

Construire des Ouvrages d'Art en Béton

Les essais sur béton

M. Dierkens (DLL)

SOMMAIRE

- *Prélèvement de béton*

- *Consistance*

- *Teneur en air*

- *Confection d'éprouvettes*

- *Cas particulier des BAP*

- *Résistance en compression*

- *Durabilité au gel*

- *Autres essais*

- *Suivi maturométrique*

- *Les essais de l'approche performantielle*

Essais sur béton

prélèvement de béton : NF EN 12350-1



charge

prise élémentaire :
main écope



échantillon à
homogénéiser

homogène ou non ?

Essais sur béton

Prélèvement de béton

Prélèvement au moment de l'emploi après déversement de
0,3 m³

ou

brassage énergétique de 2 minutes à V_{maxi}

(selon NA. 5.4.1 de la NF EN 206-1 pour essai de consistance)

Essais sur béton

Prélèvement de béton : NF EN 12350-1

Quelle quantité à prélever ?

1,5 fois le volume nécessaire aux essais



Exemple :

Pour 6 éprouvettes 16x32	38,4 l
+ 1 cône d'Abrams	6 l
+ 1 teneur en air	8 l
Total utilisé :	52,4 l

Minimum à prélever : $52,4 * 1,5 = 78,6 \text{ l}$
~ 80 l

Essais sur béton

Consistance

Classes de consistance : NF EN 206-1

Tableau 3	
classe	affaissement en mm
S1	de 10 à 40
S2	de 50 à 90
S3	de 100 à 150
S4	de 160 à 210
S5	≥ 220

Tableau 6	
classe	étalement en mm
F1	≤ 340
F2	de 350 à 410
F3	de 420 à 480
F4	de 490 à 550
F5	de 560 à 620
F6	≥ 630

BPS NF EN 206-1 C25/30 XC1/XC2 (F) Dmax 22,4 S3 CI 0,40

Essais sur béton

Consistance

affaissement au cône d'Abrams

NF EN 12350-2

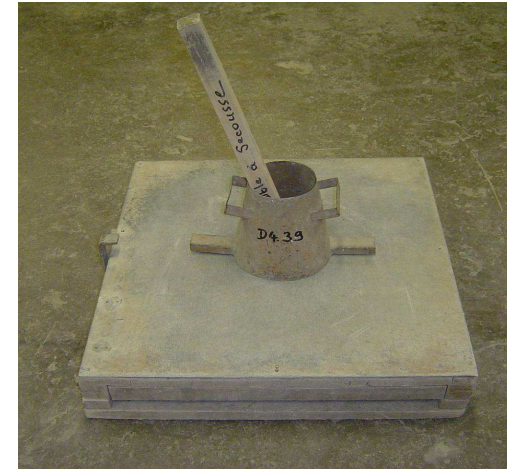
$10 \leq \text{aff.} \leq 210 \text{ mm}$



étalement à la table à chocs (cône DIN)

NF EN 12350-5

$\text{aff.} > 210 \text{ mm}$

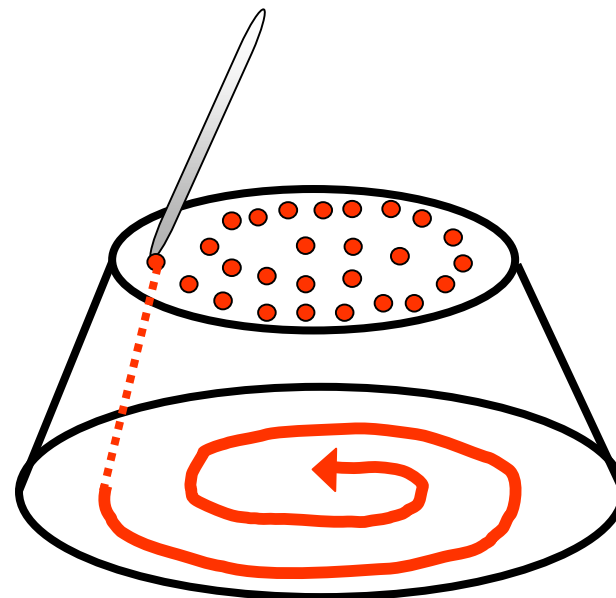
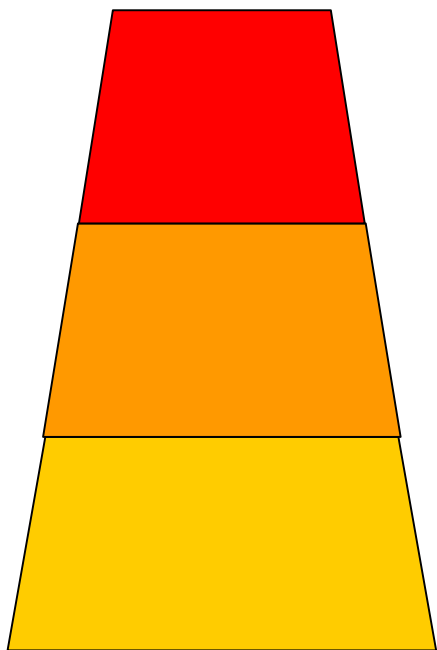


Essais sur béton

Consistance

affaissement au cône d'Abrams - NF EN 12350-2

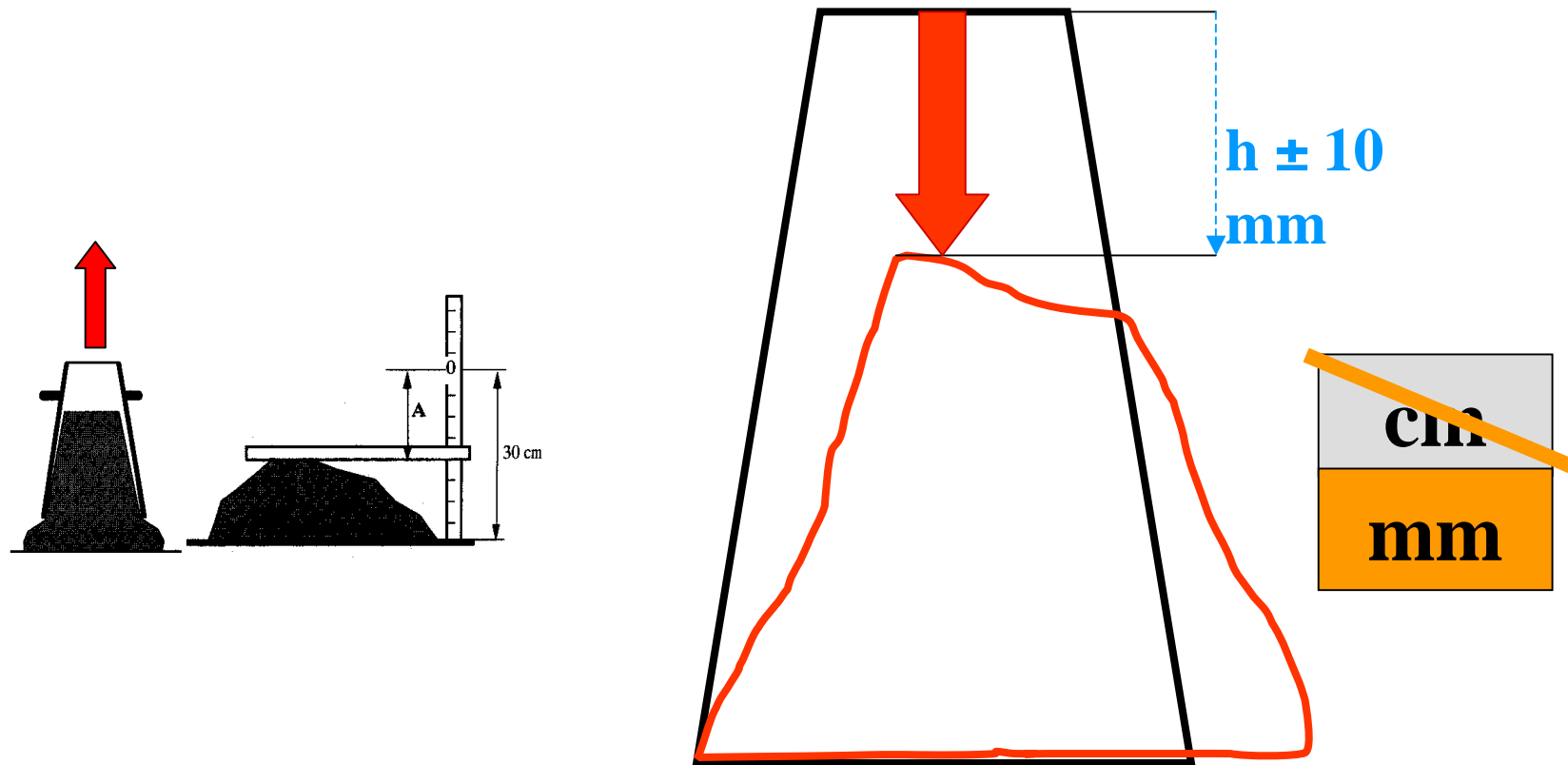
piquage : 25 coups par couche en 3 couches



