

PRÉSENTATION DU GUIDE POUR L'EMPLOI DES TECHNIQUES D'ESSAIS NON DESTRUCTIFS SUR LES OUVRAGES EN BÉTON ARMÉ

Denys BREYSSE

Université de Bordeaux 1 - CDGA

Odile ABRAHAM

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC)

1. L'ÉVALUATION NON DESTRUCTIVE : UN MOYEN AU SERVICE D'UN BESOIN

Un récent éditorial de la revue *Matériaux et Structures*¹ soulignait un paradoxe : alors que les progrès récents ont été nombreux dans les domaines de la connaissance du comportement des matériaux de construction et de leurs méthodes de conception, le problème de la détérioration des ouvrages devient chaque jour plus flagrant : « *Pourquoi continuons-nous à lire régulièrement des articles sur la détérioration prématurée des matériaux de construction et sur les destructions d'ouvrages ? Pourquoi les litiges relatifs aux constructions constituent-ils une activité en essor ? Pourquoi y a-t-il un gouffre si important entre ce que nous savons très bien faire et ce que nous faisons réellement en pratique ?* ».

Si la situation décrite par Mindess semble devoir être relativisée en ce qui concerne la France qui a une longue tradition de maintenance de ses ouvrages de génie civil, et qui, pour la construction des ouvrages en béton, a toujours cherché à viser la compacité des bétons parallèlement à leur résistance, le patrimoine bâti français, comme celui des autres pays occidentaux est un patrimoine vieillissant, dont une part significative atteint ou dépasse la cinquantaine d'années.

L'état réel de ces ouvrages peut être déficient ou mal connu. De nouvelles prescriptions en matière de sécurité, ou le besoin de décisions économiques rationnelles en termes de maintenance peuvent nécessiter une analyse approfondie de l'état de ces ouvrages. La prolongation, pour des raisons économiques, de la durée de service au-delà de la durée prévue lors de la conception doit, elle aussi, reposer sur des bases rationnelles.

Face à ces besoins, les gestionnaires peuvent recourir à un ensemble de techniques susceptibles de fournir des éléments utiles au diagnostic structural. Les techniques d'essais non destructifs, par leur caractère non intrusif, sont un élément essentiel de la panoplie disponible, mais le recours à ces techniques ne garantit pas toujours aujourd'hui la satisfaction du gestionnaire, souvent dépourvu face à des rapports d'études qui ne répondent pas immédiatement aux questions qu'ils souhaitent résoudre, en particulier dans l'optique d'une prise de décision.

Ces questions concernent tous les pays européens, et sont désormais abordées dans une logique de développement durable (au sens de l'allocation optimale des ressources : comment assurer une sécurité satisfaisante pour les citoyens et les infrastructures dans un contexte de ressources financières et matérielles limitées ?). Ainsi, la plate-forme européenne construction (ECTP) a défini les thèmes relatifs à la gestion efficace des infrastructures comme essentiels : ces thèmes sont abordés en détail dans deux des « Focus Areas » : Networks (sous l'angle de la maintenance et de la gestion des infrastructures, dans une logique de maîtrise des risques) et Cultural Heritage (sous l'angle des techniques d'évaluation des matériaux de construction).

¹ Mindess S., Editorial, *Matériaux et Structures*, vol. 34, p. 450, 10-2001.

De multiples initiatives ont vu le jour ces dernières années, aux plans nationaux et européens (groupes de travail, projets européens, cycles de conférences...). Elles s'accordent sur les constats précédents et tentent de résoudre une part des problèmes identifiés, soit en développant de nouvelles techniques, soit en essayant de normaliser les approches, soit encore en essayant de rationaliser les modes de gestion d'ouvrages (bases de données, systèmes de notation).

2. LA DÉMARCHE ET LA MÉTHODE DE TRAVAIL

Des experts et praticiens de l'évaluation non destructive ont décidé de contribuer, sous les auspices de l'AFGC (Association Française de Génie Civil) et de la COFREND (Confédération française des essais non destructifs), à la rédaction d'un document expliquant quels peuvent être les apports de l'évaluation non destructive (END) pour l'évaluation des ouvrages en béton armé, comment les méthodes peuvent être employées et leurs résultats exploités. Chercheurs et scientifiques, experts de la mesure ou du diagnostic, maîtres d'ouvrages, représentants des services de l'Etat ou de bureaux d'études, se sont ainsi rencontrés régulièrement à une vingtaine de reprises pour partager leurs questionnements et faire un état de l'art le plus complet possible de la situation actuelle.

