

Cahier interactif auscultation / diagnostic

Club Ouvrages d'Art Hauts-de-France
Webinaire - 22 septembre 2020

Renaud Léglise, Laurent Labourie

Cahier interactif auscultation / diagnostic

Initialement, le cahier interactif auscultation était composé d'une centaine de fiches relatives à des *méthodes d'auscultation*.



A. Méthodes d'auscultation sur prélèvements

1. Béton
2. Métal
3. Maçonnerie

B. Méthodes d'auscultation du matériau en place

1. par type de matériau (béton, béton armé, acier, bois)
2. par éléments de structure et de protection (câbles, chapes d'étanchéité, peintures)

C. Méthodes d'auscultation de la structure.

1. reconnaissance de la géométrie,
2. types de mesure (déformations générales et mouvements, **forces***, mesures locales de fonctionnement)
3. essais (essais statiques de chargement, essais dynamiques)
4. auscultations de fondation.

Cahier interactif auscultation / diagnostic

Depuis, le cahier interactif a été notablement enrichi, avec l'ajout de nouvelles fiches sur les *méthodes d'auscultation* et la création de fiches sur les *méthodologies de diagnostic*.

Nouvelles fiches sur les méthodes d'auscultation :

Fiche A1-9 : Ouverture / Fermeture d'une fenêtre

Cette fiche a pour objectif de décrire précisément les modalités d'ouverture et de fermeture de fenêtres dans des ouvrages en béton armé et en béton précontraint afin d'atteindre les armatures internes passives et actives en vue de les examiner, de réaliser des mesures ou de faire des prélèvements pour analyses et essais.

[Lire la fiche](#)

Béton (série A1)

Fiche A2-2 : Prélèvement d'acier plat

Cette fiche décrit les modalités de prélèvement d'échantillons en acier sur une structure métallique à des fins de réalisation d'essais, d'analyses ou d'expertise en laboratoire ainsi que les observations à faire *in-situ*.

[Lire la fiche](#)

Acier (série A2)

Fiche A2-3 : Prélèvement d'armatures en acier

Cette fiche décrit la façon dont on prélève une armature de béton armé ou de béton précontraint à des fins d'essais d'analyses ou d'expertise en laboratoire ainsi que les observations à faire *in-situ*.

Cahier interactif auscultation / diagnostic

Nouvelles fiches sur les méthodes d'auscultation :

Fiche B1-7 : Mesure de la cohésion superficielle du béton

Cette fiche a pour objectif de s'assurer qu'une surface de béton présente les qualités minimales requises pour supporter une réparation, un renforcement, un collage ou une protection, à l'aide d'un essai de traction directe exercé sur une pastille collée à la surface de ce béton.

[Lire la fiche](#)

Fiche B1-8 : Mesure de la résistivité du béton

Cette fiche a pour objectif de décrire les principes permettant la mesure de la résistivité du béton en surface, afin de pouvoir évaluer la teneur en eau moyenne ou le degré de saturation moyen (après calibration préalable sur carottes prélevées dans le béton) ou pour estimer des profils de teneur en eau ou de degré de saturation (en cours de développement).

[Lire la fiche](#)

Fiche B1-9 : Estimation de la teneur en eau par radar

Cette fiche décrit la méthodologie Radar reposant sur la mesure d'un signal directement transmis d'une antenne émettrice vers une antenne réceptrice afin de connaître la teneur en eau du béton au niveau de la peau (dans les 5 à 10 premiers centimètres), moyennant une phase de calibration permettant de relier la vitesse des ondes radar (ou la permittivité relative) à une teneur en eau.

Béton (série B1)

Cahier interactif auscultation / diagnostic

Nouvelles fiches sur les méthodes d'auscultation :

Fiche B1-10 : Emission acoustique

Cette fiche décrit la façon de détecter des endommagements dans les structures en béton par la détection des bruits émis lors de « micro-endommagements » : fissurations du béton, frottements internes, endommagement d'interfaces (armatures / béton par exemple).

L'émission acoustique (EA) repose sur le phénomène de création d'ondes élastiques transitoires dues à des micro-déplacements locaux au sein d'un matériau dans un domaine de fréquence compris entre 20 et 1000 kHz. Ces ondes émises par le matériau sont détectées par l'intermédiaire de capteurs puis analysées : l'utilisation de plusieurs capteurs permet de localiser les événements acoustiques.

[Lire la fiche](#)

Fiche B1-11 : Pulse-écho et tomographie ultrasonore

Cette fiche décrit deux méthodes basées sur la propagation d'ondes ultrasonores de volume de compression (onde P) ou de cisaillement (onde S) et leurs réflexions sur des interfaces de fort contraste comme l'interface entre le béton et l'air ou celui entre le béton et l'acier. Ces deux méthodes sont utilisées dans deux cas différents : la recherche de géométrie, de vides, de délaminages quasi-parallèles au parement, de gaines de précontrainte et de vides d'injection significatifs dans ces dernières, ... en supposant les caractéristiques du béton homogène (cas 1) et l'évaluation du module du béton en connaissant l'épaisseur de la pièce (cas 2).

Béton (série B1)

Cahier interactif auscultation / diagnostic

Nouvelles fiches sur les méthodes d'auscultation :

Fiche B2-8 : Mesure de la profondeur de pénétration des chlorures par colorimétries (nitrate d'argent)

Cette fiche a pour objectif d'évaluer la profondeur de pénétration des chlorures d'un parement en béton à partir de mesures effectuées en laboratoire sur des carottes prélevées dans des structures en béton à l'aide d'un indicateur coloré : le nitrate d'argent.

