

# Béton hydraulique – Mise en œuvre

## Démoulage et parements

par **Jean-Marie GEOFFRAY**

*Cete de Lyon. Laboratoire régional de Clermont-Ferrand*

<b>1. Démoulage et protection .....</b>	<b>C 2 231 – 2</b>
1.1 Décoffrage et décintrement.....	2
1.2 Cure des surfaces en béton .....	2
1.2.1 Cure du béton coffré après décoffrage .....	2
1.2.2 Cure des surfaces de béton non coffré .....	3
1.2.3 Protection des parements en béton .....	3
<b>2. Parements et autres surfaces coffrées en béton .....</b>	<b>4</b>
2.1 Classes de parements .....	4
2.2 Spécifications .....	4
2.2.1 Classement selon le DTU 21.....	4
2.2.2 Classement selon le fascicule 65 A du CCTG .....	5
2.2.3 Classement selon le fascicule de documentation Afnor P 18-503 .....	5
2.3 Principaux défauts d'aspect.....	6
2.3.1 Défauts de forme .....	7
2.3.2 Défauts de texture .....	8
2.3.3 Défauts de teintes.....	9
2.4 Facteurs d'influence .....	10
2.4.1 Influence du béton.....	10
2.4.2 Influence des coffrages.....	12
2.4.3 Influence de la vibration.....	12
2.4.4 Autres facteurs d'influence.....	12
<b>3. Traitements de surface .....</b>	<b>14</b>
3.1 Possibilités de traitements.....	14
3.2 Béton à surface brute de démoulage .....	14
3.3 Béton à surface modifiée après décoffrage.....	14
3.3.1 Interventions sur béton frais .....	14
3.3.2 Interventions sur béton jeune .....	15
3.3.3 Interventions sur béton durci .....	15
3.4 Béton à surface revêtue .....	15
3.4.1 Revêtements esthétiques.....	15
3.4.2 Revêtements hydrofuges.....	16
3.4.3 Revêtements assurant l'étanchéité.....	16
3.4.4 Revêtements esthétiques et protecteurs.....	16
3.4.5 Revêtements de protections particulières.....	17
3.4.6 Revêtements scellés ou collés.....	17
<b>Pour en savoir plus.....</b>	<b>Doc. C 2 231</b>

**L**e dernier et cinquième volet consacré à la mise en œuvre des bétons traite des problèmes de démoulage et de protection des parois en bétons.

L'aspect et l'évaluation des caractéristiques de surface des parements bruts de décoffrages sont ensuite développés avec les renvois nécessaires aux chapitres précédents pour assurer une meilleure qualité d'aspect.

Enfin, sont évoqués les différents de surface pouvant conduire à des effets d'animation susceptibles de répondre aux diverses exigences architectoniques.

Tableau 1 – Prescriptions de résistance pour autoriser le décentrement (cas courants) (d’après [30])			
Contrainte des pièces sous leur propre poids	Résistance du béton		
Principalement des efforts de flexion	$> 1,67 \sigma_b$	$> 0,6 f_{c28}$	$> 15 \text{ MPa}$
Principalement des efforts de compression (en l’absence de vent fort)	$> 1,67 \sigma_b$	$> 0,4 f_{c28}$	$> 8 \text{ MPa}$
Très faibles contraintes (sans risque de gel)		$> 0,2 f_{c28}$	$> 5 \text{ MPa}$
$\sigma_b$ contrainte calculée vis-à-vis des états-limites de service dans la section la plus sollicitée de la structure en béton armé sous une combinaison de chargement (1,05 G + 1,5 Q), c’est-à-dire le poids propre de la structure à décoffrer multiplié par un facteur de sécurité de 1,05, augmenté des charges amovibles multipliées par un facteur de sécurité de 1,5. $f_{c28}$ résistance caractéristique du béton à 28 jours d’âge.			

## 1. Démoulage et protection

### 1.1 Décoffrage et décentrement

Les opérations de décoffrage ne peuvent être lancées qu’à partir du moment où le béton a atteint une résistance suffisante pour reprendre la charge, et qu’aucune déformation dommageable de la structure n’est à craindre [21]. La norme P 18-504 précise qu’aucun décoffrage ne peut être réalisé si la résistance à la compression du béton n’atteint pas, au moins, 3 MPa, pour les ouvrages coulés en place, et 8 MPa, pour les pièces préfabriquées. Ces valeurs restent cependant assez faibles vis-à-vis des autres sollicitations auxquelles seront soumises les structures.

Dans le cas de risque d’exposition aux actions des cycles de gel-dégel, le béton ne doit plus être gélif au moment du décoffrage. Cet état de fait peut conduire à l’emploi de compositions particulières de béton (emploi d’entraîneurs d’air par exemple). Un produit de cure doit être immédiatement appliqué après décoffrage. Les opérations de décoffrage doivent être réalisées avec soin, sans choc, et sans prise d’appui directe sur le parement en béton.

Pour le décentrement, il est souhaitable d’effectuer l’opération suivant un programme établi par le bureau d’études et précisant, en outre, la déformation admissible, et aussi de prescrire une valeur minimale de la résistance du béton ([30], tableau 1).

Le décentrement prématuré d’un béton peut entraîner :

- des déformations excessives de pièces minces fléchies ;
- une fissuration des parties tendues ;
- une microfissuration préjudiciable à la durabilité de la structure.

Le décoffrage trop tardif peut également être préjudiciable.

### 1.2 Cure des surfaces en béton

#### 1.2.1 Cure du béton coffré après décoffrage

Le coffrage constitue la meilleure protection de la surface du béton coffré, mais, dès l’ouverture des coffrages, cette protection disparaît. Ceci peut conduire, pour les parties d’ouvrage dont l’esthétique des parements n’est pas primordiale, à laisser les coffrages fermés quelques jours supplémentaires. Il convient, à l’ouverture des coffrages ou dans le cas de décoffrage immédiat, d’adopter des dispositions pour limiter la dessiccation de surface.

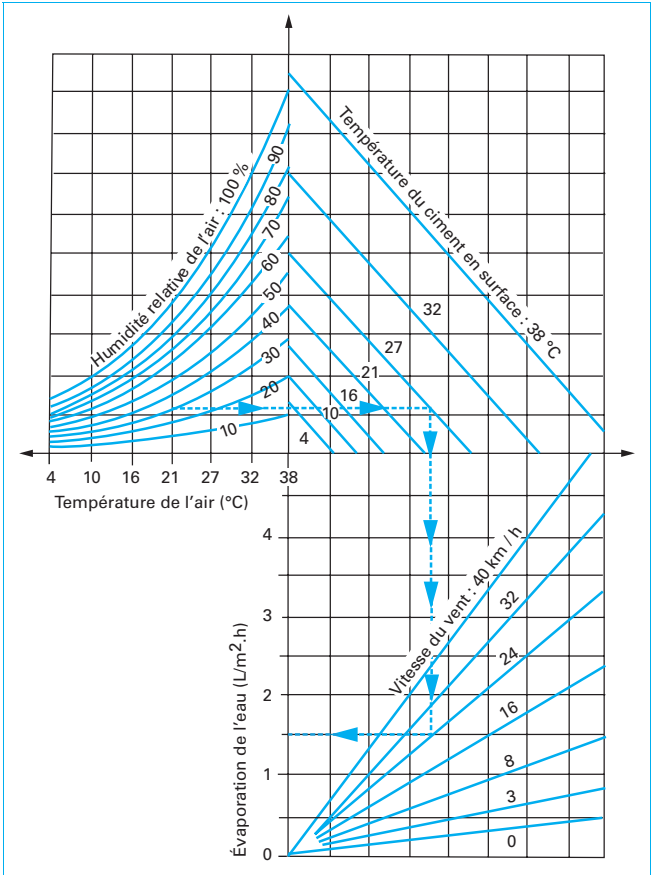


Figure 1 – Abaque ACI permettant d’estimer la quantité d’eau évaporable par m² de parement en béton et par heure

Pour son hydratation, le ciment a besoin d’un minimum d’eau évalué à environ 28 % de sa masse, ce qui conduit à un rapport eau efficace/ciment (E/C) de 0,28, valeur qui est très nettement inférieure à celles couramment utilisées dans les bétons courants, puisque la norme NF EN 206-1 fixe les valeurs maximales de E/C entre 0,45 et 0,65 suivant les types d’emploi des bétons et leurs classes d’exposition. Ces valeurs plus élevées sont rendues nécessaires pour conférer une bonne maniabilité à ces bétons courants frais.

De plus, les réactions d’hydratation du ciment peuvent durer longtemps, et il est nécessaire de disposer d’une réserve d’eau libre dans le béton le plus longtemps possible. Tant que le béton reste protégé par son coffrage, l’eau libre n’est consommée que par les réactions d’hydratation et la réserve d’eau libre reste importante.

Mais dès le décoffrage, surtout si celui-ci est effectué tôt, c’est-à-dire moins de 72 heures, une forte perte d’eau est constatée en surface si aucune protection n’est appliquée, et l’eau s’évaporera d’autant plus vite que la température sera élevée, que l’humidité ambiante sera faible, et que le vent sera fort.

Les conséquences de cette dessiccation des premiers instants sont nombreuses et dommageables :

- mauvaise hydratation du ciment dans les premiers centimètres extérieurs du béton, d’où une augmentation de la porosité entraînant un défaut de protection des premières armatures métalliques ;
- développement des résistances mécaniques affecté à tous les âges ;
- apparitions de fissures et de micro-fissures.