Ce travail est justifié par le constat de départ suivant :

- le patrimoine bâti (ouvrages d'arts, bâtiments, infrastructures et réseaux) est vieillissant, son état peut être déficient ou mal connu, et les prescriptions en termes de sécurité, ou les besoins de décisions économiques rationnelles vont croissant,
- les gestionnaires de ces ouvrages, dont le budget dédié à la maintenance et à l'entretien est souvent insuffisant, sont demandeurs de moyens et de méthodes d'évaluation qui leur permette de justifier les choix techniques (priorités d'interventions, nature des travaux) ou les budgets mobilisés (à court terme, mais aussi pour assurer une lisibilité budgétaire sur le moyen terme),
- de nombreuses techniques peuvent être utilisées (et vendues), qui sont susceptibles de fournir des éléments utiles au diagnostic structurel,
- une déception courante de la part des gestionnaires qui, dans de nombreux cas, ne sont pas en mesure d'exploiter ou de valoriser les résultats des campagnes d'END qu'ils ont financées.

Le Groupe de Travail (GT) s'est donné pour objectif de rédiger un *Etat de l'Art* des besoins et des pratiques et d'établir des *recommandations* pour l'utilisation efficace de l'END (quand ? où ? comment ? pour quoi ?...) afin de mieux répondre aux demandes concrètes des gestionnaires d'ouvrages. Le travail a démarré en septembre 2000. Le public visé est constitué :

- des gestionnaires et des maîtres d'ouvrages, dont les besoins sont opérationnels et qui ne sont que rarement des experts en génie civil,
- des praticiens de l'END, dont les résultats des campagnes d'investigation ne sont pas toujours utiles aux ingénieurs qui doivent fonder un diagnostic de l'ouvrage,
- des experts du diagnostic qui doivent manipuler des données de diverses provenances et en déduire des conclusions synthétiques.

Il convient d'y ajouter les étudiants et jeunes ingénieurs en génie civil, pour lesquelles les préoccupations de gestion de patrimoine deviennent importantes.

Le GT a fonctionné sur la base d'une participation équilibrée de professionnels issus de ces différents métiers (maîtres d'ouvrages, gestionnaires, sociétés spécialisées dans l'END, experts en structures, chercheurs...). Chacune des réunions a rassemblé l'ensemble du groupe, et chaque sujet a été traité collectivement. Une telle démarche, reposant sur l'élaboration d'un consensus des experts, nous a semblé essentielle. Ainsi, les conclusions du groupe et les recommandations établies ne peuvent être considérées comme celles de M. X ou de Mme Y., aussi compétents que soient ces personnes, mais comme résultant d'un collège d'experts représentatifs du domaine, permettant d'établir un véritable Etat de l'Art Collectif sur la question. Les membres du Groupe de Travail étant parfaitement conscients de leurs limites, ils n'ont pas hésité non plus à solliciter des avis extérieurs lorsque le besoin s'en faisait sentir, pour préciser telle ou telle notion, corriger des affirmations ou fournir des exemples.

Les échanges réguliers ont été facilités par la mise en place d'un site Internet, ouvert aux membres du GT et à des personnes ayant souhaité être informées de l'avancement de nos travaux. Chaque chapitre de l'ouvrage depuis la construction de son plan jusqu'à son édition finale, est donc le fruit d'un réel travail collectif, sous la responsabilité d'un coordinateur, et avec la participation active de plusieurs autres membres du GT. Il convient de souligner que l'investissement des membres a été particulièrement régulier, et qu'il a été totalement bénévole.

3. CONTEXTE ET CONTENU DE L'OUVRAGE

Conformément au souci exprimé de se rapprocher autant que possible des problématiques opérationnelles, nous avons choisi de centrer le travail sur l'évaluation de l'état des ouvrages REELS, c'est-à-dire d'ouvrages en vraie grandeur, dans un environnement REEL (de chargement, de conditions atmosphériques et de contexte d'exploitation). Nous avons exclu de notre champ les travaux de laboratoire, sur matériaux modèles ou en conditions contrôlées. Le gestionnaire souhaite que son ouvrage satisfasse un certain nombre de fonctions dans ce contexte et les techniques END doivent, dans ce cadre contraignant, être aptes à fournir des résultats utiles. Pour des raisons évidentes, l'ensemble des chapitres est ainsi illustré par de nombreux exemples représentatifs, tirés de situations opérationnelles. L'ouvrage est divisé en trois parties.

