

***Mise en œuvre  
des  
Bétons Projetés***

Le présent document a été élaboré par le comité technique de l'ASQUAPRO (ASsociation pour la QUALité de la PROjection des mortiers et bétons), placée sous la présidence de Madame Catherine LARIVE du CETU (Centre d'Etude des TUnnels).

Ce guide expose les techniques de mise en œuvre des bétons projetés. Il constitue un complément de la norme NF P 95-102 « Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie - béton projeté » et des normes européennes Pr EN 14487-1 « béton projeté- partie 1 : définitions, spécifications et conformité », Pr EN 14487-2 « Béton projeté-partie 2 : exécution ».

Ont participé à l'élaboration de ce document :

- Jean Pol BOMBARD
- François DEL CASTELLO
- Benoît DE RIVAZ
- Daniel DURAND
- Michel FONTANEL
- Sylvie GEROMEY
- Catherine LARIVE
- Alain MAGUET
- Stéphane MATHIEU
- André REGNARD
- Claude RESSE
- Guy RIVALLAIN
- Denis SOMMAIN
- Antoine VICARIO

Ont participé pour la relecture :

- Bruno GODART du LCPC,
- Alain JEANPIERRE de EDF, pôle Industrie Service Qualité des Réalisations TEGG
- les autres membres du comité technique.

# FASCICULE

## « Mise en œuvre des bétons projetés »

<b>1 INTRODUCTION .....</b>	<b>6</b>
<b>2 SPECIFICITES DE LA PROJECTION .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Rappel technologique sur la projection de béton .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2 Spécificités de la méthode de projection par voie sèche .....</b>	<b>6</b>
2.2.1 Mélange à consistance pulvérulente (humide ou sèche) .....	6
2.2.2 Cheminement du béton en voie sèche .....	8
2.2.3 Constitution de la couche de béton en voie sèche .....	9
2.2.4 Emploi d'adjuvants introduits dans la lance en voie sèche .....	9
2.2.5 Rôle et compétence du porte-lance en voie sèche .....	10
2.2.6 Récapitulatif des spécificités de la projection par voie sèche .....	10
<b>2.3 Spécificités de la méthode de projection par voie mouillée .....</b>	<b>12</b>
2.3.1 Mélange malaxé avant projection .....	12
2.3.2 Cheminement du béton en voie mouillée .....	12
2.3.3 Constitution de la couche de béton en voie mouillée .....	12
2.3.4 Emploi d'adjuvants à la sortie de la lance en voie mouillée .....	13
2.3.5 Rôle et compétence du porte-lance en voie mouillée .....	13
2.3.6 Récapitulatif des spécificités de la projection par voie mouillée à flux dense .....	13
<b>2.4 Domaines d'utilisation des deux grandes méthodes de projection .....</b>	<b>15</b>
2.4.1 Domaines exclusifs de la voie sèche .....	15
2.4.2 Domaines où la voie sèche est prépondérante .....	15
2.4.3 Domaines exclusifs de la voie mouillée .....	15
2.4.4 Domaines où la voie mouillée est prépondérante .....	15
2.4.5 Domaines communs aux deux méthodes .....	16
<b>2.5 Voie sèche – voie mouillée : comment choisir ? .....</b>	<b>16</b>
2.5.1 Influence du type de travaux .....	16
2.5.2 Influence des qualités exigées pour le béton .....	16
2.5.3 Influence de la nature du support .....	17
2.5.4 Influence du ferrailage .....	17
2.5.5 Influence de la géométrie de l'ouvrage et de son accessibilité .....	17
2.5.6 Influence des sujétions en matière d'hygiène et de sécurité .....	17
2.5.7 Influence des exigences en matière de délai, de production et de débit .....	17
<b>2.6 Voie sèche – voie mouillée : quelles épaisseurs maximales ? .....</b>	<b>18</b>
2.6.1 Voie sèche .....	18
2.6.2 Voie mouillée .....	18
2.6.3 Remarques pour les deux méthodes .....	18
<b>3 PREPARATION DES SUPPORTS .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 Prescriptions générales .....</b>	<b>19</b>
3.1.1 Humidification du support .....	19
3.1.2 Etudes préalables .....	19
3.1.3 Réception du support .....	19
<b>3.2 Coffrages perdus .....</b>	<b>20</b>
3.2.1 Coffrages rigides non métalliques .....	20
3.2.2 Coffrages rigides métalliques .....	20
3.2.3 Coffrages souples .....	20
3.2.4 Mise en place des coffrages .....	21
3.2.5 Coffrage des arêtes .....	21
<b>3.3 Parois existantes .....</b>	<b>23</b>
3.3.1 Parois rocheuses recevant un béton de protection .....	23
3.3.2 Parois rocheuses recevant un béton de soutènement .....	24
3.3.3 Parois en terrain meuble recevant un béton de protection ou de soutènement .....	24
3.3.4 Parois en maçonnerie ou en béton utilisées comme coffrage .....	25
<b>3.4 Support en maçonnerie ou en béton destinés à être réparés ou renforcés .....</b>	<b>25</b>
3.4.1 Supports en maçonneries .....	25
3.4.2 Supports en béton (coulé ou projeté) .....	25
3.4.3 Reprise entre couches .....	26
<b>3.5 Promoteur d'adhérence .....</b>	<b>27</b>

<b>4 ARMATURES, RENFORCEMENT ET INCLUSIONS.....</b>	<b>28</b>
<b>4.1 Types.....</b>	<b>28</b>
4.1.1 Armatures structurelles .....	28
4.1.2 Profilés métalliques.....	28
4.1.3 Fibres.....	28
4.1.4 Aciers de précontrainte .....	29
4.1.5 Armatures de répartition de la fissuration .....	29
4.1.6 Connecteurs.....	30
4.1.7 Panneaux métalliques tridimensionnels .....	30
4.1.8 Grillages métalliques.....	30
4.1.9 Matériaux synthétiques .....	30
4.1.10 Pièces diverses .....	30
<b>4.2 Techniques de mise en œuvre des armatures .....</b>	<b>31</b>
4.2.1 Ferrailage préalable.....	31
4.2.2 Projection préalable.....	31
4.2.3 Fibres.....	32
<b>4.3 REGLES DE POSE .....</b>	<b>32</b>
4.3.1 Fixation des armatures et treillis .....	32
4.3.2 Espacement entre support et armatures .....	32
4.3.3 Espacement entre armatures, densité de ferrailage.....	33
4.3.4 Recouvrement des barres .....	34
4.3.5 Mise en place des pièces métalliques .....	35
<b>5 PRINCIPAUX TYPES DE MATERIELS DE PROJECTION.....</b>	<b>37</b>
<b>5.1 Principaux types de machines à projeter par voie sèche.....</b>	<b>38</b>
5.1.1 Machines à rotor.....	38
5.1.2 Machine « à tuyau écrasé » : principe péristaltique.....	41
5.1.3 Silos projeteurs.....	42
<b>5.2 Principaux types de machines à projeter par voie mouillée à flux dense.....</b>	<b>42</b>
5.2.1 Pompe à pistons .....	43
5.2.2 Pompes à vis.....	44
5.2.3 Machine « à tuyau écrasé » : principe péristaltique.....	44
<b>5.3 Principaux types de machines à projeter par voie mouillée à flux dilué.....</b>	<b>46</b>
5.3.1 Machines péristaltiques .....	46
5.3.2 Machines à rotor.....	46
5.3.3 Pompes.....	47
<b>5.4 Autres matériels et accessoires.....</b>	<b>47</b>
5.4.1 Conduite de transfert .....	47
5.4.2 Lance de projection.....	49
5.4.3 Surpresseur d'eau .....	53
5.4.4 Robot.....	53
5.4.5 Doseur d'adjuvants raidisseurs liquides .....	53
5.4.6 Commande à distance de la machine .....	54
5.4.7 Trémie de stockage .....	54
<b>5.5 Aide au choix des machines à projeter.....</b>	<b>55</b>
5.5.1 Matériel voie sèche .....	55
5.5.2 Matériel de projection – voie mouillée.....	67
<b>6 PRATIQUE DES TRAVAUX : SAVOIR-FAIRE DU PORTE-LANCE.....</b>	<b>74</b>
<b>6.1 Installation et organisation du chantier.....</b>	<b>74</b>
6.1.1 Mise en place du matériel.....	74
6.1.2 Vérification du matériel .....	74
6.1.3 Essais de mise en route .....	75
6.1.4 Travaux sur échafaudages .....	75
6.1.5 Travaux acrobatiques .....	76
<b>6.2 Règles de calcul des quantités de mélange.....</b>	<b>76</b>
<b>6.3 Réglage de la machine de projection en voie sèche .....</b>	<b>77</b>
<b>6.4 Projection par voie sèche avec recherche d'adhérence.....</b>	<b>79</b>
6.4.1 Orientation de la lance .....	79
6.4.2 Conduite de la lance.....	79
6.4.3 Début de projection.....	80
<b>6.5 Projection par voie sèche pour travaux en forte épaisseur.....</b>	<b>81</b>
<b>6.6 Projection par voie mouillée .....</b>	<b>82</b>

<i>6.7 Guides d'épaisseur</i> .....	82
<i>6.8 Arrêt de bétonnage</i> .....	85
<i>6.9 Projection contre un coffrage d'angle</i> .....	85
<i>6.10 Conditions d'enrobage des armatures</i> .....	86
<i>6.11 Savoir faire du porte lance en projection mécanisée</i> .....	88
6.11.1 Pilote de robot .....	88
6.11.2 Manipulateur de bras d'aide à la projection .....	88
<b>7 CONDITIONS DE TEMPERATURE</b> .....	<b>89</b>
<i>7.1 Temps froid</i> .....	89
<i>7.2 Temps chaud</i> .....	89
<b>8 INTERVENTIONS APRES LA PROJECTION</b> .....	<b>90</b>
<i>8.1 Finitions</i> .....	90
8.1.1 Projection par voie sèche .....	90
8.1.2 Projection par voie mouillée .....	96
<i>8.2 Cure</i> .....	97
<b>9 BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>97</b>

## 1 INTRODUCTION

Dans le cadre du « guide des technologies de projection des bétons » proposé par l'ASQUAPRO, le présent fascicule a pour objet la mise en œuvre des techniques de projection de bétons dans les différents domaines concernés : réparation et renforcement de structures, soutènement et protection, ouvrages neufs (en souterrain ou à l'air libre).

Ce fascicule renvoie si besoin aux autres fascicules du guide, et plus particulièrement à ceux dédiés à la « Formulation », au « Contrôle de la qualité » et au « Dimensionnement ».

Ne sont abordés ici ni le cas des bétons mis en place sous l'eau, ni celui des bétons mis en œuvre à l'aide d'une machine à projeter mais sans véritable projection (mise en place de béton dans une saignée de pré découpage en souterrain).

## 2 SPECIFICITES DE LA PROJECTION

### 2.1 Rappel technologique sur la projection de béton

Le béton projeté est mis en œuvre par transfert dans un tuyau d'un mélange de ciment et de granulats, puis par projection à l'aide d'air comprimé sur un support quelconque.

Les principales distinctions entre les deux grandes méthodes de projection – voie sèche et voie mouillée – résident dans le point d'introduction de l'eau et de l'air comprimé ainsi que dans la consistance du mélange.

Quelle que soit la méthode, la force de projection se traduit par des pertes – par rebonds et retombées – dans des proportions variables.

Cette force de projection permet le compactage et assure ainsi au béton projeté ses qualités de résistance, compacité, étanchéité, réduction du retrait et adhérence à la paroi réceptrice.

La mise en œuvre du béton projeté se fait par « couches » successives. On appelle « couche » chaque épaisseur de béton qu'on laisse faire sa prise, soit dans l'attente d'une nouvelle projection, soit parce que l'épaisseur requise est atteinte.

Chaque couche de béton projeté est elle-même réalisée par « passes ». On appelle « passe » l'épaisseur de béton frais que le porte-lance met en œuvre progressivement pour obtenir une couche. Cette méthode de projection tient à l'art du projeteur qui doit savoir comment travailler pour obtenir des couches homogènes (voir § 6.4 et 6.5).

Les épaisseurs maximales d'une couche sont fonctions de nombreux paramètres tels que l'inclinaison du support, le type de support, le mode de projection et la consistance du béton, la densité de ferrailage, etc. On se reportera pour des ordres de grandeur à ce sujet au paragraphe 2.6.

### 2.2 Spécificités de la méthode de projection par voie sèche

#### 2.2.1 Mélange à consistance pulvérulente (humide ou sèche)

Dans le cas de la projection par voie sèche, le mélange a une consistance pulvérulente (sèche ou légèrement humide), l'eau est introduite à la lance, l'air comprimé est introduit dans la machine, avec éventuellement un complément à l'entrée du tuyau de transfert.

Le mélange peut être :

- fabriqué sur site avec un dispositif de contrôle du dosage des constituants (pondéral ou volumétrique), il est alors toujours humide ;
- fabriqué en centrale B.P.E, il est très généralement humide et cette humidité doit être limitée à 5% du poids sec des granulats ;
- fabriqué en usine avec un conditionnement en sacs, « Big-Bags » ou livré en vrac dans un silo de stockage sur chantier, il est alors totalement sec.

Les mélanges complètement secs sont soumis aux mêmes règles de stockage que le ciment (voir date de péremption). La durée d'utilisation des autres mélanges est la même que celles des mélanges préhumidifiés.

### **Préhumidification, prémouillage**

Ces deux termes ne doivent pas être confondus car ils correspondent à des actions différentes, l'une intervenant avant transfert du matériau pulvérulent, l'autre assurant l'introduction de l'eau en amont de la lance.

#### *Préhumidification des mélanges secs*

**On entend par « mélange préhumidifié » un mélange (ciment, sables, gravillons) dans lequel on introduit volontairement une quantité d'eau comprise entre 2 et 5 % du poids sec des granulats. Un tel mélange présente un aspect « terre humide ».**

- Lorsque le mélange initial est pulvérulent totalement sec, conditionné en sacs ou en Big-Bags, sa préhumidification nécessite généralement un malaxage. Il est préférable d'introduire l'eau sous forme d'une pulvérisation dans le malaxeur, qui peut alors être un malaxeur à axe vertical, ou bien une bétonnière à tambour basculant.
- Pour les mélanges pulvérulents totalement secs livrés en vrac dans un silo, l'introduction de l'eau se fait dans la vis de vidange en partie basse du silo qui joue le rôle du malaxeur, ou le dispositif à vis d'alimentation de la machine.

Attention : il est quasi impossible de préhumidifier un mélange contenant un accélérateur ou un raidisseur en poudre car ceci impose son utilisation extrêmement rapide après préhumidification, incompatible avec des distances de transfert supérieures à 50 ou 100 m. Pour ce type de mélange, principalement utilisé pour les bétons rapides (ex : RIG<sup>1</sup>), il est préférable d'employer une lance de pré-mouillage.

Les résultats obtenus avec la préhumidification sont les suivants :

- suppression de la poussière lors du déversement du mélange dans la machine et lors de la décompression des alvéoles d'une machine à rotor,
- diminution de la vitesse de remplissage des alvéoles du rotor et donc diminution des risques de blocages dans le coude de sortie de la machine,
- réduction de l'émission de poussières à la lance,
- amélioration de l'homogénéisation du mélange dans le flux d'air
- fort ralentissement de la vitesse d'usure des pièces en friction pour les machines à rotor.

Chaque fois que cette opération est possible, elle est fortement conseillée. Elle limite toutefois la durée possible d'utilisation du mélange préhumidifié. Cette durée dépend fortement de la température et du type

---

<sup>1</sup> RIG = Résistance Initiale Garantie, correspondant à un cahier des charges SNCF

de ciment. Elle est par exemple, pour un même ciment, de l'ordre de deux heures à 20°C et inférieure à ½ h à 30°C. Il est difficile de donner des règles générales en raison de l'influence de la chaleur d'hydratation du ciment.

### Prémouillage des mélanges secs

**Le prémouillage consiste à placer un anneau d'introduction de l'eau à une distance adaptée au diamètre du tuyau et en amont de l'embout de lance.**

Le calcul de la distance de prémouillage est empirique et résulte des expériences acquises sur chantier par les entreprises spécialisées.

En première approximation la règle suivante est souvent utilisée :

distance de prémouillage = 20 à 30 fois le diamètre intérieur de la conduite de transfert  
A titre indicatif, cette distance varie de 0,60 m à 2 m, pour un tuyau de diamètre intérieur :

Ø 32 mm	0,60 m à 0,80 m
Ø 38/40 mm	0,80 m à 1,20 m
Ø 50 mm	1,20 m à 1,50 m
Ø 65 mm	1,50 m à 2,00 m

Ce système provoquant un frottement du mélange mouillé entre le point d'introduction de l'eau et la lance entraîne certes une réduction des poussières mais aussi une diminution de la vitesse de sortie et une énergie de compactage moins importante. Cela oblige le porte-lance à augmenter la quantité d'eau.

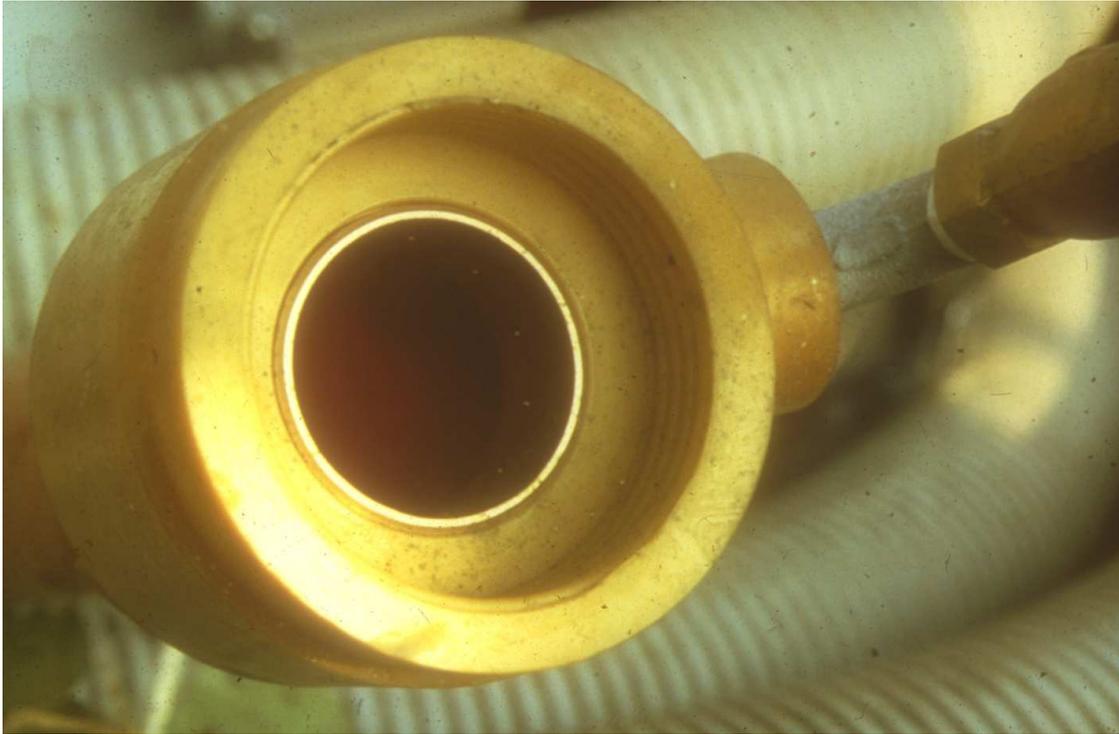
L'utilisation d'une lance de prémouillage est délicate, surtout en présence de conduite de petit diamètre (30 à 40 mm) compte tenu des risques de formation de bouchons. Elle est déconseillée pour des travaux où l'adhérence est primordiale : réparations et rénovation de structures.

Elle doit être limitée au cas de stricte nécessité, par exemple pour des travaux en espace confiné avec un mélange adjuvanté si la préhumidification est impossible à cause de la forte distance de transfert.

### **2.2.2 Cheminement du béton en voie sèche**

Dans la méthode de projection par voie sèche, le cheminement est le suivant :

- Le mélange, sec ou légèrement humidifié, est introduit dans la machine dont le rôle est de le distribuer le plus régulièrement possible vers la conduite de transfert, après expulsion par air comprimé.
- L'air comprimé introduit en amont du dispositif de distribution de la machine – ainsi qu'un éventuel complément d'air introduit à sa sortie (si le mélange est humide et a du mal à s'écouler) – véhicule le mélange à grande vitesse dans la conduite : *Cette vitesse peut varier entre 50 et 100 m/s selon le type de machine et le débit d'air admis, le diamètre et la longueur du tuyau.*
- à l'extrémité de la conduite, la lance est munie d'une bague percée de trous permettant l'introduction de l'eau sous pression pour le mouillage du mélange *La vitesse à la sortie de la lance est importante : 100 à 150 m/s avec utilisation de lance tronconique. Elle peut au contraire être abaissée dans des proportions importantes avec un prémouillage en amont de la lance.*
- le flux d'air projette le mélange contre le support, assurant ainsi la constitution de la couche de béton et son compactage.



*Anneau de mouillage*

### **2.2.3 Constitution de la couche de béton en voie sèche**

A la sortie de la lance, le béton projeté par voie sèche est constitué :

- ✓ d'air
- ✓ d'eau
- ✓ d'éléments solides : ciment, granulats et, éventuellement, fibres.

A l'arrivée sur le support, ces constituants se comportent de différentes manières : les éléments fins (eau et ciment) se fixent sur la paroi et les éléments les plus gros (sable et graviers) – dont l'énergie est importante – rebondissent.

Une pellicule de pâte d'éléments fins commence à se créer et permet, au fur et à mesure de la projection, aux gros éléments de s'incruster et de compacter le béton déjà en place. On constate encore des rebonds d'éléments ne pouvant se ficher dans le « matelas » de béton insuffisamment épais ou rebondissant contre un granulat déjà en place ou une armature.

Le martelage granulat contre granulat fournit l'énergie nécessaire au compactage et à l'incrustation des gros éléments dans la pâte.

Du fait des pertes par rebond des gros éléments ainsi que de la réduction progressive des pertes au fur et à mesure de l'augmentation d'épaisseur du béton, **la teneur en fines et en ciment varie dans l'épaisseur de la couche en place, elle est :**

- ✓ très enrichie en ciment au contact du support, ce qui assure une adhérence excellente et une bonne protection contre la corrosion des armatures lorsqu'elles ont dû être plaquées au support pour des raisons géométriques,
- ✓ moins riche en s'éloignant du support, ce qui limite retrait et fissuration.

### **2.2.4 Emploi d'adjuvants introduits dans la lance en voie sèche**

En voie sèche l'utilisation d'adjuvants est inutile lorsque l'on met en place des couches d'épaisseur 6 à 7 cm et qu'il vaut mieux procéder par projection de plusieurs couches de béton non adjuvanté plutôt que par la projection d'une couche épaisse de béton adjuvanté.

Les adjuvants liquides sont utilisés pour modifier la formulation des mélanges afin d'améliorer la tenue sur le support, soit en présence de venues d'eau, soit pour obtenir de fortes épaisseurs de couches. Ils sont introduits à l'anneau de mouillage.

L'emploi de ces produits liquides se fait soit avec un dispositif de pompe-doseuse à réglage asservi au débit de la projection, soit en utilisant un mélange « eau + accélérateur » dans une proportion calculée à partir du dosage théorique en ciment, en tenant compte de l'humidité du mélange arrivant à la lance et d'un E/C théorique de 0,40.

Les adjuvants en poudre sont en général incorporés aux mélanges totalement secs (en sacs ou en silo) lors de sa fabrication. Cela suppose toutefois un minimum de précautions concernant la durée et les conditions de stockage. Il est déconseillé de les introduire dans la machine sans malaxage préalable, par l'intermédiaire d'un doseur asservi à la vitesse de chargement du mélange (tapis ou vis). Voir § 5.4.5.

### **2.2.5 Rôle et compétence du porte-lance en voie sèche**

**Le rôle du porte-lance est essentiel en voie sèche.** De lui dépend l'obtention des critères de qualité et des caractéristiques requises pour le béton.

- Il veille à l'état de propreté du subjectile et des armatures et à un bon mouillage du support, facteurs primordiaux d'obtention de l'adhérence nécessaire à l'obtention du monolithisme, en cas de réparation ou de renforcement d'une structure en béton armé.
- Sur la base de son savoir-faire, il émet un avis sur le mélange et donne les consignes pour le réglage de la machine, le débit de mélange et le débit d'air introduit à la machine. Les constatations visuelles qui guident son appréciation concernent tout particulièrement la vitesse de constitution de la couche de béton, sa souplesse lors de l'impact et l'incrustation des gros granulats, l'état de « propreté » des armatures au passage du jet de béton.
- Il règle la distance de projection entre le support et l'extrémité de la lance.
- Il apprécie et règle la quantité d'eau à introduire à la lance à partir de l'observation de la brillance en surface du béton juste après la projection (limite mat-brillant en vertical, juste brillant en plafond).
- Il adapte l'orientation du jet de projection pour assurer un bon enrobage des armatures.
- Il maîtrise parfaitement la planimétrie et laisse après projection une surface quasi uniforme et d'aspect régulier en « grains ».
- Il refuse des conditions de travail non adaptées, que ce soit pour :
  - échafaudages de conception ou largeur inadaptées
  - défaut de préparation de la surface réceptrice
  - défaut de pose ou de fixation des armatures générant des vibrations ou des déformations sous le poids du béton.
  - conditions de livraison non adaptées (temps d'attente pour B.P.E)
  - non respect des conditions d'hygiène et de sécurité (produits, protection et ventilation), absence d'équipement individuel de protection.

