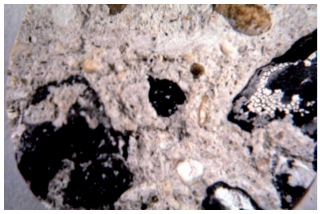
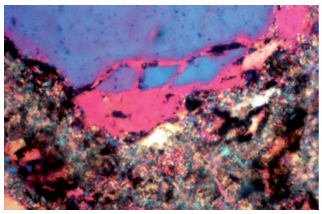


ANALYSE PÉTROGRAPHIQUE DU BÉTON

PRINCIPE ET DESCRIPTION SOMMAIRE

OBJECTIF	Expertiser à l'aide d'une analyse pétrographique un échantillon de béton suspecté de présenter une pathologie. L'analyse pétrographique a pour but, à l'aide d'observations avec divers types de microscopes, de déceler les espèces minérales susceptibles d'entraîner des désordres lors de leur incorporation au béton, et de constater la présence de désordres et de produits délétères au sein d'un béton. Elle permet notamment d'identifier : – la présence et la localisation de substances délétères (gels d'alcali-réaction, ettringite, pyrites framboïdales, etc.) ; – la présence de taches d'humidité à la surface du béton ; – la présence de granulats potentiellements réactifs aux alcalins ; – la présence de minéraux altérés et de minéraux sensibles en milieu alcalin ; – la présence de désordres (type et localisation de la fissuration, fissures comblées par des produits, auréoles d'alcali-réaction autour des granulats, etc.) ; – la qualité de la pâte de ciment (fissuration, mauvaise liaison avec les granulats, porosité élevée, etc.) ; – le type de ciment, son degré d'hydratation, l'évaluation qualitative de la présence de portlandite dans la pâte de ciment, l'homogénéité de la pâte, etc. ; – les délaminations se développant parallèlement à la surface et provoquées par l'action du gel-dégel.
PRINCIPE	L'analyse pétrographique consiste à observer : – des surfaces de béton à l'aide d'une loupe binoculaire à faible grossissement ; – des lames minces de béton avec un microscope optique en lumière transmise à fort grossissement (à lumière polarisée ou non, avec disposition d'une lame quart d'onde ou non) ; – des surfaces polies ou des cassures fraîches d'échantillons de béton à l'aide d'un microscope optique en lumière réfléchie à fort grossissement ou d'un microscope électronique à balayage (MEB), afin d'identifier et, si possible, de quantifier l'ensemble des paramètres nécessaires à la caractérisation des constituants du béton (granulats, ciment, eau, constituants secondaires, adjuvants, etc.) et des désordres qui l'affectent. Certaines de ces observations se font après imprégnation de l'échantillon par une résine fluide associée à un colorant ou à une substance fluorescente. Elles peuvent se faire aussi après une attaque chimique du béton, comme par exemple une attaque acide ménagée (HCl au 1/200^{e}).
CARACTÈRE DESTRUCTIF DE LA MÉTHODE	Destructif (un échantillon de quelques dm^3 suffit pour l'analyse)
MATURITÉ	Méthode éprouvée d'analyse éprouvée depuis très longtemps
MATÉRIEL SPÉCIFIQUE EMPLOYÉ	Loupe binoculaire (ou microscope stéréoscopique) : microscope de faible grossissement (inférieur à x60), qui permet d'avoir une vue 3D d'un échantillon, et utilisé comme premier examen pour choisir les zones qui seront examinées par d'autres méthodes. Microscope optique à fort grossissement (en général de x50 à x400) : il est utilisé pour observer des lames minces (tranches de béton collées sur une lame de verre ayant une épaisseur de l'ordre de 20 à 40 microns, obtenues par sciage puis abrasion à l'aide de poudre de diamant). La lumière peut être normale, polarisée ou ultra-violette pour la fluorescence. Pour l'analyse pétrographique détaillée, il est recommandé d'utiliser une lumière transmise (polarisée ou non) sur des lames minces de 20 30 microns au plus) ; celle-ci permet notamment d'identifier les granulats (taille, forme, nature minéralogique, etc.), les phases non hydratées d'un clinker (alite, belite, aluminates, ferrite, chaux, etc.), les phases hydratées d'un ciment (portlandite, ettringite, monosulfate, carboaluminate, etc.) ainsi que les additions minérales (laitier, cendre volante, pouzzolane, etc.). Résine fluorescente jaune émettant dans les tons verts sous l'effet d'une lumière ultraviolette (longueur d'onde 530 nm).

