

***Présentation  
des Fascicules***

***Généralités***

Le comité technique de l'ASQUAPRO – ASsociation pour la QUALité de la PROjection des mortiers et bétons – vous propose des fascicules de documentation traitant des technologies de mise en œuvre, de la formulation, du contrôle de la qualité et du calcul des structures pour les réalisations utilisant des mortiers ou bétons mis en œuvre par projection.

Ces fascicules abordent les domaines d'application suivants :

- soutènements et membranes protectrices,
- réparations et renforcements de structures,
- ouvrages neufs

Ils ne traitent pas du domaine spécifique des enduits qui fait l'objet du D.T.U. 26.1.

Ils complètent les documents émis par les autres commissions de l' ASQUAPRO : Hygiène et Sécurité ; Certification et Formation.

Conçus dans l'esprit d'un guide technologique, ces fascicules synthétisent les connaissances actuelles et complètent les documents normatifs - norme NF P 95.102 et normes européennes NF EN 14487 cahiers 1 et 2 ; NF EN 14488 cahiers 1 à 8 - en particulier en ce qui concerne l'exécution des travaux.

## UN PEU D'HISTOIRE

L'idée de projeter un mortier date de 1907. On la doit à un naturaliste américain, Carl Ethan Akeley, inventeur, en Pennsylvanie, d'une machine à projeter : la Cement-Gun. Deux ans plus tard, il dépose un brevet et fonde la Cement-Gun Company.

La machine de M. Akeley fonctionne selon le principe du sas : le mélange sec introduit (ciment, sable et gravillons) passe alternativement dans deux chambres pressurisées avant d'être transporté dans un conduit jusqu'à la lance où il est additionné d'eau puis projeté contre une surface. Cette machine, utilisée à l'époque dans quasiment tous les domaines actuellement explorés, présente un double inconvénient. D'une part, les manœuvres d'ouverture et de fermeture des sas requièrent la présence d'un machiniste qualifié. D'autre part, ce système de sas impose un chargement discontinu, ce qui limite le débit de la projection. Toutefois, cela n'a pas empêché ce procédé de s'internationaliser dès 1920 avec une utilisation massive pour le revêtement d'ouvrages divers et de galeries. Il est encore utilisé maintenant lorsqu'un réglage très fin du débit est nécessaire.

Dans les années 40, une nouvelle machine voit le jour. Reprenant l'idée de la vis d'Archimède, elle permet le chargement du mélange en continu, et donc un débit de projection élevé, mais avec une distance entre machine et lieu de projection plus courte que celle des machines à sas. Cette découverte donne naissance au béton projeté moderne et ouvre la voie de son utilisation pour la construction d'ouvrages hydrauliques et souterrains et non plus seulement pour du revêtement.

En 1947, la création de la machine à rotor marque le véritable essor du béton projeté par voie sèche et la fin de la machine à vis. Cette technique conjugue la continuité du chargement, un débit de projection élevé et une longue distance machine-projection.

Dès 1950, on conçoit des machines projetant des mélanges malaxés et contenant déjà toute la quantité d'eau nécessaire à leur mise en œuvre, comme un béton coulé traditionnel. Ce procédé, connu sous le nom de « **voie mouillée** », présente le double avantage de réduire les pertes et les poussières et d'augmenter les capacités de projection - des atouts qui la destine plus particulièrement aux travaux souterrains et de grande ampleur.

La voie sèche, quant à elle, génère certes des pertes et des poussières mais elle allie plusieurs avantages : elle confère au béton de fortes résistances en compression et une bonne adhérence au support ainsi que la possibilité de réaliser facilement des travaux de faible ampleur, ce qui la rend particulièrement bien adaptée aux travaux de réparation.

Toutes ces inventions utilisent un mélange sec (à la teneur en eau naturelle des granulats près) avec un mouillage intervenant au niveau de la lance de projection, un procédé baptisé « **voie sèche** ».

Voie sèche, voie mouillée, ces deux méthodes rivales ont créé une émulation qui a fait progresser la technique de projection dans son ensemble.

## DOMAINES D'APPLICATION

Depuis le début des années 1900, la mise en œuvre du béton et des mortiers par projection a été utilisée pour de nombreux travaux.