La première partie replace les END dans le cadre général de la maintenance et de l'évaluation, recense les questions pratiques auxquelles il faut répondre et montre comment elle le fait dans la pratique, de façon plus ou moins satisfaisante.

La deuxième partie, après une revue générale des principes physiques de base des techniques, est consacrée à la présentation détaillée de 6 familles de techniques. Pour chaque famille, des cas réels sont commentés, et permettent de préciser l'efficacité, le champ d'utilisation et les limites des méthodes.

La troisième partie adopte une vision plus synthétique. Un tableau défaut/méthode est proposé et l'apport de la combinaison de plusieurs méthodes est mis en lumière sur plusieurs exemples. Enfin, on montre comment les résultats d'END peuvent être employés dans un objectif de réévaluation de l'ouvrage ou dans le cadre d'une stratégie de gestion patrimoniale.

4. LES END DANS LE CADRE GÉNÉRAL DE LA MAINTENANCE ET DE L'ÉVALUATION



Figure 1. Pont d'Empalot (31). La circulation sur cet ouvrage vieillissant est réduite, pour des raisons de sécurité. Mais quelle est la marge effective de sécurité de cet ouvrage ?

La première partie commence avec deux chapitres introductifs qui définissent le vocabulaire courant de l'IMR (inspection – maintenance – réparation) : mesures, suivi, diagnostic, évaluation... Elle introduit la problématique à partir des contraintes, des exigences et des questionnements des gestionnaires (fig. 1). Les questions de vocabulaires ne sont jamais neutres. Le fait que les termes de suivi ou d'évaluation ne recouvrent pas les mêmes contenus selon les acteurs peut être à l'origine de confusions. Les différentes étapes permettant d'aboutir à un pronostic sont décrites et la contribution de l'END est mise en relief.

Les méthodes d'END sont complémentaires des autres approches. Une fois que l'on a décidé de les employer, la question est celle de leur pertinence : quelle relation peut-on établir entre les paramètres mesurés (en général physiques) et le diagnostic ou la prévision ?