Béton armé (série B2)

Fiche B3-7 : Techniques et méthodes d'analyse métallographique *in situ*

Cette fiche a pour objectif de caractériser en surface la microstructure d'un métal, d'une soudure, d'un revêtement métallique, de produits de corrosion, sans prélèvement de matière, sur la base d'une réplique métallographique éventuellement complétée par une analyse de dureté.

Acier (série B3)

Fiche B5-6 : Détection de défauts de section dans les câbles de précontrainte extérieure par auscultation magnétique

Cette fiche a pour objectif de détecter et quantifier les défauts de section des fils de torons composant les câbles de précontrainte extérieure à l'aide d'un appareil qui entoure complètement le câble et qui est constitué d'un capteur de champ magnétique et d'un système à aimant permanent générant un champ magnétique au sein du câble de précontrainte.

Câbles (série B5)

Mai 2020

Cahier interactif auscultation / diagnostic

Nouvelles fiches sur les méthodes d'auscultation :

Fiche B6-3 : Observations et essais en place, par le biais de fenêtres, de chape, de chaussée, de renformis

Cette fiche a pour objectif de décrire comment réaliser des fenêtres dans les chaussées pour obtenir des informations qualitatives sur la nature et l'état des différentes couches et pour procéder à des prélèvements afin d'évaluer l'état de l'étanchéité dans le cadre d'un diagnostic ou dans la perspective de travaux d'entretien ou de réparation.

Chapes d'étanchéité (série B6)

Cahier interactif auscultation / diagnostic

Méthodologies de diagnostic

(non existantes lors de la diffusion initiale du cahier)

Classement des méthodologies de diagnostic

Les méthodologies de diagnostic sont classées en deux grandes catégories :

- Diagnostic de l'état des matériaux (série D)
- Diagnostic structurel (série E)

Etat des matériaux (série D)

Les méthodologies de diagnostic sont classées selon le type de matériau ausculté y compris les matériaux qui entrent dans les éléments de protection : [Béton \(D1\)](#), Acier (D2), Maçonnerie (D3), [Bois \(D4\)](#), [Eléments de protection \(D5\)](#).

Structure (série E)

Les méthodologies de diagnostic sont classées selon le type de structures auscultées (ouvrages en béton, en acier, en maçonnerie ou à câbles), la première classe E1 étant dédiée aux méthodologies qui s'appliquent à l'ensemble des structures et la classe E6 traitant des ouvrages de soutènements et des fondations : Problèmes Génériques (E1), [Ouvrages en béton \(E2\)](#), [Ouvrages métalliques et mixtes \(E3\)](#), Ouvrages en maçonnerie (E4), Ouvrages à câbles (E5), [Fondations et ouvrages de soutènement \(E6\)](#).

Cahier interactif auscultation / diagnostic

Les méthodologies de diagnostic

Etat des matériaux (série D)

Béton (série D1)

Fiche D1-1 : Diagnostic de corrosion du béton armé

Cette fiche a pour objectif de présenter la façon de conduire un diagnostic de corrosion. Selon qu'aucun désordre n'est apparent sur l'ouvrage, que des symptômes de corrosion sont perceptibles ou que la corrosion est évidente, elle précise les interventions à mener sur ouvrage en fonction de la prévision du développement de la corrosion.

[Lire la fiche](#)

[Accéder au logigramme](#)

Fiche D1-2 : Diagnostic de la gélivité d'un béton

Cette fiche a pour objectif de diagnostiquer si un béton de structure est affecté par le gel interne ou par l'écaillage. Après une identification sur site des conditions locales d'environnement et de salage ainsi que des symptômes pouvant suggérer l'existence d'une dégradation des ouvrages par le gel, une vérification de la gélivité du béton est effectuée à l'aide de prélèvements d'échantillons de béton sur lesquels sont réalisés des essais de performance adaptés.

[Lire la fiche](#)

[Accéder au logigramme](#)

Fiche D1-3 : Diagnostic d'une réaction de gonflement interne du béton

Cette fiche a pour objectif de diagnostiquer si une structure en béton est atteinte d'une alcali-réaction, d'une réaction sulfatique interne par formation différée d'ettringite ou d'une combinaison de ces deux réactions. Le diagnostic est basé sur un suivi de la fissuration et/ou des déformations de la structure, des prélèvements de carottes de béton pour analyses minéralogiques et pétrographiques en laboratoire. Un pronostic de l'évolution des désordres peut également être effectué à partir d'essais d'expansion résiduelle adaptés et d'une modélisation spécifique.

[Lire la fiche](#)

[Accéder au logigramme](#)

Fiche D1-4 : Diagnostic d'un béton dégradé par incendie

Cette fiche traite majoritairement du diagnostic du béton incendié mais aborde également celui des aciers passifs et actifs présents au sein du béton. La recherche des températures atteintes dans le béton est primordiale pour pouvoir évaluer celles auxquelles les aciers ont été exposés de façon à pouvoir estimer leur état de dégradation et la résistance structurale de l'ouvrage après incendie. La méthodologie indique comment caractériser l'étendue des surfaces de béton atteintes, la profondeur d'endommagement et les caractéristiques mécaniques résiduelles, et mentionne qu'une analyse structurale peut être réalisée afin de vérifier la capacité portante de l'ouvrage incendié en tenant compte de l'ensemble des résultats des investigations.