Essais sur béton

Consistance

affaissement au cône d'Abrams - NF EN 12350-2

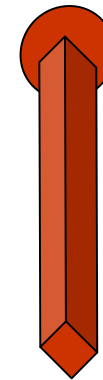
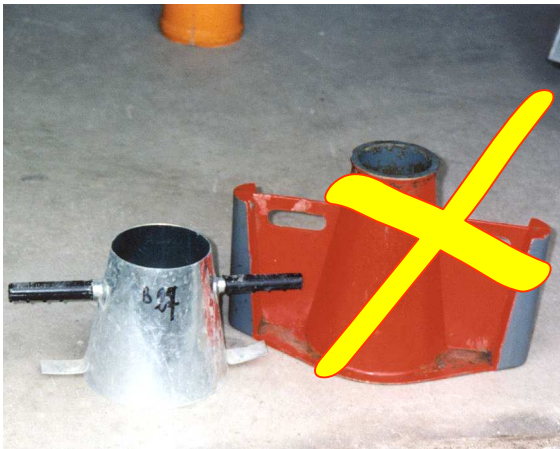


remontée du moule : durée 5 à 10 secondes

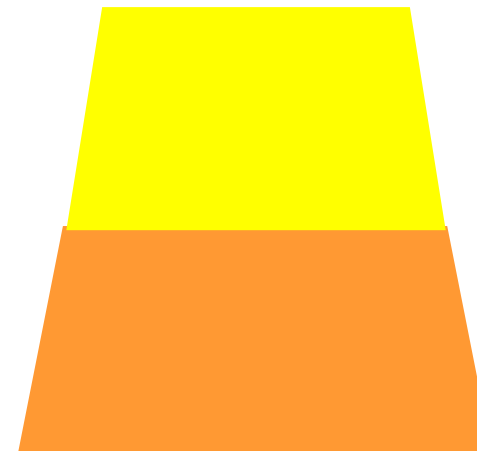
Essais sur béton

Consistance

étalement à la table à chocs - NF EN 12350-5



10 piquages légers pour chacune des 2 couches

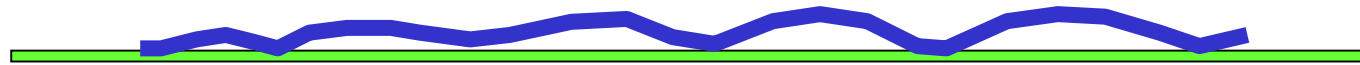


Essais sur béton

Consistance

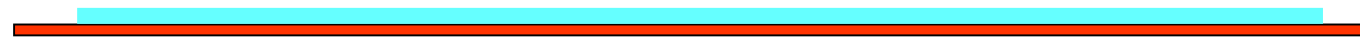
étalement à la table à chocs - NF EN 12350-5

table humide mais non mouillée

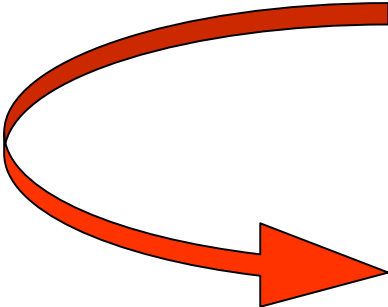


TEST « avec sopalin »

correct



mauvais

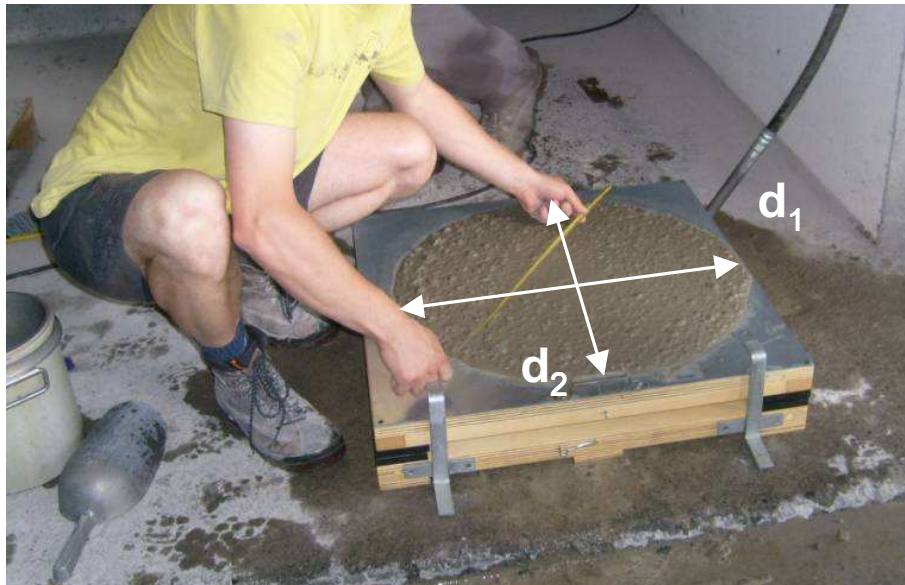


**risque
d'apparition de
faux ressuage**

Essais sur béton

Consistance

étalement à la table à chocs - NF EN 12350-5



après 15 chocs sans arrêt,
on mesure d1 et d2, et :

$$f = \frac{d1 + d2}{2}$$

mesure moyenne : f arrondie à 10 mm près

Essais sur béton

Teneur en air

(NF EN 206-1 extrait tableau NA.F.1)

classes d'exposition	X_0 X_{C1} à X_{C4} X_{S1} à X_{S3} X_{D1} à X_{D3} X_{F1} X_{A1} à X_{A3}	X_{F2} à X_{F4}
teneur minimale en air (%)	pas de valeur spécifiée	4 %

**aucune valeur individuelle ne doit dépasser la
valeur spécifiée + 4 %**

Essais sur béton

Teneur en air : **NF EN 12350-7**

**méthode de la
colonne d'eau**



**méthode du
manomètre**



valeur arrondie à 0,1 point près

Essais sur béton

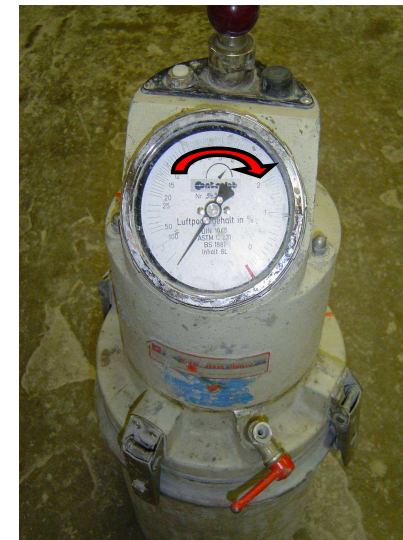
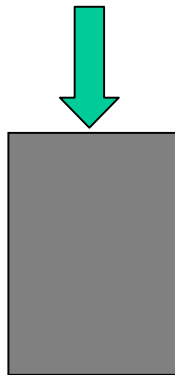
Teneur en air : NF EN 12350-7

