, et pour cela les comprendre voire les maîtriser. Pour les acteurs qui interviennent dans la mise en œuvre des briques de base de ces méthodes (recueil d'information, exploitation de ces informations, construction de stratégies...), une formation qualifiante doit leur apporter le savoir-faire pour une bonne prestation.

Si certaines méthodes étaient normalisées, à l'échelon français ou européen, une procédure de certification pourrait être envisagée. Toutefois, dans le cadre temporel du projet, ceci fera plus l'objet d'une réflexion prospective que d'une construction achevée.

Objectifs et propositions

Nous proposons de construire (a) un **référentiel de formation** qui permette, dans chaque domaine couvert par le projet, et de proposer (b) une **offre de formation** destinée aux décideurs (maîtres

d'ouvrage et maîtres d'œuvre) en complément de celles proposées aux techniciens au sein de l'action D2.

Ce travail s'appuiera sur les compétences des partenaires et les initiatives que certains ont récemment promues (par exemple IMGIC en liaison avec le CHEBAP ou Ponts Formation). Il s'appuiera aussi largement sur les produits des autres actions (synthèses méthodologiques, fascicules, prototypes logiciels, simulateur de gestion...). Le référentiel sera composé :

- d'un texte de référence, par domaine (Chaussée, OA, Réseaux hydrauliques, etc.) et par cible ;
- d'un ensemble de diaporamas permettant l'organisation de cours en modules ;
- d'un dispositif de formation de formateurs.

Moyens

Le travail s'inscrira essentiellement dans les deux dernières années du projet et mobilisera deux experts par domaine à traiter, de préférence parmi ceux ayant participé aux travaux de développement et de formalisation du Savoir dans les autres axes.

- Dans un premier temps, on définira ensemble la démarche à appliquer, les formats à respecter, tout en identifiant le cas échéant, les spécificités de chaque domaine.
- Dans un second temps, les experts de chaque domaine produiront le référentiel de formation.

Partenaires ayant manifesté leur intérêt : GeM, CETE Lyon, Ifsttar, PANSN, GRECAU, IRSTEA, DIADES, CETE Sud-Ouest, LOCIE

Action D4 : Synthétiser les résultats par type de patrimoine

Objectifs et propositions

Les différentes actions conduites au sein de ce projet national s'inscrivent dans le cadre d'une méthodologie générale cohérente, avec des déclinaisons de certaines actions pour certains patrimoines.

En fin de projet national, il sera essentiel de disposer, pour chaque type de patrimoine, d'un bilan formalisé qui résume les avancées « génériques » tout en déclinant les avancées spécifiques faites pour ce patrimoine particulier. Chaque bilan sera rédigé par les acteurs plus directement impliqués sur ce patrimoine, et destiné aux gestionnaires, qui piloteront par ailleurs les groupes de travail. Les responsables d'actions et des experts viendront compléter ces groupes.

Partenaires ayant manifesté leur intérêt : PANSN, EdF, gestionnaires

5.4.3. Livrables attendus

Pour l'action D1 :

- (a) Le cadre d'une base de données relationnelle, consultable à distance, recensant et permettant d'exploiter les défaillances passées
- (b) Une procédure de collecte (retour spontané et/ou organisé) et d'analyse par les experts d'incidents/accidents,
- (c) La mise à disposition d'une version initiale de la base de données,
- (d) Un ensemble de fiches-exemple illustrant les possibilités d'exploitation de la base de données pour produire de nouvelles connaissances (les fiches-exemples pourront par exemple être consacrées à certains modes constructifs, à certains processus de vieillissement, à certaines

actions exceptionnelles...).

Pour l'action D2 :

- (a) Programmes et supports de formation,
- (b) Maquettes de Certification (pour les techniques) et de formation (pour les acteurs),
- (c) Guides méthodologiques pour la qualification des techniques,
- (d) Plates-formes de structures tests à disposition, incluant des ouvrages références

Pour l'action D3

- (a) Un support de formation générale ("valise de formation"³²), assurant un tronc commun entre les différents acteurs et les différents patrimoines ;
- (b) Un support de formation "décideur" ("valise de formation"), par type de patrimoine ;
- (c) Un support de formation pour formateur ("valise de formation"), par type de patrimoine.