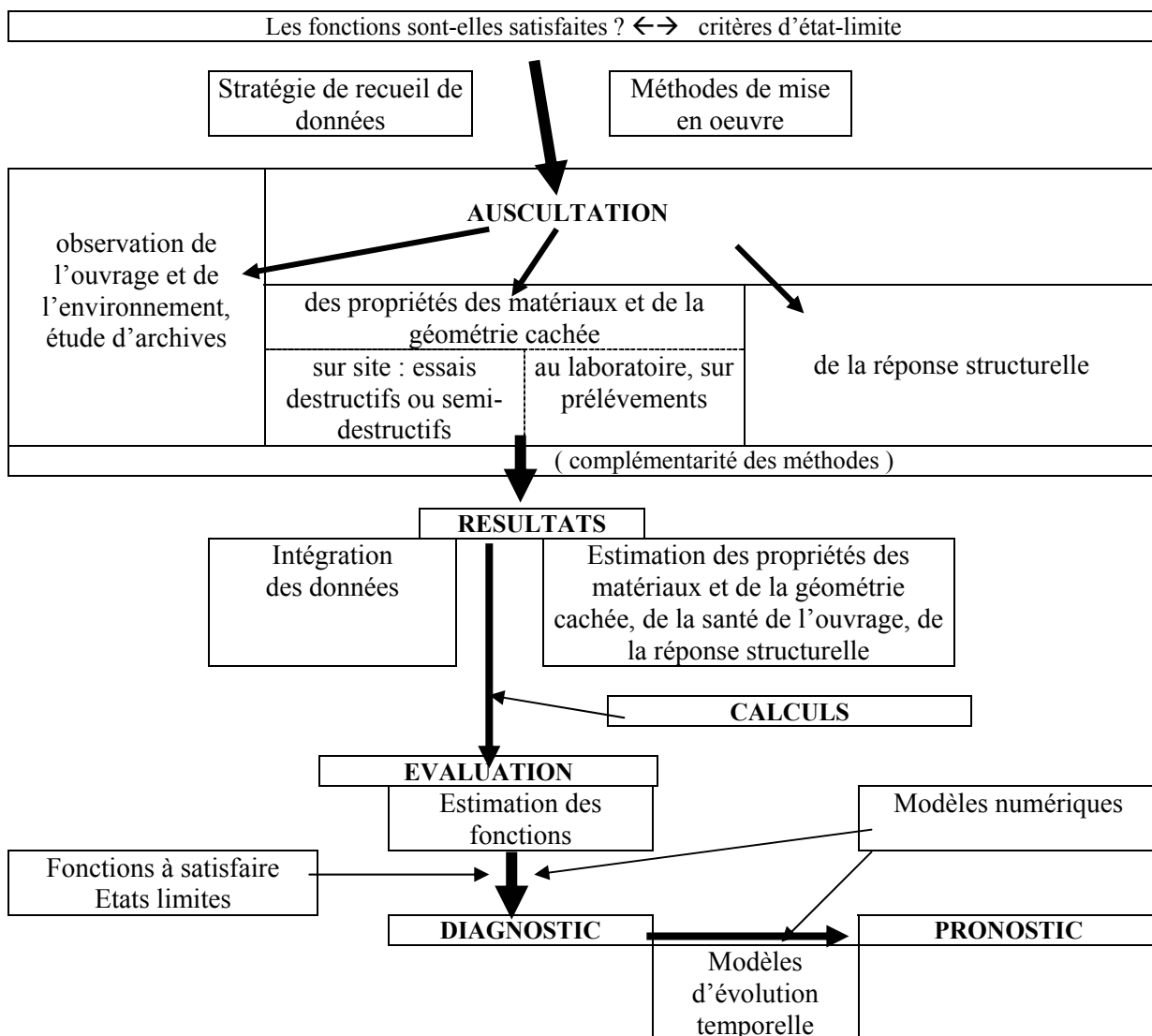


Figure 2. Articulation des différentes étapes

Les questions posées par le gestionnaire sont souvent posées de façon très générale comme :

- « pendant combien de temps puis-je utiliser ce pont sans limiter le trafic ? »
- « quelle partie de l'ouvrage doit être réparée en priorité ? »
- « quel est le niveau de sécurité si je ne fais rien ? »

Nous recensons les différents objets et propriétés que l'END permet d'analyser :

- en termes de propriétés mécaniques : résistance, fissuration (de différente forme et intensité, causée par des mécanismes divers), homogénéité...
- en termes d'évaluation géométrique : limites de couches et interfaces, épaisseurs, vides, défauts, inclusions, armatures...
- en termes d'étanchéité (pour les ponts, les réservoirs, les conduites...) : nature et intensité des fuites, chemins suivis par les fluides...



Figure 3. Intrados du tablier du pont d'Empalot (traces d'humidité, de corrosion, de fissuration) : comment évaluer l'ouvrage ?

Détecter, localiser, voire quantifier les désordres (fig. 3) ne suffit pas : la notion de durée de service résiduelle est en fait la notion essentielle. C'est souvent à elle que se résument tous les questionnements du gestionnaire. C'est en effet à partir de sa connaissance qu'il pourra justifier d'une intervention ou du maintien en l'état, d'autant plus qu'il pourra apprécier les risques (financiers, pour l'ouvrage ou l'usager) attachés à chaque décision (ou non décision). Lorsque l'on souhaite apprécier la durée résiduelle d'aptitude au service, l'END est nécessaire mais non suffisante : en général, seul le recours à la modélisation permet d'évaluer l'évolution future des propriétés et de l'état de l'ouvrage. Les méthodes END ont alors pour objectif d'estimer les paramètres requis par les modèles, par exemple l'épaisseur d'enrobage ou le coefficient de diffusion qui régira le développement de la corrosion.

5. PHYSIQUE ET TECHNIQUES

L'objectif des chapitres de la deuxième partie est de présenter les méthodes d'essais non destructifs utilisées à l'heure actuelle sur le terrain dans le génie civil. Leur présentation est conduite selon un modèle commun à toutes les techniques :

- quels sont les grandeurs mesurables et les phénomènes déduits ?
- quels sont les problèmes usuellement rencontrés et comment les aborder ?
- comment exploiter les résultats ?

