

UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

SCIENCE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

Responsable: Dr. GHOMARI Fouad

BETONS ARCHITECTONIQUES

Selon l'architecte Claude Parent :

« Le béton, matière malléable, fournit une grande liberté de création: le béton libère l'imagination.

Le béton ayant la possibilité de modifier son aspect final suivant la composition, la paroi du coffrage, le traitement de surface, propose aux architectes une variété infinie d'états de surface: le béton permet le jeu des apparences. »

1. INTRODUCTION

- L'aspect extérieur d'un ouvrage est souvent révélateur de sa qualité.
- La surface extérieure du béton était pendant longtemps revêtue par différents matériaux : marbre agrafé, brique de parement, enduits de ciment colorés, pierres, briques cuites, peinture, granulite projetée...
- l'architecte peut mouler le béton comme il le désire, jouer avec les formes, les volumes, la lumière, recherche des effets de contraste...

2. Rôle des constituants du béton apparent

Le béton est matériau composite, sa qualité dépend de la nature de ses constituants : ciment, granulats, adjuvants et eau.

2.1 Ciment

2.1.1 Ciments courants

Lorsque le dosage en ciment augmente, le grisé s'intensifie

Les CPA, sont souvent utilisé pour confectionner les bétons apparents. Ceux-ci sont d'autant plus clairs :

- Qu'ils renferment moins d'oxydes métalliques (fer, chrome),
- Qu'ils sont broyés plus finement et qu'ils contiennent plus de gypse,
- Que le temps de prise est plus court.

2.1.2 Ciments blancs

L'utilisation de ciments blancs obtenus à partir de composants parfaitement purs (silice, alumine, chaux) permet la mise en œuvre de béton dit "blanc" qui offre une certaine pureté des formes.

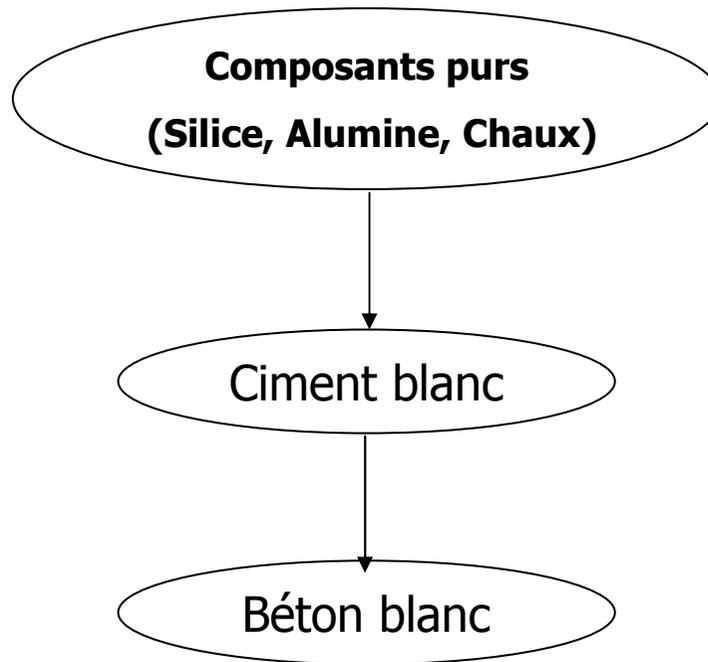
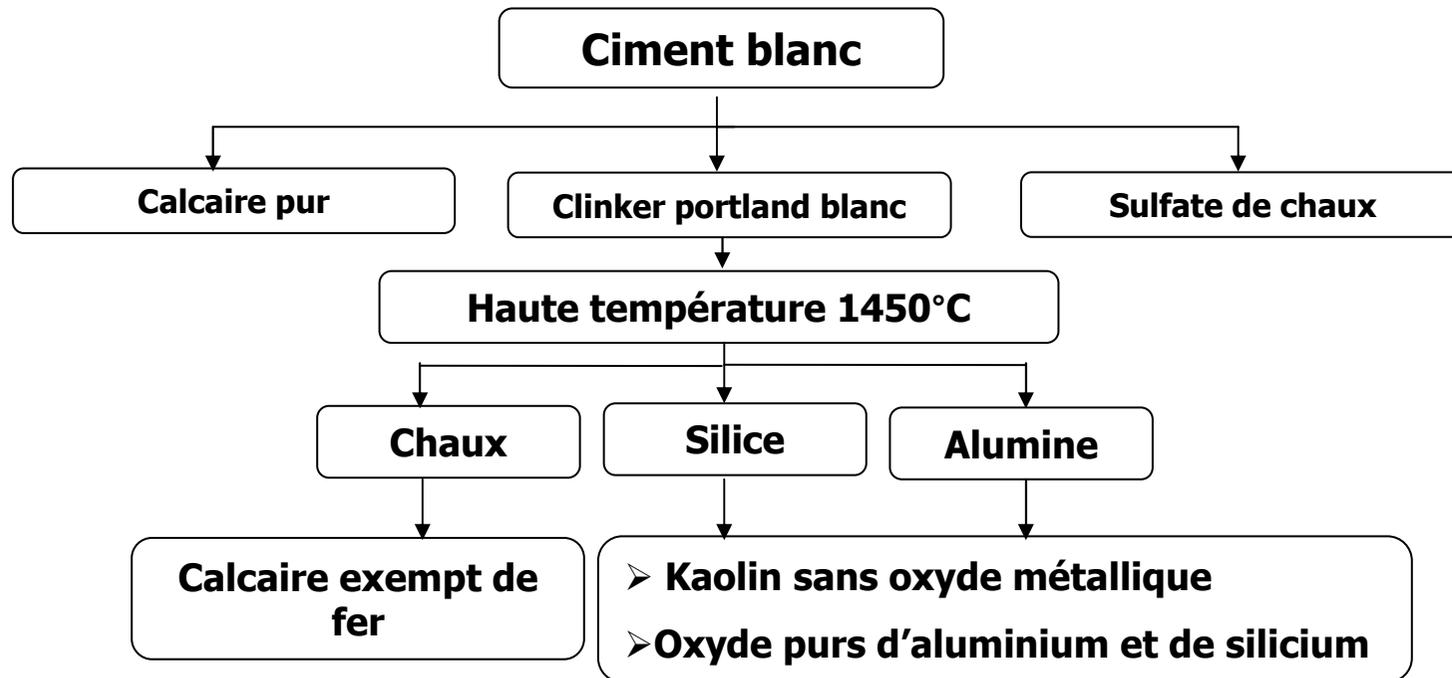


Figure.1 Ecole d'architecture, Nancy, 1996



Le ciment blanc résulte de la mouture de :

- Clinker portland blanc,
- Calcaire pur,
- Sulfate de chaux (régulariser la prise).



2.1.2.1 Caractéristiques

Le ciment blanc est caractérisé par sa blancheur. Il ne contient qu'une faible proportion d'oxydes métalliques.

Les résistances à la compression sont identiques au CPA (classes 45 et 55),

Le début de prise s'effectue après 1 heure à 20°C,

L'expansion en temps froid et chaud sur pâte pure est de 10 mm,

Le retrait à 28 jours mesuré sur mortier normal est inférieur à 1000 µ/m,

Caractéristiques chimiques sont :

- $\text{SO}_3 < 3 \%$,
- $\text{Cl}^- < 0.05 \%$.