Pour l'action D4

Un rapport de synthèse (guide technique) par type de patrimoine rappelant les principes de base de la méthodologie et montrant comment ils peuvent être appliqués concrètement à chaque patrimoine particulier.

³² A l'image de la « valise de formation à la gestion des chaussées », produite par le Réseau Scientifique et Technique (RST) du MEDDE.

5.5. Cohérence du Projet National et gouvernance

Nous avons expliqué plus haut (§ 4.2) notre souci que le contenu et le mode de travail du Projet National réponde à un double objectif d'élaboration d'une méthodologie cohérente, indépendante des patrimoines considérés et de déclinaison opérationnelle de cette méthodologie sur des patrimoines particuliers.

La cohérence du programme sera assurée en mettant en place une gouvernance adaptée à ce schéma, et ce à trois niveaux (cf cases grisées du tableau 5) :

- **une cohérence au niveau de chaque axe**, afin d'assurer que les éléments méthodologiques mis en place soient en cohérence avec les besoins et contraintes des divers patrimoines. Cette cohérence sera, pour chaque Axe, **assurée par un binôme** associant un partenaire professionnel (bureau d'études, gestionnaire...) et un partenaire académique,
- **une cohérence par type de patrimoine**, afin d'assurer que les différentes « briques » développées au sein des axes/actions contribuent effectivement à améliorer les pratiques de gestion de ce patrimoine. C'est **un gestionnaire ou un spécialiste du domaine technique** qui sera en charge de cette cohérence. Les différents responsables seront en outre associés au sein d'un « **collège gestionnaires** » qui jouera un rôle clé lors de l'expression des besoins, lors de la formalisation de la connaissance experte, et lors de la rédaction des synthèses spécifiques ;
- **une cohérence d'ensemble** qui veillera à ce que la méthodologie qui sera élaborée par le Projet National soit cohérente (sans chevauchement ou manque de continuité entre les différentes composantes de la gestion : mesures, modèles, décision et gouvernance). Cette cohérence sera assurée à deux niveaux : (a) par **l'équipe de pilotage du Projet National**, constituée de 8 à 12 experts représentant les différentes sensibilités des partenaires, en charge de l'avancement du projet au quotidien, (b) **un Comité d'Orientations Stratégiques**, composé de 3 personnes issues de l'équipe de pilotage (un universitaire, un maître d'ouvrage, une entreprise), qui veillera tout particulièrement à cette cohérence. Il pourra impulser les orientations, contacter de nouveaux partenaires et solliciter l'équipe de pilotage pour les livrables, les indicateurs d'avancement et l'opportunité de montage de projets périphériques.

Le Projet National sera aussi doté d'un **Conseil Scientifique de 6 à 10 experts, dont un tiers d'experts étrangers** (européens ou nord-américains), qui valideront les choix scientifiques, valideront les résultats obtenus et conseilleront l'équipe de pilotage lors de la définition précise du programme annuel, en particulier en replaçant les travaux effectués dans son contexte international. La constitution et la coordination du Conseil Scientifique seront confiées au G.I.S. MRGenCi (Groupement d'Intérêt Scientifique Maîtrise des Risques en Génie Civil) qui a confirmé son intérêt pour le projet et accepté d'assurer ce rôle, en mettant à disposition du Projet National son réseau d'experts.

5.6. Les résultats attendus – livrables

Nous avons détaillé les livrables du Projet National au fil de la description des actions. Nous nous limiterons ici à en faire la synthèse. Les deux attentes majeures auxquelles ambitionne de répondre le PN GEDI sont : (a) l'élaboration d'une méthodologie partagée et validée collectivement dans laquelle pourront s'inscrire les acteurs de la gestion du patrimoine, (b) le développement d'outils et de méthodes permettant de répondre, dans la logique de la démarche générale, à des attentes spécifiques de certains gestionnaires.

