1 LES COMPOSANTS DU BETON

2 FAIRE DU BETON

3 LE BETON FRAIS

4 LE BETON DURCI

1 LES COMPOSANTS DU BETON

1a **gravillons**

1b **sable**

1c **ciment**

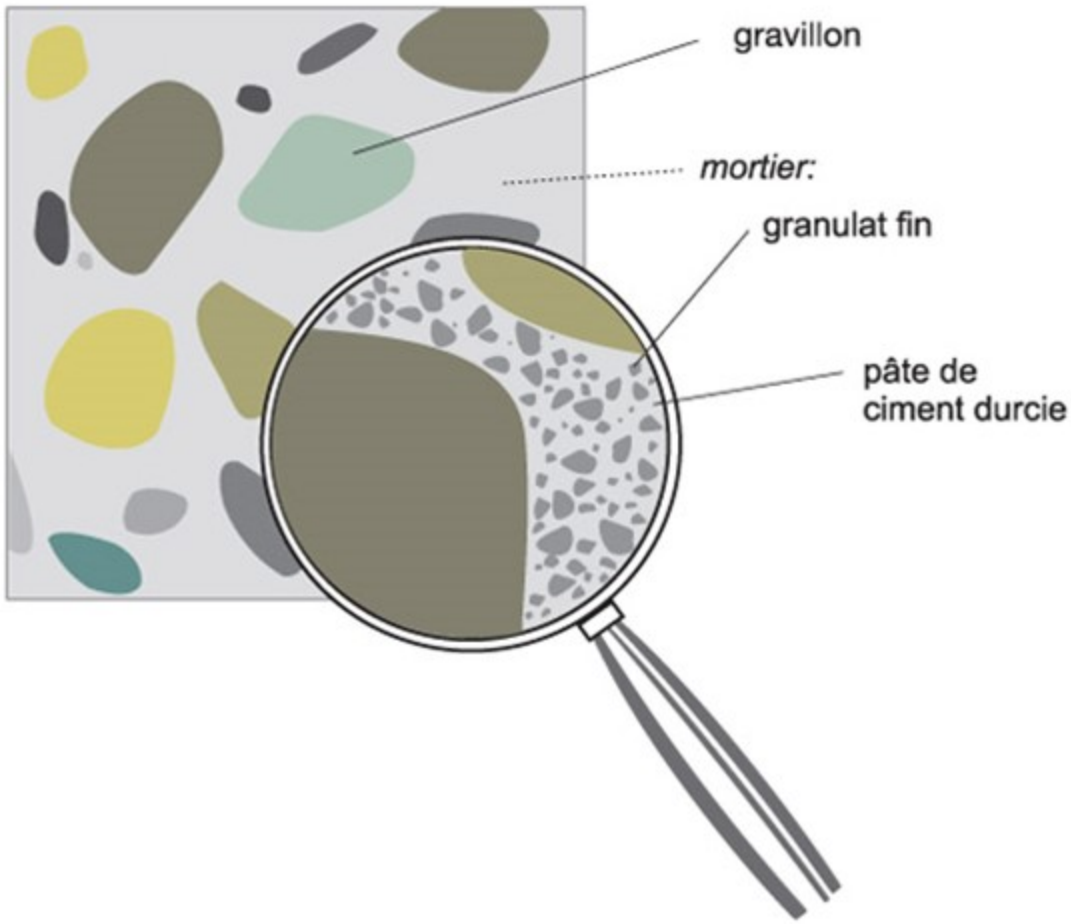
1d **eau**

(éventuellement:)

1e **adjuvants**

1f **additions**

1 LES COMPOSANTS DU BETON



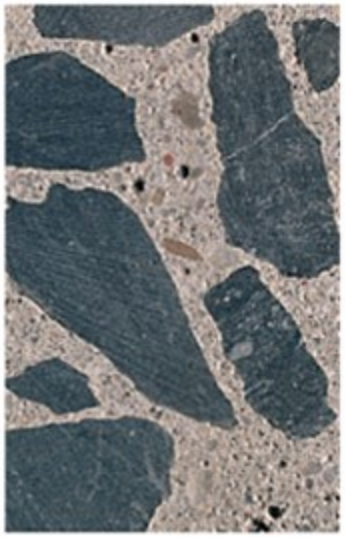
1a gravillons *nature / origine*

'naturels'

(rivière, mer)

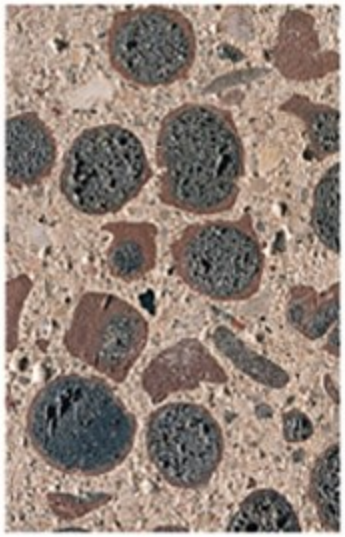
'alluvionnaires'

(carrière)



'artificiels'

(fabriqués en usine: p.ex. transformation thermique)



argile expansée

'recyclés'

(déchets de construction et de démolition)

béton concassé

mélange de béton et de maçonnerie concassés

différents **'dégrés de concassage'**: *roulé, semi-roulé, semi-concassé, ou concassé*

différentes **'natures minéralogiques'** : *calcaire, grès, porphyre,...*

1 cm

5a4 5b4

1a gravillons *propreté*

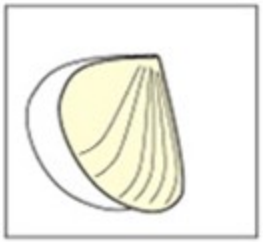
à exclure dans tous les cas :

terre, argile, humus, charbon, sels nuisibles... :
dangereux pour l'hydratation du ciment

à limiter en fonction de l'application :

surtout en cas de granulats d'origine marine

sels (**ions chlore**):
- agressifs pour l'armature
- accélèrent la prise du ciment



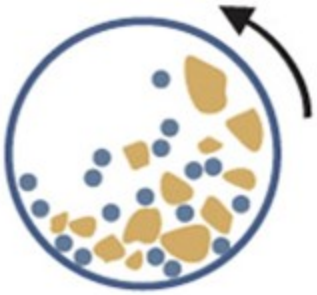
coquillages:
= "granulats" peu résistants

?
NM/HMC '96

1a gravillons *caractéristiques intrinsèques*

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET MÉCANIQUES

tambour rotatif
+ boulets de fer

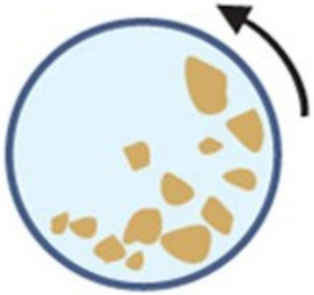


mesure de la quantité de particules fins produits

⇒ 'coefficient Los Angeles' **(LA)**

(résistance à la fragmentation)

tambour rotatif
+ eau



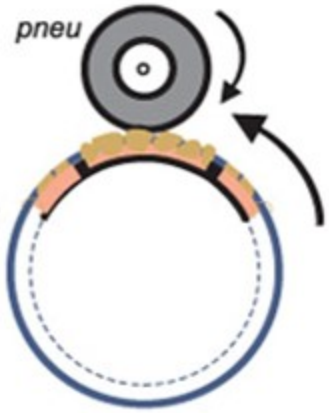
mesure de la quantité de particules fins produits

⇒ 'coefficient Micro-Deval' **(MDE)**

(résistance à l'usure)

pneu

gravillons collés sur plaques de support



mesure de la résistance au dérapage

⇒ 'coefficient de polissage accéléré'
Polished Stone Value **(PSV)**

(résistance au polissage)

