

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

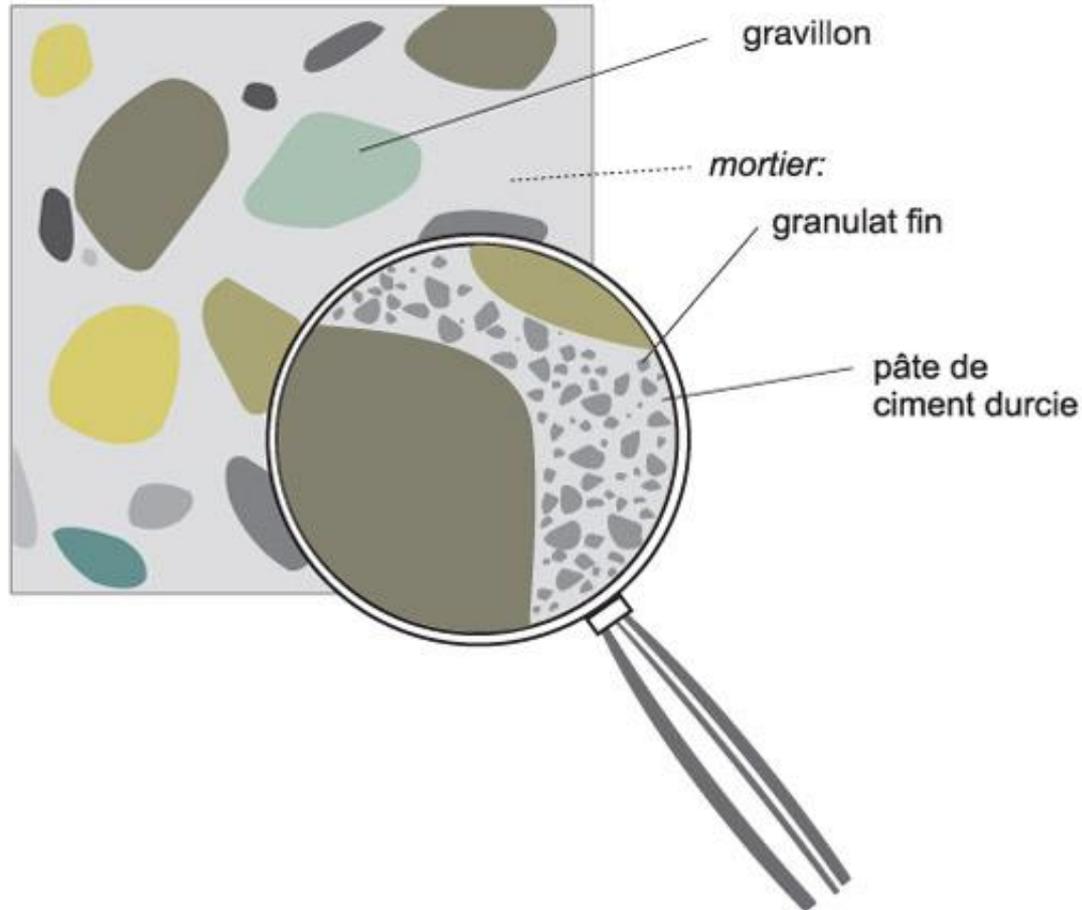
1d eau

(éventuellement:)

1e adjuvants

1f additions

1 LES COMPOSANTS DU BETON



1a gravillons *nature / origine*

'naturels'

(rivière, mer)

(carrière)

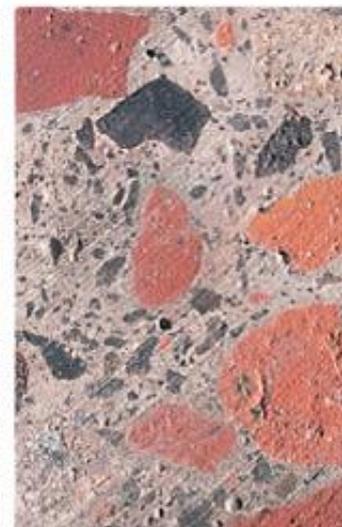
'artificiels'

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

'recyclés'

(déchets de construction et de démolition)

'alluvionnaires'



argile expansée

béton concassé

*mélange de béton
et de maçonnerie
concassés*

différents '**dégradés 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

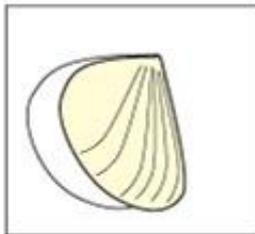
à limiter en fonction de l'application :



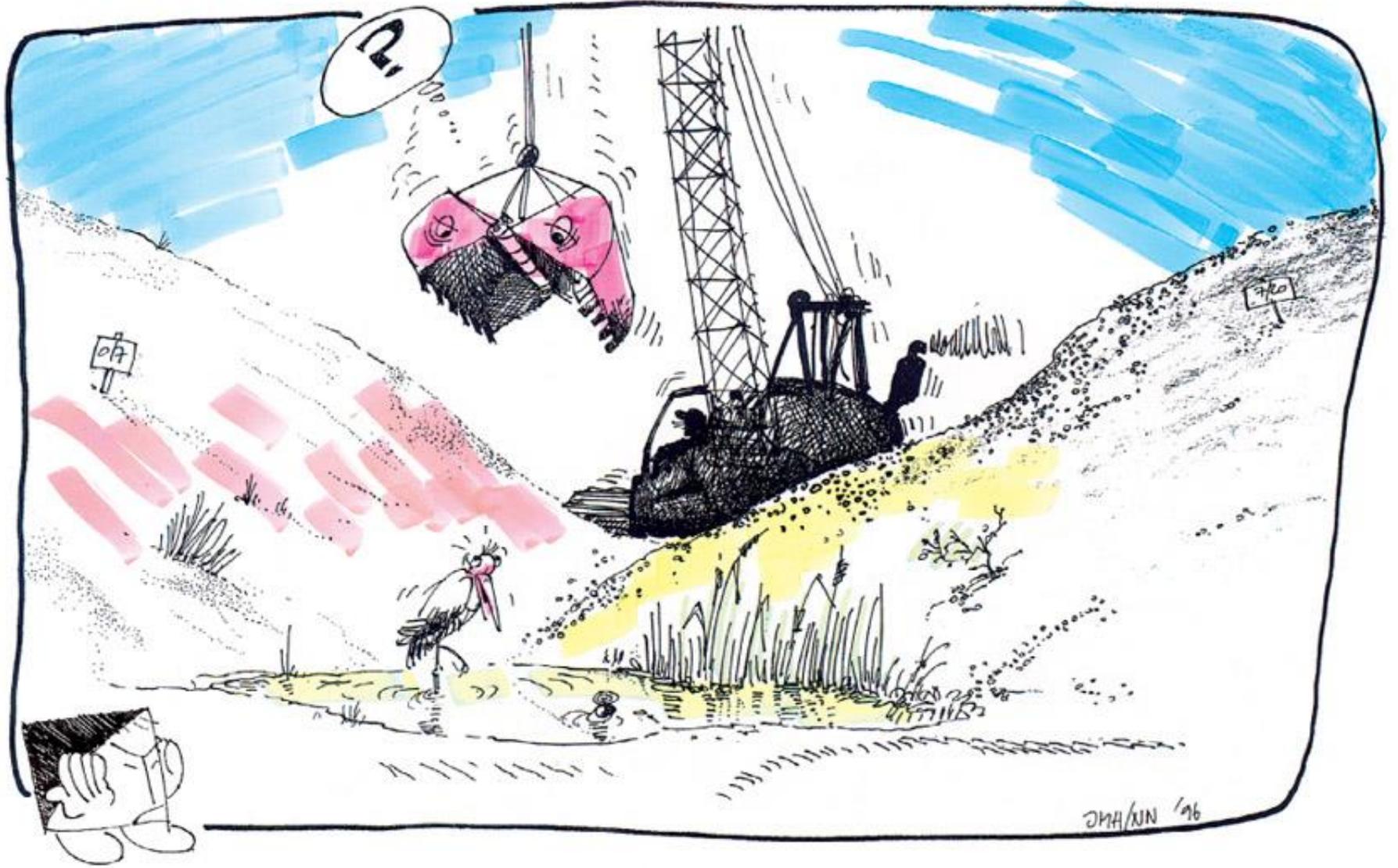
surtout en cas de granulats d'origine marine



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



coquillages:
= "granulats" peu résistants



Q.

07

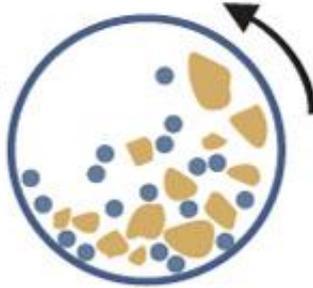
7/20

JMH/NIN '96

1a gravillons caractéristiques intrinsèques

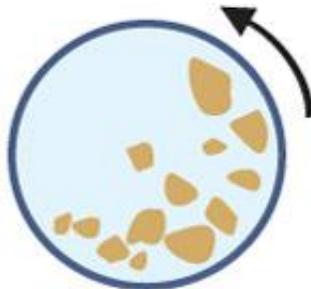
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET MÉCANIQUES

tambour rotatif
+ boulets de fer



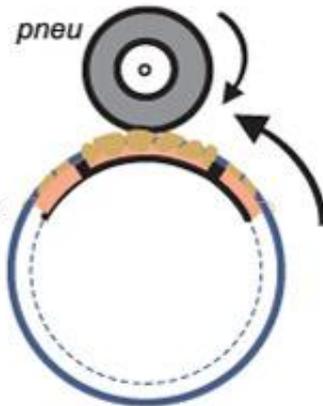
mesure de la quantité de
particules fins produits
⇒ 'coefficient Los Angeles' (**LA**)
(résistance à la fragmentation)

tambour rotatif
+ eau

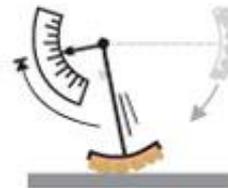


mesure de la quantité de
particules fins produits
⇒ 'coefficient Micro-Deval' (**MDE**)
(résistance à l'usure)

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':

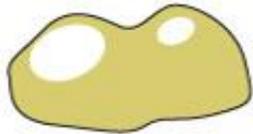
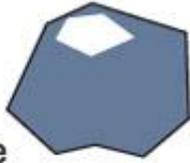
Aa		
Ab		
Ac		
Ba		résistance décroissante
Bb		
Bc		
C		
D		
E		
F		

1a gravillons caractéristiques géométriques

FORME



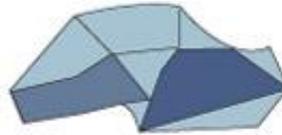
sphérique/cubique



arrondie



semi-roulée



anguleuse



plaquettes/aiguilles

⇒ 'coefficient d'aplatissement'

⇒ catégories

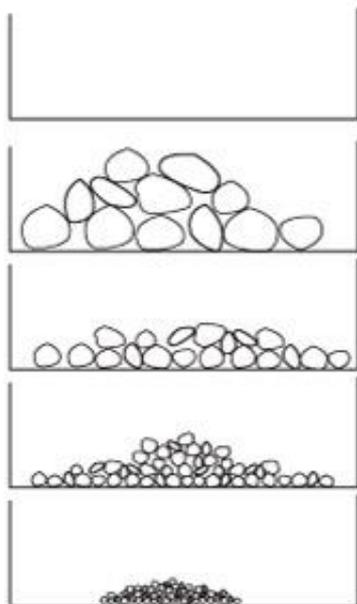
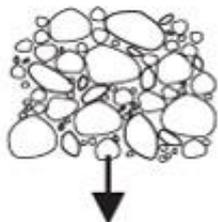
I
II
III
IV
V



*teneur en granulats
aplatis/irréguliers
croissante*

1a gravillons caractéristiques géométriques

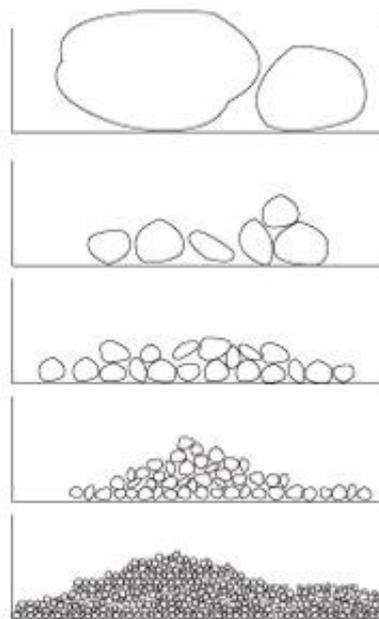
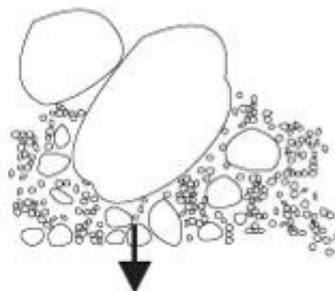
GRANULARITÉ



OK ! dimensions et distribution correctes

D

d



⚠ diamètres 'hors gabarit'...

⚠ mauvaise distribution...

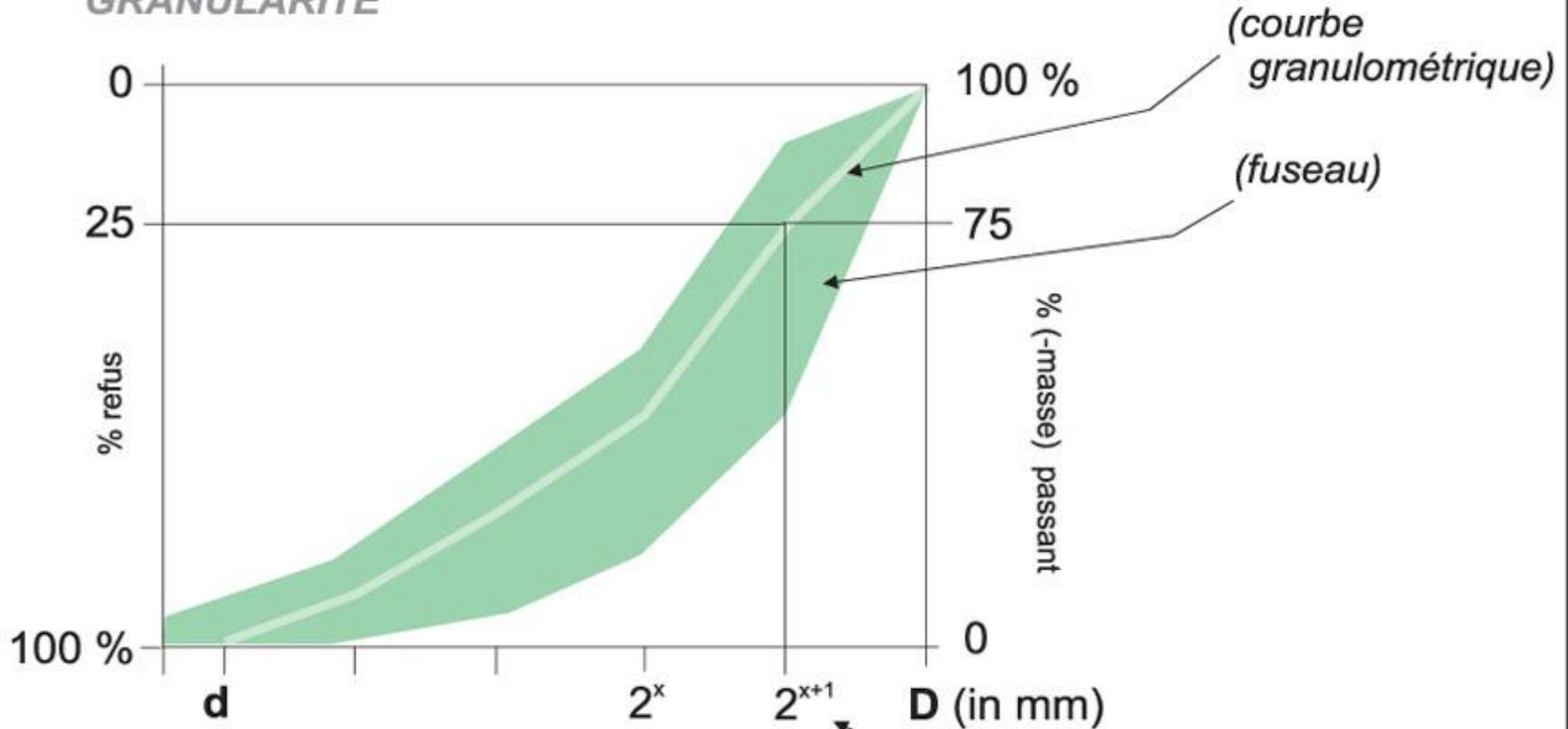
⚠ beaucoup de fines (< 63 microns) (*): "consomment" l'eau de gâchage



(*) 1 micron = 1/1000 mm

1a gravillons caractéristiques géométriques

GRANULARITÉ



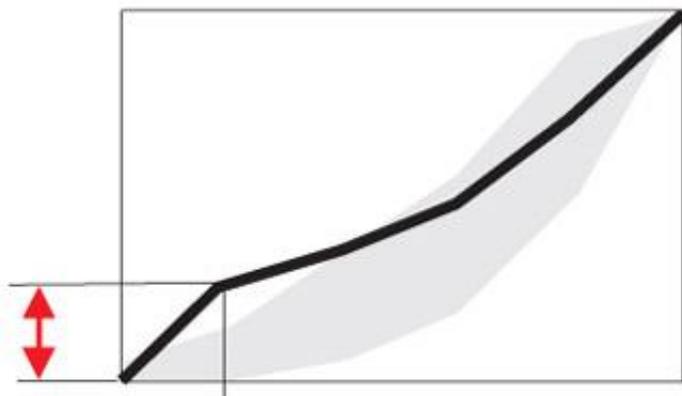
calibre (classe granulaire) d/D :

- 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 %)

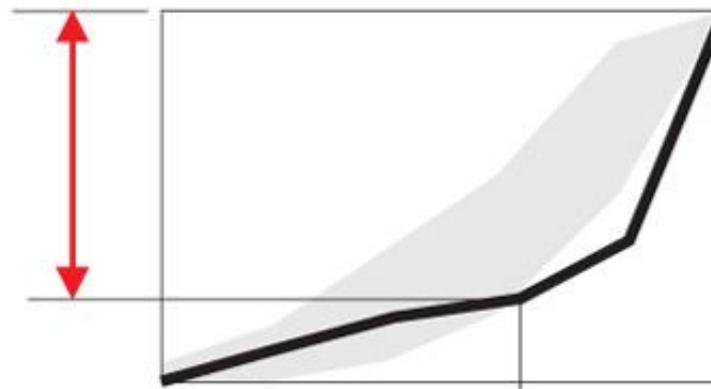
(échelle logarithmique)

1a gravillons caractéristiques géométriques

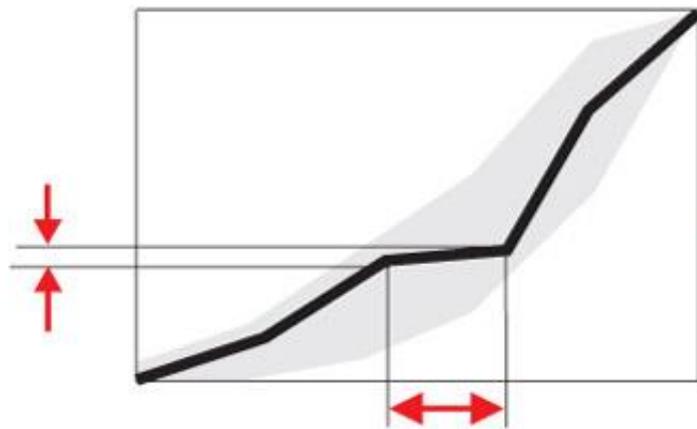
exemples de granularités moins bonnes



trop de granulats fins



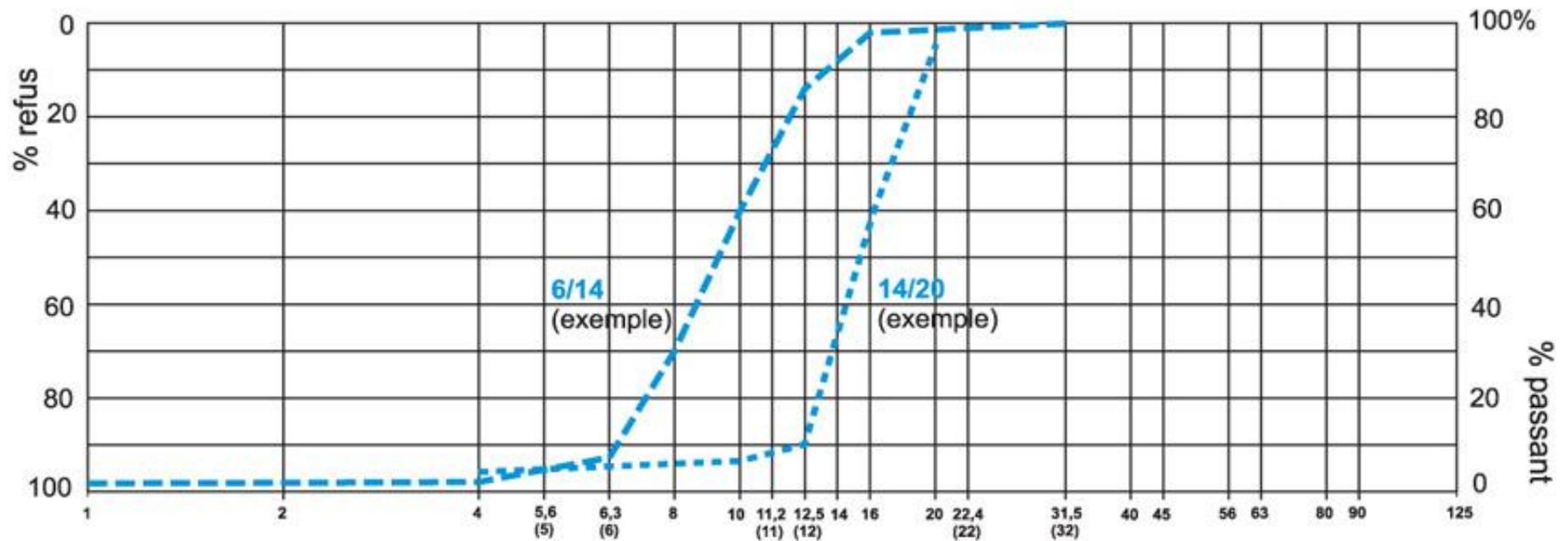
trop de gros granulats



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)

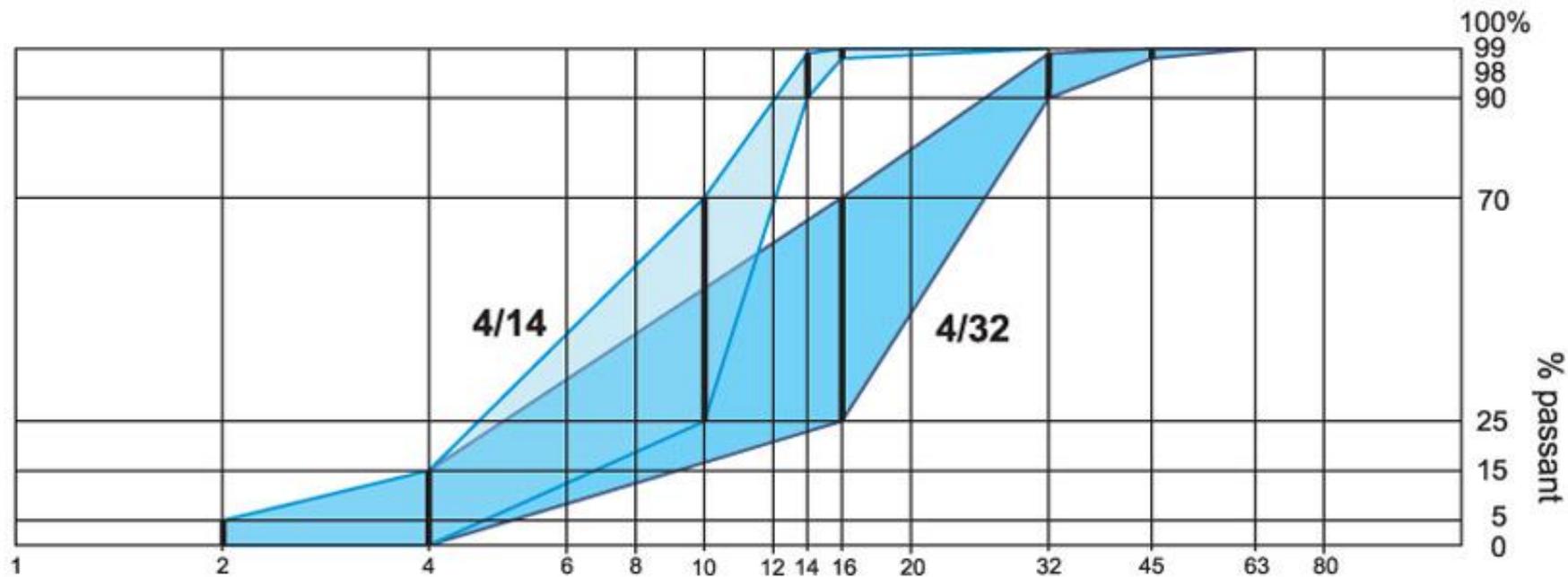
1 2 4 6 8 10 12 14 16 20 32 40 63 80



ne pas combiner les séries de tamis !