[Lire la fiche](#)

[Accéder au logigramme](#)

Fiche D1-7 : Evaluation de la résistance du béton in situ

Cette fiche a pour objectif d'estimer la résistance du béton dans une structure existante. La méthodologie d'évaluation de la résistance en compression du béton sur site est fortement inspirée du complément national de la norme NF EN 13791/CN. Cette évaluation repose soit sur des résultats d'essais de compression effectués sur des carottes prélevées dans l'ouvrage, soit sur des résultats de méthodes d'auscultation non destructives (scléromètre et auscultation sonique) après étalonnage sur carottes testées en compression.

[Lire la fiche](#)

[Accéder au logigramme](#)

Cahier interactif auscultation / diagnostic

Les méthodologies de diagnostic

Acier (série D2)

Maçonnerie (série D3)

Bientôt

Les fiches seront bientôt en ligne !

Cahier interactif auscultation / diagnostic

Les méthodologies de diagnostic

Bois (série D4)

Fiche D4-1 : Diagnostic de la pérennité du bois

Cette fiche a pour objectif de déterminer l'origine des attaques identifiées du bois lors des inspections détaillées et de caractériser l'ampleur des phénomènes en classant les bois exposés en quatre catégories : bois sain et bois présentant une attaque de champignon lignivore, une attaque d'insectes à larves xylophages ou une attaque par des termites. Elle indique les auscultations à réaliser, notamment lorsque les inspections sur site ne sont pas suffisantes pour qualifier le bois mis en œuvre dans l'ouvrage ou quantifier les conséquences des désordres. La présente fiche est limitée au diagnostic de l'état en place du matériau bois et ne couvre pas les pathologies structurelles.

[Lire la fiche](#)

[Accéder au logigramme](#)

Cahier interactif auscultation / diagnostic

Les méthodologies de diagnostic

Éléments de protection (série D5)

Fiche D5-1 : Diagnostic de l'étanchéité

Cette fiche a pour objectif d'expliquer l'origine des anomalies constatées en matière de chape d'étanchéité mise en œuvre sur les tabliers de ponts, de définir l'étendue de la défaillance (défauts généralisés, dispersés ou localisés), d'émettre un pronostic sur l'évolution possible des dégradations, et de proposer des solutions de traitement (réfection localisée ou généralisée, type de réparation). Le diagnostic de l'étanchéité est conduit de façon progressive en privilégiant dans un premier temps des actions simples et non destructives puis, dans un second temps, des techniques d'investigations plus sophistiquées voire destructives si nécessaire.

[Lire la fiche](#)

[Accéder au logigramme](#)

Fiche D5-2 : Diagnostic de la protection anticorrosion par peinture d'un ouvrage métallique existant

Cette fiche précise l'ensemble de la démarche de l'expert pour réaliser le diagnostic de la protection anticorrosion par peinture de structures métalliques de génie civil en fer, fonte ou acier non allié. Au préalable, dans le cadre d'une démarche d'analyse des risques, il faut identifier les produits toxiques (amiante, plomb, métaux lourds, benzo(a)pyrène, etc.) auxquels les opérateurs sont susceptibles d'être exposés lors de la réalisation du diagnostic. Puis la nature des systèmes de protection en place est déterminée après vérification des données relatives aux peintures collectées dans les archives. Enfin on évalue le besoin de travaux d'entretien de la protection anticorrosion ainsi que l'importance de la répartition uniforme ou localisée des altérations du revêtement par peinture pour envisager la consistance des travaux et le type de préparation de surface (décapage primaire ou secondaire).

[Lire la fiche](#)

[Accéder au logigramme](#)

Cahier interactif auscultation / diagnostic

Les méthodologies de diagnostic

Structure (série E)

Ouvrages en béton (série E2)

Fiche E-2-1 : Détection et localisation d'armatures passives ou actives dans le béton

La présente méthodologie est utilisée pour repérer les armatures internes dans les structures en béton afin de répondre aux 7 objectifs suivants : Déterminer si un élément est en béton non armé, en béton armé ou en béton précontraint, éviter d'endommager des armatures lors de travaux, reconstituer un ferrailage ou un câblage, positionner des clichés gammagraphiques, réaliser des fenêtres pour examiner l'état d'armatures de post-tension, réaliser des fenêtres pour examiner l'état d'armatures passives ou de pré-tension, et réaliser des mesures d'enrobage ou électro-chimiques.

[Lire la fiche](#)

[Accéder au logigramme](#)

Fiche E-2-3 : Analyse du fonctionnement en flexion d'une section de pont en béton armé ou précontraint

L'objet de la présente fiche est de résumer les principes du fonctionnement d'une section en béton armé ou précontraint et de rappeler les différentes investigations (analyse du dossier d'ouvrage, inspections, instrumentations, auscultations, recalculs...) pouvant être envisagées afin d'analyser le comportement d'une section de pont en béton armé ou précontraint qui peut être fissurée ou non, ou plus globalement, d'un pont pathologique. Cette analyse repose sur une évaluation par le calcul du fonctionnement de la section, croisée avec les résultats d'une instrumentation et le cas échéant avec une auscultation des aciers passifs ou actifs et de leur interface avec le béton.

[Lire la fiche](#)

[Accéder au logigramme](#)

Fiche E-2-4 : Diagnostic de la précontrainte extérieure protégée par du coulis de ciment au contact des armatures

Cette fiche a pour objectif de présenter la méthodologie à suivre pour conduire un diagnostic de l'état des câbles de précontrainte extérieure placés dans des conduits en PEHD (Polyéthylène à Haute Densité) et injectés au coulis de ciment en contact direct avec les armatures. Selon qu'il y a absence de défauts visuels, mise en évidence de défauts d'injection significatifs ou de défauts d'étanchéité des conduits, mise en évidence de défauts graves pouvant correspondre à une rupture d'armatures ou constat de rupture de câble, elle oriente vers les méthodes d'auscultation à appliquer en relation avec les interventions sur ouvrages pour évaluer le risque de corrosion des câbles.