Méthode du manomètre

On égalise un volume d'air connu à une pression connue dans une enceinte hermétique avec le volume d'air inconnu de l'échantillon de béton. Le cadran du manomètre est étalonné en % d'air correspondant à la pression résultante.

mise en oeuvre du
béton en 3 couches
avec serrage à refus

pomper (= mise en pression de la
chambre) et ajuster l'aiguille au trait
rouge puis relâcher



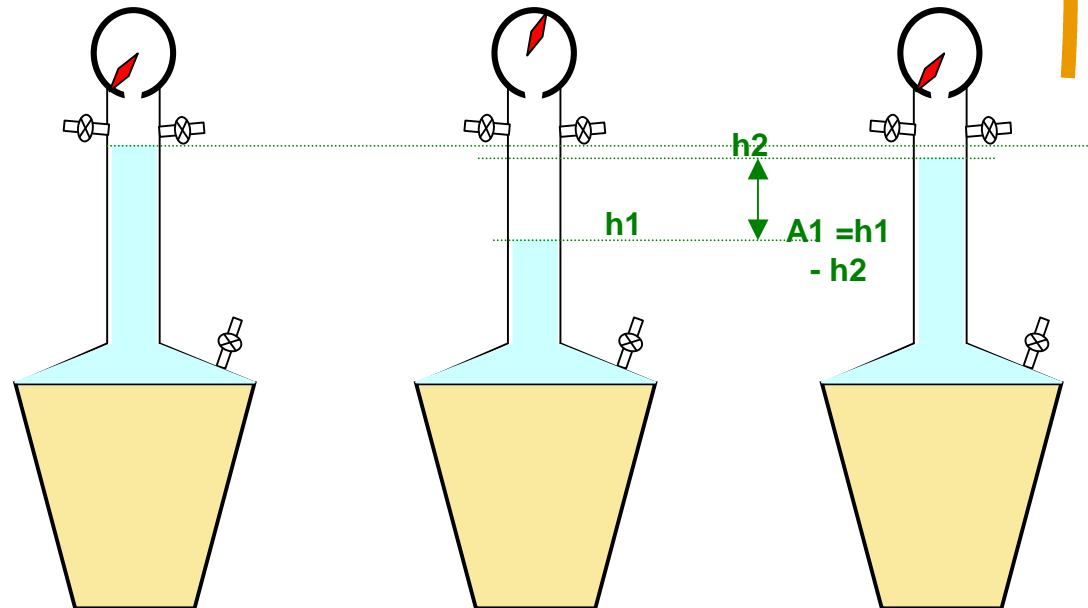
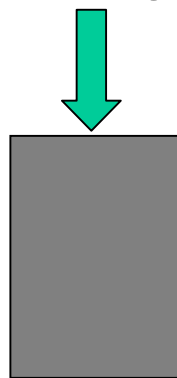
Essais sur béton

Teneur en air : NF EN 12350-7 Méthode de la colonne d'eau



On introduit de l'eau sur une hauteur prédéfinie au-dessus d'un échantillon de béton serré de volume connu se trouvant dans une enceinte hermétique et on applique sur l'eau une pression d'air prédéterminée. On mesure alors la diminution du volume d'air contenu dans le béton en observant la baisse du niveau d'eau.

mise en oeuvre du
béton en 3 couches
avec serrage à refus



Essais sur béton

Confection d'éprouvettes : NF EN 12390-2

béton	remplissage		
	16x32 cm	11x22 cm	moyens
courant et BHP	4 couches < 10 cm serrage à refus	3 couches < 10 cm serrage à refus	main écope

Le FD P 18 457 autorise pour les bétons courants à passer pour le remplissage respectivement en 3 et 2 couches

Essais sur béton

Confection d'éprouvettes : notion de serrage à refus (FD P 18 457)

affaissement au cône d'Abrams	« surface du béton lisse et luisante, exempte d'apparition de grosses bulles »	
aff. < 10 mm	barre de damage (≥ 25 coups par couche) ou table vibrante (≥ 20 s)	
$10 \leq \text{aff.} \leq 90$ mm	aiguille vibrante ou table vibrante (≥ 10 s par couche)	
aff. ≥ 100 mm	E/C > 0,50 tige de piquage (25 coups par couche)	E/C < 0,50 aiguille vibrante ou table vibrante (≥ 5 s par couche)

notion de serrage à refus (FD P 18 457)

Bétons « spéciaux »

BAP	serrage naturel sous l'effet de la pesanteur	
bétons avec air entraîné FD P 18 457 § 5.7.4	aff. ≥ 100 mm inférieur à 6 s par couche	$10 \text{ mm} \leq \text{aff.} \leq 90 \text{ mm}$ inférieur à 12 s par couche

Essais sur béton

Conservation des éprouvettes : NF EN 12390-2

avant 16 h à 3 jours	dans le moule sans choc, sans vibration ni dessiccation à $T = 20 \pm 5 \text{ °C}$ (ou $25 \pm 5 \text{ °C}$ pour pays chauds)	En pratique, on visera sur chantier $15\text{°C} < T_{\text{amb}} < 30\text{°C}$ pendant 48 h maxi, avec recours à une caisse calorifugée pour $T_{\text{ext}} < 15\text{°C}$
transport	éviter dessiccation et écarts de température	
après démoulage	eau à $T = 20 \pm 2 \text{ °C}$	chambre à $T = 20 \pm 2 \text{ °C}$ et $HR \geq 95 \%$

Essais sur béton

Cas particulier des BAP

Bétons très fluides, homogènes et stables mis en œuvre sans vibration par le seul effet gravitaire

Essais spécifiques :

- ✓ étalement au cône d'Abrams
→ caractérisation de mobilité du béton en milieu non confiné
- ✓ boîte en L
→ caractérisation de la mobilité du béton en milieu confiné
- ✓ stabilité au tamis
→ caractérisation du risque de ségrégation et au ressuage

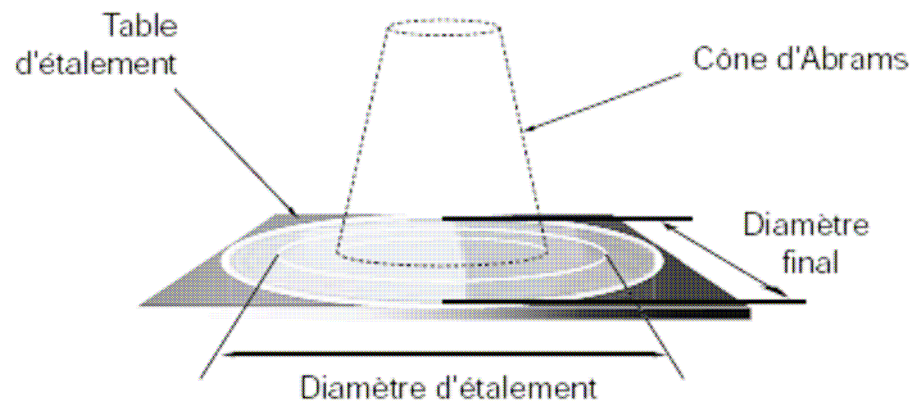
Recommandations AFGC – BAP de janvier 2008