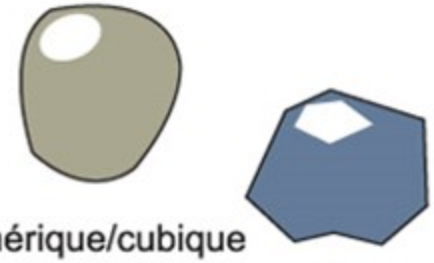
⇒ **'catégories intrinsèques':**

Aa
Ab
Ac
Ba
Bb
Bc
C
D
E
F

résistance décroissante ↓

1a gravillons *caractéristiques géométriques*

FORME



sphérique/cubique

⇒ **'coefficient d'aplatissement'**

⇒ **catégories**

I
II
III
IV
V

teneur en granulats aplatis/irréguliers croissante

arrondie

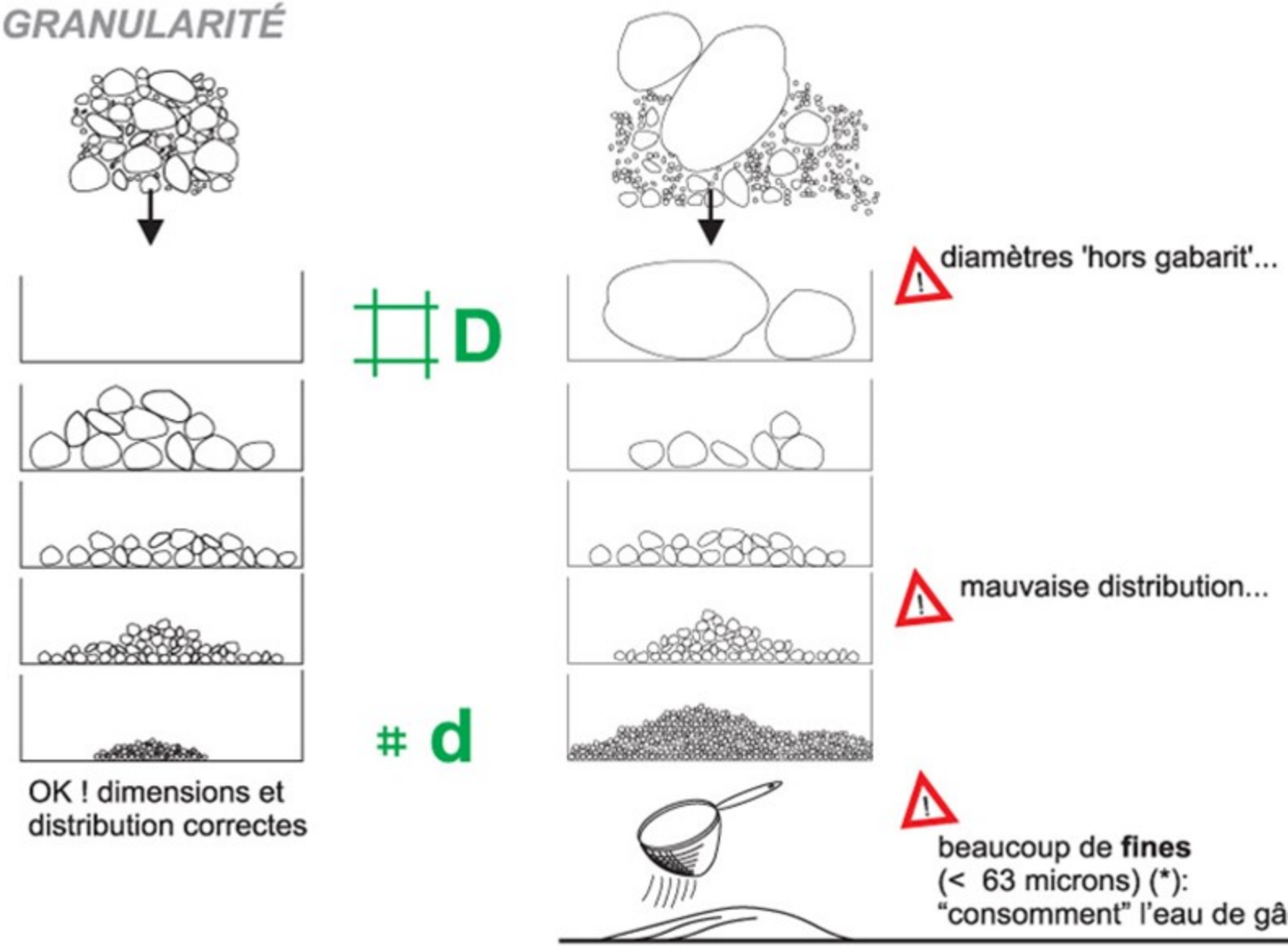
semi-roulée

anguleuse

plaquettes/aiguilles

1a gravillons *caractéristiques géométriques*

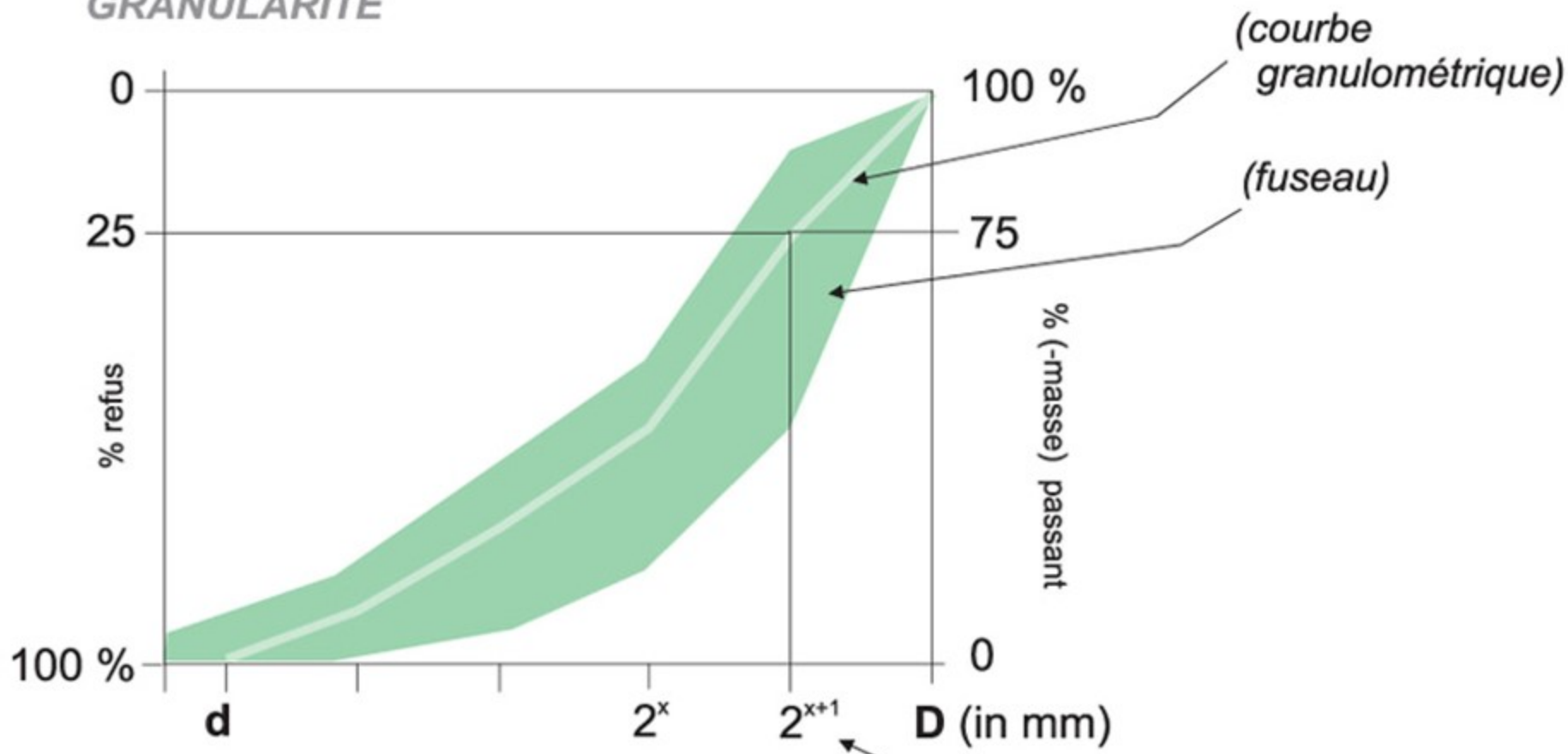
GRANULARITÉ



(*) 1 micron = 1/1000 mm

1a gravillons *caractéristiques géométriques*

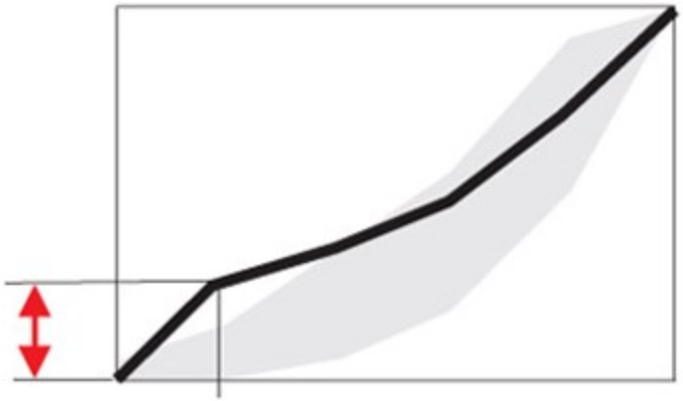
GRANULARITÉ



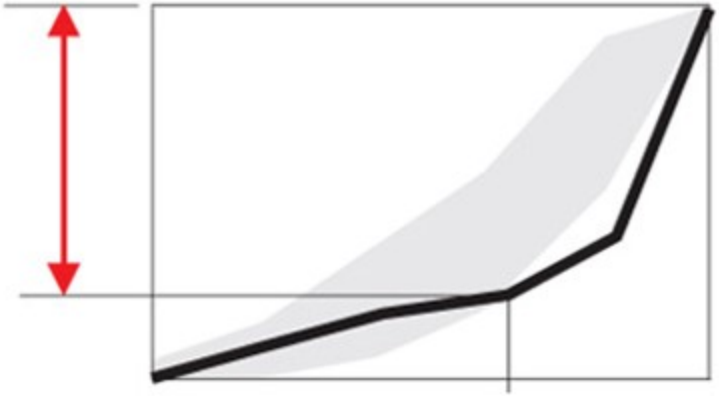
calibre (classe granulaire) d/D :
100% passe par la maille D (refus = 0 %),
75 % passe par la maille 2^{x+1} (refus = 25 %),
etc..
0 % passe par la maille d (refus = 100 %)