2.1.2.2 Règles d'emplois

2.1.2.2.1 Lors de la fabrication du béton

- **Choisir des sables et graviers sans impuretés.**
- **Adopter un dosage de 350 kg/m³.**
- **Surveiller la régularité de la teneur en eau pour des gâchées successives.**

2.1.2.2.2 Lors de la mise en oeuvre

- **Utiliser des moules propres.**
- **Empêcher les fuites de laitance par les joints.**
- **Vibration soignée afin d'éviter toute ségrégation.**
- **Utiliser les produits de démoulage.**

2.1.2.2.3 Au cours du durcissement

- **Respecter le même intervalle de temps entre la mise en oeuvre et le décoffrage, pour assurer l'uniformité de la teinte.**
- **Ne pas décoffrer trop tôt.**
- **Protéger les éléments pendant le stockage d'une dessiccation rapide.**

2.1.2.3 Utilisation

Le ciment blanc permet la confection de :

- **Béton clair ou coloré,**
- **Enduits de décoration et de protection,**
- **Carreaux de ciment et mosaïque de marbre,**
- **Urbanisme et balisage routier,**
- **Sculptures et travaux artistiques,**
- **Mobiliers urbains, dalles d'environnement .**

2.1.3 Facteurs influant la teinte du béton

La teinte du béton dépend :

- Du dosage en ciment : il doit être constant et un peu plus élevé que celui utilisé habituellement (Tableau 1),
- Sa régularité : la constante de la teinte dans un liant peut être contrôlée par utilisation d'un photo colorimètre. Les effets locaux de filtre résultant d'une ségrégation peuvent faire apparaître des différences de teinte par des mélanges des grains de ciment (les grains fins donnent une teinte claire, les gros une teinte foncée),
- Eclaircissement avec l'âge.

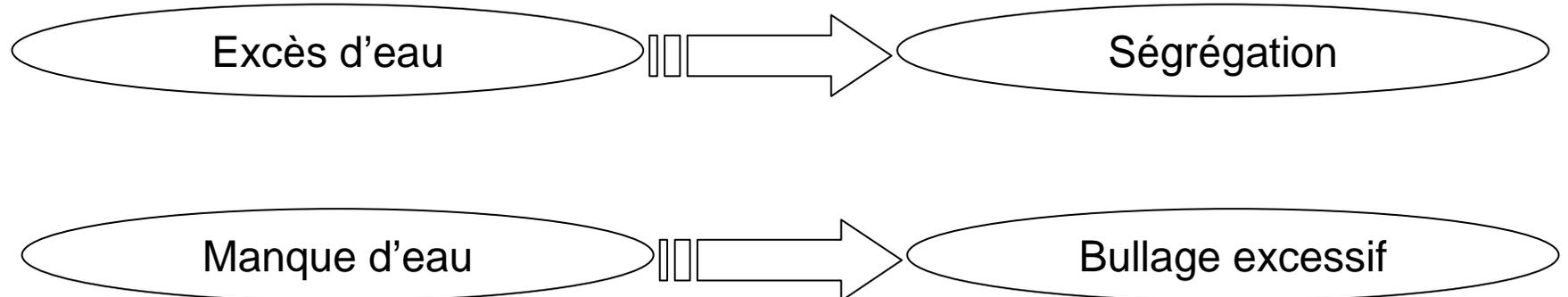
Φ maximal des granulats (mm)	10	20	35
Dosage en ciment (kg/m ³)	450-550	400-500	350-450

Tableau.1 : Dosage en ciment

2.2 Eau

- L'eau doit être propre et ne peut pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis),
- L'eau potable convient toujours,
- Le gâchage à l'eau de mer est à éviter,
- La quantité totale d'eau du béton doit être constante d'une gâchée à l'autre,
- Le dosage en eau dépend
 - de la pièce en béton ;
 - des moyens de mise en œuvre utilisés

Il est à noter que :



2.3 Granulats

On doit éviter l'utilisation des granulats contenant :

- Une teneur non négligeable en argile ou en calcaire marneux,
- Une teneur anormale de Sulfure, Sulfate et chlorures,
- Matière organique,

Les granulats utilisés doivent être propres et de qualité constante.

Si les granulats contiennent des impuretés, ils devront être lavés

Lorsque les granulats restent visibles après traitement, leur teinte est importante.

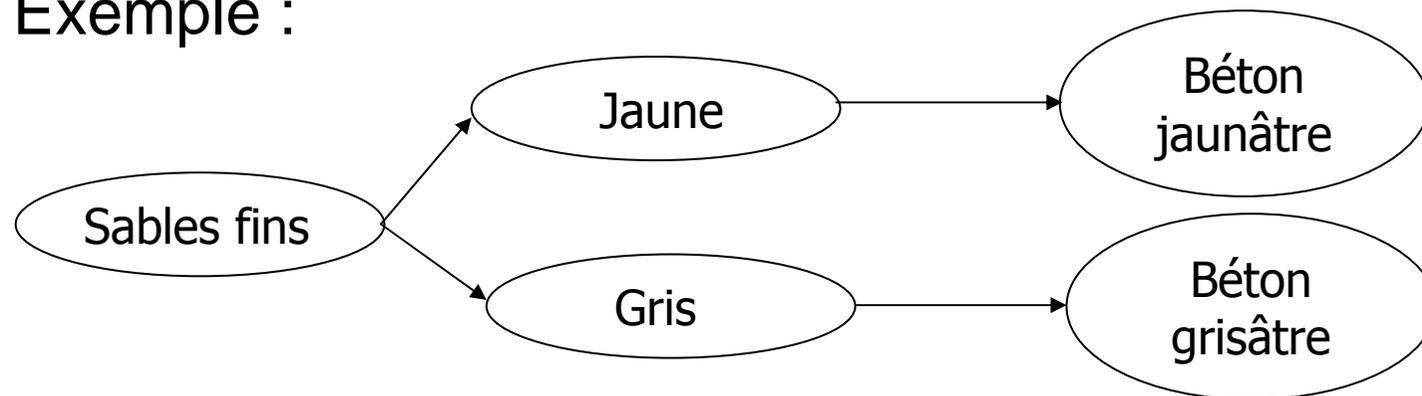
Selon l'effet recherché, on peut choisir des calcaires (marbres, pierres marbrières) qui se prêtent bien aux traitements de polissage, ou des roches éruptives et métamorphiques (basaltes, granits, diorites, porphyres) dont les textures et colorations sont variées.

Figure.2 : Différents granulats



- La teinte du béton est donnée essentiellement par les éléments fins (sables).
- Pour obtenir un béton clair, il faut utiliser les sables blancs (éclats de marbre, quartz, calcaire dur broyé).
- Un léger excès de sable ou de filler (siliceux ou calcaire) donnera un meilleur aspect au béton lors du démoulage .

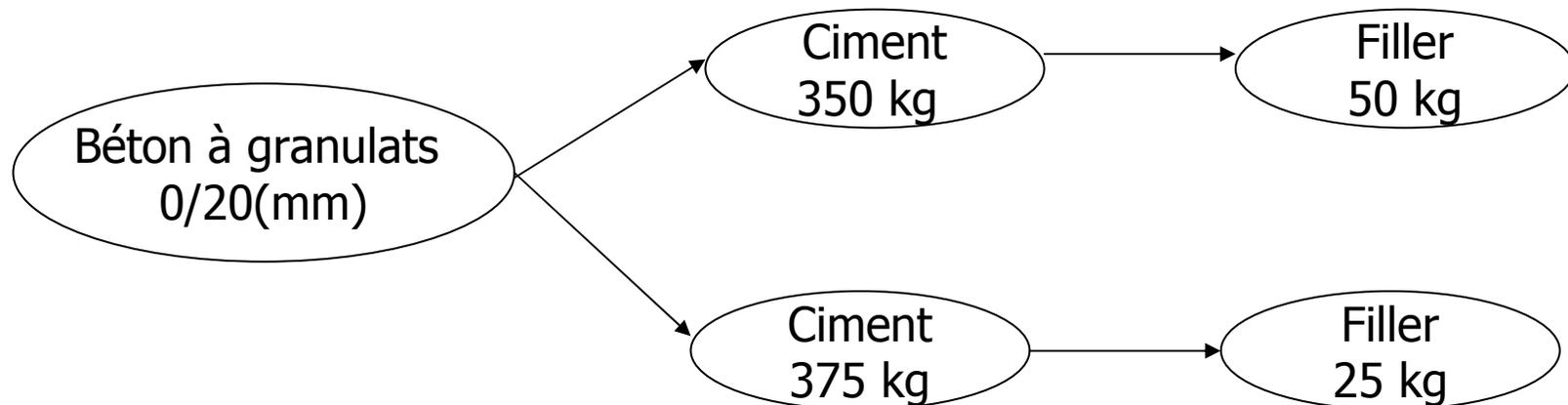
Exemple :



Selon Walz, les quantités d'éléments fins à employer seraient les suivantes (Tableau 2).