Norme NF EN 206-9

Essais sur béton

Cas particulier des BAP

essai d'étalement au cône d'Abrams : NF EN 12 350-8



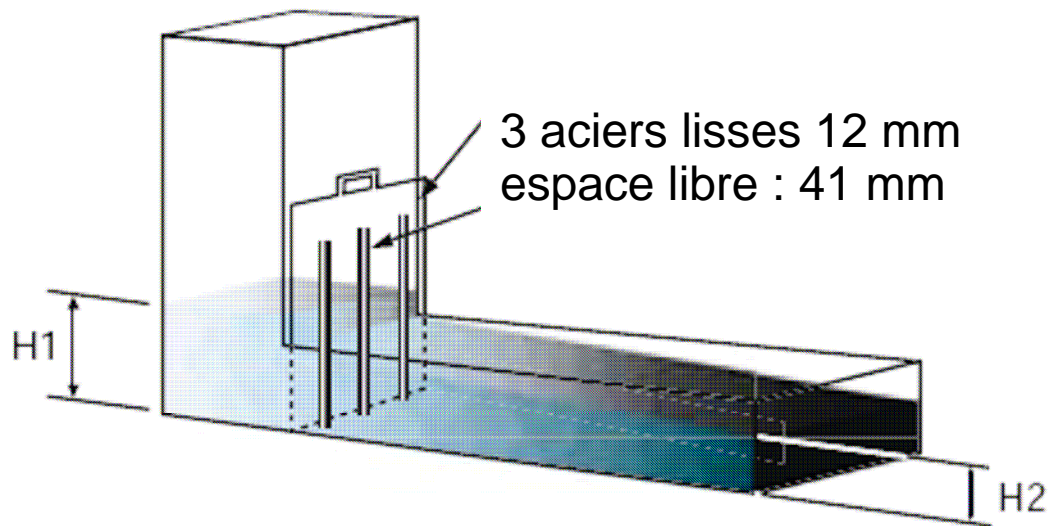
$$D = \frac{d1 + d2}{2}$$

Essai au cône d'Abrams

Essais sur béton

Cas particulier des BAP

essai à la boîte en L : NF EN 12 350-10



Essai de boîte en L

H2

H1



Essais sur béton

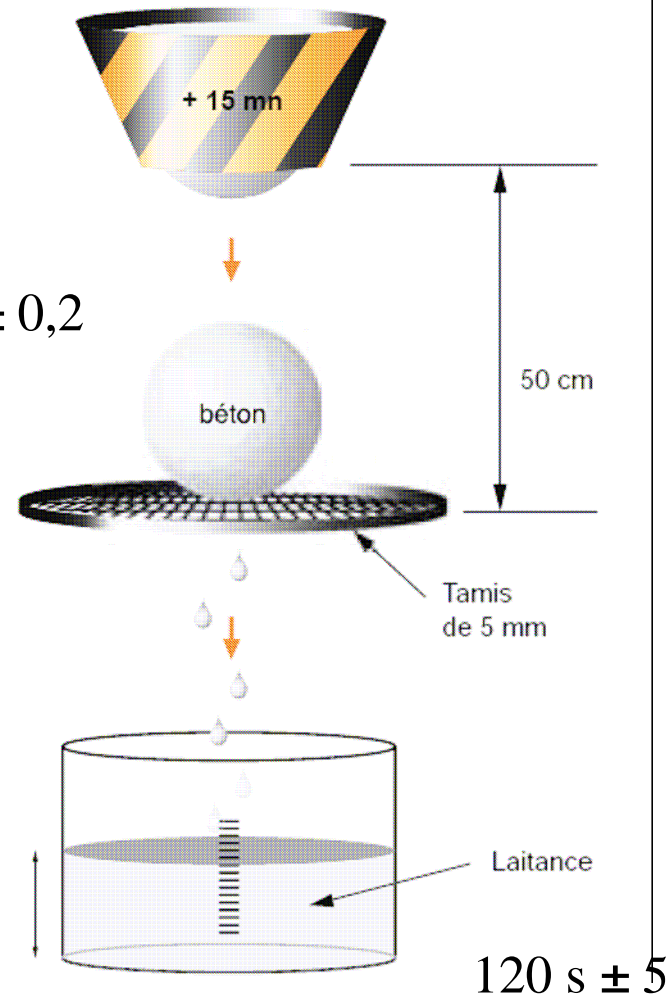
Cas particulier des BAP

essai de stabilité au tamis
NF EN 12 350-11

$P_{\text{laitance}} \times 100$

$P_{\text{échantillon}}$

4,8 kg \pm 0,2



Essai au tamis

Essais sur béton

Résistance en compression : NF EN 12390-3 Surfaçage des éprouvettes

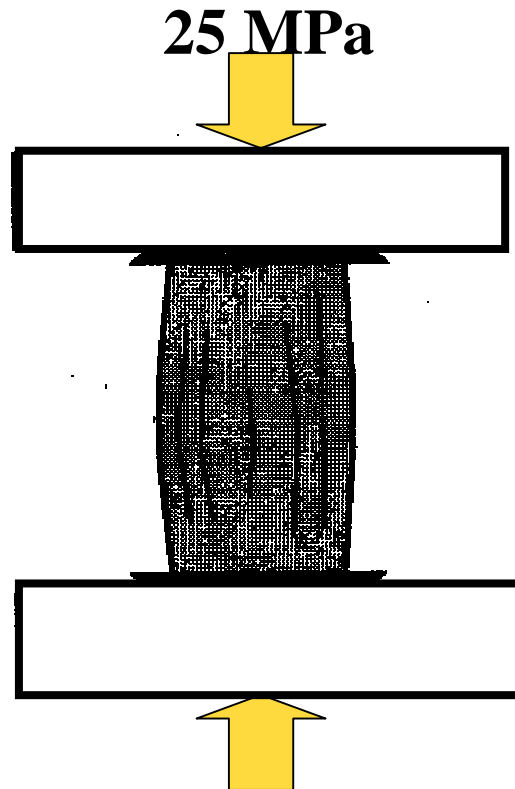
- ✓ Surfaçage au soufre
 - sécurité : hotte, extincteur...
 - mélange soufre (50%) – sable siliceux (50%)
 - attendre 30 min avant essai de compression
- ✓ Rectification



Essais sur béton

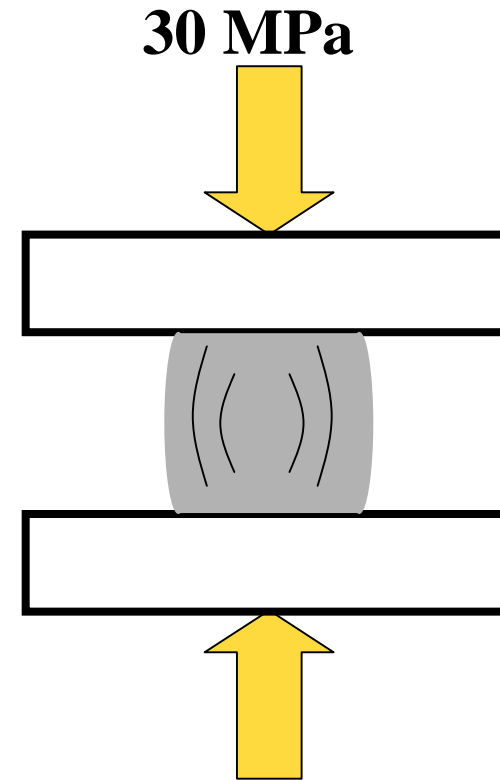
Résistance en compression : NF EN 12 390 - 3

$$R = F / S$$



cylindre D = 150 mm

C25/30

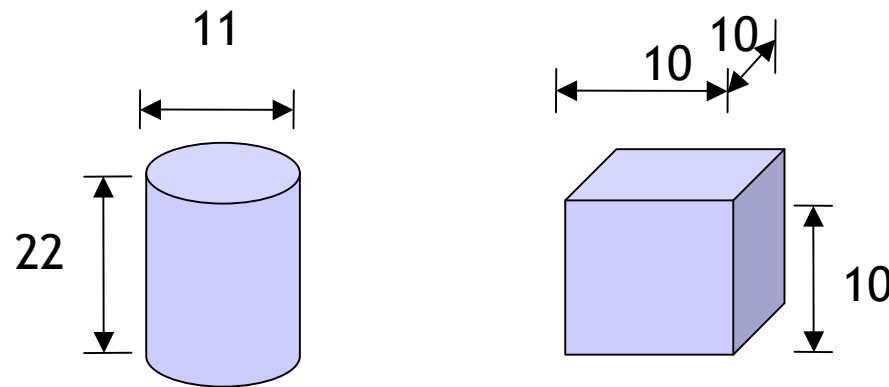


cube 150 mm

Essais sur béton

Résistance en compression

Éprouvettes avec correction (NF EN 206-1)