1a gravillons *caractéristiques géométriques*

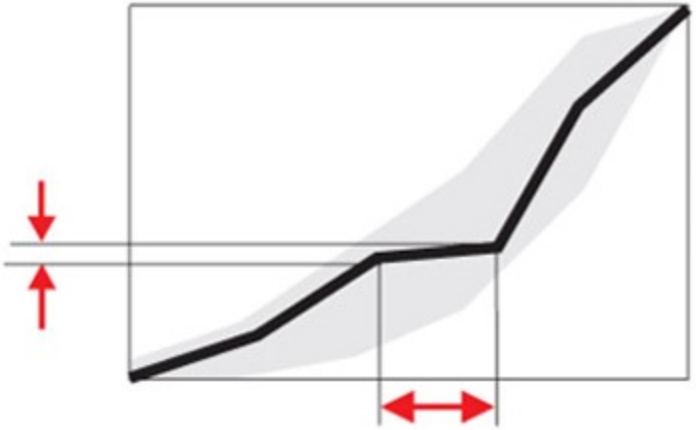
exemples de granularités moins bonnes



trop de granulats fins



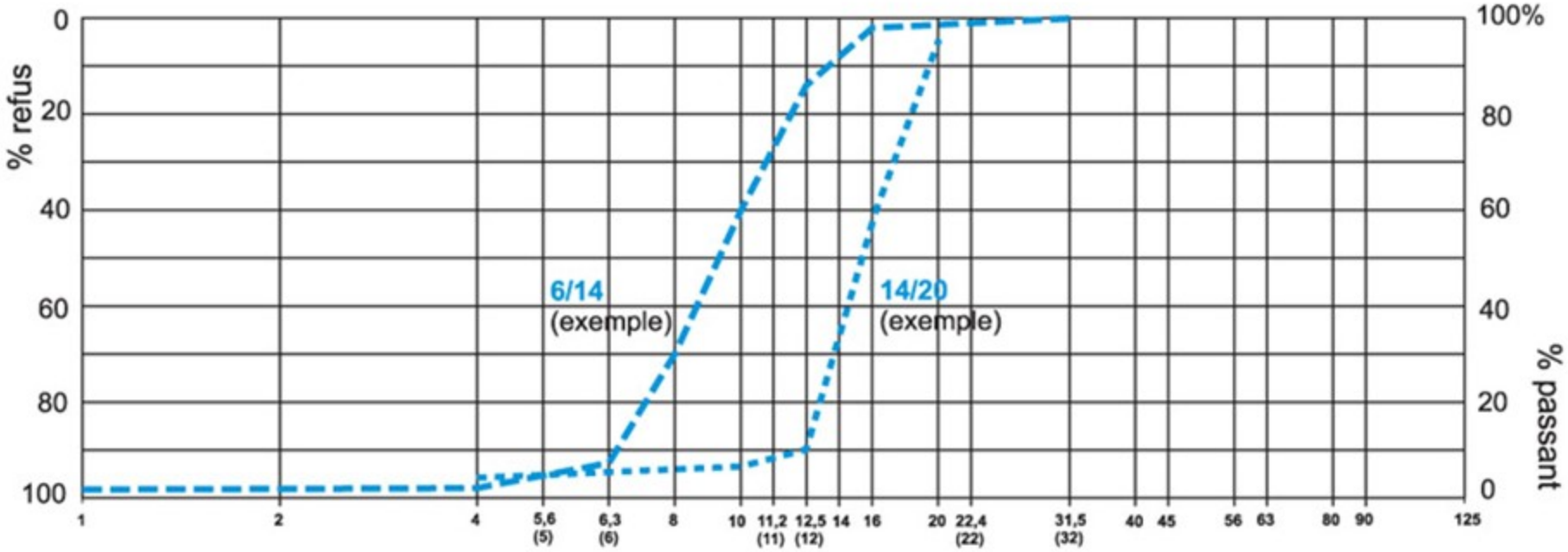
trop de gros granulats



une fraction manque:
ne convient pas pour certains bétons !

1a gravillons *caractéristiques géométriques*

GRANULARITÉ - ouvertures de tamis normalisées



'BASIC SET' (BS) (série de base)

1 | 2 | 4 | 8 | 16 | 32 | 63

'BASIC SET' + SET 1 (série de base + série 1)

1 | 2 | 4 | 5 | 8 | 11 | 16 | 22 | 32 | 45 | 56 | 63 | 90

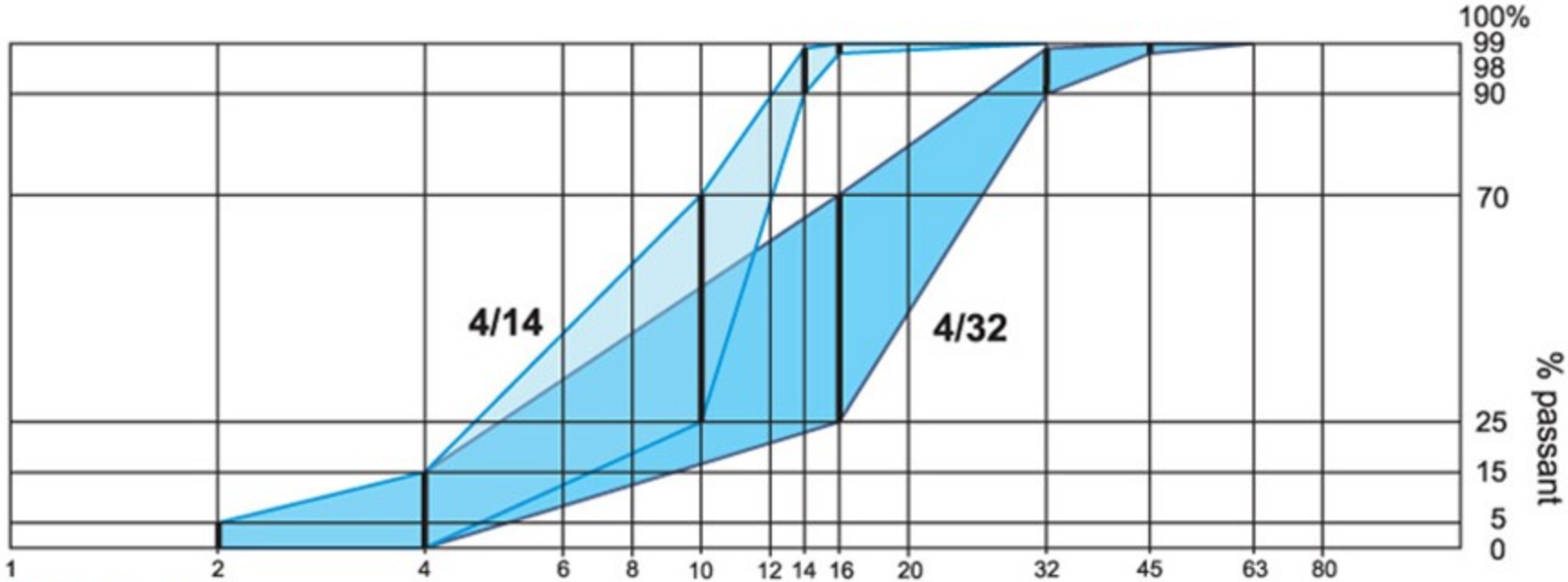
'BASIC SET' + SET 2 (série de base + série 2)

1 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 20 | 32 | 40 | 63 | 80

ne pas combiner les séries de tamis !

1a gravillons *caractéristiques géométriques*

GRANULARITÉ - fuseaux de classes granulaires courantes



(BS + Set 2)

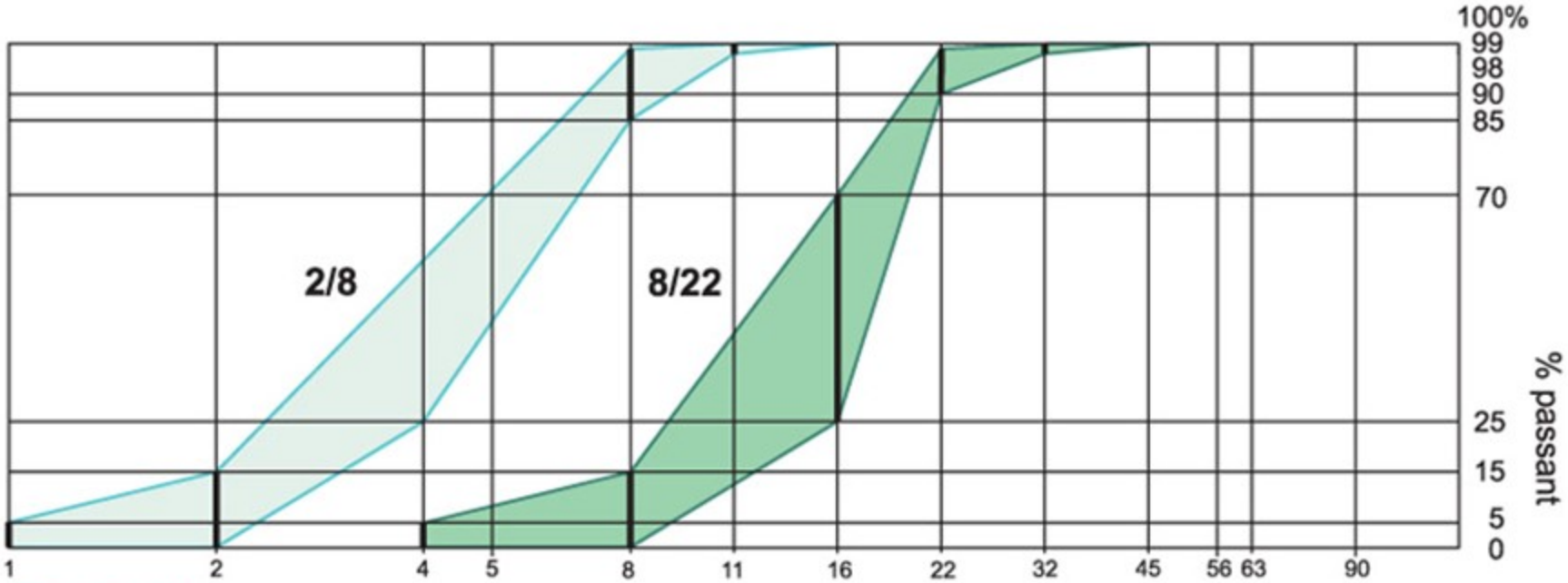
4/14

4/32

1 cm

1a gravillons *caractéristiques géométriques*

GRANULARITÉ - fuseaux de classes granulaires courantes



(BS + Set 1)

2/8

8/22

1 cm

1a gravillons

codification suivant PTV 411

(conforme à la norme NBN EN 12620 - 'granulats pour bétons')

1- dénomination

nature: identification
+ le cas échéant:
- degré de concassage [C % concassés / % roulés]
- minéralogie

granularité [d/D]

catégorie intrinsèque [Aa, Ab, Ac, Ba, ..., F]

cat. de coeff. d'aplatissement [I, II, ..., V]

cat. de teneur en fines [$f_{\%\ fines}$]

cat. de teneur en Cl^-, en coquillages

cat. de résistance au gel-dégel (p.ex. : NG = non-gélif)

indications complémentaires éventuelles

EXEMPLE

gravillons calcaires	6/10	C	I	f_2	-	NG	lavé

- obligatoire
- en cas de granulats marins
- facultatif

2- granulométrie

(en général: les % de passants par les tamis d/2 - d - D/1,4 ou D/2 - D - 1,4D - 2D)

1b sables *nature / origine*

(rivière, mer)

(sablière)

(carrière de roche ou de gravier)

(déchets de construction et de démolition...)