[Lire la fiche](#)

[Accéder au logigramme](#)

Fiche E-2-5 : Évaluation de la tension dans une armature de précontrainte

Cette fiche a pour objectif de guider vers le choix des méthodes d'auscultation existantes afin d'évaluer la tension résiduelle d'une armature de précontrainte (fil, toron, câble). Ce choix est principalement fonction du type de précontrainte (intérieure ou extérieure), de la nature de l'armature de précontrainte, de son type d'injection (coulis ou produit souple) et de l'accessibilité à l'ancrage.

[Lire la fiche](#)

[Accéder au logigramme](#)

Cahier interactif auscultation / diagnostic

Les méthodologies de diagnostic

Ouvrages en béton (série E2)

Fiche E-2-6 : Evaluation du déficit en flexion d'un pont fissuré en béton précontraint

Cette fiche décrit la méthode des moments de décompression qui a pour objectif d'évaluer la réserve ou le déficit de moment fléchissant qui existe dans les ponts hyperstatiques en béton précontraint qui présentent des ouvertures de joints préférentiellement situées dans les zones dites de « moment nul » de la travée centrale dans le cas des ponts à trois travées. Cette méthode a souvent été employée pour aider au dimensionnement de la précontrainte additionnelle mise en oeuvre dans les ponts-caissons en béton précontraint construits par encorbellements successifs avant 1975 et présentant des insuffisances de résistance en flexion.

[Lire la fiche](#)

[Accéder au logigramme](#)

Fiche E-2-7 : Diagnostic des VIPP

Cette fiche décrit la méthodologie de diagnostic des viaducs indépendants à poutres précontrainte par post-tension (VIPP). Elle consiste à faire une analyse préliminaire de l'aléa, à détecter des indices de défauts d'intégrité des armatures de précontrainte, puis à estimer l'état de la précontrainte par des méthodes spécifiques d'investigation et d'auscultation, et à évaluer l'aptitude au service de l'ouvrage sur la base de 3 niveaux N1 à N3 qui sont respectivement : l'évaluation de la qualité d'injection des conduits de précontrainte (par gammagraphie, radiographie ou radioscopie), l'évaluation qualitative de la précontrainte (par ouverture de fenêtre voire prélèvement) et l'évaluation de la capacité portante résiduelle par recalcul (hypothèses établies à partir d'essais locaux et globaux).

[Lire la fiche](#)

[Accéder au logigramme](#)

Cahier interactif auscultation / diagnostic

Les méthodologies de diagnostic

Fiche E-3-1 : Analyse du fonctionnement d'une section de pont mixte acier-béton

Cette fiche a pour objectif d'évaluer l'aptitude au fonctionnement mixte d'une structure existante afin d'apprécier la déficience de la connexion en particulier aux abouts des plots de hourdis, ou d'évaluer le fonctionnement mixte sous moment positif ou négatif, ou bien d'évaluer le comportement réel de la structure. Cette analyse repose sur une évaluation par le calcul du fonctionnement des sections, croisée avec les résultats d'une instrumentation et le cas échéant sur une auscultation de l'état de la connexion.

[Lire la fiche](#)

[Accéder au logigramme](#)

Fiche E-3-2 : Evaluation de la durée de vie en fatigue d'une structure métallique

Cette fiche a pour objectif d'évaluer la durée de vie résiduelle d'un ouvrage métallique existant vis-à-vis de la fatigue en identifiant les assemblages les plus sollicités, en recherchant la présence de fissures liées à la fatigue, en caractérisant les sollicitations (trafic, vent...) pouvant générer de la fatigue, puis en instrumentant les zones jugées les plus critiques de l'ouvrage pour connaître les sollicitations qu'elle subissent, et enfin en conduisant un calcul d'endommagement en fatigue selon deux approches possibles (approche S-N et mécanique linéaire de la rupture).

[Lire la fiche](#)

[Accéder au logigramme](#)

Fiche E-3-3 : Analyse du fonctionnement des assemblages d'une structure métallique

Cette fiche a pour objectif de détecter des éventuels défauts liés à une déficience des assemblages d'une structure métallique (jeux, fissures, déformations, ruptures, etc.), de réaliser un recalcul de l'ouvrage en ciblant notamment le fonctionnement des assemblages les plus sollicités ou les plus dégradés et en étudiant l'influence d'une déficience de ces assemblages sur le fonctionnement global de la structure, puis d'ausculter et/ou d'instrumenter ces assemblages sélectionnés afin de caractériser leur fonctionnement et les conséquences sur le fonctionnement global de la structure, et enfin de confronter les résultats de l'analyse théorique préalable et ceux des auscultations et instrumentations in-situ pour statuer sur l'aptitude au service de l'ouvrage.

Ouvrages métalliques et mixtes (série E3)

Cahier interactif auscultation / diagnostic

Les méthodologies de diagnostic

Ouvrages en maçonnerie (série E4)

Ouvrages à câbles (série E5)

Bientôt

Les fiches seront bientôt en ligne !