La description de chaque technique est accompagnée de nombreux exemples concrets et re-situés dans leur contexte. Ainsi, tout en traitant des capacités et des limites des techniques elles-mêmes, nous avons abordé des questions telles que :

- le manque d'informations sur l'ouvrage (histoire, plans, conditions d'utilisation...) et son effet sur les décisions,
- la variation non maîtrisée des conditions environnementales (température, ensoleillement, humidité...) et son effet sur les mesures,
- la sensibilité et la reproductibilité des mesures,

- l'adéquation entre : (a) les mesures faites et les propriétés ou objets que l'on souhaite détecter ou caractériser ; (b) le lien entre cette propriété ou objet et les fonctions que l'ouvrage doit remplir.

Nous avons abordé toutes les techniques ayant des applications concrètes en génie civil, même si ces applications demeurent encore exploratoires pour quelques-unes :

- méthodes d'END mécaniques : ultrasons (US), impact écho (IE), émission acoustique (EA), ondes de surface (OS), tomographie sismique (TO),
- méthodes d'END électromagnétiques : radar (RAD), méthodes capacitatives (CAP), méthodes basses fréquences (BF),
- méthodes d'END thermiques : thermographie infra rouge (IR),
- méthodes d'END électriques : résistivité (RHO), potentiel de corrosion (PC), vitesse de corrosion (VC),
- méthodes d'END radiographiques : radiographie (gamma/X),
- méthodes d'END optiques : photogrammétrie (PHG), projection de franges (FRA), holographie (HOL) et shearographie (SHE).

Pour chacune des méthodes évoquées dans l'ouvrage une information synthétique sous forme de fiche technique recto-verso est proposée. Chaque fiche contient quatre grandes rubriques : description de la technique, mode d'application de la technique, mode d'expression recommandé des résultats, état d'avancement de la technologie, et synthèse (sous forme de notation).

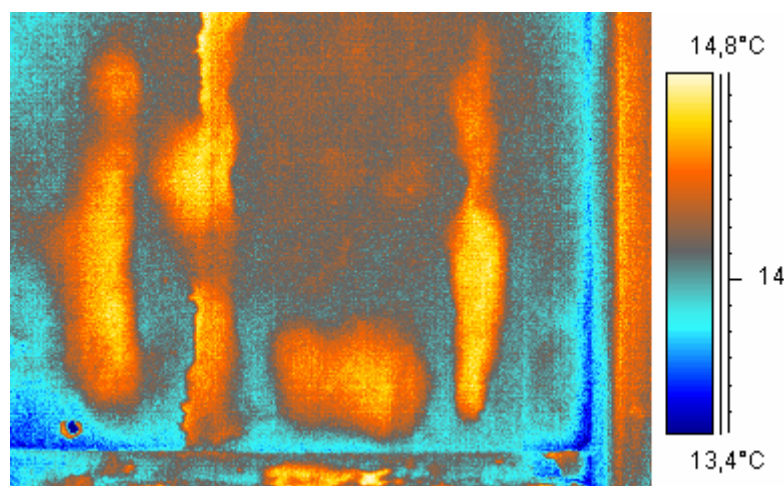


Figure 4. Image thermique de l'intrados d'un tablier de pont. Les zones « chaudes » sont révélatrices de fissuration (visible à l'œil) et de zones délamérées (non visibles).

Il nous est aussi apparu utile de porter un jugement critique et synthétique sur chaque méthode suivant une grille de lecture commune, permettant de faciliter l'utilisation de l'information par l'utilisateur. En effet, certaines des méthodes font l'objet d'application de routine tandis que d'autres sortent à peine du laboratoire.

6. UNE ÉVALUATION SYNTHÉTIQUE DES TECHNIQUES

L'évaluation synthétique exprime, sous forme d'une notation de A à C, le consensus du groupe de travail autour de la **convivialité** d'utilisation de la méthode, de sa **reproductibilité**, de sa **pertinence** et de sa **disponibilité**. Ces notations (A > B > C) ont été établies après discussion en réunion plénière et le détail des notes intermédiaires ayant servi au calcul des moyennes qui apparaissent sur les fiches est donné dans le chapitre intitulé « Synthèse des aptitudes des techniques aux différents types de diagnostics ».

Le tableau 1 décrit les notes intermédiaires obtenues par chacune des méthodes pour le calcul de la note globale liée à la **convivialité**. Une originalité de l'ouvrage est de porter à la connaissance des lecteurs ces

notes intermédiaires ainsi que les critères suivis pour leur attribution. Ainsi le tableau 2 présente pour chacun des items du tableau 1 les critères retenus pour attribuer les notes intermédiaires.