Eléments fins (kg/m ³)	Diamètre maximal des granulats (mm)
500	7
425	15
350	30

Tableau 2. Quantités d'éléments fins



2.4 Colorants

Ciment blanc coloré → ajout de 1 à 3 % du poids du ciment de pigments de préférence minéraux.

Qualités des pigments :

- Insoluble dans l'eau,
- Mouillable,
- Pouvoir colorant élevé,
- Réguliers,
- Stables à la lumière,
- Chimiquement neutres.

Pour l'obtention d'un mélange homogène, il faut d'abord mélanger les pigments avec le ciment, puis la poudre obtenue avec les granulats et, enfin, on ajoute de l'eau.

Dosage précis et constant + parfaite homogénéisation = régularité de coloris.

2.5 Adjuvants

Pour améliorer la maniabilité du béton, sans augmenter le dosage en eau, les plastifiants réducteurs d'eau, les plastifiants rétenteurs d'eau et les entraîneurs d'air ont un rôle favorable. Les hydrofuges s'opposent à la diffusion des sels entraînés par l'eau (efflorescences) et sont donc favorables à la teinte régulière des bétons apparents sous réserve d'une compacité de béton satisfaisante.

4. Traitement des bétons

Les traitements appliqués au béton apparent se répartissent en trois familles :

- Travail de l'empreinte (moule) ;
- Traitements chimiques ;
- Traitements mécaniques ;
- Teinte dans la masse du béton.

Ils peuvent être réalisés soit :

- Pendant la période de coulage du béton,
- Lorsque le béton a durci.

4.1 L'empreinte du moule

4.1.1 Texture de la banche

"le béton, sorti du décoffrage, est tout vibrant de ces sortes de cannelures que lui impriment les planches de son moule", déclare Auguste Perret

Le béton dans son apparence finale conserve la mémoire du moule qui l'a généré,

L'architecte peut travailler l'esthétique de sa paroi tout en l'adaptant au procédé de formation (figure 4).

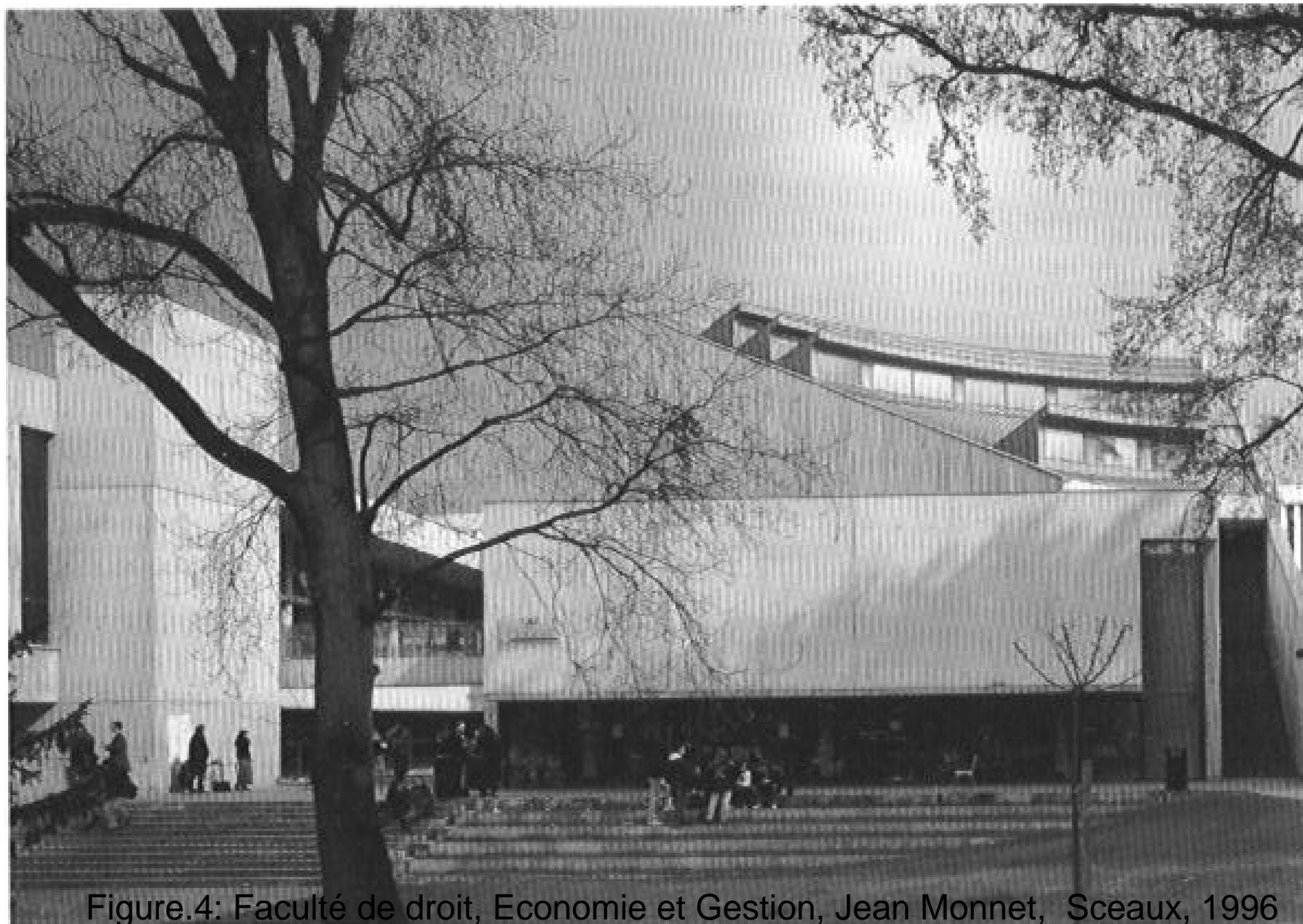


Figure.4: Faculté de droit, Economie et Gestion, Jean Monnet, Sceaux, 1996

4.1.2 Relief

Dans des blocs de béton produit avec un moule spécifique, il est travaillé dans son épaisseur, creusé, imprimé comme un tissu.

Les architectes disposent actuellement d'une gamme assez large de matériaux nouveaux pour réaliser des coffrages assez complexes adaptés aux courbes et aux grands creux, on peut citer les mousses, élastomère de polyuréthane, les polymères au silicone et le caoutchouc (Moule de reproduction) (figure 5).