$D_{\max} \leq 22,4 \text{ mm}$
avec coefficient correcteur

Cylindres 11*22 :

$$f_{c,cyl} = 0,98 * R \text{ si } R \geq 50 \text{ MPa}$$

$$f_{c,cyl} = R - 1 \text{ si } R < 50 \text{ MPa}$$

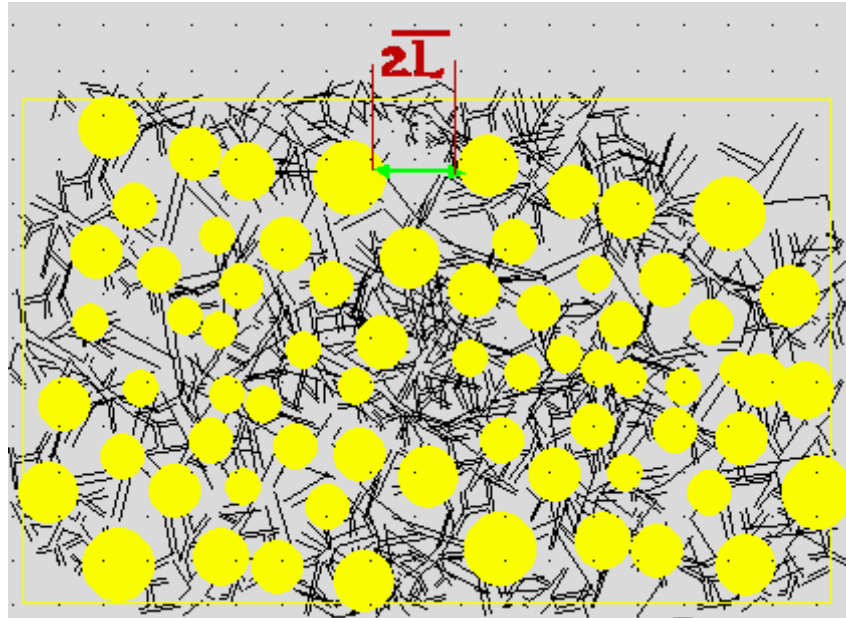
Cubes de 100 mm :

$$f_{c,cub} = 0,97 * R \text{ si } R \geq 50 \text{ MPa}$$

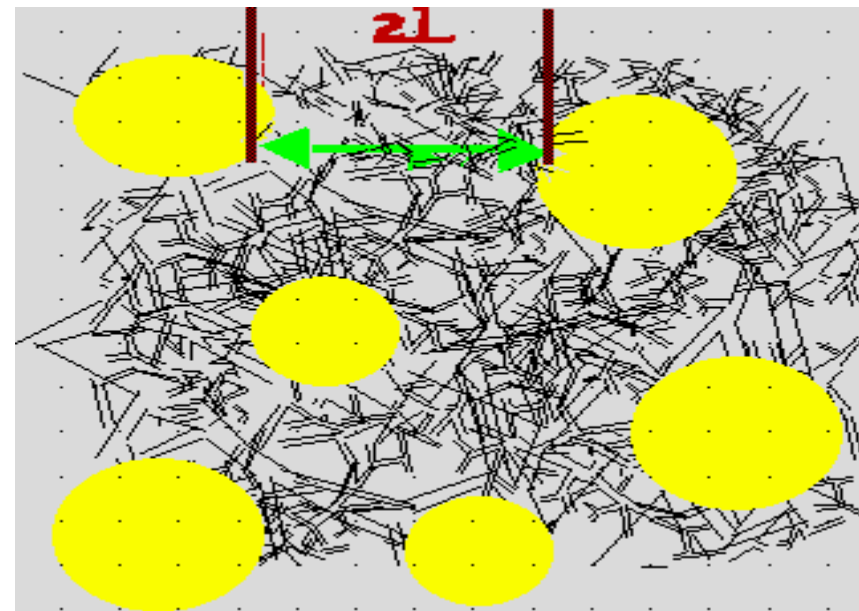
$$f_{c,cub} = R - 1,5 \text{ si } R < 50 \text{ MPa}$$

Essais sur béton

Durabilité au gel : facteur d'espacement (ASTM C 457)



pour la même quantité d'air
plus de petites bulles
que de grosses



FACTEUR D'ESPACEMENT DES BULLES
= 1/2 DISTANCE ENTRE BULLES

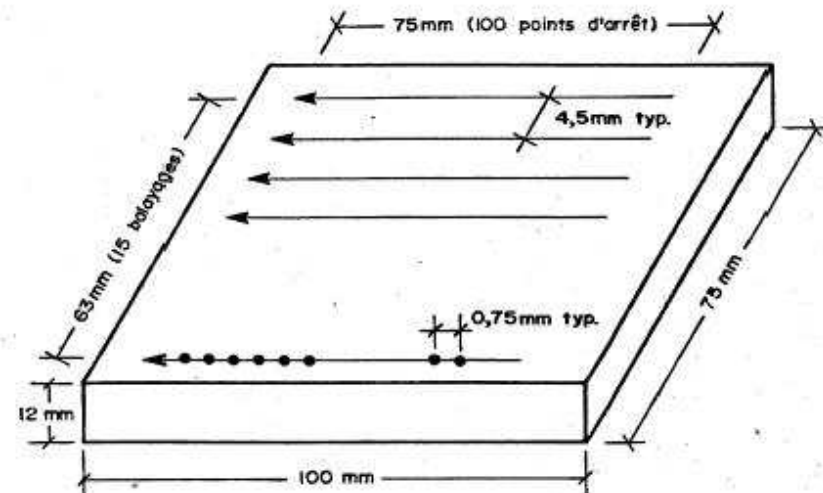
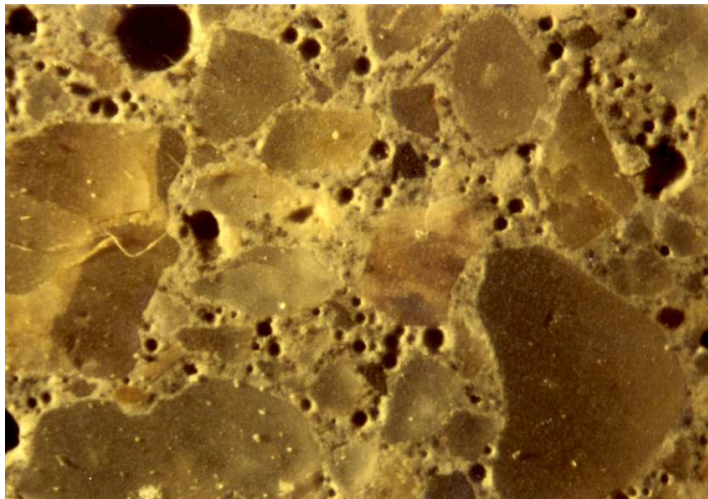
L (L barre)