	Technique utilisée																
	US	IE	EA	OS	TO	RAD	CAP	BF	IR	RHO	PC	VC	γ/X	PHG	FRA	HOL	SHE
Convivialité d'expérimentation																	
Encombrement	A	A	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	C	B	B	C	C
Réglages	A	A	A	B	A	B	A	A	A	A	A	A	C	B	B	B	B
Préparation du matériel	A	A	B	B	C	A	A	A	A	A	A	A	D	B	B	B	B
Préparation de l'ouvrage	B	B	B	B	B	A	A	A	B	B	C	C	A	A	A	A	A
Mesure par télétransmission	B	B	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
Mesure à distance ou sans contact	C	C	C	C	C	B	C	B	A	C	D	D	B	A	A	A	A
Rendement d'acquisition des grandeurs mesurées	C	C	A	C	B	B	C	C	A	C	C	C	C	A	A	A	A
Convivialité d'interprétation																	
Immédiateté	A	A	A	B	C	B	A	A	A	A	A	A	C	C	B	B	B
Note globale	B	B	A	C	C	A	A	A	A	B	B	B	C	B	A	B	B

Tableau 1. Evaluation des critères élémentaires de Convivialité et note globale

Des tableaux similaires pour les notes **reproductibilité** et **disponibilité** sont présentés dans les deux premiers chapitres de la troisième partie de l'ouvrage. Dans ce qui suit nous allons détailler le contenu de la note **pertinence**.

	A	B	C
Convivialité d'expérimentation			
Encombrement - logistique	Autonome, léger	Requiert un véhicule ou des ressources spécifiques	Espace interdit
Réglages sur place	<10'	10'< <1h	>1h
Préparation du matériel	rapide	Moyenne	lente
Préparation ouvrage	Aucune	Légère	Requiert un temps non négligeable
Mesure par télétransmission	oui	non	
Mesure à distance /sans contact	Sans contact, à distance	Sans contact, proche	proche
Rendement d'acquisition des grandeurs mesurées	Capteur fixe ou plein champ	Déplacement rapide	Déplacement lent
Convivialité d'interprétation			
Immédiateté	Rapide ou simple	Lente ou complexe	

Tableau 2. Signification des notes A, B et C pour les critères élémentaires liés à la Convivialité

7. TABLEAUX SYNTHÉTIQUES RELIANT PATHOLOGIES ET MÉTHODES

La **pertinence** quantifie l'adéquation de la technique à la question posée et plus avant à l'objet analysé. Une liste des domaines d'emploi de chaque méthode est donnée en fonction de sa notation. La note A est attribuée lorsque la méthode permet une quantification, B s'il est permis une localisation ou donne un ordre de grandeur, et C si elle est physique sensible. La pertinence de chaque méthode est évaluée pour 4 classes de diagnostics génériques :

- caractéristiques géométriques (Tableau 3)
- caractérisation physique et état du matériau (Tableau 4)

- détection d'objets et de défauts (profondeur et étendue du délaminage avec accès par une seule face, vide avec accès par une seule face, ségrégation, microfissuration, endommagement, macrofissure visible, macrofissure non débouchante, rupture de fils (dans un câble), vide dans gaines (défaut d'injection), défaut d'étanchéité (à l'eau, à l'air))
- caractérisation mécanique du matériau ou de l'ouvrage (contrainte en place, résistance en compression, modules d'élasticité, champ de déplacement).

	Technique utilisée																
	US	IE	EA	OS	TO	RAD	CAP	BF	IR	RHO	PC	VC	γ_X	PHG	FRA	HOL	SHE
Épaisseur	C * B **	A	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A**	-	-	-	-
Repérage de gaines métalliques	-	B	-	-	-	A	-	A***	-	-	-	-	A	-	-	-	-
Repérage d'armatures	-	-	-	-	-	A ^B A****	-	A****	-	A****	-	-	A	-	-	-	-
Diamètre d'armature	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	A	-	-	-	-

* : si accès par une seule face, ** : si accès par les deux faces, *** si l'enrobage est faible, **** armatures du premier lit

Tableau 3. Evaluation de la pertinence pour le diagnostic des caractéristiques géométriques