L’ACI (American Concrete Institute) a publié un abaque pratique permettant d’estimer la quantité d’eau susceptible de s’évaporer

**Tableau 2 – Durées minimales de cure des bétons (en jours) selon le fascicule 65 A du CCTG (d'après [28])**

Conditions ambiantes (1)	Classe 1			Classe 2			Classe 3		
	Classes de durcissement								
	R	M	L	R	M	L	R	M	L
$\theta > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	0	1	1	1	2	4	1	4	5
$5 \leq \theta \leq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	1	2	2	2	4	8	2	8	10
$\theta < 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	Sans protection isotherme, la cure est maintenue tant que la température $\theta$ reste inférieure à $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; ensuite, se reporter aux cas ci-dessus.								
(1) Classe 1 : béton à l'abri du soleil et du vent avec une humidité relative de l'air au moins égale à 80 %. Classe 2 : tous les autres cas non visés dans les classes 1 et 3. Classe 3 : humidité relative de l'air inférieure à 50 % et, soit un fort ensoleillement, soit du vent (vitesse supérieure à 30 km/h).									

**Tableau 3 – Ciments des classes de durcissement du béton**

Classe de durcissement		
Rapide (R)	Moyen (M)	Lent (L)
CEM I 52,5/52,5 R	CEM II 32,5 R	CEM III 52,5
CEM I 42,5/42,5 R	CEM II 42,5	CEM III 32,5
CEM II 52,5/52,5 R		CEM V 32,5
CEM II 42,5 R		

en fonction de la vitesse du vent, de l'humidité relative de l'air ambiant, et de la température du béton (figure 1).

■ Le **maintien de la cure** est recommandé tant que l'évaporation reste supérieure à  $1\text{ dm}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$  déterminée par l'abaque précédent. Cependant, l'exploitation de cet abaque nécessitant des matériels assez rares sur chantiers courants, la norme P 18-504 recommande l'utilisation des spécifications du fascicule 65 A du CCTG [3] d'emploi plus simple (tableau 2).

Conventionnellement, la température à prendre en compte est la moyenne sur deux jours de la température relevée à midi sous abri, et le degré d'humidité relative de l'air retenu est le plus faible enregistré à ces deux moments.

■ Le **durcissement du béton** est lié à la classe de résistance du ciment utilisé (tableau 3).

■ Plusieurs **méthodes de cure** peuvent être envisagées sur chantier :

- le maintien des coffrages en place pendant toute la durée de cure constitue une solution économique, mais présente des risques d'adhérence, et conduit à un aspect de parements défavorable ;
- la mise en place de bâches étanches maintenues en permanence au contact de la surface à traiter, en évitant tout renouvellement d'air. Cette méthode peut également conduire à certains déboires au niveau de l'aspect final des parements ;
- la mise en place de paillasons, nattes, toiles perméables, maintenues humides par arrosages intermittents. Ces dispositions sont assez efficaces, mais ne permettent pas de s'affranchir totalement des problèmes posés par la dessiccation de surface qui se manifeste à l'instant du décoffrage ;
- l'application de produits de cure généralement à base de résines constitue également une solution intéressante, mais demeure une opération délicate et suffisamment longue ( $4\text{ à }5\text{ m}^2$  à la minute dans le meilleur des cas) pour ne pas s'affranchir complètement de la dessiccation de surface au décoffrage ;
- l'arrosage permanent sous faible pression constitue une solution économique et pratique pouvant être mise en œuvre dès l'ouverture des coffrages. Cependant, les gradients thermiques devront être limités à  $20\text{ °C}$  dans les pièces massives (épaisseur supérieure à 60 cm environ) ;



**Figure 2 – Protection des pieds de pile contre les projections de boue et de terre dues à la circulation des engins de terrassement sous un ouvrage autoroutier**

– les techniques comme l'immersion et la mise en atmosphère saturée d'eau (salles de brouillard) des pièces bétonnées sont plutôt réservées aux petits éléments préfabriqués.

### 1.2.2 Cure des surfaces de béton non coffré

La cure des bétons non coffrés est réalisée dans les mêmes conditions générales que celle des bétons coffrés. Cependant, son application est à réaliser :

- au fur et à mesure de la réalisation du talochage, pour les surfaces supérieures des dalles ;
- dès la fin du bétonnage, pour les parties supérieures de pièces de faibles surfaces ;
- dès l'extrusion, pour les bétons coulés à l'aide de coffrages glissants ;
- dès la fin du traitement de surface, dans le cas de chaussée béton.

Les conditions d'application sont beaucoup plus faciles sur les bétons non coffrés, que sur les bétons coffrés. Pour les dalles d'ouvrage d'art destinées à recevoir une étanchéité, ou pour les parements devant être recouverts par un revêtement adhérent (peinture, enduit...), les produits de cure employés doivent pouvoir être retirés facilement une fois leur fonction protectrice assurée.

### 1.2.3 Protection des parements en béton

Dans certains cas spécifiques, il est nécessaire de protéger les surfaces en béton terminées :

- cas des ouvrages terminés à proximité du roulage d'engins de terrassement (souillure par la boue, projection de gaz d'échappement des engins,...) (figures 2 et 3) ;
- parties d'ouvrage avec aciers en attente (risques de coulures de rouille).

Les mesures de protection doivent alors être adaptées à la nature des risques et être suffisamment pérennes pendant toute la durée prévue du risque. Ces mesures peuvent être précisées dans le plan qualité de l'entrepreneur.

## 2. Parements et autres surfaces coffrées en béton

### 2.1 Classes de parements

Un parement de béton est une surface coffrée ou traitée destinée à être vue après achèvement des ouvrages ou à subir l'agression d'un environnement défini. Dans la grande majorité des cas, ces deux aspects d'esthétique et de durabilité devront être pris en compte.

■ Du **point de vue esthétique**, les parements sont classés prioritairement en fonction de leurs caractéristiques de teinte et de texture, sans négliger pour autant les caractéristiques de forme.

À ce jour, plusieurs classements basés sur les seuls critères esthétiques coexistent, et ne sont pas rigoureusement équivalents (tableau 4).



Figure 3 – Résultats dus à la protection précédente : l'ouvrage n'a nécessité aucune préparation avant la mise en service

■ Du **point de vue durabilité**, le rôle essentiel des parements est la protection contre la corrosion des armatures métalliques placées dans le béton. Il serait donc utile de développer un classement basé sur les caractéristiques de texture et, plus spécialement, sur celles de perméabilité aux agents agressifs.

En l'état actuel, le manque d'expérience ne permet pas de disposer d'une classification fiable, mais *a priori*, il semble nécessaire de rechercher les compacités les plus élevées possibles dans le béton et, notamment, dans les zones d'enrobage des armatures de peau. La norme P 18-305 préconise à cet effet de prendre en compte l'environnement de l'ouvrage, et fixe la valeur minimale correspondante du dosage en ciment, d'une part, et la valeur maximale du rapport eau efficace/liant à ne pas dépasser, d'autre part.

### 2.2 Spécifications

Des spécifications particulières sont attachées à chaque classe de parements en béton : spécifications de teinte, de texture, et de forme, pour les aspects esthétiques, et spécifications de composition de béton, pour les aspects de durabilité. Bien entendu, chaque type de classement comporte ses spécifications particulières.

#### 2.2.1 Classement selon le DTU 21

Les clauses techniques du DTU 21 s'appuient sur des classes de parements adaptées aux emplois en bâtiment (tableau 5). Ainsi, le parement élémentaire est réservé aux parois de locaux utilitaires pour lesquelles une finition soignée n'est pas nécessaire, ou aux parois destinées, soit à recevoir une finition rapportée et non

Tableau 4 – Classement des types de parements en béton

CIB (Conseil international du bâtiment)	DTU 21	Fascicule 65 A du CCTG [3] et [4]	Norme P 18-503
Grossiers	Élémentaires		0
Ordinaires	Ordinaires		1
Soignés	Courants	Soignés simples	2
Soignés	Soignés	Soignés fins	3
Spéciaux		Soignés ouvragés	4

Tableau 5 – Spécifications des parements. Parois latérales et sous-faces (DTU 21 – NFP 18-201)

Parement	Planéité d'ensemble à la règle de 2 m	Planéité locale au réglet de 0,2 m	Spécification de peau
Élémentaire	Pas de spécification particulière		
Ordinaire	Flèche < 15 mm	Flèche < 6 mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uniforme et homogène</li> <li>• Nids de cailloux ragrés</li> <li>• Zones sableuses ragrées</li> <li>• Balèvres meulées</li> <li>• Aire individuelle des bulles &lt; 3 cm<sup>2</sup></li> <li>• Profondeur des bulles &lt; 5 mm</li> <li>• Étendue maximale des nuages de bulles 25 %</li> <li>• Arêtes rectifiées et dressées</li> </ul>
Courant	Flèche < 7 mm	Flèche < 2 mm	
Soigné	Flèche < 5 mm	Flèche < 2 mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identique au parement courant, avec étendue des nuages de bulle ramenée à 10 %</li> </ul>

directement appliquée sur le support, soit à être masquées par une cloison de doublage indépendante de ces parois.

■ Le **parement ordinaire** peut convenir pour les emplois précédents lorsque la paroi est destinée à recevoir un enduit de parement traditionnel épais.

■ Le **parement courant** correspond à des parois susceptibles de recevoir des finitions classiques de papiers peints ou de peintures, moyennant un rebouchage préalable et l'application d'un enduit garnissant.

■ Enfin, le **parement soigné** convient aux mêmes usages que le parement courant, mais sa meilleure finition permet de limiter les travaux ultérieurs de revêtement éventuel, et n'exige qu'une moindre réparation.

Le parement extérieur exposé à la pluie doit, lorsqu'il est destiné à rester brut ou à être revêtu par une peinture, être un parement soigné.

■ Le DTU 21 spécifie, en outre, des caractéristiques particulières pour les **parements de dalles et planchers** (tableau 6).