On peut citer les :

- Travaux souterrains, en réparation, en revêtement provisoire dans un rôle de membrane de protection ou de soutènement, en revêtement définitif dans un rôle structurel ;



*Réparation du tunnel sous la Manche après l'incendie de novembre 1996 : projection par voie sèche d'un béton fibré*



*Renforcement du tunnel de l'AVE MARIA (Port de Boulogne) : projection robotisée par voie sèche d'un mélange non fibré*

- **Ouvrages sur talus et blindages de fouilles (parois clouées, berlinoises, puits marocains, protection de talus... )**



*Protection de talus : boulonnage et projection par voie sèche d'un mélange non fibré*



*Paroi berlinoise avant projection par voie sèche d'un béton non fibré  
(les 40 cm d'épaisseur sont mis en place en une seule couche)*



*Puits marocain d'une pile du viaduc de Millau  
Projection par voie sèche sous un premier anneau coffré*

- **Protections des parements en béton et en maçonnerie (dégradations superficielles, chemisages d'intrados de voûtes en maçonnerie)**



*Projection par voie mouillée sur les piédroits dégradés par le gel dans les gaines de ventilation du tunnel sous le Mont Blanc.*

➤ Réfections de structures endommagées par des incendies



*Théâtre de Lons Le Saulnier après incendie. Ces maçonneries, classées monuments historique, ont été chemisées par du béton projeté*

➤ Interventions pour la restitution ou l'augmentation du niveau de service de structures en béton armé ou précontraint



*Augmentation du niveau de service d'un pont*

- Réparation des éclatements du béton d'enrobage suite à la corrosion des armatures, des chocs...



*Pont de Bry-sur-Marne : éclatement du béton d'enrobage*



*Pont de Bry-sur-Marne après réparation par béton projeté voie sèche ( finition ciment blanc)*



- Renforcement pour mise en conformité avec les règlements parasismiques



*Immeuble d'habitation à Annemasse : Ajout d'armatures  
Début de la projection par voie sèche*

- Reprise de structures neuves suite à des défauts de conception, de dimensionnement ou d'exécution



*Projection de béton par voie sèche pour renforcement de voile suite à une  
géométrie défectueuse du béton après décoffrage.  
(Attention : la largeur de l'échafaudage est ici insuffisante)*

- Projection de béton par voie sèche pour renforcement de mur en béton armé



*Aspect fini d'un voile en béton renforcé par projection  
( finition talochée, tolérance de planimétrie de  $\pm 5\text{mm}$  sous la règle de 2 m)  
On remarque les différences de teinte difficilement évitables au niveau des reprises de bétonnage*

## ➤ Reprise de déficit de descente de charges dans un immeuble d'habitation



*Vue du ferrailage*



*Vue de la projection du renforcement de 10 cm d'épaisseur avec une forte densité d'armatures (2 nappes d'acier mises en place au fur et à mesure de la projection ; finition lissée permettant une mise en peinture directe)*

- Renforcements de structures en béton armé ou précontraint (ajout d'une structure additionnelle rendue collaborante par le béton projeté contenant des aciers passifs, des aciers actifs ou des fibres)



*Viaduc de Terenez : réalisation d'un « corset » précontraint autour d'une pile de pont fissurée par alcali-réaction, avec barres de clouage le liant à la maçonnerie*

- Réhabilitations de réseaux d'assainissement en maçonnerie, béton, béton armé, béton précontraint ou tôle en acier nervuré



*Chemisage complet pour le renforcement d'un égout parisien*



*Remplissage de joints entre voussoirs en fonte pour améliorer l'écoulement des fluides dans l'aqueduc de la Vanne.  
(projection par voie sèche à 560 m de la machine)*

➤ **Ouvrages neufs et ouvrages de forme libre**



*Mur d'escalade de Porto Vecchio*

*Béton teinté renforcé de fibres métalliques, projeté par voie sèche sur un treillis céramique servant de support (épaisseur entre 6 et 10 cm, structure entièrement articulée)*



*Maison sphérique à Orsay, Architecte : Mme Claude HAUSERMANN  
(en cours de projection par voie mouillée)*



*Salle polyvalente de Goussainville : « Le Pouce »  
Projection par voie sèche depuis l'intérieur sur coffrage extérieur en contreplaqué*



***Piscine et faux rochers***

*L'ensemble est réalisé en béton projeté par voie sèche avec une finition par un enduit projeté par voie mouillée.*

## LES DIFFERENTS FASCICULES

- 1 Présentation
- 2 Glossaire
- 3 Mise en œuvre
- 4 Formulation
- 5 Contrôle de la qualité
- 6 Dimensionnement.