Le choix du matériau est fonction de :

- Le nombre de réemplois,
- La complexité du démoulage,

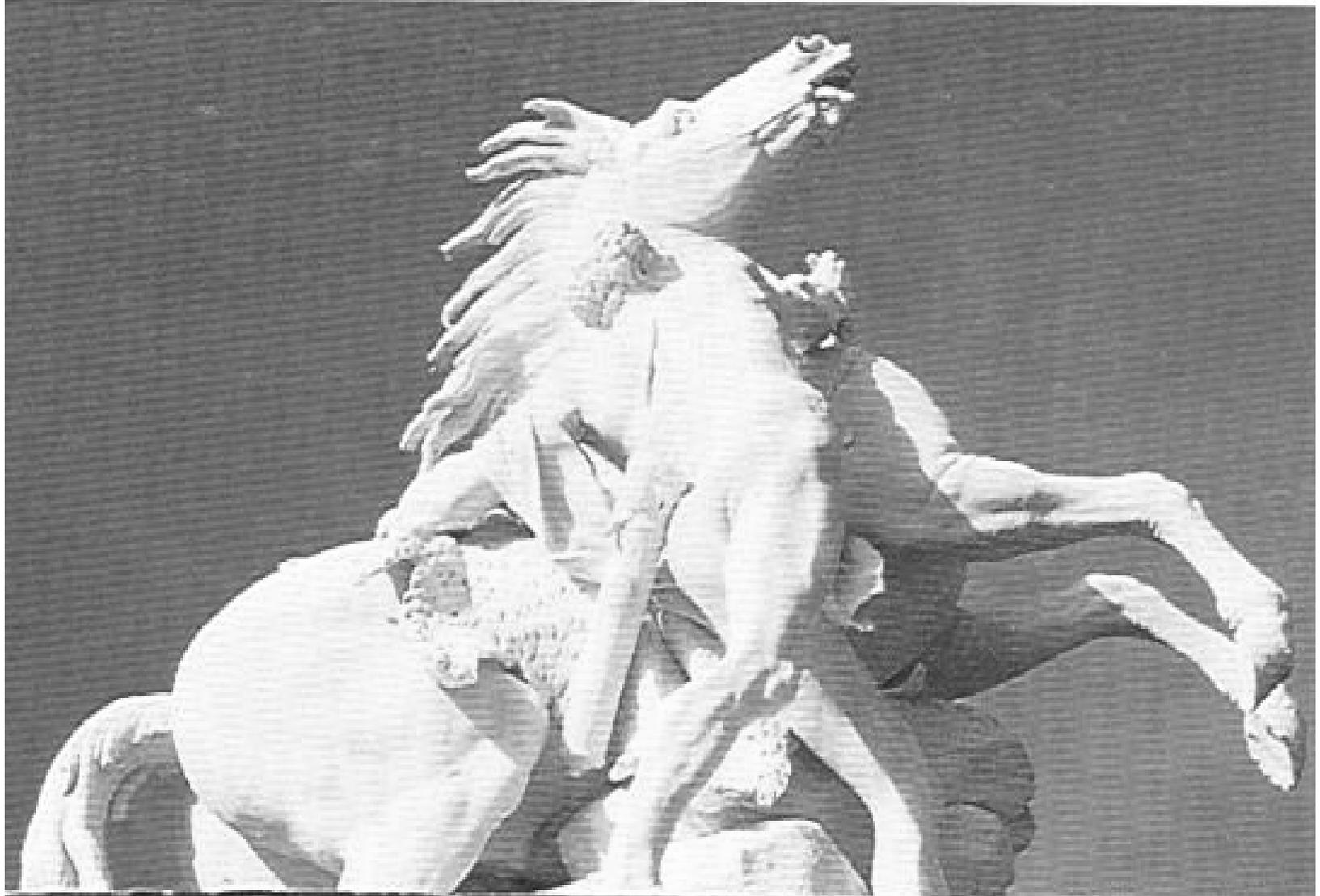


Figure 5. Copie en béton des chevaux de Marly

4.1.3 Incrustations, incorporations

Le béton se prête aux incrustations de nature diverses (Figure.6). Ça permet d'introduire des éléments de dimensions variables au fond du moule: pierres, galets...etc.

Ces éléments (pierres) seront dégagés par l'enlèvement du mortier fin en surface en utilisant des techniques mécaniques ou chimiques.

Ces éléments doivent :

- Etre de forme permettant un bon scellement;
- Ne pas être plates et allongées;
- Avoir des caractéristiques techniques compatibles avec les
- Performances mécaniques du matériau;
- Ne pas être altérées par les réactions chimiques lors de la prise du béton.

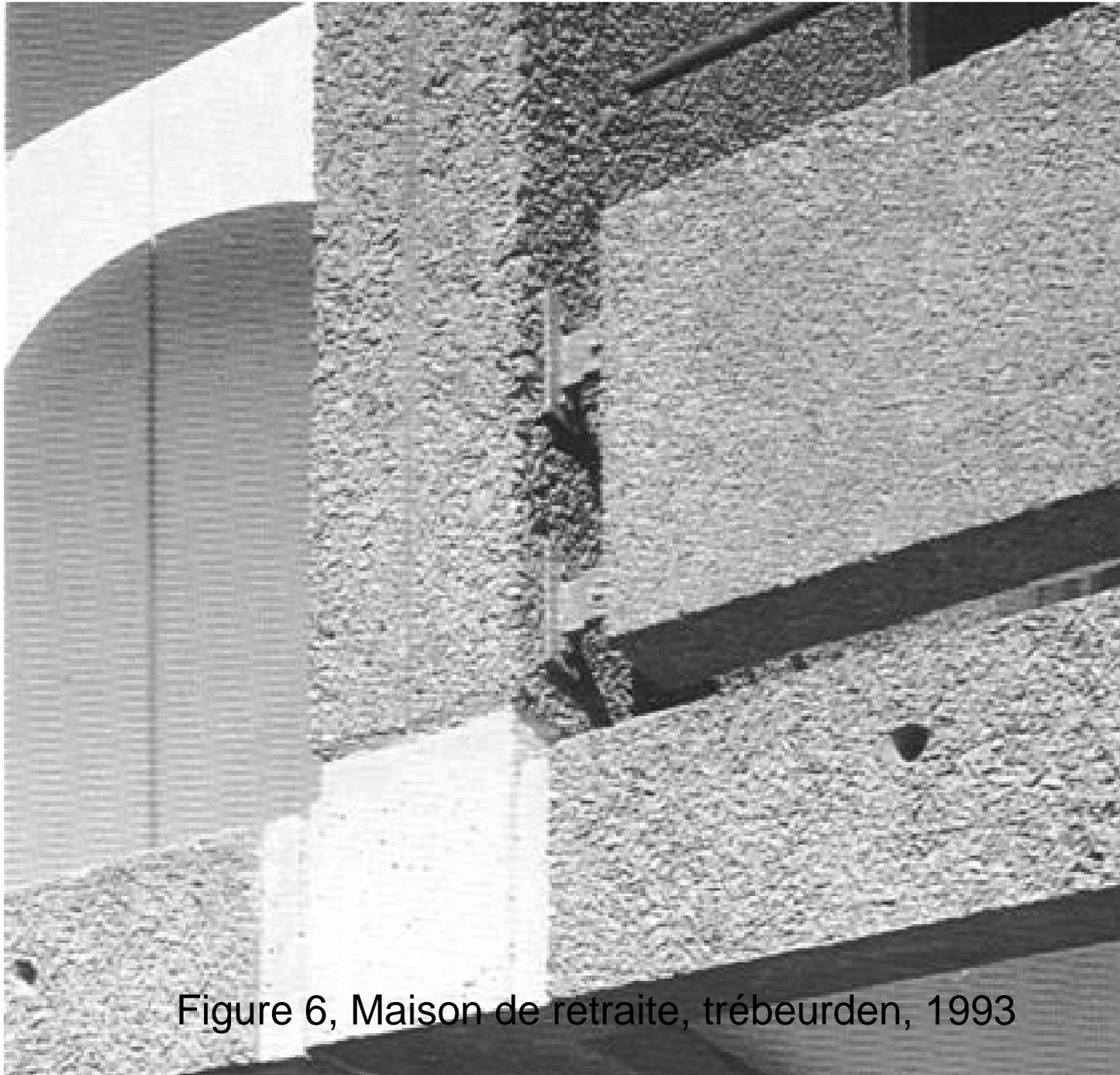


Figure 6, Maison de retraite, trébeurden, 1993

4.1.4 Béton brut de décoffrage

Présent dès 1905 dans de nombreux travaux.

Les imperfections sont traitées par un travail complexe sur le coffrage.

« l'architecture, c'est avec des matériaux bruts qu'on peut établir des rapports émouvants », affirme Le Corbusier.

Le béton brut présente de nombreuses textures, mettant en scène les imperfections de sa mise en œuvre et les légers défauts de sa surface (figure 7).