1a gravillons caractéristiques géométriques

GRANULARITÉ - fuseaux de classes granulaires courantes



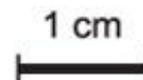
(BS + Set 2)



4/14

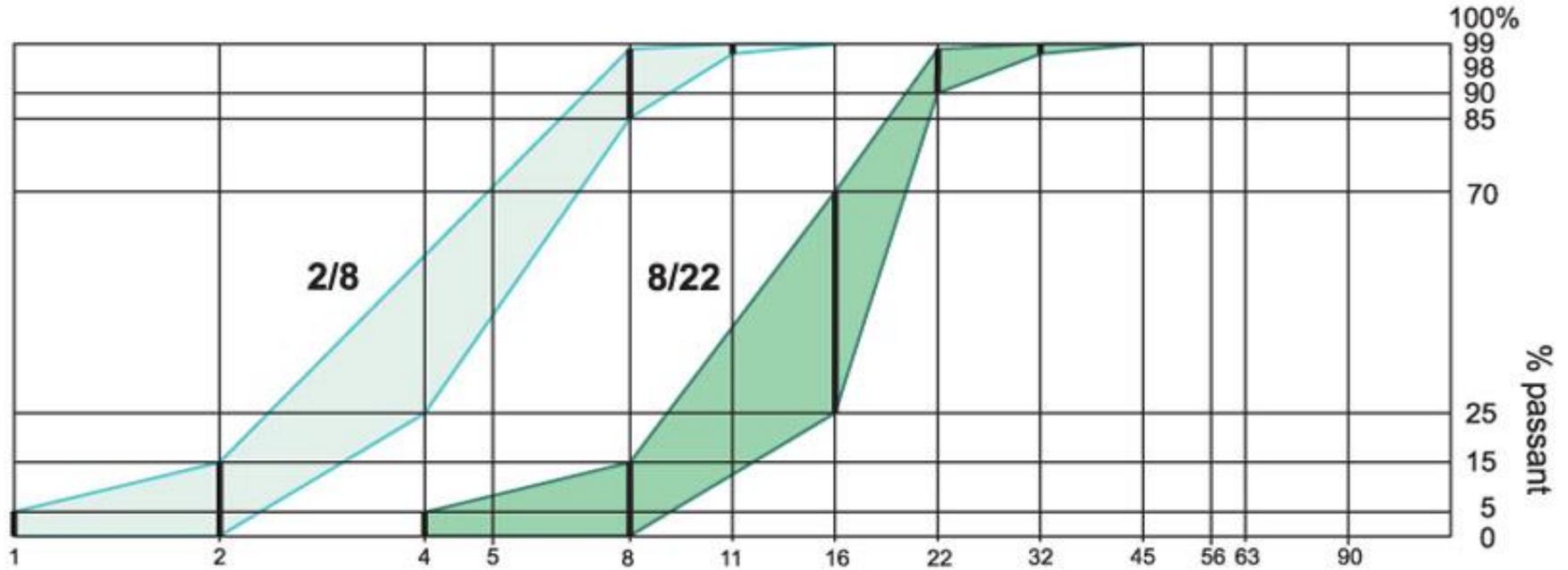


4/32



1a gravillons caractéristiques géométriques

GRANULARITÉ - fuseaux de classes granulaires courantes



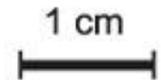
(BS + Set 1)



2/8



8/22



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 [$f_{\% \text{ fines}}$]

cat. de teneur en Cl^- , en coquillages

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

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)



'sables ronds'
(généralement siliceux)

(sablère)



(carrière de roche
ou de gravier)



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

(déchets de construction
et de démolition...)

('sables mixtes')



QUALITÉ DES FINES (< 0,063 mm)

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

⇒ catégories de **propreté**

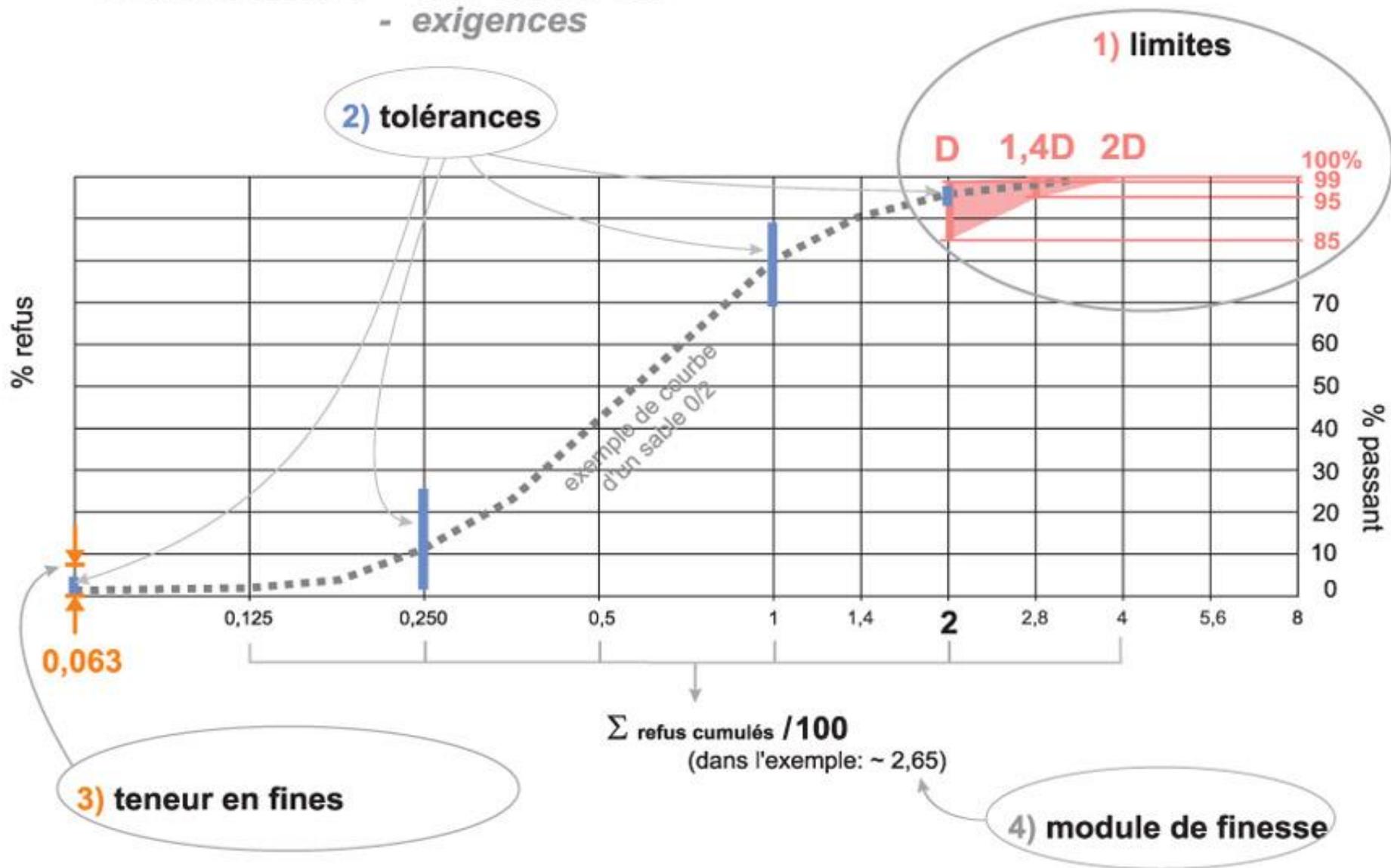
(plus la valeur de MB_F est grande, moins les fines sont propres)

1 cm



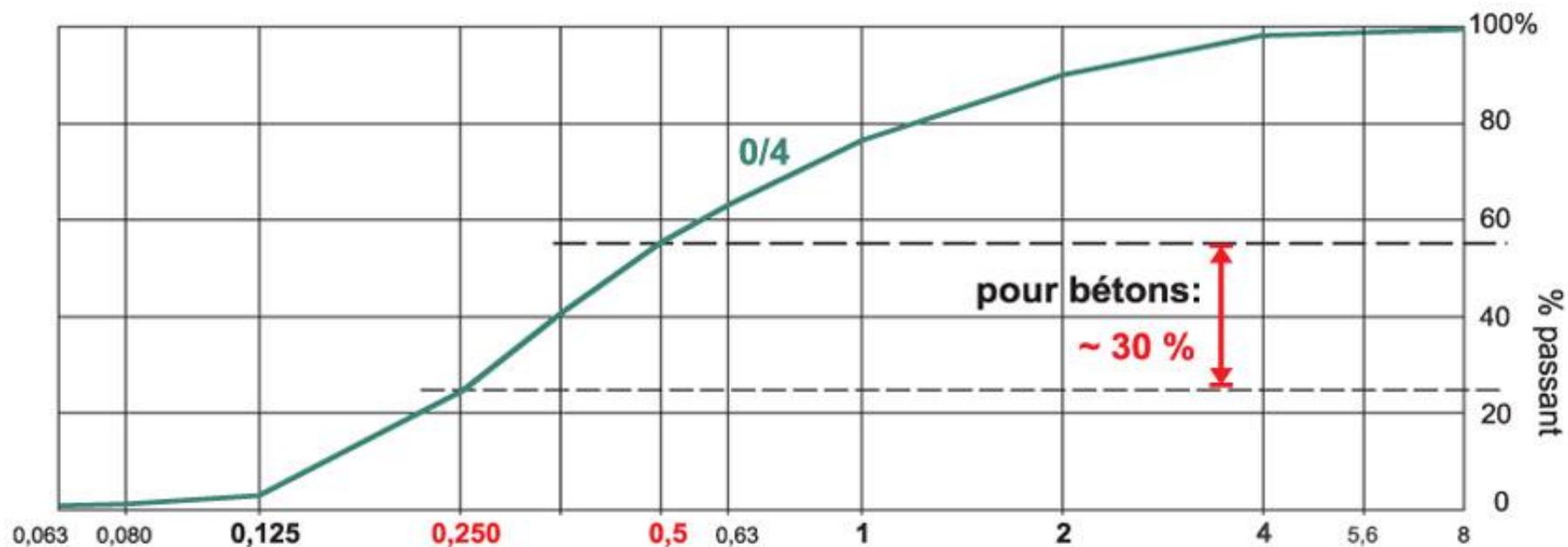
1b sables caractéristiques géométriques

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



1b sables caractéristiques géométriques

GRANULARITE - exemple



sable fin



sable de béton



sable gros



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
(en général cat. A, c.-à-d. tolérances normales)

cat. de **teneur en fines** [f% fines]

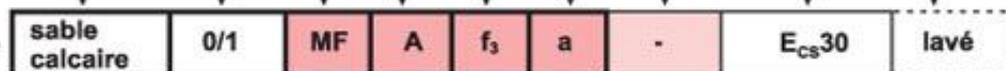
cat. de **propreté** [a, b, c]

cat. de teneur en Cl⁻, en coquillages

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

indications complémentaires éventuelles

p.ex.:



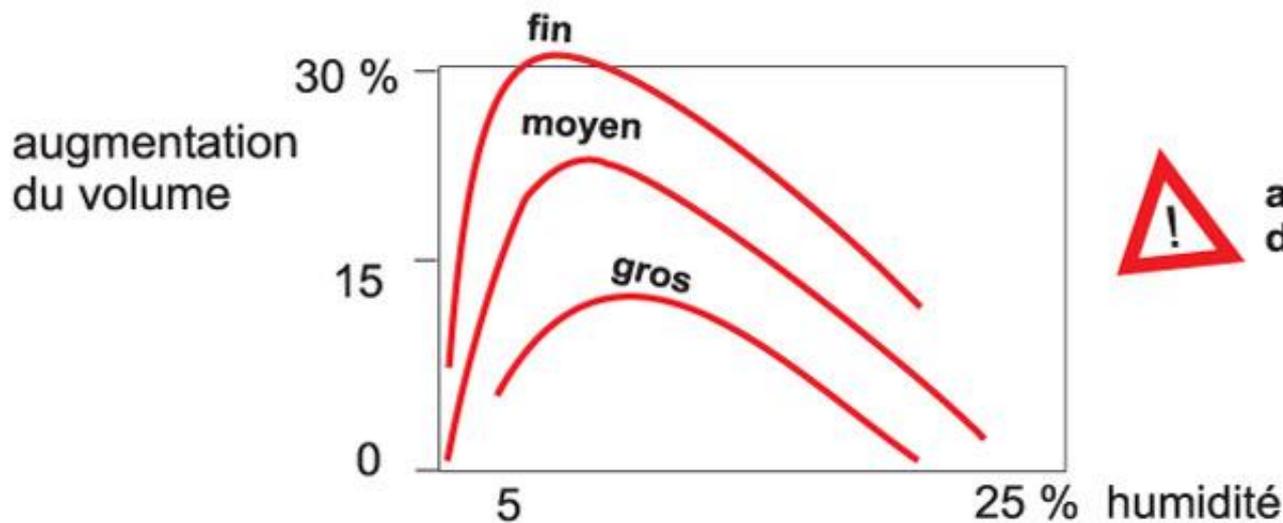
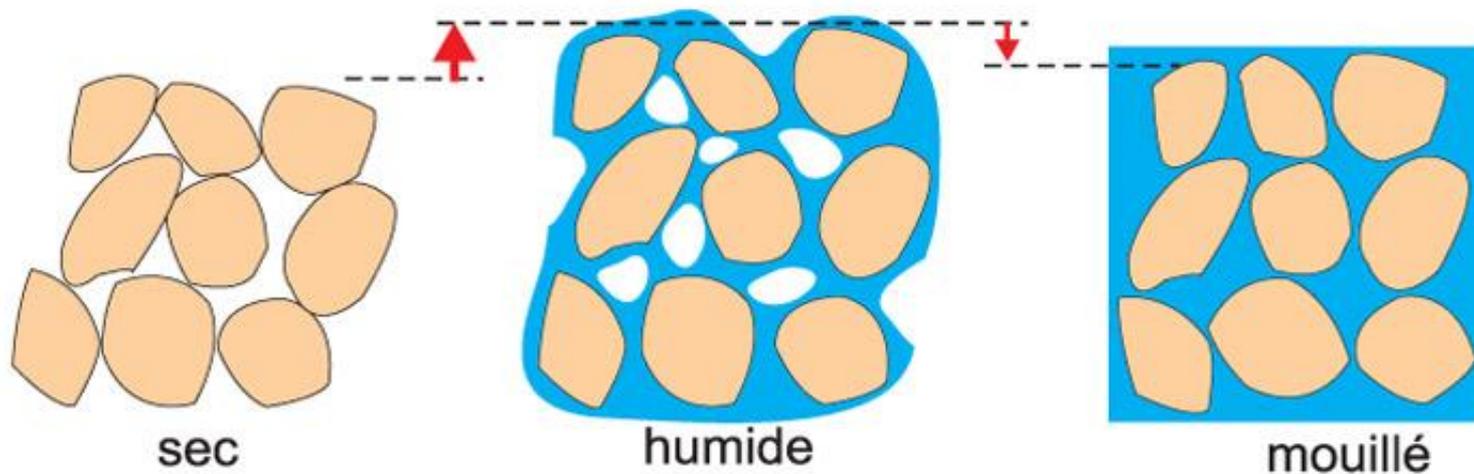
- obligatoire

- 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)

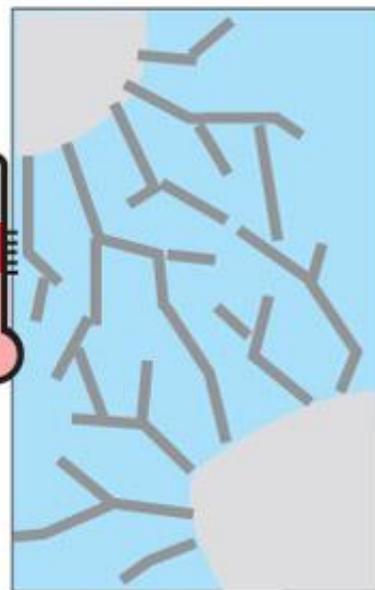


grains de ciment
séparés par film d'eau

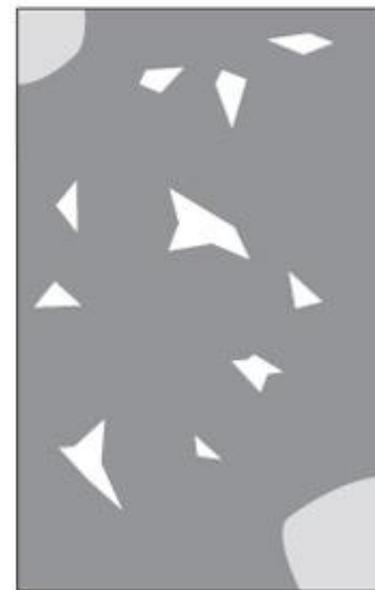
"prise"
(pâte de ciment raidit)
*(après quelques
heures)*



'hydrates' (cristaux)
+ 'chaux libre'



durcissement
*(après quelques jours,
mais continuant pendant
des semaines)*



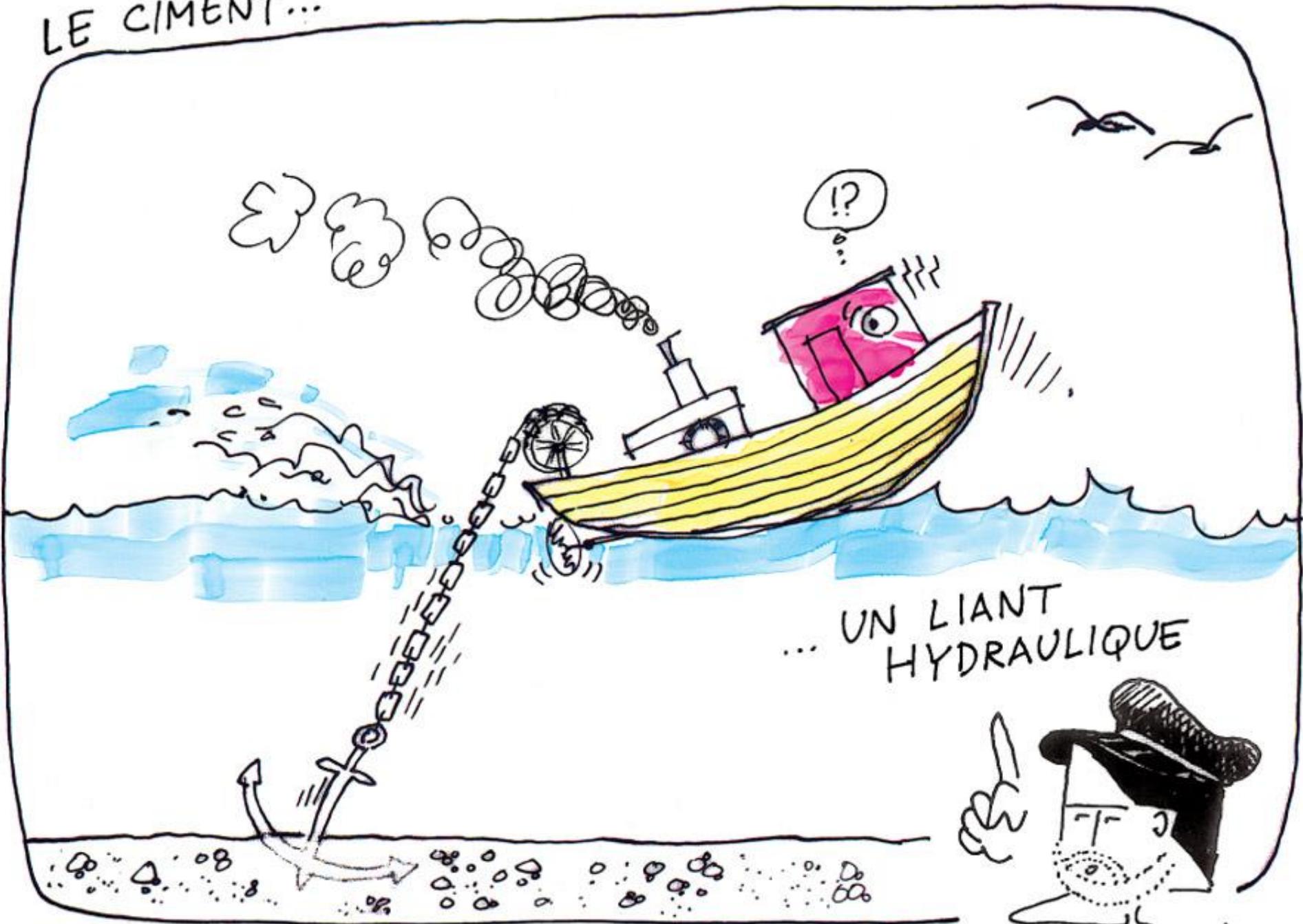
réseau de cristaux
(+ éventuellement excès
d'eau de gâchage)

1 / 10.000 mm



influence de la température et
de l'humidité ambiantes !

LE CIMENT...



... UN LIANT
HYDRAULIQUE

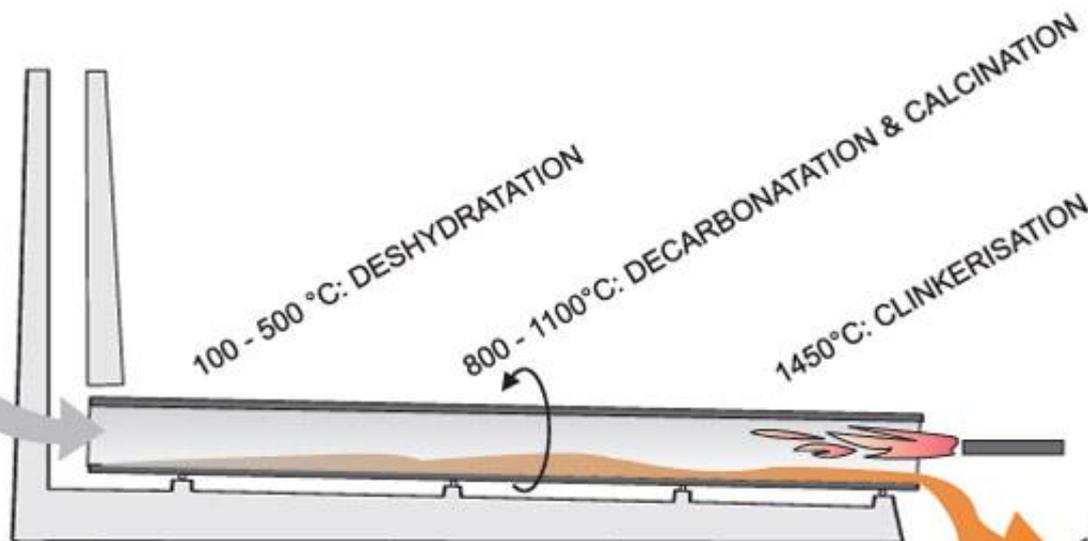


1c ciment fabrication

four à ciment (principe)

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

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



refroidissement

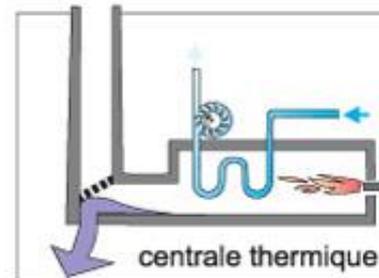
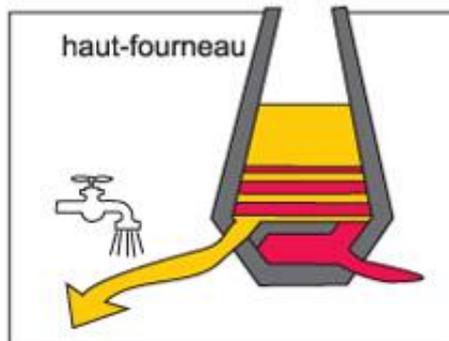
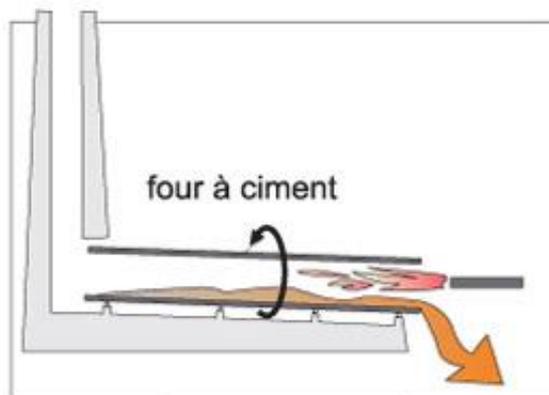
clinker portland

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

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 :

CEM I

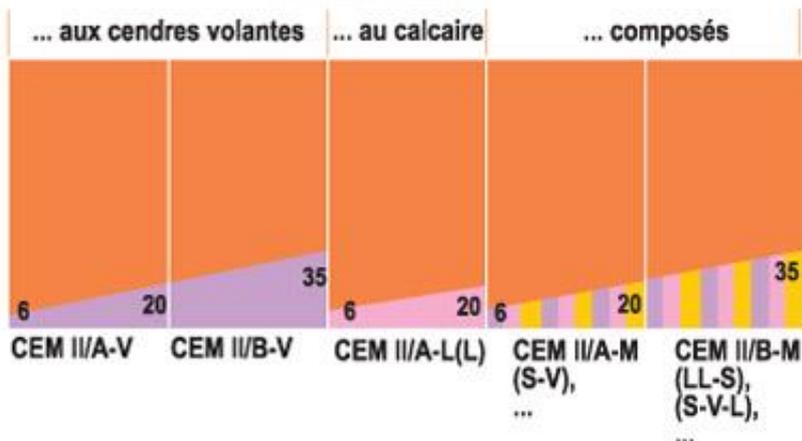
ciment
Portland



CEM I

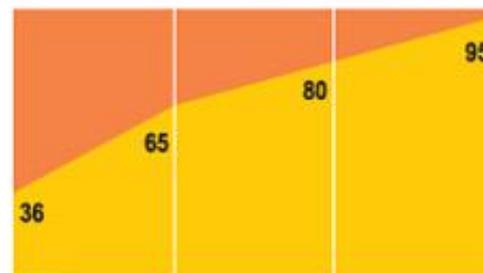
CEM II

ciments Portland...