### ***Présentation du fascicule « MISE EN ŒUVRE »***

Le fascicule « Mise en œuvre » aborde les questions de pratique des travaux, en traitant successivement des spécificités de la projection, de la préparation des supports, de la mise en place des armatures, des matériels et du savoir-faire du porte-lance.

La mise en œuvre par projection nécessite le recours à l'air comprimé pour véhiculer le mélange et le projeter. A la différence d'un mode de mise en œuvre par coulage, la projection ne nécessite pas de coffrage pour tenir le béton. On projette sur un support appelé subjectile, mobilisé par adhérence pour constituer un ensemble monolithique ou utilisé comme fond de coffrage.

Le béton ainsi mis en œuvre doit présenter une cohésion capable d'assurer sa tenue tout en permettant une ouvrabilité suffisante pour sa mise en place et, si nécessaire, un parfait enrobage en cas de présence d'armatures.

La mise en place des armatures, dont la définition résulte d'un calcul ou de l'application de règles constructives, exige une rigueur de pose dont dépendra la géométrie finale de l'ouvrage et le respect des règles d'enrobage des armatures.

Outre les paramètres techniques, la bonne mise en œuvre dépend essentiellement de la compétence et du savoir-faire des opérateurs, notamment du porte-lance.

Ce dernier doit se prévaloir d'une formation et d'une expérience spécifique, l'entreprise s'engageant à travers une charte à respecter les règles de l'Art de ce métier.

Pour la mise en œuvre par projection des bétons et mortiers il existe différents types de matériels utilisés en fonction de la technique employée :



### Pour les mélanges pulvérulents

- les machines à sas, les « pionnières », qui fonctionnent par la mise sous pression d'un réservoir contenant le mélange, avec peu de pièces en mouvement
- les machines à rotor, datant de la fin des années 40, qui se caractérisent principalement par l'alimentation et la distribution du mélange au droit de l'orifice d'évacuation par la rotation d'un rotor, avec étanchéité à l'air assurée à l'aide de pièces en friction
- les machines à principe péristaltique, apparues au début des années 90, dont la caractéristique principale est l'aspiration du mélange par écrasement d'un tuyau et son transport par air comprimé à la sortie de la machine.

### Pour les mélanges plastiques

- les machines de type pompe à béton : le mélange est expulsé par l'action mécanique d'une vis ou de pistons. Le tuyau est rempli d'une masse compacte de béton qui progresse à faible vitesse. On introduit l'air comprimé, à l'extrémité de la conduite de projection en flux dense ou, plus rarement, à la sortie de la machine en flux dilué.
- les machines de type péristaltique, identiques à celles utilisées pour les mélanges pulvérulents
- les machines à rotor. Certaines machines à rotor de forte capacité sont compatibles avec l'emploi d'un mélange plastique. On introduit alors l'air comprimé en sortie de machine.

Selon les débits, on peut associer à ces matériels un bras de manipulation de la lance piloté à distance.

Ce bras est appelé robot lorsqu'il est monté sur la machine à projeter. On peut l'utiliser avec les deux types de mélanges – pulvérulent ou plastique – même si son emploi est nettement plus courant avec les mélanges plastiques.

Pour faciliter l'exécution des travaux, on peut aussi recourir aux matériels suivants :

- silos de stockage pour les mélanges pulvérulents secs,
- silos de stockage à compartiments séparés granulats et ciment,
- trémie tampon pour le stockage et la reprise du mélange plastique
- pompe de dosage pour l'emploi d'adjuvants,
- trémie de stockage avec équipement de prémouillage,
- petit malaxeur pour l'emploi de mélanges secs conditionnés en sacs.