Les livrables sont définis dans cette logique. Ils se répartissent en cinq familles :

- des documents permettant de faire connaître et de diffuser largement le corpus de la doctrine : **rapports de synthèse, guides méthodologiques**. Ces documents seront accessibles à la fois sous forme papier et téléchargeables sur le site Internet du Projet National ;
- des **outils numériques**, sous la forme d'une base de données de retour d'expérience d'une part et de prototype de simulateur de patrimoine d'autre part. Ces outils seront mis à disposition de la communauté et des versions de démonstration en seront librement téléchargeables (les partenaires du projet ayant accès à une version plus complète des produits) ;
- des **outils de qualification des techniques**,
- des **outils de qualification et de formation des acteurs**, sous la forme de référentiels de formations et d'un premier corpus de ressources pédagogiques d'une part (modules de formation) et sous la forme de **plate-formes tests** d'autre part. La collaboration avec le GIS MRGenCi sera mise à profit pour développer de telles ressources, si possible dans le cadre d'un Projet UNIT³³ ;
- des **journées d'information**, qui seront programmées dans différentes régions de France, de manière à diffuser les résultats majeurs du Projet national,
- la diffusion des avancées méthodologiques majeures sous la forme de **publications académiques** (conférences, revues scientifiques), y compris au cours de colloques thématiques dont les partenaires universitaires du projet prendront l'initiative, sans oublier les messages qui pourront être portés dans les commissions travaillant sur les Eurocodes.

Ces actions seront menées prioritairement à l'échelon national mais une diffusion internationale des résultats majeurs sera effectuée en parallèle, avec des documents disponibles en anglais, de manière à leur assurer la plus large diffusion.

³³ Le consortium UNIT (Université Numérique Ingénierie et Technologie, <http://www.unit.eu/fr>) offre un cadre général pour le financement partiel de projets visant à développer des ressources pédagogiques en ligne.

6. Planning – projet de budget – analyse SWOT

6.1. Planning du Projet National

Le Tableau 6 établit un déroulement temporel indicatif du Projet National, sur une durée totale de 48 mois. Les périodes repérées en gris clair correspondent à des travaux génériques, et les périodes repérées en gris foncé correspondent à la déclinaison des actions sur des patrimoines spécifiques (actions B1, B2, C2, D3 et D4).

Ce déroulement tient logiquement compte des articulations nécessaires entre les actions. Un avancement significatif des travaux de l’Axe A est nécessaire avant que ne commencent certaines actions (B2, C1, C3, et bien entendu les actions liées à la formation). Le démarrage de l’Action C2 peut être plus précoce que celle des Actions C1 et C3. L’action B3 est relativement indépendante.

Le calendrier de livraison des produits sera précisé lors de l’établissement du planning définitif pour que cette cohérence soit respectée et que chaque Action puisse démarrer avec un cahier des charges précisément établi.

					12					24					36					48
A1																				
A2																				
B1																				
B2																				
B3																				
C1																				
C2																				
C3																				
D1																				
D2																				
D3																				
D4																				

Tableau 6. Schéma du déroulement temporel du Projet National

6.2. Budget prévisionnel du Projet National

Le tableau 7 rapporte l'estimation des coûts du Projet National GEDI. Ces estimations seront affinées et le plan de financement de ce budget sera établi lors de l'étape de montage du projet.