Cahier interactif auscultation / diagnostic

Les méthodologies de diagnostic

Fondations et ouvrages de soutènements
(série E6)

Fiche E-6-1 : Diagnostic des pathologies de fondations profondes en béton armé

Cette fiche a pour objectif de définir la méthodologie à appliquer pour effectuer le diagnostic de fondations profondes en béton armé d'un ouvrage pathologique. La fiche décrit « l'expression » des différentes pathologies des fondations sur le comportement de l'ouvrage, le recueil des données (analyse du dossier), les investigations complémentaires à effectuer (auscultations) et le suivi dans le temps. La fiche s'intéresse également aux objectifs à fixer pour les vérifications et propose une méthode de validation des modèles de calculs basée sur l'analyse des sollicitations et des déplacements.

[Lire la fiche](#)

[Accéder au logigramme](#)

Fiche E-6-2 : Diagnostic des murs en remblai renforcé par éléments métalliques atteints de corrosion

Cette fiche a pour objectif de définir la méthodologie à appliquer pour effectuer le diagnostic de murs en remblai renforcé par éléments métalliques qui sont atteints de corrosion. Celle-ci commence par une analyse du dossier de l'ouvrage qui doit permettre de connaître le type d'armature de renforcement de l'ouvrage et ses caractéristiques mécaniques, ainsi que l'éventuelle vulnérabilité du mur. Puis elle se poursuit par une inspection détaillée du mur et se termine par les auscultations à réaliser selon un processus qui est fonction de l'analyse des pertes d'épaisseur d'acier mesurées sur les faces des armatures.



DIAGNOSTIC DE CORROSION DU BÉTON ARMÉ

MÉTHODOLOGIE DU DIAGNOSTIC	
<p>ÉTAPE 1 ANALYSE DU DOSSIER DE L'OUVRAGE</p>	<p>On identifiera dans le dossier de l'ouvrage tous les éléments utiles au diagnostic :</p> <ul style="list-style-type: none"> – formulation du béton (nature et dosage du ciment, rapport E/C, nature et dosage des additions, etc.) ; – nature, diamètre et position des aciers ; – enrobage des aciers ; – classes d'exposition des parties d'ouvrages ; – fréquence de salage et nature des fondants utilisés ; – traitement des parements ; – durée de la cure.
<p>ÉTAPE 2 INSPECTION DÉTAILLÉE</p>	<p>Cette étape a pour objectif de repérer les désordres susceptibles d'indiquer une corrosion des armatures comme :</p> <ul style="list-style-type: none"> – des gonflements ; – des zones sonnant le creux ; – des fissures le long des aciers ; – des traces d'oxydation ; – des épaufrures du béton ; – des éclatements de béton avec armatures apparentes et oxydées. <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>Fissures le long des aciers (Ifsttar)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Traces d'oxydation (Ifsttar)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Armatures apparentes et oxydées (Ifsttar)</p> </div> </div> <p>Même en l'absence de tels défauts visuels ou sonores, l'ouvrage pourra faire l'objet d'une auscultation visant à déterminer le risque de corrosion des armatures (mesures de l'épaisseur d'enrobage, de la profondeur de carbonatation, de la teneur en chlorures, de la résistivité, de la perméabilité de surface). Ce type d'auscultation entre dans la démarche des « inspections ciblées » qui vise à avoir une approche préventive pour anticiper l'apparition de désordres dus à la corrosion.</p> <p>Ce type d'auscultation entre également dans le cadre de l'approche performantielle de la durabilité des ouvrages d'art [7] qui implique un suivi de l'ouvrage par la mesure des témoins de durabilité (profondeur de carbonatation, profil de teneur en CaCO₃, profondeur de pénétration des chlorures, profil de teneur en chlorure, etc.).</p> <p>Si ces défauts sont décelés, il est impératif de procéder à une auscultation plus approfondie de l'ouvrage.</p> <p>Concernant le diagnostic des armatures, la mesure du potentiel d'électrodes permet d'évaluer leur état d'enrouillement, et la mesure de la vitesse de corrosion permet d'estimer une vitesse de corrosion instantanée [8].</p>

En ce qui concerne le béton, plusieurs essais complémentaires permettent d'établir un diagnostic :

- [la mesure de l'épaisseur d'enrobage des armatures](#) ;
- [la mesure de la profondeur de carbonatation](#) permet d'évaluer le risque de corrosion lié à l'abaissement du pH du béton ;
- [la mesure de la teneur et du gradient de chlorures](#) permet d'évaluer le risque de corrosion lié à la pénétration de chlorures ;
- [la mesure de la résistivité](#) du béton en surface du parement qui est fonction de l'humidité et de la salinité, indique un risque de corrosion des armatures ;
- [la mesure de la perméabilité de surface](#) du béton détermine l'aptitude du parement aux échanges hydriques et gazeux avec le milieu ambiant, c'est à dire la possibilité de pénétration des agents agressifs (dont CO_2 et Cl^-).

Les mesures de perméabilité de surface sont à considérer comme des mesures accompagnatrices d'un diagnostic ou comme des mesures destinées à fournir des paramètres aux modèles employés pour établir le diagnostic ou le pronostic. Dans notre approche du problème, nous les laisserons de côté.

Examinons à présent les 3 cas possibles qui se présentent face à un ouvrage [9].

Cas 1 - Il n'y a aucun désordre apparent (zones saines ou apparemment saines)

S'il n'y a pas de raison de suspecter de la corrosion, on peut ne rien faire et laisser la structure continuer sa vie. Mais si l'on souhaite bien gérer ses ouvrages, alors il est important de connaître les réserves d'alcalinité ou de temps d'attaque par les chlorures, de façon à pouvoir appliquer une politique préventive généralement moins coûteuse qu'une politique curative.

C'est pourquoi il est recommandé de faire des [mesure d'épaisseur d'enrobage](#), de [profondeur de carbonatation](#) et de [teneur en chlorures](#).