**Dans la démarche engagée par l'ASQUAPRO il doit être titulaire d'une qualification d'aptitude à la classe de travaux à réaliser (voir commission Qualification et Certification).**

### **2.2.6 Récapitulatif des spécificités de la projection par voie sèche**

#### **Mélange véhiculé par flux d'air**

- possibilité de distance de transfert importante
- manœuvre aisée des tuyaux (faible masse lors de la projection et tuyau vide à l'arrêt)
- faible pression dans les tuyaux

- obligation de protection des granulats contre la pluie, en particulier du sable afin de ne pas dépasser 5 à 7 % d'humidité (cette sujétion disparaît avec les mélanges secs livrés en sacs ou en silos)
- production de poussières à la machine (en particulier avec une machine à rotor), ce phénomène peut être réduit par une pré-humidification (1 à 3 % du poids total des matériaux secs).
- nécessité d'un compresseur de forte puissance (pour un même débit, besoin de 2 fois plus de puissance qu'en voie mouillée)

### **Vitesse élevée dans le jet**

- compactage important favorisant des résistances élevées et une faible porosité
- pertes par rebond dont le coût doit être pris en compte pour l'approvisionnement du mélange et l'évacuation des pertes
- projection de granulats nécessitant le port de protections individuelles.
- mesures spécifiques de protection de l'environnement (poussières, projection de gros éléments à grande vitesse)
- risque de détérioration de support fragile

### **Introduction d'eau à la lance**

- réglage manuel à la lance sur la base d'une appréciation visuelle par le porte lance : aspect à la limite du mat et du brillant (pas assez d'eau : production de poussière; trop d'eau : le béton trop fluide ne tient pas sur le support)
- l'eau est introduite à la lance avec une pression adaptée à la longueur de la conduite, à un éventuel dénivelé et au débit du béton (à titre indicatif il est recommandé de ne pas descendre au-dessous de 0.4 MPa avec une lance équipée d'une buse conique). Sans buse conique il est recommandé de ne pas descendre au-dessous de 0.8 MPa.

### **Comportement de la couche de béton**

- excellente adhérence au support par enrichissement en ciment au contact du support (ne pas mettre en place un promoteur d'adhérence, voir § 3.5),
- bonne protection contre la corrosion lorsque les contraintes géométriques sont telles que l'on ne peut faire autrement que de plaquer les armatures contre le support.
- bonne cohésion du béton ne nécessitant pas d'accélérateur pour les utilisations courantes,
- en cas de projection de mélanges avec ajout de fibres, appauvrissement en fibres par rapport à la formulation initiale,
- obtention aisée de béton haute performance,
- faible teneur en eau limitant le risque de fissuration dû au retrait malgré l'enrichissement en ciment au contact du support.

### **Matériels de projection**

- large gamme de matériels, facilement disponibles et adaptés aux différentes configurations d'ouvrages (voir § 5)

## 2.3 Spécificités de la méthode de projection par voie mouillée

Il existe deux méthodes de projection par voie mouillée : flux dilué et flux dense. Elles consistent toutes deux à introduire dans une machine un mélange préalablement malaxé (mouillé) qui est poussé dans la conduite de transfert par pompage mécanique (flux dense) ou propulsé par injection d'air comprimé à la sortie de la machine (flux dilué).

La méthode « **voie mouillée à flux dilué** », associant certaines propriétés de la voie sèche et de la voie mouillée, permet l'emploi de bétons non pompables, elle impose toutefois une grande distance entre la paroi et la lance, tout en provoquant presque autant de pertes et de poussières que la voie sèche.

Intéressante essentiellement en cas de consistance irrégulière du béton fourni par la centrale à béton, cette méthode n'est pas évoquée dans ce fascicule ; seule la technique de « **voie mouillée à flux dense** » est décrite ci-dessous.

### 2.3.1 Mélange malaxé avant projection

Dans le cas de la projection par voie mouillée, le mélange doit avoir une consistance plastique. L'eau est introduite au moment du malaxage lors de la fabrication du mélange et avant son déversement dans la machine. Pendant le transfert entre la machine et la lance, le mélange est donc mouillé comme s'il s'agissait d'un béton destiné à être pompé. L'air comprimé est introduit à la lance à l'extrémité de la conduite.

Le mélange provient généralement d'une centrale B.P.E. Occasionnellement, il peut être fabriqué sur le site par une centrale de chantier équipée d'un dispositif de dosage pondéral.

### 2.3.2 Cheminement du béton en voie mouillée

Dans la méthode de projection par voie mouillée à flux dense, le cheminement est le suivant :

- Le béton malaxé est déversé dans la machine. Il contient déjà la quantité d'eau nécessaire à sa mise en œuvre ainsi qu'un adjuvant assurant sa fluidité (superplastifiant).
- Il est véhiculé, à faible vitesse, jusqu'à la lance par pompage : système à pistons (le plus couramment utilisé), système à vis ou péristaltique.
- L'air comprimé est introduit à la lance, ainsi que le raidisseur (quasi obligatoire sauf pour les bétons de sable projetés en faible épaisseur). Il éclate le mélange en petites masselottes.
- Ces masselottes sont projetées contre le support par le jet d'air comprimé qui assure la mise en place du béton et son compactage. La vitesse en sortie de lance est de l'ordre de 30 m/s.

### 2.3.3 Constitution de la couche de béton en voie mouillée

A la sortie de la lance, le béton projeté par voie mouillée est constitué :

- ✓ d'air,
- ✓ de béton malaxé séparé en masselottes,
- ✓ d'adjuvants.

A l'arrivée sur le support, la masse de béton se reconstitue par réunion des masselottes sous l'effet conjugué du jet d'air comprimé et de l'effet « raidisseur » quasi instantané de l'adjuvant.

L'énergie de projection, plus faible qu'en voie sèche, contribue à réduire fortement les rebonds. De plus, ces derniers ont pratiquement la même composition que le mélange initial.

La composition du béton en place reste homogène dans toute l'épaisseur projetée. Toutefois la superposition de couches peut présenter un risque de feuilletage.

Le mélange tient sur le support par collage, grâce à l'adjuvant.

### **2.3.4 Emploi d'adjuvants à la sortie de la lance en voie mouillée**

Généralement liquides, les adjuvants (raidisseurs) sont obligatoires pour assurer la tenue sur le support lorsque le béton est très fluide pour pouvoir passer dans la machine et dans la conduite. C'est le cas le plus général en France. Il est toutefois possible d'élaborer des formules qui permettent une projection sans raidisseur sur support vertical.

Les raidisseurs sont introduits au niveau de l'anneau d'introduction d'air.

Comme en voie sèche, le dosage des adjuvants se fait par pompe-doseuse asservie au débit de la machine. Toutefois, la répartition de l'adjuvant dans la masse de béton peut ne pas être parfaitement homogène.

### **2.3.5 Rôle et compétence du porte-lance en voie mouillée**

Le terme de porte-lance est généralement inadapté en voie mouillée car l'opérateur de projection, sauf pour les bétons de sable, porte rarement la lance (très lourde). On a très souvent recours à l'emploi de robot ou bras manipulateur.

L'opérateur n'intervient pas sur la composition du béton en place (le E/C est conditionné par la formule initiale du béton malaxé).

Il doit avoir une parfaite maîtrise de la conduite du bras à l'extrémité duquel est fixée la lance dont il commande à distance la position et l'orientation par rapport au support. Il n'a pas d'action possible sur les mouvements de rotation ou de balayage de la lance.

**Son rôle est particulièrement déterminant en cas de présence d'armatures ou de cintres.** Leur bon enrobage est quasiment impossible à obtenir depuis la cabine de pilotage. Il est nécessaire d'utiliser le boîtier de commande à distance en se positionnant de façon à avoir une vue directe sur le point d'impact du jet de projection.

### **2.3.6 Récapitulatif des spécificités de la projection par voie mouillée à flux dense**

#### **Béton véhiculé par pompage**

- Pas de poussières à la machine
- Pas de précaution particulière pour la protection des granulats contre l'humidité
- Teneur en eau théoriquement régulière (le porte lance ne l'influence plus) mais il reste le problème d'une présence d'eau résiduelle dans la cuve du camion de transport de béton.
- Frottement important dans la conduite : transfert sur de grandes distances difficile (environ 300 m maximum avec une composition bien adaptée et une machine de forte puissance ; nécessité de précautions particulières dès 100 m). Au-delà de 300 m, nécessité d'une étude spécifique pour vérifier la faisabilité.
- Pression importante dans les conduites : pouvant atteindre 50 à 100 bars (risque d'éclatement)
- Tuyau rempli de béton : lourd à manipuler
- Formulation exigeant une mise au point rigoureuse (plasticité, fluidité) et une régularité de la consistance

#### **Vitesse réduite dans le jet**

- peu de poussière à la lance
- peu de pertes par rebonds (économie de matériaux)
- peu de rebondissement de gros granulats, gênant le porte lance
- peu de modification de composition avant et après projection
- limitation du rayon d'impact des risques de nuisance sur l'environnement lors de la projection
- possibilité de projeter sur un support fragile ou à faible cohésion
- limitation du compactage
- adhérence au support faible (quasiment toujours inférieure à 1,5 MPa)
- enrobage délicat à l'arrière des armatures (à cause du raidisseur, mais même sans raidisseur car la vitesse du jet est faible)
- retombées contenant du ciment avec raidisseur, difficiles à évacuer.

### Comportement de la couche de béton

- emploi quasi obligatoire d'un accélérateur ou d'un raidisseur (sauf pour un béton de sable projeté en faible épaisseur) dont l'emploi et le dosage ont une influence directe ( $\pm$  forte) sur la résistance finale du béton (à vérifier lors des essais de convenance),
- si nécessité de faire plusieurs passes pour obtenir une couche épaisse, attention au phénomène de feuilletage<sup>2</sup> (avec un accélérateur, en une couche, on peut mettre en place jusqu'à 30 cm de béton en piédroit et plus de 20 cm en voûte),
- dosage en fibres du béton en place proche du dosage initial,
- nécessité d'un dosage initial en ciment élevé (minimum 400 kg/m<sup>3</sup>) entraînant un retrait important,
- mise au point délicate pour la projection de béton haute performance,
- pas d'influence du porte-lance sur le dosage de l'eau.
- Empatement des armatures créant des phénomènes d'ombre.
- Retrait deux fois plus important qu'en voie sèche (cf thèse de Sylvie Gérome en 2003)

### Matériels de projection

- existence de machines puissantes permettant des débits élevés (jusqu'à 20 m<sup>3</sup>/h avec robot de projection)
- nécessité d'un compresseur d'air comprimé (mais deux fois moins puissant qu'en voie sèche à débit égal) à coupler avec la pompe à béton et parfois avec un bras robot.
- utilisation indispensable d'un stabilisateur pour permettre un temps d'utilisation suffisant du béton gâché, sinon nettoyage nécessaire à chaque arrêt de projection – au bout d'un quart d'heure en cas de température élevée...

---

<sup>2</sup> Le phénomène de feuilletage correspond à une mauvaise liaison entre des couches mises en place successivement. Ce phénomène intervient dès qu'on projette du béton frais sur du béton durci, qu'il soit durci naturellement ou artificiellement par un raidisseur (attention au dosage excessif ou à un temps trop long avant recouvrement). Chaque fois que l'on projette du béton frais sur du béton durci, il est toujours nécessaire de faire une préparation de surface pour éviter le feuilletage (cf § 3.4.2).

## **2.4 Domaines d'utilisation des deux grandes méthodes de projection**

La projection par voie sèche est d'utilisation très nettement antérieure à la voie mouillée. Cette dernière n'est véritablement apparue que dans les travaux souterrains mettant en œuvre la nouvelle méthode autrichienne (années 50).

Les améliorations successives apportées aux différents matériels ont permis de limiter les écarts entre les deux méthodes. La qualité des résultats obtenus par voie sèche reste néanmoins supérieure à celle obtenue par voie mouillée (cf : thèse de Sylvie Gérôme en 2003).

La délimitation entre les différents domaines d'application varie selon les critères que l'on désire retenir : qualité du béton, facilité de mise en œuvre, expérience de l'entreprise, qualification des équipes, cadence de production, ouvrage permanents ou temporaires.

### **2.4.1 Domaines exclusifs de la voie sèche**

Elles recouvrent les domaines où la qualité du béton, la compacité, l'adhérence et la limitation du retrait sont prépondérants :

- ✓ réparations et renforcement de structures,
- ✓ réalisation de voiles minces avec armatures,
- ✓ projection de béton réfractaire,
- ✓ rejointoiement de maçonneries à joints larges et profonds,
- ✓ protection immédiate de terrain avec activité discontinue et volume unitaire restreint (blindage de puits, de tunnel, plots alternés en soutènement, reprise en sous-œuvre).

### **2.4.2 Domaines où la voie sèche est prépondérante**

Les possibilités de grande distance de transfert, la maniabilité des tuyaux, la compacité du béton projeté par voie sèche permettent :

- ✓ la projection en falaise,
- ✓ la réalisation de soutènements : parois clouées, parois berlinoises,
- ✓ la rénovation d'ouvrages souterrains (route, voie ferrée, exploitation minière, canal),
- ✓ la projection de béton haute performance ou R.I.G.

### **2.4.3 Domaines exclusifs de la voie mouillée**

- ✓ travaux en espace très confiné sans possibilité de ventilation (galerie de faible section, galerie hydraulique, collecteur d'assainissement visitable),
- ✓ projection de béton de sable (renforcement en assainissement),
- ✓ nécessité de fort débit (12 m<sup>3</sup>/h ou plus)

### **2.4.4 Domaines où la voie mouillée est prépondérante**

- ✓ projection sur support fragile (textile, coffrage carton, terrains sableux en tunnel),
- ✓ soutènement en tunnel nécessitant des cadences importantes de projection (> 6 m<sup>3</sup>/h),
- ✓ rejointoiement de maçonneries avec joints étroits (inférieur à 1 cm) ; nécessité d'une machine à débit variable en continu.



### **2.4.5 Domaines communs aux deux méthodes**

Travaux où la résistance  $\leq 25$  MPa et l'adhérence  $\leq 0,8$  MPa

- ✓ tunnels,
- ✓ protections de berges et de perrés,
- ✓ construction de bassins, piscines, réservoirs, habitations,
- ✓ voile de renforcement de murs en maçonneries.

### **2.5 Voie sèche – voie mouillée : comment choisir ?**

Avant de choisir une méthode, il est utile de se poser les questions suivantes :

- Type de travaux ?
- Qualités de béton exigées ?
- Nature du support ?
- Ferrailage ?
- Géométrie de l'ouvrage et accessibilité ?
- Exigences en matière de sécurité et d'hygiène ?
- Exigences en matière de délai, de cadence de production, de débit instantané ?

L'influence des réponses à ces questions fait l'objet des paragraphes suivants. Il est fréquent d'être confronté à des contradictions et le choix final nécessitera souvent de préciser les facteurs prioritaires.

Les réponses sont formulées avec VS pour voie sèche, VM pour voie mouillée

#### **2.5.1 Influence du type de travaux**

Les travaux rentrent-ils dans une catégorie pour laquelle l'une ou l'autre des méthodes est quasi imposée ? Voir paragraphe ci-dessus.

#### **2.5.2 Influence des qualités exigées pour le béton**

- Compacité élevée : VS

- Forte adhérence au support : VS
- Forte résistance à 7 et 28 jours : VS plutôt que VM
- Résistance aux jeunes âges : VS en attendant évolution technologique VM
- Durcissement rapide pour application de couche épaisse : VS ou VM
- Durabilité élevée : VS plutôt que VM
- Résistance au gel-dégel : VS
- Limitation de la fissuration de retrait : VS

### **2.5.3 Influence de la nature du support**

- paroi ou support rigide (naturelle ou artificielle) : VS ou VM
- support souple ou déformable, fragile : VM plutôt que VS
- paroi susceptible d'être le siège de venues d'eau : VS plutôt que VM

### **2.5.4 Influence du ferrailage**

- faible densité de ferrailage : VS ou VM
- densité élevée de ferrailage : VS
- incorporation de fibres dans le mélange : VS ou VM mais pertes élevées en VS nécessitant des exigences accrues sur les fibres employées.

### **2.5.5 Influence de la géométrie de l'ouvrage et de son accessibilité**

- grande distance entre point de projection et chargement de la machine : plutôt VS dès que distance > à 100 m ; VS si distance > à 300 m
- altitude de la zone à projeter par rapport à celle de la machine : plutôt VS que VM au-delà de 20 m de dénivelée (sinon nécessité de matériels spécifiques)
- travaux sur échafaudage ou nacelle : VS (poids élevé du tuyau plein en VM)
- impossibilité d'installation des matériels à proximité immédiate du lieu de projection : VS plutôt que VM dès que distance > 100 m
- contrainte de gabarit des matériels : machines VS plus petites que VM

### **2.5.6 Influence des sujétions en matière d'hygiène et de sécurité**

- milieu ouvert : VS ou VM
- milieu confiné : VM ou VS avec dispositif de captage des poussières à la projection.
- Se reporter au fascicule « recommandations pour l'hygiène et la sécurité » (sur le site ASQUAPRO [www.asquapro.asso.fr](http://www.asquapro.asso.fr) )

### **2.5.7 Influence des exigences en matière de délai, de production et de débit**

- soutènement immédiat de tunnels de grande section avec volume de projection important : VM avec robot
- projection incorporée dans un cycle limitant les quantités unitaires de travaux, par exemple : blindage de tunnel, de puits, travaux de soutènement par plots alternés, paroi clouée ou berlinoise : plutôt VS

- travaux en petite galeries : VM (béton de sable)

## **2.6 Voie sèche – voie mouillée : quelles épaisseurs maximales ?**

Le principe de mise en place et de constitution de la couche fait appel à la cohésion du béton frais. Dans tous les cas, le rapport cohésion/poids du béton doit être en faveur de la cohésion. C'est ce qui conduit aux règles énoncées ci-après.

### **2.6.1 Voie sèche**

Pour une formulation sans adjuvant raidisseur, il est admis :

Projection sur surface verticale : l'épaisseur de la couche est limitée à 15 cm. Au-delà il y a fluage du béton frais sous son poids propre.

Projection en plafond : sur support fixe, l'épaisseur de la couche est limitée à 4 cm. Au-delà il y a sollicitation de la cohésion, sans forcément chute du béton mais cela nuit à sa résistance. En cas de vibration du support (par exemple sous-face de dalle sous circulation), l'épaisseur en plafond est limitée à 3 cm.

L'étude d'une formulation avec adjuvant raidisseur ou accélérateur peut permettre d'augmenter ces limites d'épaisseur.

Les adjuvants alcalins à base d'aluminates ou de silicates de sodium ne doivent pas être utilisés (penser à les interdire explicitement dans les C.C.T.P). Ils présentent des risques importants pour la santé des utilisateurs et pour l'environnement ; ils réduisent fortement les résistances du béton à moyen et long terme ; ils apportent des alcalins supplémentaires (bilan des alcalins vis-à-vis de l'alcali-réaction). On doit utiliser exclusivement des adjuvants non-alcalins.

Quelque soit la nature et le type de l'adjuvant, son efficacité est directement liée à la température du support et de l'air lors de la projection. Il est admis que pour une température inférieure à 15°C, l'efficacité des adjuvants et raidisseurs est fortement diminuée. En fonction de la température, il est proposé de retenir les règles suivantes :

- |  |   |
|--|---|
| Si $T > 25^{\circ}\text{C}$ -                      | L'épaisseur sur surface verticale est limitée à 25 cm.<br>L'épaisseur en plafond est limitée à 12 cm. |
| Si $20^{\circ}\text{C} > T > 25^{\circ}\text{C}$ - | L'épaisseur sur surface verticale est limitée à 20 cm.<br>L'épaisseur en plafond est limitée à 8 cm.  |
| Si $15^{\circ}\text{C} > T > 20^{\circ}\text{C}$ - | L'épaisseur sur surface verticale est limitée à 15 cm.<br>L'épaisseur en plafond est limitée à 6 cm.  |
| Si $T < 15^{\circ}\text{C}$ -                      | L'épaisseur sur surface verticale est limitée à 15 cm.<br>L'épaisseur en plafond est limitée à 5 cm.  |

### **2.6.2 Voie mouillée**

On peut, là aussi, utiliser une formulation avec ou sans adjuvant raidisseur ou accélérateur. On doit également utiliser exclusivement des produits non-alcalins.

Les valeurs limites d'épaisseur sont identiques à celles indiquées en voie sèche dans les mêmes conditions.

### 2.6.3 Remarques pour les deux méthodes

En cas d'emploi d'adjuvant raidisseur ou d'accélérateur, il faut tenir compte de la difficulté d'enrobage des armatures (voir le paragraphe 6.8).

D'autre part, si la présence d'armatures peut améliorer la cohésion du béton, elle ne peut ni ne doit reprendre le poids du béton, moins encore pour une projection en plafond.

## 3 PREPARATION DES SUPPORTS

### 3.1 Prescriptions générales

Le support ou la paroi doivent généralement faire l'objet d'une préparation avant la projection, qu'elle soit effectuée par voie sèche ou par voie mouillée.

L'objectif est d'obtenir une surface de réception stable, sans poussière et sans arrivée d'eau importante pouvant empêcher la tenue du béton projeté. Dans le cas de venues d'eau importantes il est nécessaire de limiter, voire d'arrêter ces venues d'eau par des techniques d'injection, d'étanchement, de colmatage, ... , de façon à pouvoir procéder à la projection dans de bonnes conditions. Toutefois, lorsque les venues d'eau ne peuvent être stoppées, il est possible – dans certaines limites – de projeter en présence de venues d'eau, sous réserve d'utiliser les techniques de drainage et les adjuvants appropriés (à valider lors des essais de convenance).

#### 3.1.1 Humidification du support

Les supports susceptibles d'absorber l'eau du béton frais doivent au préalable être humidifiés en profondeur.

Pour la voie sèche l'humidification est effectuée avant la projection, par soufflage d'air avec ajout d'eau à la lance de façon à produire une brumisation qui favorise la pénétration de l'eau dans le béton.

Pour la voie mouillée l'humidification est effectuée par un arrosage préalable

En période de forte chaleur, de forte ventilation ou dans le cas de supports poreux, plusieurs opérations successives d'humidification sont nécessaires.

**Le béton est ensuite projeté sur une surface humide mais non ruisselante. Son aspect est alors mat.**

#### 3.1.2 Etudes préalables

Dans un certain nombre de cas, qui seront développés dans les paragraphes suivants, il est nécessaire de réaliser avant projection une étude préalable. Le terme « étude » est pris ici dans un sens très large et ne correspond pas uniquement à l'exécution d'éventuels calculs de dimensionnement mais à l'ensemble de la mise au point du projet (investigation et diagnostic, phasage et mise en sécurité pendant les travaux, choix de la méthode, choix des matériaux, formulation, essais de faisabilité éventuels, exigences concernant la qualification du personnel, définition des responsabilités s'il y a lieu, exigences concernant les contrôles, etc.).

#### 3.1.3 Réception du support

L'état de surface à obtenir avant projection ainsi que les caractéristiques physiques et géométriques (ondulations, rugosité, planéité) peuvent être très variables selon la destination de l'ouvrage en béton.

**La mise en état de recette du support ou de la paroi doit constituer un point d'arrêt.** Il est levé par examen visuel soit de l'ensemble de la paroi, soit par parties d'ouvrages, soit encore à la suite d'une planche d'essai de convenance.

Compte tenu du grand nombre de types de supports ou de parois et des différentes technologies de préparation impliquant des mises en œuvre parfois très spécialisées, il est souhaitable, dans le cadre d'un marché, d'individualiser les prescriptions concernant la prestation « préparation du support » par rapport à celles de la projection et de prévoir une procédure de réception du support.

### **3.2 Coffrages perdus**

Dans ce cas, Les matériaux utilisés ne doivent pas être préjudiciables à la tenue de l'ouvrage. Il importe donc de vérifier qu'il n'y a pas de risque d'agressions chimiques ou bactériennes, en provenance de bois traités, de fibres végétales, de tissus...

Les paragraphes suivants donnent des conseils adaptés à ces différents types de support.

#### **3.2.1 Coffrages rigides non métalliques**

Ils peuvent être en bois : planches, panneaux de particules, contreplaqué, en matériaux de synthèse : polystyrène ou polyuréthane expansé par exemple.

Ces matériaux doivent être humidifiés avant projection.

#### **3.2.2 Coffrages rigides métalliques**

Ce sont les tôles perforées, nervurées ou non (blindage de haut-fourneau, blindage en souterrain : tunnel ou puits) et les palplanches.

En présence de tôle lisse, il est généralement nécessaire de les équiper d'excroissances ou de picots afin de permettre l'accrochage du béton à court et à long terme.

Ces supports doivent être nettoyés de manière à être exempts de graisse et de particules de rouille non adhérentes. Ils ne doivent pas être humidifiés.

#### **3.2.3 Coffrages souples**

Différents types de matériaux peuvent être employés : métal déployé à petites mailles, carton armé de treillis, treillis métalliques ou synthétiques à petites mailles, assemblage de roseaux ligaturés (canisses), treillis céramique, géotextiles, polyuréthane, membranes gonflées ou tendues...

Ces supports permettent la construction de formes géométriques diverses avec des surfaces à simple ou double courbures (silos, réservoirs, piscines, bassins). Ils peuvent être aussi utilisés, le cas échéant, pour limiter localement des hors profils.

Ces supports sont relativement fragiles.

Pour une projection par voie mouillée, la 1<sup>ère</sup> couche doit avoir une granularité limitée à celle d'un mortier (5 mm).