Essais sur béton

échantillons = 2 plaques de béton polies de 10x10x2 cm

âge du béton ≥ 4 à 5 jours

examen des plaques sous loupe binoculaire



2 * 1 500 points

Essais sur béton

Durabilité au gel : gel interne (NF P 18 424 et NF P 18 425)

échantillons = prismes 10x10x40 cm

plots de mesure disposés aux extrémités du moule avant coulage

confection et conservation 24 h selon norme NF EN 12 390-2
et FD P 18-457

eau à $20^{\circ}\text{C} \pm 2$ jusqu'à 28 j

Essais sur béton

cycles = 300 cycles

amplitude (-18 +9)°C

4 cycles sur 24 h

durée de l'essai : 3,5 mois

critères d'évaluation :

- déformation longitudinale $\Delta l/l$
- fréquence de résonance f_1^2/f_0^2



Essais sur béton

NF P 18-424 : Gel dans l'eau – Dégel dans l'eau

Application :

gel sévère avec forte saturation en eau du béton



NF P 18-425 : Gel dans l'air – Dégel dans l'eau

Application :

- gel modéré \forall le degré de saturation en eau du béton
- gel sévère avec saturation modérée en eau du béton

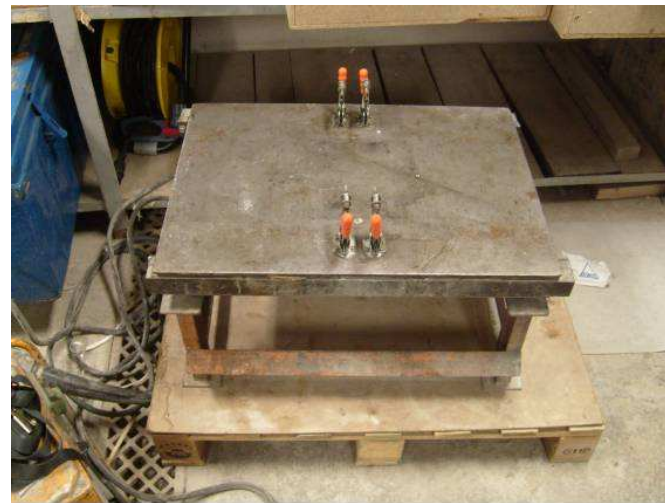
Essais sur béton

Durabilité au gel et aux sels : écaillage (XP P 18 420)

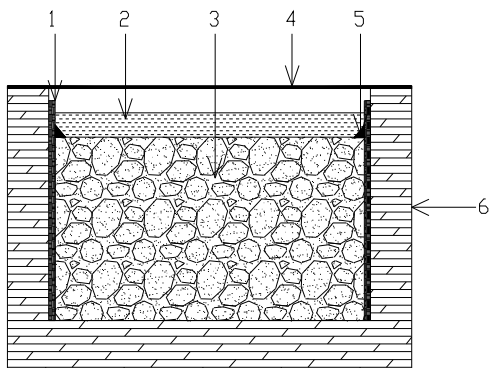
1/2 cubes 15x15x7 (cm)

4 moules métalliques recouverts de cire

vibration sur micro table vibrante (NF P 18-421) à refus



Essais sur béton



Échantillons : $\frac{1}{2}$ cube 15x15x7 cm

Cycles : 56 cycles (1 par 24 h)

Amplitude : $(-20 + 20)^{\circ}\text{C}$

Durée : 3 mois environ

Essais sur béton

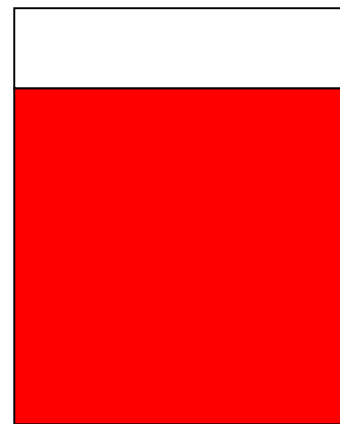
Autres essais

- ✓ masse volumique sur béton frais (NF EN 12350-6)
- ✓ masse volumique sur béton durci (NF EN 12390-7)
- ✓ rendement volumique = $Mv_{\text{théorique}} / Mv_{\text{réelle}}$

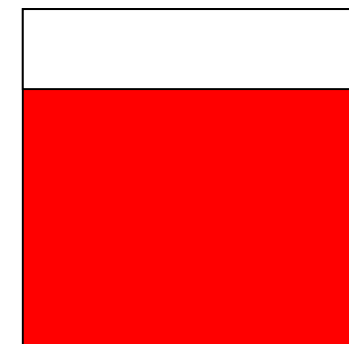
Formulation de béton = quantités pour 1 m³

Exemple :

$$Mv_{\text{théorique}} = 2,4$$



$$Mv_{\text{réelle}} < 2,4$$



$$Mv_{\text{réelle}} > 2,4$$

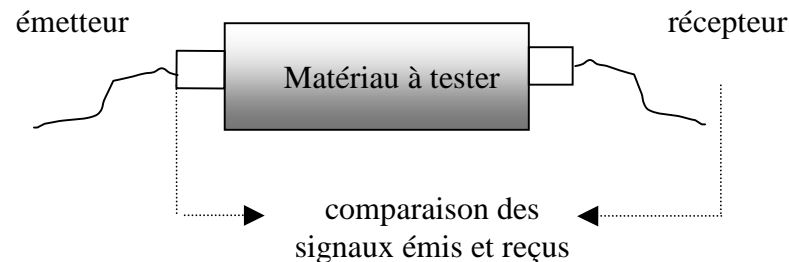
Essais sur béton

Autres essais (essais pour béton dans les structures)

- ✓ carottes – prélèvement et essais en compression (NF EN 12 504-1)
- ✓ détermination de l'indice de rebondissement (NF EN 12 504-2)



- ✓ détermination de la vitesse de propagation du son (NF EN 12 504-4)



Essais sur béton

Suivi maturométrique

Objectif ?

→ connaître la résistance (mûrissement) du béton dans l'ouvrage pour réaliser le plus rapidement possible et en toute sécurité des opérations de construction (décoffrage...) quand le recours aux éprouvettes d'information n'est pas jugé suffisamment efficient (représentativité du mode de conservation, chauffage ou étuvage des éléments, ...)