## 2.2.2 Classement selon le fascicule 65 A du CCTG

Le fascicule 65 A du CCTG [28] et son additif [6], relatifs à l'exécution des ouvrages en béton armé ou en béton précontraint par

post-tension, stipulent que les parements se subdivisent en **trois classes** :

- **parements simples**, qui sont laissés bruts de décoffrage avec une exigence de régularité générale d'aspect ;
- **parements fins**, qui font en sus l'objet d'exigences particulières concernant la texture, la teinte et les formes ;
- **parements ouvragés**, préfabriqués ou coulés en place, qui doivent satisfaire à des exigences précisées d'ordre décoratif.

Les spécifications respectives de ces trois classes de parements sont données dans le tableau 7.

## 2.2.3 Classement selon le fascicule de documentation Afnor P 18-503

Cette norme s'appuie sur l'essentiel des stipulations du Cahier n° 24 du CIB [9] et prend en compte **trois critères de classement** : **planéités, texture (bullage de surface) et teinte**.

■ Du point de vue **planéité**, le classement est établi, comme pour les autres types de classement, à partir des planéités d'ensemble et locales (tableau 8).

■ Du point de vue **texture**, le bullage de surface est pris en compte en faisant référence à l'échelle de bullage du fascicule P 18-503 (figure 4) sous deux aspects (tableau 9) :

- niveau du bullage moyen réparti sur l'ensemble de la surface ;

**Tableau 6 – Spécifications des parements de dalles et planchers (DTU 21)**

Surface	Planéité d'ensemble à la règle de 2 m	Planéité locale au réglet de 0,2 m	Spécification de peau
Brut de règle	• Flèche < 15 mm	• Pas de spécification	• Aspect régulier
surfagé	• Flèche < 10 mm	• Flèche < 3 mm	• Aspect fin et régulier
Lissé	• Flèche < 7 mm	• Flèche < 2 mm	• Aspect fin et régulier

**Tableau 7 – Spécifications des parements définis dans le fascicule 65 A du CCTG (d'après [28] et [6])**

Parement	Tolérances de forme par rapport au gabarit théorique (1)		Spécifications particulières
	de 2 m	de 0,2 m	
Simple	écarts < 8 mm	écart < 3 mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teinte uniforme à l'échelle du panneau</li> <li>• Ni taches, ni marbrures à l'échelle de l'élément</li> <li>• Pas de différence de teinte entre éléments voisins</li> <li>• Bullage moyen : niveau E2</li> <li>• Pas de ségrégation (nids de cailloux, ressuage, écaillage, fuites de laitance)</li> <li>• Pas de micro-fissuration étendue</li> <li>• Pas de tassures ni de faïençage</li> <li>• Pas de nids de cailloux</li> </ul>
Fin	écart < 5 mm	écart < 2 mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teinte uniforme et définie par rapport à un étalon</li> <li>• Texture homogène et définie par rapport à un étalon</li> </ul>
Ouvragé			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spécifications particulières définies par le marché</li> </ul>

(1) différence entre les écarts minimal et maximal par rapport au gabarit reproduisant les formes théoriques.



**Tableau 8 – Spécifications de planéités selon la norme P 18-503**

Niveau	Planéité d'ensemble	Planéité locale
P0	Critère non considéré	
P1	Flèche < 15 mm	Flèche < 6 mm
P2	Flèche < 8 mm	Flèche < 3 mm
P3	Flèche < 5 mm	Flèche < 2 mm
P4	À préciser au marché	

**Figure 4 – Échelle de bullage** (FD P 18-503)

– pourcentage relatif des surfaces des nuages de bulles concentrées à la surface.

■ La **teinte** est appréciée par référence à un nuancier de gris pur annexé au fascicule de documentation P 18-503 (figure 5). Chaque niveau de qualité est caractérisé par deux valeurs spécifiant, dans l'ordre, les écarts admis sur l'échelle de gris respectivement entre deux zones adjacentes de teintes différentes et entre deux zones éloignées de teintes extrêmes (tableau 10).

L'échelle de gris présente cependant l'inconvénient de ne comporter que 5 niveaux réels de gris purs, puisqu'à chaque extrémité de l'échelle se trouvent les teintes noir et blanc.

Dans la réalité, les teintes de parements en béton s'avèrent être des gris nuancés (gris jaunâtres, verdâtres et bleuâtres). Pour ces raisons, l'emploi de nuanciers (contractualisés en amont) plus discriminants et complets peut s'avérer utile dans les cas particuliers de bétons teintés dans la masse.

## 2.3 Principaux défauts d'aspect

Un défaut d'aspect est une anomalie visuelle précise dont la gravité doit être déterminée en définissant, au préalable, les critères d'appréciation, tant qualitatifs, que quantitatifs.

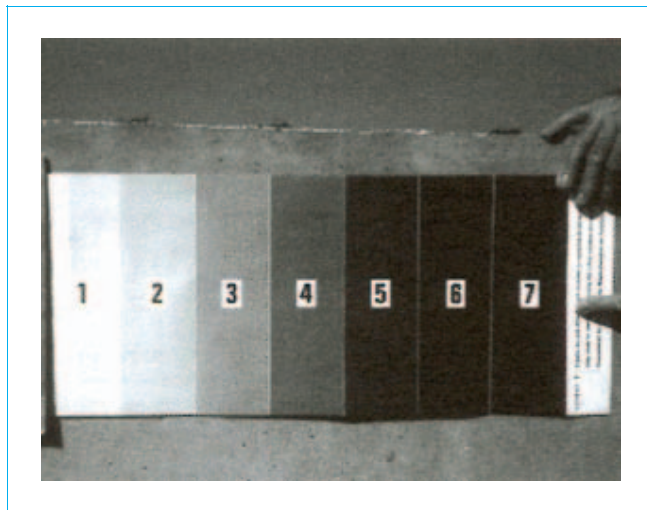
La recherche des causes systématiques ou accidentelles doit conduire à la prévention ultérieure du défaut. La définition de la qualité d'aspect d'un parement en béton est un problème délicat. La fonction principale d'un parement est essentiellement esthétique et l'aptitude à cette fonction ne repose donc, en première approche, que sur des critères d'appréciation visuelle [7].

**Tableau 9 – Spécifications de texture selon la norme P 18-503**

Niveau de parement	Bullage moyen : niveau	Bullage moyen : taux maximal	Bullage concentré : taux maximal
E0	Critère non considéré		
E1	7	< 10 %	< 25 %
E2	5	< 3 %	< 10 %
E3	3	< 2 %	< 5 %
E4	À préciser au marché		

**Tableau 10 – Spécifications de teintes selon la norme P 18-503**

Niveau de parement	Écart de proximité	Écart maximal
T0	Critère non considéré	
T1	< 3	< 4
T2	< 2	< 3
T3	< 1	< 2
T4	À préciser au marché	

**Figure 5 – Échelle de teinte** (FD P 18-503)

Il y a cependant lieu de considérer que certains défauts (taches et souillures) peuvent être provoqués ou accentués par des défauts de porosité de surface ou de rugosité.

La plupart des défauts d'aspect de parements ont souvent été classés en distinguant les variations de couleur et les irrégularités de surface, d'une part, et en prenant en compte l'instant de leur formation, d'autre part. Il apparaît souvent plus intéressant de regrouper ces défauts suivant leurs conséquences sur l'aspect des parements au moment de la construction [8].

Tableau 11 – Principaux défauts d'aspect

Forme	Texture	Teinte
Désaffleurs	Bullage	Pommelage
Écornure	Ressuage	Taches noires
Épaufrure	Fuite de laitance	Variations de teinte
Planéité	Nids de cailloux	Efflorescence
Rectitude	Écaillage	Rouille
Fissures	Faiénçage	Marbrures
Inclusion	Poudrage	Souillures
Protubérance	Peau de crapaud	Graffitis
Tassure	Porosité	

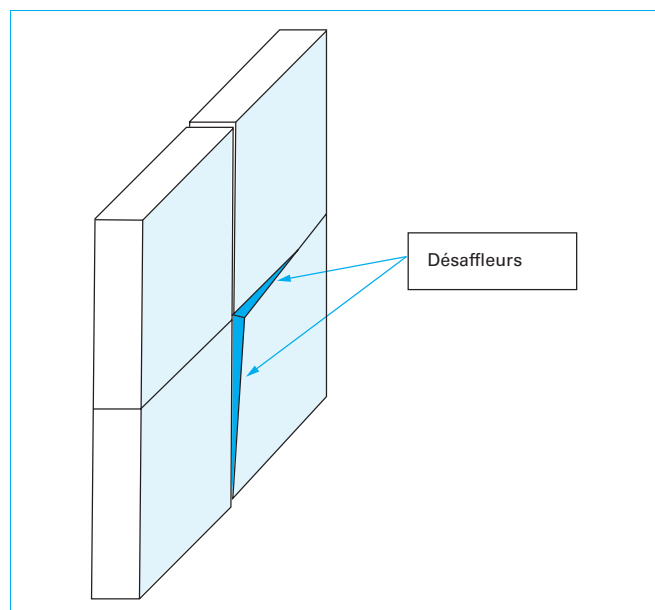


Figure 6 – Désaffleurs de panneaux dus à un mauvais montage ou mauvaise fixation des panneaux coffrants

De nouveaux types de défauts peuvent également apparaître avec le temps : c'est le cas notamment du développement des efflorescences, des fissures, des manifestations de réaction liant-granat, des souillures de toute nature, ou d'apparition de mous-ses. À cet effet, **trois grandes familles de défauts se dégagent : les défauts de forme, de texture et de teinte** (tableau 11).

### 2.3.1 Défauts de forme

Tous les documents existants s'accordent pour apprécier les défauts de forme suivant la méthode du rapport n° 24 du CIB [9]. Si cette méthode est parfaitement adaptée aux défauts de planéité (mesure à la règle), elle peut s'étendre aux défauts de désaffleurs, d'épaufrures, d'écornures, ou de rectitude des arêtes. Mais, elle devient particulièrement délicate, voire impossible, pour les parements ouvragés ou courbes : d'autres déterminations géométriques doivent alors lui être associées.