CEM III

ciments de haut fourneau



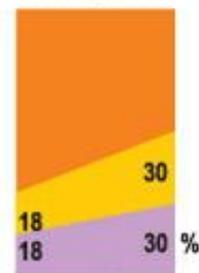
CEM III/A

CEM III/B

CEM III/C

CEM V

ciment
composé



CEM V/A (S-V)



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*)



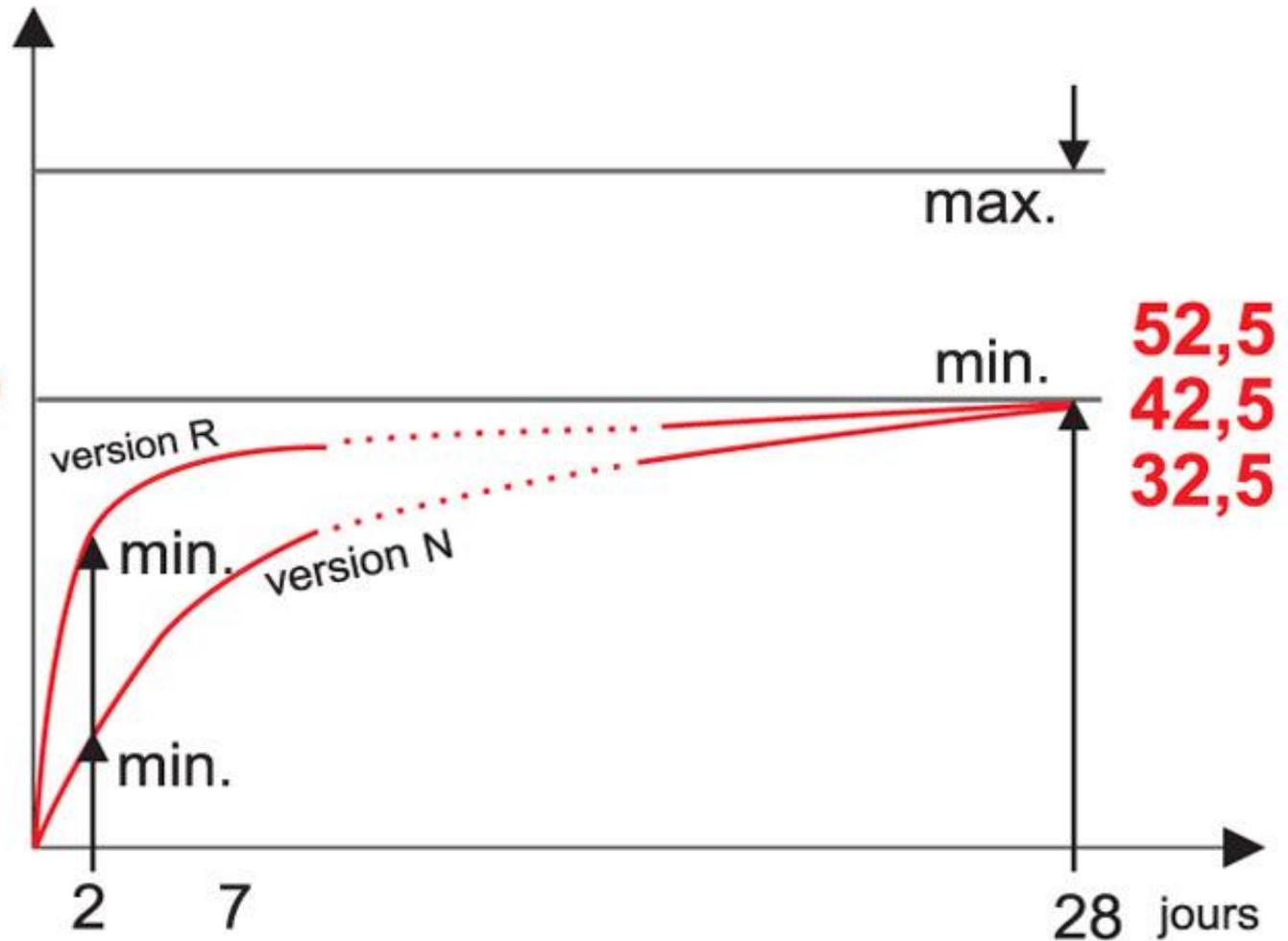
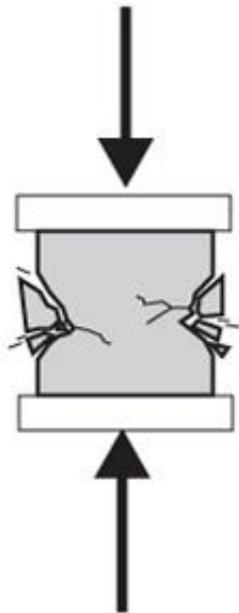
calcaire (L ou LL) (*matière issue des carrières*)



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

1c ciment *classes de résistance*

résistance à la compression
(Newton/mm²)



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)

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

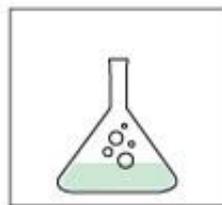
propreté ?



matières
organiques



sels



acides

dosage ?

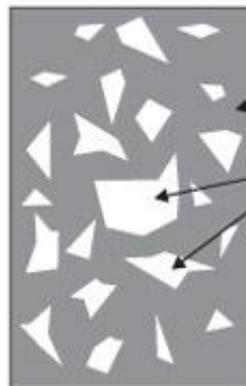
le moins d'eau
possible



béton durci
compact !



trop d'eau



béton durci
poreux...

réseau cristallin

larges pores



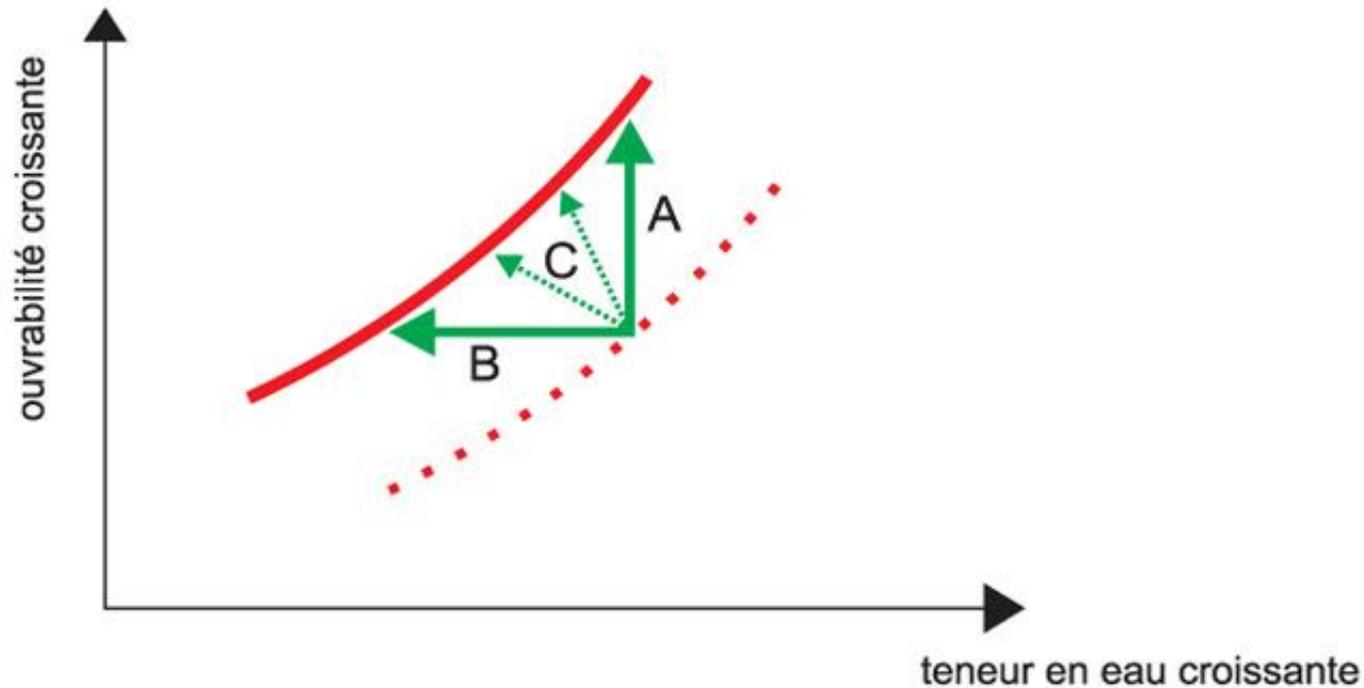
1e adjuvants *plastifiants - réducteurs d'eau (PRE)*

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)

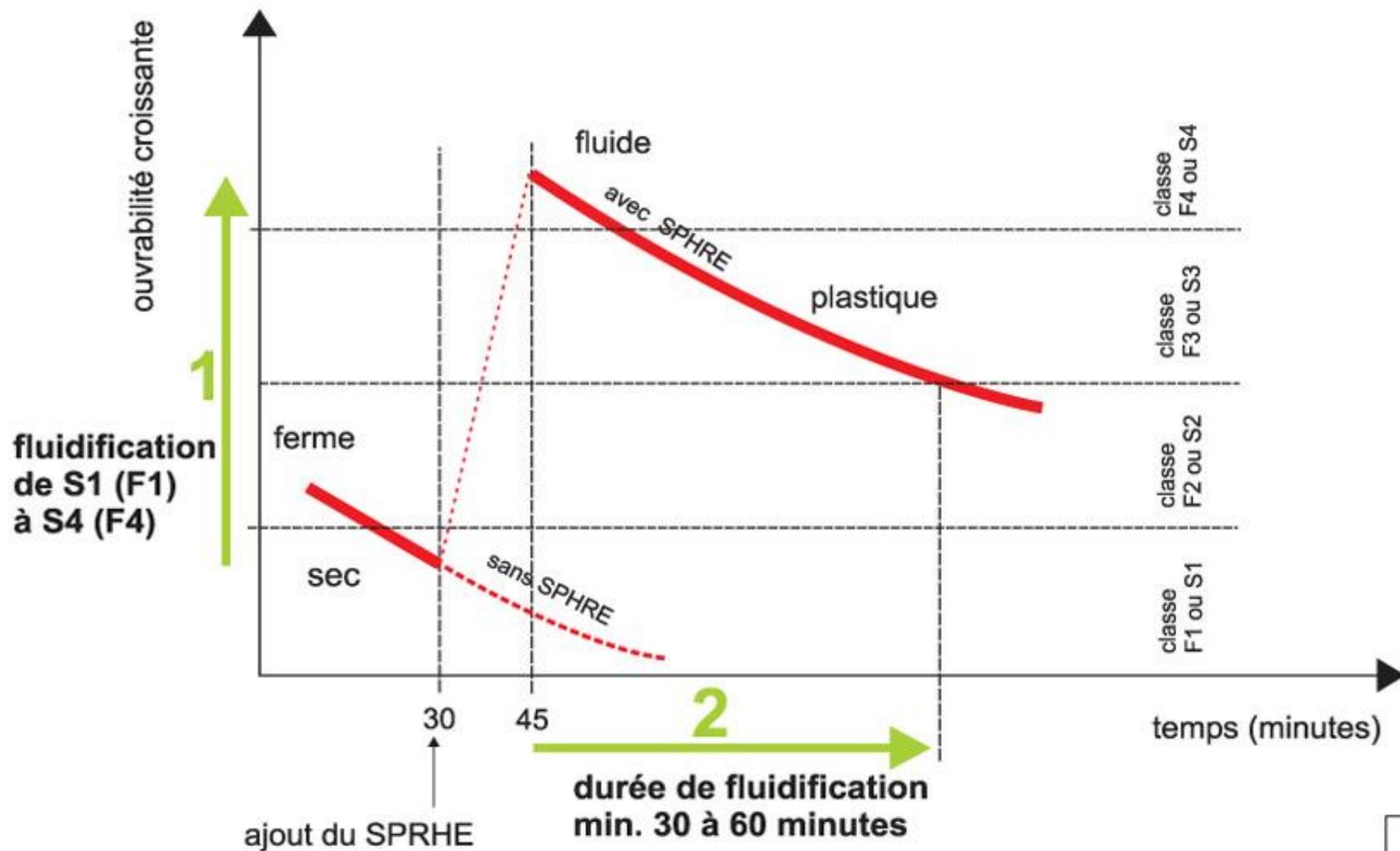
ou encore: de réduire la teneur en eau tout en augmentant l'ouvrabilité (C)



- 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)



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

4b6

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

3c1

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



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

4b5

- **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** ($< 80 \mu\text{m}$) de calcaire broyé
→ assurer la **stabilité** du mélange
- **cendres volantes** : poudre fine ($10 \mu\text{m}$, 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 ($0,1 \mu\text{m}$) 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, aéroports 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 résistance 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.groupermentbeton.be

1 LES COMPOSANTS DU BETON

2 FAIRE DU BETON

3 LE BETON FRAIS

4 LE BETON DURCI

2 FAIRE DU BETON

a- PRINCIPES

2a composition du béton

b- PRATIQUE

2b1 spécification suivant les normes NBN EN 206-1 & NBN B15-001

2b2 centrale à béton

2b3 usine de béton (préfabrication)

2b4 chantier

2a composition du béton *exigences constructives*

résistance mécanique
durabilité



gros granulats

+



mortier

gravier / concassé

sable

ciment

eau

(adjuvants)

(additions)

RAPPORT SABLE / CIMENT

RAPPORT EAU / FINES

GRANULOMETRIE

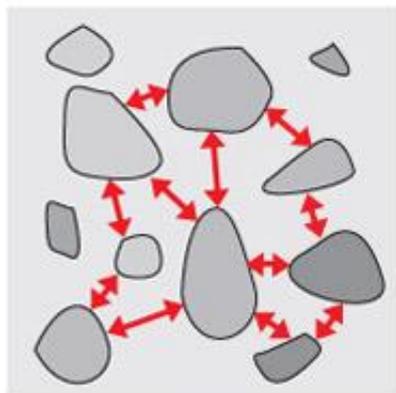
RAPPORT EAU / CIMENT

2a composition du béton

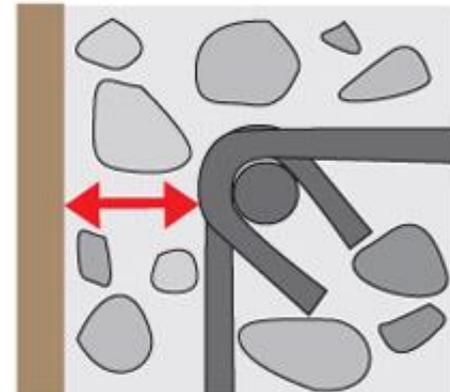
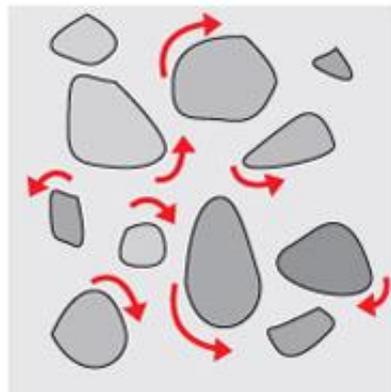
exigences de mise en œuvre



cohésion



ouvrabilité



TENEUR
EN FINES

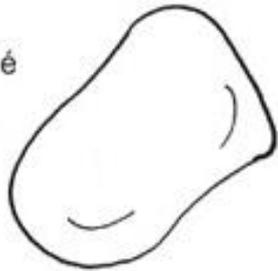
QUANTITE D'EAU
+ (SUPER)PLASTIFIANT/
REDUCTEUR D'EAU

FORME DES GRANULATS

DIAMETRE MAXIMUM

GRANULOMETRIE

roulé



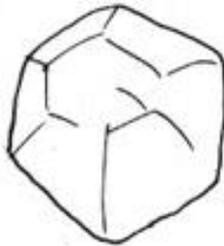
semi-roulé



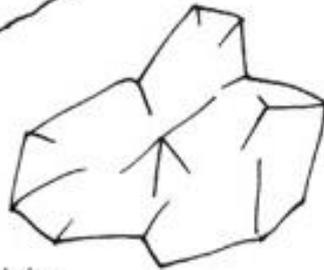
sphérique



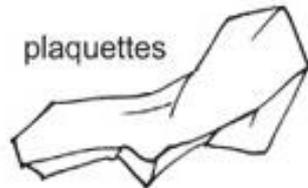
cubique



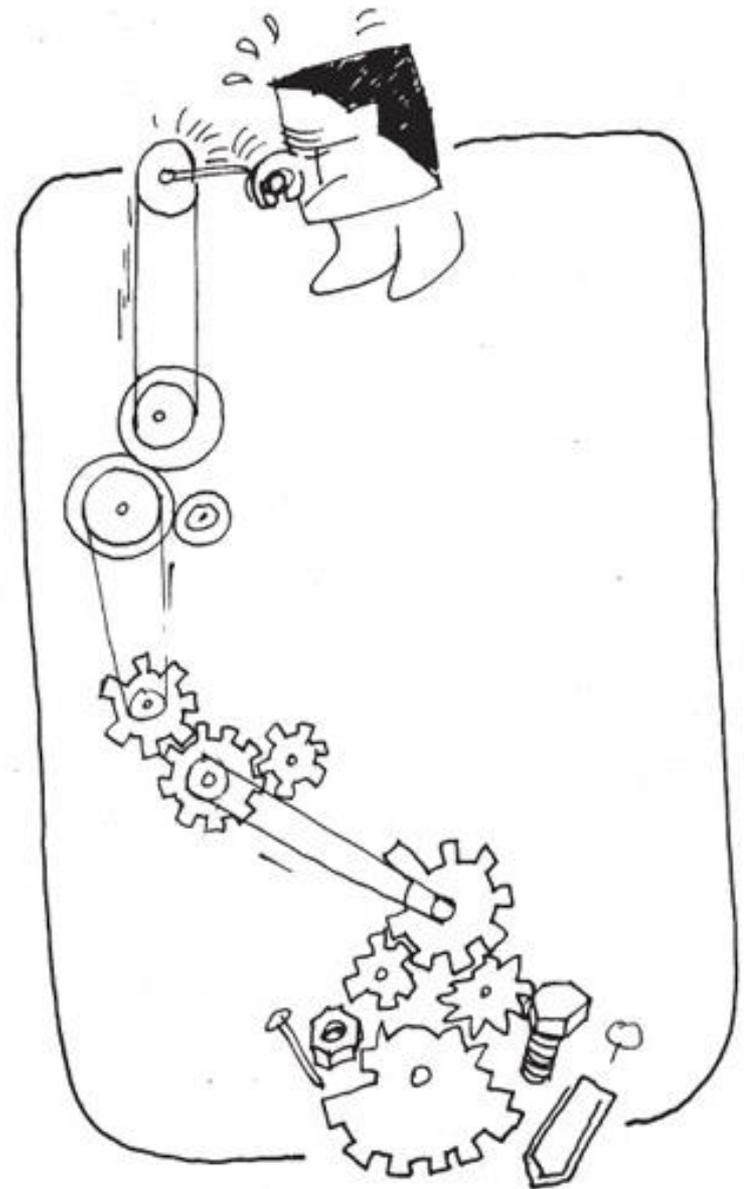
angulaire



plaquettes



aiguilles



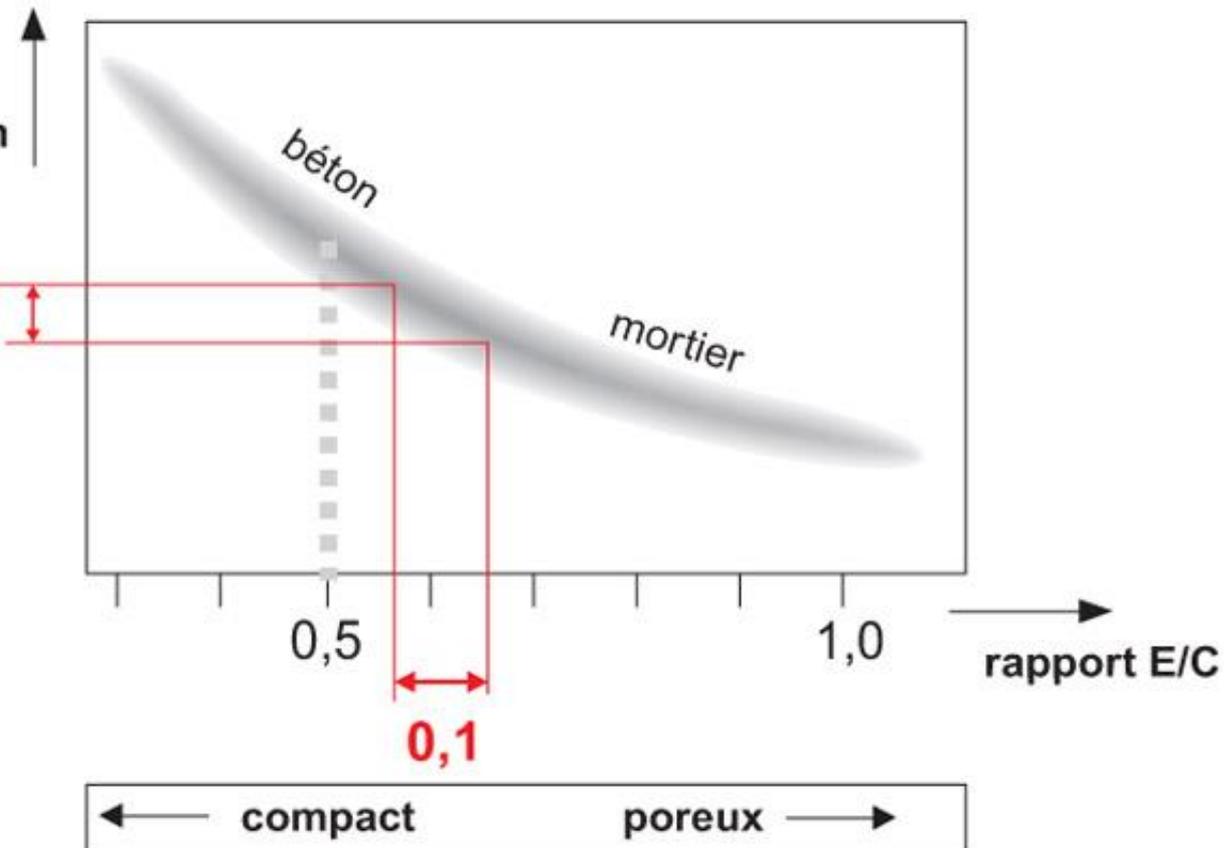
2a composition du béton *rapport E/C*



“le plus bas possible !”

résistance
finale
à la compression

10 N/mm²



1c

1d

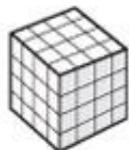
2a composition du béton *rapport E/C*

$E/C \searrow \Rightarrow$ le moins d'eau possible \Rightarrow attention au sable fin



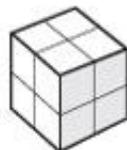
MEME VOLUME:

SURFACE DIFFERENTE:



$V = 64 \times \text{cube}$

$4 \times S$



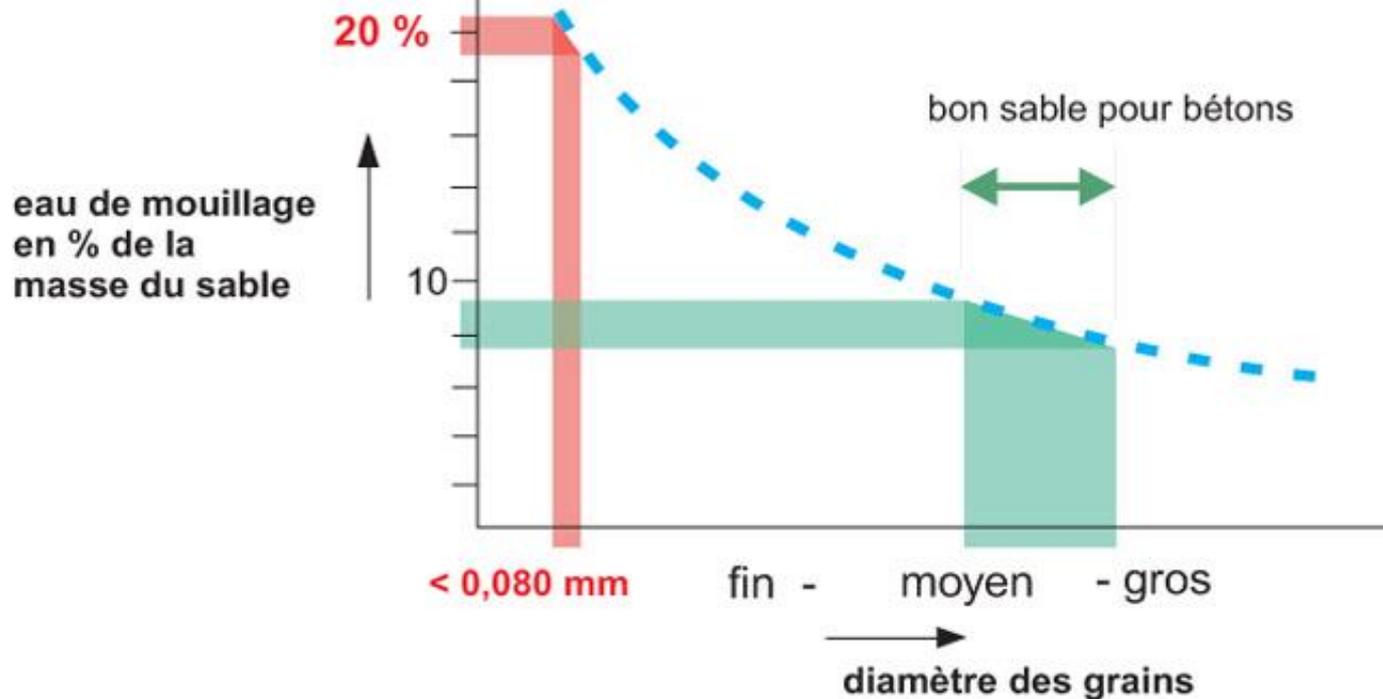
$V = 8 \times \text{cube}$

$2 \times S$



V

S



2a composition du béton *rapport E/C*

$E/C \searrow \Rightarrow$ dosage suffisant en ciment



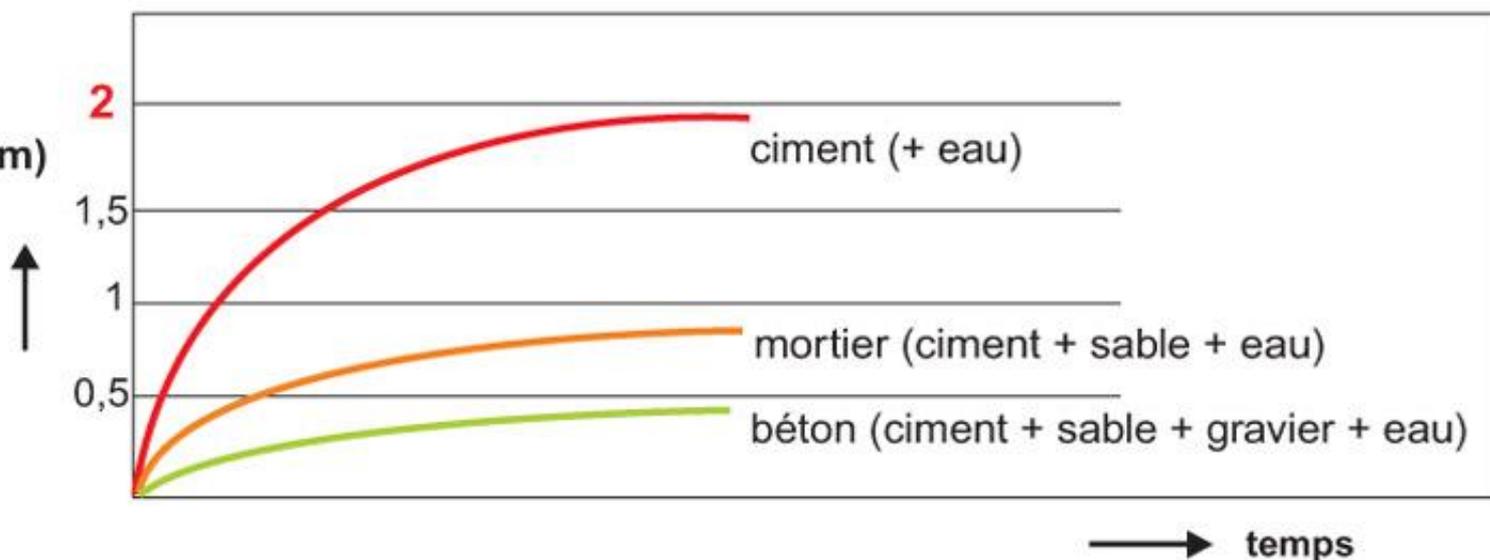
éviter surdosage ($< 425 \text{ kg/m}^3$)

retrait

(‰)

= mm par m

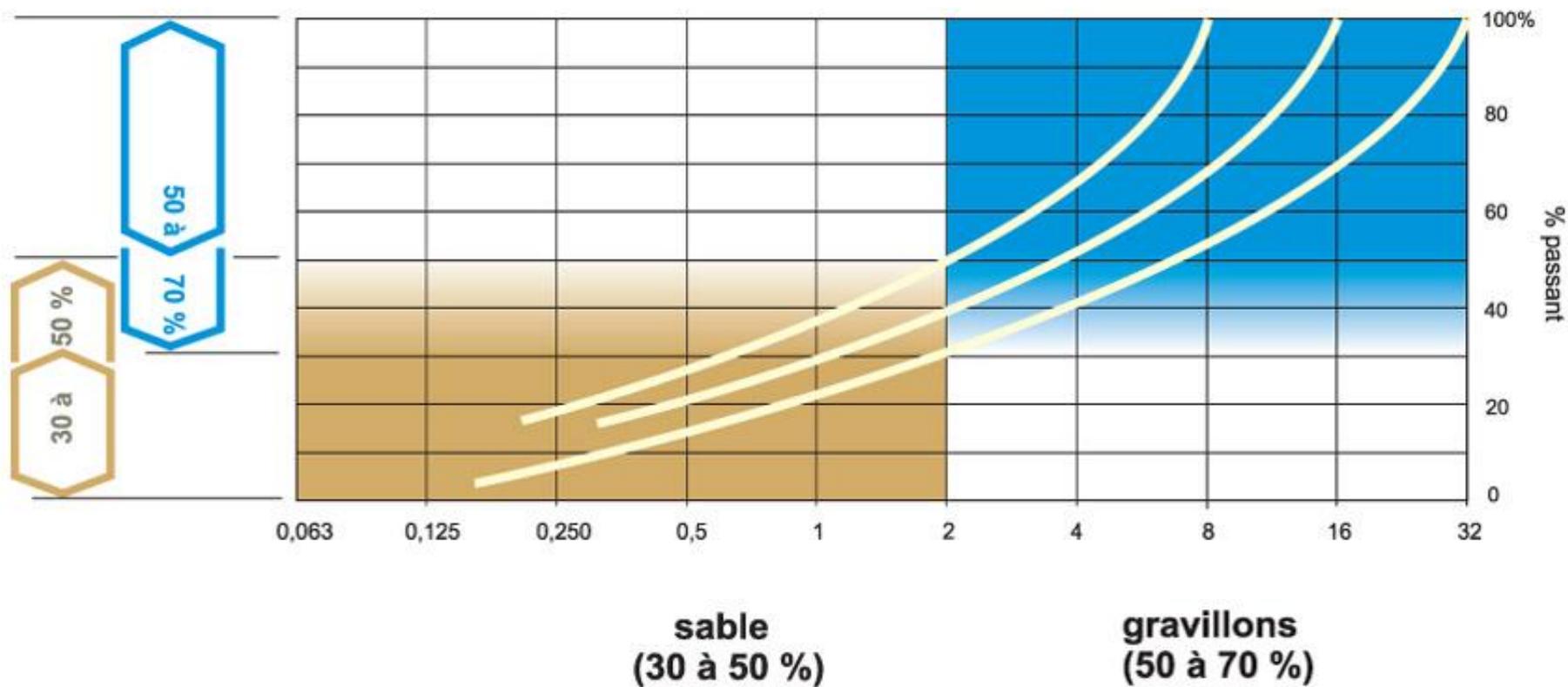
= cm par 10 m)



2a composition du béton *granulométrie*



“continue et étalée !”



1a

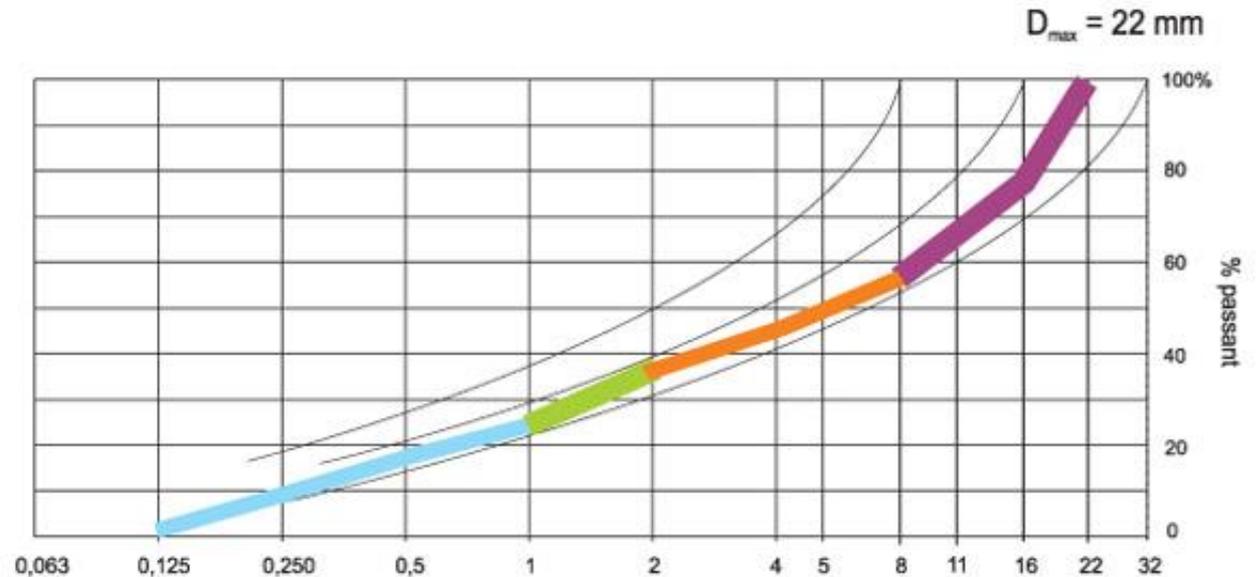
1b

2a composition du béton *granulométrie - exemple*

soit: 4 granulats disponibles (0/1, 0/2, 2/8 et 8/22)
et leurs courbes granulométriques respectives

question: établir la granulométrie pour un béton pompable

solution possible:



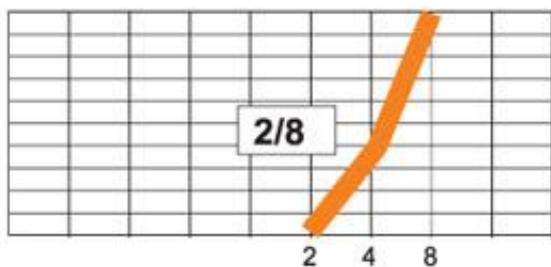
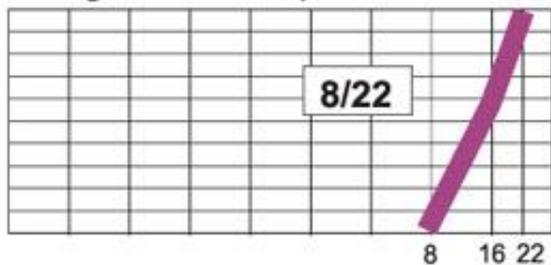
(NB: un béton pompable sous-entend une granulométrie continue)

dans cet exemple les granulats disponibles sont mélangés dans les proportions suivantes:

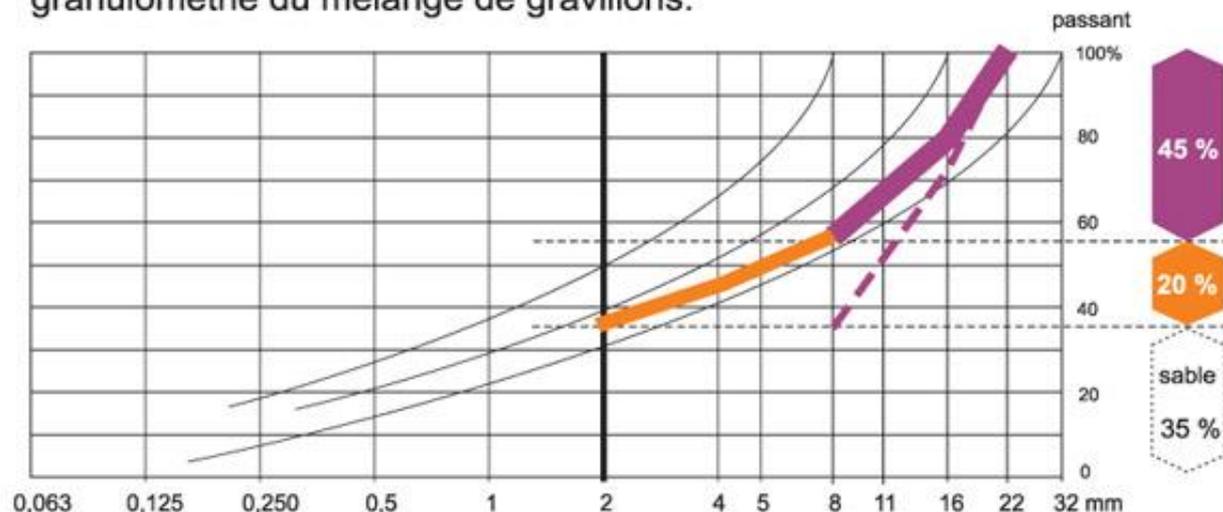
8/22: 45 %
2/8: 20 %
0/2: 25 %
0/1: 10 %

2a composition du béton *granulométrie - exemple*

granulométries
des gravillons disponibles:



granulométrie du mélange de gravillons:

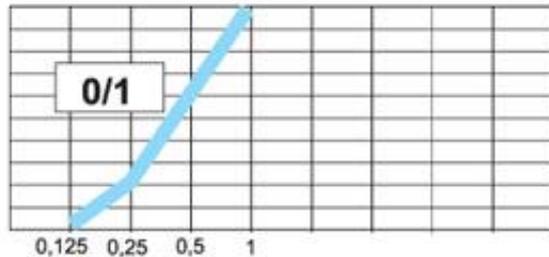
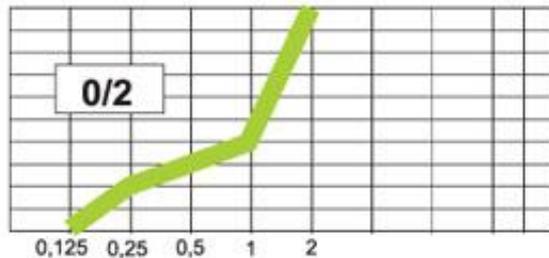


--- gravillons contenant uniquement du 8/22
⇒ courbe trop raide

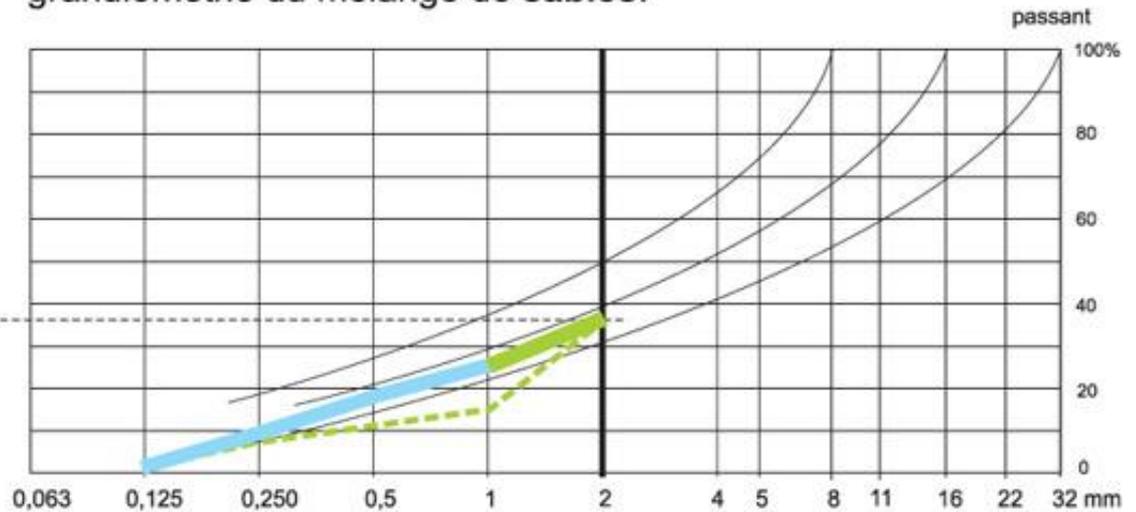
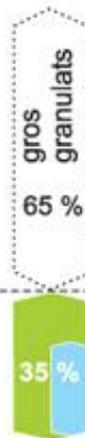
— mélange 8/22 + 2/8
⇒ courbe améliorée

2a composition du béton *granulométrie - exemple*

granulométries des sables disponibles:



granulométrie du mélange de sables:



- uniquement sable 0/2
⇒ rupture dans courbe
(béton difficilement pompable)
- combinaison 0/2 (25 %) + 0/1 (10%)
⇒ courbe améliorée

sur base d'une

composition

par m³ de béton fournir les données suivantes:

... kg de granulats .../...

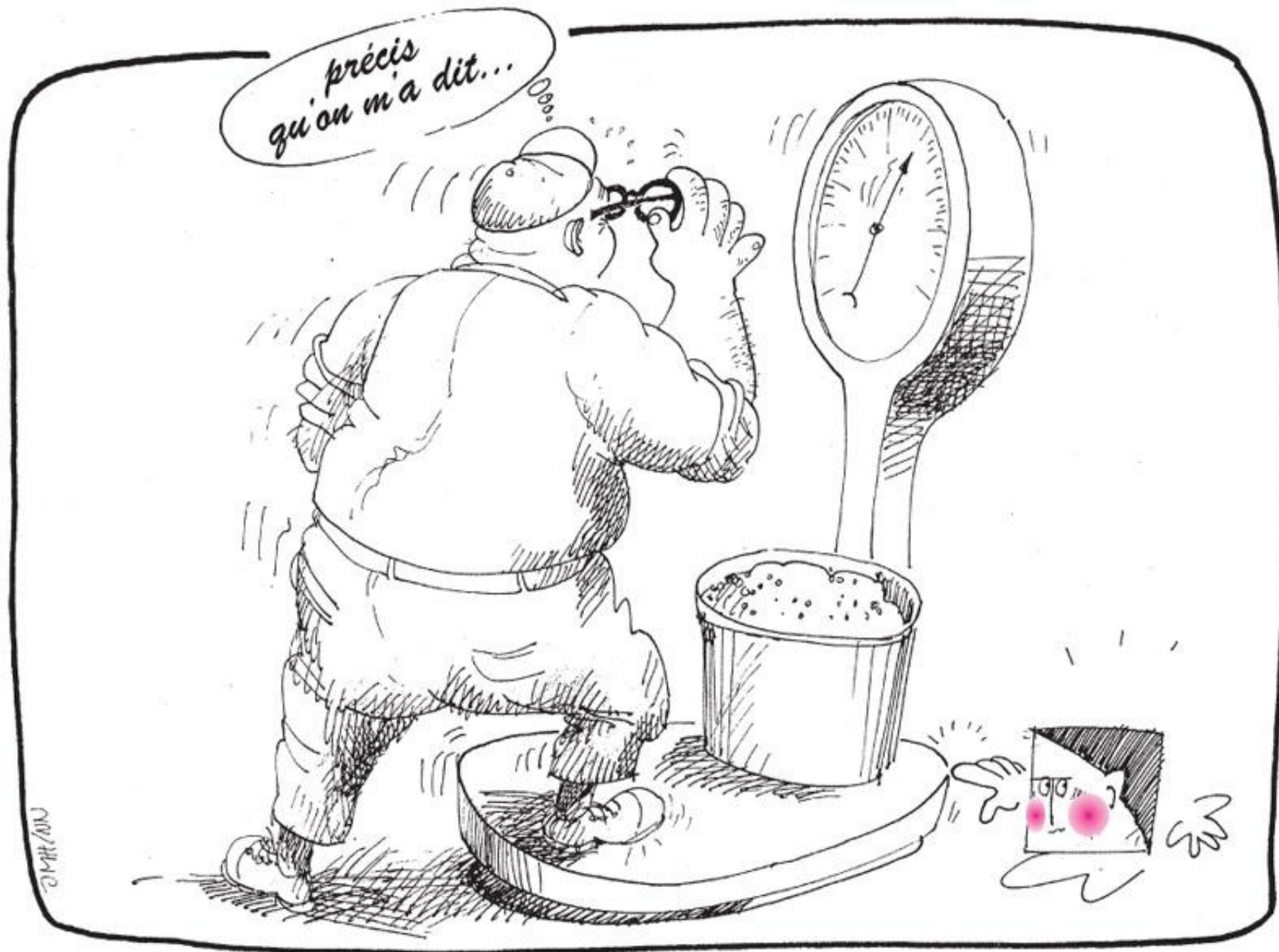
... kg sable .../...

... kg ciment ...

... litres d'eau

... (milli)litres de (super)plastifiant ...

etc.

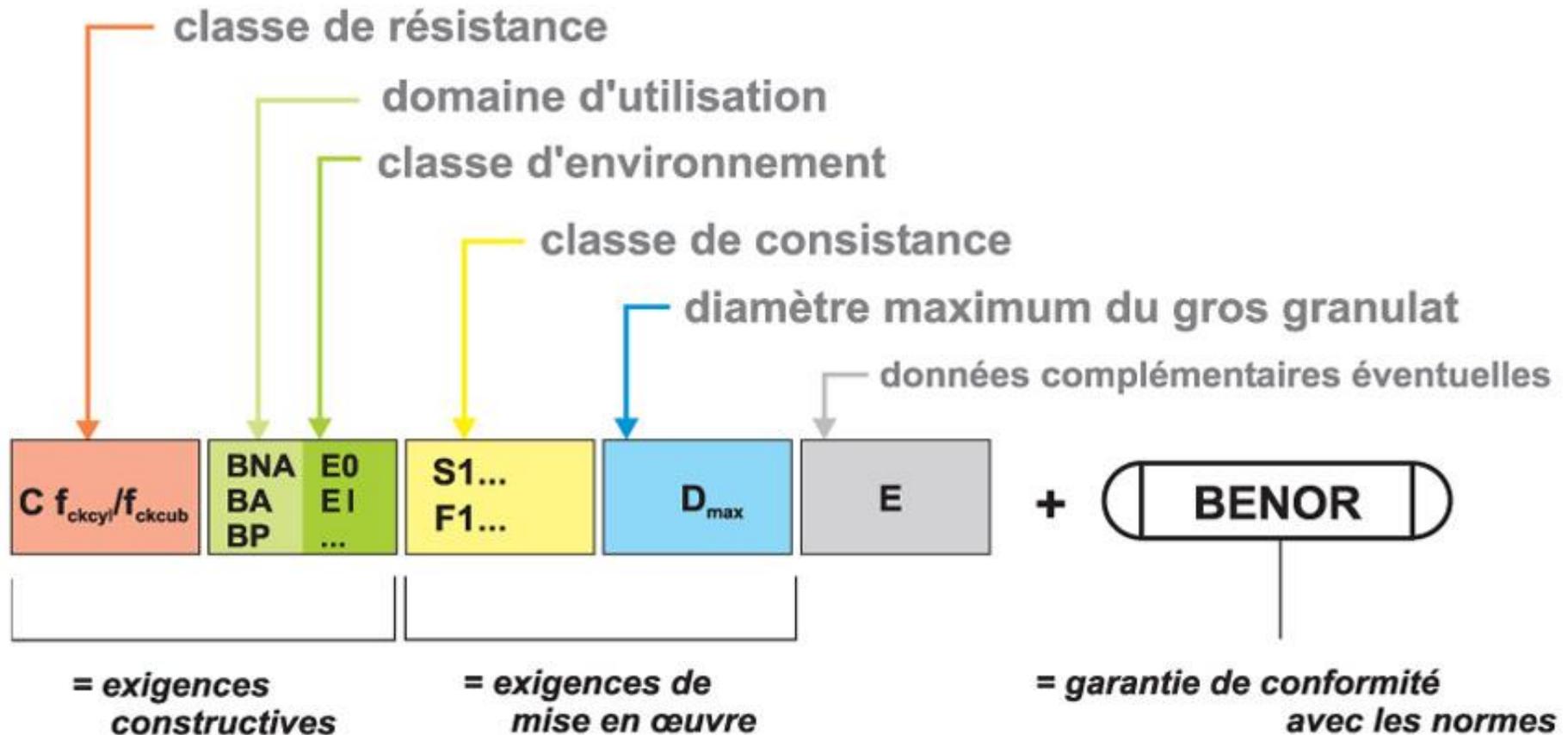


Prescrire un béton en spécifiant sa composition – une question d'expérience et de savoir faire ...

2b1 prescription d'un béton selon les normes NBN EN 206-1 & NBN B 15-001

sur base de

performances



2b1 prescription d'un béton selon les normes

NBN EN 206-1
& NBN B 15-001



Indiquer la
**CLASSE DE
RÉSISTANCE :**

C $f_{ck,cyl} / f_{ck,cub}$

Résistance caractéristique mesurée sur
des éprouvettes:

- cylindres ou cubes
- après 28 jours
- conservées à 20 ± 2 °C
- sous eau
ou humidité relative > 90%



En choisissant parmi les classes suivantes :

C 8/10

C 12/15

C 16/20 fondations légères

C 20/25 fondations, non armées ou armées légèrement

C 25/30

C 30/37 béton armé (colonnes, poutres, dalles...)