Pour une projection par voie sèche, il est nécessaire de réaliser une première couche mince (environ 1 cm) destinée à fermer et rigidifier le support. Cette couche est projetée avec une faible énergie d'impact (diminution du débit d'air et/ou augmentation de la distance lance - support). On utilise le mélange approvisionné pour le béton de structure afin d'éviter d'avoir deux mélanges différents sur le chantier.

Pour les deux modes de projection, en cas d'utilisation de support de maille  $> 10$  mm, il est nécessaire de le doubler afin d'éviter l'effet de filtre.

### 3.2.4 Mise en place des coffrages

Les supports doivent être fixés et étayés solidement en vue d'éviter leur déformation ou leur basculement lors de la projection, ainsi que les phénomènes vibratoires qui augmentent le pourcentage des pertes.

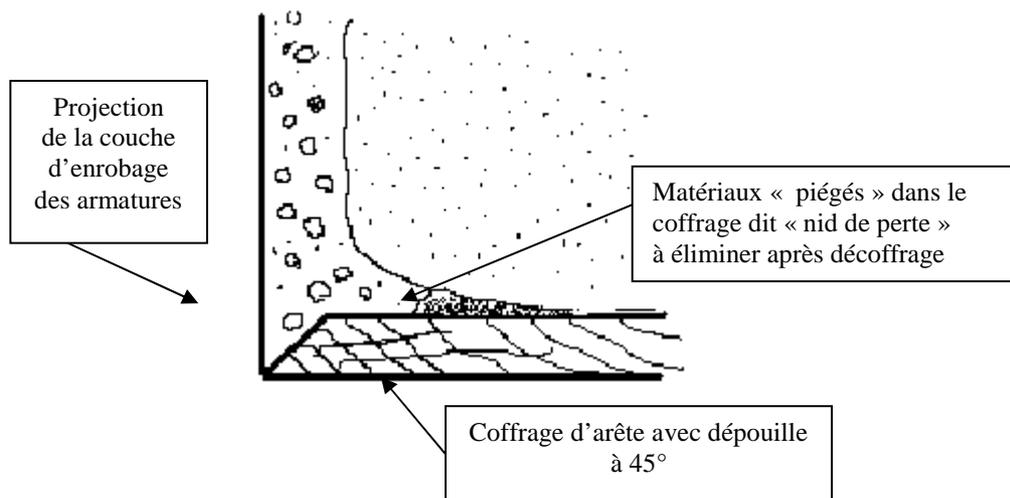
Les étalements et fixations doivent être conformes à la réglementation en vigueur et peuvent faire l'objet de calculs justificatifs de dimensionnement dans un certain nombre de cas :

- Assemblage de cintres et de tôles de blindages en souterrain (galeries et puits)
- Coffrage en élévation
- Fixation et maintien de coffrage souple à partir d'un réseau d'armatures positionné à titre définitif avant la projection
- Fixation provisoire sur des éléments des échafaudages mis en place pour réaliser les travaux de préparation du support, de ferrailage et de projection.
- La conduite de la projection doit être adaptée à la présence de coffrages (voir § 6).

### 3.2.5 Coffrage des arêtes

Lorsqu'il est nécessaire de mettre en place un coffrage pour bien délimiter une ou des arêtes, le risque est de créer des « nids de pertes ».

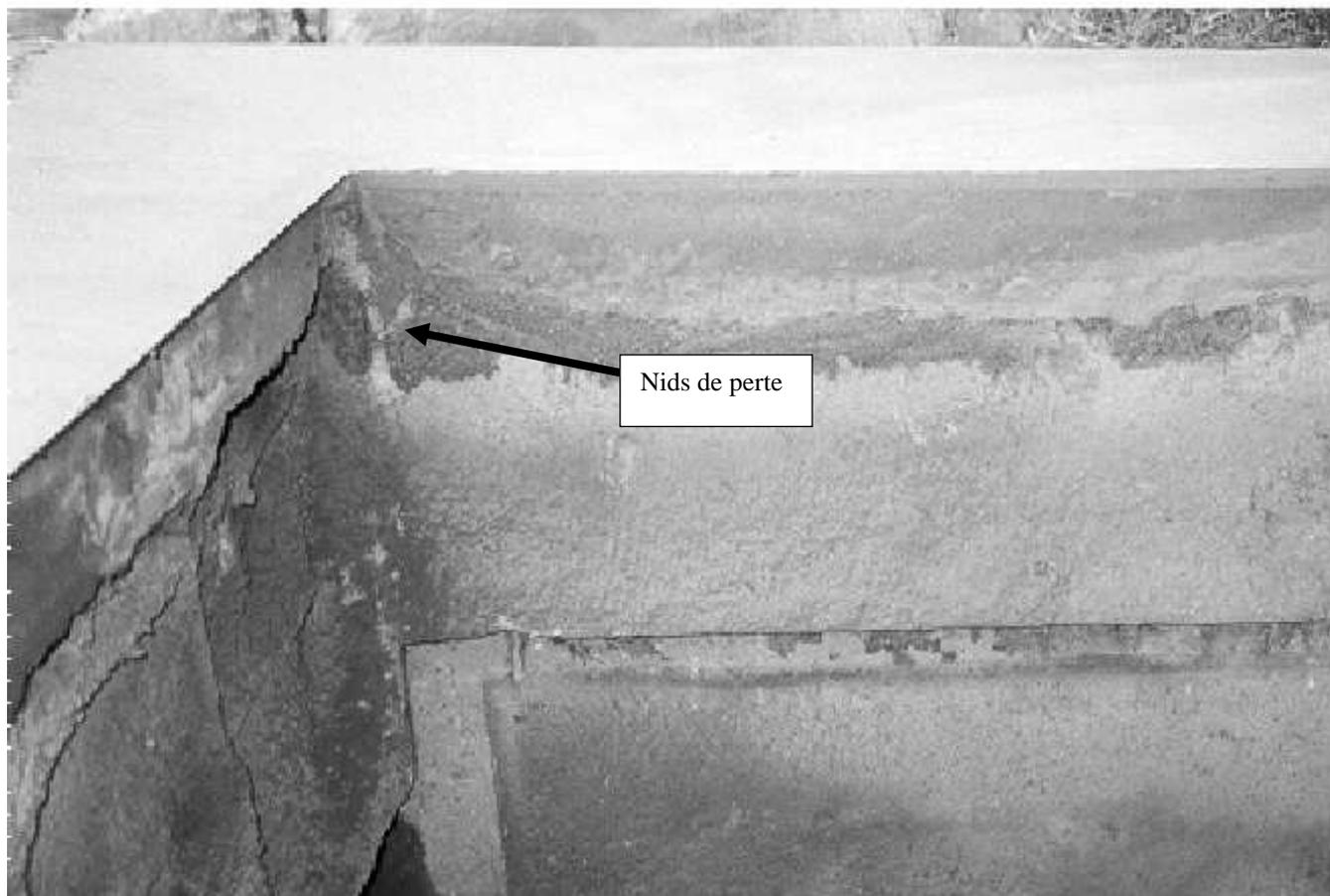
Un nid de pertes, parfois appelé « arête sableuse », se présente comme un agglomérat très poreux de gravillons, mais surtout de sable et de particules de ciment mal hydratées. Il se localise dans l'arête du dièdre et sur la face latérale coffrée.



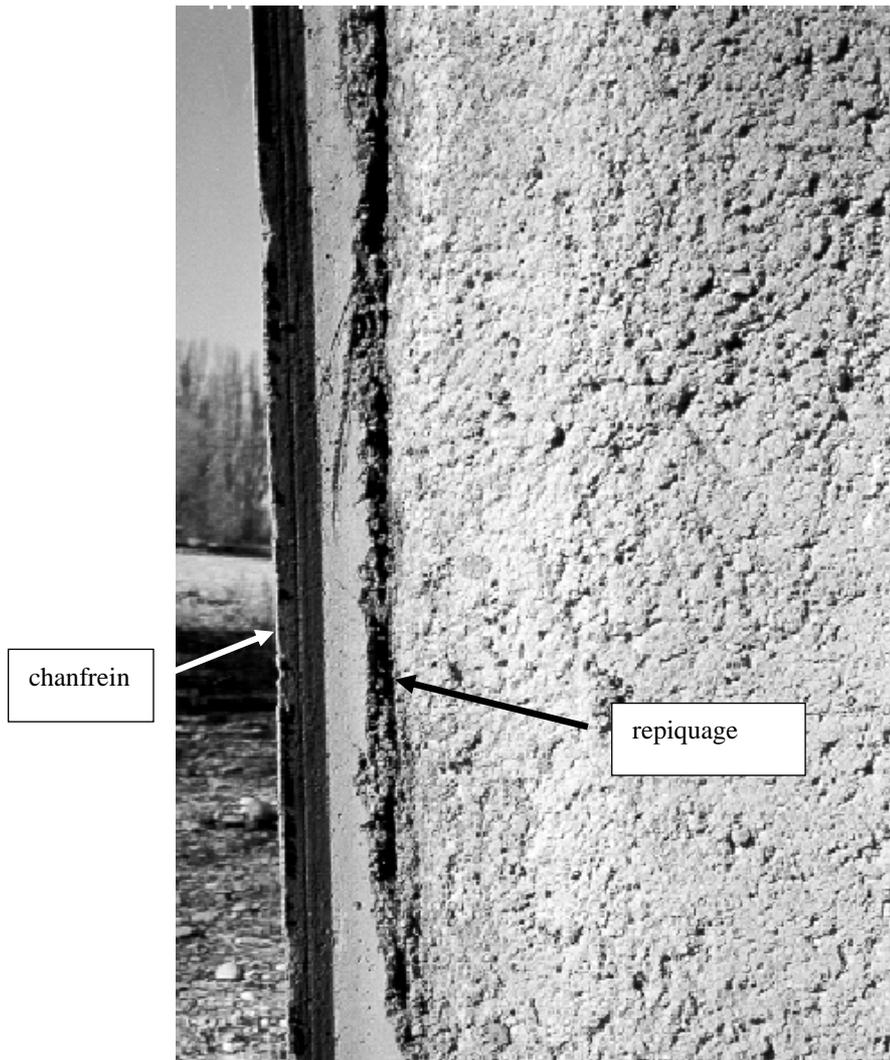
Ce phénomène est dû à l'épanouissement latéral du jet de projection, généralement normal à la paroi, qui entraîne les éléments fins et les piège contre le coffrage d'arête.

Cette hétérogénéité localisée du béton en place se caractérise toujours par un important manque de liant. Elle doit être éliminée par brossage, repiquage ou sablage.

Pour éviter la formation des nids de pertes, les coffrages d'arêtes ne sont mis en place qu'au moment de la projection de la couche d'enrobage des armatures. Ils doivent être solidement fixés et disposés de manière à permettre le bon enrobage des armatures. Leur disposition doit être définie lors de l'étude préalable, en particulier pour les travaux de réparation et de renforcement de poutre ou de pilier en béton ou en maçonnerie. Les méthodes particulières de mise en œuvre du béton sont développées dans le paragraphe (voir § 6.7)



*Nids de pertes visibles après décoffrage de l'arrête*



*Etat de surface après repiquage des nids de pertes  
On distingue également en noir le chanfrein à 45° du coffrage d'arrête*

### 3.3 Parois existantes

#### 3.3.1 Parois rocheuses recevant un béton de protection

Cette rubrique concerne les falaises, talus routiers ou ferroviaires, berges de canaux qu'il est nécessaire de protéger contre les actions météoriques créatrices d'érosion.

Sont également concernées les parois d'excavation en souterrain recevant une « membrane protectrice » ou une « couche de confinement » [AFTES, 2001].

Dans ces cas, il est souvent nécessaire d'obtenir une bonne adhérence au support. La surface rocheuse doit donc être :

- préalablement purgée de ses éléments les plus instables,
- exempte de végétation,
- dégagée des zones argileuses ou terreuses,
- humidifiée avant projection.

Le béton projeté de protection n'étant pas, dans ce cas, considéré comme un soutènement, aucune étude de dimensionnement n'est requise. Toutefois, un examen visuel détaillé peut être nécessaire afin de s'assurer de l'état d'altération de surface des terrains rocheux à protéger.

Dans le cadre de leur mise en état de recette avant projection, certaines parois rocheuses peuvent nécessiter des mesures particulières, par exemple :

- la couverture par grillage ou filet métallique de blocs instables trop dangereux à purger avant mise en œuvre de la projection,
- drainage des venues d'eau diffuses,
- captage des venues d'eau importantes.

### **3.3.2 Parois rocheuses recevant un béton de soutènement**

Cette rubrique concerne :

- les soutènements temporaires ou permanents pour des talus rocheux terrassés en déblais ou remblais (talus d'autoroute, de voie ferrée, de plate-forme industrielle)
- les soutènements temporaires ou permanents sur parois rocheuses en souterrain (tunnel, puits, cavités)
- les soutènements temporaires ou permanents dans le cadre d'ouvrages de type bassin, piscine, parking souterrain, etc.
- le confortement de tunnels non revêtus (associé à du boulonnage)

Dans ces types de soutènement, le béton projeté est associé soit à des ancrages métalliques ou composites (parois clouées), soit à des profilés métalliques (tubes, poutrelles pour paroi berlinoise), soit à des cintres, des armatures ou treillis métalliques éventuellement associés à des boulons d'ancrages (travaux souterrains). On se reportera, pour les prescriptions particulières de mise en œuvre, aux documents produits par l'AFTES ou par le projet national CLOUTERRE.

Le paramètre « qualité de l'adhérence au support » n'est pas prépondérant, mais l'objectif recherché reste cependant l'obtention d'un contact béton - paroi le plus homogène possible.

En règle générale, il est recommandé de traiter la paroi dans les délais les plus brefs après le terrassement, si besoin par projection d'une première passe de confinement.

La préparation d'un terrain fraîchement excavé se limite à :

- une purge des éléments instables,
- une humidification en fonction de la nature et de l'état des matériaux.

Si le déroctage est ancien, en cas d'altération de surface, un décapage complémentaire (balayage, soufflage) peut s'avérer nécessaire pour nettoyer la paroi avant humidification.

L'état de la paroi doit faire l'objet d'un examen détaillé, en particulier en cas de venue d'eau.

### 3.3.3 Parois en terrain meuble recevant un béton de protection ou de soutènement

De manière identique aux parois rocheuses, la préparation des parois en terrain meuble recevant un béton de protection ou un soutènement provisoire ou définitif suppose :

- la purge des éléments instables,
- une humidification préalable adaptée aux caractéristiques des sols à soutenir.

**Dans certains terrains de tenue très médiocre, il est nécessaire de projeter immédiatement une peau de confinement directement sur la paroi « brute d'excavation » pour éviter la décohesion à court terme du terrain.**

### 3.3.4 Parois en maçonnerie ou en béton utilisées comme coffrage

Lorsque la paroi est utilisée comme coffrage pour la construction d'une structure neuve accolée à la paroi existante, les travaux préparatoires se résument :

- à l'enlèvement de la végétation,
- à la fermeture éventuelle de cavités existantes à l'aide de matériaux autres que le béton projeté,
- au captage ou drainage de venues d'eau éventuelles,
- à l'humidification.

## 3.4 Support en maçonnerie ou en béton destinés à être réparés ou renforcés

En cas de réparation ou renforcement, la qualité de l'**adhérence** au support est recherchée, quels que soient l'épaisseur et le ferrailage de la couche de béton à mettre en œuvre. Ceci impose d'adapter les technologies de décapage, démolition ou rescindement (démolition jusqu'à une profondeur déterminée) au comportement physique et mécanique des matériaux servant de support : certains procédés mettant en œuvre la percussion (bouchardage mécanique, BRH) sont considérés comme préjudiciables car générant des microfissures dans la masse et fragilisant le support. L'alternative consiste alors à utiliser le sablage, le fraisage, la percussion par moyens manuels ou encore l'hydrodémolition ou l'hydrodécapage.

**Cette phase préparatoire est déterminante pour la qualité finale des travaux.**

### 3.4.1 Supports en maçonneries

Lorsque la maçonnerie doit être protégée, réparée ou renforcée, les travaux préparatoires comportent :

- l'enlèvement des enduits dégradés et de la végétation
- le repiquage des parties friables des pierres et des joints
- le rejointoiement des joints en mauvais état (en cas d'instabilités locales de la maçonnerie))
- le dégagement et la préservation des barbacanes existantes,
- le comblement de cavités existantes ou résultant du traitement préalable
- le décapage à l'eau sous pression (au moins 250 bars) ou à l'aide d'un sablage
- le traitement des venues d'eau éventuelles (colmatage ou drainage)
- l'humidification du support.

### 3.4.2 Supports en béton (coulé ou projeté)

La mise en état de recette comporte :

- l'enlèvement des parties dégradées,
- le dégagement des aciers,
- l'enlèvement de la rouille non adhérente,
- le sablage, l'hydrosablage ou le décapage à l'eau à haute pression jusqu'à apparition des grains de sable du mortier,
- le traitement des venues d'eau éventuelles,
- l'humidification du support.

### 3.4.3 Reprise entre couches

**Lorsque la projection s'effectue en plusieurs couches, il est indispensable d'effectuer une préparation de la sur face de reprise pour éviter le phénomène de délaminage entre couches (feuillette).**

Suivant la méthode de projection, cette opération présente plus ou moins de difficultés :

- ✓ Pour la projection voie sèche, l'opération est relativement simple et doit être réalisée à la fin du poste de projection et non au moment de son redémarrage : il faut simplement tenir compte du délai dans lequel s'effectue la préparation. Il faut laisser le béton commencer à raidir puis éliminer la couche de laitance qui ferme naturellement le parement en fin de projection. Deux cas de figure se présentent :
  - L'arrêt de projection correspond au plan des armatures ou en l'absence d'armatures : on effectue une scarification de la surface avec un balai à poil dur ;
  - Sinon : on effectue un hydrodécapage en utilisant la lance de projection par association des débits d'air et d'eau.

Attention : le délai pour réaliser ces opérations peut être faible en période chaude : moins de 2 heures pour des températures supérieures à 35°C ; il peut aller jusqu'à 3 ou 4 heures pour des températures plus basses.

En cas de délai supérieur, pour obtenir une épaisseur finale homogène, il faut une intervention mécanique par sablage léger. Un essai de convenance par hydrodécapage à haute pression (minimum 250 bars) est envisageable mais cette méthode risque d'être soit insuffisante, soit au contraire trop agressive. Sans élimination de la couche de surface, l'adhérence entre couche est faible (0,5 à 0,8 MPa) voire nulle.



*Préparation pour reprise entre couches par scarification de la surface au balai à poil dur, on distingue la différence d'aspect, brillant après projection à gauche, mat après scarification à droite*

- ✓ Pour la voie mouillée, la préparation de la surface de reprise est fonction du type de raidisseur employé et de son dosage. Dans tous les cas, le délai est très court (largement inférieur à 1 h). Pour des températures supérieures à 20° C, il est pratiquement impossible de faire une préparation de surface par scarification. Il est impératif de réaliser un sablage, sinon l'adhérence sera quasi nulle (feuilletage). L'utilisation de l'hydrodécapage est envisageable dans les mêmes conditions que pour la voie sèche.

### 3.5 Promoteur d'adhérence

La question est souvent posée d'utiliser un promoteur d'adhérence pour permettre ou améliorer la liaison à l'interface support / béton projeté.

Les produits existant sont tous à base de matières organiques synthétiques, applicables à la brosse ou au pinceau. Chaque produit a un temps d'ouverture pendant lequel il est possible de mobiliser un collage. Ce temps dépend du produit et des conditions d'application.

Ce temps d'ouverture est généralement trop court pour permettre une projection dans les délais requis. Le collage n'est alors plus efficace et l'effet obtenu est l'inverse de celui souhaité.

Le retour d'expérience d'emploi d'un promoteur d'adhérence montre dans la plupart des cas un échec qui se traduit toujours par une absence totale d'adhérence.

Différents essais réalisés pour améliorer l'adhérence montrent que la meilleure efficacité est obtenue par la couche de laitance de ciment constituée naturellement lors de la projection par voie sèche.

L'illustration ci-dessous montre un décollement généralisé d'un renforcement de voile par du béton projeté où un promoteur d'adhérence de type résine époxy a été utilisé.



*Vue générale et détail d'une rupture d'adhérence après utilisation non maîtrisée d'un promoteur d'adhérence. La résine époxy apparaît en marron sur la vue de droite.*

## 4 ARMATURES, RENFORCEMENT ET INCLUSIONS

### 4.1 Types

#### 4.1.1 Armatures structurelles

Les armatures structurelles dans le béton projeté ont le même rôle que dans le béton armé coulé. Elles participent à la reprise des efforts, que ce soit en phase provisoire ou en phase définitive. Le dimensionnement doit respecter les textes en vigueur (se reporter au fascicule « Etat de l'Art sur le dimensionnement »).

**Il est déconseillé d'utiliser des barres de diamètre supérieur à 25 mm.** Mieux vaut augmenter le nombre de barres et réduire leur diamètre. L'emploi de barres d'un diamètre supérieur à 25 mm nécessite la réalisation d'essais de faisabilité et la mise au point d'une procédure spécifique de projection.

Pour le renforcement de structures en béton armé, les armatures sont façonnées à la demande. Leur mise en place nécessite une grande rigueur de pose. Elles doivent respecter les hypothèses prises en compte pour le calcul (hauteur des bras de levier, géométrie finale de l'ouvrage renforcé et donc poids propre pris en compte dans le dimensionnement).

Pour les parois clouées, on utilise couramment des treillis soudés standards. Cependant, quand il est nécessaire de reprendre des efforts ponctuels importants ou d'assurer des liaisons fortes entre points d'appui (poutres de répartition pour mise en tension de tirants actifs, chaînages, poteaux et poutres incorporés dans les voiles), le treillis soudé est remplacé par des armatures traditionnelles.

#### 4.1.2 Profilés métalliques

Pour les soutènements de tunnels, on utilise des cintres de divers types en fonction des charges à reprendre :

- cintres lourds – type TH ou HEB
- cintres réticulés – pris en compte comme des armatures structurelles [TOS n°129].

Pour les parois berlinoises on utilise comme raidisseurs verticaux, des profilés en H, doubles I ou des tubes.

#### 4.1.3 Fibres

L'incorporation de fibres lors de la projection confère au béton frais des propriétés physiques et mécaniques spécifiques (amélioration de la cohésion et de la résistance au cisaillement contribuant à une meilleure tenue d'une couche de béton, homogénéité du renforcement).

Le phasage de la projection doit être prévu pour éviter les problèmes de reprises de bétonnage (voir fascicule « Etat de l'art sur le dimensionnement »).

Les fibres métalliques confèrent au béton durci un caractère ductile par leur rôle de reprise partielle des efforts de traction et de répartition de la fissuration (augmentation de la capacité portante grâce à la répartition des contraintes). **Elles peuvent être utilisées en substitution des armatures structurelles sous réserve de justification** (cf fascicule « Etat de l'art sur le dimensionnement »).

Les fibres synthétiques (polypropylène, polyamide, ...) sont généralement bien adaptées pour limiter la fissuration due au retrait. Certaines études montrent par ailleurs que les fibres polymères peuvent améliorer le comportement au feu du béton.

Les fibres en matériau inoxydable ou avec revêtement galvanisé peuvent être intéressantes dans certaines configurations très spécifiques (cf fascicule « Formulation »).

L'utilisation de fibres dans le béton projeté a fait l'objet d'une recommandation de l'AFTES [AFTES, 1994]. Des projets de normes européennes sont à l'état d'avant-projets soumis à enquête probatoire : Pr EN 14889 -1 pour les fibres métalliques, 14889-2 pour les fibres polymère.

#### **4.1.4 Aciers de précontrainte**

Pour certaines applications, il est possible de mettre en place des armatures de précontrainte, généralement sous forme de monotorons gainés graissés.

Comme pour le béton coulé, et conformément aux spécifications du fascicule 65, ces applications ne sont réalisables que par une entreprise agréée pour la mise en œuvre de la précontrainte.



*Réparation de dalles alvéolaires endommagées par un incendie*

#### **4.1.5 Armatures de répartition de la fissuration**

Dès que l'épaisseur de la couche de béton projeté dépasse 5 centimètres, il est recommandé de prendre des dispositions permettant de répartir la fissuration due au retrait.

On peut utiliser des armatures traditionnelles de petit diamètre (3 à 6 mm), des treillis soudés anti-fissuration ou des fibres ajoutées au mélange projeté.

S'il n'y a pas d'armature dans les 3 derniers centimètres de la couche de béton projeté, il est conseillé d'employer une formulation fibrée. Certaines fibres synthétiques (polypropylène, polyamide, ...) sont bien adaptées pour répartir la fissuration due au retrait. Les fibres métalliques conviennent également mais l'état de surface alors obtenu (fibres saillantes pouvant se corroder localement) n'est pas toujours acceptable.

#### **4.1.6 Connecteurs**

Ils assurent la liaison entre différents éléments de construction (structure additionnelle et l'ouvrage renforcé ; poteaux verticaux et voile béton d'une paroi berlinoise ; voûte et soutènement).

Ils sont constitués d'armatures façonnées à la demande, placées dans des forages et scellées ou soudées à des pièces métalliques.

Les conditions d'emploi des connecteurs sont fonction des valeurs d'adhérence du béton projeté sur son support (cf. Fascicule « Etat de l'art sur le dimensionnement »).

#### **4.1.7 Panneaux métalliques tridimensionnels**

Il existe des panneaux tridimensionnels obtenus par déploiement en largeur et en épaisseur de bandes métalliques (treillis JK). Ce produit présente plusieurs intérêts : apporter au béton un comportement ductile, matérialiser une épaisseur, faciliter la pose d'armatures en respectant un espacement défini même dans les zones courbes, apporter une cohésion au béton frais.