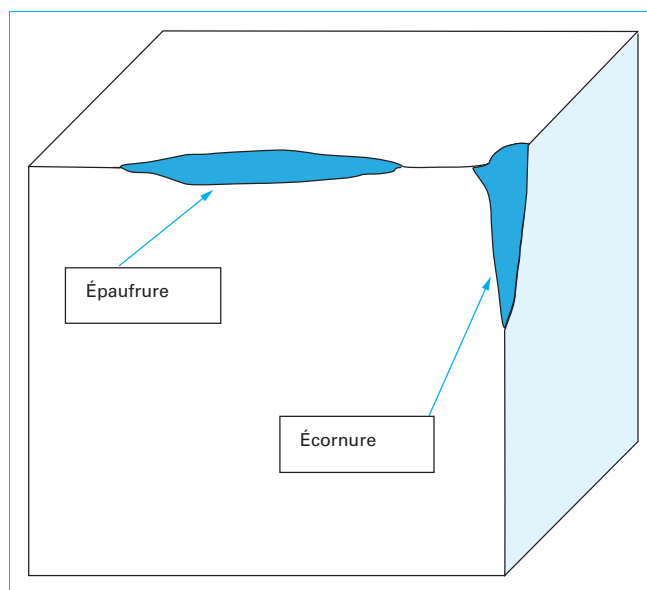


Figure 7 – Défauts de forme dus à des chocs ou à des décoffrages mal conduits : épaufrures sur arête et écornure sur coins de pièces

Les principaux défauts de forme sont les suivants :

- la **mauvaise rectitude des arêtes** qui est pénalisante du point de vue esthétique. Le mauvais positionnement et le manque de calage des coffrages en sont les deux causes principales ;
- le **désaffleurs** qui se manifeste sur un parement par un défaut d'alignement des surfaces élémentaires successives. Il est particulièrement préjudiciable du point de vue esthétique par les zones d'ombres régulières qu'il génère. Un désaffleurs important en dénivellation (supérieur à 1 cm) peut remettre en cause le bon enrobage des armatures (figure 6) ;
- l'**écornure** qui est un éclatement du béton dans un coin de partie moulée. Elle résulte généralement d'un accident mécanique pouvant intervenir au démoulage, ou par choc pour les pièces coulées en place, et au démoulage, à la manutention ou au stockage pour les pièces préfabriquées (figure 7) ;
- l'**épaufrure** qui est un éclatement du béton le long d'une arête. Cet éclatement intervient le plus souvent lors du démoulage et provient, soit d'une erreur de conception de moule, soit d'une résistance insuffisante du béton au démoulage (figure 7) ;
- les **défauts de planéités** d'ensemble ou locales qui résultent, la plupart du temps, d'un mauvais calage ou d'une déformation des parois coffrantes ;
- les **fissures** qui sont généralement bien plus dommageables pour la durabilité des structures (corrosion des armatures) que pour l'aspect esthétique. Pour cette raison, les causes de toute apparition de fissures doivent être recherchées et il est souvent recommandé d'effectuer un suivi de leur évolution (figure 8). Différents types de fissures doivent être distingués :
  - les tassures horizontales qui se produisent avant prise du béton,
  - les fissures de premier retrait, provenant de l'absence de cure au moment de la prise sur les surfaces non coffrées ou du décoffrage pour les parois coffrées (figure 9),
  - les fissures de second retrait et de retrait à long terme pouvant avoir des causes très variées telles que l'hétérogénéité du béton, l'évaporation de l'eau interne, les insuffisances des armatures, les manques de vibration, les distances entre joints mal calculées...,
  - et, ultérieurement, les fissures dues aux gonflements provenant de réactions sulfatique ou alcali-granat ;
- les **inclusions** sont dues à la présence d'éléments étrangers apportés sur la peau coffrante avant bétonnage (traces de boue,



Figure 8 – Arrachements ragrés, marbrures et sorties de calcite peuvent engendrer des aspects défectueux qui ne pourront être corrigés que par enduisage ou peinture



Figure 9 – Agglomération de pâte due à l'excès d'eau et à la vibration mal dosée, ce qui provoque des « déchirements » sursaturés en eau (qui s'évacue au décoffrage laissant apparaître la tassure (horizontale))

déchets de rouille...) ou par le béton et poussés vers le coffrage par la vibration. Les reprises sont souvent délicates.

– les **protubérances** proviennent des anomalies locales des peaux coffrantes (trous non bouchés, traces de meulages, arrachements localisés). Les protubérances peuvent être accompagnées par d'autres défauts tels que fuite de laitance, chute de compacité...

### 2.3.2 Défauts de texture

Les défauts de texture pouvant provenir du matériau ou de ses conditions de mise en place, sans oublier l'influence du coffrage sont les suivants :

– le **ressuage** qui résulte d'un délavage de surface pendant la vibration. Il se manifeste par la présence de zones verticales irrégulièrement érodées, ou par des petites rigoles verticales où le sable apparaît délavé. Ces traces sont provoquées par les remontées d'eau le long des peaux coffrantes (figure 10) ;

– le **bullage de surface ou soufflure** qui est caractérisé par la présence de cavités isolées, de taille variable et sensiblement

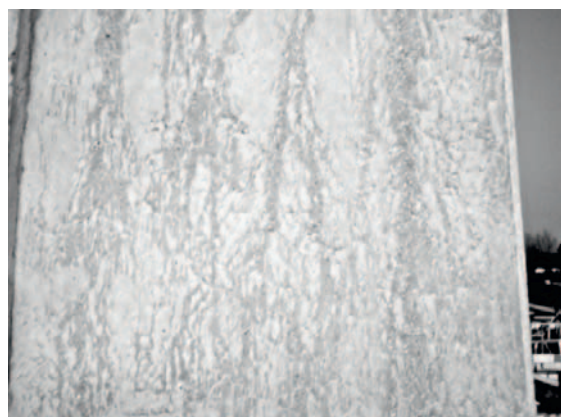


Figure 10 – Effets du ressuage sur parement vertical : on observe les cheminées de remontées d'eau avec désenrobage superficiel dû à l'entraînement des fines



Figure 11 – Nids de cailloux provoqués par la ségrégation et l'excès d'eau du béton : ces défauts atteignent souvent les armatures

hémisphériques. Si, esthétiquement, les bulles de surface sont gênantes, elles peuvent également provoquer des hétérogénéités de perméabilité et ainsi engendrer des risques de corrosion des armatures lorsque leur taille croît. Leur présence est particulièrement néfaste lorsque le parement doit être peint ;

– les **fuites de laitance** se manifestant au droit des joints de coffrages par des zones sombres, ou par des nids de graviers ou encore des coulures de laitance à la base des pièces moulées. Elles sont particulièrement néfastes pour la durabilité du béton, et les risques de corrosion des armatures sont accentués dans le cas d'enrobage faible. L'aspect esthétique n'est pas acceptable pour des parements soignés ;

– les **nids de cailloux** qui sont caractérisés par l'absence de mortier et d'éléments fins. La plupart du temps, ils se situent aux séparations de gâchées successives ou en pied de mur. Ils doivent être considérés comme des défauts graves vis-à-vis de la durabilité, du fait qu'ils ne sont pas que superficiels. La démolition de la partie d'ouvrage demeure la meilleure solution si les surfaces affectées sont importantes (figures 11 et 12) ;

– l'**écaillage** qui résulte d'une adhérence superficielle du béton à la surface coffrante entraînant des arrachements partiels de la peau du béton au décoffrage. L'emploi ou le changement d'un démoulant peut remédier à la formation de ce défaut (figure 13) ;



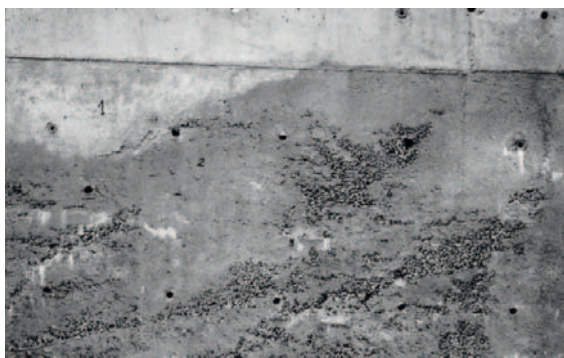


Figure 12 – Nids de cailloux sur béton durci provenant d'une fluidité trop grande et d'une ségrégation au bétonnage

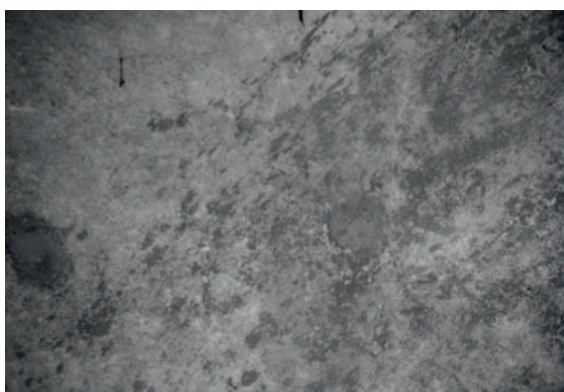


Figure 13 – Écaillage sur parement décoffré, dû à un mauvais choix d'agent démoulant

- le **faïençage** se manifestant par une micro-fissuration de surface provoquée par une dessiccation due elle-même à un manque de cure ;

- le **poudrage** de la surface du béton qui est provoqué par une hydratation incomplète de la peau, provenant elle-même d'une dessiccation rapide après un durcissement insuffisant ou l'inhibition de l'hydratation par un démoulant inadapté ou excessif. L'emploi de ciments contenant des fillers, des cendres volantes, ou des éléments fins inertes peut accentuer le poudrage du béton, notamment en cas de décoffrage trop précoce [10] ;