Actions – description des activités de recherche		Budget global en k€ HT
Axe A. Définir une politique de gestion durable du patrimoine (la « doctrine »)	A1 : Proposer une politique de gestion partagée	150
	A2 : Intégrer de manière objective des critères de développement durable	250
Total (1)		400
Axe B. Mettre en œuvre une politique de gestion durable du patrimoine	Action B1 : Proposer des procédures validées pour l'évaluation technique et le suivi du patrimoine	600
	Action B2 : Valider les modèles de durée de service	450
	Action B3 : Contrôler l'efficacité des réparations et développer des modèles de réingénierie	350
Total (2)		1 400
Axe C. Faciliter la prise de décision et l'évaluation de la politique de gestion	Action C1 : Développer une logique multicritère systémique	300
	Action C2 : Développer des outils de simulation : gestion de patrimoine virtuel	500
	Action C3 : Intégrer la notion de risque dans les politiques de gestion et déterminer des stratégies optimales d'IMR	300
Total (3)		1 100
Axe D. Capitaliser l'expérience et former les acteurs	Action D1 : Promouvoir le retour d'expérience, les bases de connaissance et l'ingénierie forensique	300
	Action D2 : Qualifier les techniques de contrôle, former les opérateurs et gestionnaires	300
	Action D3 : Produire des supports de formation des acteurs de la gestion durable du patrimoine	300
	Action D4 : Synthétiser les résultats par type de patrimoine	150
Total (4)		1 050
Valorisation	Site internet, mise à disposition des logiciels prototypes	80
	Rédaction et édition d'une synthèse des résultats et recommandations français / anglais	60
	Présentations publiques, séminaires de restitution (1 séance nationale + 4 séances régionales)	60
Total (5)		200
Pilotage et coordination		
Total (6)		150
Total HT (k€)		4 300
Frais de gestion administratifs et financiers (5%)		215
Total HT (k€)		4 515
Total TTC (k€)		Budget global en k€ TTC 5 400

Tableau 7. Projet de budget

6.3. Analyse S.W.O.T.

Au terme de l'étude de faisabilité, nous avons souhaité procéder à une analyse SWOT du Projet National. Ce type d'analyse (SWOT est un acronyme dérivé de l'anglais pour *Strengths* - forces, *Weaknesses* - faiblesses), *Opportunities* - opportunités, *Threats* - menaces) permet d'évaluer les projets, lors de leur définition, mais aussi au fil de leur déroulement, tout en adoptant un plan d'action pour tirer le meilleur parti des éléments favorables et faire face efficacement aux facteurs de risque. Nous n'ignorons pas la dimension artificielle d'une analyse « sur soi-même », mais il s'agit plutôt de synthétiser ici des éléments favorables et défavorables déjà identifiés et dont nous avons tenu compte dans l'élaboration de ce projet. La matrice SWOT du Projet National est la suivante :

interne	Forces <ul style="list-style-type: none"> ✓ Compétences identifiées et variées ✓ Motivation ✓ Habitude du travail collectif ✓ Echanges, mise en réseau des expériences 	Faiblesses <ul style="list-style-type: none"> ✓ Cadre trop large ✓ Approche trop systémique et manquant de caractère opérationnel ✓ Réticences au partage d'information
externe	Opportunités <ul style="list-style-type: none"> ✓ Existence de réels besoins ✓ Visibilité internationale ✓ Appui sur les collaborations externes ✓ Complémentarité à autres PN 	Menaces <ul style="list-style-type: none"> ✓ Financement insuffisant ✓ Moyens de valorisation insuffisants ✓ Absence de compétences clé

Tableau 8. Analyse SWOT du Projet National GEDI.

Les menaces (d'origine externe) dépendent peu des partenaires du projet. Pour celles de nature budgétaire, les partenaires qui ont déjà une forte expérience de collaborations dans des projets obtenus avec divers financements (Europe, Régions, ANR...) comptent profiter de la dynamique que le PN instaurera pour monter des projets complémentaires sur tel ou tel aspect particulier. En ce qui concerne les compétences, le périmètre des partenaires a été largement ouvert, pour que soient impliqués des spécialistes apportant des compétences complémentaires à celles de l'ingénierie traditionnelle : en aide à la décision, en évaluation économique et environnementale, en gouvernance de projet... Plusieurs partenaires nous ont déjà rejoints et la porte reste ouverte.