Il peut être utilisé dans des limites justifiées par référence à une étude expérimentale (comme autorisé par le BAEL article A.8.5).

#### **4.1.8 Grillages métalliques**

Les grillages, filets métalliques, métaux déployés plans ne peuvent pas être considérés comme des armatures ni structurelles, ni de construction. La souplesse de ces matériaux ne leur permet pas de reprendre des efforts importants.

Leur domaine d'emploi est limité à l'accrochage rapide sur un support fragile ou friable.

#### **4.1.9 Matériaux synthétiques**

Certains produits type « géogrille » (treillis à fils PVC, polyéthylène, polyamide, aramide, fibres de polypropylène, de polyamide, de carbone, d'aramide, etc.) peuvent être employés.

Leur dimensionnement et leurs conditions d'application doivent avoir fait l'objet d'une Etude de Technique Nouvelle (ETN) ou d'un avis technique.

#### **4.1.10 Pièces diverses**

Ce sont le plus souvent des pièces métalliques :

- plaques d'appui en tête d'ancrage passif
- corps ou « trompette » de tête de tirants d'ancrage (barre ou câble)
- capot de protection
- plaques de blindage
- liernes métalliques horizontales.
- pièces à sceller de piscine : skimmer, refoulement, bonde de fond, projecteur, hublot, jet, etc.
- tubes pour réservation ou passage de fluides.

Il peut également s'agir d'éléments de gros diamètre (barres d'ancrage ou tirants ; gaines de précontrainte). Ne pas dépasser 5 à 6 cm de diamètre et vérifier que l'inclusion pourra être correctement enrobée lors de la

projection (il faut une bonne accessibilité sur la totalité de sa circonférence). Pour des diamètres supérieurs il faut réaliser un essai sur maquette pour valider la procédure de projection.

## 4.2 Techniques de mise en œuvre des armatures

Deux techniques peuvent être utilisées :

- Le ferrailage préalable
- La projection préalable

### 4.2.1 Ferrailage préalable

La technique de « ferrailage préalable » consiste à placer la totalité de l'armature sur tout ou partie d'un ouvrage avant la projection du béton quelque soit le nombre de couches nécessaires à l'obtention de l'épaisseur finale.

**Elle s'applique aux travaux de renforcement pour lesquels le ferrailage est tridimensionnel et ne peut être mis en place par nappes successives. Dans les autres cas, on utilisera de préférence la méthode de « projection préalable ».**

Pour assurer l'adhérence au support, l'homogénéité du béton projeté et le bon enrobage des armatures, la technique du ferrailage préalable nécessite l'observation de règles spécifiques :

- mise en place d'entretoises entre nappes afin d'éviter les déformations sous le poids du béton frais et l'impact de la projection
- choix d'une granulométrie adaptée à la densité d'armatures (cf fascicule 4 sur la formulation)
- adaptation de la conduite de la projection à la densité du ferrailage
- soufflage des aéroportes<sup>3</sup> et des rebonds se déposant dans la zone de travaux et au large de celle-ci.

Le point le plus délicat est la conduite de la projection.

### 4.2.2 Projection préalable

La technique de « projection préalable » consiste à placer les armatures nappe par nappe après projection d'une couche de béton.

Elle s'applique pour les différents types de soutènements.

Pour respecter la disposition prévue pour les armatures et assurer le monolithisme de la couche de béton, la technique de la projection préalable nécessite le respect des règles spécifiques suivantes :

- contrôle de l'épaisseur de chaque couche de béton en tenant compte de la présence de recouvrement (entre barres verticales et horizontales ou panneaux de treillis soudés),
- contrôle de la planimétrie des différentes couches,
- mise en place de calages et de fixation des différentes nappes,
- traitement de la surface de reprise entre couches.

Le point le plus délicat est l'obtention du monolithisme (cf § 3.4.3).

<sup>3</sup>

éléments très fins produits par la projection et mis en suspension dans l'air

### 4.2.3 Fibres

Les fibres sont introduites en centrale dans le malaxeur à l'aide d'un dispositif (agréé par le fournisseur) évitant la formation d'oursins (groupement de fibres métalliques en plaquettes, système de démêlage, groupement en torons ou paquets pour les fibres synthétiques, ...).

## 4.3 REGLES DE POSE

L'enrobage et le recouvrement des armatures doivent être conformes aux règlements techniques en vigueur (fissuration préjudiciable ou non), ETN (étude de technique nouvelle), avis technique du CSTB.

Pour éviter les effets d'ombre et les défauts d'enrobage, il est nécessaire de prendre en compte pour la pose des armatures la spécificité de la projection du béton.

### 4.3.1 Fixation des armatures et treillis

En fonction de la souplesse de la nappe d'armatures ou de son poids, il est nécessaire de mettre en place un minimum de fixations (de 2 à 6 unités par mètre carré).

Leur fonction est triple :

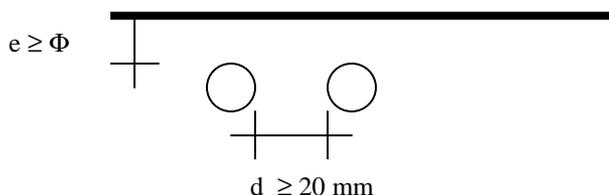
- empêcher la vibration des armatures sous l'impact de la projection,
- reprendre le seul poids propre des armatures (le poids du béton est repris par son adhérence au support et sa cohésion à l'état frais).
- éviter les déformation des armatures sous le poids du béton frais.

Ces fixations sont des aciers scellés ou battus (6 à 8 mm), des chevilles, des aciers en attente incorporés à une précédente couche, des équerres métalliques... Les dispositions de forage et de scellement des aciers sont fonction du type et de la nature du produit utilisé (se reporter au cahier des charges du fournisseur). En souterrain, il est possible d'utiliser les têtes d'ancrage mais leur densité n'est généralement pas suffisante.

### 4.3.2 Espacement entre support et armatures

**En règle générale, les armatures doivent être décollées du support d'une valeur au moins égale à leur diamètre.**

Lorsque le ferrailage ne comporte qu'une nappe, l'espacement entre deux barres doit être au moins égal à 20 mm.



Lorsque des contraintes de géométrie (couches armées minces) empêchent de respecter simultanément l'épaisseur d'enrobage et l'espacement minimal requis entre le support et l'armature, il est alors préférable de plaquer l'armature à la paroi réceptrice. Dans ce cas, l'enrobage de l'armature au contact du support est assuré par un mortier très riche en ciment (enrichissement au contact du support).

Lorsque les armatures sont à plus de 3 cm de profondeur du parement, elles ne peuvent plus assurer leur fonction de répartition de la fissuration due au retrait. S'il est important d'éviter la fissuration de surface, il est conseillé d'ajouter des fibres synthétiques.

Le référentiel de certification du porte lance comporte la projection d'une dalle-test armée avec une série d'armatures HA 16, écartées du support de 20 mm, dont 2 accolées l'une à l'autre. Pour être certifié, le porte lance ne doit pas avoir créé de vides supérieurs aux critères de certification. (cf référentiel porte-lance de la commission Certification)



*Vue détaillée d'une nappe de treillis plaquée à la paroi et recouverte de 8 cm de béton projeté.  
Dans ce cas, le treillis ne peut jouer aucun rôle contre la fissuration de surface.*

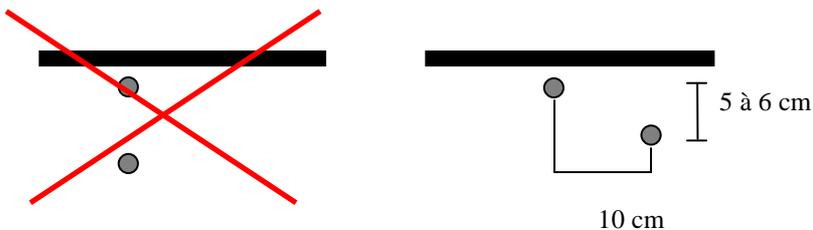
#### 4.3.3 Espacement entre armatures, densité de ferrailage

La densité de ferrailage tient compte du nombre, du diamètre et de l'espacement des armatures.

Pour assurer la bonne mise en œuvre du béton, il convient de respecter certaines règles de dispositions des armatures. Ces règles sont différentes suivant la technique de mise en œuvre des armatures.

##### **espacement entre armatures avec la technique de ferrailage préalable**

Dans ce cas, l'armature constitue une cage complète constituée de plusieurs nappes. Dès que le diamètre des armatures dépasse 16 mm, son assemblage nécessite de respecter les règles suivantes (hors zone de recouvrement) :



On évitera également le croisement d'épingles dans des plans trop proches les uns des autres.

### espacement entre armatures avec la technique de projection préalable

Dans ce cas, pour chaque phase de projection, l'armature est constituée d'une seule nappe (treillis ou barres) et les règles précédentes d'espacement entre les armatures et le support s'appliquent.

Le recouvrement des panneaux de treillis soudé est traité au paragraphe suivant.

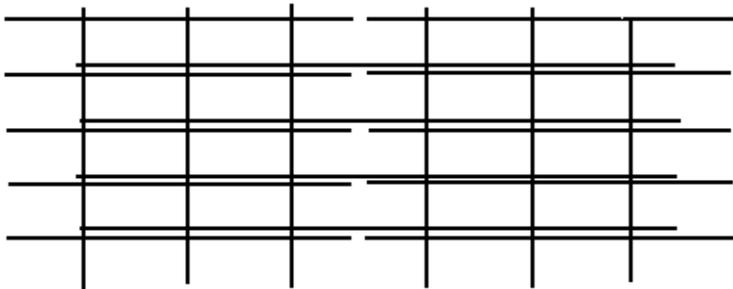
#### 4.3.4 Recouvrement des barres

##### **Pour les treillis soudés :**

Il est préférable de les décaler d'une demi-maille (pour assurer le bon enrobage des fils des treillis).

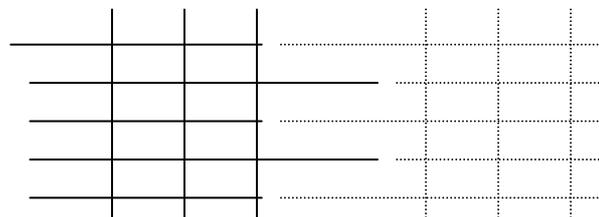
Ne pas oublier que le recouvrement par superposition du treillis soudé conduit à une surépaisseur de la nappe d'armature (4 fois le diamètre du fil) : cela conduit à une variation d'épaisseur d'enrobage entre les zones de recouvrement et la section courante.

Pour résoudre ce problème, il est conseillé de faire un raccordement bord à bord des panneaux de treillis soudés et de mettre en place des aciers en chapeau de section équivalente à la somme des sections des fils du treillis repris et de longueur égale à 40 fois le diamètre des aciers en chapeau (règle B.A.E.L. pour les longueurs d'ancrage). L'espacement minimal entre les aciers en chapeau ne doit pas dépasser 2 fois la maille du treillis.



**recouvrement du treillis soude**

Lorsqu'on ne cherche pas à assurer de transmission d'efforts d'un treillis à l'autre (par exemple, pour une reprise par plots indépendants), il est possible d'enchevêtrer les treillis en coupant alternativement les fils de répartition et le fil porteur d'extrémité.



*Enchevêtrement des treillis par coupure de certains fils*

##### **Pour les barres :**

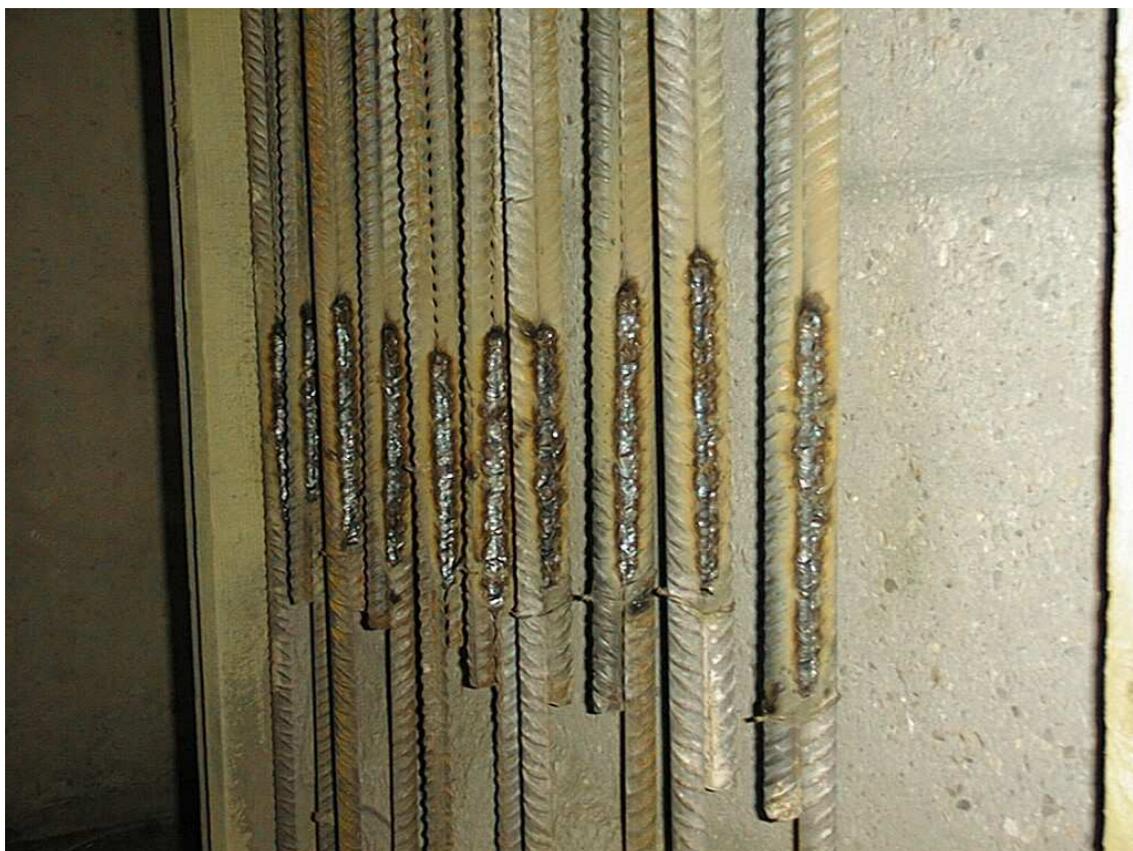
Le recouvrement se fait par superposition des barres dans un plan perpendiculaire à la paroi et non pas en les juxtaposant dans un plan parallèle.



*Recouvrement des barres dans un plan perpendiculaire à la paroi*

Les longueurs de recouvrements doivent respecter les règles du B.A.E.L.

Pour réduire la longueur de recouvrement, ou en cas de forte densité de ferrailage, il est parfois préférable de souder les armatures (prévoir impérativement un soudeur agréé et des armatures soudables...).



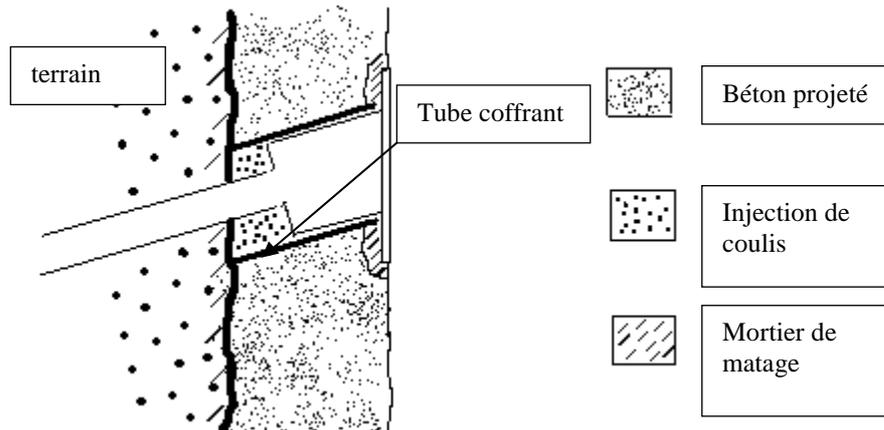
*Renforcement d'une poutre-voile  
Détail en perspective du recouvrement des armatures :  
aciers superposés perpendiculairement au parement du voile et soudures*

#### **4.3.5 Mise en place des pièces métalliques**

Les différentes pièces métalliques constituent des obstacles à la projection et peuvent être le siège soit de défauts importants d'enrobage soit de pièges pour les pertes et les retombées.

Leur incorporation à l'ouvrage doit faire l'objet des précautions suivantes :

- Les plaques d'appui en tête d'ancrage passif, dont les dimensions usuelles sont de 200 x 200 mm à 300 x 300 mm, ne peuvent être enrobées en une seule passe de projection. La méthode de la projection préalable est recommandée, avec mise en appui de la plaque sur le béton frais de la couche précédente par serrage avec l'écrou de blocage avant enrobage définitif. En cas de mise en place sur béton durci, faire un matage au mortier sous la plaque (mise en place localement d'une épaisseur de mortier de 1 à 2 cm pour permettre une bonne répartition des efforts sous la plaque).
- Lorsque les corps d'ancrage de tirants actifs sont positionnés avant la fin de l'exécution du voile, leur enrobage par du béton projeté est extrêmement délicat (cf. schéma ci-dessous). Il est recommandé de mettre en place un tube coffrant permettant de réaliser une réservation au diamètre du corps d'ancrage, de projeter le béton à l'extérieur du tube, de décoffrer le tube, de mettre en place le corps d'ancrage (équipé d'une canule d'injection) sur un mortier de matage à l'arrière de la plaque d'appui et enfin d'injecter le vide restant pour assurer le blocage du corps d'ancrage.

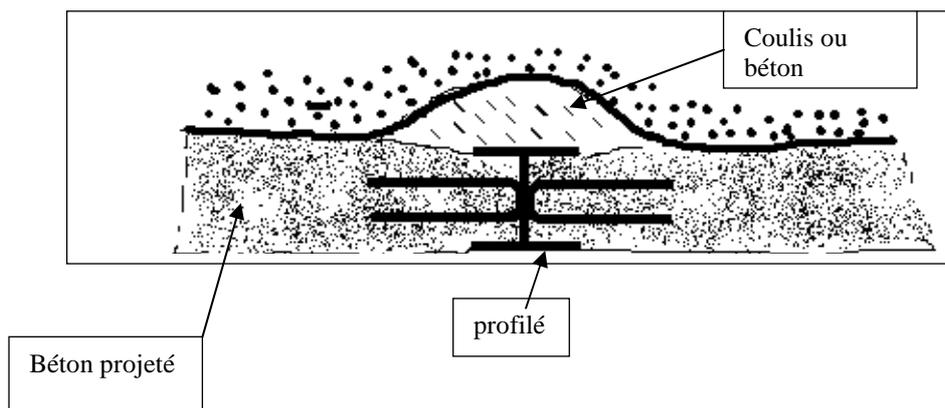


- Les cintres métalliques de type réticulés se distinguent des cintres TH ou HEB. L'enrobage des cintres réticulés est de difficulté équivalente à celle de l'enrobage d'armatures dans des zones de forte densité de ferrailage. Pour les cintres TH ou HEB, le remplissage du vide situé à l'arrière du cintre est quasiment impossible dans sa totalité. La projection a pour but d'assurer le contact des ailes du cintre avec le terrain. Le vide central résiduel ne nuit pas au fonctionnement du cintre.



*Enrobage d'un cintre HEB*

- Les poteaux de parois berlinoises sont en général au contact du terrain par l'intermédiaire de béton maigre ou de coulis d'injection. La projection doit seulement assurer le remplissage du profilé dans l'épaisseur de la paroi.



Pour les cintres et les poteaux métalliques, la projection doit commencer par leur enrobage, avant celle des surfaces planes avoisinantes (afin d'éviter de piéger les rebonds).

## 5 PRINCIPAUX TYPES DE MATERIELS DE PROJECTION

Dans ce paragraphe, ne sont décrits que les matériels récents et les plus couramment utilisés depuis une vingtaine d'années.

Ainsi, pour la voie sèche, les anciennes machines à sas type ALLENTOWN et TORKRET ne sont pas décrites. On notera toutefois qu'elles ont fait la preuve de leur fiabilité et de leur caractère économique (usure réduite, débit facilement réglable, grande distance de transfert). Encore parfois utilisées, elles nécessitent un personnel hautement qualifié. On en trouve une description dans le livre « Projection des mortiers et bétons » de C. RESSE et M. VENUAT.



De même, les machines à pression type LANCY pour la voie mouillée à flux dilué ne sont pas mentionnées.

## 5.1 Principaux types de machines à projeter par voie sèche

Toutes les machines de projection par voie sèche sont généralement équipées d'une trémie de réception pour l'alimentation du mélange vers le dispositif mécanique de distribution et d'expulsion en sortie de machine. Le transfert du mélange dans la conduite, souple ou rigide, est assuré par air comprimé, le mélange pulvérulent est en suspension.

**Les machines à projeter par voie sèche utilisent principalement le principe du rotor.**

Il existe également des machines « à tuyau écrasé », fonctionnant selon le principe péristaltique et des silos équipés d'une machine à projeter sous pression, dits « silos projeteurs ».

### 5.1.1 Machines à rotor

Appelées aussi machine à barillet à cause de la ressemblance de la pièce principale (rotor percé d'alvéoles) avec le barillet d'un revolver, ce matériel constitue encore à l'heure actuelle la partie la plus importante de l'ensemble du parc de machines à projeter par voie sèche.



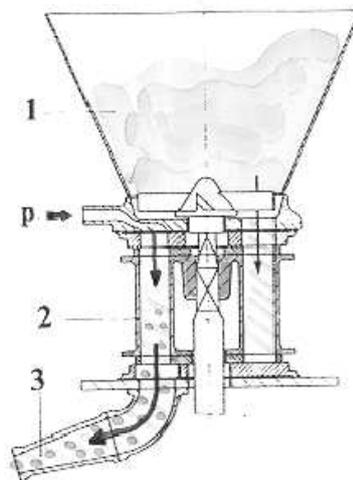
*Machine à rotor et son tapis d'alimentation*

rotor



exemples de « barillets »

Son fonctionnement est simple : le mélange descend par gravité dans les alvéoles du rotor dont l'axe est vertical. Dès qu'une alvéole remplie passe au-dessus de l'orifice de sortie de la machine, le matériau qu'elle contient est poussé dans la conduite par de l'air comprimé introduit en partie supérieure du rotor.

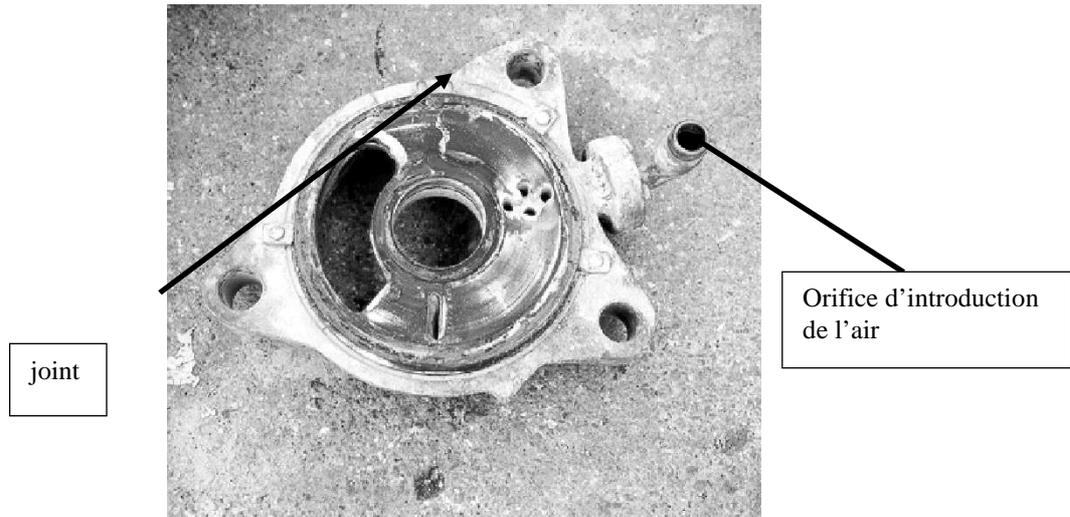


- 1 Trémie d'alimentation
- 2 Rotor
- 3 Ouverture de sortie
- p Courant d'air comprimé

*Schéma de fonctionnement d'une machine à rotor*

L'étanchéité entre la trémie de chargement et la partie supérieure du rotor est réalisée par un joint en caoutchouc percé d'une lumière (qui permet la descente du mélange dans deux à trois alvéoles) et d'un

orifice d'introduction de l'air pour la vidange successive des alvéoles. Un autre orifice permet la décompression des alvéoles.



*Disque supérieur (situé au-dessus du rotor)*

Entre la partie inférieure du rotor et la base de la machine, l'étanchéité est assurée par un autre joint en caoutchouc comportant une seule lumière autorisant la vidange d'une seule alvéole dans la conduite de sortie de la machine. L'évacuation du mélange se fait par un coude de sortie placé en partie basse de la machine. Suivant les types de machines, le réglage principal de l'air de transfert du mélange se fait en amont des alvéoles (machines de type « Meynadier ») ou au niveau du coude de sortie (machines de type « Aliva »).

La forme et les dimensions des alvéoles et des joints sont variables selon les types de rotor proposés par les différents fabricants et selon les débits des machines.

Généralement, on dispose de deux vitesses de rotation. Le réglage de la vitesse de rotation du rotor est plus fin pour les moteurs à air comprimé ou hydrauliques ou pour les moteurs électriques disposant d'un variateur de vitesses. Cela est nettement préférable pour optimiser le réglage du débit en matériaux et donc la qualité de la projection.