	Technique utilisée																
	US	IE	EA	OS	TO	RAD	CAP	BF	IR	RHO	PC	VC	γ_X	PHG	FRA	HOL	SHE
Teneur en chlorures	-	-	-	-	-	C	-	-	-	C	-	-	-	-	-	-	-
Profondeur de carbonatation	C	-	-	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Taux d'humidité	C	-	-	C	-	B	A	-	B	B	C	-	-	-	-	-	-
Porosité	C	-	-	C	C	-	-	-	-	C	C	-	-	-	-	-	-
Corrosion d'armatures	-	-	B	-	-	-	-	-	-	-	B	A	-	-	-	-	-

Tableau 4. Evaluation de la pertinence pour la caractérisation physique et le diagnostic d'état

Précisons qu'il faut :

- privilégier le caractère comparatif d'une telle évaluation : A est meilleur que B, lui-même meilleur que C,
- considérer que l'évaluation résulte des connaissances pratiques que les experts ont pu accumuler quant à l'emploi de ces techniques, dans une optique de diagnostic sur des ouvrages de génie civil,
- savoir que cette évaluation ne constitue pas un jugement définitif : si les principes physiques qu'une technique met en œuvre pour la mesure sont peu susceptibles d'évoluer, il n'en est pas de même de l'environnement de la mesure. L'ergonomie du matériel, le recours à des modes de traitement plus évolués de l'information recueillie, l'accumulation de l'expérience par les praticiens sont susceptibles de modifier les capacités PRATIQUES des techniques dans le futur,
- savoir que l'expérience personnelle des praticiens revêt un caractère essentiel. Un spécialiste de la mesure et de l'interprétation qualifié pourra tirer le meilleur parti d'une technique a priori peu adaptée à un type de diagnostic donné que ne le fera un praticien inexpérimenté, même si ce dernier utilise un matériel a priori idéal pour ce diagnostic.

8. UTILISATION ET VALORISATION DE L'END

La troisième partie de l'ouvrage synthétise les connaissances sur la possibilité (et les difficultés) d'établir une évaluation de l'ouvrage à partir des données fournies par la campagne END. On aborde successivement, par exemple :

- le passage de la mesure à l'évaluation : problèmes d'échantillonnage et de représentativité, influence des bruits de mesure, résolution de problèmes inverses,

- les aptitudes des différentes techniques aux différents types d'investigation. Des tableaux synthétiques sont proposés qui établissent quels types de propriétés/défauts peuvent être détectés – localisés – quantifiés par chaque technique. Le degré de pertinence des techniques est commenté à la lumière des besoins exprimés, comme nous l'avons décrit ci-dessus,
- la complémentarité des méthodes END, illustrée sur trois exemples : détection et localisation des armatures, gaines de précontrainte et développement de la corrosion,
- la contribution des essais de laboratoire et des études sur prototypes, et celle des essais semi-destructifs,
- le couplage avec le suivi et la surveillance des ouvrages,
- la possibilité, encore une fois illustrée par des exemples, d'utiliser l'ensemble de ces résultats dans une stratégie efficace de gestion de patrimoine,
- le recalcul des structures, y compris au moyen de modèles numériques sophistiqués, visant à s'assurer du degré de sûreté des ouvrages.

9. CONCLUSIONS : DE L'ÉVALUATION DES OUVRAGES À LEUR GESTION

L'écriture de l'ouvrage AFGC-COFREND « Evaluation non destructive des structures en Béton Armé » a été l'occasion de regrouper autour d'un objectif commun un grand nombre de personnes impliquées dans cette thématique : des chercheurs à des maîtres d'ouvrages en passant par des prestataires d'END.

On montre que de nombreux moyens d'essais non destructifs des structures en béton existent. Une notation, dont tous les critères d'attribution sont exposés aux lecteurs, permet de comparer les méthodes en ce qui concerne leur **convivialité** d'utilisation, leur **reproductibilité**, leur **pertinence** et leur **disponibilité**. Néanmoins, il faut s'attendre à ce que l'avenir nous réserve de nombreux développements et perfectionnements des END du béton. Certaines méthodes vont voir leur domaine d'application s'étendre, d'autres leur disponibilité s'accroître. Parallèlement, d'autres, enfin, pourront être supplantées par de nouvelles méthodes plus performantes, de mise en œuvre plus aisée ou plus rentables économiquement et disparaître. Il nous semble que la mise à disposition des critères d'attribution des notes globales, à notre connaissance assez originale dans ce type d'ouvrage, offrira aux lecteurs le recul nécessaire à leur utilisation. Le lecteur pourra d'ailleurs se référer aux chapitres de l'ouvrage qui traitent in extenso des méthodes et à ceux qui abordent la complémentarité des méthodes pour élargir davantage encore ses connaissances.