- la « **peau de crapaud** » qui est un défaut assez rare, assimilable à un écaillage très prononcé en surface et en profondeur. Ce défaut est bien sûr inacceptable du point de vue esthétique en parement soigné. Il peut apparaître avec des surfaces coffrantes incomplètement nettoyées entre chaque bétonnage, et principalement en période hivernale où la prise peut être naturellement retardée. L'emploi d'un démoulant trop maigre peut également engendrer ce type de défaut ;

- la **porosité de surface** (ou perméabilité de surface) qui a une influence sur la durabilité du béton et la corrosion des armatures. Elle est généralement décelable par la faculté qu'a le parement humidifié de s'assombrir. La perméabilité peut être appréciée par des mesures de circulation d'air dans les premiers centimètres du béton. Trois méthodes différentes, mais souvent complémentaires, permettent d'apprécier les défauts de texture :

- l'utilisation d'une échelle de référence de bullage (figure 4), permet donc d'apprécier les soufflures (ou bullage de surface), les tasses d'ouverture inférieure à 5 mm, et les petits nids de cailloux de quelques cm<sup>2</sup> de surface,

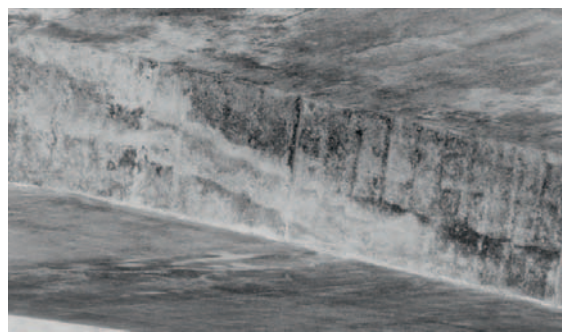


Figure 14 – Teintes défectueuses : vibration mal conduite sur béton hétérogène : excès d'eau et sous vibration en partie basse (zones claires), arrêt de bétonnage (biais) et béton survibré (zones sombres avec spectre des armatures)



Figure 15 – Coulures de calcite sur ouvrage fissuré

- la mesure de rugosité s'applique sur les faïençage, poudrage, ressuage, écaillage, « peau de crapaud »,
- la mesure de perméabilité de surface, peut se révéler efficace dans le cas de soufflures, de défauts limités (petits nids de cailloux), de défauts de porosité.

### 2.3.3 Défauts de teintes

Les principaux défauts de teinte se forment dès la mise en œuvre et se répartissent en plusieurs séries :

- le **pommelage** qui est un phénomène de transparence des gros granulats à la surface des bétons. Il résulte essentiellement d'un phénomène de ségrégation du béton au cours de la vibration. Seule l'esthétique peut être considérée affectée par ce défaut qui peut être accentué par la formation de taches noires ;

- les **taches noires** qui apparaissent à la surface du béton sont constituées par des zones très sombres et brillantes, semblant quasi émaillées. La pâte de ciment paraît alors très compacte et sans aucun pore. Ces taches proviennent des survibrations généralisées ou locales ;

- les **variations de teinte** sur des zones de grande surface sont constatées sur des parois verticales de forte hauteur (> 4 m), ou sur des poutres préfabriquées de grande longueur bétonnées à l'avancement dans des moules vibrés par l'extérieur. La cause principale est la post-vibration de la partie inférieure lors de la vibration des parties supérieures (figure 14) ;

- les **efflorescences** qui se traduisent par des dépôts irréguliers de calcite de teinte blanchâtre à la surface des bétons. Elles ne se produisent qu'en présence d'eau. Les efflorescences primaires apparaissent sur les bétons frais soumis à une forte évaporation. Les efflorescences secondaires se produisent plus tard, et sont dues à l'imbibition de la surface par l'eau de condensation atmosphérique ou par la pluie (figure 15) ;

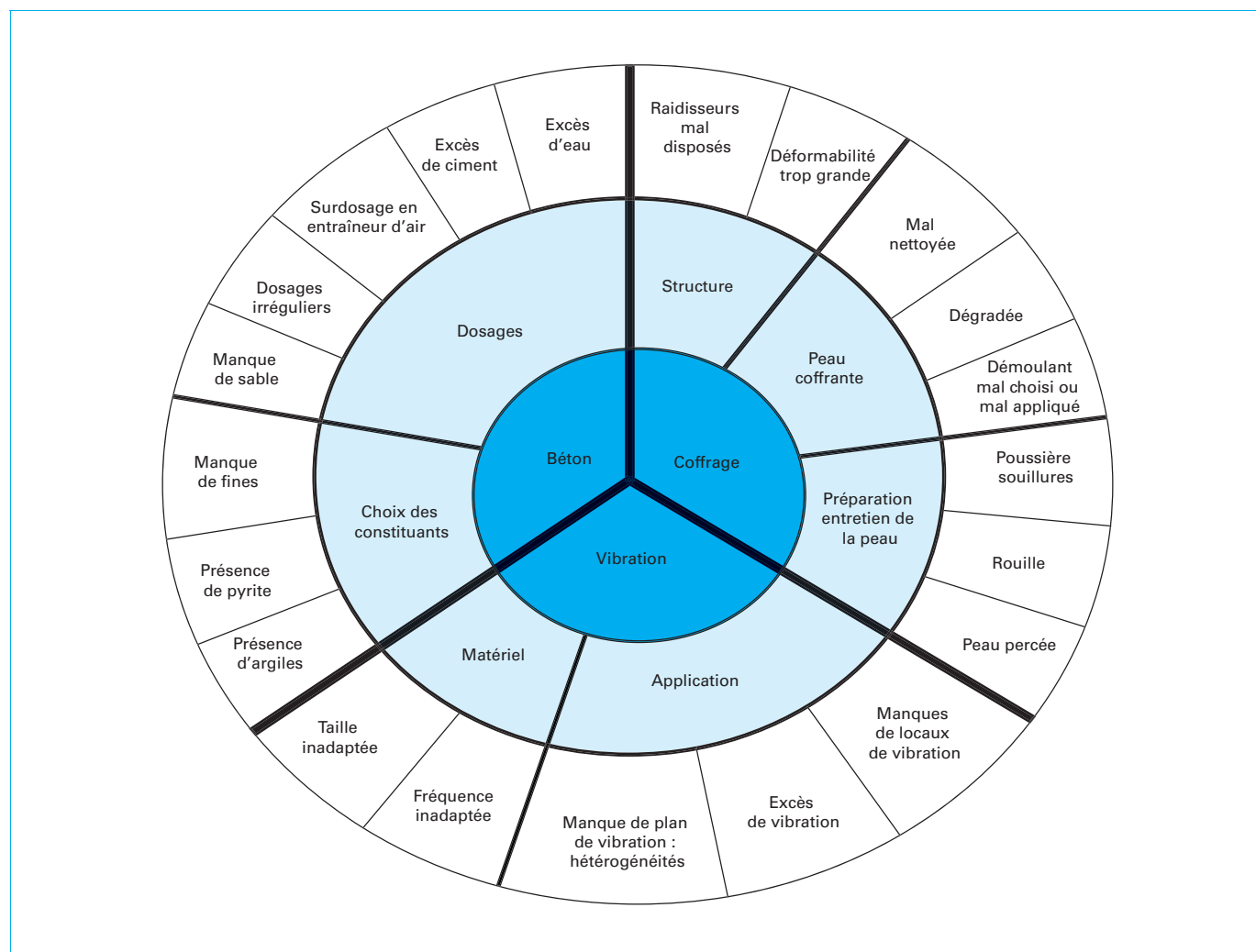


Figure 16 – Principaux facteurs défavorables sur l'aspect des parements

– les **traces de rouille** qui sont des taches provenant de la corrosion des armatures avant ou après bétonnage, ou des ligatures d'armatures laissées en contact avec la peau coffrante, ou encore des granulats contenant des sulfures de fer qui s'oxydent à l'air. Mais, souvent, elles sont dues à une mauvaise maîtrise de la préparation de la peau coffrante et de la protection des armatures avant bétonnage ;

– les **marbrures**, qui se manifestent par des hétérogénéités de teintes en veines ou paquets, proviennent essentiellement des ségrégations se produisant au transport, au coulage, ou à la vibration. Les projections de bétons (directes ou par éclaboussures) sur le coffrage engendrent également des taches assimilables aux marbrures ;

– les **souillures** de toutes espèces (huiles, boues,...) peuvent rendre le parement inapte à l'emploi. Les zones affectées par ces souillures sont délicates à réparer du fait qu'elles peuvent affecter le béton sur plusieurs millimètres de profondeur ;

– les **graffitis** sont des inscriptions ou dégradations superficielles apportées sur les parements. La remise en état est liée à la nature et à la pénétration du marquage des graffitis. Les nouveaux produits anti-graffitis limitent la pénétration du produit de marquage et permettent une meilleure remise en état du parement affecté.

## 2.4 Facteurs d'influence

Les causes les plus fréquentes d'apparition des défauts d'aspect sont de trois ordres (figure 16) :

- les choix des constituants du béton ou leurs dosages mal étudiés ;
- les coffrages (mauvais choix des structures ou de peaux coffrantes, non étanchéité, mauvais calages, préparation insuffisante des peaux, déficience de démoulant) ;
- la vibration des bétons (mauvaise fréquence, durée et application mal définies).

Les autres facteurs, tels que les procédés et la vitesse de bétonnage, les conditions climatiques, la cure des bétons non coffrés ou décoffrés, ne sont pas pour autant à négliger, mais apparaissent surtout comme des facteurs aggravants.