'sables ronds'
(généralement siliceux)

'sables de concassage'
(différentes **'natures minéralogiques'** :
calcaire, grès, porphyre,...)

('sables mixtes')

QUALITÉ DES FINES (< 0,063 mm)

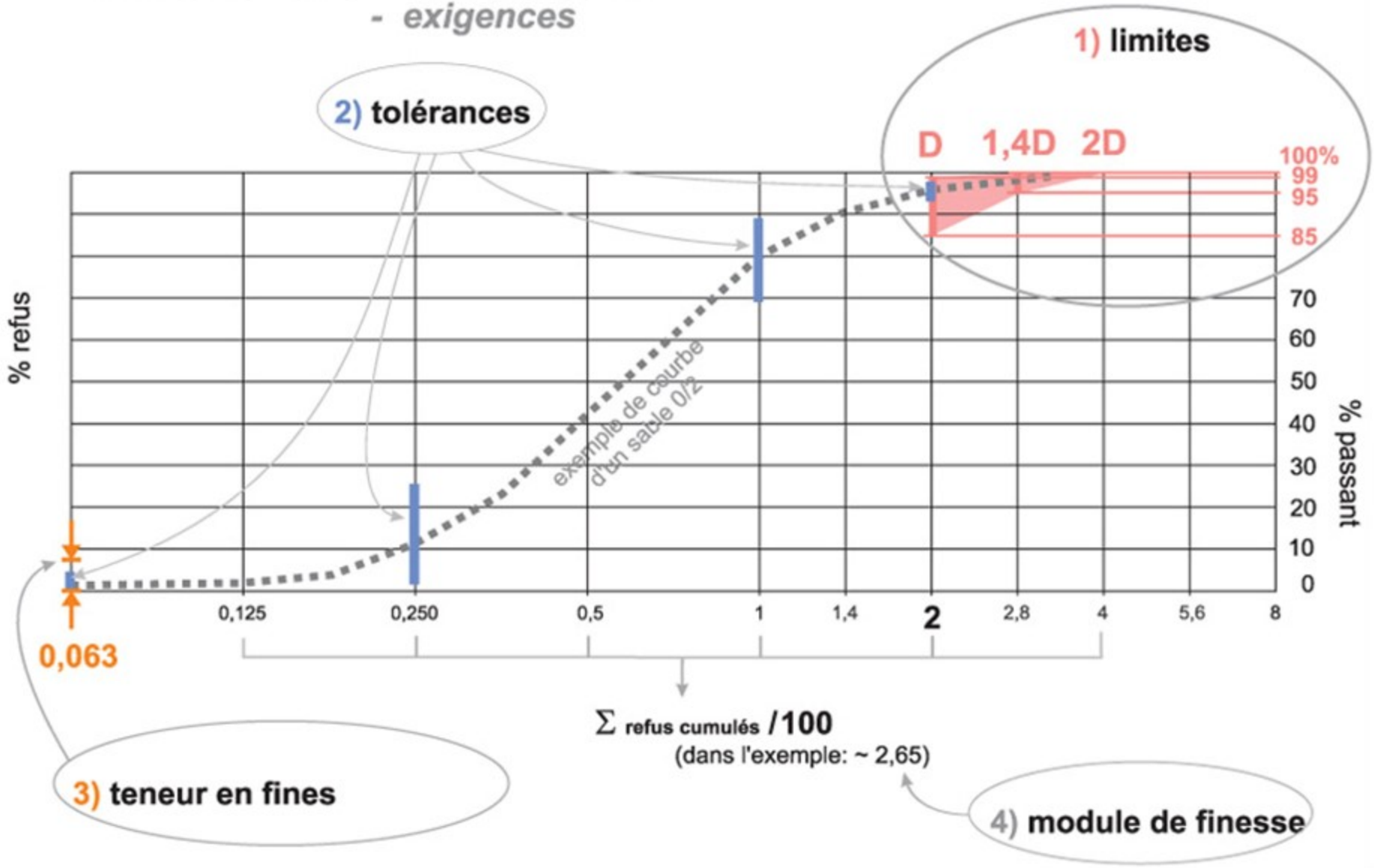
⇒ essai pour déterminer la **'valeur de bleu de méthylène' (MB_F)**

⇒ catégories de **propreté**
(plus la valeur de MB_F est grande, moins les fines sont propres)

1 cm

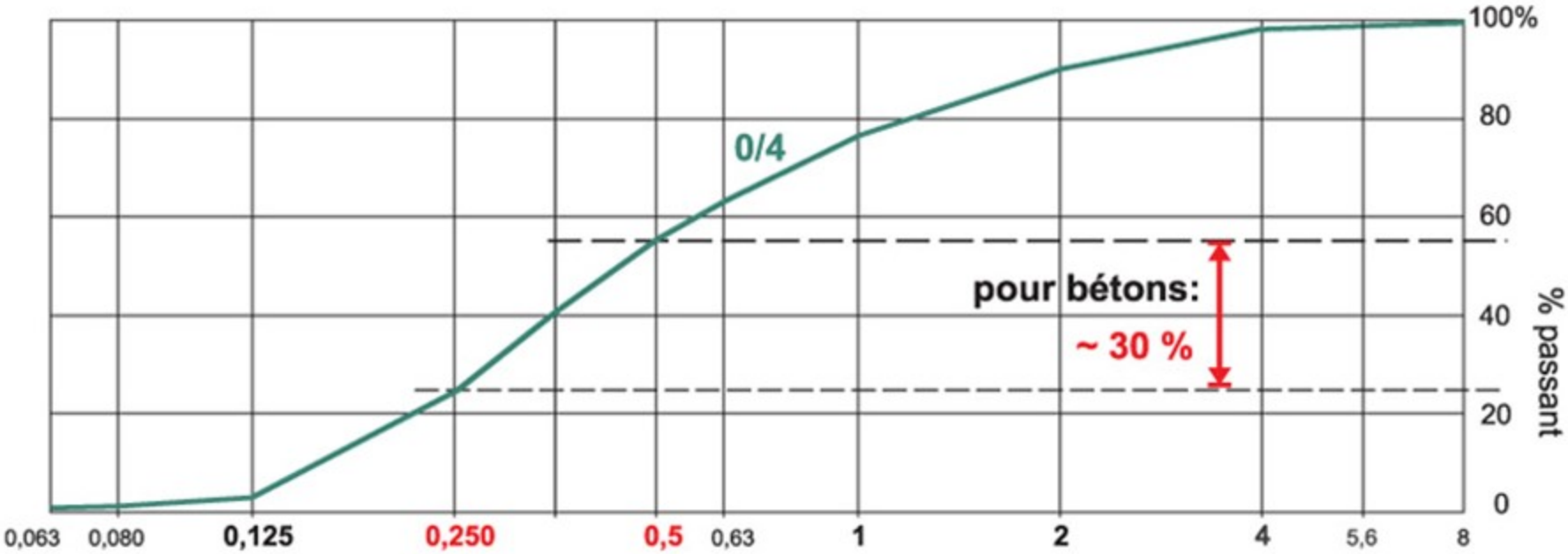
1b sables *caractéristiques géométriques*

GRANULARITE - 0/1, 0/2 ou 0/4
- exigences



1b sables *caractéristiques géométriques*

GRANULARITE - exemple



sable fin

sable de béton

sable gros

1 cm

1b sables *codification suivant PTV 411*

(conforme à la norme NBN EN 12620 - 'Granulats pour bétons')