Figure 7. Le corbusier, pavillon suisse, cité universitaire, Paris, 1929.

D'autres architectes cherchent à donner au béton brut un aspect lisse, uniforme et régulier. Ceci est permis par les avantages du coffrage métallique.

« le béton veut être un granite », pour Louis I. Kahn (figure 8).

A présent, l'évolution des techniques de mise en œuvre offre de nouvelles possibilités de réflexions architecturales.

Lors de la réalisation de ce type de béton, de nombreuses précautions doivent être prises.



Figure 8. Louis I, Kahn, Salk institute, La Jolla, Californie, 1965.

4.1.5 Traitement en dessus du moule

La face supérieure peut être traitée de multiples façon juste après le coulage.

Ces traitements sont réalisés à l'aide d'outils très simple comme des règles tirés sur cale, des taloches afin d'obtenir une surface lisse, des brosses, des râpeaux ou des peignes pour une surface rainurée, des rouleaux ou des moules pour une surface imprimée (Figure 9).

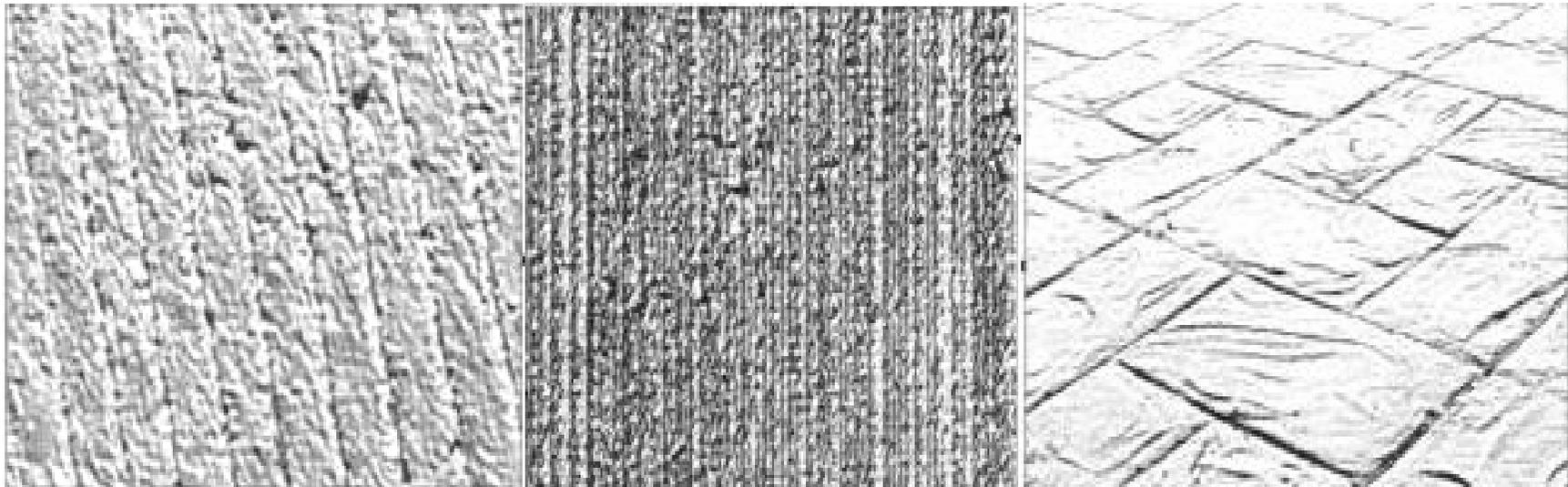


Figure 9 : surface striée, surface brossée, surface imprimée

4.1.6 Béton projeté

Le béton projeté ne révèle pas la trace d'un moule, mais celle de son procédé de réalisation.

La teinte est celle des composants les plus fins (ciment et sable).

Le béton projeté est souvent utilisé dans les travaux souterrains (station de métro), il permet aussi la conception de formes géométriques complexes (figure 9).

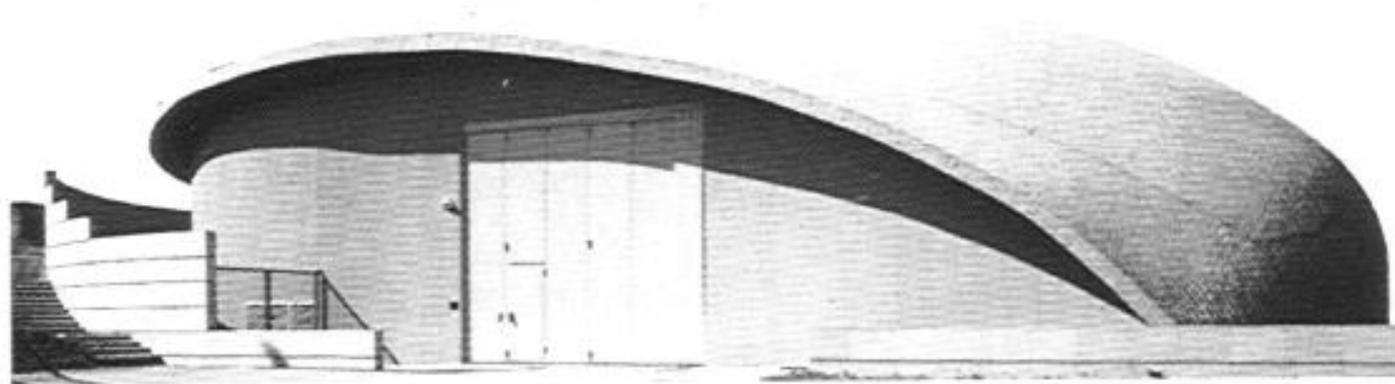


Figure 9 : Renzo Piano, poste EDF, Lyon, 1997

4.2 Traitement chimique

Il existe deux natures de traitements chimiques :

- Le décapage à l'acide,
- La désactivation de surface,

4.2.1 Le décapage à l'acide

Attaque après démoulage des parements de béton durci avec une solution à base d'acide chlorhydrique dilué (Figure.10).

La profondeur d'attaque varie en fonction de :

- La concentration de la solution;
- La durée du traitement.

Selon les surfaces à traiter, les techniques utilisées sont différentes :

- Les éléments préfabriqués peuvent être trempés dans un bain d'acide de quelques secondes à deux ou trois minutes.
- La solution acide sera passée à la brosse ou pulvérisée.

Ces opérations doivent être suivies d'un lavage à grande eau.

Inconvénients:

- Gamme de choix limitée.