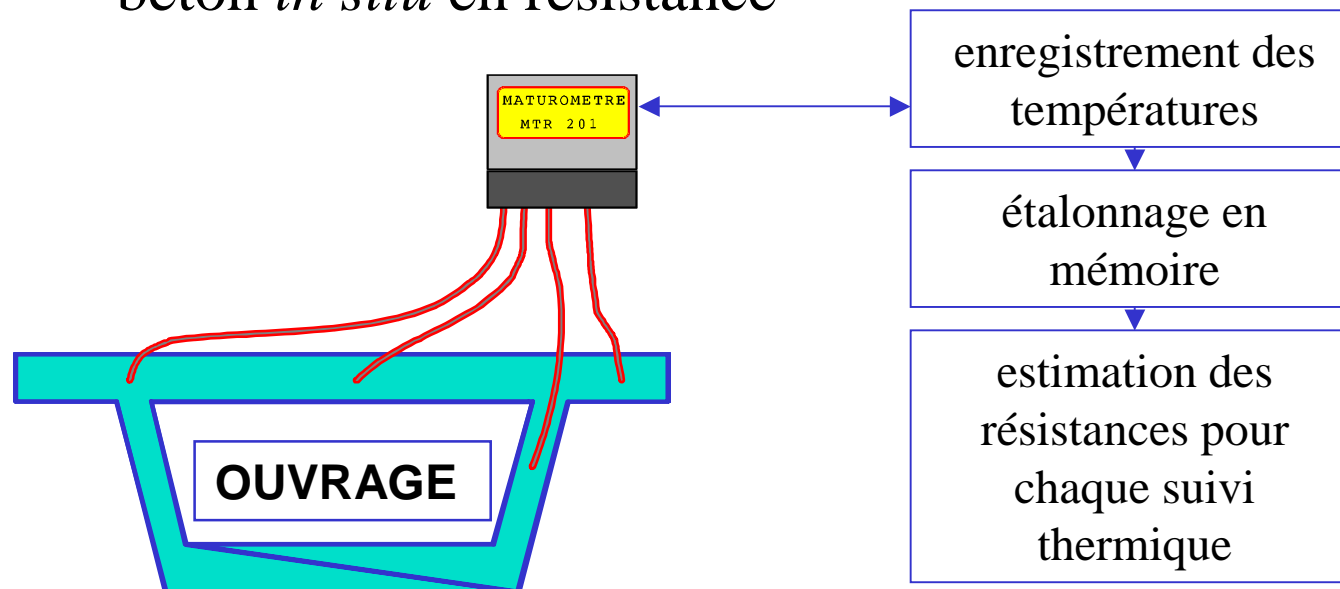


Essais sur béton

Suivi maturométrique

Comment ?

→ elle transforme, en temps réel et sous réserve d'un étalonnage préalable du béton, l'histoire de température du béton *in situ* en résistance



Essais sur béton

Suivi maturométrique

De nombreux avantages

- ✓ simplicité des mesures de température et représentativité des estimations de résistance
- ✓ information quasi-instantanée (disponible en continu)
- ✓ prédiction du délai d'obtention de la résistance requise
- ✓ optimisation des systèmes de chauffage du béton



Essais sur béton

Suivi maturométrique

Principe

L'évaluation de la résistance au jeune âge du béton par maturométrie repose sur :

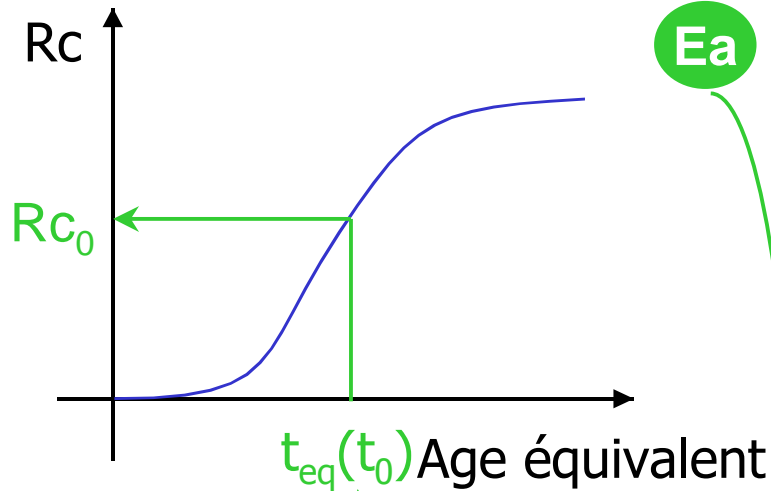
- la connaissance de l'histoire de température vécue par le béton
- le concept d'âge équivalent
- la connaissance de l'évolution de la résistance en compression en fonction de l'âge équivalent à la température de référence (20°C en général), appelée « courbe de référence » du béton
- la connaissance de l'énergie d'activation apparente du béton

Essais sur béton

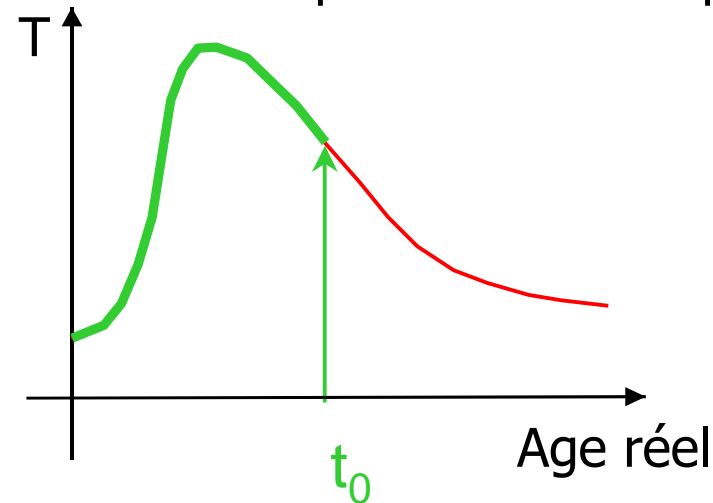
Suivi maturométrique

Principe

« Courbe de référence »



Histoire thermique du béton en place

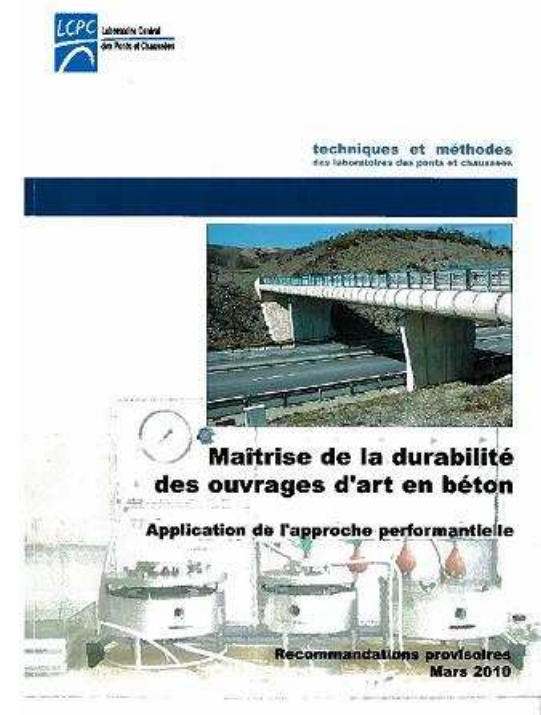


calcul
 $t_{eq}(t_0)$

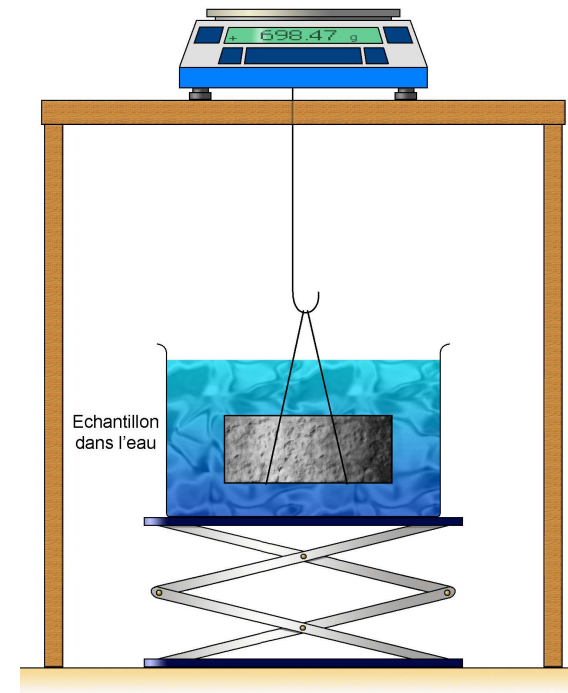
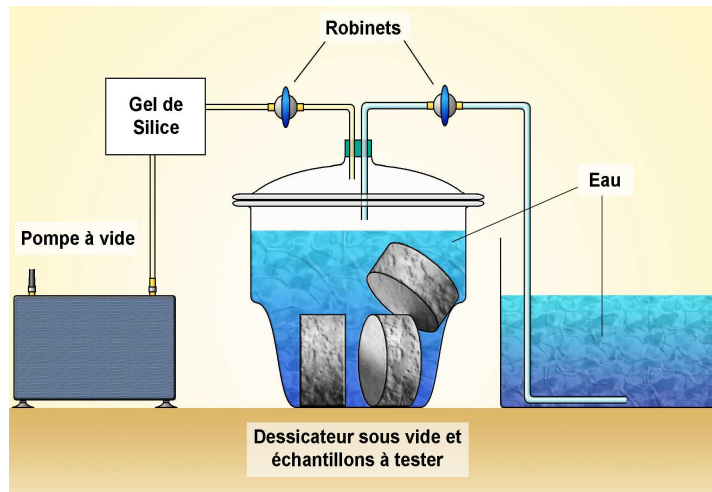
Essais sur béton