1- dénomination

nature
+ le cas échéant:
- degré de concassage [C % concassés / % roulés]
- minéralogie

granularité [0/D]

finesse [FF, MF, CF]

catégorie de **variabilité de la granularité**
(én général cat. A, c.-à-d. tolérances normales)

cat. de **teneur en fines** [$f_{\%\ fines}$]

cat. de **propreté** [a, b, c]

cat. de teneur en Cl^-, en coquillages

cat. d'angularité (suivant essai d'écoulement)

indications complémentaires éventuelles

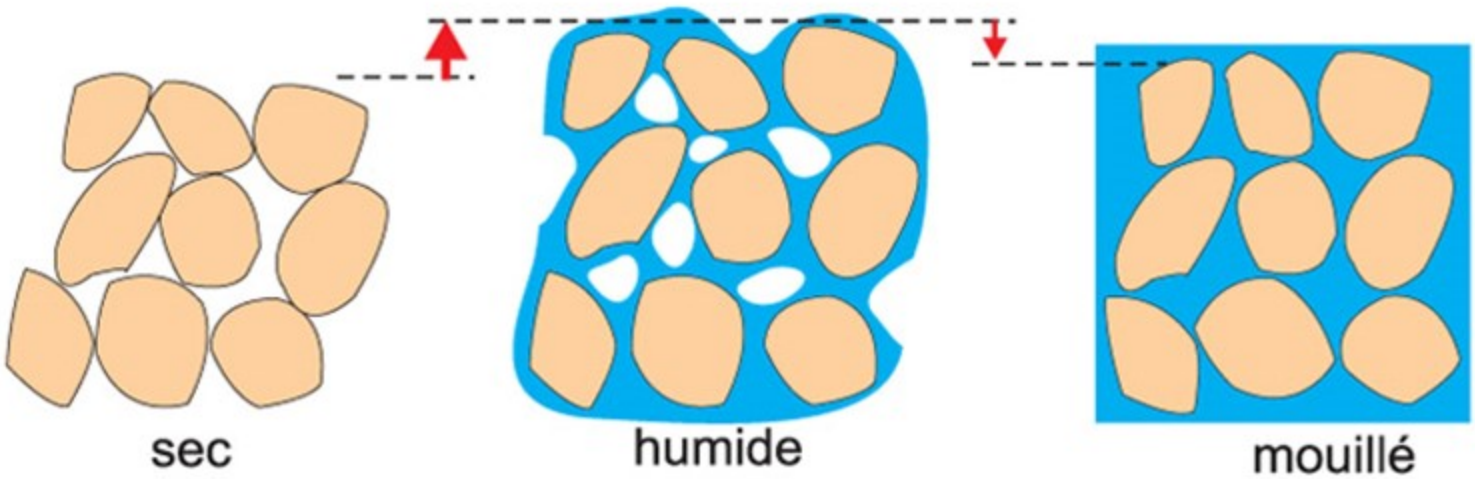
p.ex.:	sable calcaire	0/1	MF	A	f_3	a	-	$E_{cs}30$	lavé

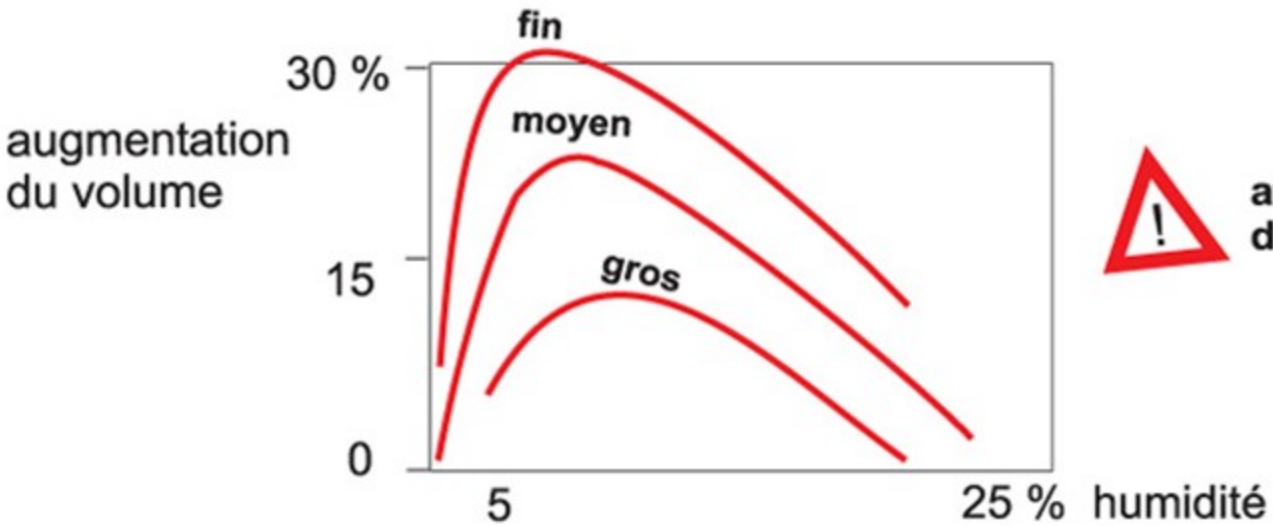
- obligatoire
- en cas de sable marin
- facultatif

2- granulométrie

(les % de passants par les tamis 0,125 - 0,25 - 0,5 - 1 - 2 - D - 1,4D - 2D)

1b sables *humidité*





attention en cas de dosage en volume !

1c ciment *liant hydraulique*

début de la réaction avec l'eau

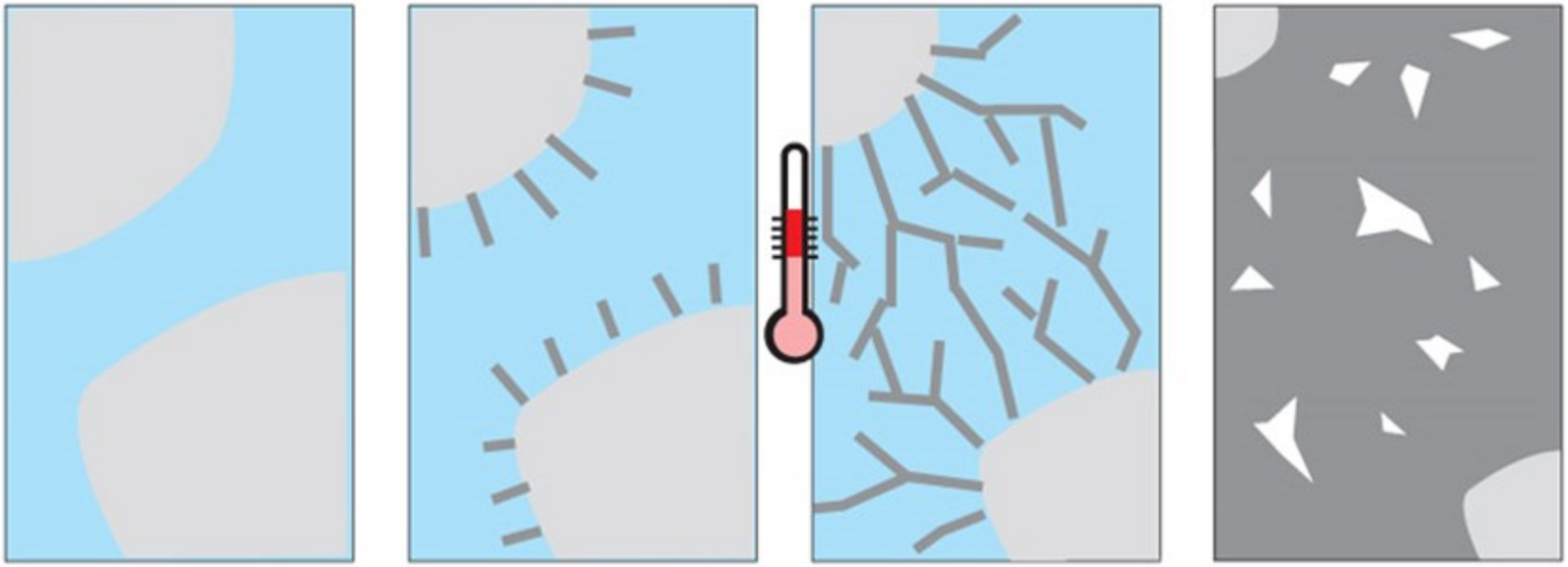
(immédiatement)

"prise"
(pâte de ciment raidit)

(après quelques heures)

durcissement

(après quelques jours, mais continuant pendant des semaines)