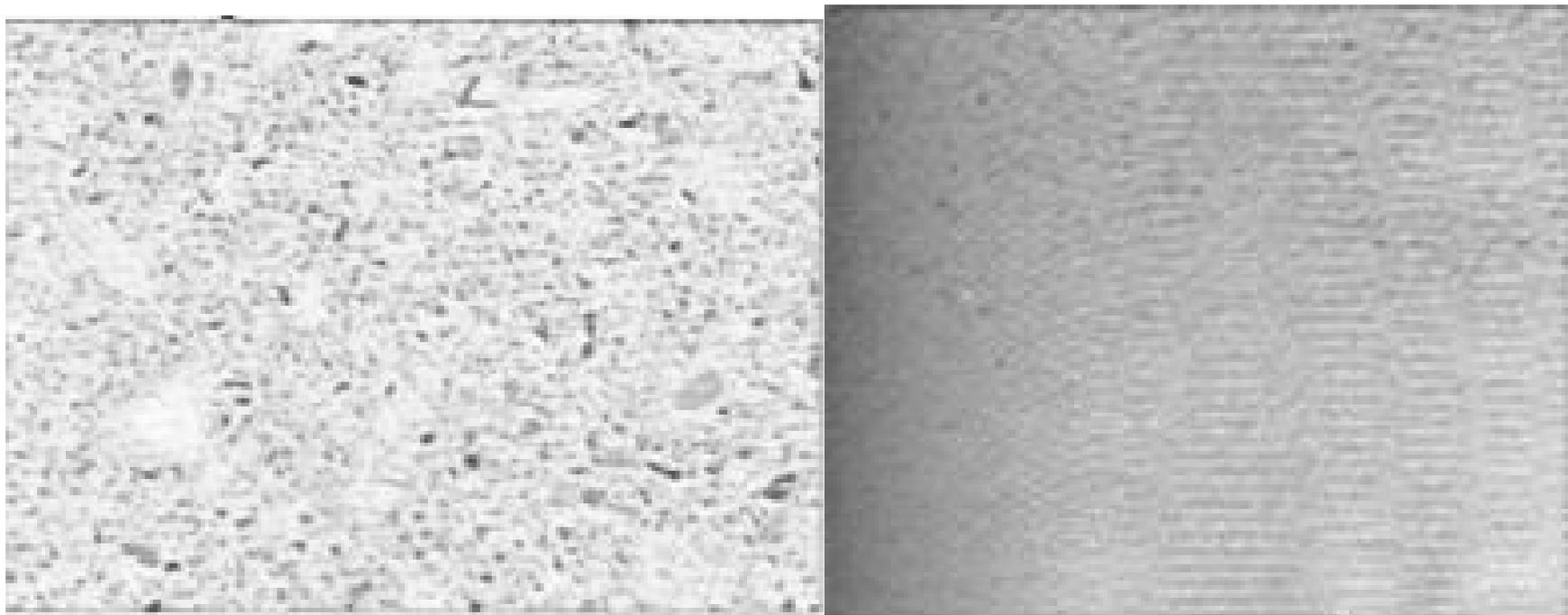


Figure 10. Acidation profonde, acidation légère

4.2.2 La désactivation

Procédé précis.

Appliquer un retardateur de prise sur le coffrage avant coulage.

Son application peut être soit :

- Rouleau,
- Pinceau au fond u moule,
- Pulvériser sur béton frais,
- Papier retardateur pour la réalisation de motif de grande précision.

La peau du béton est ensuite enlevée par lavage au jet d'eau, par brossage ou sablage à faible pression, suivant la profondeur du traitement (Figure 11).

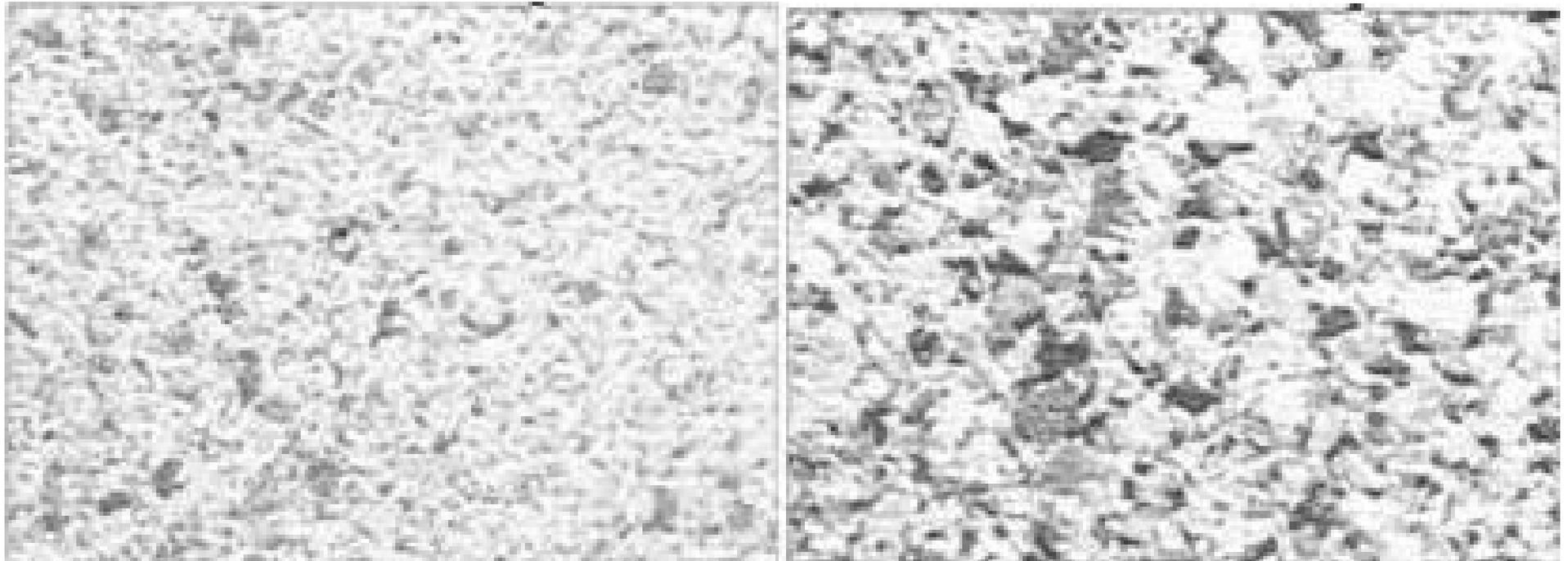


Figure 11. Désactivage léger, désactivage profond

4.3 Traitements Mécaniques

Réaliser sur béton frais ou durci.

4.3.1 Traitements Mécaniques n'attaquant pas les granulats

4.3.1.1 Le lavage

Procédé simple, effectué au jet d'eau juste après décoffrage.

L'eau élimine la laitance superficielle avant durcissement total
⇒ granulats mises en valeur sans modifier la teinte (figure 12).

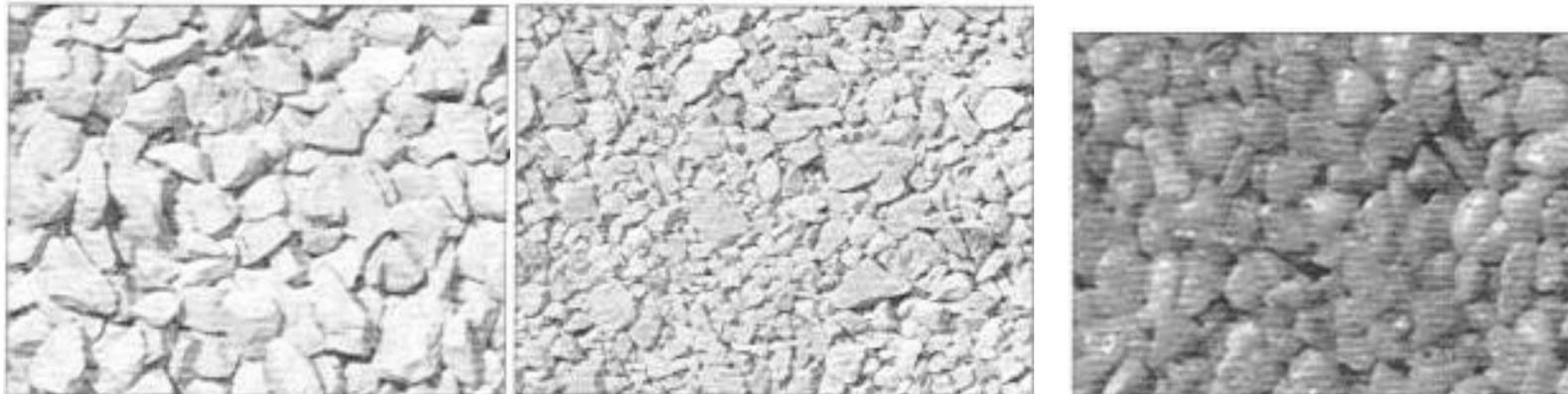


Figure 12. Granulats gros concassés, granulats moyens concassés, granulats moyens roulés

4.3.1.2 Le brossage

Traitement à l'aide de brosse métallique après deux jours de décoffrage.