En ce qui concerne les faiblesses internes, nous avons très tôt identifié les risques attachés à un périmètre large (multi-patrimoine et couvrant l'ensemble de la chaîne de gestion). Nous comptons y faire face en combinant l'élaboration collective de la méthodologie qui servira de « colonne vertébrale » à l'approche et des applicatifs devant répondre à des questions concrètes sur des objets plus précis. La gouvernance mise en place pour le projet (cf § 5.5) a été définie pour faire face à ce problème potentiel. L'engagement des gestionnaires offrira à la fois des garanties face à cette difficulté et pour assurer le partage des informations utiles.

Enfin, les objectifs gagneront naturellement en précision lors de l'étude de montage puisque c'est lors de cette phase que nous définirons, avec les gestionnaires concernés les objectifs plus particuliers qui seront assignés lors de la déclinaison thématique dans les actions.

Une dernière question porte sur le périmètre. Plusieurs choix ont été faits, le premier étant de ne pas aborder les questions liées à la gestion patrimoniale des bâtiments courants, pour lesquels la

dimension énergétique est structurante, et qui font par ailleurs l'objet de nombreuses actions. D'autre part, le **Projet National s'inscrit de manière complémentaire** à plusieurs autres futurs projets nationaux en phase de montage ou de faisabilité (comme DVDC et MURE sur les chaussées, ou PerfDub). Ces projets, tous centrés sur un type particulier d'ouvrages, porteront essentiellement sur la modélisation ou les procédés, autant d'optiques qui ne seront pas adoptées par GEDI. GEDI ne vise pas à développer de connaissances techniques ou scientifiques nouvelles dans les champs de l'ingénierie usuelle, mais à agréger et mettre en forme de manière cohérente les connaissances existantes, au service d'un seul objectif : la gestion durable du patrimoine. Les avancées méthodologiques porteront principalement sur la prise en compte des différentes échelles de temps, du caractère multi-objectif et multi acteurs, de l'analyse de risque... De même les produits attendus (plate formes, simulateurs virtuels...) constitueront des apports originaux.

7. Partenaires ayant manifesté leur intention de participer au PN GEDI³⁴

Maîtres d'ouvrages et gestionnaires d'ouvrages

EDF, CEA,
SNCF, RFF, RATP
Conseil Général Lot et Garonne
Port Autonome Nantes Saint Nazaire
Bouygues concession - Alis
Lyonnaise des Eaux (Lyre)

Entreprises et bureaux d'études

Sites
Advitam
Oxand
Phimeca
Bureau Veritas
Diades
Egis
Ixead
Inexia
Eiffage TP
Accoast
Roquelle
Stern

Monde académique

Ifsttar (Nantes, Paris)
IRSTEA
CETU
Université Bordeaux1 (I2M)
Université de la Méditerranée (LCND)
Université Toulouse (LMDC)
Institut Pascal Clermont-Ferrand
Université Nantes (GeM)
Université de Savoie (Locie)
Université de Marne la Vallée
INSA Lyon
GRECAU (EAPBx)

Services de l'Etat

SETRA
CETE Lyon (LR Lyon, LR Autun)
CETE Sud-Ouest (LR Bordeaux)
Service Public de Wallonie³⁵

Partenariats thématiques qui seront impliqués à titre collectif dans le Projet National (des contacts ont été pris avec ces partenaires qui ont tous confirmé un intérêt fort).

- ✓ STRRES pour ce qui relèvera des travaux sur les ouvrages
- ✓ IMGc pour ce qui relève de la formation de la maîtrise d'œuvre pour les travaux
- ✓ GIS MRGenCi pour le portage scientifique
- ✓ COFREND pour les actions relevant de la qualification et de la certification.

³⁴ D'autres partenaires potentiels ont participé à des échanges dans cette phase préalable et seront impliqués à nouveau lors de l'étude de montage. Ils ne sont pas cités ici.

³⁵ Ce partenaire, engagé de longue date sur les questions relatives à la gestion du patrimoine, a manifesté le vœu d'être associé au PN même si son statut (établissement belge) ne lui permettra pas de bénéficier de financements).