### 2.4.1 Influence du béton

Certaines qualités de béton peuvent engendrer des défauts d'aspect de parements. Par leur nature ou leur dosage, les constituants du béton peuvent provoquer l'apparition des défauts, ou simplement en favoriser le développement sous l'effet d'autres causes.

Une synergie de différentes causes est fréquemment constatée en cours de construction.

Suivant les nécessités du chantier, les facteurs provoquant les défauts doivent être distingués de ceux les favorisant (tableau 12), et l'influence des éléments les moins défavorables peut alors ne plus être prise en compte.

Certaines caractéristiques rhéologiques ou physiques du béton frais peuvent également générer des défauts d'aspect (tableau 13), mais, en général, ces anomalies rhéologiques peuvent être corrigées en modifiant la nature ou la teneur des constituants et, si besoin, les méthodes de fabrication.

**Tableau 12 – Influence des constituants du béton sur l'aspect des parements**

Facteur	Anomalie	Favorisant	Provoquant
Ciment	Changement de provenance	• Fissures	• Variations de teinte
	Variations de dosage	• Fissures	• Variations de teinte
	Dosages faibles	• Efflorescences et soufflures	
	Variations de densités des grains	• Taches noires	
	Granularité grossière (grains > 80 µm)	• Taches noires	
Plastifiant	Variations de dosage	• Fissures	
Sable	Homométrie marquée	• Variations de teinte • Pommelages	
	Variations de propreté		• Variations de teinte
	Changement de provenance		• Variations de teinte
	Mélange de sables	• Taches noires	• Variations de teinte
	Dosages variables		• Variations de teinte
	Sous-dosage	• Pommelages	• Ressuage
	Manque de fines (< 300 µm)	• Taches noires • Nids de cailloux	• Ressuage • Soufflures
	Écart important de masse volumique entre mortier et gravillons	• Pommelages	
Gravillons	Forte porosité	• Pommelages	
	Trop anguleux	• Pommelages	
	Surdosage	• Pommelages • Ressuage	
	Présence de sulfure de fer		• Traces de rouille à moyen terme
	Faible mouillabilité	• Soufflures	
Air	Excès d'air occlus		• Soufflures
Eau	Variation de teneurs	• Taches noires	• Variations de teinte et marbrures
	Manque d'eau en peau par évaporation		• Fissures
	Impuretés		• Variations de teinte
	E/C trop élevé	• Efflorescences	• Ressuage
	Excès résiduel	• Efflorescences • Fuites de laitance	• Ressuage

### 2.4.2 Influence des coffrages

L'expérience démontre que l'obtention de parements corrects ne peut pas être assurée sans la prise en compte de critères précis dans le choix de la peau coffrante (tableau 14) et la mise en œuvre des coffrages (tableau 15).

Les vérifications systématiques des postes d'entretien et de préparation de la peau coffrante, d'une part, et du serrage et du calage des structures coffrantes, d'autre part, apportent une meilleure garantie de résultats en matière d'esthétique et de durabilité.

### 2.4.3 Influence de la vibration

L'excès et le manque de vibration ont des conséquences néfastes sur l'aspect final des parements. L'absence d'un plan de vibration conduit inévitablement à la coexistence de zones survibrées et de zones sous-vibrées.

La forme de la partie d'ouvrage constitue le second paramètre à prendre en compte. A cet effet, une attention particulière sera apportée à la hauteur des pièces et à l'accessibilité des pervibrateurs internes (tableau 16).

### 2.4.4 Autres facteurs d'influence

Les conditions de bétonnage ont également un rôle non négligeable sur l'aspect des parements : les actions propres à l'entre-prise doivent être distinguées des actions extérieures telles que les conditions climatiques (tableau 17) :

**Tableau 13 – Influence des caractéristiques rhéologiques et physiques du béton sur l'aspect des parements**

Facteur	Anomalie	Favorisant	Provoquant
Porosité	Tailles trop importantes		Efflorescences
Ouvrabilité	Ouvrabilité variable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variation de teintes</li> <li>• Soufflures</li> </ul>	Nids de cailloux
Fluidité	Phase mortier trop fluide	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuite de laitance</li> <li>• Pommelages et soufflures</li> </ul>	
	Phase mortier trop visqueuse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bullage</li> </ul>	
Compacité	Manque de compacité (cas du béton armé)		Traces de rouille
Prise retardée	Excès de retard de prise	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ressuage, porosité</li> </ul>	
Homogénéité	Malaxage mal contrôlé	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ségrégation</li> </ul>	Variations de teinte

**Tableau 14 – Influence des choix de peaux coffrantes sur l'aspect des parements**

Anomalie	Favorisant	Provoquant
Imperméable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soufflures</li> </ul>	
Trop lisse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soufflures</li> </ul>	
Non ou peu mouillable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soufflures</li> </ul>	
Non absorbante	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soufflures</li> </ul>	
En bois trop sec	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soufflures</li> <li>• Ressuage</li> </ul>	
Bois avec inclusion métallique		Rouille
Variations locales d'absorption		Variations de teinte
Trop dure	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Taches noires</li> </ul>	
Trop flexible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pommelages et fuite de laitance</li> </ul>	



**Tableau 15 – Influence de la mise en œuvre des coffrages sur l’aspect des parements**

Facteur	Anomalie	Favorisant	Provoquant
Préparation	Manque de rigidité	Ressuage	
	Mauvais calage		• Fuite de laitance
	Fuites d’étanchéité		• Fuite de laitance • Nids de cailloux
	Résonance	Pommelages	
	Raidisseurs mal placés	Taches noires	
	Désactivant mal appliqué		• Désactivation hétérogène
	Excès d’huile	Souillures	• Nids de cailloux en partie inférieure
	Mauvais choix ou mauvaise application de démoulant	Adhérences	• Poudrage • Souillures
	Cales d’écartement des coffrages en acier non gainé		• Taches de rouille après décoffrage
Entretien	Absence de nettoyage après décoffrage		• Poudrage • Souillures • Variations de teinte
	Manque de nettoyage des peaux métalliques	Poudrage	• Taches de rouille
	Peau perforée		• Fuite de laitance
	Réemplois anarchiques		• Variations de teinte

**Tableau 16 – Influence des conditions de vibration sur l’aspect des parements**

Facteur	Anomalie	Favorisant	Provoquant
Manque de vibration	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre insuffisant de vibrateurs</li> <li>• Vibrateurs inefficaces</li> <li>• Durée de vibration trop faible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nids de cailloux</li> <li>• Bullage</li> <li>• Efflorescences</li> </ul>	• Manque de compacité
Vibration inorganisée	• Excès locaux de vibration	• Pommelage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Taches noires</li> <li>• Variations de teinte</li> <li>• Marbrures</li> </ul>
Survibration	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durée de vibration trop longue</li> <li>• Résonance des coffrages</li> <li>• Résonance des armatures</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pommelage</li> <li>• Taches noires</li> </ul>
	• Tringlage excessif		• Fuite de laitance
Post-vibration	• Vibration de parties d’ouvrages trop hautes (hauteur > 4 m)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variations de teinte</li> <li>• Pommelage</li> <li>• Taches noires</li> </ul>

**Tableau 17 – Influence des conditions de bétonnage sur l'aspect des parements**

Facteur	Anomalie	Favorisant	Provoquant
Coulage	• Vitesse de coulage trop lente	• Bullage	
	• Quantité de béton trop importante (en bétonnage vertical)	• Variations de teinte • Taches noires	• Pommelages
	• Béton déversé contre la peau coffrante	• Soufflures • Nids de cailloux	• Risques d'adhérence du béton au coffrage
	• Chute trop forte du béton dans le coffrage	• Nids de cailloux	• Ségrégation
	• Éclaboussures du béton sur la peau coffrante		• Marbrures
Talochage	• Absence de double talochage des surfaces horizontales	• Fissure de tassement au-dessus des armatures	
Durée de coffrage	• Durée variable		• Variations de teinte
	• Longue durée	• Risque d'adhérences	
Méthode de décoffrage	• Coffrage insuffisamment éloigné du béton après ouverture	• Formation de taches et coulures à la surface du béton	
	• Absence de cure après décoffrage		• Fissuration
Basses températures	• Retard de prise	• Ressuage	• Forte perméabilité
Fortes températures	• Manque de protection du béton frais coulé et serré		• Défaut de compacité en surface
	• Retrait thermique négligé • Fort gradient thermique	• Fissuration	
Vent	• Manque de protection contre la dessiccation		• Fissuration

## 3. Traitements de surface

### 3.1 Possibilités de traitements

La diversité des fonctions demandées au béton (résistance mécanique, forme, couleur, étanchéité, durabilité, protection contre la corrosion des armatures et facilité d'entretien) a conduit les concepteurs à développer tout un ensemble de procédés de traitement de surface des parements et parois réalisés en béton. Ainsi, au travers de toutes ces méthodes, il est loisible de favoriser une ou plusieurs fonctions selon les conditions d'environnement ou d'utilisation de l'ouvrage. À cet effet, trois grandes voies peuvent être prospectées par le projeteur [42] :

- utilisation directe des surfaces brutes de démoulage ;
- modification de l'aspect des surfaces brutes de démoulage ;
- apport d'un revêtement sur une paroi en béton pour conférer à l'ensemble réalisé une fonction définie.

### 3.2 Béton à surface brute de démoulage

Pour l'utilisation des surfaces brutes de démoulage et devant présenter une uniformité de teinte, de texture et des formes simples, on se reportera opportunément au paragraphe 2 pour définir le type de parement souhaitable.