De plus, les machines à moteur électriques permettent au porte-lance d'utiliser une télécommande pour les fonctions marche/arrêt, ce qui permet un arrêt rapide de la projection pour réaliser le soufflage des aéroperles et remédier si besoin aux défauts de lavage ou d'hydratation du support.

**Avantages des machines à rotor**

- simplicité de manœuvre
- encombrement réduit
- gamme importante de machines avec un large éventail de débit (de 1 à 12 m<sup>3</sup>/h).

**Sujétions liées aux machines à rotor**

- usure des joints, représentant un coût non négligeable dans le prix de revient du béton selon la précision des réglages et le type de mélange employé (granulats concassés, fibres métalliques),
- émission de poussières lors de la décompression des alvéoles en cas d'emploi des mélanges pulvérulents secs.

**Domaine d'utilisation privilégié des machines à rotor**

L'utilisation des machines à rotor couvre pratiquement tous les domaines de la projection par voie sèche, depuis les travaux de réparation jusqu'aux ouvrages demandant des débits importants : soutènements, construction de bassins, piscines.

Elles peuvent être couplées à des bras manipulateurs de projection.

### **5.1.2 Machine « à tuyau écrasé » : principe péristaltique**

Le développement des machines « péristaltiques » est relativement récent. Le pompage du mélange est assuré par le mouvement continu de deux galets venant écraser un tronçon de tuyau en caoutchouc reliant la trémie de chargement à la sortie de la machine. Ce tuyau est muni d'une arrivée d'air en partie supérieure permettant de chasser le matériau vers la sortie de la machine. Une arrivée d'air complémentaire en partie basse permet le transfert dans la conduite, vers la lance.

Le fonctionnement est celui de la dépression péristaltique provoquant l'aspiration des matériaux dans le tuyau écrasé. Ils sont ensuite repris dans la partie basse par aspiration (système venturi).



*Vue de l'intérieur d'une machine à tuyau écrasé*

#### **Avantages des machines « péristaltiques »**

- système permettant la mise en œuvre de la voie sèche et de la voie mouillée
- usure réduite (absence de joint de friction)
- limitation des poussières autour de la machine (pas de phénomène de décompression nécessitant un évent)
- suppression du « coup de canon » grâce à l'ouverture progressive de la vanne d'air à l'entrée de la conduite de transfert

#### **Sujétions liées aux machines « péristaltiques »**

- débit de projection limité de 4 à 6 m<sup>3</sup>/h
- difficulté d'obtention d'un débit régulier

### **Domaine d'utilisation privilégié des machines « péristaltiques » en voie sèche**

Ces machines sont principalement utilisées lorsqu'il est important de limiter les poussières à sortie de la machine.

Elles sont peu adaptées aux travaux de réparation-renforcement utilisant des lances de petit diamètre et un débit faible (souvent moins d'1 m<sup>3</sup>/h).

#### **5.1.3 Silos projeteurs**

Ce matériel, de conception récente, associe un stockage sous pression permanente de mélange sec prêt à l'emploi et une vis horizontale en sortie de silo assurant la distribution du produit dans la conduite de transfert. L'air comprimé nécessaire au transfert et à la projection du mélange est introduit au niveau de la vis de vidange.

Un orifice sur le capotage de la vis permet l'introduction et le réglage de l'eau pour la préhumidification du mélange.

#### **Avantages des silos projeteurs**

- permet une utilisation fractionnée du mélange sans contrainte particulière
- ensemble monobloc (approvisionnement - machine à projeter)
- absence de poussières en fonctionnement
- possibilité de transfert à des distances supérieures aux machines à rotor

#### **Sujétions liées aux silos projeteurs**

- capacité réduite du parc de silos projeteurs (matériel en location dépendant du fournisseur de matériaux)
- prix de revient plus élevé
- forte consommation d'air comprimé (21 000 à 25 000 l/min)
- nécessite des rechargement très fréquent en cas de forts débits
- inadapté pour les faibles débits (diamètre minimal : 60 mm)
- encombrement et accessibilité du silo
- équilibre des pressions délicat entre le silo et la vis (utilisation par du personnel ayant une formation spécifique)

#### **Domaines d'utilisation privilégié des silos projeteurs**

Ces machines sont principalement utilisées lorsqu'il est important d'éviter toute poussière en dehors de la zone de projection.

### **5.2 Principaux types de machines à projeter par voie mouillée à flux dense**

Caractérisées par l'emploi d'un mélange à consistance plastique, les machines à projeter par voie mouillée à flux dense utilisent principalement le principe de la pompe à béton (tuyau rempli de béton frais donc lourd).

Les points communs entre les différents types de machines à projeter par voie mouillée sont que toutes nécessitent :

- en cas d'emploi de mélange non stabilisé, un nettoyage à chaque arrêt de projection (de durée supérieure à 5-15 min, en fonction de la température et du type de ciment),
- l'utilisation d'un bras manipulateur ou d'un robot dès que les débits dépassent 4 m<sup>3</sup>/h (poids trop élevé du tuyau).

### **5.2.1 Pompe à pistons**

Ces machines, comparables aux pompes à bétons, peuvent être utilisées seules ou avec un robot de projection.

Ce sont les plus couramment utilisées pour la projection par voie mouillée, en particulier pour les travaux souterrains.

Le mélange préalablement gâché est propulsé dans la conduite grâce à la pression exercée par le mouvement alternatif de deux pistons.

Le chargement du béton se fait par déversement dans une trémie de réception à partir du camion malaxeur.

Il existe également des petites pompes à pistons comportant un malaxeur comme celui des petites pompes à vis décrites dans le paragraphe suivant.

### **Avantages des pompes à pistons**

#### ***Pour les grosses machines :***

- machine puissante, capable de débit instantané important : 12 à 20 m<sup>3</sup>/h
- facilité de couplage avec un robot<sup>4</sup>
- distance de transfert courante de l'ordre d'une centaine de mètres, avec possibilité d'atteindre 300 m moyennant une étude spécifique de formulation

#### ***Pour les petites machines :***

- matériel de faible encombrement manœuvrable par une seule personne
- distance de transfert pouvant dépasser 150 mètres avec les bétons de sable.

### **Sujétions liées aux pompes à pistons**

- arrêts momentanés du débit de pompage à chacun des changements de piston. Ces arrêts créent des « souffles » d'air périodiques dans le jet de projection et des ajouts excessifs répétés de l'accélérateur/raidisseur éventuellement ajouté à la lance.

#### ***Pour les grosses machines :***

- pour les grosses machines, encombrement relativement important et matériel lourd

#### ***Pour les petites machines :***

- coût de la machine plus élevé que celui des petites pompes à vis.

### **Domaines d'utilisation privilégié des pompes à pistons**

<sup>4</sup>

Les grosses machines, souvent intégrées à des robots, sont très utilisées pour les travaux neufs en souterrain qui nécessitent des débits importants.

Les petites machines sont très utilisées pour les travaux de réhabilitation des petites galeries. Elles s'emploient pour projeter des mélanges (en sacs ou en silos) de bétons de sable lorsque la distance de transfert est grande.

### 5.2.2 Pompes à vis

Les petites machines comportent généralement trois organes :

- un malaxeur supérieur à axe horizontal (contenance 100 à 200 litres) muni d'une grille, recevant le mélange,
- une trémie de réception placée sous le malaxeur, avec un agitateur à palettes permettant l'alimentation de la pompe,
- une pompe composée d'une vis ayant la forme d'une queue de cochon (rotor) et d'un manchon extérieur (stator).

Les grosses machines ne comportent pas de malaxeurs et doivent être alimentées par des toupies.

L'énergie est fournie soit par un moteur thermique soit par un moteur électrique.

#### **Avantages des pompes à vis**

- pour les petites machines, matériel de faible encombrement manœuvrable par une seule personne
- débit très régulier exempt des arrêts périodiques cités pour les machines à pistons
- gamme étendue de capacité
- coût inférieur aux machines à pistons

#### **Sujétions liées aux pompes à vis**

- débit de projection limité (5 m<sup>3</sup>/h pour les petites machines, 15 m<sup>3</sup>/h pour les grosses)
- distance de transfert faible : 20 à 60 mètres à l'horizontale
- limitation de la granularité (suivant la taille de la machine)
- usure rotor/stator à prendre en compte pour le réglage de la pression
- coût élevé des pièces d'usure

#### **Domaines d'utilisation privilégié des pompes à vis**

Les petites machines sont généralement employées pour la projection des enduits et des bétons de sable. Elles sont adaptées aux travaux dans des sites exigus.

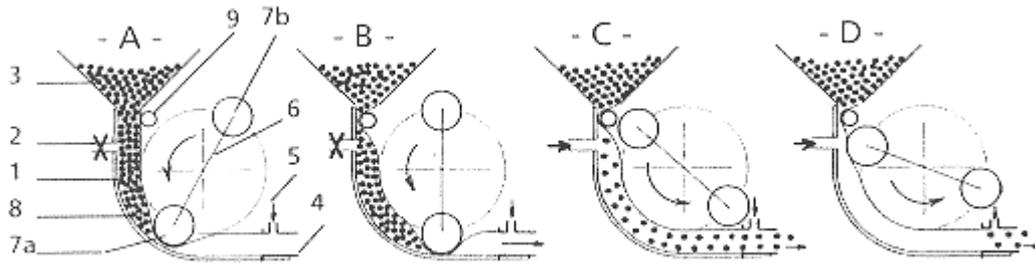
Les grosses machines ont le même domaine d'utilisation que les grosses pompes à pistons.

### 5.2.3 Machine « à tuyau écrasé » : principe péristaltique

Les machines « péristaltiques » sont utilisées pour le pompage du béton depuis une cinquantaine d'années et, pour la projection par flux dense, depuis plus de trente ans.

Le pompage est assuré par l'écrasement d'un tronçon de tuyau en caoutchouc reliant la trémie de chargement à la sortie de la machine, branchée sur la conduite de transfert

Sur les premières pompes péristaltiques à béton, dont le principe est toujours utilisé, le « tronçon-pompe » a la forme d'une demi-spire, écrasée successivement par deux galets fixés sur un rotor.



- Les repères A,B,C,D indiquent la cinématique de fonctionnement.  
 Les chiffres indiquent les principales fonctions :
- 1- tuyau en caoutchouc, écrasé par les galets 7a et 7b
  - 2- électrovanne de vidange du tuyau 1
  - 3- trémie de réception du mélange
  - 4- orifice de sortie et de raccordement de la conduite de transfert
  - 5- vanne d'introduction et de réglage de l'air comprimé pour le transfert et la projection du mélange
  - 6- roue animée d'un mouvement de rotation
  - 7- a et b galets
  - 8- mélange
  - 9- fermeture séquentielle d'alimentation du mélange

#### *Principe de fonctionnement d'une machine péristaltique*

Une nouvelle pompe, utilisant le principe péristaltique, a été mise au point en France plus récemment. Le « tronçon-pompe », rectiligne, est successivement écrasé par trois galets se déplaçant grâce à une chaîne entraînée par deux pignons.

Quelle que soit la cinématique des galets, le fonctionnement est celui de la dépression péristaltique provoquant l'aspiration des matériaux dans le tuyau écrasé, le déplacement des galets les poussant ensuite dans le tuyau de transfert.

#### **Avantages des machines « péristaltiques » en voie mouillée à flux dense**

- extrême simplicité du système de pompage
- gamme de machine très large (de moins de 100 l/h à plus de 20 m<sup>3</sup>/h)
- coût inférieur à celui des machines à pistons de même puissance

#### **Sujétions liées aux machines « péristaltiques » en voie mouillée à flux dense**

- distance de transfert limitée (40 à 60 m)
- comme pour les machines à pistons, difficulté d'obtention d'un débit régulier (à cause du passage des galets)
- coût du remplacement périodique du tuyau écrasé par le passage des galets

#### **Domaine d'utilisation privilégié des machines « péristaltiques » en voie mouillée à flux dense**

Le domaine d'emploi de ces machines est le même que celui des machines à pistons.

### 5.3 Principaux types de machines à projeter par voie mouillée à flux dilué

La projection par voie mouillée à flux dilué a été inventée pour tenter de rassembler les avantages de la voie sèche et de la voie mouillée. Nous verrons que cet objectif n'est pas atteint.

Son principe consiste à introduire une forte quantité d'air comprimé dans la conduite de transfert, à la sortie de la machine ou peu après cette sortie. Cela produit une quantité de pertes et une émission de poussières comparables à la voie sèche.

#### 5.3.1 Machines péristaltiques

Elles suivent toujours le même principe de base mais l'air comprimé est introduit à l'intérieur de la machine et à sa sortie pour faciliter le transfert du béton dans la conduite.

##### **Avantages des machines péristaltiques en voie mouillée à flux dilué**

- suppression des à-coups à la lance
- usure limitée au seul tuyau écrasé
- encombrement plus faible que les pompes à pistons
- autorise des consistances moins fluides
- accepte des variations de plasticité du mélange
- compactage plus énergique qu'en voie mouillée à flux dense

##### **sujétions liés aux machines péristaltiques en voie mouillée à flux dilué**

- émission de poussières à la lance
- pertes importantes
- distance courante de transfert limitée une centaine de mètres débit de projection limité de 4 à 6 m<sup>3</sup>/h

##### **Domaines d'utilisation privilégié des machines péristaltiques en voie mouillée à flux dilué**

Petites galeries, parois berlinoises, parois de fouilles

#### 5.3.2 Machines à rotor

Certaines machines à rotor à fort débit peuvent être utilisées pour la projection de béton par voie mouillée à flux dilué.

Ceci ne nécessite pas d'adaptation particulière de la machine, autre que l'augmentation de la quantité d'air introduite à la sortie. Par contre, il convient d'étudier une formulation spécifique. (slump entre 12 et 14 cm ; granularité limitée à 8 -10 mm).

##### **Avantage des machines à rotor pour la voie mouillée à flux dilué**

- compactage plus énergique qu'en voie mouillée à flux dense
- accepte des variations de plasticité du mélange

### **Sujétions liées aux machines mixtes à rotor pour la voie mouillée à flux dilué**

- pertes élevées (du même ordre que pour la voie sèche)
- production de poussières à la lance
- consommation importante d'air comprimé
- pièces d'usure à surveiller même en présence d'un système de lubrification des disques
- nettoyage fréquent des alvéoles du rotor et de la conduite de transfert

### **Domaine d'utilisation privilégié des machines à rotor pour la voie mouillée à flux dilué**

L'utilisation des machines à rotor en voie mouillée est anecdotique.

#### **5.3.3 Pompes**

Le principe de fonctionnement des pompes est inchangé. Leur adaptation pour la projection en voie mouillée à flux dilué consiste, comme pour les machines péristaltiques, à placer sur la conduite de transfert, à proximité de la sortie de la machine, un dispositif d'introduction d'air comprimé.

#### **Avantage des pompes pour la voie mouillée à flux dilué**

- compactage plus énergique qu'en voie mouillée à flux dense

#### **Sujétions liées aux pompes pour la voie mouillée à flux dilué**

- projection impossible si la distance lance-paroi est insuffisante (il faut au moins 1 m)
- pertes élevées (du même ordre que pour la voie sèche)
- production de poussières à la lance
- consommation importante d'air comprimé

#### **Domaine d'utilisation privilégié des pompes pour la voie mouillée à flux dilué**

Travaux dans des grands ouvrages souterrains, parois berlinoises, parois de fouilles

### **5.4 Autres matériels et accessoires**

#### **5.4.1 Conduite de transfert**

Le choix du diamètre de la conduite de transfert et de son matériau (souple ou rigide) dépend de la méthode de projection employée, du type de travaux à réaliser, de la granulométrie du mélange et de la distance de transfert.

#### **Nature des matériaux composant la conduite**

En voie sèche, les pressions à l'intérieur de la conduite sont faibles, de l'ordre de 0,2 à 0,5 MPa. Par contre le flux, se déplaçant à grande vitesse, provoque des chocs répétés dans les courbes ou les coudes et provoque l'abrasion de la paroi interne.

Les tuyaux flexibles, constitués d'une épaisseur importante de gomme avec en général une seule armature textile positionnée vers l'extérieur de la section, sont les moins sensibles à l'usure.

Si le tracé est bien rectiligne, le phénomène d'abrasion par chocs est réduit et les conduites métalliques peuvent convenir<sup>5</sup>. Des conduites en PVC ou polyéthylène ont été utilisées avec succès sur plusieurs chantiers, sur de longues distances (usure plus faible et coût inférieur à l'acier).

Le comportement du mélange à projeter est différent dans un tube souple ou rigide. La régularité de la projection par voie sèche est meilleure avec un tuyau souple.

En voie mouillée, l'usure est provoquée par le frottement du béton et le tuyau est soumis à de fortes pressions, pouvant dépasser 5 MPa. La conduite doit résister à la fois à ce frottement et à la pression.

Les tuyaux les plus fréquemment utilisés sont métalliques jusqu'à la dernière longueur permettant la manipulation de la lance par le porte-lance ou un bras manipulateur (sauf dans le cas de faibles distances de transfert). La partie souple est en gomme avec une armature textile ou métallique constituée de 2 à 3 nappes avec au moins une nappe positionnée près de la paroi interne.

La nature des matériaux composant la conduite n'a pas d'influence sur la qualité de la projection par voie mouillée.

### **Distance de transfert**

De manière usuelle, le choix d'un type de conduite (souple ou rigide) repose sur les principes suivants :

- Jusqu'à 50 mètres, les conduites souples sont les plus utilisées, en voie sèche comme en voie mouillée.
- Au-delà de 50 m, il faut distinguer la voie sèche de la mouillée :
  - En voie mouillée, on adopte des conduites métalliques.
  - En voie sèche, les conduites flexibles sont recommandées jusqu'à 200 m. Pour des distances supérieures, elles restent utilisables jusqu'à environ 500 m mais les conduites métalliques sont préférables (prévoir un tracé rectiligne).

Il n'y a pas vraiment de règles précises. La disponibilité du matériel et l'expérience de l'entreprise interviennent de façon prépondérante.

### **Diamètre de conduite :**

Le choix se fait en fonction des travaux et de la granularité du mélange.

- Les conduites de diamètre intérieur de 25 à 30 mm sont réservées aux travaux de rejointoiement de maçonnerie, de réparations de petits éléments, de projection en faible épaisseur, de renforcement en présence de ferrailage dense, de projection de couche de finition. La granularité s'étend entre 0-5 et 0-8 mm.
- Les conduites entre 30 et 40 mm de diamètre intérieur, sont utilisées pour la réparation de béton armé, le renforcement de structure par contre-voile, les réparations d'ouvrage en maçonneries (joints épais, comblement de cavités ou de hors-profils). Les fuseaux granulaires possibles varient entre 0-8 et 0-12 mm.
- La conduite de 50 mm est la plus couramment utilisée (voie sèche et voie mouillée) pour les renforcements épais, les soutènements, les travaux souterrains, la projection sur talus en élévation ou en fouille. La granularité s'étend de 0-8 à 0-16 mm.

---

<sup>5</sup> Il est conseillé d'éviter les tubes coudés (métalliques ou flexibles) dont l'usure est très rapide. Toutefois, s'ils sont nécessaires, il est utile d'en approvisionner un stock de rechange et de vérifier périodiquement le degré d'usure afin d'éviter les éclatements. Il est également conseillé de procéder à une rotation périodique des tuyaux métalliques pour que l'usure, plus forte en partie basse, ne soit pas concentrée toujours dans la même zone.

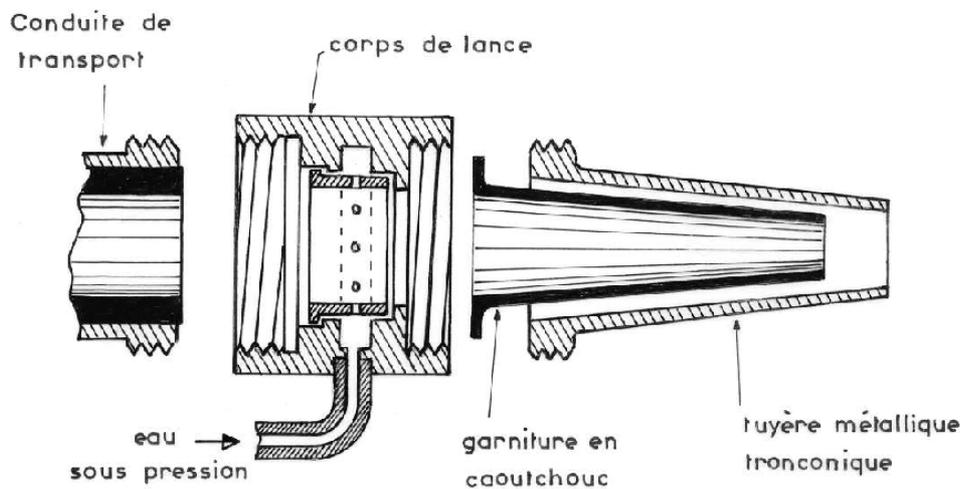
- Les conduites au-delà de 50 mm (diamètres intérieurs 60, 65 et 80 mm) sont utilisées pour les grands travaux en souterrains, la projection de voile épais avec des diamètres de granulats pouvant atteindre 20 mm. La projection est souvent mécanisée.

#### 5.4.2 Lance de projection

Il s'agit d'un équipement placé en extrémité de la conduite de transfert (dont les derniers mètres doivent obligatoirement être souples).

En voie sèche, la lance est composée des éléments principaux suivants :

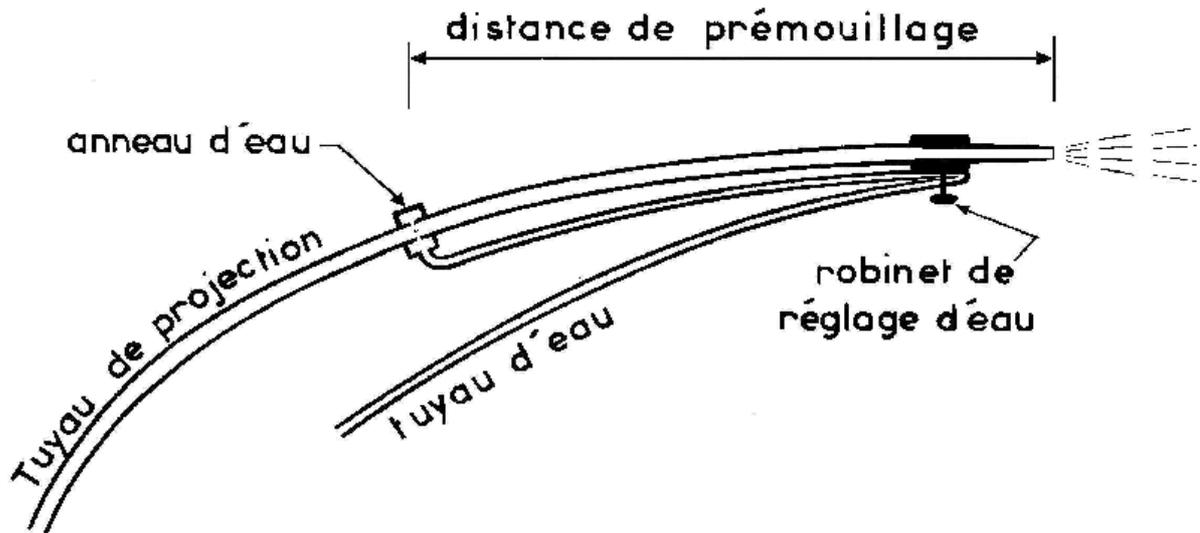
- un corps de lance (de 8 à 15 cm environ) où se trouve le robinet de réglage de la quantité d'eau et l'anneau d'introduction de l'eau,
- un embout tronconique de longueur comprise entre 15 et 60 cm (appelé buse ou tuyère) fixé sur le corps de lance, qui par réduction du diamètre produit un effet venturi et accélère le mélange à la sortie de la lance.



*Principe des lances de projection par voie sèche*



*Lance de 25 mm pour projection en voie sèche*



*Principe de la projection par voie sèche avec lance de prémouillage*



*Lance de projection par voie sèche avec prémouillage*

En voie sèche, la grande vitesse de circulation du mélange impose que l'eau arrive au robinet avec une pression suffisante. Il est généralement conseillé d'adopter un minimum de 8 bars (à l'entrée du robinet) en vérifiant que cette pression est supérieure à 2 fois la pression d'air au manomètre de sortie de la machine à projeter (ceci impose souvent l'utilisation d'un surpresseur).

**Une attention particulière doit être portée à l'usure inévitable de cet embout**, qui va se traduire par une augmentation de son diamètre. Cela conduit le porte-lance à :

- demander une augmentation du débit d'air introduit à la machine (ce qui accélère la vitesse d'usure des pièces en friction pour les machines à rotor et augmente les pertes)
- ou
- à réduire la distance lance-paroi (ce qui augmente les pertes et nuit au mouillage).

Pour résoudre ce problème d'usure, il existe des embouts métalliques doublés d'un insert en caoutchouc résistant bien à l'abrasion et aisément remplaçable.