C 35/45

cas les plus courants

C 40/50

C 45/55

C 50/60

C 55/67

C 60/75

C 70/85

C 80/95

C 90/105

C 100/115

BHP - Béton de Haute Performance

4b1

2b1 prescription d'un béton selon les normes

NBN EN 206-1
& NBN B 15-001



teneur en ions chlore
(Cl⁻ en % de la masse du ciment)

Indiquer le
DOMAINE D'UTILISATION:

BNA = béton non armé
BA = béton armé
BP = béton précontraint

↓

≤ 1,0 %
≤ 0,40 %
≤ 0,20 %



BA ou BP : ~~CaCl₂ ou autres adjuvants à base de Cl⁻~~

2b1 prescription d'un béton selon les normes

**NBN EN 206-1
& NBN B 15-001**



Indiquer la (les) **CLASSE(S) D'ENVIRONNEMENT**
en choisissant parmi les classes suivantes:

(exemples:)

- | | | |
|------------|--|---|
| E0 | = environnement non agressif (<i>uniquement béton non armé</i>) | |
| E | = environnement intérieur | <i>intérieur d'habitations ou de bureaux</i> |
| EE | <i>= environnement extérieur</i> | |
| EE1 | = pas de gel | <i>fondations sous le niveau de gel</i> |
| EE2 | = gel, mais pas de contact avec la pluie | <i>certains immeubles parking, vides sanitaires</i> |
| EE3 | = gel et contact avec la pluie | <i>murs extérieurs exposés</i> |
| EE4 | = gel et agents de déverglaçage | <i>éléments d'infrastructure routière</i> |
| ES | <i>= environnement marin</i> | |
| | <i>- pas de contact avec l'eau de mer, mais bien avec l'air marin (jusqu'à 3 km de la côte) et/ou avec de l'eau saumâtre</i> | |
| ES1 | = pas de gel | <i>fondations sous le niv. de gel, exposées à de l'eau saumâtre</i> |
| ES2 | = gel | <i>murs extérieurs en zone côtière</i> |
| | <i>- contact avec l'eau de mer</i> | |
| ES3 | = immergé | |
| ES4 | = exposé aux marées et aux éclaboussures | <i>murs de quai</i> |
| EA | <i>= environnement agressif (toujours en combinaison avec une des classes d'environnement ci-dessus,</i> | |
| | <i>par ex.: EA2 + EE1, EA3 + EE3)</i> | |
| EA1 | = agressivité chimique faible | |
| EA2 | = modérée | <i>fosses à lisier</i> |
| EA3 | = forte | <i>silos couloirs</i> |

2b1 prescription d'un béton selon les normes NBN EN 206-1 & NBN B 15-001

EXIGENCES DE DURABILITÉ

- classe de résistance min. (*)
- teneur en ciment min. (kg/m³)
- E/C max.
- teneur en air min. (%)
(% ↗ lorsque D_{max} ↘)

C8/10	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C20/25	C30/37	C25/30	C35/45	C30/37
-	-	260	280	300	300	320	320	340	340
1,50	1,00	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,50	0,45	0,45
					4, 5 ou 6		4, 5 ou 6		4, 5 ou 6

"TYPES DE BÉTON"

T(1,50)	T(1,00)	T(0,65)	T(0,60)	T(0,55)	T(0,55)A	T(0,50)	T(0,50)A	T(0,45)	T(0,45)A
---------	---------	---------	---------	---------	----------	---------	----------	---------	----------

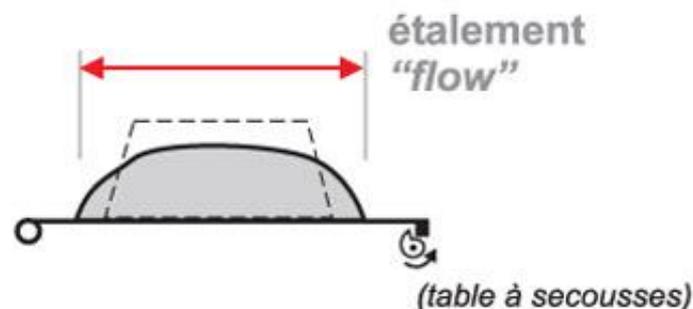
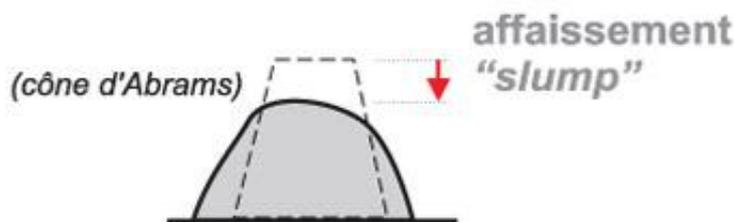
			BNA	BA ou BP	
environnement non agressif		E0	T(1,00)		+ AUTRES EXIGENCES (par exemple:)
environnement intérieur		E I	T(1,00)	T(0,65)	
env. extérieur	pas de gel	EE1	T(1,00)	T(0,60)	granulats non gélifs
	gel, pas de pluie	EE2	T(0,55)	T(0,55)	
	gel + pluie	EE3	T(0,55)	T(0,50)	
	gel + sels	EE4	T(0,45) ou T(0,55)A	T(0,45) ou T(0,45)A	
env. marin (air)	pas de gel	ES1	T(0,60)	T(0,50)	ciment HSR (à haute résistance aux sulfates)
	gel	ES2	T(0,55)	T(0,50)	
env. marin (eau)	immergé	ES3	T(0,55)	T(0,45)	
	marées/éclaboussures	ES4	T(0,45) ou T(0,55)A	T(0,45) ou T(0,45)A	
env. agressif	faible modéré fort	EA1	T(0,55)	T(0,55)	
		EA2	T(0,50)	T(0,50)	
		EA3	T(0,45)	T(0,45)	

(*) à comparer avec la classe de résistance choisie ci-avant !



2b1 prescription d'un béton selon les normes

NBN EN 206-1
& NBN B 15-001



Choisir une classe:

terre humide	S1	10-40 mm	F1	≤ 340 mm
semi-plastique (ferme)	S2	50-90	F2	350-410
plastique	S3	100-150	F3	420-480
fluide	S4	160-210	F4	490-550
	S5	≥ 220	F5	560-620
			F6	≥ 630

cas le plus courant

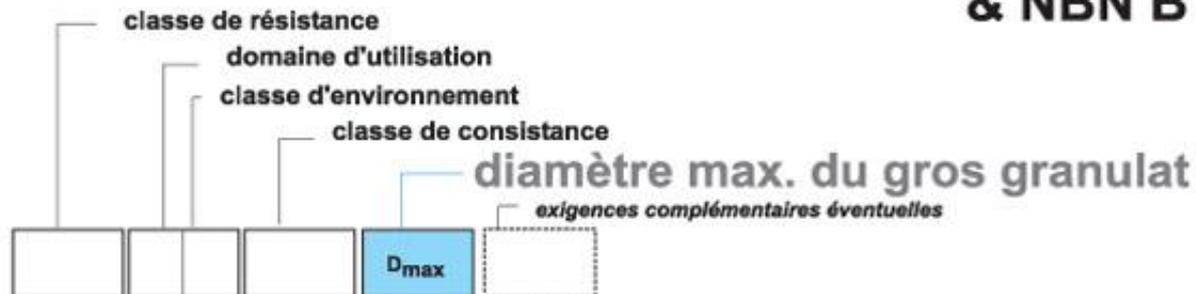


ajouter de l'eau sur chantier ⇒



2b1 prescription d'un béton selon les normes

NBN EN 206-1
& NBN B 15-001



Choisir D_{max}
dans la série:

6	8	10	11	12	14	16	20	22	32	40	45	63	mm
---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

De sorte que:

$$D_{max} \leq 0,20 a$$

$$\leq 0,20 b$$

$$\leq 0,75 c$$

$$\leq 0,25 d$$

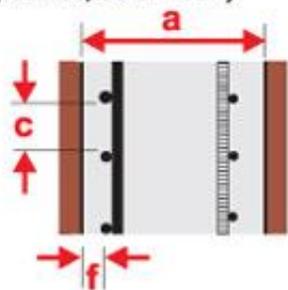
$$\leq 0,40 e$$

$$\leq f$$

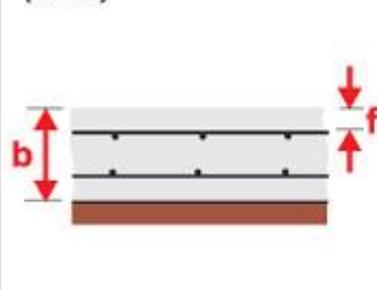


(enrobage en cas de sels
et/ou d'agents agressifs: ≥ 40 mm)

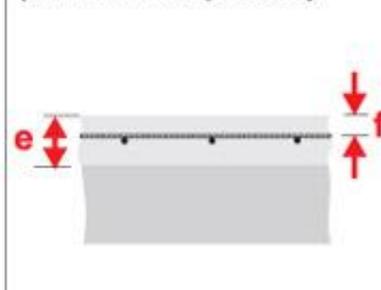
(poutres, colonnes...)



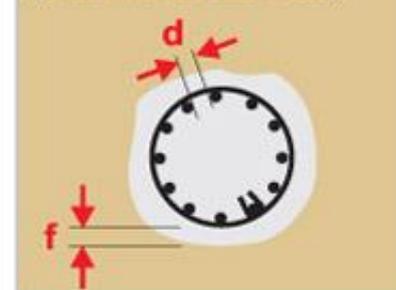
(dalles)



(couche de compression)



(pieux moulés dans le sol)

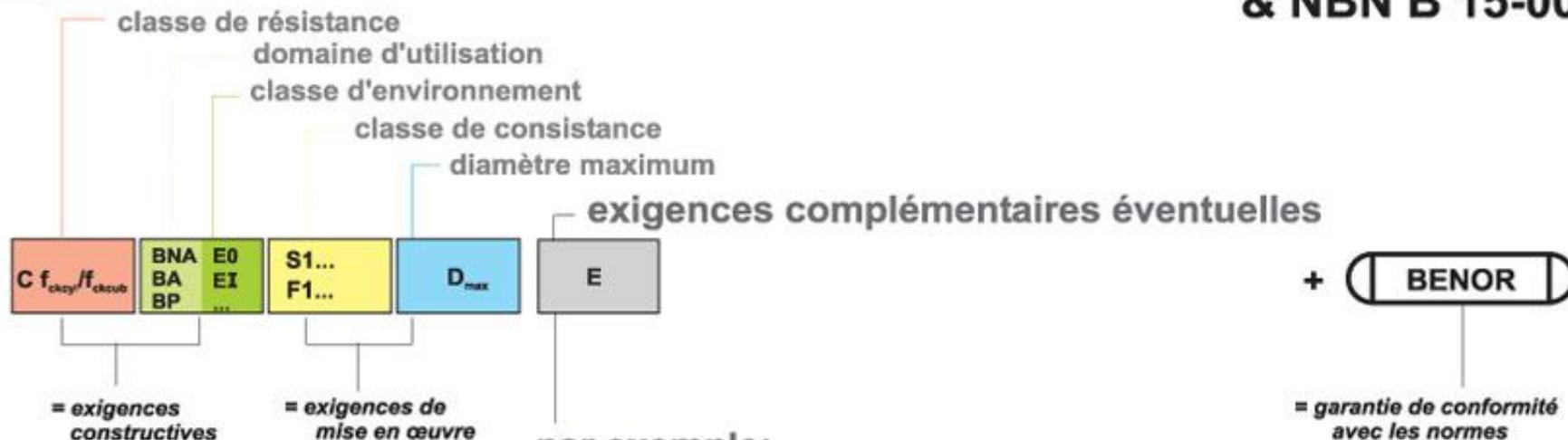


1a

4b4

2b1 prescription d'un béton selon les normes

NBN EN 206-1
& NBN B 15-001



par exemple:

exigences en rapport avec la *composition*

- type de ciment (p. ex. ciment LA en cas de risque de réaction alcali-silice)
- teneur en ciment minimum
- type de béton avec air entraîné (classes d'environnement EE4 et ES4)
- ...

exigences en rapport avec le *béton frais*

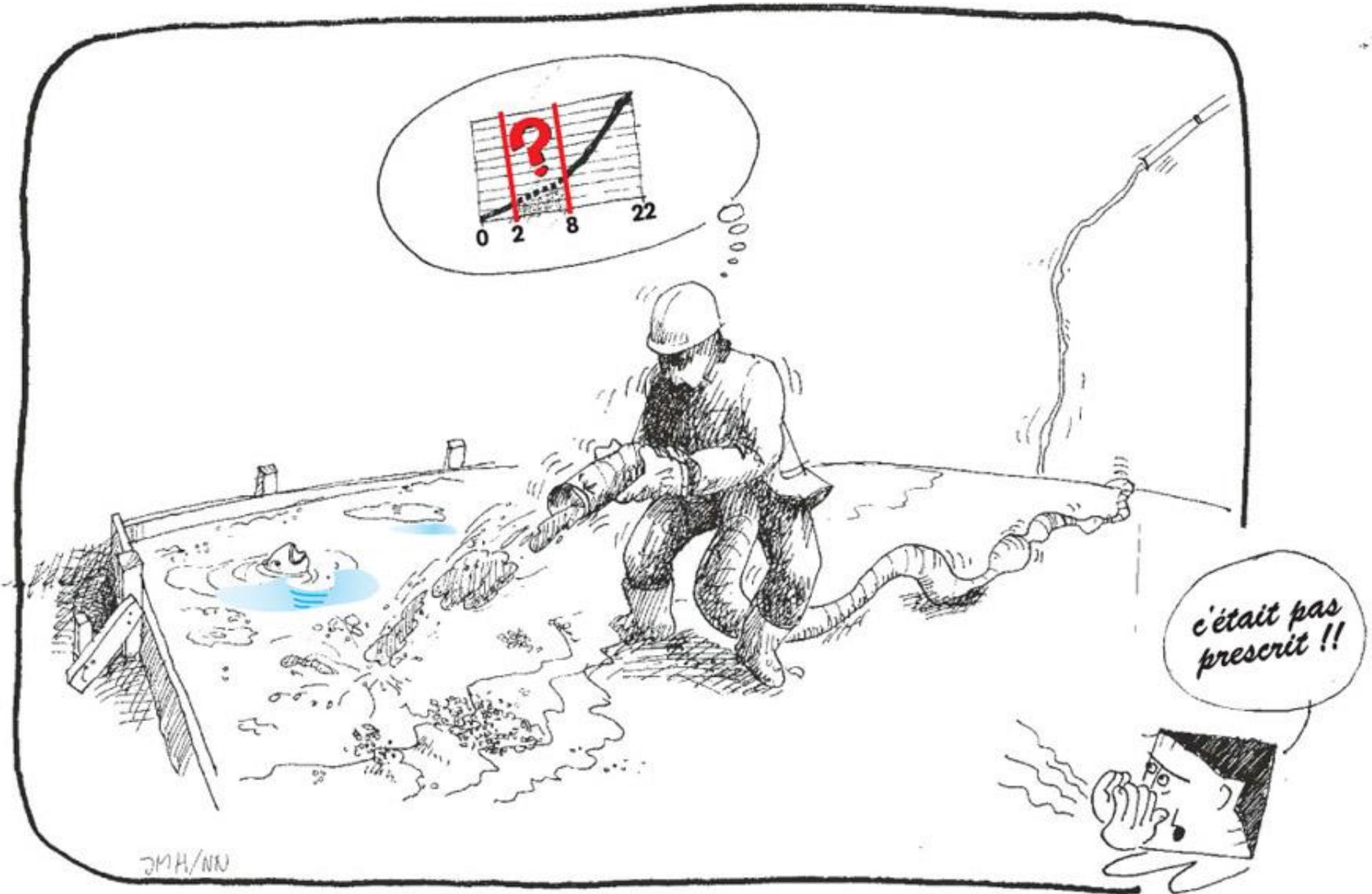
- ouvrabilité améliorée
- accélération/ralentissement de la prise du ciment
- augmentation de la teneur en air
- ...

exigences en rapport avec la *mise en œuvre*

- pompabilité
- ...

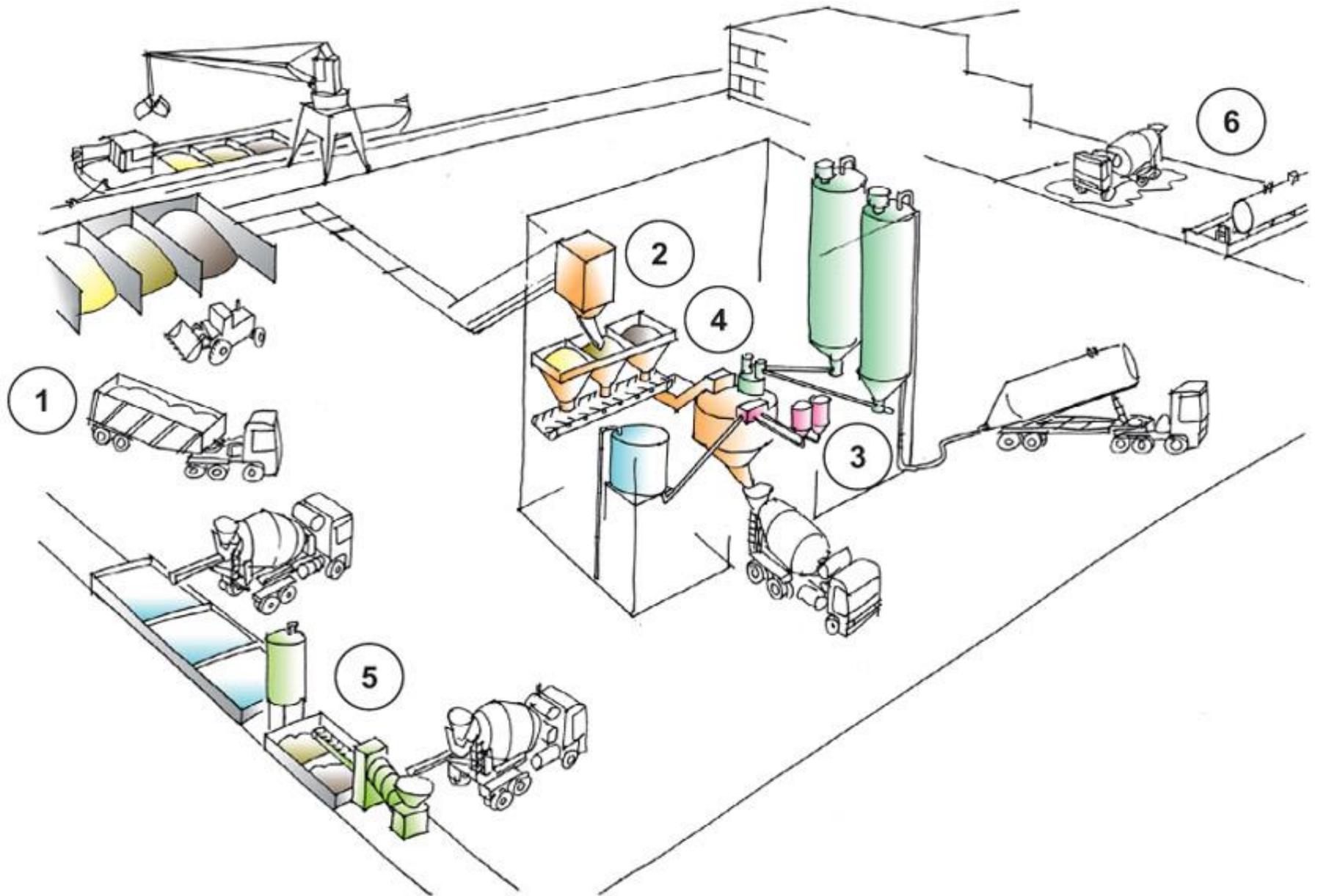
exigences en rapport avec le *béton durci*

- résistance accrue contre l'absorption d'eau
- résistance à l'usure
- étanchéité améliorée
- ...

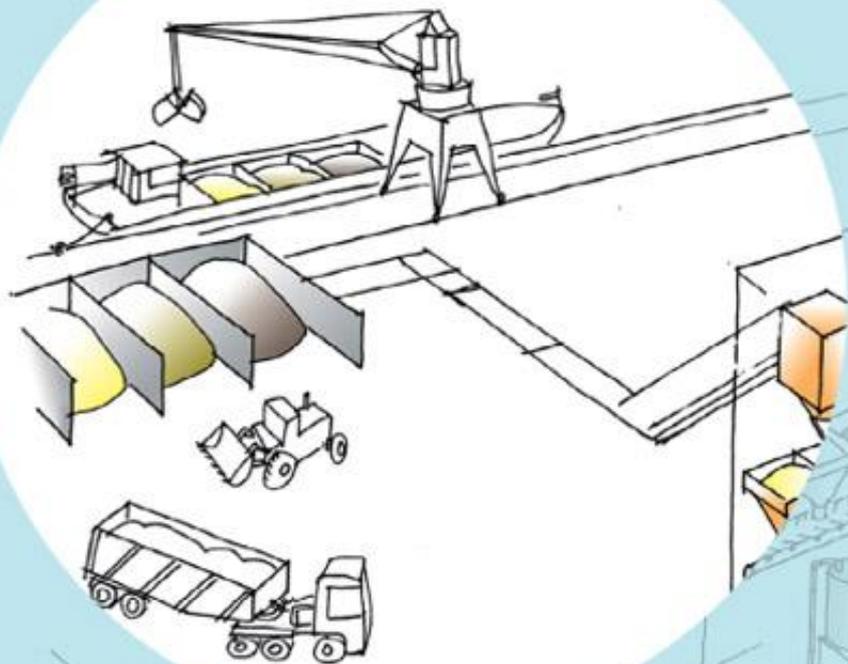


Pour certains ouvrages en béton, des exigences complémentaires doivent être imposées. Elles concernent soit le béton frais, soit le béton durci.

2b2 centrale à béton



2b2 centrale à béton



1

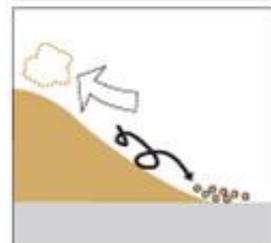
GRANULATS (entreposage)



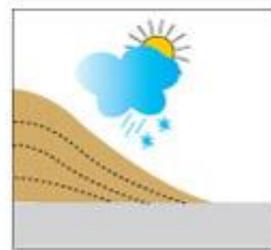
Risques de défauts de composition:



- mélange / impuretés...

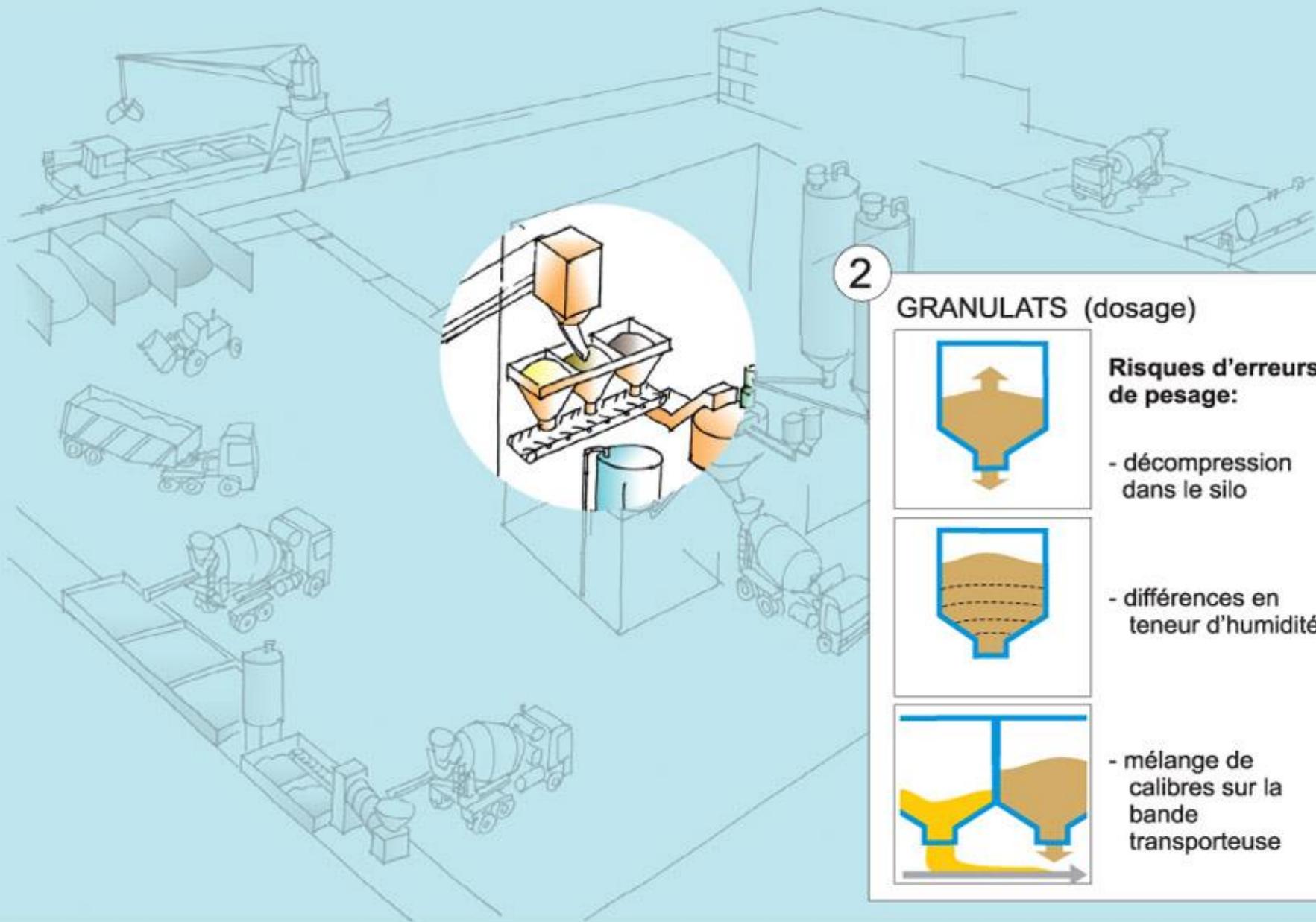


- ségrégation



- différences en teneur d'humidité

2b2 centrale à béton



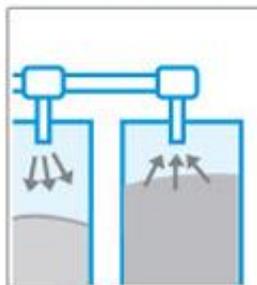
2b2 centrale à béton

3

CIMENT

Attention

- à l'humidité
- au mélange des ciments par les filtres, systèmes d'aération...