MATÉRIEL SPÉCIFIQUE EMPLOYÉ	Résine époxy incorporant un colorant rouge pour imprégner les fissures lorsque l'on souhaite quantifier la fissuration ou compter les vides. Microscope électronique à balayage dont la gamme courante de grossissement pour l'observation de bétons va de x20 à x10 000, plutôt utilisé sur des surface de fracture fraîche. Il est bien adapté pour détecter les gels d'alcali-réaction, l'ettringite délétère, la thaumasite, les pyrites framboïdales, les chloroaluminates, la portlandite, la brucite, le gypse, etc. Microsonde EDAX, associée au MEB, permettant d'obtenir une analyse élémentaire et d'élaborer une cartographie des éléments chimiques composant l'échantillon de béton observé. Si le microscope électronique à balayage est utilisé en mode conventionnel, un dégazage et une métallisation au carbone ou à l'or des échantillons de béton est nécessaire. Le but de cette étape de préparation est de déposer une fine couche métallique à la surface de l'échantillon afin de le rendre conducteur pour obtenir une image de bonne qualité.  Microscope stéréoscopique en lumière naturelle : placage d'un gel d'alcali-réaction (en blanc) sur un granulat calcaire (en noir) (IFSTTAR)  Microscope optique avec lumière polarisée et lame quart d'onde : gel d'alcali-réaction (en rose) à l'interface pâte de ciment – granulat (IFSTTAR)
MODALITÉS D'APPLICATIONS	
DOMAINE D'APPLICATION	Elle permet d'expertiser des bétons, des mortiers et des coulis, mais aussi des éléments de maçonnerie (pierres, briques, joints) et évidemment des roches.
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	Non pertinent
PERSONNEL ET COMPÉTENCES	Cette analyse ne peut être faite que par un pétrographe ayant une bonne expérience de la pathologie des bétons.
CARACTÉRISTIQUES OPÉRATOIRES	
ACCÈS À 1 OU 2 FACES	Accès à 1 face pour prélever une carotte ou un échantillon de béton.
COUPURES OU RESTRICTIONS DE CIRCULATION NÉCESSAIRES	Non
RENDEMENT ET/OU ÉCHANTILLONNAGE	La préparation d'une lame mince prend une journée (y compris l'imprégnation). L'observation complète d'une lame mince prend 2 à 3 heures, images comprises. L'observation d'un échantillon au MEB prend 1 heure, images comprises.
DÉLAIS DE DISPONIBILITÉ DES RÉSULTATS	1 à 2 semaines à partir de la prise en charge de l'échantillon
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 UV)
ENCOMBREMENT – POIDS	Matériels lourds de laboratoire.
AVANTAGES – INCONVÉNIENTS	
AVANTAGES	Méthode observationnelle fournissant de nombreuses informations sur l'état pathologique d'un béton.
INCONVÉNIENTS	Méthode essentiellement qualitative, et assez peu quantitative Interprétation délicate de certaines observations au MEB Grande expérience nécessaire du pétrographe qui doit avoir une connaissance des pathologies du béton
DISPONIBILITÉ – COÛT	
DISPONIBILITÉ	Rare (Quelques pétrographes pour la France)
COÛT	Moyen
RÉFÉRENCES	
NORMES – MODES OPÉRATOIRES – ARTICLES	A. LE ROUX, J. THIEBAUT, J.S.GUEDON, C. WACKENHEIM – Pétrographie appliquée à l'alcali-réaction. Études et Recherches des LPC, OA 26, LCPC, mars 1999. RILEM State-of-the-Art Report, Volume 12 : Guide to Diagnosis and Appraisal of AAR Damage to Concrete in Structures – Part I Diagnosis. Eds B. Godart, M. de Rooij, JGM Wood, Springer, 2013. Pr FD P 18-543 : Étude pétrographie des granulats appliquée à l'alcali-réaction.