Références bibliographiques

- Adjadj A., De Dianous V., Dolladille O., Prodhomme G., Reimeringer M., Maîtrise du vieillissement des installations industrielles : comparaison des politiques en France et dans quatre pays étrangers, 17^{ème} congrès de Maîtrise des risques et de sûreté de fonctionnement, La Rochelle, oct. 2010.
- Baroghel-Bouny V., Approche performancielle fondée sur les indicateurs de durabilité, Journées AFGC, Metz, 13 novembre 2012.
- Barton E., SHM demonstrator at NPL : two years of monitoring experience and future challenges, eh-network, 2011.
- Benoit V., Rousseaux P., Aid for aggregating the impacts in life cycle assessment, *Int. J. LCA*, vol. 8, 2, pp. 74-82, 2003.
- Boéro J., Schoefs F., Roisin M., Projet GEROM : résultats d'enquête nationale et méthodologie de gestion d'un parc d'ouvrages portuaires, Rencontres AUGC, Bordeaux, 2007.
- Breyse D., Failure case databases for teaching risk in civil engineering, ICE conf., Londres, avril 2013.
- Breyse D., Vasconcelos E., Schoefs F., Management strategies and improvement of performances of sewer networks, *Computer aided civil and infrastructure engineering*, vol. 22, 7, p. 462-477, 2007.
- Burn S., Marlow D., Tran D., Modelling asset lifetimes and their role in asset management, *J. Water supply : research and technology*, 59, 6-7, pp. 362-375, 2010.
- Canneva G., Outil d'analyse sommaire de la durabilité des services d'eau, Congrès ASTEE, Nantes, mai 2013.
- Carper K.L., 2007, ASCE technical council on forensic engineering : enhancing the influence of forensic engineering in the United States, *Int. Forensic Eng. Conf.*, Mumbai, 6-9 dec. 2007.
- CERTU, Prendre en compte le développement durable dans un projet – Guide d'utilisation de la grille RST02, Coll. Références, 2006.
- Cimbéton, Analyse du cycle de vie d'un pont en béton, T87, disponible sur www.infociments.fr
- Crespi Reghizzi O., Politique d'investissements, financement et durabilité dans les services urbains d'eau potable et d'assainissement en Italie et en France : enrichir le débat par une analyse comparative de long terme ?, Congrès ASTEE, Nantes, mai 2013.
- Cula P., La route, un patrimoine, SPRIR de Franche Comté, Dôle, 28 novembre 2011.
- Daudigny Y., Rapport d'information sur l'ingénierie publique, n. 557, Sénat, 15 juin 2010.
- Deck O., De l'interaction sol structure à la vulnérabilité du bâti pour la gestion des risques liés aux mouvements de terrain à l'échelle urbaine, Mémoire d'Habilitation à diriger des recherches, Univ. Lorraine, 2012.
- Delatte N.J., 2009, *Beyond Failure: Forensic Case Studies for Civil Engineers*, ASCE Press
- Duratinet, Assessment and maintenance planning – general guidelines, Vol. 1, DURATINET report, 2012.
- EDF, Rapport 2012 de l'inspecteur de la sûreté hydraulique, 2012.
- FNTF, Et si, demain, les travaux publics s'arrêtaient ?, Dossier de presse, février 2013.
- Fribourg, Evaluation de la durabilité à Fribourg : outil et processus, Direction de l'aménagement, de l'environnement et des constructions, mai 2012.
- Godart B., Breyse D., Comment répondre aux attentes des maîtres d'ouvrage ?, Chap. A2, in Breyse D., Abraham O., Méthodologie d'évaluation non destructive des ouvrages en béton armé, pp. 39-52, Presses ENPC, 2005.
- Godart B., Gestion des ponts en Europe – Projet européen BRIME, Etudes et recherches des LPC, OA 49, 2005.
- Keller V., Brugger V., Gillibert G., Shwab P., Boussole 21 - Evaluation de la durabilité des projets sur Internet, Collection Jalons, n° 8, Unité de développement durable, Département des infrastructures, Etat de Vaud, Confédération Suisse, 2010.
- Lacoste G., L'ITSEOA 2010, SETRA Club OA, Aix-en-Provence, 18 novembre 2010.
- Llanca D., Méthodologie de diagnostic des tunnels et ouvrages souterrains en service, Entretien du RGC&U, Paris, 2012.
- MRGenCi, Retour d'expérience sur 10 ans de projets ANR, FUI, Régionaux, rapport de synthèse du Groupement d'Intérêt Scientifique MRGenCi, Compte-rendu de l'Atelier de Travail, Colloque JFMS, Chambéry, juin 2012.
- Moins I., Chardès S., Gazeau J.C., Platz V., Le SIRS digues deuxième génération, Coll. Dignes 2013, juin 2013 Aix en Provence.
- NCHRP, Multi objective optimization for bridge management systems, Report 590, 2007, http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_590.pdf
- Paterna Hidalgo A., Serre D., Brochet J., Diab Y., Evaluation de la performance des ouvrages de génie civil à la RATP : critères d'aide à la décision dans le choix des ouvrages à traiter, Entretien du RGC&U, Paris, 2012.
- Perez M., La réalisation des revues de sûreté à EDF, Colloque CFBR-AFEID « Sécurité des barrages et nouvelle