EAU

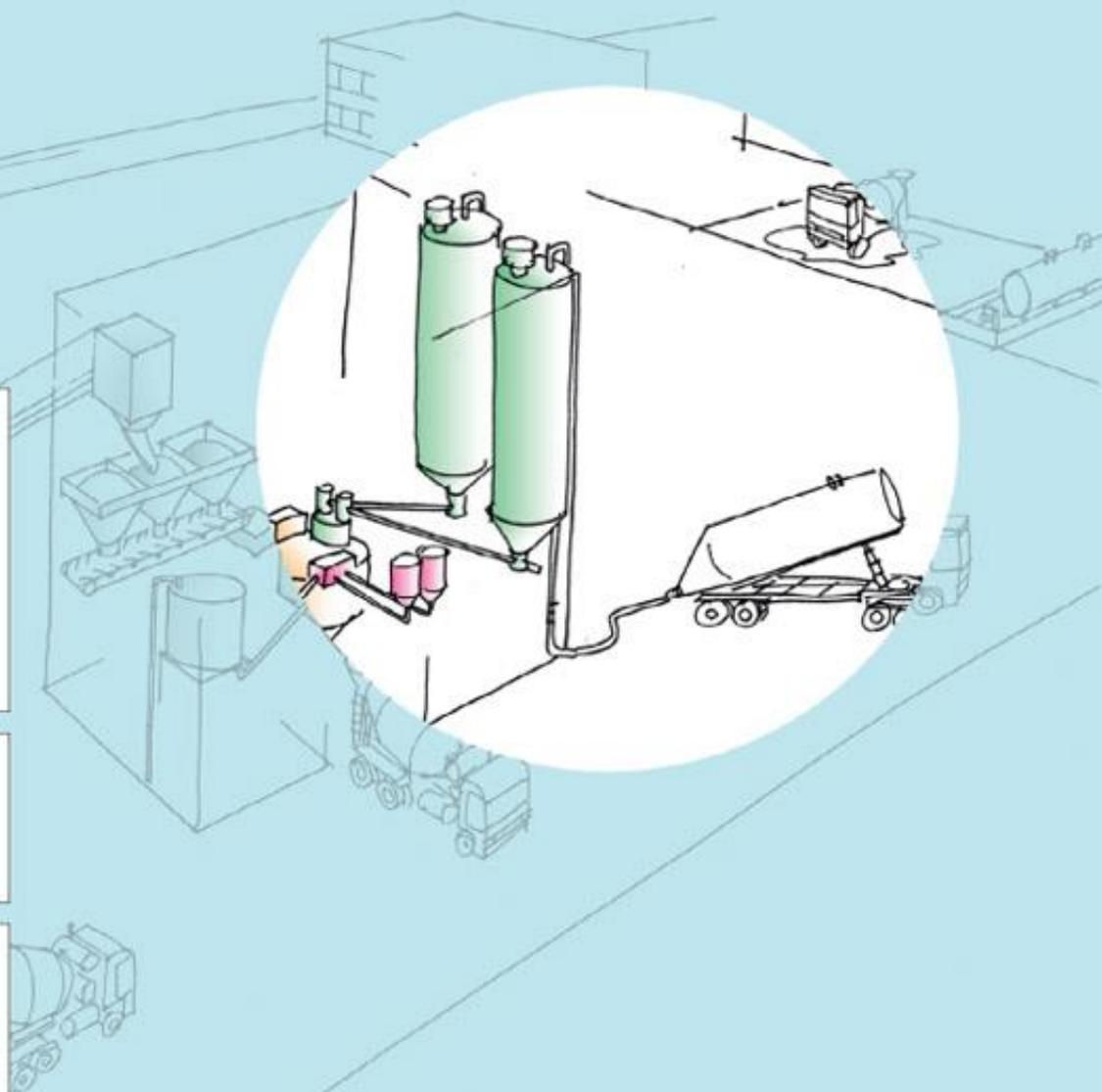
Puits, voie d'eau, recyclage :
contrôler la qualité.

ADJUVANTS

Eviter les risques de:

- gel, hautes températures...
- décantation, dessiccation...
- mélange / impuretés / résidus...

Etiqueter les emballages.



2b2 centrale à béton

4

MALAXEUR

A respecter :

- quantités min./max.
- ordre d'introduction
- temps de malaxage

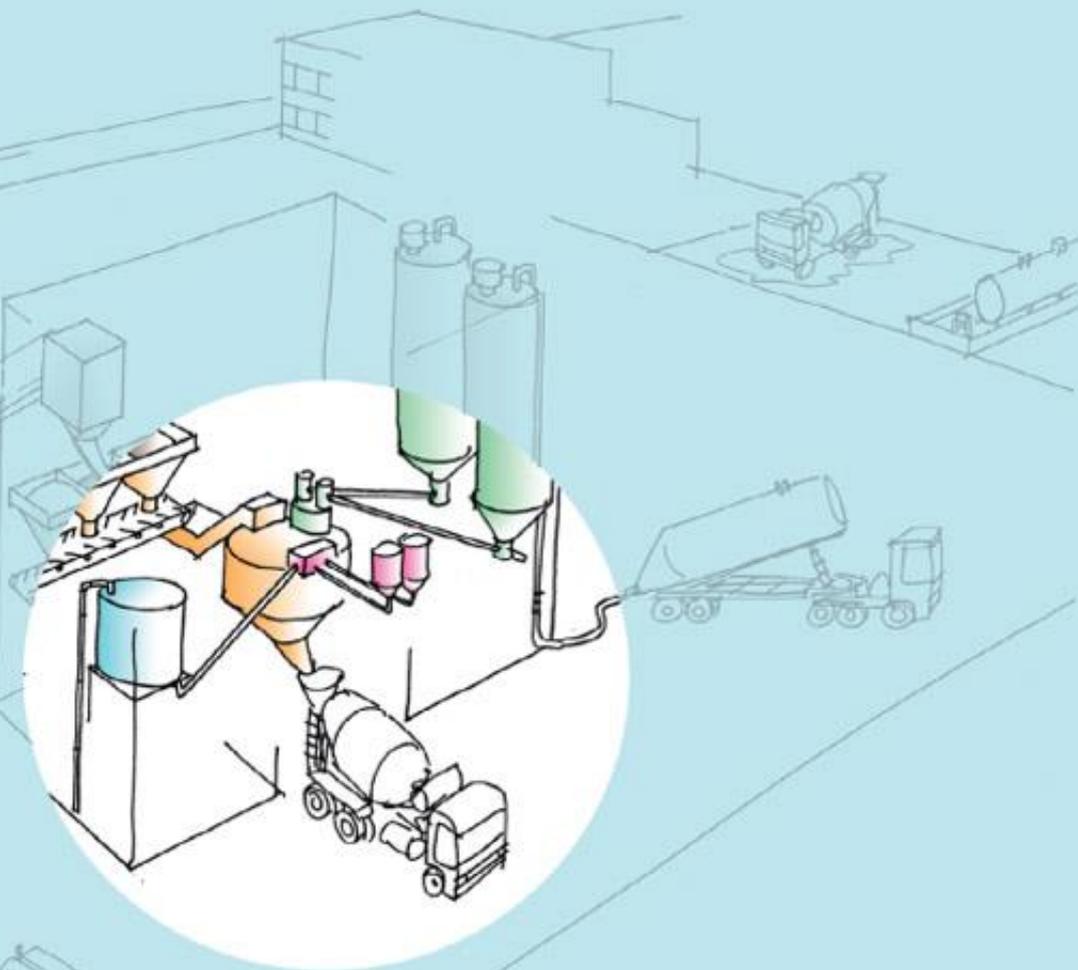


CAMION MIXER

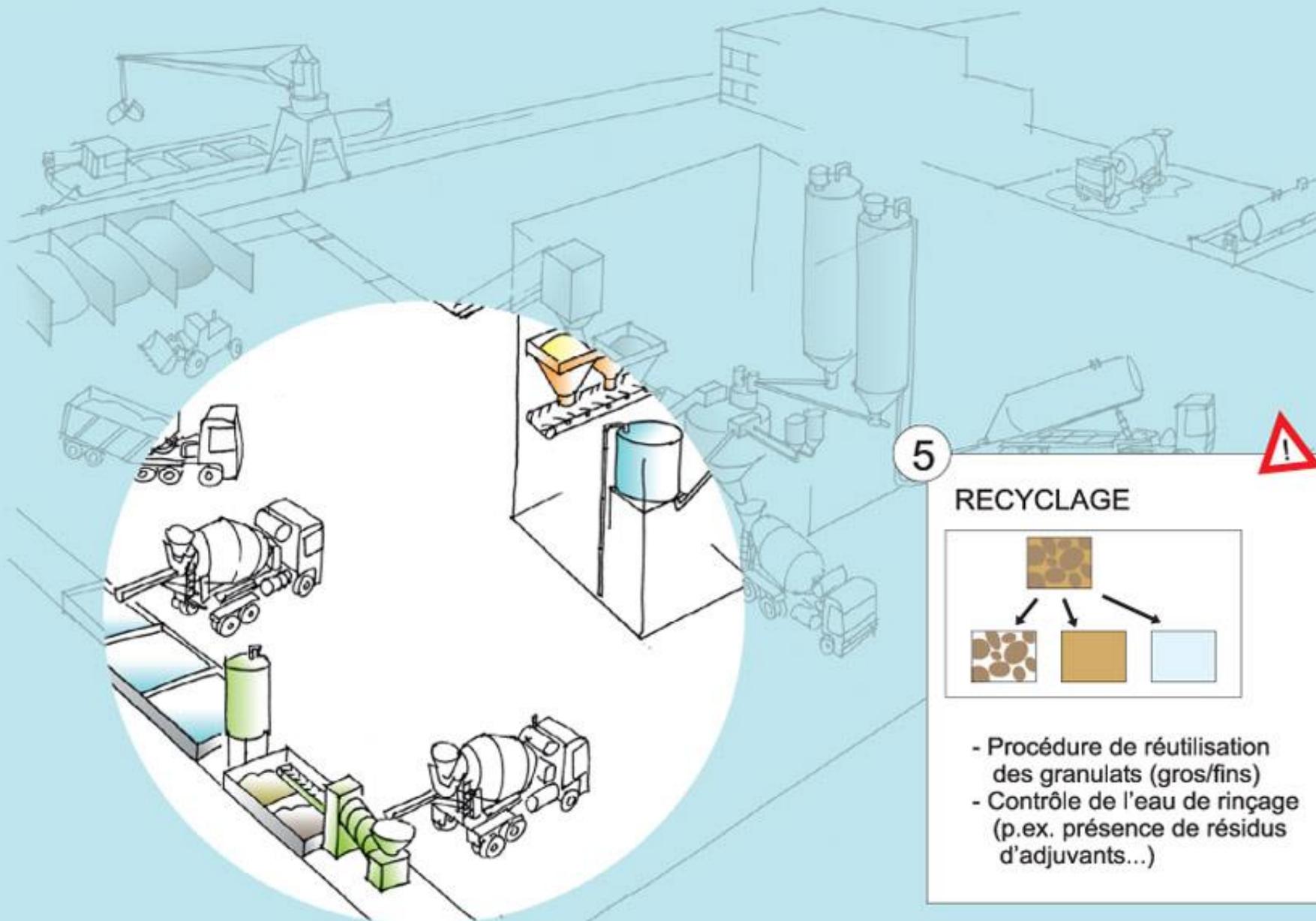


Attention:

- pas de résidus d'eau de rinçage
- vitesse de rotation correcte

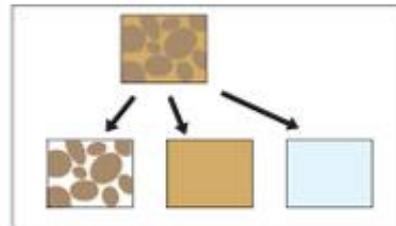


2b2 centrale à béton



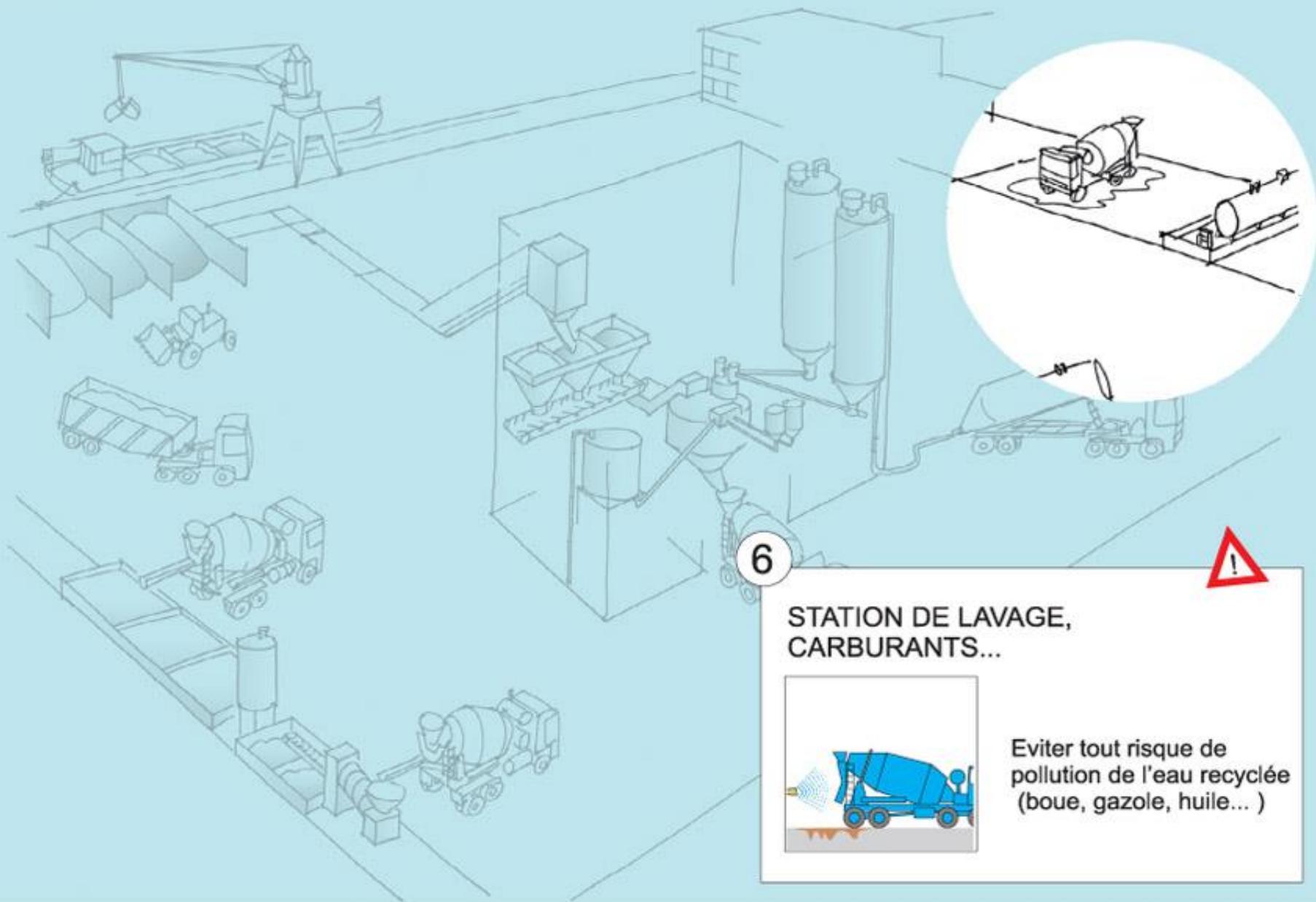
5

RECYCLAGE



- Procédure de réutilisation des granulats (gros/fins)
- Contrôle de l'eau de rinçage (p.ex. présence de résidus d'adjuvants...)