4.3.2 Traitements mécaniques attaquant la surface des granulats

4.3.2.1 Le sablage

Attaquer le parement avec un jet de sable projeté à l'air comprimé (Figure 13).

Facteurs affectant les nuances :

- Modifier la distance,
- Vitesse de projection,
- Angle d'incidence du jet,
- La pression de l'air du compresseur.

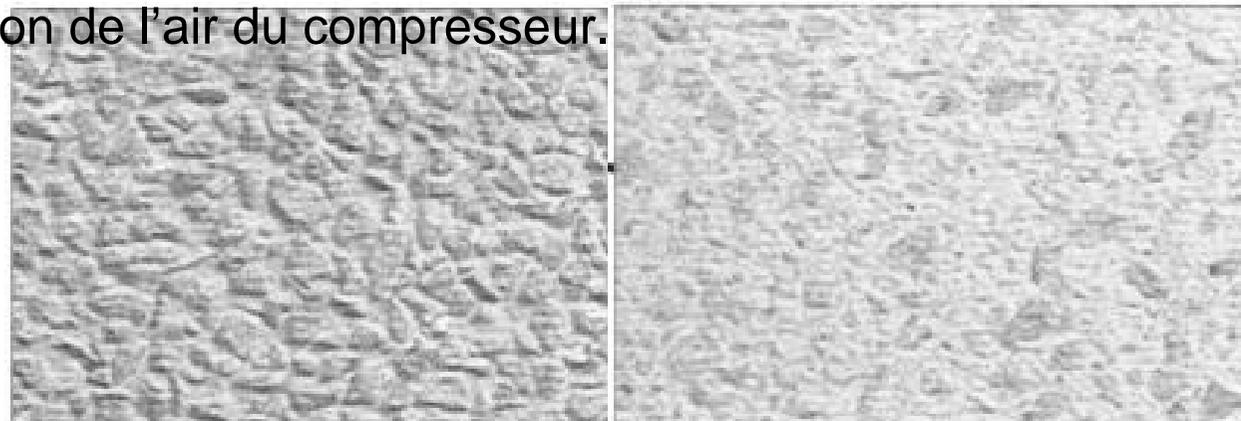


Figure 13. Sablage profond, sablage fin

4.3.2.2 Le grenailage

Projection de grains durs, métalliques (petite bille d'acier, métaux non ferreux, fils d'acier coupé) ou non (bille de verre, déchets industriels résistants) sur la surface du béton (figure 14).

L'aspect du béton ainsi traité varie selon :

- La nature et la dimension de la grenaille,
- Vitesse d'impact des grains.

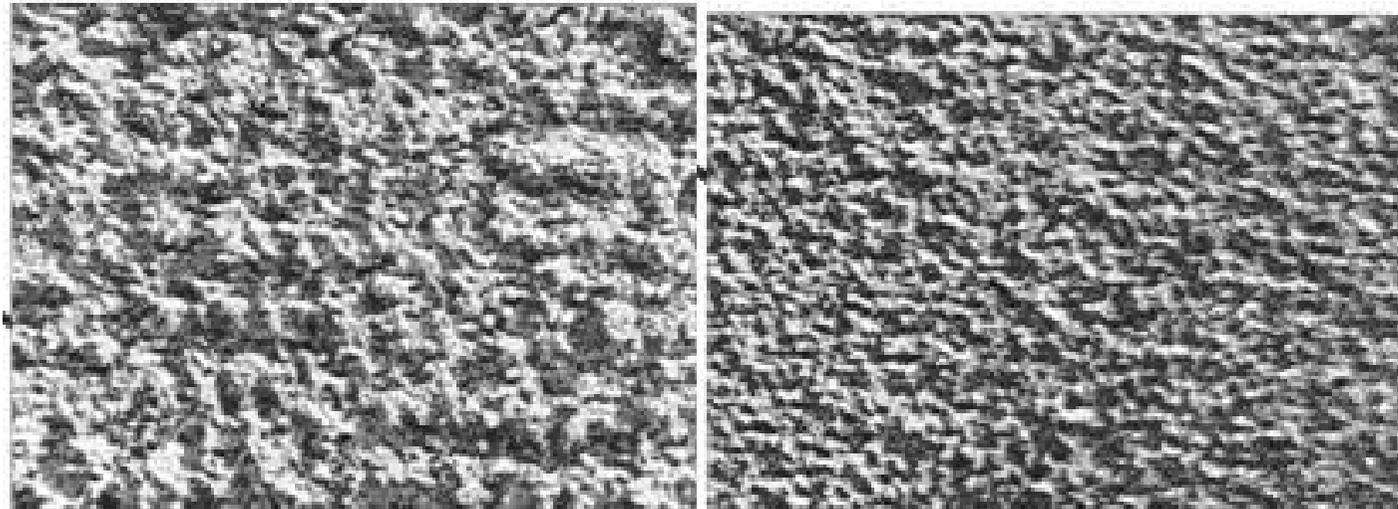


Figure 14. Grenailage profond, grenailage fin

4.3.2.3 Le bouchardage

Marteler la surface du béton durci avec des burins (figure.14).

Les effets de surface diffèrent suivant:

La profondeur de frappe de 1 à 8 mm;

Les outils employés (boucharde pointu \Rightarrow traitement fin

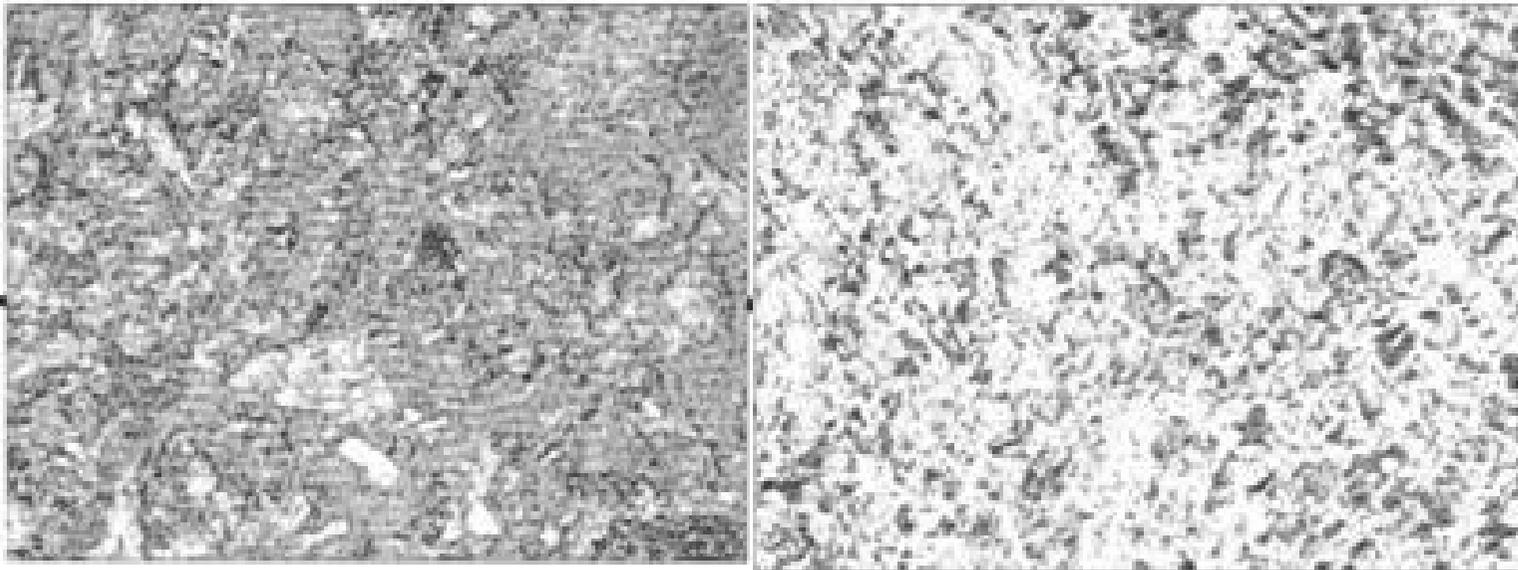


Figure 14. Bouchardage grossier, bouchardage fin

4.3.3.1 Le grésage

Meulage de la surface. De nombreux paramètres interviennent :

- Nature des constituants du béton,
- La dureté des grains des meules,
- Le nombre de passage de l'outil,
- La pression exercée,
- Vitesse d'avancement.