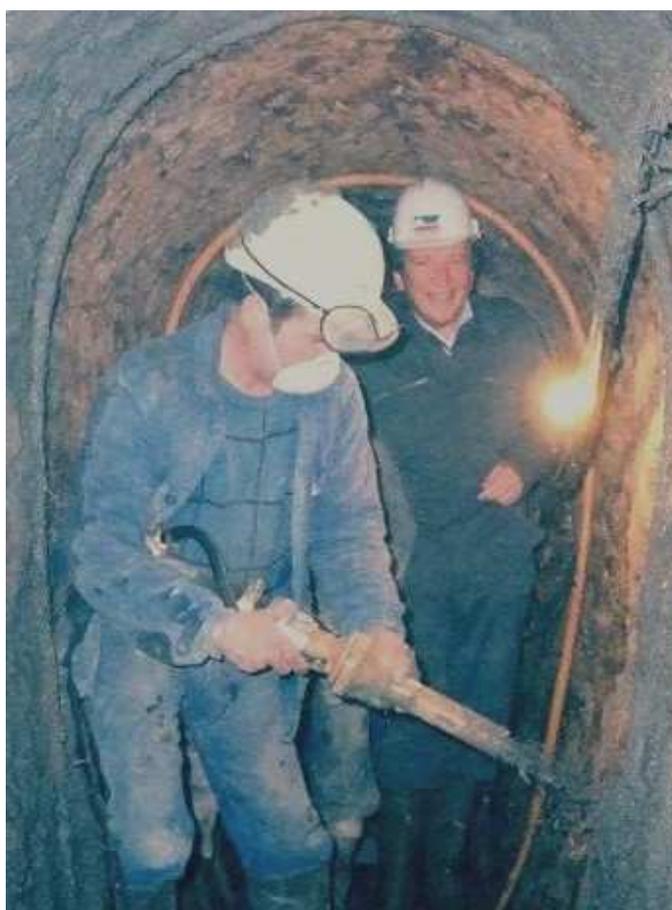
En voie mouillée à flux dense, la lance se compose :

- d'un corps de lance (de 8 à 15 cm environ) où se trouve l'introduction d'air et d'adjuvants,

- d'une buse ou tuyère, comme en voie sèche, mais de longueur souvent supérieure (comprise entre 30 et 60 cm), sauf contraintes particulières.



*Utilisation d'une lance de projection par voie mouillée flux dense en tunnel*



*Exemple de lance de projection pour la voie mouillée*

### 5.4.3 Surpresseur d'eau

Utilisé uniquement en voie sèche, il s'agit soit d'une cuve sous pression, soit d'une pompe, pneumatique ou électrique. Cet appareil est nécessaire pour l'introduction d'eau sous pression à la lance. La pression à l'entrée du robinet de la bague de mouillage est généralement comprise entre 0,8 et 1 MPa si l'on veut mouiller à cœur le flux de mélange sec défilant à grande vitesse et réduire les émissions de poussières. Cette pression peut être réduite à 0,4 MPa avec l'emploi d'une lance à buse tronconique.

### 5.4.4 Robot

En voie mouillée, compte-tenu du poids du béton véhiculé et donc de la lourdeur de la lance, des matériels d'aide à la manipulation sont généralement utilisés.

Il peut s'agir soit d'un « robot », soit d'un bras manipulateur :

- Le robot est un matériel complet qui comprend la machine à projeter (qui est alors une pompe à pistons) et un bras de projection.
- Le bras manipulateur est un matériel plus léger, indépendant de la machine de projection et d'amplitude plus limitée.



*Bras manipulateur*

En voie sèche, les robots et bras manipulateurs sont moins utilisés car l'opérateur a souvent du mal à apprécier le mouillage et en conséquence à régler correctement le débit d'eau, du fait de son éloignement par rapport à la lance.

### 5.4.5 Doseur d'adjuvants raidisseurs liquides

En voie sèche comme en voie mouillée, les doseurs pour les adjuvants liquides sont des pompes-doseuses à débit réglable.

En voie mouillée, leur asservissement est nécessaire à l'obtention d'une qualité homogène de béton. Basé sur le nombre de tours de rotor ou de coups de piston, la précision est alors satisfaisante.

En voie sèche, Les pompes-doseuses ne sont pas asservies mais sont réglées sur le débit moyen de la machine; le résultat est peu précis.

Une solution consiste à mélanger l'adjuvant liquide à l'eau de mouillage, dans un rapport calculé en fonction de l'humidité éventuelle du mélange. Cela permet alors d'obtenir une bonne homogénéité et le dosage est en relation avec le réglage de l'eau fait par le porte-lance.

**La solution la plus satisfaisante est l'emploi de raidisseurs en poudre introduits lors de la fabrication du mélange.**

Les doseurs placés sur le système d'alimentation de la machine (tapis ou vis de chargement) donnent satisfaction lorsqu'ils ont été correctement étalonnés par réglage de la hauteur du mélange transporté sur la bande.

#### **5.4.6 Commande à distance de la machine**

A ne pas confondre avec la commande à distance du robot ou du bras manipulateur, ce type de matériel est prévu couramment avec les machines à rotor à motorisation électrique. Il permet au porte-lance de commander l'opération marche/arrêt ainsi que le débit de projection en agissant sur le sélecteur de vitesse du rotor (pour les machines qui en sont équipées).

Ce système de commande à distance présente de nombreux avantages en particulier quand les travaux nécessitent des arrêts et reprises fréquents (rejointoiement, réparations, renforcement par plots alternés) ou que la communication entre le machiniste et le porte-lance est impossible.

#### **5.4.7 Trémie de stockage**

Ce matériel est utilisé pour un stockage à **durée limitée** du mélange avant son déversement dans la machine.

Pour la voie mouillée, en cas d'emploi de béton stabilisé, la trémie est équipée d'un malaxeur destiné à maintenir l'homogénéité du mélange ; en cas de béton non stabilisé, la trémie sert seulement à libérer rapidement le camion-malaxeur.

Pour la voie sèche, la durée de stockage possible dépend fortement de la température et du type de ciment. Elle est par exemple, pour un même ciment, de l'ordre de deux heures à 20°C et inférieure à ½ h à 30°C. Il est difficile de donner des règles générales en raison de l'influence de la chaleur d'hydratation du ciment.



*Remplissage d'une machine à rotor à partir d'une trémie de stockage*

## 5.5 Aide au choix des machines à projeter

Les tableaux ci-dessous ont été établis sur la base des principaux matériels existant au jour de la rédaction de ce document et utilisés en France.

### 5.5.1 Matériel voie sèche

MARQUE et modèle de machine	Type à rotor  Volume en litres du rotor.	Ø intérieur du tuyau de projection et de la lance	Domaine d'utilisation	Débit d'air comprimé* pour 100 m de tuyau (à titre indicatif)	Pièces d'usure			
					Joints de rotor	Disques métalliques	Embout de lance	Bague à eau
ALIVA  Al 246	0,7	Ø 25 mm	Reprise de petits volumes (talons poutrelles, arêtes, accès délicat, rejointoiement).	5 000 l/minute	X	X	X	X
	2	Ø 32 mm	Réparation béton, revêtement en faible épaisseur (< 7cm) avec maîtrise de la planimétrie de la surface projetée. Travaux d'accès délicats.	8 000 l/minute	X	X	X	X
	3,6	Ø 40 mm	Travaux en grande surface et forte en épaisseur (>7cm) avec maîtrise de la planimétrie de la surface projetée.	12 000 l/minute	X	X	X	X
	5,6	Ø 50 mm	Travaux en gros volume	17 000 l/minute	X	X	X	X
* En cas de motorisation pneumatique, ajouter 4 000 l/minute ; rajouter 3 000 l/minute par 100m de longueur supplémentaire (à vérifier lors de l'essai de convenance). Il est parfois proposé un tuyau Ø 38 mm intérieur, ce diamètre est un peu fort en lieu et place du Ø 32 indiqué sur le tableau et un peu faible en lieu et place du Ø 40.								
MARQUE	Type et	Ø intérieur	Domaine d'utilisation	Débit d'air comprimé*	Pièces d'usure			

et modèle de machine	volume du rotor*	du tuyau de projection et de la lance		pour 100 m de tuyau (à titre indicatif)	Joints de rotor et coude de sortie	Disques métalliques	Embout de lance	Bague à eau
<b>MEYCO</b> Piccola 020	¼ rotor 12 trous ronds 0,9 litre	Ø 25 mm	Reprise de petits volumes (talons poutrelles, arêtes, accès délicats, rejointoiement)	5 000 l/minute	X	X	X	X
<b>ADDAX</b> ADX 40	½ rotor à 12 trous ronds 1,7 litres	Ø 32 mm	Réparation béton, revêtement faible épaisseur (jusqu'à 7 cm) avec soucis de maîtrise de la planéité de la surface projetée, travaux d'accès délicats	8 000 l/minute	X	X	X	X
<b>CIRCOM</b> SB50	½ rotor à secteurs de couronne 3,2 litres	Ø 38 mm Ø 40 mm	Revêtement grande surface et épaisseur supérieure à 7 cm	10 000 l/minute	X	X	X	X
<b>MIXJET</b> PVS 35	Rotor à 9 trous ronds 4,7 litres	Ø 40 mm	Forte épaisseur et grande surface sans soucis maîtrise de la planimétrie.	12 000 l/minute	X	X	X	X
<b>ABP</b> AB-91	Rotor à secteurs de couronne 6,4 litres	Ø 50 mm	Travaux en gros volume	17 000 l/minute	X	X	X	X
<b>PFT</b>								
<b>JETMASTER</b>								

\* Rotors adaptables à toutes les machines de ce tableau.

\*\* En cas de motorisation pneumatique, ajouter 4 000 l/minute ; rajouter 3 000 l/minute par 100m de longueur supplémentaire (à vérifier lors de l'essai de convenance).  
Il est parfois proposé un tuyau Ø 38 mm intérieur, ce diamètre est un peu fort en lieu et place du Ø 32 indiqué sur le tableau et un peu faible en lieu et place du Ø 40

MARQUE et modèle de machine	Type à rotor volume du rotor	Ø intérieur du tuyau de projection et de la lance	Domaine d'utilisation	Débit d'air comprimé* pour 100 m de tuyau (à titre indicatif)	Pièces d'usure			
					Joints de rotor et coude de sortie	Disques métalliques	Embout de lance	Bague à eau
<b>OCMER</b>  OCM - 030 compatta	1,8 litres	Ø 25 mm Ø 32 mm	Reprise petits volumes (talons poutrelles, arêtes, accès délicats, rejointoiement)	5 000 l/minute	X	X	X	X
	3,2 litres	Ø 32 mm Ø 40 mm	Réparation, revêtement en épaisseur < 7 cm avec maîtrise de la planimétrie de la surface projetée.	8 000 l/minute	X	X	X	X
	3,4 litres	Ø 38 mm Ø 40 mm	Revêtement grande surface et épaisseur > à 7 cm.	10 000 l/minute	X	X	X	X
	5 litres	Ø 40 mm Ø 50 mm	Grande surface et épaisseur >à 10 cm	12 000 l/minute	X	X	X	X
	6 litres	Ø 50 mm	Travaux en gros volume.	17 000 l/minute	X	X	X	X
<p>* En cas de motorisation pneumatique, ajouter 4 000 l/minute ; rajouter 3 000 l/minute par 100m de longueur supplémentaire (à vérifier lors de l'essai de convenance). Il est parfois proposé un tuyau Ø 38 mm intérieur, ce diamètre est un peu fort en lieu et place du Ø 32 indiqué sur le tableau et un peu faible en lieu et place du Ø 40</p>								

MARQUE et modèle de machine	Type à rotor volume du rotor.	Ø intérieur du tuyau de projection et de la lance	Domaine d'utilisation	Débit d'air comprimé* pour 100 m de tuyau (à titre indicatif)	Pièces d'usure			
					Joint de rotor et coude de sortie	Disques métalliques	Embout de lance	Bague à eau
<b>OCMER</b>  OCM – 046 Média	12,5 litres	Ø 50 mm Ø 65 mm	Gros volume	21 000 l /minute	X	X	X	X
	18,8 litres	Ø 65 mm	Gros volume	> à 24 000 l/minute	X	X	X	X
<b>OCMER</b>  OCM – 060 UNIVERSALE	18 litres	Ø 65 mm	Gros volume	> à 24 000 l/minute	X	X	X	X
	30 litres	Ø 75 mm	Gros volume	> à 27 000 l/minute	X	X	X	X

\* En cas de motorisation pneumatique, ajouter 4 000 l/minute ; rajouter 8 000 l/minute par 100m de longueur supplémentaire (à vérifier lors de l'essai de convenance).

**ASQUAPRO Comité Technique**

MARQUE et modèle de machine	Type à rotor	Ø intérieur du tuyau de projection et de la lance	Domaine d'utilisation	Débit d'air comprimé* pour 100 m de tuyau (à titre indicatif)	Pièces d'usure			
	Type et volume du rotor.				Joint de rotor et coude de sortie	Disques métalliques	Embout de lance	Bague à eau
<b>REED</b>	Rotor 18 alvéoles	¾ « ; 1 » (19 ; 25 mm)	Reprise petits volumes (talons poutrelles, arêtes, réparations ponctuelles)	5 000 l/minute	X	X	X	X
	SOVA Rotor 16 Alvéoles	1 « ¼ (30 mm)  1 « ½ (36 mm)	Béton réfractaire, réparations en petits volumes, revêtement épaisseur < 7 cm	8 000 l/minute	X	X	X	X
<b>REED</b>	Rotor 18 alvéoles	¾ « (19 mm) 1 « (25 mm)	Béton réfractaire en petits volumes et reprises ponctuelles.	5 000 l/minute	X	X	X	X
	REED 209 Rotor 16 alvéoles	1 « ¼ (30 mm) 1 « ½ (36 mm)	Béton réfractaire en réparation et épaisseur < 7 cm	8 000 l/minute	X	X	X	X
* En cas de motorisation pneumatique, ajouter 4 000 l/minute ; rajouter 3 000 l/minute par 100m de longueur supplémentaire (à vérifier lors de l'essai de convenance).								

**ASQUAPRO Comité Technique**

MARQUE et modèle de machine	Type à rotor  volume du rotor	Ø intérieur du tuyau de projection et de la lance	Domaine d'utilisation	Débit d'air comprimé** pour 100 m de tuyau (à titre indicatif)	Pièces d'usure			
					Joint de rotor et coude de sortie	Disques métalliques	Embout de lance	Bague à eau
<b>REED</b>	Rotor 30 alvéoles	¾ « ; 1 » (19 ; 25 mm)	Petits travaux, talon poutrelle, arêtes, petites réparations	5 000 l/minute	X	X	X	X
LOVA	Rotor 21 Alvéoles	1 « ¼ (30 mm) 1 « ½ (36 mm)	Réparations faible épaisseur	8 000 l/minute	X	X	X	X
	Rotor 20 alvéoles	1 « ½ (36 mm)	Projection grande surface épaisseur < 7cm	8 000 l/minute	X	X	X	X
	Rotor 15 Alvéoles	2 „ (48 mm)	Gros volume	17 000 l/minute	X	X	X	X
REED 215*	Rotor 12 Alvéoles	2 „ ½ (60 mm)	Gros volume	21 000 l/minute	X	X	X	X
* modèle de mêmes caractéristiques que le modèle LOVA mais utilisable seulement pour les produits réfractaires								
** ajouter de 4 000 l/minute pour motorisation pneumatique								

MARQUE	Equipement	Ø intérieur	Domaine d'utilisation	Débit d'air comprimé*	Pièces d'usure
--------	------------	-------------	-----------------------	-----------------------	----------------

**ASQUAPRO Comité Technique**

et modèle de machine	(rotor) Type	du tuyau de projection et de la lance		pour 100 m de tuyau (à titre indicatif)	joints de rotor et coude sortie	Disques métalliques	Embout lance	Bague à eau
<b>AIRPLACO</b>  C. 9A  C.10 HSL	Rotor 15 Alvéoles	1 « ½ (36 mm)	Réparations et grande surface épaisseur 5 à 7cm.	12 000 l/minute	X	X	X	X
	Réglage du débit par variation de la vitesse de rotation du rotor	1 » 5/8 (42 mm)	Grande surface, épaisseur > à 10 cm.	17 000 l/minute	X	X	X	X
		2 « (50 mm)	Gros volume	20 000 l/minute	X	X	X	X

\*Ajouter 8 000 l/minute pour motorisation pneumatique

MARQUE	Equipement	Ø intérieur	Domaine d'utilisation	Débit d'air comprimé*	Pièces d'usure
--------	------------	-------------	-----------------------	-----------------------	----------------

**ASQUAPRO Comité Technique**

Type de machine	(rotor) Type	du tuyau de projection et de la lance		pour 100 m de tuyau (à titre indicatif)	joints de rotor et coude de sortie	Disques métalliques	Embout lance	Bague à eau
<b>ALLENTOWN</b>  GR15	Rotor 18 alvéoles	1 « ½ (36 mm)	Réparations et grande surface épaisseur < à 7cm	10 000 l/minute	X	X	X	X
	Rotor 15 Alvéoles	2 « (50 mm)	Gros volume	20 000 l/minute	X	X	X	X
* Ajouter 8 000 l/minute pour motorisation pneumatique								

**ASQUAPRO Comité Technique**

MARQUE et  Type de machine	Type péristaltique  Equipement	Ø intérieur du tuyau de projection et de la lance	Domaine d'utilisation	Débit d'air comprimé pour 100 m de tuyau (à titre indicatif)	Pièces d'usure		
					Tube péristaltique (1/4 de spire)	Embout lance	Bague à eau
<b>LANCY</b>  Tubaflow V6.65	Equipement unique et variation de la vitesse de rotation des galets pour régler le débit de projection	Ø 40 mm Ø 50 mm Ø 60 mm Ø 65 mm	Grande surface Epaisseur > à 7cm  Gros volume	De 8 000 l/minute  à  21 000 l/minute	Tube « écrasé »	X	X
NOTA : cette machine peut également être utilisée pour la projection par voie mouillée (flux dilué)							

**ASQUAPRO Comité Technique**

MARQUE et modèle de machine  type : machine à sas	Ø intérieur du tuyau de projection et de la lance	Domaine d'utilisation	Débit d'air comprimé pour 100 m de tuyau (à titre indicatif) <i>compris moteur pneumatique</i>	Pièces d'usure	
				Embout de lance	Bague à eau
<b>TORKRET</b>  B0	Ø 25 mm	Reprise petits volumes (talons poutrelles, arêtes, accès délicats, rejointoiement)	6 000 l/minute	X	X
N1	Ø 32 mm	Reprise petits volumes (talons poutrelles, arêtes, accès délicats, rejointoiement)	8 000 l/minute	X	X
S3  Roue à poches de 18 alvéoles	Ø 32 mm	Réparation béton, revêtement faible épaisseur (jusqu'à 7 cm) avec maîtrise de la planéité de la surface projetée, travaux d'accès délicats.	10 000 l/minute	X	X
roue 24 alvéoles	Ø 40 mm	Forte épaisseur et grande surface sans soucis maîtrise de l'épaisseur.	12 000 l/minute	X	X
(variation de la vitesse de rotation de la roue pour tous les modèles)	Ø 50 mm	Travaux gros volume.	17 000 l/minute	X	X

**ASQUAPRO Comité Technique**

MARQUE et modèle de machine	Equipement (rotor) Type et capacité	Ø intérieur du tuyau de projection et de la lance	Domaine d'utilisation	Débit d'air comprimé pour 100 m de tuyau (à titre indicatif)	Pièces d'usure			
					Joints de rotor	Disques métalliques	Embout lance	Bague à eau
<b>MEYCO</b> GM 90  ou  <b>ADDAX</b>  ou  <b>MIXJET</b> PVS 60	9 trous ronds  <b>8,2 litres</b>	Ø 50 mm	GROS VOLUMES	17 000 l/minute	X	X	X	X
	Secteurs de couronnes  <b>11,7 litres</b>	Ø 65 mm		20 000 l/minute	X	X	X	X
	Double rotor secteurs  <b>23,4 litres</b>	Ø 85 mm		25 000 l/minute	X	X	X	X
<b>ALIVA</b>  AL 262	Rotor secteurs  <b>10 litres</b>  <b>16 litres</b>	Ø 50 mm  Ø 65 mm	GROS VOLUMES	20 000 l/minute	X	X	X	X
(*) ajouter 8 000 l/minute pour motorisation pneumatique								

5.5.2 Matériel de projection – voie mouillée

Machines à projeter les mortiers et bétons de sable

MARQUE (type de pompe) MODELE	Domaine d'utilisation	Consommation en air comprimé (en litres/min)	Pièces d'usure
LANCY (pompes à vis)  PH 9R  TP10R et TP15R	Couche de faible épaisseur (M : 1cm ; BS : 4 à 5cm) granulométrie jusqu'à 6 mm, distance : M=50 m ; BS > 100 m	1 000	Vis et jaquette, buse de la lance de projection
	Couche de faible épaisseur (M: 1cm, BS : 4 à 5cm) granulométrie jusqu'à 6 mm, distance 80 m	1 000	Vis et jaquette, buse de la lance de projection
PUTZMEISTER (pompe à vis)  SP 11 – (DMB, DMR, DQR)  P13	Couche de faible épaisseur (M: 1cm, BS: 4 à 5cm) granulométrie jusqu'à 6 mm, distance 120 m et pression 25 bars pour DMB et DMR, distance 300 m et pression 60 bars pour DQR	1 000	Vis et jaquette, buse de la lance de projection
	Couche de faible épaisseur (m: 1cm, bs: 4 à 5cm) granulométrie jusqu'à 8 mm, distance jusqu'à 300 m, pression 40 bars (apte à projeter des bétons BPVM 0/8 mm)	1 000	Joint d'étanchéité des pistons et buse de la lance de projection
<b>Toutes les machines ci-dessus comportent un malaxeur</b>	<b>Légende « domaine d'application » : M = mortier ; BS = béton de sable ; BPVM = béton projeté par voie mouillée</b>		

**ASQUAPRO Comité Technique**

<b>MARQUE</b> (type de pompe) MODELE	Domaine d'utilisation	Consommation en air comprimé (en litres/minute)	Pièces d'usure
<b>MEYCO</b> (pompe à vis)  Deguna 20 t	Couche de faible épaisseur (M: 1cm, BS: 4 à 5cm) granulométrie jusqu'à 4 mm, distance : M=30 m ; BS > 80 m	1 000	Vis et jaquette, buse de la lance de projection
<b>PFT</b> (pompe à vis)  ZP 3 V	Couche de faible épaisseur (M: 1cm, BS: 4 à 5cm) granulométrie jusqu'à 4 mm, distance : M=50 m ; BS > 100 m	1 000	Vis et jaquette, buse de la lance de projection
<b>TURBOSOL</b> (pompe à pistons) MAXI 6	Couche de faible épaisseur (M: 1cm, BS: 4 à 5cm) granulométrie jusqu'à 10 mm, M : distance jusqu'à 150 m à 40 bars ; BS : distance > 200 m à 40 bars (apte à projeter des bétons BPVM 0/10 mm)	1 000	Joints d'étanchéité des pistons, buse de la lance de projection
<b>Toutes les machines ci-dessus comportent un malaxeur</b>	<b>Légende « domaine d'application » : M = mortier ; BS = béton de sable ; BPVM = béton projeté par voie mouillée</b>		

Machines à projeter le béton

MARQUE (type de pompe) MODELE	Domaine d'utilisation	Consommation en air comprimé	Pièces d'usure
<b>LANCY</b>  (péristaltique flux dense) PB 15  (péristaltique flux dilué) P.V.S. 65 (Tubaflow)	Transport et projection béton, granulométrie jusqu'à 25 mm distance jusqu'à 80 m	10 000 l/min introduit à la lance	Tuyau écrasé droit, embout de lance
	Transport et projection béton, granulométrie jusqu'à 15 mm distance jusqu'à 100 m	20 000 l/min (introduit en sortie de machine)	Tuyau écrasé ¼ de spire, embout de lance
<b>ALIVA</b>  (rotor pour flux dilué) AL 263  (rotor pour flux dilué) AL 285  (pompe à pistons) ALIVA 278)	Transport et projection de béton, granulométrie jusqu'à 20mm distance jusqu'à 50 m	21 000 l/min introduit sortie de machine	Joint d'étanchéité rotor et disques métalliques, Embout de la lance
	Transport et projection de béton, granulométrie jusqu'à 25mm distance jusqu'à 50 m	30 000 l/min introduit en sortie de machine	Joint d'étanchéité rotor et disques métalliques, Embout de lance.
	Transport et projection de béton, granulométrie jusqu'à 15 mm, distance jusqu'à 60 m	10 000 l/min introduit à la lance	Joint d'étanchéité des pistons Embout de lance

**ASQUAPRO Comité Technique**

<b>MARQUE</b> (type de pompe) MODELE	Domaine d'utilisation	Consommation en air comprimé (en litres/minute)	Pièces d'usure
<b>PUTZMEISTER</b>  (pompe à pistons) BSA 702 D	Transport et projection béton, granulométrie jusqu'à 16 mm, distance jusqu'à 300 m à 70 bars	10 000  introduit à la lance de protection	Joints d'étanchéité des pistons, buse de la lance de protection
(pompe à pistons) BSA 1002 SV-D/E	Transport et projection béton, granulométrie jusqu'à 20 mm, distance 300 m à 75 bars	10 000  introduit à la lance de protection	Joints d'étanchéité des pistons, buse de la lance de protection
<b>MEYCO</b>  (pompe à pistons) SUPREMA  combinée avec un appareil de dosage pour l'accélérateur	Utilisé uniquement en projection de béton, granulométrie jusqu'à 16 mm, distance jusqu'à 300 m à 70 bars	10 000  introduit à la lance de projection	Joint étanchéité des pistons, buse de la lance de projection
<b>TURBOSOL</b>  (pompe à pistons) TSB 215	Transport et projection béton jusqu'à 16 mm de granulométrie, distance jusqu'à 150 m à 70 bars	10 000  introduit à la lance de projection	Joints d'étanchéité des pistons, buse de la lance de projection
<b>SEMAFOR</b>  (pompe à pistons) P 3.12 M.E  combinée avec un appareil de dosage pour l'accélérateur	Projection béton, granulométrie 16 mm, distance jusqu'à 150 m à 70 bars	10 000  introduit à la lance de projection	Joints d'étanchéité des pistons, buse de la lance de projection

**Équipement de projection automoteur, avec bras manipulateur télécommandé, appelé « robot de projection »**

Constructeur	Dénomination	Domaine d'utilisation
<b>ALIVA</b>	<p style="text-align: center;">ALIVA 500</p> <p>Se décline avec différents équipements de pompage</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aliva 307</li> <li>• Aliva 302</li> <li>• Aliva 285</li> <li>• Aliva 278</li> <li>• Aliva 279</li> </ul>	Tunnels de moyennes à grandes section, suivant les équipements de pompage
<b>PUTZMEISTER</b>	<p style="text-align: center;">WETKRET WKM 103</p> <p style="text-align: center;">équipé d'une pompe BST 1003 E</p>	Tunnels de 9 m à 13,5 m de hauteur et de 14 m à 25 m d'ouverture
<b>MEYCO</b>	<p>POTENZA.</p> <p>MAMBA</p> <p>COBRA</p> <p>SPRAYMOBILE</p>	<p>Tunnel hauteur 14 m</p> <p>Tunnel hauteur 9 m</p> <p>Tunnel hauteur 9 m</p> <p>Tunnel hauteur 14 m</p>
<b>SEMAFOR</b>	<p>BP 751 L 10</p> <p>BP 950 L 12</p>	<p>Tunnel hauteur 10 m</p> <p>Tunnel hauteur 12 m</p>

**Bras manipulateur de lance de protection**

Pour ce type d'équipement nous donnons une liste des principaux matériels au jour de la rédaction du document.