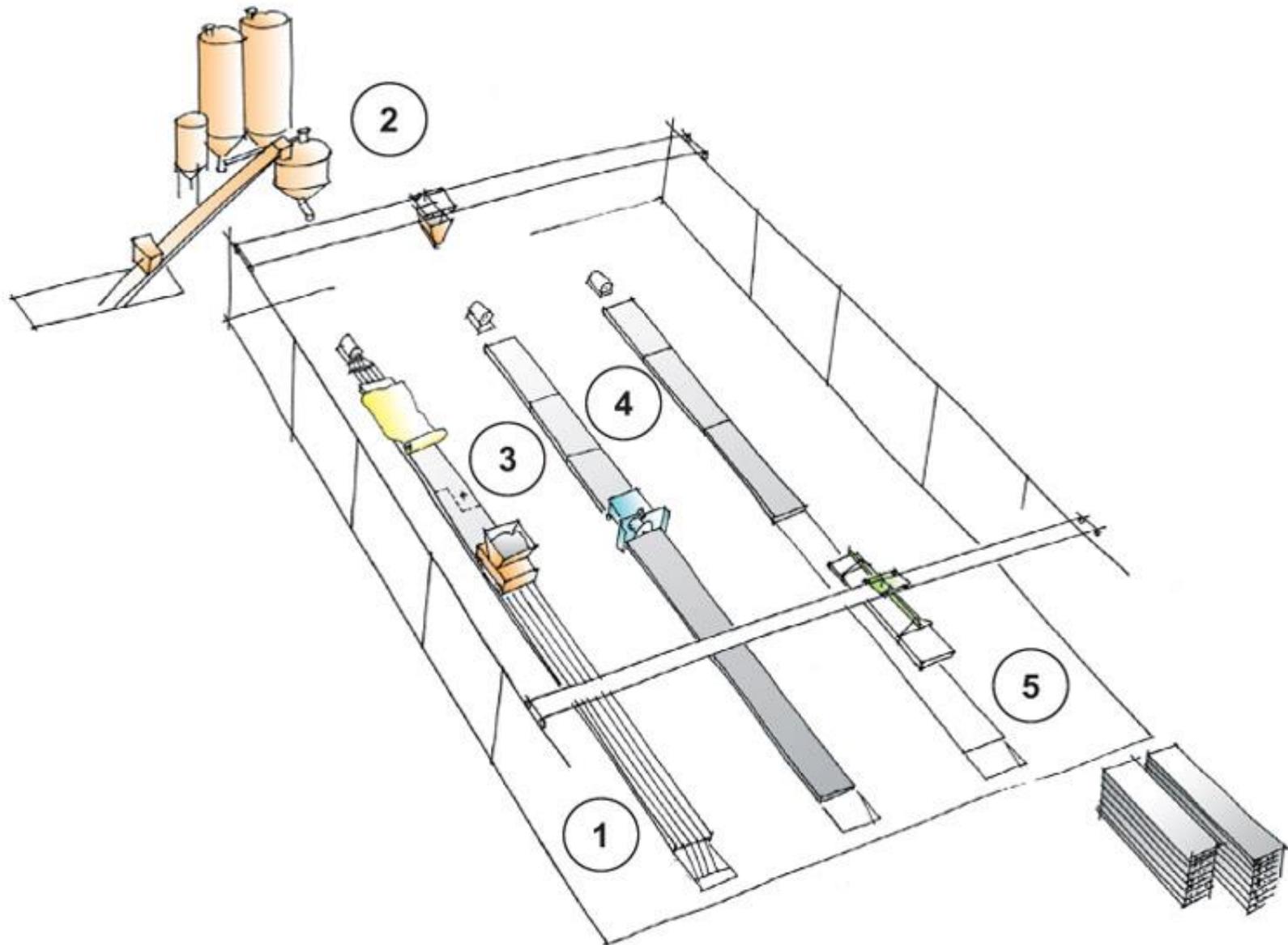
2b2 centrale à béton



2b3

usine de béton

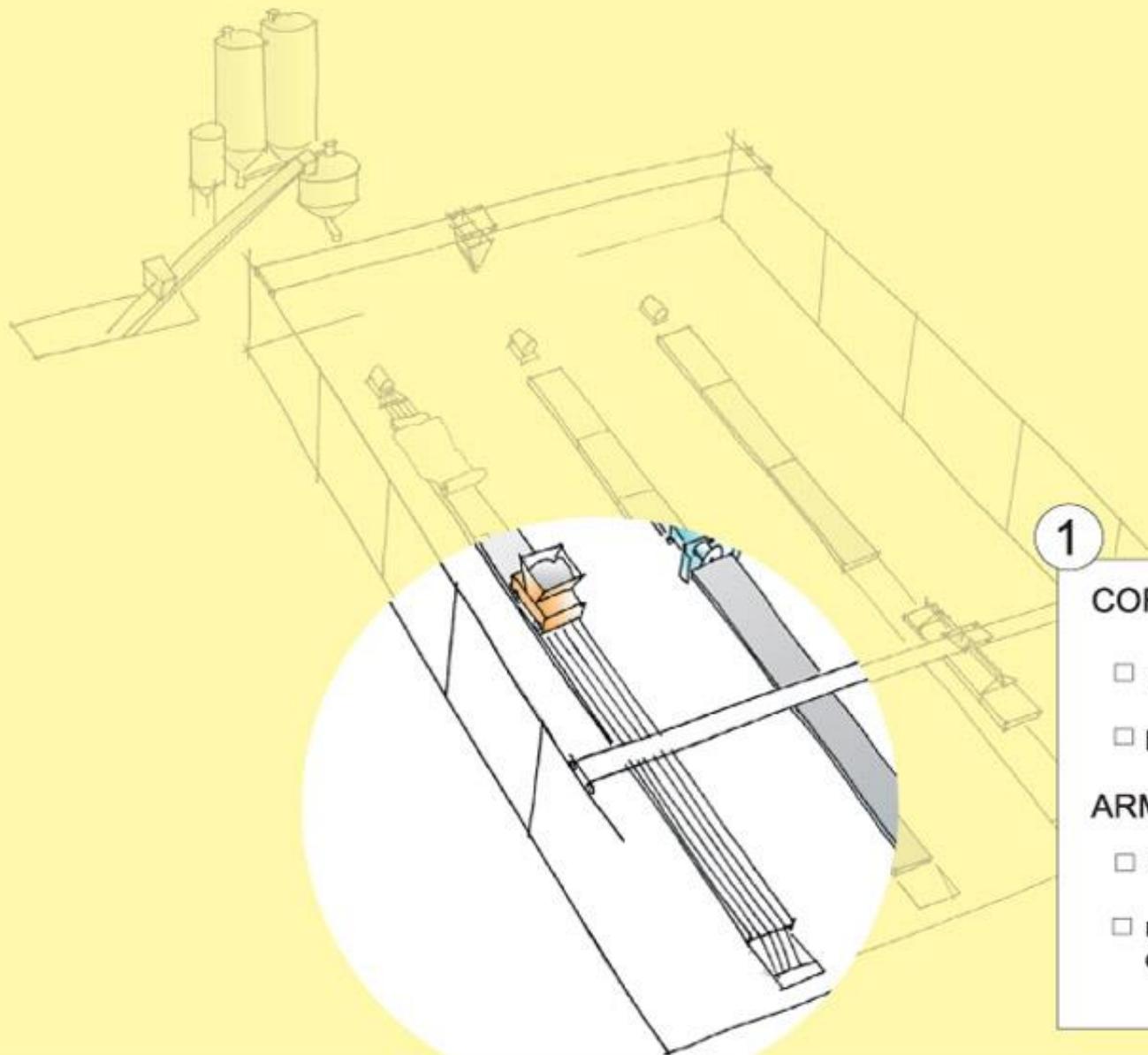
hourdis / poutres



2b3

usine de béton

hourdis / poutres



1

COFFRAGE

- propreté
- produit de décoffrage

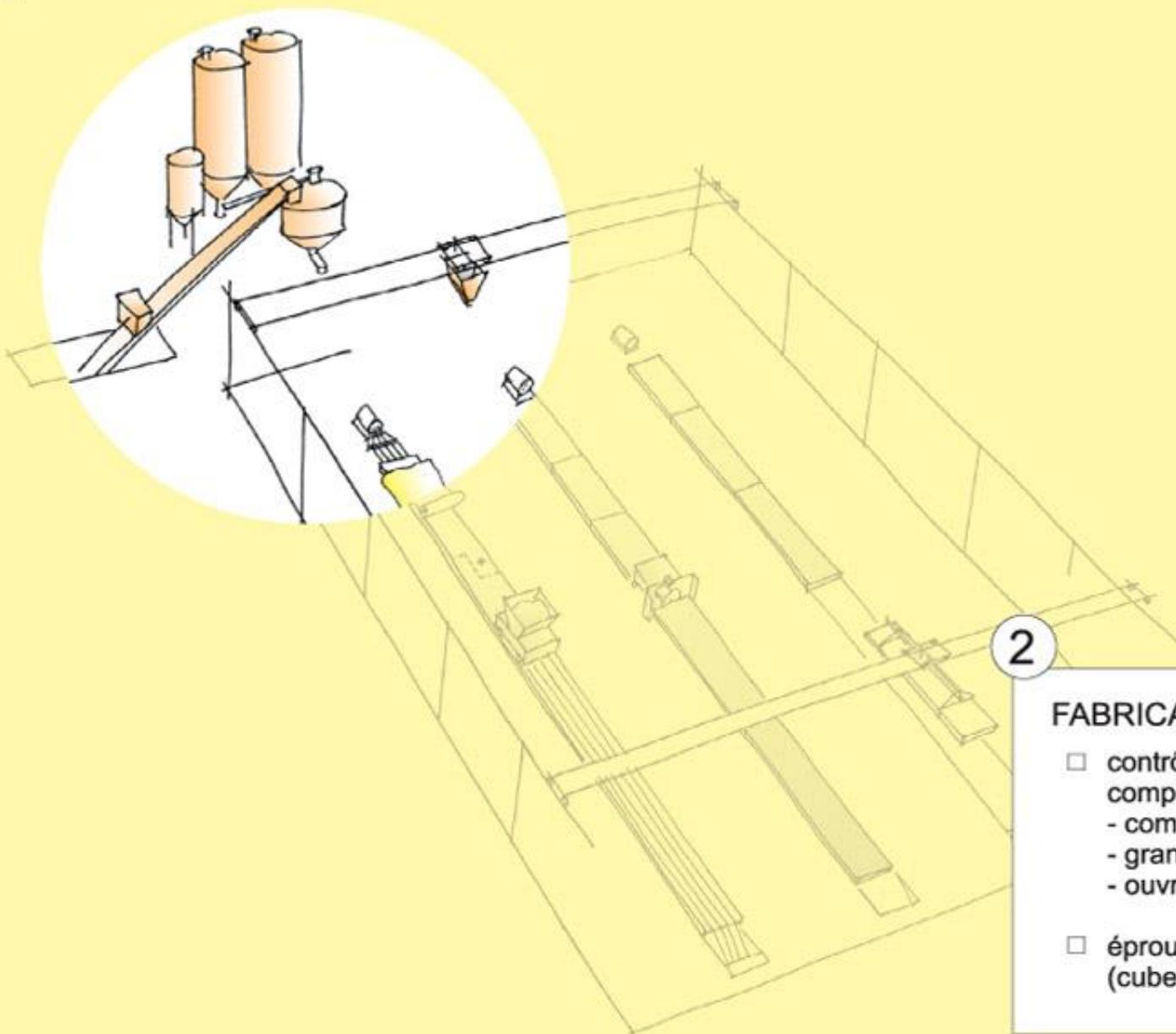
ARMATURE

- exempte de graisse/huile
- ne jamais souder en cas de précontrainte

2b3

usine de béton

hourdis / poutres



2



FABRICATION DU BETON

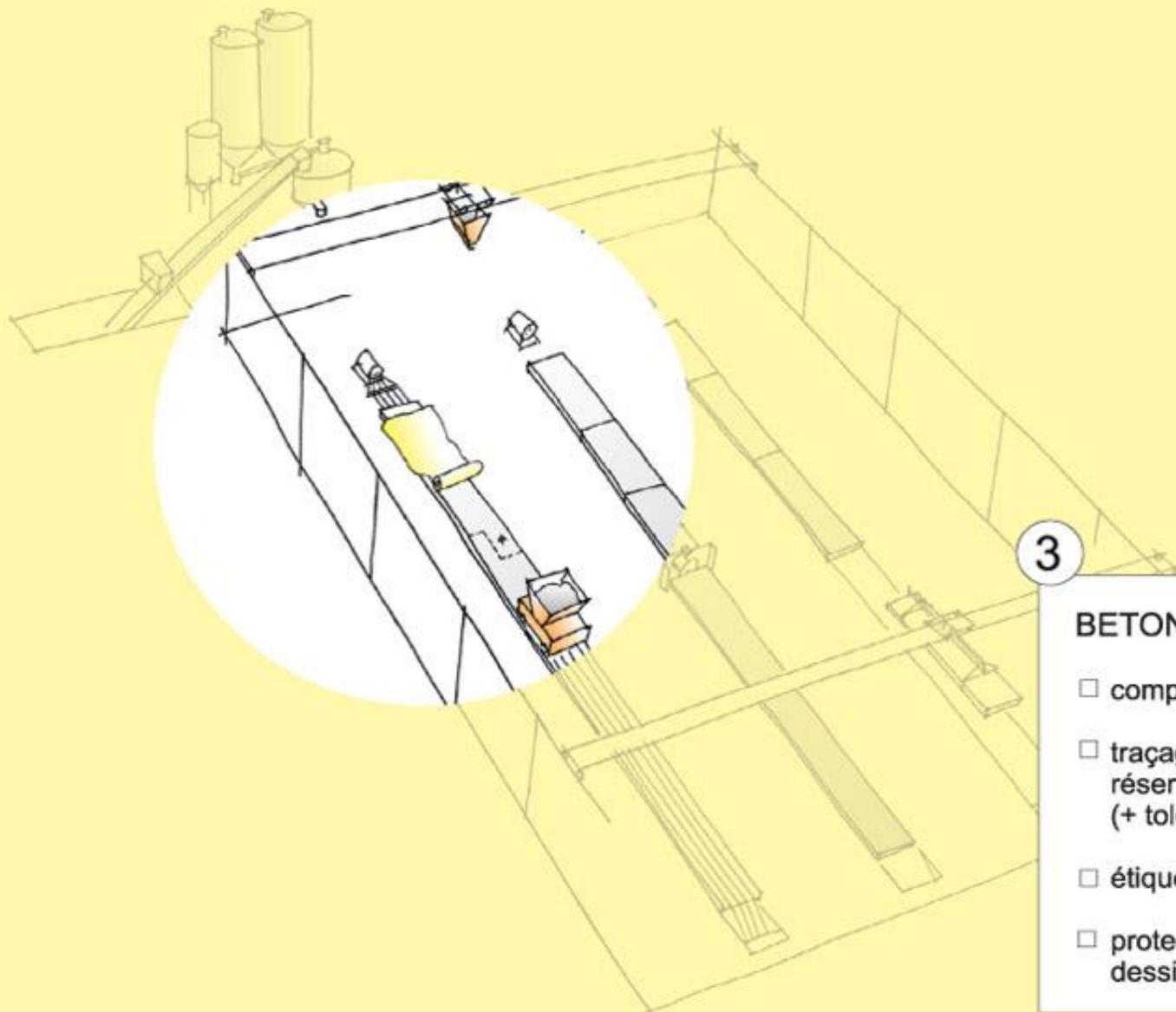
- contrôle de la composition:
 - composants
 - granulométrie
 - ouvrabilité

- éprouvettes (cubes/cylindres)

2b3

usine de béton

hourdis / poutres



3



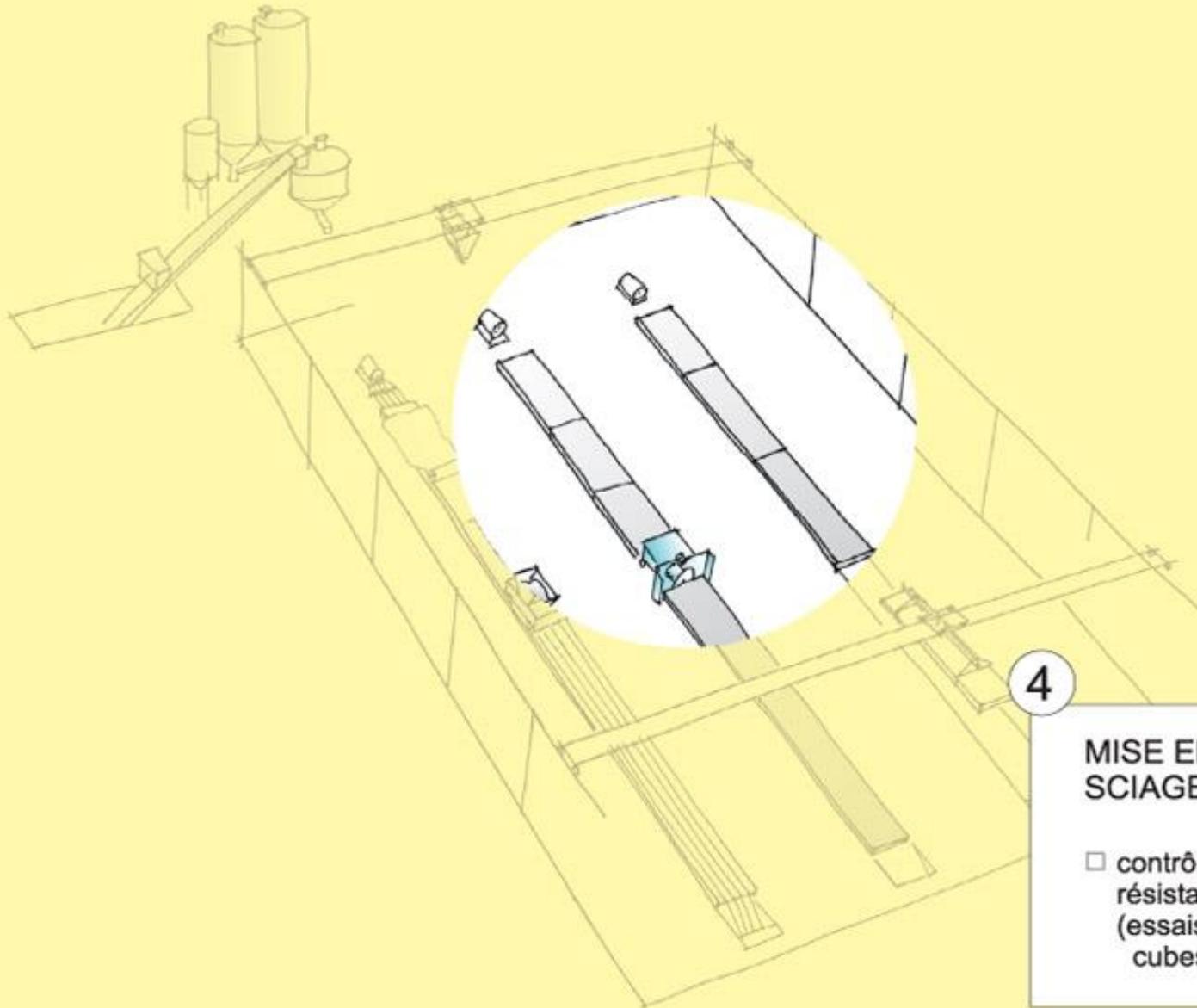
BETONNAGE

- compactage
- traçage des longueurs, réservations, détails... (+ tolérances)
- étiquetage
- protection contre la dessiccation

2b3

usine de béton

hourdis / poutres



4



**MISE EN TENSION
SCIAGE / DECOFFRAGE**

- contrôle de la résistance du béton (essais sur cubes/cylindres)

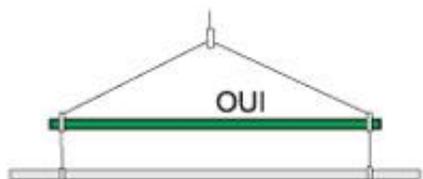
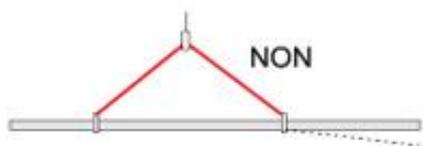
2b3

usine de béton

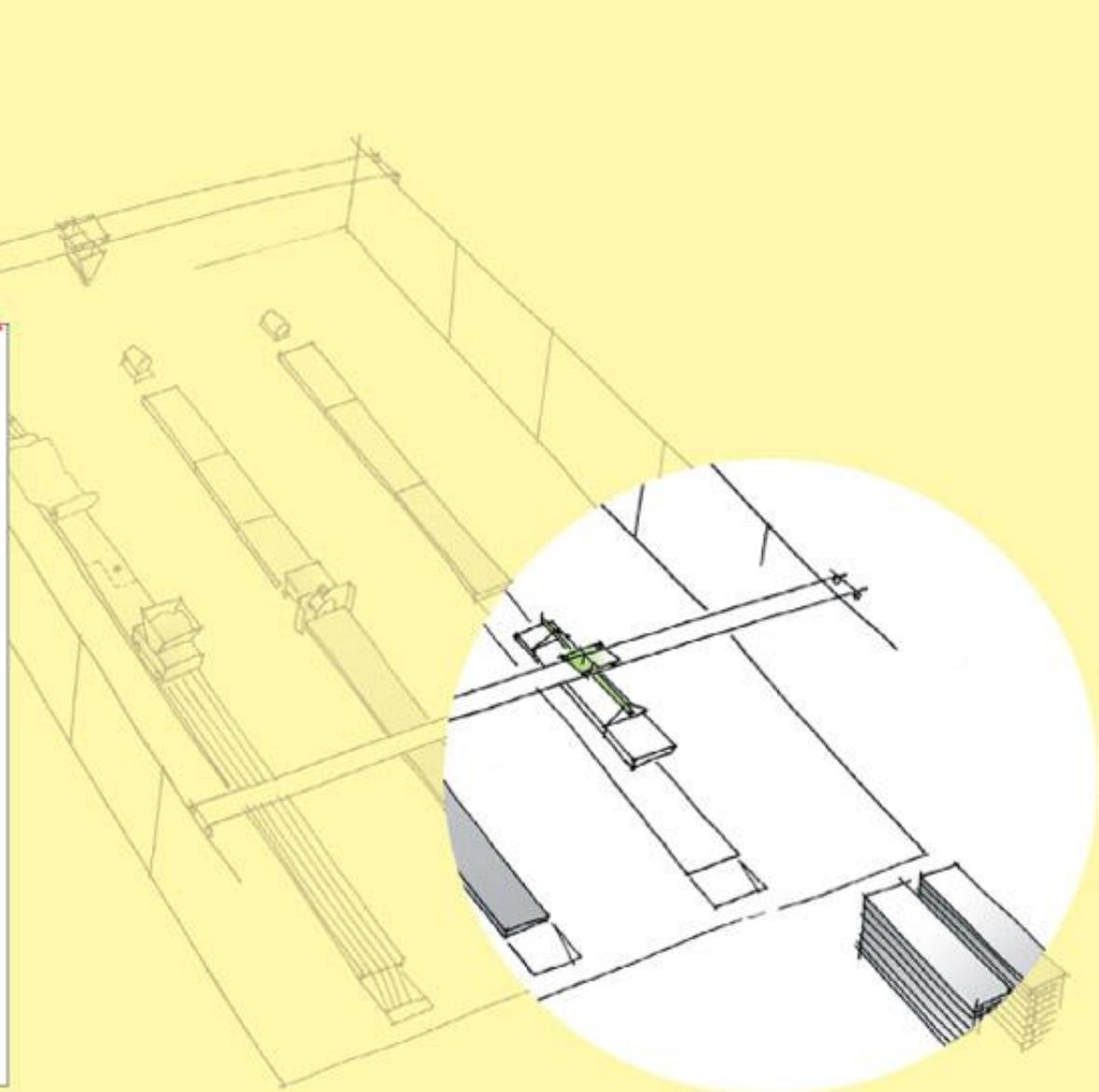
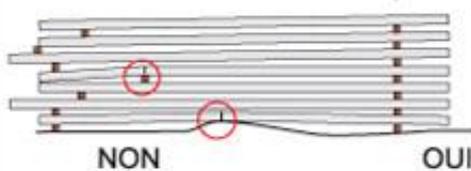
hourdis / poutres

5

STOCKAGE



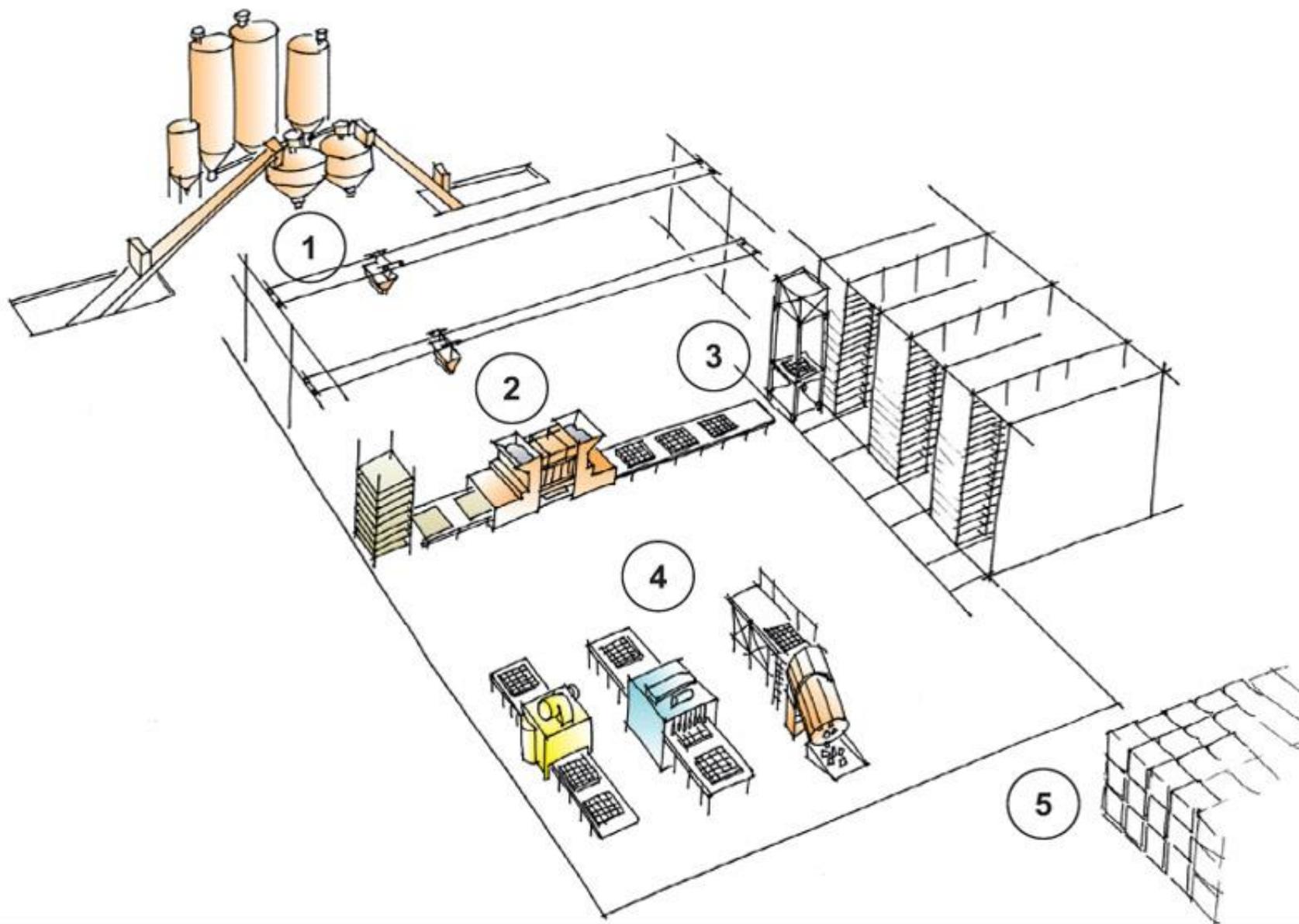
≤ 1 m



2b3

usine de béton

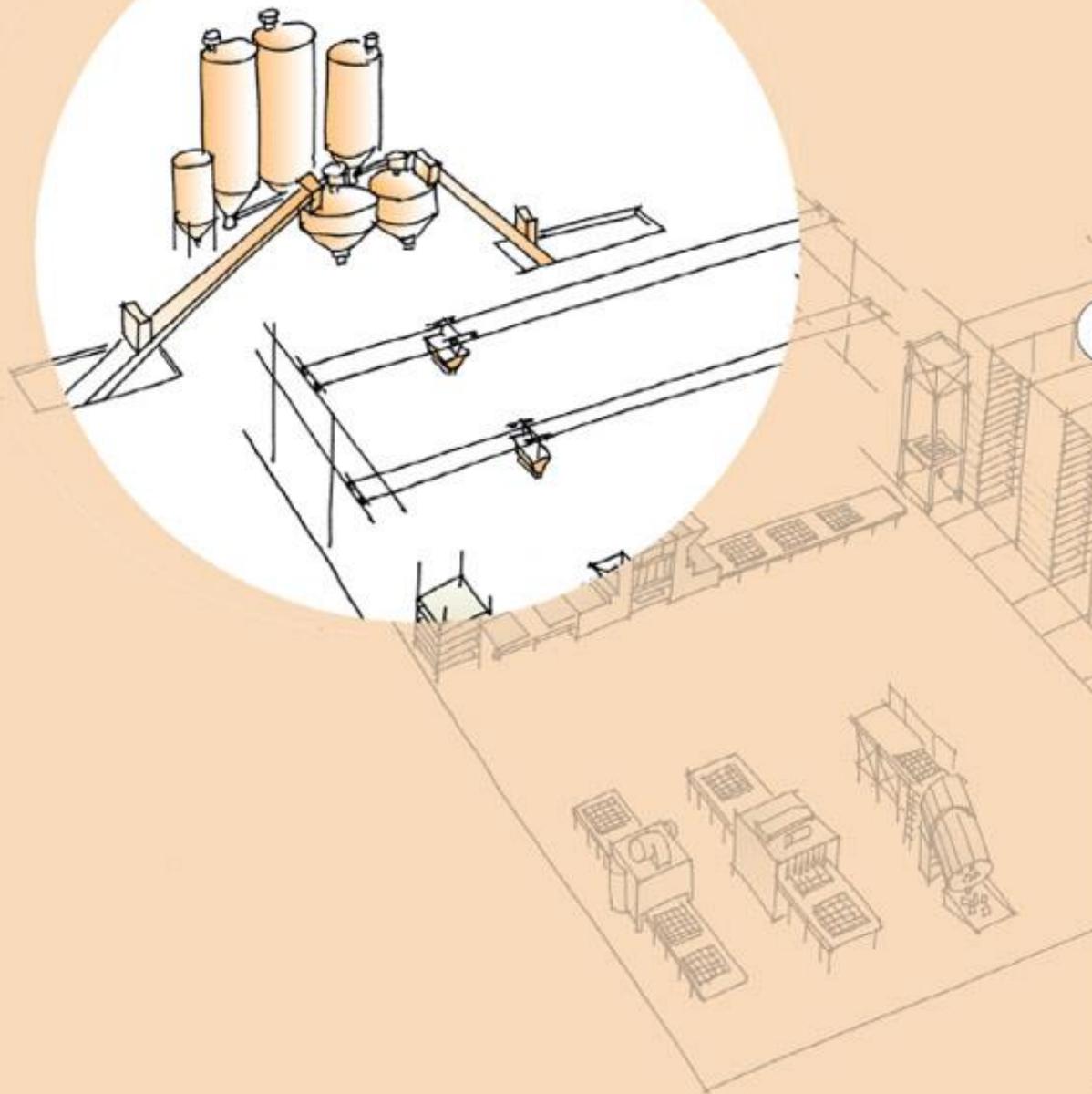
blocs / pavés



2b3

usine de béton

blocs / pavés



1

FABRICATION DU BETON

consistance *'terre humide'*:

a- prendre un peu de
béton frais



b- faire une boulette en pressant:
l'eau ne s'égoutte pas du béton



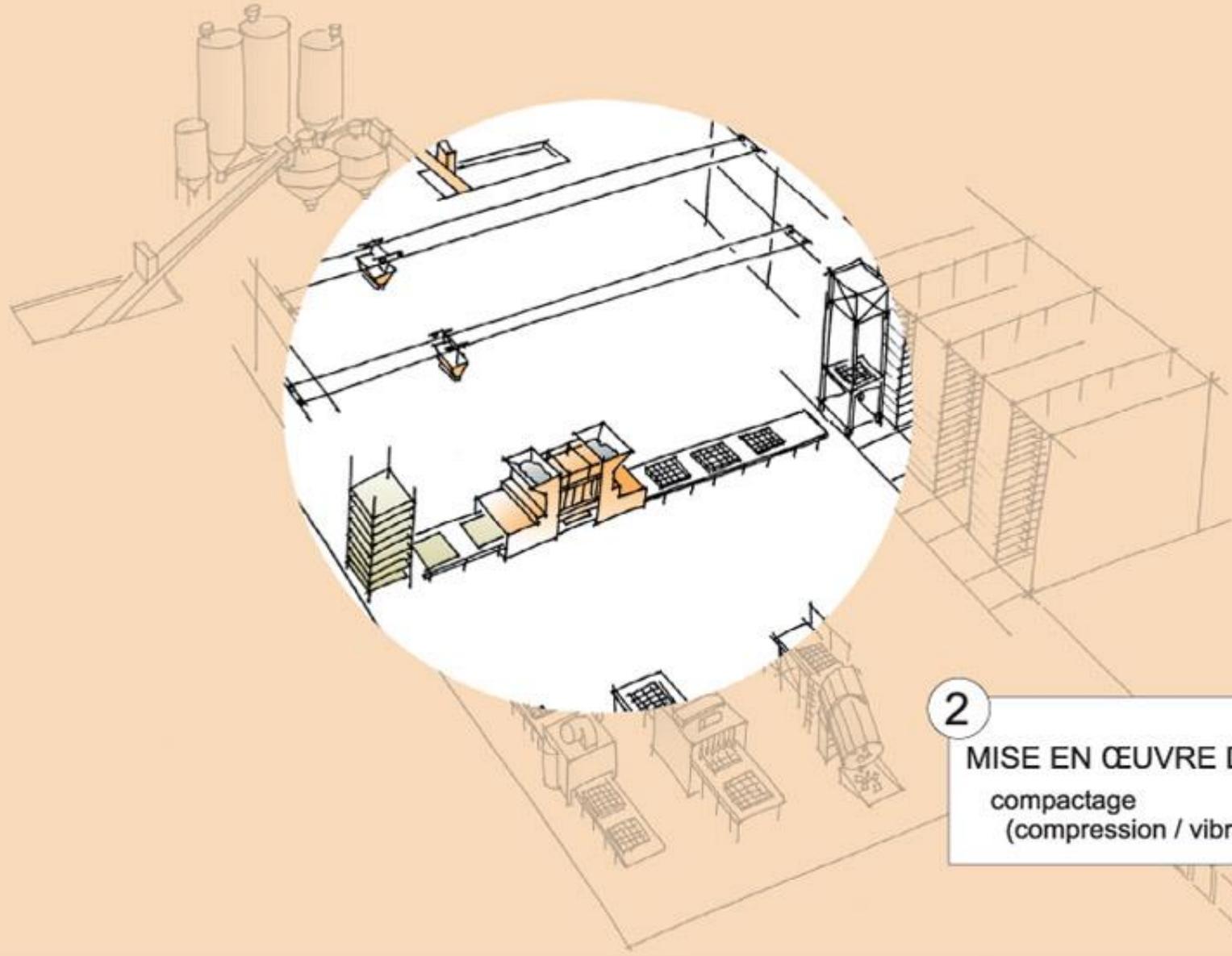
c- la boulette doit garder sa forme,
la main est humide