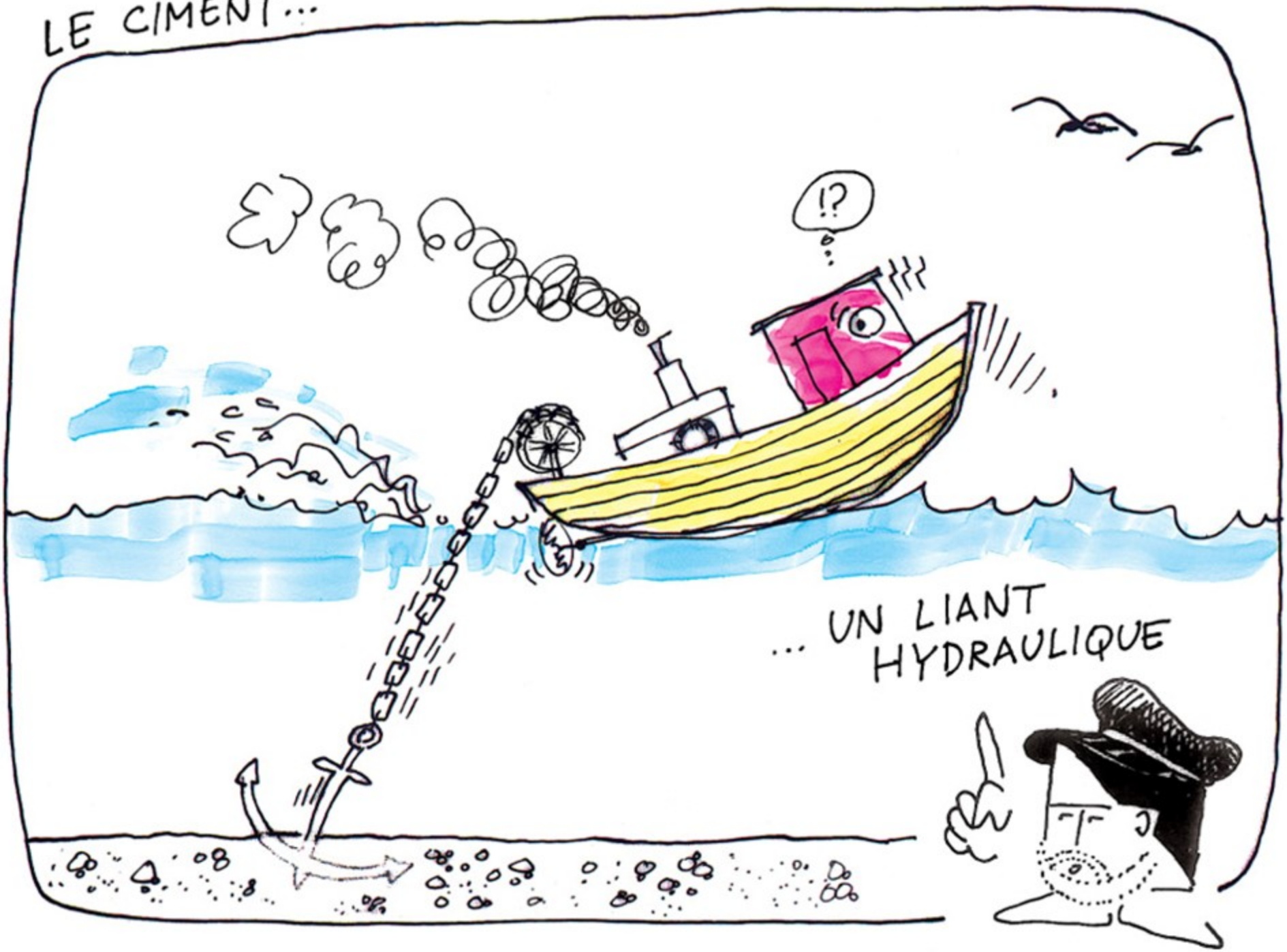
grains de ciment séparés par film d'eau

'hydrates' (cristaux)
+ 'chaux libre'

réseau de cristaux
(+ éventuellement excès d'eau de gâchage)

1 / 10.000 mm

influence de la température et de l'humidité ambiantes !

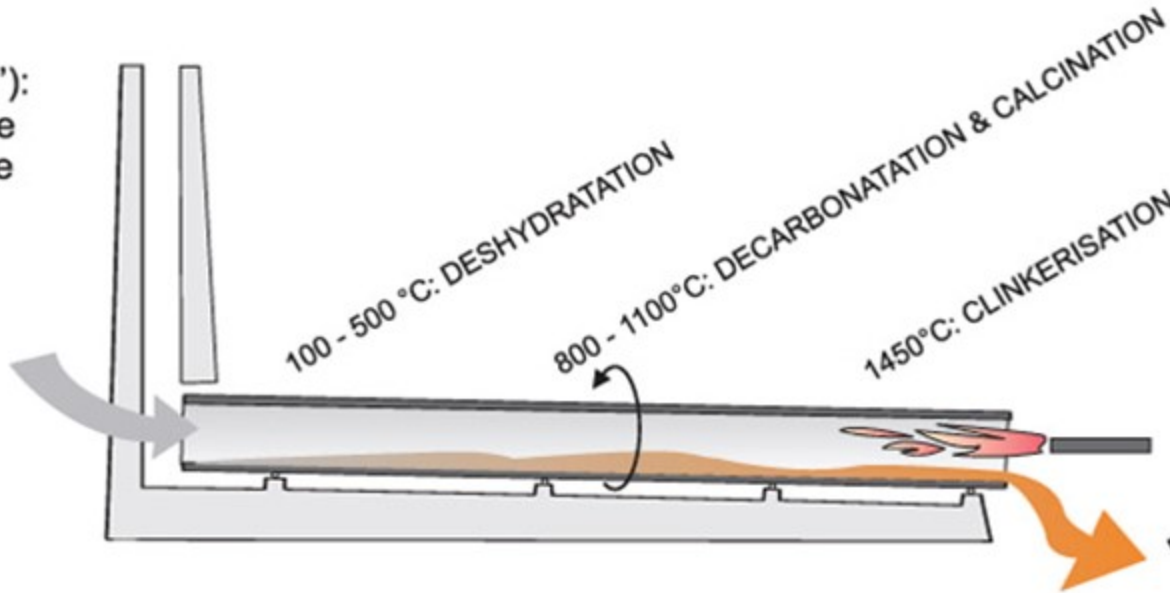

LE CIMENT...
!?
... UN LIANT HYDRAULIQUE

1c ciment *fabrication*

four à ciment (principe)

mélange des matières premières ('cru'):
calcaire / craie
schiste / argile

poudre ('voie sèche')
ou pâte ('voie humide')

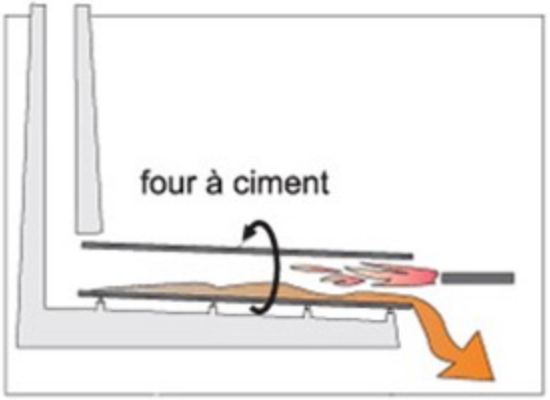


80 - 200 m (diam. 5 - 7 m)

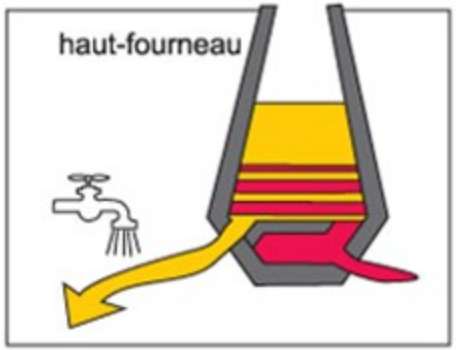
clinker portland

1 cm

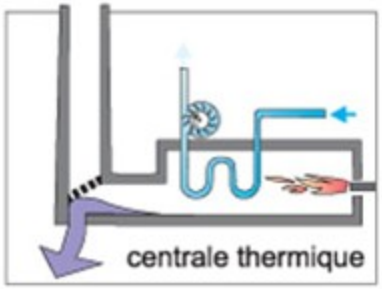
1c ciment *fabrication*



clinker portland



laitier



cendres volantes

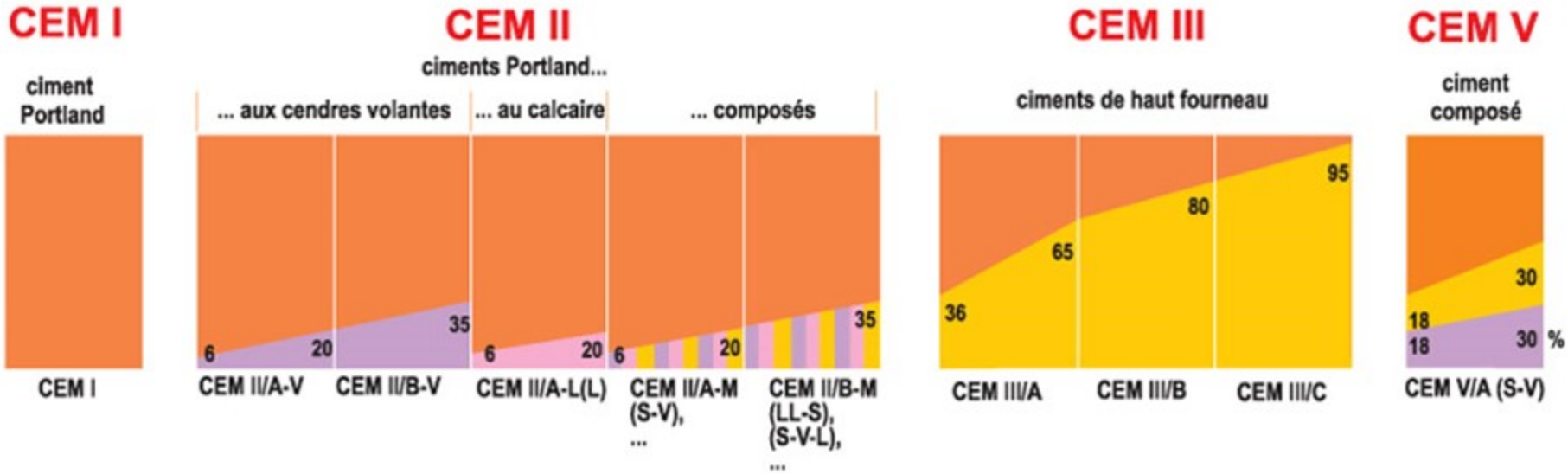
calcaire

CIMENT:

10 TYPES
3 CLASSES DE RESISTANCE N
+ sous-classes R

1c ciment *types*

LES CIMENTS COURANTS BELGES :



clinker Portland (K) *(calcaire cuit dans four à ciment : constituant hydraulique)*