Avec ces mesures et avec les modèles vus précédemment on peut évaluer le temps t qui reste pour atteindre une dépassivation des aciers par la carbonatation et/ou par les chlorures :

- Si $t \leq 1$ an, il convient tout d'abord de vérifier l'état des armatures par des percements, des [mesure de potentiel](#), de [résistivités](#), et de [vitesses de corrosion](#). Selon les résultats, 2 traitements sont alors possibles : si la corrosion n'est pas détectée, il convient d'envisager une intervention à court terme pour éliminer le risque de corrosion des armatures ; si la corrosion est avérée, une intervention rapide est nécessaire afin de stopper ou de ralentir la corrosion et d'éliminer sa (ou ses) cause(s).
- Si $1 \text{ an} < t \leq 5$ ans, il convient de planifier la protection dans les années qui viennent.
- Si $t > 5$ ans, on a le temps de réagir, et l'on propose de revenir faire des mesures dans 5 ans pour suivre l'avancée du front de carbonatation ou de chlorures. Si le béton est très compact, cet avancement peut être très lent et dans ce cas, on peut décider de refaire des mesures dans 10 ans.

Cas 2 - La corrosion est possible

Les signes extérieurs sont généralement des fissures, des gonflements ou des zones sonnant creux ; on cherche alors à diagnostiquer la présence ou l'absence de corrosion et pour cela on effectue des percements au droit des désordres, des [mesures de potentiel d'électrode](#), de [résistivité](#) et de [vitesse de corrosion](#) afin de déterminer si les armatures sont corrodées ou en cours de corrosion.

Si des signes de corrosion se révèlent lors de ces mesures, on cherche alors à déterminer les causes de la corrosion par des mesures d'épaisseur d'enrobage, de profondeur de carbonatation et de gradient de chlorures.

Cas 3 - La corrosion est visible et évidente

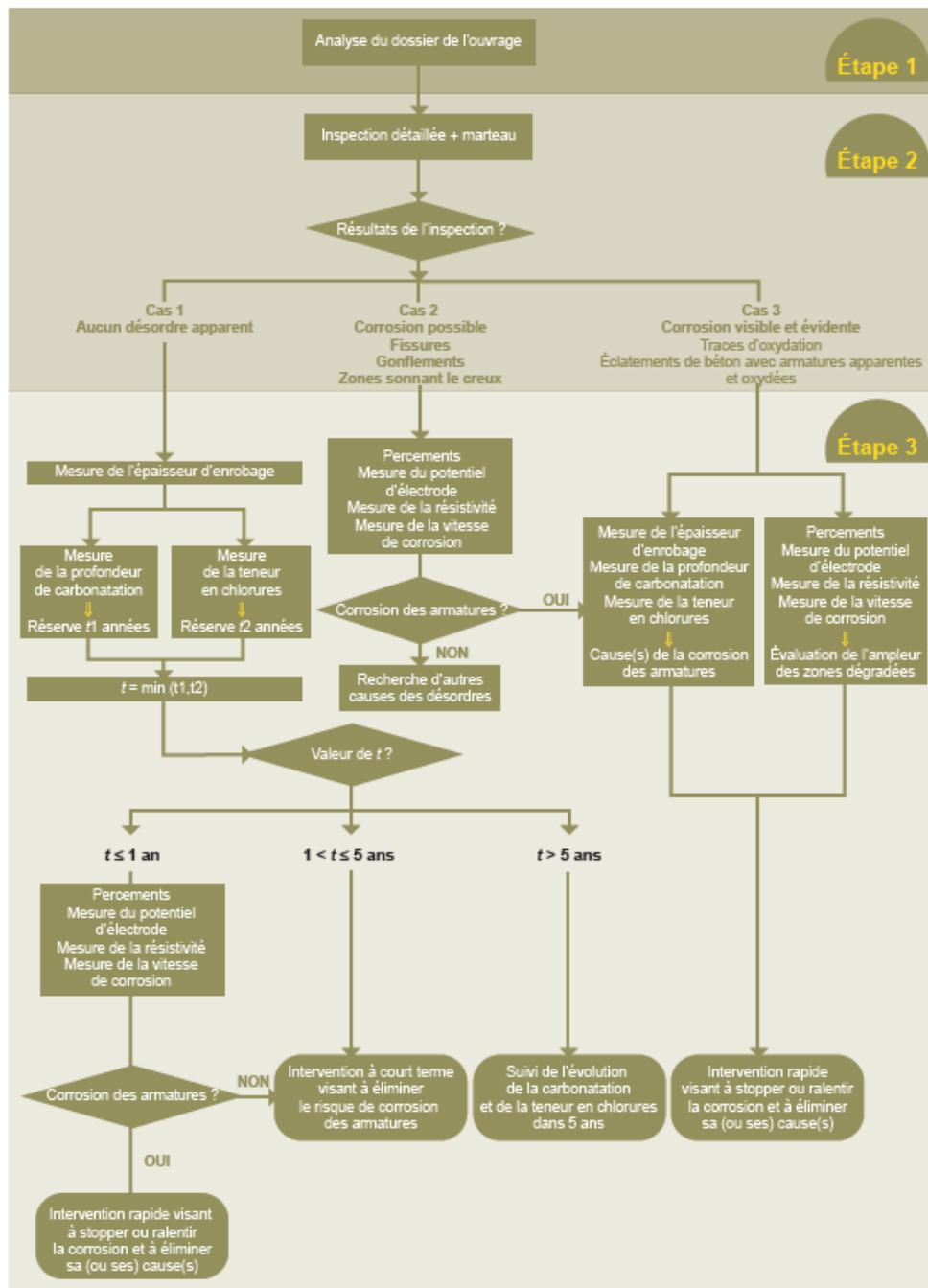
Les signes extérieurs sont des traces d'oxydation, des éclatements de béton avec armatures apparentes oxydées, jusqu'à des pertes partielles ou totales de section d'armatures.