N'oublions pas cependant que l'évaluation des ouvrages, objectif essentiel, ne découle qu'indirectement de l'emploi des techniques END. Une gestion efficace des ouvrages et des parcs d'ouvrages requiert que les différents acteurs impliqués dans l'ensemble de la chaîne (acquisition des informations, traduction et valorisation de ces informations, décision) parlent un même langage et poursuivent les mêmes objectifs. Ce n'est pas toujours le cas :

- les acteurs de l'auscultation, de l'instrumentation (chercheurs ou praticiens) souhaitent **disposer de techniques efficaces** pour détecter, qualifier et quantifier l'état des matériaux et leurs défauts.
- l'expert, en appui technique du maître d'ouvrage, qui doit définir les stratégies d'instrumentation et d'auscultation d'une part et fournir un diagnostic d'autre part, souhaite disposer de données et de procédures efficaces pour **établir un diagnostic fiable de l'ouvrage**.
- le maître d'ouvrage doit s'assurer que l'ouvrage remplit ses fonctions au meilleur coût, dans le cadre d'exploitation prévu. Il souhaite disposer d'éléments fiables lui permettant de prendre des décisions relatives à l'entretien et à la maintenance, voire au renforcement de l'ouvrage.

Les premiers sont dans une logique de **MESURE**, les seconds dans une logique d'**ÉVALUATION**, les troisièmes dans une logique de **DÉCISION**. La mesure et l'évaluation devraient plutôt être perçues dans une logique utilitariste en termes de gestion de patrimoine : elles sont d'autant plus utiles qu'elles permettent d'être efficace dans la logique de gestion (réduction des incertitudes sur les décisions, réduction des coûts, réduction des risques...). Ce constat n'est pas incompatible avec l'identification d'enjeux scientifiques portant par exemple sur le développement de techniques, de procédures d'acquisition, de formalisation et d'exploitation des données.

Le besoin de développements scientifiques et/ou technologiques plus particuliers, qu'ils portent sur certaines techniques ou pour résoudre certains types de questions (qui dépendront du maître d'ouvrage, de la nature du parc, des matériaux et des pathologies rencontrées), peut parfaitement s'inscrire dans ce schéma général. On peut alors imaginer quelques pistes d'actions pour des projets coopératifs de recherche finalisée :

- le **développement de techniques et procédures pour obtenir des données relatives à l'état** (sur des questions identifiées comme essentielles) **ou aux performances** de l'ouvrage,
- le **développement de techniques et procédures pour résoudre les problèmes d'échelle** : comment passer de données « matériaux » locales et disparates à une évaluation globale des performances de l'ouvrage ? comment estimer l'évolution de ces performances au cours de la période de service de l'ouvrage ?
- le **développement de modèles génériques de gestion/maintenance intégrée** pour :
 - planifier et justifier les opérations de maintenance, dans une logique d'optimisation coûts/performances,
 - justifier les procédures d'instrumentation, surveillance, auscultation en quantifiant leurs apports opérationnels en terme de réduction des incertitudes dans les processus de décision ou de réduction des coûts globaux.

10. REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier sincèrement l'ensemble des experts qui ont contribué par leurs idées et leur travail régulier à l'avancement du Groupe de Travail. Que C. Abdunur, E. Antczak, J.P. Balayssac, O. Bernard, S. Bonnet, F. Buyle-Bodin, J.M. Caussignac, B. Chau, J.L. Chazelas, B. Collin, C. Constantopoulos, Ph. Côte, D. Defer, X. Derobert, E. Dondonne, B. Fargeot, D. François, J.L. Garciaz, V. Garnier, B. Godart, C. Hugot, L. Laguerre, J.F. Lataste, S. Laurens, D. Marlot, C. Oglaza, G. Olivier, O. Paris, R. Poquet, P. Roenelle, C. Sirieix, F. Taillade et quelques autres dont la liste serait trop longue mais qui nous ont aidé soient donc ici remerciés.

11. RÉFÉRENCES

L'ouvrage « *Méthodologie d'évaluation non destructive de l'état d'altération des ouvrages en béton* », édité par les Presses des Ponts et Chaussées, présente un grand nombre de références scientifiques que nous n'avons pas, volontairement, insérées ici.