## ***Présentation du fascicule « FORMULATION »***

Le principe de projection confère au béton des caractéristiques de résistance, de compacité et de durabilité variables selon les techniques de projection. Ces techniques se différencient par la formulation et la consistance des mélanges, le point d'introduction de l'air comprimé, l'emploi éventuel d'adjuvants spécifiques et/ou d'additions.

Il faut distinguer :

- la projection par voie sèche,
- la projection par voie mouillée, à flux dense ou à flux dilué.

La voie sèche se caractérise par l'emploi de mélanges à consistance pulvérulente (sèche ou humide) et l'introduction de l'air comprimé à la sortie de la machine.

La voie mouillée se caractérise par l'emploi de mélanges à consistance plastique. Le distinguo flux dense / flux dilué dépend du point d'introduction de l'air comprimé :

- pour le flux dense, on introduit l'air comprimé à l'extrémité de la conduite de projection,
- pour le flux dilué, on introduit l'air comprimé à la sortie de la machine.

L'emploi de mélanges à consistance plastique nécessite de recourir à des adjuvants spécifiques et/ou des additions pour assurer la tenue du béton sur le support.

## ***Présentation du fascicule « CONTRÔLE DE LA QUALITE »***

La réussite d'un chantier avec mise en œuvre du béton par projection dépend du respect des règles de formulation et de mise en œuvre.

Le fascicule « Contrôle de la qualité » dresse un rapide historique des contrôles réalisés dans les différents pays et liste les problèmes spécifiques au contrôle des bétons projetés pour les différents modes de projection.

Il s'intéresse aux différents stades du chantier (préparation, convenance, suivi) et à toutes les étapes de la mise en œuvre (avant, pendant et après la projection).

Il liste les essais – normalisés ou non – utilisables pour le contrôle des bétons projetés, avec ou sans fibres. Il en rappelle les principes et précise leur intérêt en se référant aux normes NF P 95102, NF EN 14487 1et2, NF EN 14488 1à7 et aux recommandations de l'AFTES pour les travaux en souterrain.

## ***Présentation du fascicule « DIMENSIONNEMENT »***

Le fascicule « Dimensionnement » précise l'état des connaissances sur la conduite des calculs de dimensionnement des structures constituées partiellement ou en totalité par du béton projeté. Il traite également des dispositions constructives.

### **Ouvrages en béton armé**

Modifiant seulement le mode de mise en œuvre du béton, les calculs des structures en béton projeté s'appuient sur les règles du BAEL et les eurocodes. Un inventaire est fait de l'état des connaissances et de la manière dont est prise en compte la liaison entre la section existante et la section additionnelle ou reconstituée. Les règles constructives pour ce mode de mise en œuvre du béton sont également données.

### **Ouvrage avec précontrainte**

Que ce soit pour un ouvrage neuf ou une structure additionnelle, il est possible d'associer la précontrainte et le béton projeté. Dans ce cas, une optimisation de la formulation de béton et de la mise en œuvre est recherchée pour garantir un module de béton compatible avec les hypothèses prises en compte pour le calcul.

### **Voûtes et ouvrages souterrains, talus et berlinoises**

Pour ces sujets, ce fascicule indique les principes et hypothèses à prendre en compte.

### **Béton projeté renforcé de fibres**

Des groupes de travail ont défini des méthodes de dimensionnement adaptées et les essais de caractérisation correspondant. Ce fascicule liste les documents existants dans les différents pays européens et présente les approches existantes.

### **Ouvrage sans fonction structurelle**

Certaines applications ne font pas l'objet d'un dimensionnement : par exemple, reconstitution de l'épaisseur d'enrobage, chemisage d'intrados de voûtes, membrane de protection, réparation superficielle de béton et de maçonnerie.

Pour ces applications, seule est prise en compte la mise en place d'une armature (Treillis soudé, aciers, fibres) pour traiter les risques de fissuration due aux retraits du béton.

## ***Présentation du fascicule « GLOSSAIRE »***

Un dernier fascicule rassemble dans un glossaire les termes spécifiques au béton projeté. Il a été rédigé après la mise au point de tous les fascicules du guide technique.