<b>CONSTRUCTEUR</b>	<b>DENOMINATION</b>
<b>MEYCO</b>	ROBOJET ROBOJET MODULA ORUGA
<b>SEMAFOR</b>	Manipulateur de lance à béton adaptable sur bras de mini-pelle
<b>OCMER</b>	OSM – 8600 rapido
<b>ALIVA</b>	ALIVA 504 (sur roue ou sur chenilles)

**Pompes doseuses pour accélérateurs liquides**

Ne sont indiqués que les matériels autonomes, utilisables séparément des machines.

Constructeur	Dénomination
<b>ALIVA</b>	Doseur
<b>MEYCO</b>	Doseur MIXA

## 6 PRATIQUE DES TRAVAUX : SAVOIR-FAIRE DU PORTE-LANCE

Ce paragraphe précise les gestes et attitudes du porte-lance pour assurer la qualité de la projection.

### 6.1 Installation et organisation du chantier

**La logique veut que le porte-lance participe à l'installation du chantier et à son organisation, phases essentielles pour que le travail s'effectue dans de bonnes conditions.**

Une installation de chantier doit répondre à une série de points à prendre en compte listés ci-dessous :

- Le lieu d'installation du matériel : il convient de déterminer la surface nécessaire pour mettre en place tous les moyens à utiliser pour projeter le béton et rester compatible avec les distances de transfert.
- Les accès au chantier : désigner l'itinéraire par où s'effectue l'approvisionnement du chantier. Vérifier la capacité de passage des charges.
- Les raccordements : vérifier les possibilités et conditions d'utilisation des réseaux d'eau et d'électricité.
- L'environnement : prendre en compte les contraintes de nuisances sonores, émission de poussières, pollution, exploitation...
- la liaison du porte-lance avec la zone d'installation.
- Les moyens envisagés pour l'exécution des travaux en hauteur : échafaudages, nacelles automotrices , etc.)
- Les moyens à mettre en œuvre pour respecter les règles d'Hygiène & Sécurité : se reporter aux recommandations ASQUAPRO disponibles sur le site : [www.asquapro.asso.fr](http://www.asquapro.asso.fr)

#### 6.1.1 Mise en place du matériel

De préférence le compresseur est installé dans une zone qui n'est pas directement à proximité d'un lieu avec production de poussières et qui est équipée d'un bac de rétention en cas de pollution par des hydrocarbures.

Les stockages de matériaux se font sur des surfaces planes de dimensions et de portance adaptées au mode de stockage, silos ou trémies.

La machine à projeter est installée sur une surface plane avec une aire d'évolution de façon à permettre le réglage et l'entretien.

#### 6.1.2 Vérification du matériel

Avant le démarrage des travaux il est recommandé de procéder à une vérification complète des matériels qui sont utilisés pour la projection en particulier :

- la conformité du matériel vis à vis des règles de sécurité
- l'état de propreté et des pièces d'usure
- la présence des câbles de protection pour la mise en sécurité des raccords sur les conduites d'air comprimé
- le bon fonctionnement des vannes de réglages et des manomètres

### 6.1.3 Essais de mise en route

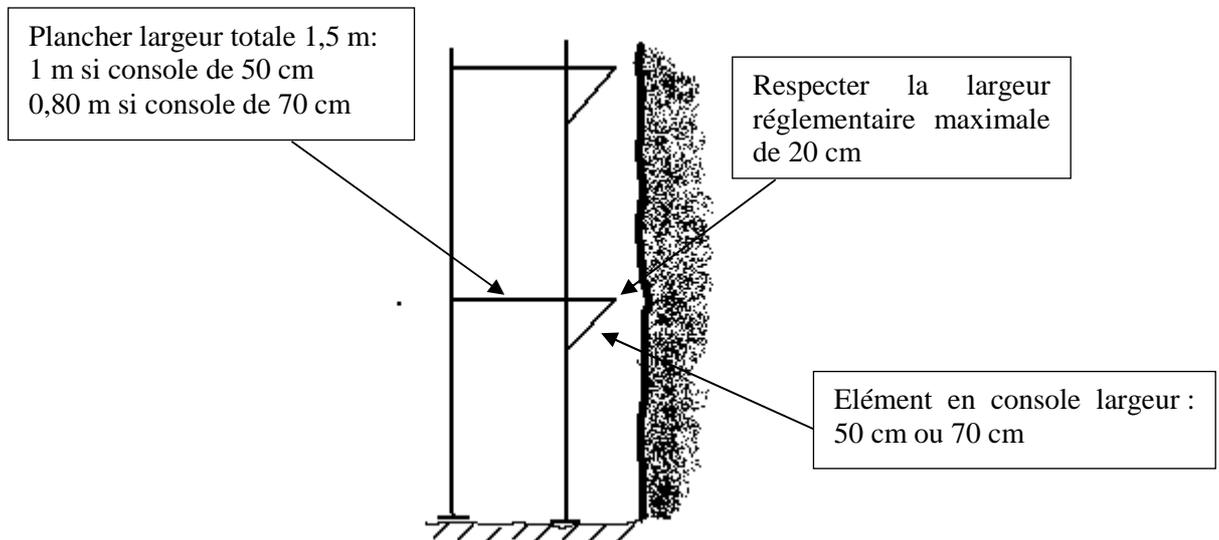
Après ces vérifications, il est recommandé de procéder à un essai à vide de l'ensemble de l'installation pour contrôler l'absence de défauts sur les raccords des réseaux et conduite de transfert.

### 6.1.4 Travaux sur échafaudages

La conception des échafaudages et leur montage doivent bien sûr correspondre aux règles en vigueur (dimensionnement, montage par du personnel habilité, réception avant utilisation par un organisme agréé).

Le dimensionnement peut se faire avec les charges habituellement prises en compte ( $250 \text{ kg/m}^2$ ) si les pertes sont évacuées en conséquence. Lors du dimensionnement, la charge peut être augmentée pour prendre en compte une quantité plus importante de pertes. Pour les échafaudages courant, on se limite à  $450 \text{ kg/m}^2$ .

La géométrie de l'échafaudage doit permettre la projection dans de bonnes conditions, avec un recul adapté (voir schéma ci-dessous).



*Croquis de principe d'un échafaudage avec éléments verticaux écartés du parement pour ne pas faire obstacle à la projection*

L'inadaptation de l'échafaudage peut multiplier les pertes par 2.  
La surface échafaudée doit être en rapport avec le débit de projection.



*Echafaudage conforme à la législation mais inadapté pour la qualité de la projection (distance lance-paroi trop courte par manque de recul)*

### 6.1.5 Travaux acrobatiques

Les travaux en techniques d'accès difficiles (travaux sur cordes) doivent être limités à des interventions ponctuelles, la position du porte-lance ne lui offrant pas les conditions nécessaires à la bonne mise en œuvre du béton projeté (mouvement de la lance, distance lance /paroi , bon enrobage des armatures, etc.).

## 6.2 Règles de calcul des quantités de mélange

*Attention, la règle ci-dessous ne prend pas en compte l'existence éventuelle de hors-profil.*

La quantité Q de mélange à approvisionner peut être calculée par la formule suivante :

$$Q = 2,2 \frac{S \times (e + 0,01)}{C} \text{ en tonnes}$$

où :

- ✓ S est la surface à projeter (en m<sup>2</sup>)
- ✓ e l'épaisseur demandée (en m)
- ✓ une marge de sécurité de 1 cm est prise par rapport aux écarts de pose du ferrailage. Cette marge doit être portée à 2,5 cm pour intégrer 1,5 cm projetés en surépaisseur en cas de demande d'une surface dressée à la règle et d'une finition talochée (sur la base d'un projeteur expérimenté)
- ✓ C est le coefficient de pertes<sup>6</sup> : C = (100-% de pertes)/100

<sup>6</sup> Ordre de grandeur des pourcentages de pertes à prendre en compte pour l'approvisionnement (avec un porte-lance expérimenté) :

Voie sèche			
(sans adjuvant)	Voie mouillée		
	(avec raidisseur)	Paroi verticale	20-30 % 10 % Plafond
			40-50% 15-25%

2,2 tonnes représentent la quantité de matériau sec nécessaire pour obtenir en place un m<sup>3</sup> de béton projeté.

Le mélange avant projection a une densité de 1,5 (matériau avec une teneur en eau de 3 à 4% par rapport au mélange ciment + granulats) à 1,8 (matériau sec).

### 6.3 Réglage de la machine de projection en voie sèche

Rappelons que le porte-lance donne les consignes pour les réglages des paramètres qui conditionnent la projection :

- débit d'air à la machine,
- alimentation en eau à la lance pour les mélanges à consistance pulvérulente,
- mise en route de la machine,
- débit en matériaux suivant le type de machine,
- alerte sur d'éventuelles anomalies.

Pour cela il procède de 2 façons :

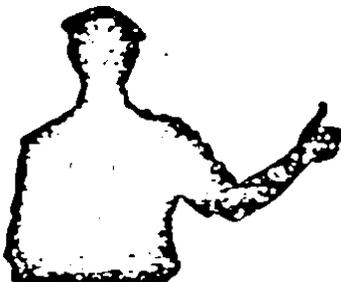
- soit « à vue »
- soit par une liaison filaire ou radio souvent délicate à utiliser en fonction du niveau sonore ambiant du chantier.

Pour le procédé à « vue », le porte lance utilise un code gestuel dont les signaux sont donnés ci-dessous.



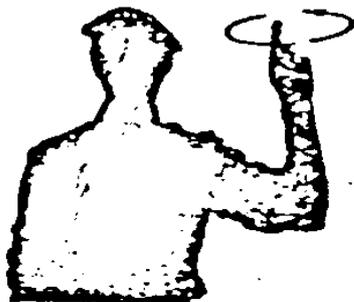
Le porte lance fait en geste en portant le pouce à la bouche

Ouvrir le robinet d'alimentation en eau de la lance



Bras à 45 ° pouce levé vers le haut

- je suis prêt
- l'eau est O.K
- envoyer l'air
- le tuyau n'est pas bouché



Bras cassé à l'équerre, index levé vers le haut avec un mouvement circulaire :

Mettre la machine en route

Pour les machine à débit variable :

rotation du bras vers le haut

Augmenter le débit en matériaux

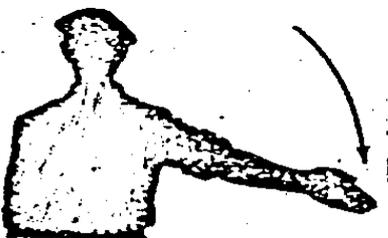
rotation du bras vers le basRéduire le débit en matériaux



Balancement de l'avant bras

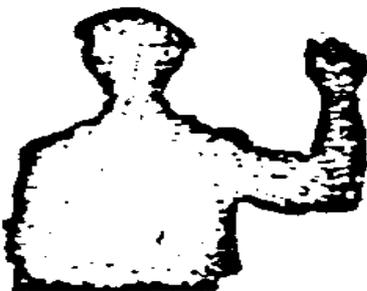
Vers le haut : augmenter la vitesse de projection

Vers le bas : réduire la vitesse de projection



Balancement bras tendu vers le bas

Arrêt de la machine



Bras cassé à l'équerre vers le haut point fermé

Tuyau bouché



Les 2 bras levés

Arrêt d'urgence

## 6.4 Projection par voie sèche avec recherche d'adhérence

### 6.4.1 Orientation de la lance

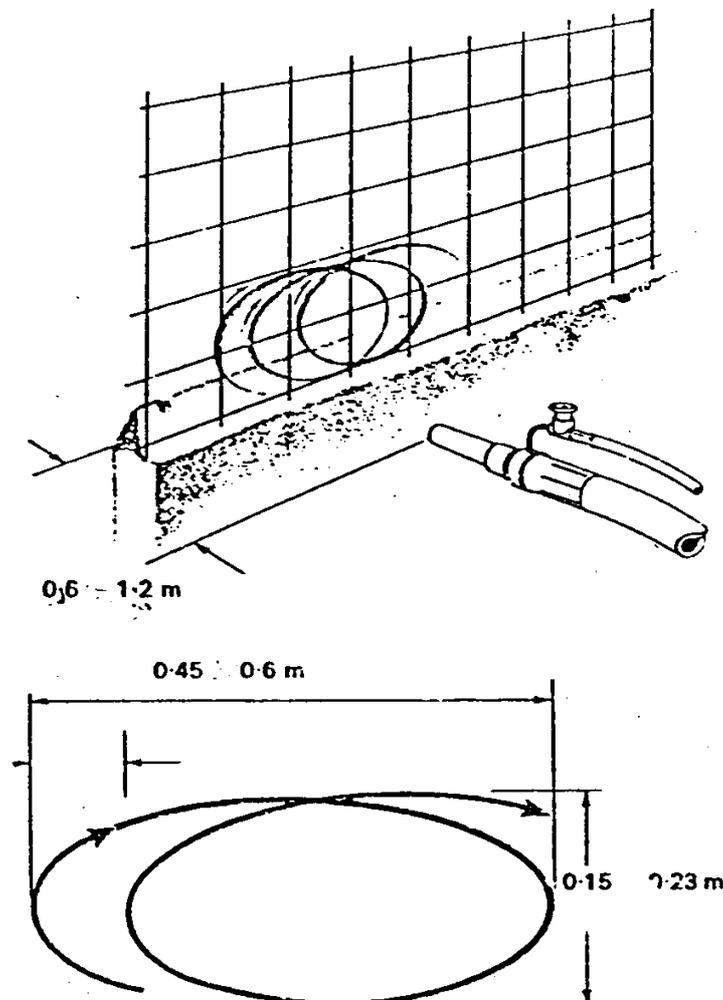
Le porte-lance tient la lance de façon à ce que le jet de béton soit orienté perpendiculairement à la surface réceptrice.

L'angle formé par l'impact du jet de béton avec la surface influe dans des proportions très importantes sur le pourcentage des pertes par rebond, le rebond étant minimal pour une orientation du jet perpendiculaire au support [SANTIAGO, 1992], [RESSE, 1981].

### 6.4.2 Conduite de la lance

La lance est tenue à une distance du support adaptée au diamètre intérieur de la conduite de transfert, généralement comprise entre 0,60 m et 1,20 m.

Le porte-lance manipule la lance avec un mouvement elliptique adapté à la distance de façon à former des boucles de projection allongées entre 45 et 60 cm pour une amplitude de hauteur entre 15 et 25 cm. Cette manipulation se fait avec un mouvement lent.



### 6.4.3 Début de projection

Sur un support vertical, la projection se fait du bas vers le haut en partant d'un angle pour projeter sur une surface toujours propre.



*Renforcement de l'estacade du port de la ROCHELLE  
Début de projection par voie sèche sur support vertical*

En plafond, la projection se fait en reculant pour un meilleur contrôle de l'épaisseur.

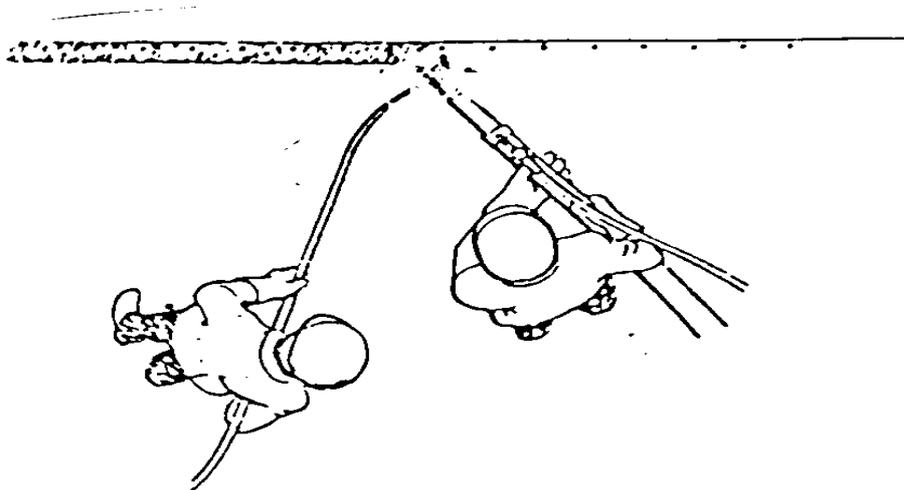


*Réparation de la sous-face de la dalle du cadre après un incendie  
Passage inférieur du ROND -POINT BONAPARTE à TOULON  
Début de projection par voie sèche en plafond*

## 6.5 Projection par voie sèche pour travaux en forte épaisseur

Contrairement aux techniques habituelles de projection, le porte-lance tient la lance avec une orientation de 45°. Il débute la projection par l'exécution d'un chanfrein qui présente une surface bise à environ 45° de façon à favoriser la constitution du voile en épaisseur avec une parfaite évacuation des rebonds.

En cas de forte densité du ferrailage et si l'on craint de piéger des rebonds un assistant utilise une soufflette d'air pour assurer l'évacuation des rebonds et le nettoyage éventuel des armatures. Cette opération doit être menée avec délicatesse pour ne pas nuire à la cohésion du béton frais.



*Travail à deux, un porte-lance et un assistant, pour mise en œuvre d'une couche épaisse*



Chanfrein

*Ceinture en béton projeté armé et précontraint du viaduc de Terenez  
Projection en forte épaisseur (50 cm)  
On remarque le chanfrein dans toute l'épaisseur de la couche.*

## 6.6 Projection par voie mouillée

Les principes de projection ont été assez détaillés pour la voie sèche car cette technique est très largement plus sensible au savoir-faire du porte-lance que la voie mouillée.

En fait, ces principes sont similaires pour les deux techniques, ainsi que la plupart des codes visuels.

La voie mouillée est moins exigeante pour le porte-lance car :

- ✓ il n'a pas à faire de réglage à la lance (la qualité du produit dépend surtout du réglage de la machine et de la formulation du mélange),
- ✓ la distance de projection est moins délicate à optimiser (pour la projection manuelle sans bras robotisé, cette distance est bien inférieure à celle préconisée en voie sèche : de 20 à 40 cm contre 80 cm à 1,20 m) .

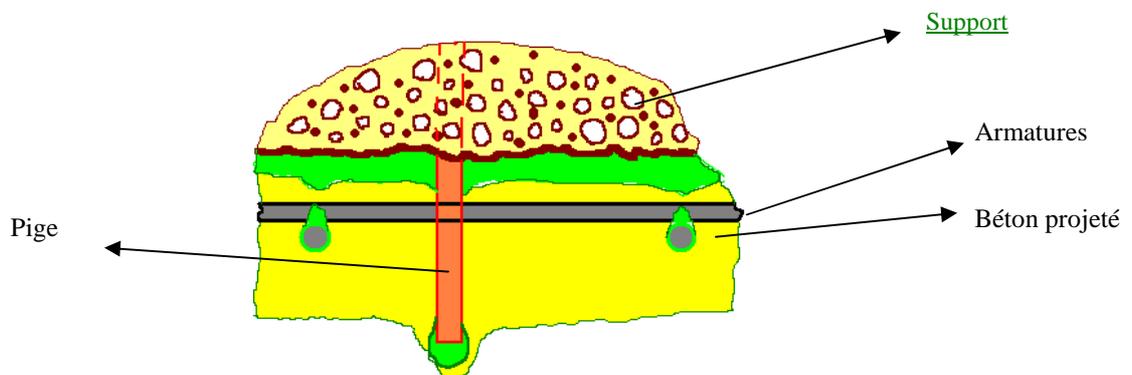
Par contre, la projection par voie mouillée :

- ✓ met en œuvre un tuyau beaucoup plus lourd à manipuler (car il est plein), ce qui peut être ennuyeux si la surface réceptrice est très irrégulière (difficulté de bien orienter la lance perpendiculairement au support) et ce qui impose une projection robotisée dès que le débit dépasse 6 m<sup>3</sup>/h ;
- ✓ rend plus difficile le bon enrobage des armatures si le ferrailage est dense.
- ✓

## 6.7 Guides d'épaisseur

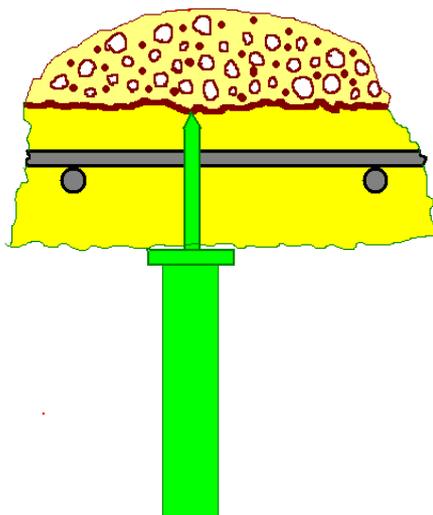
Il est souvent nécessaire de mettre en place des dispositifs pour le contrôle des épaisseurs mises en place. Il peut s'agir :

- ✓ de piges constituées d'une tige métallique fixée dans le support dont la longueur apparente correspond à l'épaisseur demandée. L'efficacité de ce dispositif est contestable car un phénomène de dépôt se produit souvent sur la pointe de la pige et rend difficile l'appréciation de l'épaisseur en place.

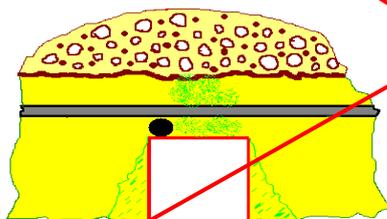


*On représente en vert le démarrage de la projection : le dépôt sur la pointe se forme dès le début et a du mal à s'atténuer même lorsque l'épaisseur de béton augmente (en jaune). On trouve souvent des surépaisseurs locales de près 2 cm... Ce phénomène n'est pas vraiment comparable à la persistance du fantôme du treillis soudé car, dans ce cas, il reflète une mauvaise maîtrise de la projection alors qu'il est inévitable avec les piges (voir § 6.9)*

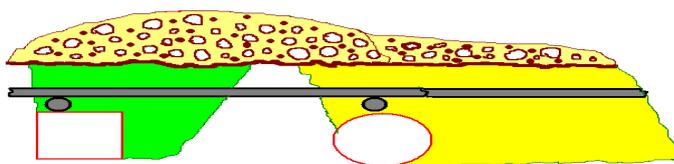
- ✓ d'une pointe équipée d'une rondelle : la vérification consiste alors à enfoncer manuellement la pointe dans la couche de béton fraîchement projetée. Lorsqu'on voit l'impact de la rondelle en surface, c'est que l'épaisseur requise est atteinte.



- ✓ d'éléments fixés au ferrailage (tasseaux bois ou tube PEHD pour les surfaces courbes) : dans ce cas, il est conseillé de travailler par plots alternés ou successifs pour ne pas emprisonner le guide dans la masse de béton



*Ne pas emprisonner le guide dans le béton projeté !*



*En jaune, à droite, une projection par plots permet le dépôt de l'élément guide avant projection de l'élément contiguë. La surface doit être préparée pour éliminer les éventuels matériaux piégés à l'arrière du guide (voir §6.8). La projection se poursuit en prenant comme repère, d'un côté l'arrêt de béton précédent, de l'autre le guide déplacé.*

*En vert, à gauche, on réalise une première phase de bétonnage permettant de matérialiser l'épaisseur de béton requise puis d'ôter toute pièce étrangère. Voir également la photo suivante.*



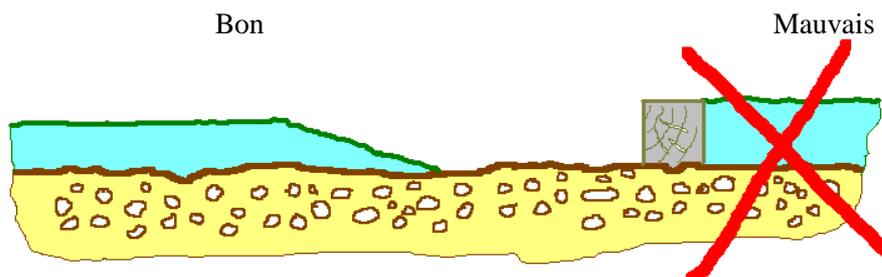
*Pour le renforcement d' une traverse de pont cadre, on a d'abord utiliser un tasseau qui a permis de projeter l'épaisseur de béton requise. Après durcissement et enlèvement de ce tasseau, c'est le béton en place qui servira de guide d'épaisseur. Cette solution est optimale pour la qualité du béton en place et n'est pas pénalisante pour la vitesse d'avancement du chantier puisque ceci a été réalisé en même temps que la première couche de béton projeté.*

## 6.8 Arrêt de bétonnage

Lorsque, pour des raisons de phasage ou de fin de poste de projection, il est nécessaire de procéder à un arrêt de bétonnage de la couche projetée, on doit adopter les dispositions suivantes à la fin du poste de projection :

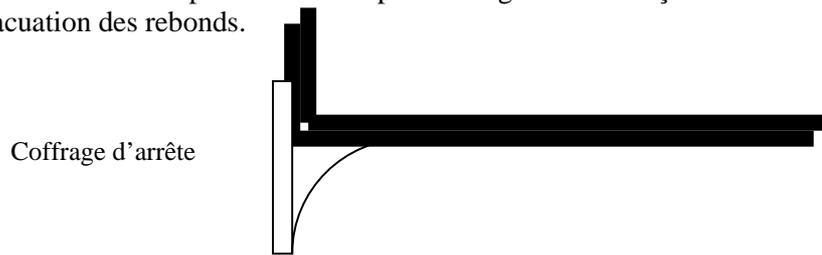
- ✓ Terminer par un chanfrein suivant un angle d'environ 30°
- ✓ Faire une préparation de la surface de reprise (voir paragraphage 3.4.3).