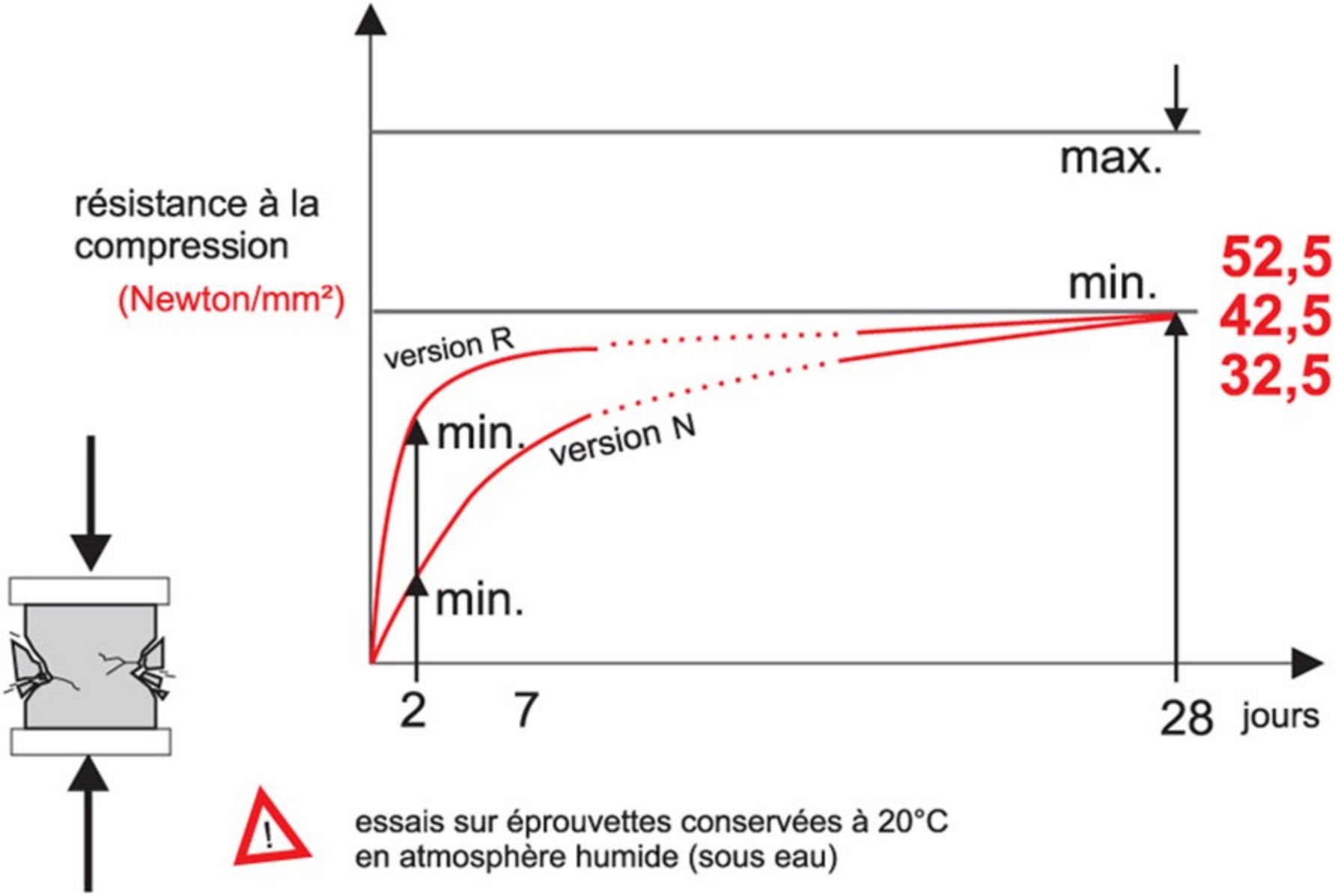
laitier de haut-fourneau (S) *(produit résiduel de l'industrie sidérurgique : constituant hydraulique)*

cendres volantes siliceuses (V) *(produit résiduel des centrales thermiques alimentées au charbon: constituant pouzzolanique c.-à-d. réagissant avec la chaux libre)*

calcaire (L ou LL) *(matière issue des carrières)*

+ **sulfate de calcium** *(gypse ou anhydrite : régulateur de prise)*

1c ciment *classes de résistance*



essais sur éprouvettes conservées à 20°C
en atmosphère humide (sous eau)

1c ciment *exemples de désignation*

CEM I 52,5 N = ciment Portland - classe de résistance 52,5

CEM II B-M (S-V-L) 32,5 N
= ciment Portland composé contenant du laitier, des cendres volantes et du calcaire - classe de résistance 32,5

CEM II/A-V 32,5 R
= ciment portland aux cendres volantes - classe de résistance 32,5 - résistance élevée au jeune âge

CEM III/A 42,5 N = ciment de haut fourneau A - classe de résistance 42,5

CEM V/A (S-V) 32,5 N
= ciment composé contenant du laitier et des cendres volantes - classe de résistance 32,5

1c ciment *choix d'un ciment*

'conditions normales'

- temps normal de décoffrage, démoulage et/ou mise en service;
- température ambiante moyenne (10 à 15°C);
- absence d'agents agressifs (sulfates), de sels de déverglaçage;
- ouvrages de masse courante (épaisseur ≤ 50 cm)

	CEM I	CEM II/A-...	CEM II/B-...	CEM III/A	CEM III/B	CEM III/C	CEM V/A
classe 32,5							
classe 42,5							
classe 52,5							

légende:

performances moyennes à 28 jours (mortiers de maçonnerie, bétons de fondation, bétons jusqu'à C25/30)

performances élevées à 28 jours (bétons à partir de C25/30)

performances très élevées à 28 jours (certains bétons préfabriqués, précontraints, à performances élevées à court terme)

Décoffrage, démoulage, mise en précontrainte et manutention à très jeune âge:
utiliser les sous-classes R ou une classe de résistance supérieure.

1c ciment *choix d'un ciment*

temps très froid (< 5°C)

	CEM I	CEM II/A-...	CEM II/B-...	CEM III/A	CEM III/B	CEM III/C	CEM V/A
classe 32,5							
classe 42,5							
classe 52,5							

légende:

convient très bien (en cas de risque de gel dans les heures suivant le bétonnage:
utiliser la classe de résistance 52,5 R; éventuellement couvrir le béton d'un isolant thermique)

convient moins bien (sauf pour mortiers et bétons pouvant ou devant durcir lentement)

1c ciment *choix d'un ciment*

temps très chaud (> 25°C) (+ vent sec)

	CEM I	CEM II/A-...	CEM II/B-...	CEM III/A	CEM III/B	CEM III/C	CEM V/A
classe 32,5							
classe 42,5							
classe 52,5							

légende:

convient très bien (mais toujours veiller à ce que le béton jeune soit protégé contre la dessiccation: couvrir et/ou prévoir un **traitement**) ⚠

convient moins bien (raidissement trop rapide de la pâte de ciment, risque de fissuration due au retrait thermique lors du refroidissement)

3b5 4b2

LES CIMENTS SPECIAUX

ciment LA ("Low Alkali")

en cas de risque de réaction alkalis-granulats (RAG)
c.-à-d. lorsque les 3 conditions ci-après sont remplies ***simultanément***

1- Environnement humide (bétons humidifiés constamment ou fréquemment)
2- Présence dans le béton de granulats sensibles aux alcalis ou dont la sensibilité aux alcalis est inconnue.
3- Teneur élevée en alcalis dans le béton

exemple:
CEM III/A 42,5 N LA
= ciment de haut fourneau A - classe de résistance 42,5 - teneur limitée en alcalis

LES CIMENTS SPECIAUX

ciment HSR ("High Sulfate Resisting")

en cas de présence de sulfates:
bétons en contact avec des eaux usées, sols séléniteux, eau de mer...

(NB: en cas de concomitance de risque de R.A.G. et présence de sulfates: utiliser un ciment HSR LA)

exemple:
CEM III/B 42,5 N HSR LA
= ciment de haut fourneau B - classe de résistance 42,5 - haute résistance aux sulfates - teneur limitée en alcalis

LES CIMENTS SPECIAUX

ciment Portland HES ("High Early Strength")

lorsque le béton doit être décoffré ou mis en service très rapidement
(à résistance initiale élevée)

exemple:
CEM I 52,5 N HES
= ciment Portland - classe de résistance 52,5 - résistance initiale élevée

LES CIMENTS SPECIAUX

ciment LH ("Low Heat")

pour bétons de masse: ouvrages développant des volumes importants sous une enveloppe réduite (épaisseur > 50 cm)

1d eau

propreté ?

matières organiques

sels

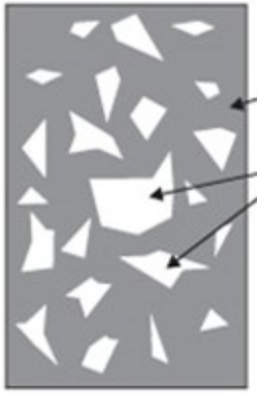
acides

dosage ?

le moins d'eau possible

béton durci compact !