Approche performantielle

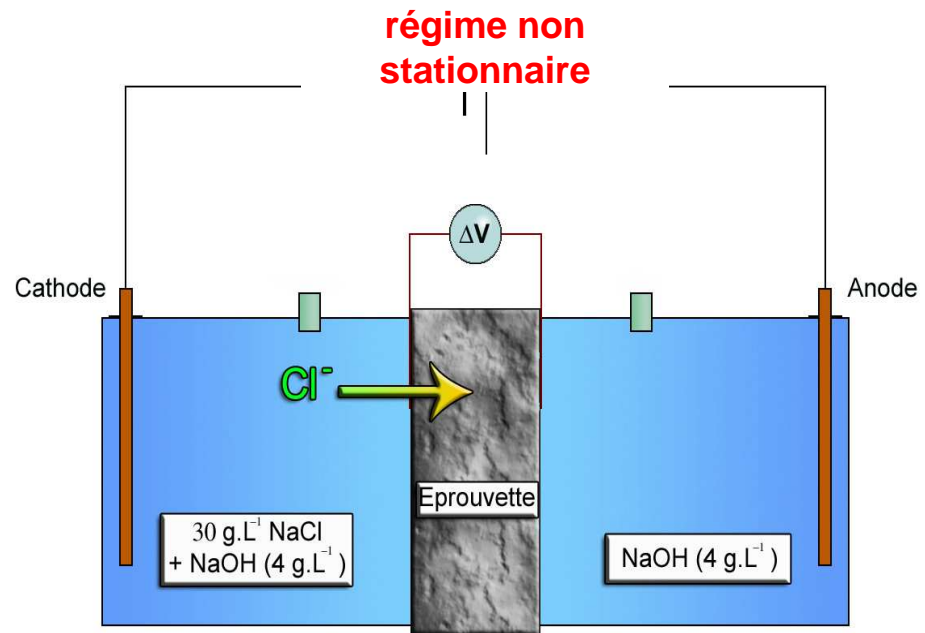
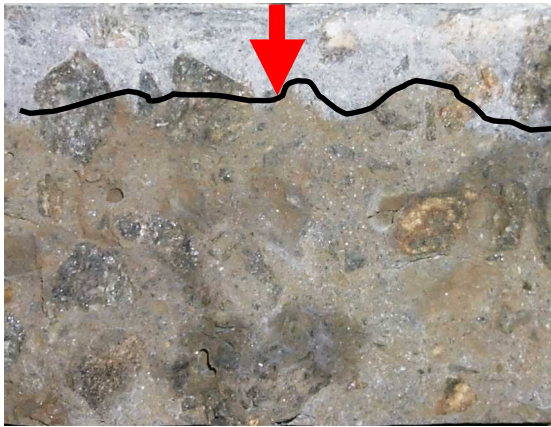
- porosité à l'eau
- perméabilité au gaz
- coefficient de diffusion apparent des ions chlorures
- résistivité électrique
- carbonatation accélérée (XP P 18 458)



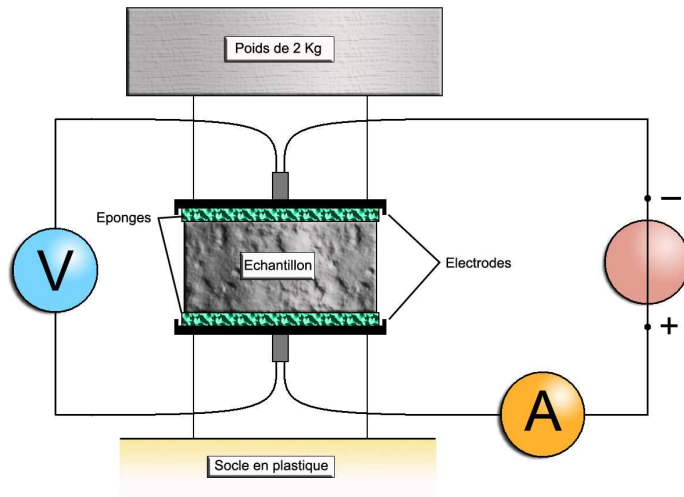
porosité à l'eau : NF P 18 459



coefficient de diffusion apparent des ions chlorures : projet de norme

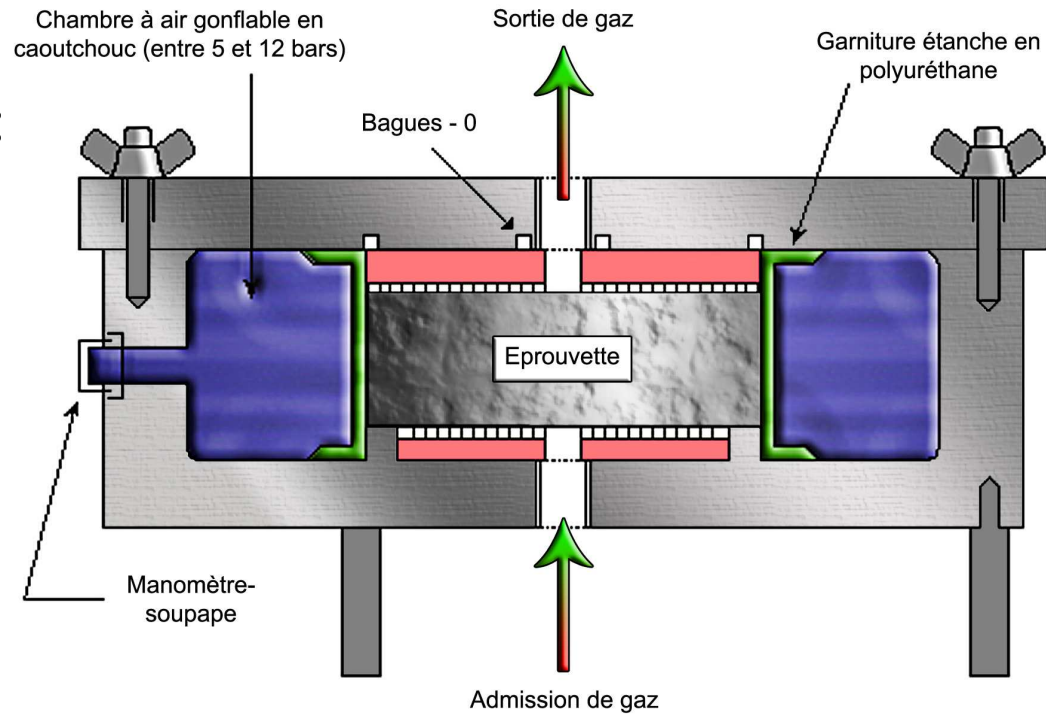


$\Delta V : 25 \text{ V pour } 5 \text{ cm}$



résistivité électrique : mode opératoire LCPC

perméabilité au gaz : projet de norme



FIN