- réglementation française – partage des méthodes et expériences », 9 nov. 2010, Lyon.
- Rhayma N., Talon A., Breul P., Goirand P., Vers une nouvelle méthodologie de notation des ouvrages souterrains RATP, Rencontres AUGC, Cachan, mai 2013.
- Roy B., Bouyssou D., 1993, Aide multicritère à la décision : méthodes et cas, Economica Paris.
- Samaris, State of the art report on assessment of structures in selected EEA and CE countries, SAMARIS Project, Deliverable D19, coord. A. Znidaric mars 2006.
- Sanchez C., Spécification et implémentation du système d'aide à la décision multicritère pour la maintenance préventive et la gestion du patrimoine de la société d'autoroutes ESCOTA : le projet SINERGIE, Thèse Ecole des Mines de Paris, 2007.
- Schmitt P., Plu B., Triquet M., Pour une régénération durable du réseau ferré – la démarche d'ingénierie et les nouvelles solutions techniques, Annales BTP, p. 31-38, août-oct. 2011.
- SNIT, Schéma national des infrastructures de transport (rapport de novembre 2011) et relevé de conclusion du Conseil Economique Social et Environnemental (février 2012).
- Stephan P., Salin J., Ageing management of concrete structure: assessment of EDF methodology in comparison with SHM and AIEA guides, Constr. Build. Mat, Vol. 37, pp. 924-933, dec. 2012.
- Talfumière V., Maintenance des ouvrages en terre sur le réseau ferré national, Revue française de géotechnique, 134-135, p. 7-14, 2011.
- Tessier C., La démarche DIOGEN, Journées AFGC, 27 septembre 2012, Paris.
- Tridon C., Patrimoine d'ouvrages d'art : une situation critique, Travaux 882, juillet-août 2012.
- Ueda T., International code harmonization: the role of the Asian Concrete Model Code, Structural concrete, 12, 2011.
- Vial E., Cornillier C., Lenévé S., Deroubaix G., Analyse critique étude Cimbéton « qualité environnementale des bâtiments », 17 nov. 2009, FCBA.
- Villain G., Vers une évaluation des indicateurs de durabilité du béton pour le suivi de ses dégradations en laboratoire et sur ouvrage, Études et recherches des Laboratoires des ponts et chaussées, OA 70, IFSTTAR, Paris, 2012, ISSN 1161-028X, 226.
- Virlogeux M., Inspecter, entretenir, réparer notre patrimoine d'ouvrages d'art, Travaux 882, juillet-août 2011.
- Wood J.G.M., L'ingénierie forensique – l'approche anglaise, Coll. Le Pont, Toulouse, 22-23 oct. 2008.