On commence par mesurer [l'épaisseur d'enrobage des aciers](#). Cette mesure, associée aux mesures de la [profondeur de carbonatation](#) et de la [teneur en chlorures](#), permet de déterminer la ou les cause(s) de la corrosion des armatures.

L'ampleur (étendue) des zones dégradées est également évaluée en effectuant des percements, des [mesures du potentiel d'électrode](#), de [résistivité](#) et de [vitesse de corrosion](#) dans les zones apparemment saines de façon à savoir si la corrosion s'y est amorcée.

Selon les résultats trouvés, et après une application éventuelle de modèles pour pronostiquer la progression de la carbonatation et/ou des chlorures, on décide de traiter la structure de façon curative (enlèvement du béton carbonaté et/ou chloruré puis ragréage, méthodes électrochimiques, etc.) ou de façon préventive (revêtements de protection, protection cathodique, etc.) selon les zones.

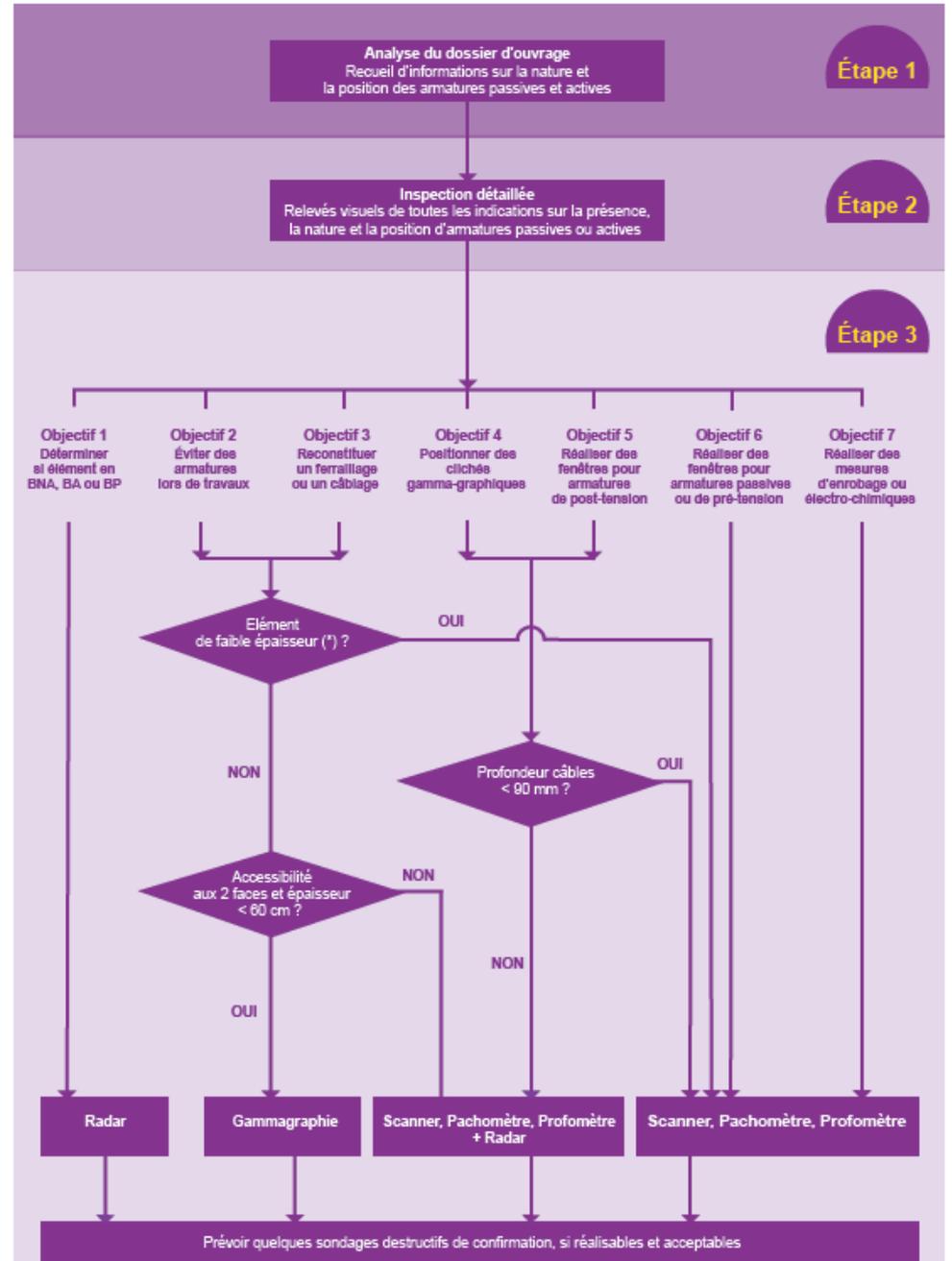
ÉTAPE 3
AUSCULTATION





DÉTECTION ET LOCALISATION D'ARMATURES
PASSIVES OU ACTIVES DANS LE BÉTON

E2-1



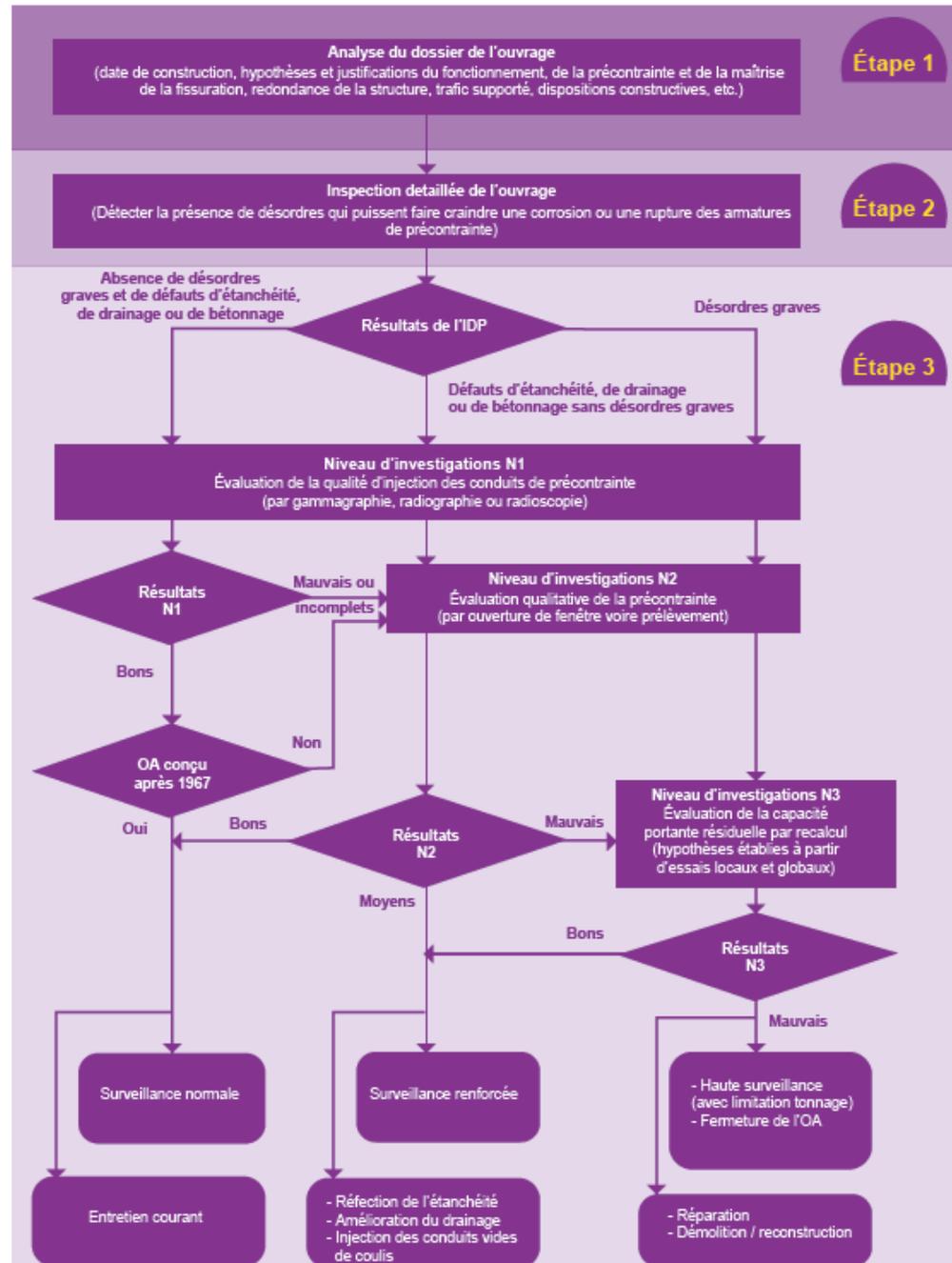
(*) Soit épaisseur < 10 cm, soit épaisseur < 20 cm si facilement accessible par les deux faces

DIAGNOSTIC STRUCTUREL
OUVRAGES EN BÉTON



DIAGNOSTIC DES VIPP

E2-7



Cahier interactif auscultation / diagnostic

Précautions d'usage !

Comment appliquer le cahier interactif dans le cadre de relations contractuelles ?