trop d'eau

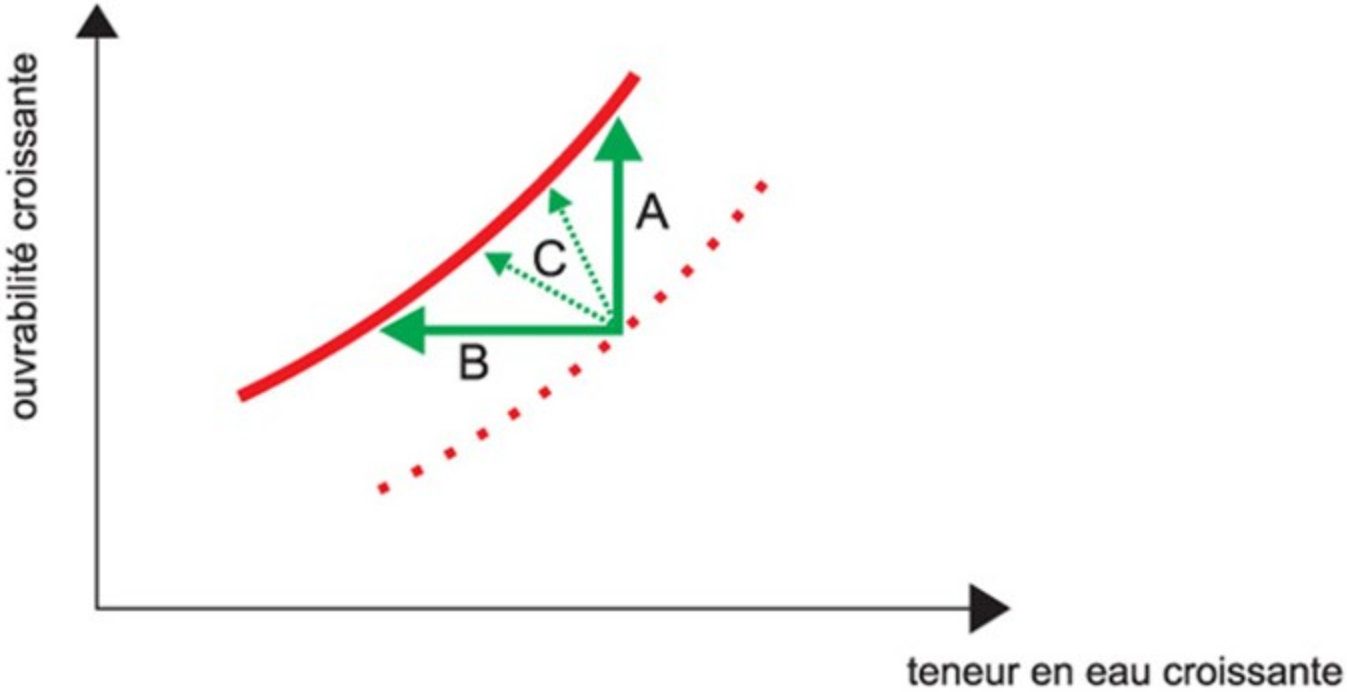


béton durci poreux...

1e adjuvants

plastifiants - réducteurs d'eau (PRE)
superplastifiants - hautement réducteurs d'eau (SPHRE)

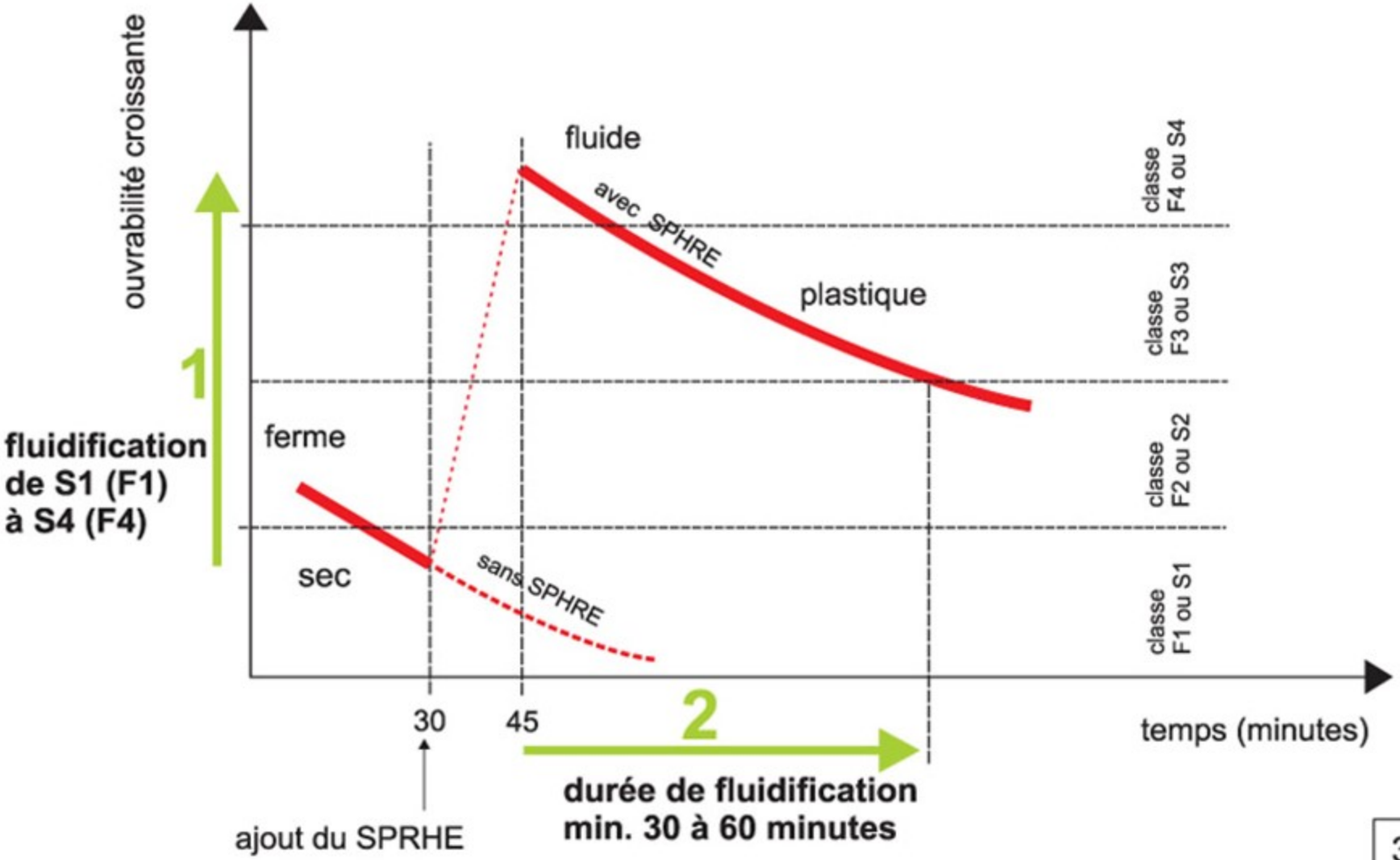
permettent d'augmenter l'ouvrabilité d'un mélange de béton donné sans ajouter de l'eau (A)
ou: de réduire fortement la teneur en eau sans modifier l'ouvrabilité d'un mélange de béton donné (B)
ou encore: de réduire la teneur en eau tout en augmentant l'ouvrabilité (C)



- dosage: max. quelques pourcent de la masse du ciment
- tenir compte d'éventuels effets secondaires
  (p.ex. sur le temps de prise du ciment,
  la teneur en air du béton,...)

1e adjuvants *superplastifiants - hautement réducteurs d'eau (SPHRE)*

DEUX CRITERES D'EFFICACITE



1e adjuvants *autres*

- ***accélérateurs de prise***
  ($CaCl_2$ et autres - sans chlorures)

  4b6

  ⚠ Les ions Cl^- sont agressifs pour l'acier !

- ***retardateurs de prise***
  (sucres et dérivés,
  dans la masse ou en surface)

  3c1

- ***entraîneurs d'air***
  (augmentent la résistance au gel)

  4b5

  ⚠ S'accompagnent d'une réduction des résistances...

- ***hydrofuges de masse***
  (réduisent l'absorption capillaire)

  4b3

- ***rétenteurs d'eau***
  (permettent le bétonnage sous eau)

- ***agents moussants***
  (bétons légers, isolants)

- ***pigments minéraux***

- ***agents de viscosité***
  (béton autocompactant)

1f additions

- *'filler' : poudre fine **inerte** (< 80 µm) de calcaire broyé*
  *→ assurer la **stabilité** du mélange*

- *cendres volantes : poudre fine (10 µm, cf. ciment) de grains siliceux*
  → effet plastifiant dans le mélange frais ('roulements')
  *→ **effet pouzzolanique** dans le béton durci*
  (réagissent avec la chaux libre → compacité accrue)

- *microsilice (fumée de silice, silicafume): poudre ultrafine (0,1 µm) de grains siliceux*
  → effet plastifiant dans le béton frais
  *→ **effet pouzzolanique** dans le béton durci*
  (→ compacité quasi parfaite → BTHP: 'béton à très hautes performances')

⚠ La présence de ces poudres minérales fines nécessite l'utilisation d'un (super)plastifiant - (hautement) réducteur d'eau.

Normes & Prescriptions Techniques:

NBN EN 12620 : Granulats pour bétons
NBN EN 13139 : Granulats pour mortiers
NBN EN 13043 : Granulats pour mélanges hydrocarbonés et pour enduits superficiels utilisés dans la construction de chaussées, aérodromes et autres zones de circulation
NBN EN 13242 : Granulats pour matériaux traités aux liants hydrauliques et matériaux non traités pour les travaux de génie civil et pour la construction de chaussées
PTV 411 : Codification des granulats conformes aux normes NBN EN 12620, NBN EN 13043, NBN EN 13139 et NBN EN 13242

NBN EN 197-1 : Ciment - Partie 1 : Composition et spécifications et critères de conformité des ciments courants
NBN EN 197-2 : Ciment - Partie 2 : Evaluation de la conformité
NBN B 12-108 : Ciments - Ciments à haute résistance aux sulfates
NBN B 12-109 : Ciments - Ciments à teneur limitée en alcalis
NBN B 12-110 : Ciments - Ciments Portland à haute résisance initiale
PTV 603 : Ciments courants - Caractéristiques additionnelles

NBN EN 934-2 : Adjuvants pour béton, mortier et coulis - Partie 2 : Adjuvants pour béton - Définitions et exigences
PTV 500 : Adjuvants pour béton - Définitions, spécifications et critères de conformité

NBN EN 450 : Cendres volantes pour béton - Définitions, exigences et contrôle de qualité

Renseignements supplémentaires:

Ciments - Spécification et certification. Marquage CE et double marquage CE+BENOR
Dossier Ciment, bulletin n° 25
Bruxelles : FEBELCEM, 2001

Les ciments belges et la norme européenne EN 197-1. Marquage CE et marque BENOR - Spécification des ciments à partir de 2002
Fiche Technique
Bruxelles : FEBELCEM, 2001

www.febelcem.be
www.cric.be
www.cbr.be
www.holcim.be
www.ccb.be
www.groupementbeton.be