Polissage en préfabrication

Travail effectué à la meule diamant donne au béton une surface rugueuse.

Pour atténuer les rayures trop présentes, utiliser une seconde passe avec une meule de grain 60 ou 120.

Cette opération est suivie d'un bouchonnage léger (enduit de surface) (Figure 15).

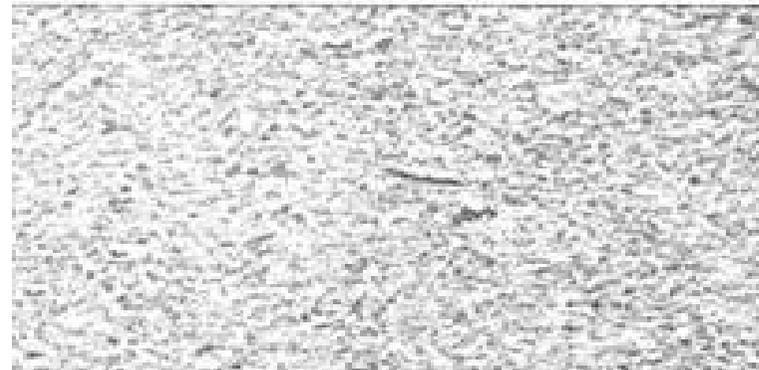


Figure 15. Béton grésé

4.3.3.2 Le polissage courant

Grésage \Rightarrow meule à grains fins \Rightarrow polissage passe après passe (2 ou 3 passes de meules de grains 120, 220 et 320) \Rightarrow bouchonnage \Rightarrow application d'un produit de protection.

Béton poli \Rightarrow passe de meule de grains fins 400 ou 600 \Rightarrow surface lisse.

Caractéristiques et qualité proche de celle de la pierre (figure 16).

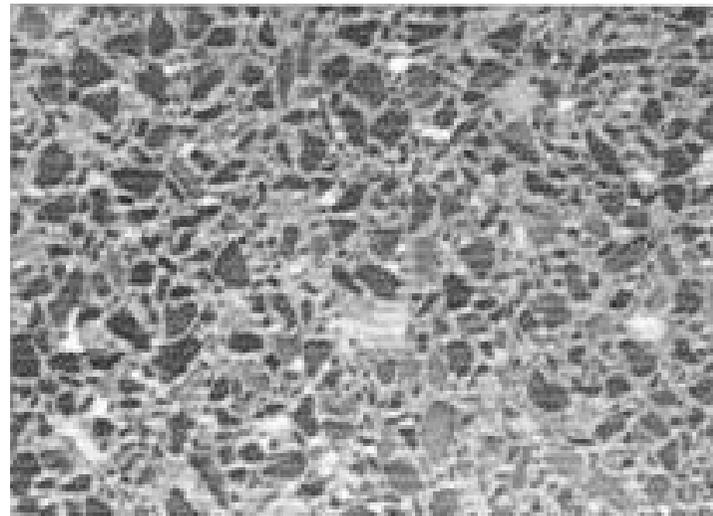


Figure 16. Béton poli

4.3.3.3 Le polissage marbrier

Obtenu par prolongement du nombre de passe de 4 à 6 de plus en plus fine suivi d'un lustrage.

Les mortiers utilisés doivent être:

- De bonne compacité,
- Résistant à l'action de la meule,
- Non poreux.

Moule rigide, planéité et étanchéité parfaite, mise en œuvre soignée (figure 17).

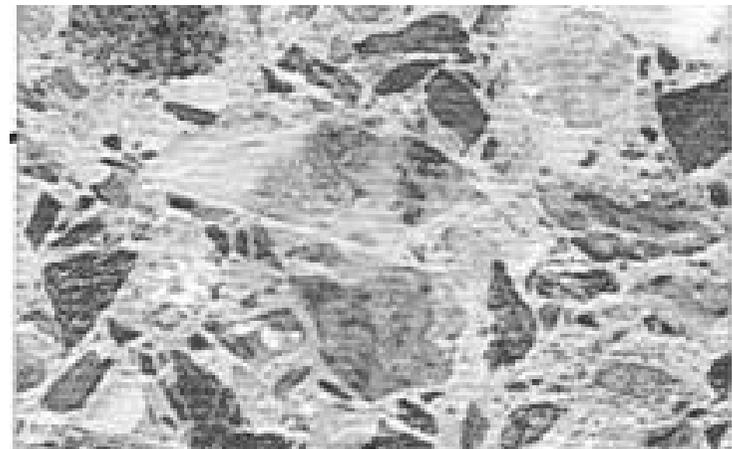


Figure 17. Béton poli marbrier

4.4 Teinte dans la masse du béton

La nature composite du matériau permet d'obtenir une grande variété de couleur en choisissant celle de chacun de ses constituants.

La régularité de la teinte dépend de:

- La couleur du ciment sec,
- Conditions de mise en œuvre,
- Porosité du coffrage,
- Vibration;
- Délai de démoulage,
- Conditions atmosphériques.

5. Importance de la mise en place

Il faut respecter les conditions suivantes:

- Dosage constant et homogène des constituants;
- Malaxeur propre;
- Temps de malaxage adéquat;
- Transport étudié (éviter les vibrations ⇒ pompe).

Les coffrages doivent assurer:

- Rigidité et indéformabilité;
- Propreté des surfaces;
- Étanchéité aux joints.

Les coffrages peuvent être en:

- Bois rugueux ou lisse, plus ou moins absorbant;
- Acier;
- Plastique (surface glacée)

Le plan de coffrage doit assurer:

- Une bonne mise en place du béton, hauteur limitée et facilité de serrage,
- Coïncider les reprises du bétonnage avec les joints apparents,
- Décoffrage sans épaufrure ni arrachement.

Les agents de démoulage:

- Assurent la longévité des coffrages,
- Jouent un rôle sur l'état de surface et la teinte du béton,
- Choisis en fonction du coffrage et de sa position,
- Appliqués sous forme d'un film fin et régulier.

Précautions pendant la mise en œuvre:

- Limiter la hauteur de chute (<80 cm),
- Procéder par couches horizontales de faible épaisseur (20 à 30 cm),
- Couler à vitesse uniforme.

6. Décoffrage-cure

Le décoffrage s'effectue en fonction de la température du milieu, temps de prise.

Décoffrage rapide \Rightarrow surface claire \Rightarrow même temps de décoffrage.

Cure :

➤ Temps sec \Rightarrow surface claire (l'eau s'évapore, chaux visible et se carbonate),

➤ Temps humide \Rightarrow surface foncée (hydratation continue).

Les produits de cure utilisés doivent être pulvérisés.

7. Traitement et finition des parements

Nettoyage des façades (brossage).

Protection hydrofuge \Rightarrow surface imperméable.

Protection des parements en pied du bâtiment par des antigraffitis.

8. Règles pour obtenir un béton de qualité

8.1. Conception architecturale

Éviter les pièges à eaux (creux, saillies...),
Maîtriser les ruissellements,
Tenir compte de l'orientation des parements.

8.2. Composition du béton

Doser le ciment de façon adéquate,
Incorporer des sables et des granulats propres,
Prescrire les excès d'eau,
Utiliser des adjuvants spécifiques.

8.3. Fabrication et mise en place du béton

Adapter le malaxage à la composition;
Interdire le rajout d'eau,
Respecter les enrobages,
Vibrer de façon adéquate,
Protéger le béton frais du vent, soleil et du gel.