- Ce n'est pas un CCTP ni un cadre de BP
- Les **méthodes d'auscultation** ne sont pas toutes facilement disponibles, certaines sont exclusives (leur disponibilité fait l'objet d'une mention), elles ne s'appliquent pas dans tous les cas
- Des délais sont souvent requis pour assurer la disponibilité des matériels
- Souvent les méthodes de diagnostics doivent être imbriquées pour être applicables ; certaines actions sont redondantes entre les fiches d'auscultation...
- Dans le cadre de marché, il faut impérativement décomposer les auscultations en « **actions élémentaires** » (accès à l'ouvrage, application d'un procédé par parties d'ouvrage...)

Cahier interactif auscultation / diagnostic

Précautions d'usage !

Comment appliquer le Cahier Interactif :

- Les fiches « **méthodes de diagnostics** » sont utilisées en amont pour préparer le diagnostic et établir le programme de « diag »
- On ne peut pas contractualiser les « méthodes de diagnostic » car elles sont méthodologiques : c'est le programme qui doit être contractuel.
- On détermine alors les « **méthodes d'auscultation** » à appliquer
- On vérifie qu'elles sont applicables à l'ouvrage (en théorie et en pratique)
- On vérifie leur disponibilité auprès des laboratoires
- Un cadre de rémunération peut alors être déterminé (mais il n'existe pas de rédaction type à ce jour) ; les actions sont décomposées le cas échéant,
- Ne surtout pas faire une équivalence PU <> Fiche d'auscultation !