Pour la recherche d'effets particuliers, il est possible d'avoir recours à d'autres techniques spécifiques :

- les produits polychromes, qui sont des mélanges aléatoires de bétons de couleurs différentes donnant des effets marbrés de taille variable ;

- les surfaces veinées obtenues par injection de coulis ou de mortier coloré sur un lit de béton frais de couleur différente ou, éventuellement, sur des composants en béton fraîchement démoulés. Cette technique permet de reproduire les effets des flammes sur la terre cuite ;

- les traitements d'aspect par moulage qui permettent de reproduire tous les types de formes, de reliefs, ou de textures, au moyen de moules, de revêtements de moules spéciaux, ou de matrices en élastomères.

### 3.3 Béton à surface modifiée après décoffrage

Pour la modification de l'aspect d'un parement après décoffrage, il existe plusieurs méthodes selon que la modification sera réalisée sur le béton frais, le béton jeune, ou le béton durci.

#### 3.3.1 Intervention sur béton frais

Les méthodes d'intervention sur béton frais, essentiellement utilisées sur des parois horizontales, sont généralement les suivantes :

- le **dressage**, consistant à niveler la surface du béton, peut être assuré à l'aide de règles simples ou vibrantes tirées en général manuellement ;
- le **talochage** réalisé après le dressage appelle le mortier en surface. Il peut être réalisé à l'aide de taloches manuelles en bois ou en plastique, de taloches vibrantes ou circulaires pneumatiques ;
- le **feutrage ou talochage fin**, obtenu par le frottement léger de brosses à poils très souples, de tampons en chiffons, ou de plaques de polystyrène ;

- le **lissage** et le **glacage** par l'action de truelles métalliques ;
- le **brossage**, pour créer une macrorugosité, est réalisé à l'aide de brosses à poils durs ;
- le **profilage, striage ou crantage** peut être obtenu à l'aide de râtaux, de peignes, de règles lisses ou à dents, et permet d'obtenir des empreintes régulièrement espacées dans une direction ;
- l'**impression**, réalisée à partir de rouleaux spécifiques, permet de reproduire des dessins géométriques simples, en général dans deux directions ;
- la **sculpture** à l'état frais de certains bétons et mortiers spéciaux, avec des rouleaux vibrants garnis de matrices adaptées (métal ou élastomère), permet d'imiter les pavages ou empièvements ;
- les **techniques** comme la pose de granulats sur lits de sable avant bétonnage ou sur béton frais compacté et lissé, l'application d'une couche de mortier relativement sec suivie d'un retrait des éléments fins ou l'emploi de béton injecté permettent l'obtention de granulats apparents en parements, mais la qualité des résultats obtenus reste très variable selon les conditions particulières de réalisation et, très souvent, le travail de lavage ou de décapage de béton jeune est préféré.

### 3.3.2 Interventions sur béton jeune

Les travaux sur béton jeune sont utilisés pour l'obtention de parements à granulats apparents, mais d'autres effets ou fonctions peuvent être recherchés, tels que le débullage et les ragréages en restauration de la texture ou de la forme des surfaces. Les différentes techniques disponibles sont les suivantes :

- le **lavage du parement à l'eau sous pression sur béton jeune** (méthode manuelle ou automatique) permet d'obtenir un aspect à granulats plus ou moins apparents ;
- le **lavage du parement à l'eau sur béton jeune à peau retardée** conduit aux mêmes résultats, mais reste une technique plus souple et plus sûre que précédemment. Le retard peut être provoqué par des produits retardateurs enduisables, pulvérisables, ou par l'application de papiers retardateurs dont la couleur indique la profondeur d'action (tableau 18) ;
- le **décapage du parement à l'acide dilué**, suivi d'une neutralisation, est une technique provoquant les mêmes effets. Il peut être réalisé par trempage, par brossage ou pulvérisation, ou par application d'un gel décapant. Il est déconseillé pour des bétons trop fluides à fort rapport E/C ou mal serrés, et pour des bétons à granulats calcaires ou schisteux. Moyennant ces précautions, l'aspect final est particulièrement intéressant du fait de la mise en valeur des couleurs des granulats et de la suppression des voiles blancs d'efflorescences ;
- le **sablage par projection d'abrasif** sur la surface de béton provoque un décapage par érosion. Suivant son intensité, il peut conduire, de la simple élimination de laitance, au dégagement des gravillons sur 3 à 4 mm de profondeur, mais, à cet effet, la surface des gravillons subit également une usure. Le sablage présente l'inconvénient d'accentuer ou de révéler les défauts d'aspect, tels que pommelages, fissures, fuite de laitance et bullage ;
- le **ragréage** est plutôt une technique de réparation permettant de pallier les inconvénients des épaissures, écornures, ou autres

fractures. Cette technique, couramment utilisée, conduit très souvent à des résultats médiocres sur l'aspect des parements et nécessite l'application d'un revêtement ;

- le **débullage** est une technique visant à réduire les bullages de surface, notamment dans le cas où le parement est destiné à recevoir une peinture.

### 3.3.3 Interventions sur béton durci

Pour les travaux sur béton durci, certaines techniques sur béton jeune (décapage, ragréage et débullage) peuvent encore être utilisées, mais conduisent à des résultats moins bons. D'autres possibilités d'intervention sur béton durci sont offertes pour rechercher des effets particuliers au niveau des parements :

- le **grenaillage** qui provoque une érosion de la surface résultant des impacts de grains durs (métalliques, non métalliques ou abrasifs) sur les constituants du béton. En général, le grenaillage est réalisé dans des machines à turbines et à tapis sans fin, mais il est possible de rencontrer également des machines à tables rotatives, à charges suspendues rotatives, des cabines à jets libres et, même, des grenaillages mobiles ;
- le **bouchardage** (piquetage, ciselage) permet d'obtenir, à l'aide d'aiguilles ou de pointes, des éclatements profonds de 1 à 8 mm à la surface du béton. Le bouchardage n'est pas autorisé sur les éléments en béton précontraint ou en béton armé fortement sollicité ;
- le **layage** est une technique très proche de la précédente, mais permet d'obtenir des éclatements sous forme de rayures grossières. Le layage est réalisé à l'aide de molettes ou d'outils à arêtes rectilignes ;
- les **rainurages longitudinaux ou transversaux** des couches de roulement sur chaussées, et, parfois sur parements verticaux, sont réalisés par sciage ;
- le **sablage sous très forte pression** ;
- le **grésage** permet de dresser la surface du béton. L'aspect grésé convient surtout pour les granulats de teinte claire. En général, il constitue un dégrossissage précédant le polissage ;
- le **polissage**, parfois précédé par des opérations de débullage, ponçage ou grésage, est réalisé à l'aide de meules à grains très fins, à pierres tendres ou à feutres. Le « poli mat » obtenu par quatre passes de meules est à distinguer du « poli brillant ou marbrier » obtenu après six passes de meule, imprégnation et protection par film à base de résine ;
- le **fendage ou clivage** provoque des ruptures du béton selon des plans définis en faisant apparaître la structure interne du béton ;
- le **flammeage ou décapage** au chalumeau provoque l'éclatement superficiel du béton durci et laisse apparaître la structure du matériau.

## 3.4 Béton à surface revêtue

Lorsque le béton coulé est destiné à être revêtu, sa surface n'est plus considérée comme un parement, mais simplement comme une paroi qui doit présenter les aptitudes physiques ou mécaniques pour recevoir le revêtement prévu. Le revêtement peut être une peinture, un produit d'imprégnation, un enduit, ou des éléments minces collés ou scellés. À cet effet, il est commode de distinguer les divers types de revêtements :

- esthétiques ;
- hydrofuges ;
- assurant l'étanchéité ;
- esthétiques et protecteurs ;
- de protection perméables à la vapeur d'eau ;
- particuliers de protection ;
- scellés ou collés.

### 3.4.1 Revêtements esthétiques

Les revêtements dont le rôle est essentiellement esthétique apportent également une certaine protection du béton contre les

**Tableau 18 – Profondeur d'action des papiers retardateurs**

Couleur du papier	Profondeur d'action (mm)
Gris	< 2
Jaune	1 à 3
Bleu	2 à 4
Vert	3 à 5
Rouge	5 à 8

agents agressifs extérieurs, mais cette protection reste très variable selon les produits appliqués. Trois types de produits sont à distinguer :

- les **peintures et vernis** ;
- les **enduits hydrauliques** ;
- les **revêtements plastiques épais**.

■ Les **peintures et vernis** pour béton, produits qui font l'objet des normes NF P 74-201-1 et NF P 74-201-2 (référence DTU 59.1) pour les travaux de peinture des bâtiments et d'une note d'information technique du LCPC (avec des listes de systèmes ayant subi avec succès les essais de qualité en laboratoire [43], [44], [45], [46] pour les travaux de peinture des bétons pour ouvrages d'art).

La norme NF T 36-005 prévoit **dix classes de peintures et vernis** :

- les peintures à l'eau, qui recouvrent les badigeons, peintures à la colle et peintures silicatées sans pigment métallique ;
- les peintures aux huiles et aux vernis gras avec les huiles normales, les huiles modifiées et les vernis gras contenant des résines naturelles, artificielles ou synthétiques ;
- les produits broyés pour peintures, les produits contenant des pigments métalliques étant exclus ;
- les alkydes, séchant à l'air ou au four (alkydes moyennes ou courtes en huile, et alkydes hydrosolubles) ;
- les celluloses comprenant les nitrocelluloses et les autres dérivés en phase solvant ;
- les polyesters et polyéthers, qui recouvrent les polyuréthanes, les époxydiques, les polyesters saturés ou insaturés ;
- les vinyliques, acryliques et autres copolymères ;
- les élastomères, avec caoutchoucs chlorés, caoutchoucs cyclisés, les polybutadiènes, polyéthylènes chlorés et autres élastomères ;
- les résines à base de produits bitumineux (bitume naturel, brai de houille, bitume de pétrole, brai modifié aux résines synthétiques) ;
- et tous les autres liants, tels que les résines naturelles ou synthétiques solubles dans l'alcool ou dans les huiles, les peintures contenant des pigments métalliques (silicates), les liants minéraux (alcalins), les liants organiques (d'éthyle), les résines de silicone, les aminoplastes, les phénoplastes, les résines fluorées, les esters époxydiques, les résines coumarone-indène et résines de pétrole, etc.

