A1-2

ANALYSE MINÉRALOGIQUE COMPLÈTE DU BÉTON

PRINCIPE ET DESCRIPTION SOMMAIRE	
OBJECTIF	Expertiser à l'aide d'analyses physico-chimiques un échantillon de béton suspecté de présenter une pathologie ou dont la composition est à évaluer. L'analyse minéralogique détaillée permet : – de caractériser la compacité du béton ; – d'identifier la nature du liant et des granulats ; – de déterminer la formule simplifiée du béton (dosage en ciment, eau et granulats) ; – de déterminer la présence éventuelle de produits délétères à l'origine des désordres observés sur structure (gels d'alcali-réaction, ettringite différée, thaumasite, etc.).
PRINCIPE	L'analyse se base sur la réalisation des opérations et essais suivants : – sélection et sciage d'un échantillon de béton ; – mesure de la masse volumique apparente et de la porosité accessible à l'eau selon la méthode recommandée par l'AFPC-AFREM ; – broyage « ménagé » de l'échantillon sec à une granulométrie inférieure à 315 microns ; – mise en solution partielle de l'échantillon par une attaque à l'acide nitrique dilué au 1/50^{e} ; – analyses thermique différentielle et thermogravimétrique simultanées ; – détermination des espèces minérales présentes par diffractométrie des rayons X ; – examens de la microstructure au microscope électronique à balayage couplé à une sonde d'analyse en sélection d'énergie du spectre des rayons X émis. Les résultats de ces différentes investigations sont traités par itérations successives à l'aide d'un programme tel que « MINERAUX » de l'IFSTTAR pour calculer la composition minéralogique quantitative des matériaux selon le protocole décrit dans le rapport LPC n°83. Cette analyse peut éventuellement être complétée par des essais ou des mesures spécifiques, en fonction de la pathologie précise que l'on cherche à expertiser ; à titre d'exemple, dans le cas d'un béton suspecté d'alcali-réaction, l'analyse minéralogique peut être complétée par une détection des gels par l'essai de fluorescence à l'acétate d'uranyl.
CARACTÈRE DESTRUCTIF DE LA MÉTHODE	Destructif (en général, un échantillon de béton d'au minimum 80 mm de diamètre et de 200 mm de longueur suffit pour l'expertise)
MATURITÉ	Méthode d'analyse éprouvée depuis plus de 25 ans.
MATÉRIEL SPÉCIFIQUE EMPLOYÉ	Spectromètre d'émission atomique (ICP-AES). Spectromère d'absorption atomique. Matériel classique de dosage chimique. Appareil de titrage potentiométrique. Analyseur thermique simultané (de type NETZSCH STA 409 ou équivalent). Diffractomètre à rayons X (type PHILIPS PW 1830 ou équivalent). Microscope électronique à balayage (type PHILIPS XL 30 ou équivalent). Microsonde EDAX (DX 4i ou équivalent). Dispositif de mesure de la masse volumique et de la porosité accessible à l'eau d'un échantillon de béton. Scie à béton. Broyeur. Appareil de métallisation au carbone. Base de données de raies de diffraction des différents minéraux existants. Banque de données sur la composition des anciens ciments.

MATÉRIEL SPÉCIFIQUE EMPLOYÉ	 Spectrométre d'absorption atomique (IFSTTAR)  Microscope électronique à balayage (IFSTTAR)  Analyseur thermique (IFSTTAR)  spectrométrie par torche à plasma (IFSTTAR)
MODALITÉS D'APPLICATIONS	
DOMAINE D'APPLICATION	L'analyse minéralogique permet d'expertiser des bétons, des mortiers et des coulis, ainsi que des éléments de maçonnerie. Elle permet de détecter les substances délétères qui peuvent être présentes dans certains bétons malades comme les gels d'alcali-réaction, l'ettringite de formation différée, la thaumasite, etc. Elle permet de diagnostiquer des bétons incendiés.
SUJÉTIONS PRATIQUES D'INTERVENTION	Les échantillons reçus doivent être parfaitement identifiés et orientés par rapport à l'ouvrage échantillonné. De plus ils doivent être conservés sous plastique pour conserver l'humidité d'origine. À noter que dans le cas du diagnostic d'une réaction sulfatique interne, l'échantillon doit avoir été prélevé suffisamment à cœur de l'élément d'ouvrage pour atteindre la zone de plus grand échauffement.
LIMITES D'UTILISATION	Sans objet.
PRÉCISION ET/OU SENSIBILITÉ	Précision sur la teneur en ciment : +/- 10 %.
PERSONNEL ET COMPÉTENCES	Des spécialistes de chacune des techniques physico-chimiques employées. L'examen des échantillons au MEB nécessite un spécialiste de grande expérience, car la détection des substances délétères est difficile. Par ailleurs la détection de substances délétères n'implique pas automatiquement que le béton est pathologique car celles-ci peuvent exister en très faible quantité dans des bétons sains.
CARACTÉRISTIQUES OPÉRATOIRES	
ACCÈS À 1 OU 2 FACES	Accès à 1 face pour prélever une carotte
COUPURES OU RESTRICTIONS DE CIRCULATION NÉCESSAIRES	Non
RENDEMENT ET/OU ÉCHANTILLONNAGE	Pour un béton donné, 2 à 3 carottes sont recommandées, dont une dans une zone saine, etc.
DÉLAIS DE DISPONIBILITÉ DES RÉSULTATS	2 à 3 mois de délais sont nécessaires
PERTURBATIONS DU TRAFIC SUR LES MESURES	Aucune

PERTURBATIONS DE L'ENVIRONNEMENT SUR LES MESURES	Les conditions d'hygrométrie régnant dans le béton au moment du prélèvement de l'échantillon et les conditions de conservation de celui-ci (dessiccation) peuvent modifier les observations.
RISQUES POUR LES UTILISATEURS OU LE PUBLIC	Respect des dispositions de sécurité liées à l'utilisation des appareils des laboratoires de chimie.
ENCOMBREMENT – POIDS	Matériels lourds de laboratoire.
AVANTAGES – INCONVÉNIENTS	
AVANTAGES	Seule méthode permettant de fournir des renseignements précieux sur l'état pathologique d'un béton.
INCONVÉNIENTS	Emploi de nombreuses méthodes spécialisées de chimie Interprétation délicate de certaines observations au MEB Grande expérience nécessaire pour le coordonnateur de l'expertise
DISPONIBILITÉ – COÛT	
DISPONIBILITÉ	Rare (3 à 4 laboratoires capables de l'appliquer en France)
COÛT	Élevé
RÉFÉRENCES	
NORMES – MODES OPÉRATOIRES – ARTICLES	F.X. DELOYE – Analyse minéralogique : Application aux bétons durcis en liaison avec la pérennité des ouvrages – Rapport de recherche LPC n°83, LCPC, année 1978. F.X. DELOYE – Exploitation des données apportées par l'analyse du béton durci Annales de l'ITBTP n°417, Septembre 1983, série béton 216, septembre 1983. AFPC-AFREM Compte rendu des journées techniques, Durabilité des bétons « Méthodes recommandées pour la mesure des grandeurs associées à la durabilité », 11 et 12 décembre 1997, Toulouse, LMDC, ISBN : 2-87649-022-6.