Ne jamais délimiter l'arrêt de bétonnage avec un coffrage car cela provoquerait l'apparition d'une fissure sous l'action du retrait lors de la prise du béton.



## 6.9 Projection contre un coffrage d'angle

Il faut commencer par traiter ces points singuliers de façon à réaliser un gousset pour favoriser l'évacuation des rebonds.



*Visualisation du gousset à l'angle des coffrages*



*Détail début de projection sur l'angle de coffrage (PI autorouteA6 à JOIGNY)*

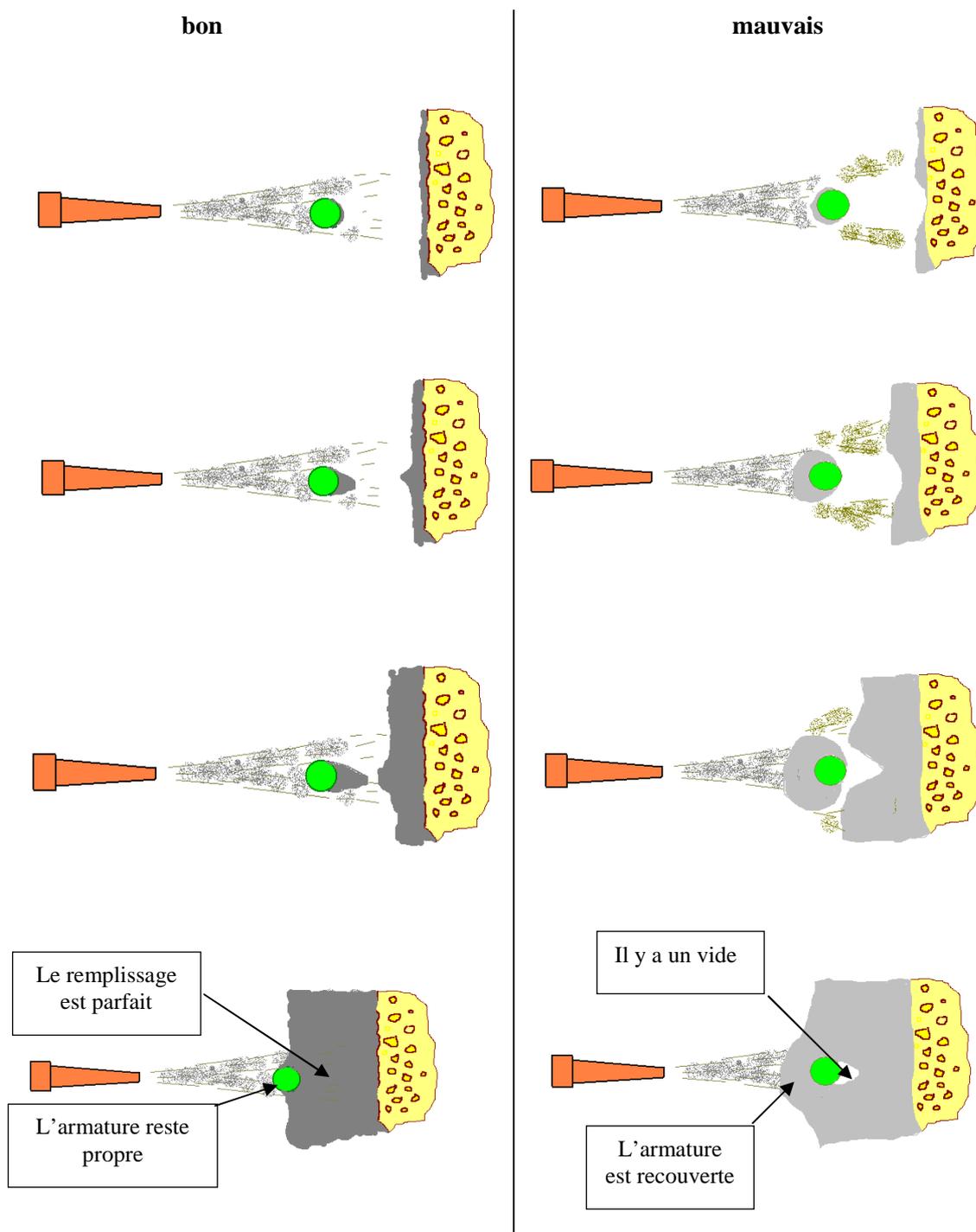
## 6.10 Conditions d'enrobage des armatures

C'est la principale difficulté qui met en évidence la compétence et le savoir faire du porte-lance. Le bon enrobage des armatures – en voie sèche comme en voie humide – fait appel à différents paramètres :

- tenue de la lance perpendiculairement à la surface à projeter (ou à sa tangente pour les surfaces courbes)
- distance lance/paroi en rapport avec le débit en matériaux, fonction du type de machine et de la capacité de l'équipement
- vitesse de sortie des matériaux, fonction du réglage en débit d'air comprimé
- réglage de l'eau à la lance pour la voie sèche
- formulation du mélange :
  - ✓ le  $D_{max}$  ne doit pas être inférieur à 8 mm (les gros éléments favorisent le nettoyage des armatures par martèlement ainsi que le matelassage de la couche à l'arrière des armatures) ;
  - ✓ le dosage et le type d'adjuvant utilisé pour la tenue du béton doivent lui permettre de rester malléable pendant le temps de constitution de la couche à l'arrière des armatures ;
  - ✓ l'emploi de fumée de silice (agent cohésif) est particulièrement délicat car il y a un risque de provoquer un empâtement des armatures et de limiter le rôle des gros granulats ;
  - ✓ en cas d'emploi d'un adjuvant raidisseur, celui-ci ne doit pas être trop rapide ni avoir un effet gélifiant pour ne pas provoquer l'empâtement des armatures.

Dans tous les cas, les critères visuels des conditions d'un bon enrobage des armatures sont les suivants :

- les armatures ne doivent pas s'empâter sur la face avant, exposée au jet des matériaux ;
- un dépôt doit se créer par effet de « traînée » sur la face arrière.



Avant chaque chantier mettant en œuvre des armatures, il est nécessaire de vérifier lors des essais de convenance que l'enrobage répond aux critères ci-dessus. On notera qu'il ne s'agit pas seulement de vérifier le savoir-faire du porte-lance mais aussi la bonne adaptation de la formulation et la bonne utilisation du raidisseur éventuel.

## 6.11 Savoir faire du porte lance en projection mécanisée

Dans ce cas, le porte-lance est appelé pilote de robot ou manipulateur de bras d'aide à la projection.

Le maniement des engins d'aide à la projection est délicat, pour ne pas dire aléatoire dès lors qu'il s'agit de projection de couches peu épaisses (<10 cm) avec un respect minimum de tolérances de planéité de la surface du béton.

### 6.11.1 Pilote de robot

Le pilote de robot, placé dans une cabine de conduite ou à distance avec un pupitre de télécommande, maîtrise à l'aide d'une série de manettes l'amplitude des mouvements du bras de projection. Il règle la distance de la lance à la surface réceptrice, l'orientation de la lance et son déplacement dans l'espace. Par contre, le mouvement imprimé à la lance (balayage ou rotation) n'est pas réglable.

### 6.11.2 Manipulateur de bras d'aide à la projection

Le manipulateur doit régler les mêmes paramètres que précédemment. Equipé du pupitre de télécommande, il est posté à proximité de l'engin porteur.

L'emploi du bras d'aide à la projection est particulièrement difficile en cas de projection en voûte. En effet, il faut anticiper l'inversion de réaction des manettes, ce qui complique la coordination du mouvement.



*Exemple de projection avec bras manipulateur  
La perpendicularité du jet et la distance à la paroi sont bien respectées.  
(tunnel de l'Ave Maria à BOULOGNE)*

## 7 CONDITIONS DE TEMPERATURE

### 7.1 Temps froid

Dans tous les cas, la température du support doit être supérieure à 0°C.

Il est recommandé de ne projeter que lorsque la température du support est supérieure ou égale à 5°C.

Lorsque de fortes contraintes spécifiques conduisent à projeter sur des supports de température comprise entre 0 et 5°C :

- les matériaux mis en oeuvre devront avoir une température d'au moins 5°C (mesurée pour l'eau à la sortie de la lance) ;
- la zone projetée doit être protégée et maintenue à une température supérieure à 5°C pendant au moins dix heures ;
- La cure par arrosage est alors interdite car elle conduirait à un délavage du béton (dont le temps de prise va être beaucoup plus lent qu'habituellement). Elle est remplacée par la mise en place d'un film plastique associé à une protection thermique (type laine de roche ou similaire).

Il est illusoire de vouloir réchauffer la quantité d'air nécessaire pour la projection, tant cette quantité est élevée .

### 7.2 Temps chaud

Dans tous les cas, la température du support doit être inférieure à 35°C.

Pour des températures du support supérieure à 35°C, il faut mettre en place des dispositions pour abaisser la température à moins de 35°C :

- aspersion d'eau permanente qui sera interrompue juste avant la projection pour ne pas avoir un support ruisselant

et/ou

- mise en place d'un « parasol » pour maintenir la zone à projeter à l'ombre et la ramener à une température inférieure à 35°C.

Ces dispositions doivent être maintenues pendant au moins 72 h, ce qui amène généralement à préférer une cure par arrosage à tout autre système.

## 8 INTERVENTIONS APRES LA PROJECTION

### 8.1 Finitions

Le principe de projection permet d'obtenir une couche de béton dont l'épaisseur et le comportement varient avec la technique utilisée. Le béton de structure ne doit jamais être retravaillé en surface ; par contre, il est assez fréquent de projeter une couche de finition, couche mince (de l'ordre du centimètre) à vocation esthétique ou sécuritaire (en cas d'emploi de fibres métalliques). Le caractère esthétique peut être lié à l'état de surface (voir paragraphes ci-dessous) ou à la couleur (une couche de finition en béton blanc permet d'obtenir une uniformité de la couleur et atténue les irrégularités géométriques ; par contre les colorants de teinte foncée peuvent générer des problèmes d'homogénéité de couleur).

#### 8.1.1 Projection par voie sèche

##### Cohésion de la couche de béton frais, finitions

Différentes finitions peuvent être envisagées :

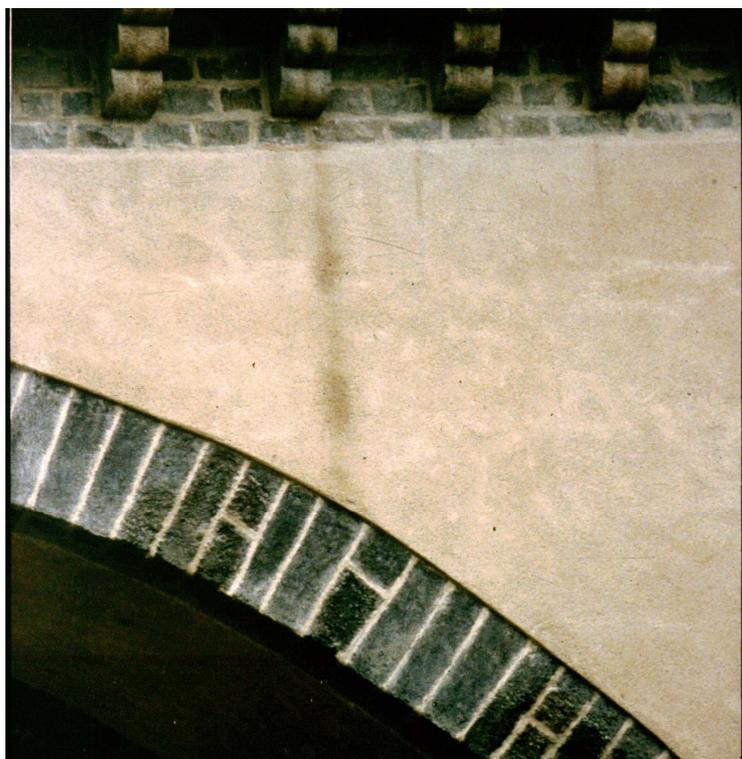


*Planche d'essais pour un talus SNCF :*  
 1, 3, 7 : plots en relief sur une surface talochée  
 2, 5 : béton désactivé  
 4, 8 : surface talochée



6 : béton scarifié

*Détail de certaines planches d'essais*



*Reconstitution par projection de fausses pierres sur le bandeau de la voûte d'un pont sur l'Allier (Lavoute Chilhac) :*

*Après mise en place de baguettes trapézoïdales servant de réservation pour les joints, on projette une formule de béton à base de granulats noirs (basalte) et de ciment teinté. Après talochage, le parement est bouchardé pour faire ressortir les granulats. Les joints sont soulignés par mise en œuvre manuelle d'un mortier de teinte claire à l'intérieur des réservations.*

**Pour le béton de structure, il est impératif de ne pas «travailler» le matériau tant qu'il n'est pas raidi<sup>7</sup>.** Ce raidissement est apprécié en exerçant une pression avec le pouce sur la couche de béton. L'intervention pour le dressement de surface n'est possible que lorsque le béton reste ferme sous cette pression. Le dressement est effectué par recoupe avec une règle biseautée ou la tranche de la truelle.

---

• <sup>7</sup> A noter que, pour une formulation avec adjuvants, il est pratiquement impossible de travailler la surface.



*Dressement de surface par recoupe à la règle (toujours de bas en haut)*



*Dressement de surface par recoupe avec la tranche de la truelle*

Dans le cas d'une demande de finition spécifique, il est conseillé de projeter, après dressage de la dernière couche du béton de structure, une couche finale de faible épaisseur (de l'ordre du centimètre), travaillée à l'état frais. Il n'est pas nécessaire d'utiliser un mélange différent de celui de la couche précédente, sauf si la granulométrie initiale est supérieure à 12 mm en  $D_{max}$ .



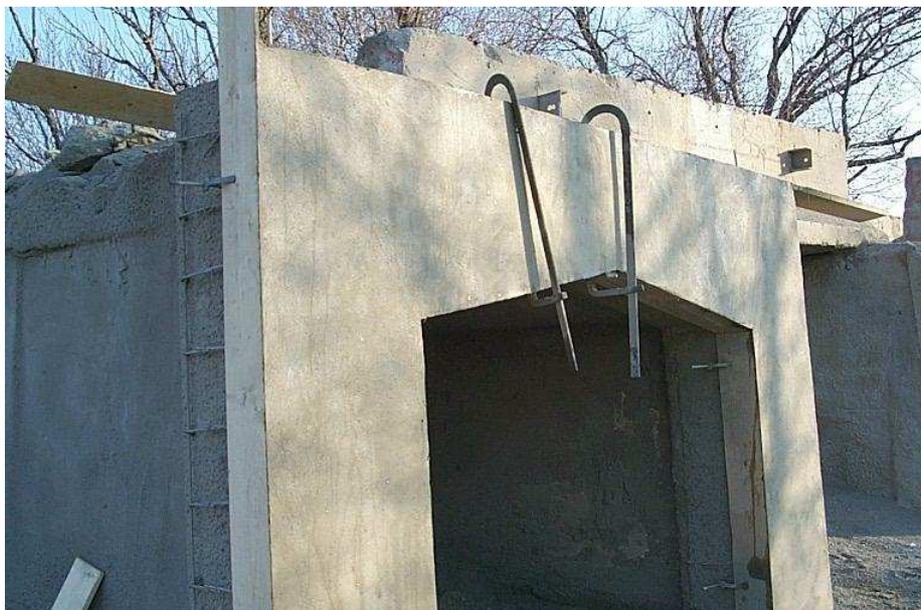
*Projection d'une couche de finition centimétrique*

Il est possible également de laisser cette couche de finition avec l'état de surface vue brute de projection.



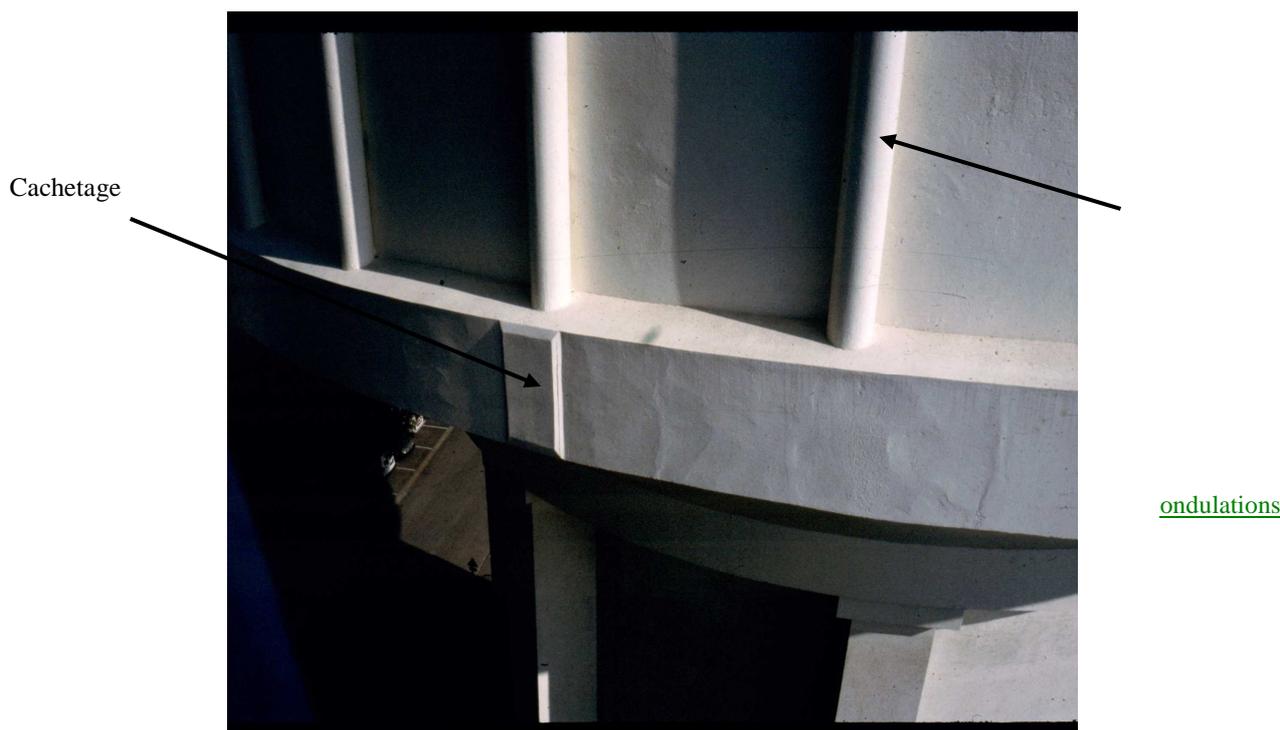
*Finition dressée brute de projection*

La finition peut être effectuée soit par talochage, lissage à la truelle ou éventuellement avec un aspect architectural : béton désactivé, trace de bois de coffrage, etc.



*Couche de finition talochée*

L'attention est attirée sur le rendu d'une surface finie par talochage ou lissage car dans ce cas on amplifie les défauts de planimétrie.



*Renforcement par précontrainte et béton projeté de la ceinture intermédiaire d'un réservoir d'eau potable. Les défauts de géométrie sont soulignés ; par contre on note le traitement très satisfaisant du cachetage des ancrages grâce à un coffrage localisé des arrêtes.*

Un grain grossier atténue ces défauts, comme le montre la photo ci-dessous.



*Partie d'ouvrage sur un barrage : la surface a été dressée à la règle puis une couche de fermeture (d'environ 1 cm) a été projetée pour donner un aspect de type « crépi ».*

### **Fissuration due au retrait**

Il est possible d'éviter l'apparition de fissures dues au retrait, visibles en parement, en limitant l'épaisseur de la dernière couche projetée à 3 cm.

Au delà de 3 cm, sans fibre ou ferrailage, le retrait s'exprimera par une macrofissuration.

Cette réflexion doit être menée au cours de la phase de projet (cf. fascicule « Etat de l'art sur le dimensionnement »).

Le mode de finition et la formulation utilisée influencent la fissuration de retrait. En particulier l'emploi de fumée de silice, dans le cas d'une finition talochée, favorise l'apparition de fissures de retrait (voir photo ci-dessous).



*Faïençage d'un parement après projection et talochage d'une couche de béton projeté avec addition de fumée de silice. La fissuration apparaît malgré la présence d'un treillis soudé à 3 cm du parement. Il faut éviter d'augmenter le dosage en eau de la couche de finition même si cela facilite le travail car les fissures de retrait dues à cet excès d'eau sont alors inévitables.*



*Fissure de retrait de la couche de finition due à un excès d'eau*

### **8.1.2 Projection par voie mouillée**

#### **Cohésion de la couche de béton frais, finitions**

En France, en voie mouillée, on utilise quasi systématiquement un raidisseur (sauf avec le béton de sable en faible épaisseur, par exemple en égout).

L'augmentation de la vitesse de raidissement empêche de travailler la couche de béton après projection.

Dans le cas d'une demande de finition talochée, il est conseillé de projeter une couche de faible épaisseur (centimétrique), sans adjuvant, qui sera travaillée lorsque le béton est encore souple.

Ceci n'est toutefois pas pleinement satisfaisant car, la dernière couche du béton de structure étant impossible à dresser, les défauts de planéité demeurent.

#### **Fissuration due au retrait**

En voie mouillée, les effets du retrait sont plus importants qu'en voie sèche (écart du simple au double) car les formulations sont plus riches en ciment et le E/C plus élevé.

## 8.2 Cure

Pour réduire les effets du retrait, il est nécessaire d'effectuer une cure du parement. Cette cure peut être réalisée avec les mêmes moyens que pour les bétons coulés. La méthode la plus simple est l'humidification réalisée par aspersion d'eau ou de brouillard d'eau. Cette cure doit être réalisée pendant une durée adaptée à la formule utilisée et aux conditions atmosphériques. A titre indicatif, sa durée peut varier entre 24 et 72 heures.

Il est possible d'utiliser un produit de cure qui sera pulvérisé à la surface du béton. Toutefois, en cas de reprise entre couches, ce produit – nuisible à l'adhérence – doit être éliminé. Pour cela, le lavage n'est pas suffisant. Il est nécessaire d'avoir recours à un sablage léger ou à de l'eau sous pression (à partir de 500 bars). Le brossage ne convient pas.

En milieu confiné, l'utilisation de produits de cure solvantés est interdite.

## 9 BIBLIOGRAPHIE

SANTIAGO Manuel Olivares, *Ciments, bétons, plâtres, chaux*, n° 795 – 2/92, pp. 121-124

RESSE C., VENUAT M., 1981, « Projection des mortiers, bétons et plâtres », Techniques et applications au Bâtiment et aux TRAVAUX PUBLICS, 382 pages

AFTES, 1974, « Technologie du boulonnage », *Tunnels et ouvrages souterrains*, n°6,

« RECOMMANDATIONS CLOUTERRE, 1991 pour la conception, le calcul, l'exécution et le contrôle des soutènements réalisés par clouage des sols », 268 p. et ADDITIF 2002 AUX RECOMMANDATIONS CLOUTERRE 1991 pour la conception, le calcul, l'exécution et le contrôle des soutènements réalisés par clouage des sols », 217 p., Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées

AFTES, 2001, « Recommandations relatives à la conception et dimensionnement du béton projeté utilisé en travaux souterrains », *Tunnels et ouvrages souterrains*, n°164, mars/avril 2001, pp.68-102

AFTES, 1994, « Recommandations relatives à la technologie et la mise en œuvre du béton projeté renforcé de fibres », *Tunnels et ouvrages souterrains*, n°126, novembre/décembre 1994, pp. 307-317.

AFTES, 1995, « Réflexions sur la conception, le calcul, la fabrication et la mise en œuvre des cintres réticulés », *Tunnels et ouvrages souterrains*, n°129, mai/juin 1995, pp.177-189

ASQUAPRO, fascicule « Formulation », à paraître

ASQUAPRO, fascicule « Etat de l'art sur le dimensionnement », à paraître

GEROMEY Sylvie : Thèse « évaluation des paramètres d'obtention de la qualité des bétons projetés utilisés dans des soutènements provisoires, des revêtements définitifs et des renforcements d'ouvrages » Juillet 2003