L'application de tout système de peinture nécessite une préparation particulière du support (dénommé dans ce cas « subjectile »). Le cahier des clauses techniques du DTU 59.1 distingue à cet effet les travaux d'intérieur et d'extérieur pour les parements de béton bruts de décoffrage, les enduits de liants hydrauliques, les produits industriels du béton et les blocs et dalles de béton cellulaire.

■ Les **enduits hydrauliques** ou, plus précisément, les enduits aux mortiers de ciments sont définis par les normes NF P 15-201-1 et 15-201-2 (référence DTU 26.1). Les enduits de dressement sont à distinguer des enduits de finition :

- les **enduits de dressement** sont destinés à rattraper les irrégularités de surface des parois en béton et à assurer l'adhérence de l'enduit de finition. Ces enduits de dressement diffèrent des enduits de ragréage dans le sens où ils sont destinés à recouvrir la totalité du parement ;
- les **enduits de finition**, ou, plus exactement, la couche de finition de l'enduit dit à « trois couches », ont un rôle essentiellement décoratif, mais peuvent jouer un rôle dans l'imperméabilisation.

• Les enduits de finition peuvent être réalisés soit :

- par un mortier ordinaire ou coloré sur une épaisseur variant entre 5 à 7 mm, la couche étant talochée fin, mais non lissée ;
- par un mortier décoratif appliqué manuellement ou par projection en une ou plusieurs passes. Ces mortiers peuvent subir différentes finitions telles que « mouchetis tyrolien », grattée, grattée-grésée, grésée, bouchardée ou lavée.

• En ce qui concerne les enduits colorés par pigments minéraux, la non-nocivité des pigments sur la prise des mortiers devra être vérifiée, et le dépassement d'un dosage de 3 % du poids de ciment est à éviter.

• Les supports en béton doivent être propres et exempts de poussières et de résidus de démoulant. Les parties saillantes sur les parements doivent être arasées et les zones trop lisses brossées pour permettre l'accrochage. Si besoin, ils peuvent recevoir un gobetis (couche d'accrochage) ou un enduit de dressement. Les enduits ne doivent pas être appliqués, en période de gel, sur des supports trop chauds ou trop secs, et sous vent sec.

■ Les **revêtements plastiques épais** à base de polymères ou de liants hydrauliques sont appliqués conformément aux stipulations respectives des normes NF T 30-700 et NF P 74-202-2 (référence DTU 59.2) sur des parements soignés ou courants selon les références du DTU 23.1. Leurs conditions générales d'application sont identiques à celles des enduits.

### 3.4.2 Revêtements hydrofuges

Les revêtements hydrofuges ont pour unique vocation l'imperméabilisation d'un parement non fissuré et peuvent se présenter sous différentes formes :

- enduits à base de liants hydrauliques tels qu'ils sont définis dans la norme NF P 15-201-1 (référence DTU 26.1. Cahier des clauses techniques) ;
- enduits à base de liants organiques commercialisés sous forme de barbotine (applicables à la brosse ou au rouleau sur une épaisseur de l'ordre du millimètre) ou de pâte prête à l'emploi pour des épaisseurs de quelques millimètres ;
- enduits minces à base de mortiers hydrauliques enrichis par des hydrofuges, produits organiques en poudre ou liquides (résines) ;
- enduits d'imperméabilisation à base de brai de pétrole strictement réservés aux parois de fondations.

### 3.4.3 Revêtements assurant l'étanchéité

Ces revêtements ont la caractéristique particulière d'assurer l'étanchéité du parement en cas de fissuration ou de microfissuration de celui-ci. Diverses catégories de systèmes permettent d'assurer cette fonction particulière :

- les systèmes multicouches à base de liants organiques, avec une couche intermédiaire armée ;
- les systèmes multicouches à base de liant hydraulique et amélioré aux résines synthétiques, avec couche intermédiaire dotée d'une armature de verre traité ;
- les bardages (plastiques ou enduits armés) rapportés et fixés sur une ossature ;
- les systèmes multicouches de dispersions aqueuses à base de copolymères acryliques, réservés pour une résistance au faïençage et à la microfissuration ;
- les revêtements bitumineux épais pour l'étanchéité des soubassements.

Il est également possible d'utiliser les revêtements hydrofuges associés à des bandes de pontage au droit des fissures apparues sur le parement. **Cette technique est forcément limitée aux travaux de réparation.**

### 3.4.4 Revêtements esthétiques et protecteurs

La conception des parements en béton doit tenir compte de leur évolution dans le temps et prévoir des revêtements protecteurs qui, sans modifier l'aspect, en assurent la durabilité. Dans la plupart des cas, ces revêtements devront rester perméables à la vapeur d'eau.

Les matériaux utilisés en imprégnation confèrent au support traité des propriétés hydrofuges et oléofuges limitant ainsi au maximum la fixation et la pénétration de salissures aqueuses ou



grasses, souvent vecteurs d'agents agressifs. L'imprégnation de ces produits peut également bloquer la formation d'efflorescences et faciliter la lavabilité des parements.

Ils sont constitués, soit par :

- des imprégnations :
  - de solutions aqueuses de dérivés siliconés,
  - de savons métalliques de type stéarate d'aluminium de calcium ou de zinc ;
- des revêtements liquides applicables à la brosse, au rouleau, ou au pistolet :
- revêtements pelliculaires de mortiers flexibles à base de liant hydraulique enrichis de résines et de fumée de silice,
- revêtements colorés à base de méthacrylate.

### 3.4.5 Revêtements de protections particulières

Dans de nombreux cas, le parement en béton doit satisfaire des besoins particuliers d'emplois ne pouvant pas être assurés par le béton normal seul. Des types de revêtements susceptibles d'apporter des solutions aux besoins exprimés ont donc été développés par les fournisseurs de produits spéciaux. Ce sont des revêtements :

- pour la protection contre les sels de déverglaçage ;
- réducteurs de poussière ;
- antistatiques ;
- résistant aux chocs ;
- anti-abrasion ;
- anti-graffiti ;
- minces auto-lissants à base de résines époxydiques ;
- anti-corrosion des ouvrages immergés ;
- également les chapes d'usure pour sols industriels [79] ;
- etc.

### 3.4.6 Revêtements scellés ou collés

L'emploi des revêtements scellés ou collés est fréquent à l'intérieur des constructions tels que locaux d'habitation, bureaux, établissements d'habitation et, dans le cas où les matériaux utilisés résistent aux intempéries, les revêtements scellés sont employés en parement extérieur. Ces revêtements, dont l'emploi fait l'objet du cahier des charges du DTU.55, peuvent être classés en trois catégories :

- **carreaux et éléments minces** ;
- **revêtements en plaques** ;
- **revêtements coulés en place**.

■ Les **carreaux et éléments minces** sont généralement fixés sur un mortier de pose après avoir été trempés dans l'eau claire – sans atteindre cependant la saturation – et peuvent être jointoyés par des coulis de ciment ou de ciment-sable fin (certains coulis avec matières plastiques peuvent également être utilisés).

Les supports neufs en béton doivent recevoir un piquage, un arrosage, puis un crépi dressé et non lissé en mortier de ciment, de chaux, ou bâtard.

Ces matériaux se répartissent selon toute une gamme de produits variés (cf. rubrique « *Matériaux* » dans ce traité) tels que :

- les carreaux de faïence ;
- les produits en grès cérame ;
- les produits en demi-grès ;
- les produits en grès émaillé ;
- les carreaux de Salernes ;
- les produits de terre cuite ;
- les carreaux de terre cuite à surface vernissée ou vitrifiée ;
- les carreaux de ciment ;
- les carreaux de pierre reconstituée (réalisés en deux couches ou en pleine masse) ;
- les carreaux de *granito* (réalisés en deux couches ou en pleine masse) ;
- les carreaux de brèche de marbre ;
- les éléments semi-mats de Briare ;
- les émaux de Briare.

■ Les **revêtements en plaques ou dalles** sont posés sur support rigide, soit par des agrafes scellées dans le support, soit par des vis, soit par des goujons ou des ressorts fixés sur la face arrière des dalles.

Pour les dalles minces, la pose est comparable à celle des carreaux.

Pour les emplois à l'extérieur, on distingue :

- les revêtements autoporteurs, où les plaques sont accrochées au support ou à l'ossature en laissant un vide d'au moins 2 cm. L'accrochage de la dalle est assuré par deux agrafes en bronze, cuivre ou laiton scellées dans le support. La stabilité propre des dalles peut être obtenue lors du montage, dès que celles-ci ont une épaisseur supérieure à 8 cm ;
- les revêtements portés, où les plaques sont écartées du support et fixées au voisinage des quatre angles par des agrafes de bronze, cuivre ou laiton scellées ;
- les revêtements coffrants, où ce sont des dalles qui servent de coffrages et qui sont scellées par le coulage du béton. Les dalles utilisables à cet effet sont en pierre naturelle, en verre moulé ou en produits verriers opacifiés. Elles peuvent être fixées mécaniquement ou collées.

■ Les **revêtements coulés en place** sont essentiellement constitués par les revêtements de *granito* ou de mignonnette lavée :

- les revêtements en *granito* sont coulés en deux couches : sous-couche de dressage et d'accrochage, puis couche d'usure avec incorporation de marbres ;
- les revêtements de mignonnette lavée sont constitués par une couche d'enduit de ciment, de sable et d'un enduit de finition composé de ciment CEM I et de mignonnette (gravillon dont la taille est inférieure à 10 mm). Après dressage, la couche de finition est lavée à l'eau avec une brosse douce.