2b3

usine de béton

blocs / pavés



2

MISE EN ŒUVRE DU BETON

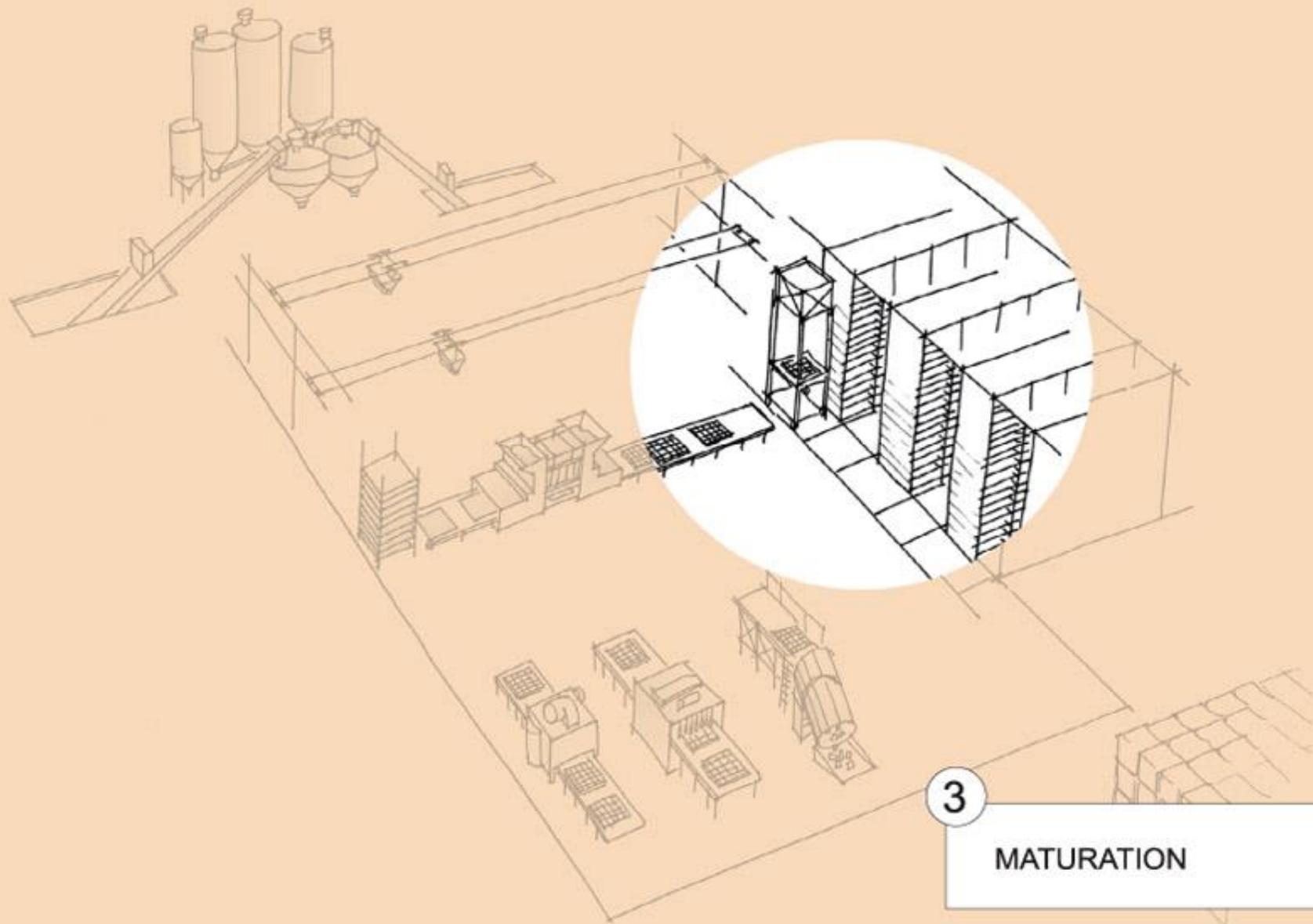
compactage
(compression / vibration)

3b4

2b3

usine de béton

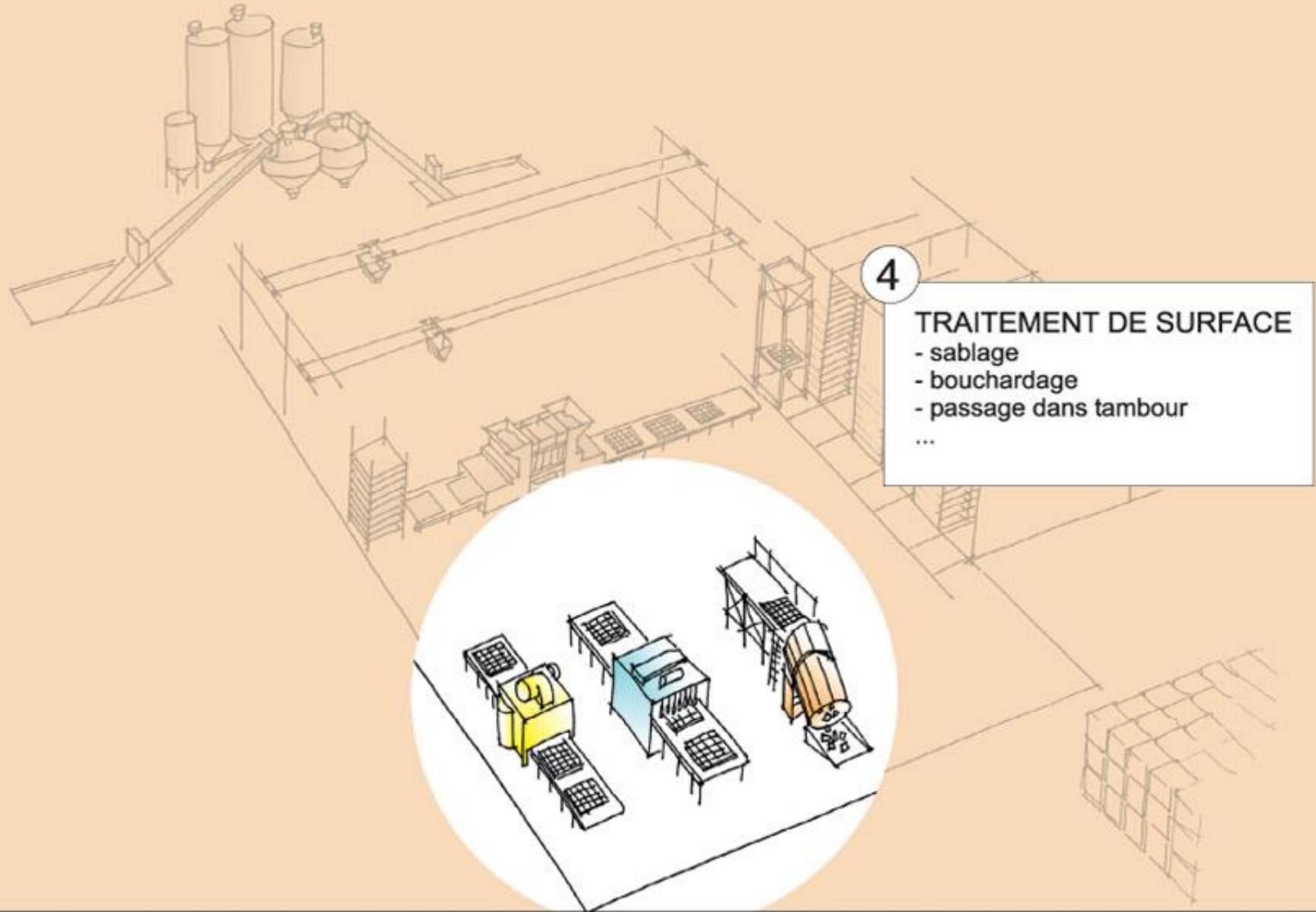
blocs / pavés



2b3

usine de béton

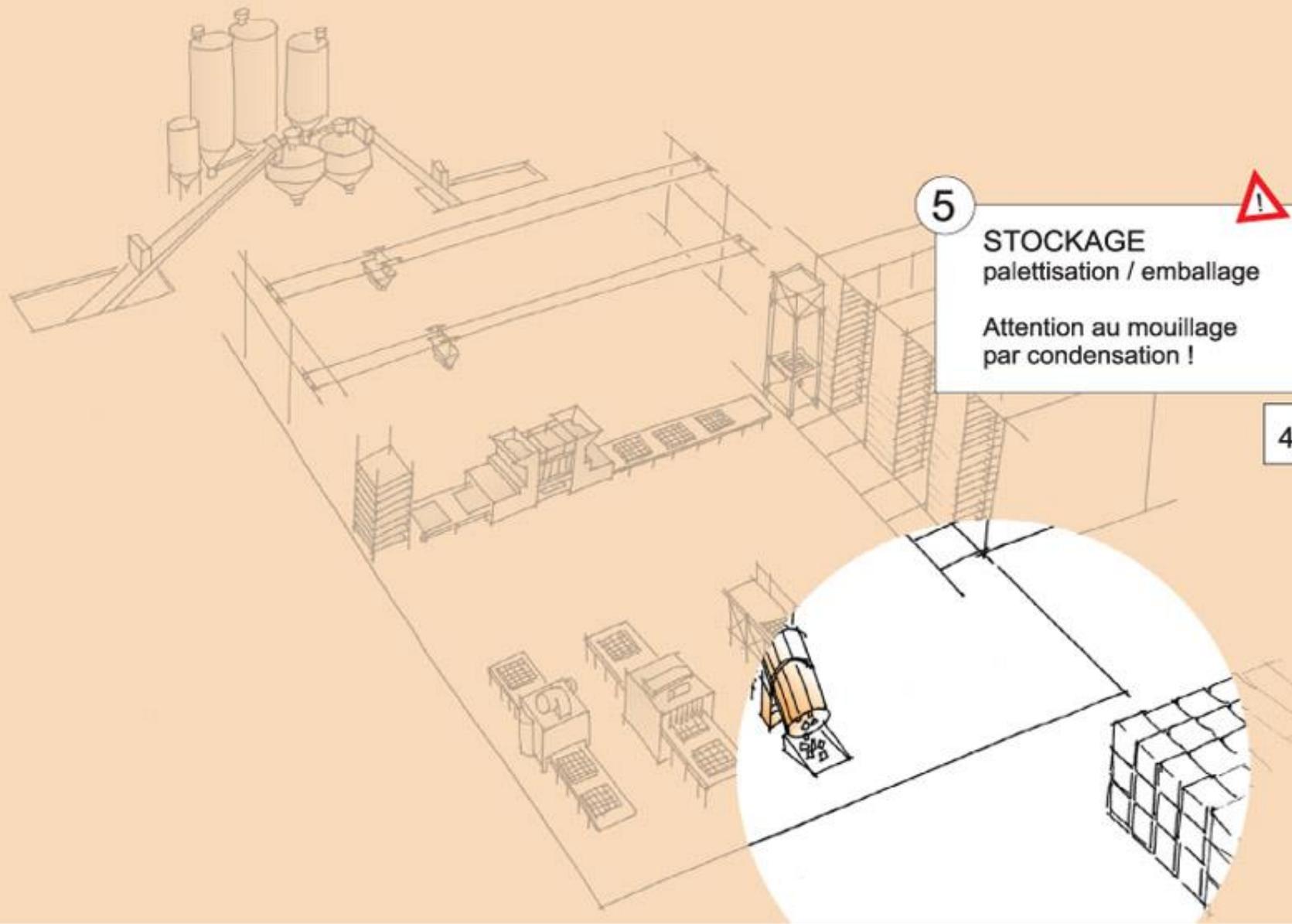
blocs / pavés



2b3

usine de béton

blocs / pavés



5



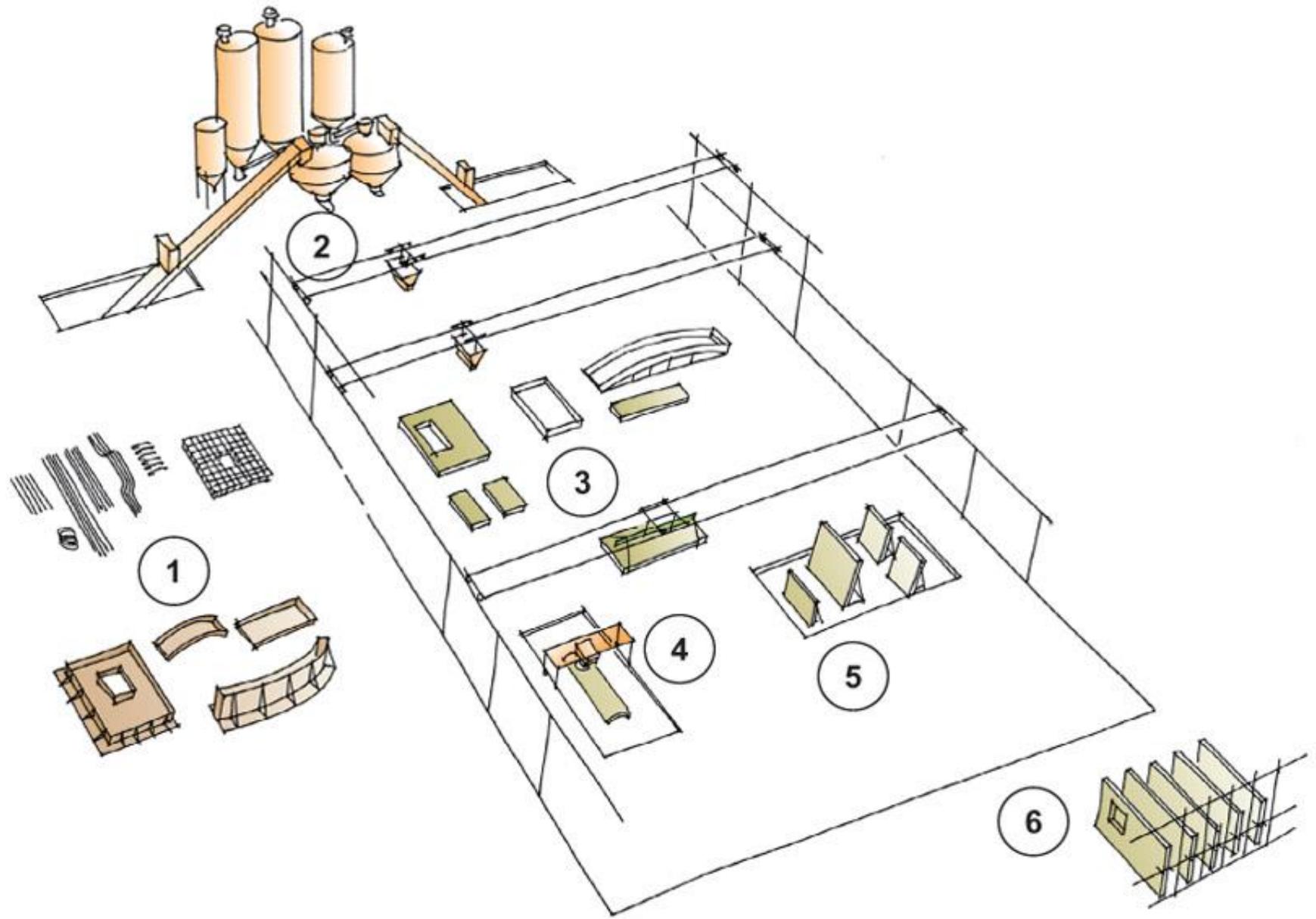
STOCKAGE
palettisation / emballage

Attention au mouillage
par condensation !

4c1

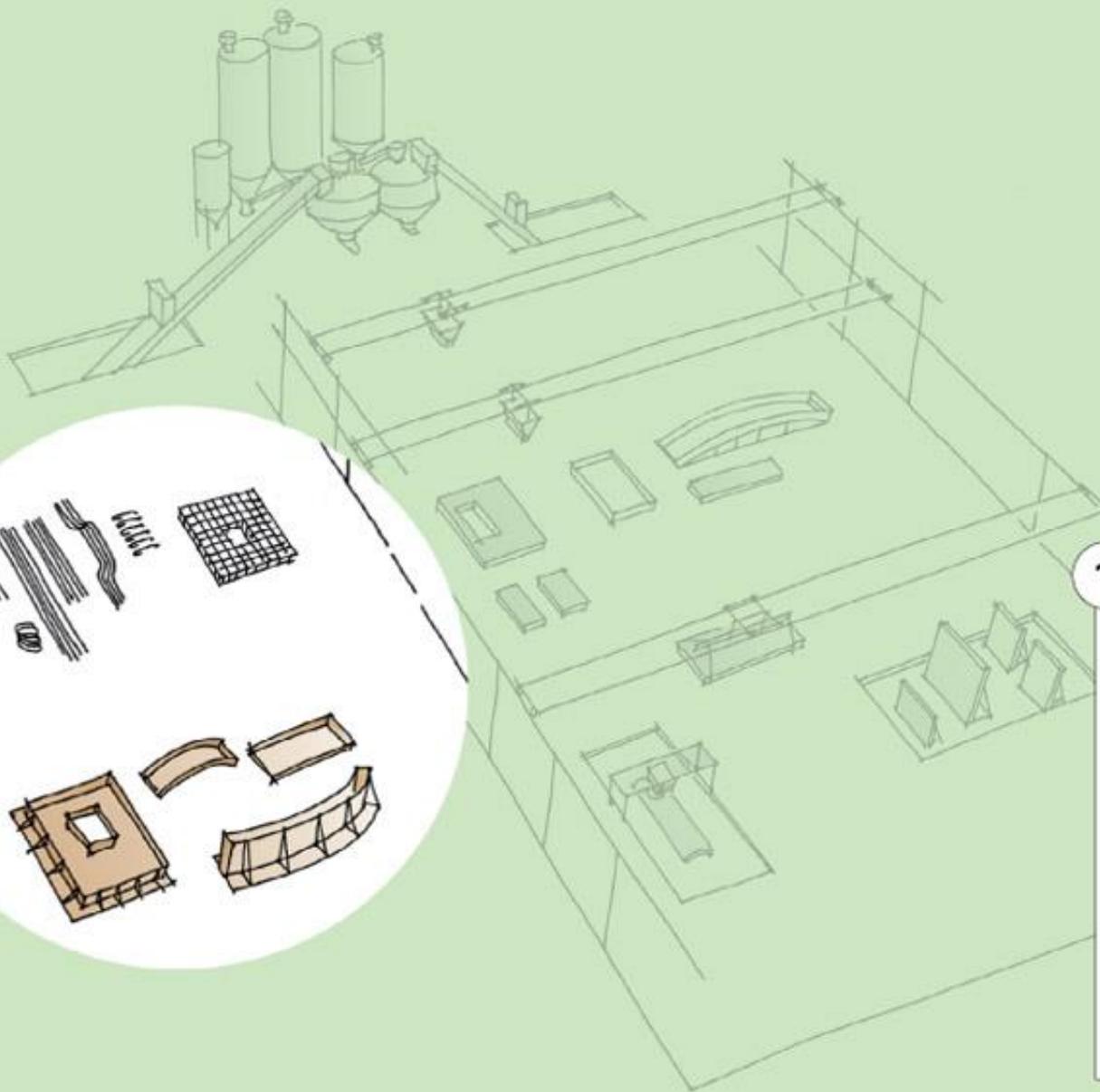
2b3

usine de béton *béton décoratif*



2b3

usine de béton *béton décoratif*



1



COFFRAGE

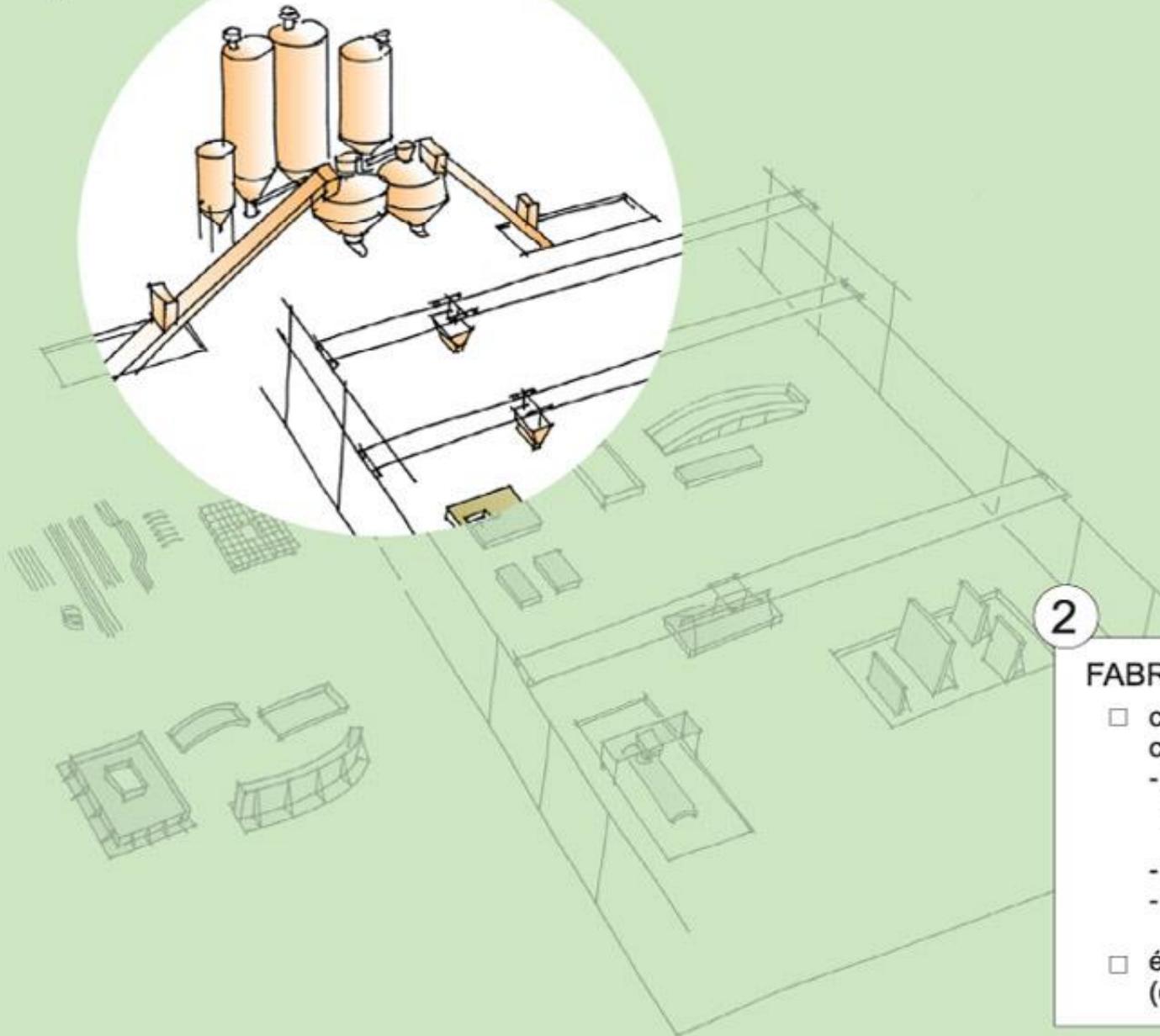
- propreté
- produit de décoffrage

ARMATURE

- exempte de graisse/huile
- ne jamais souder en cas de précontrainte

2b3

usine de béton *béton décoratif*



2



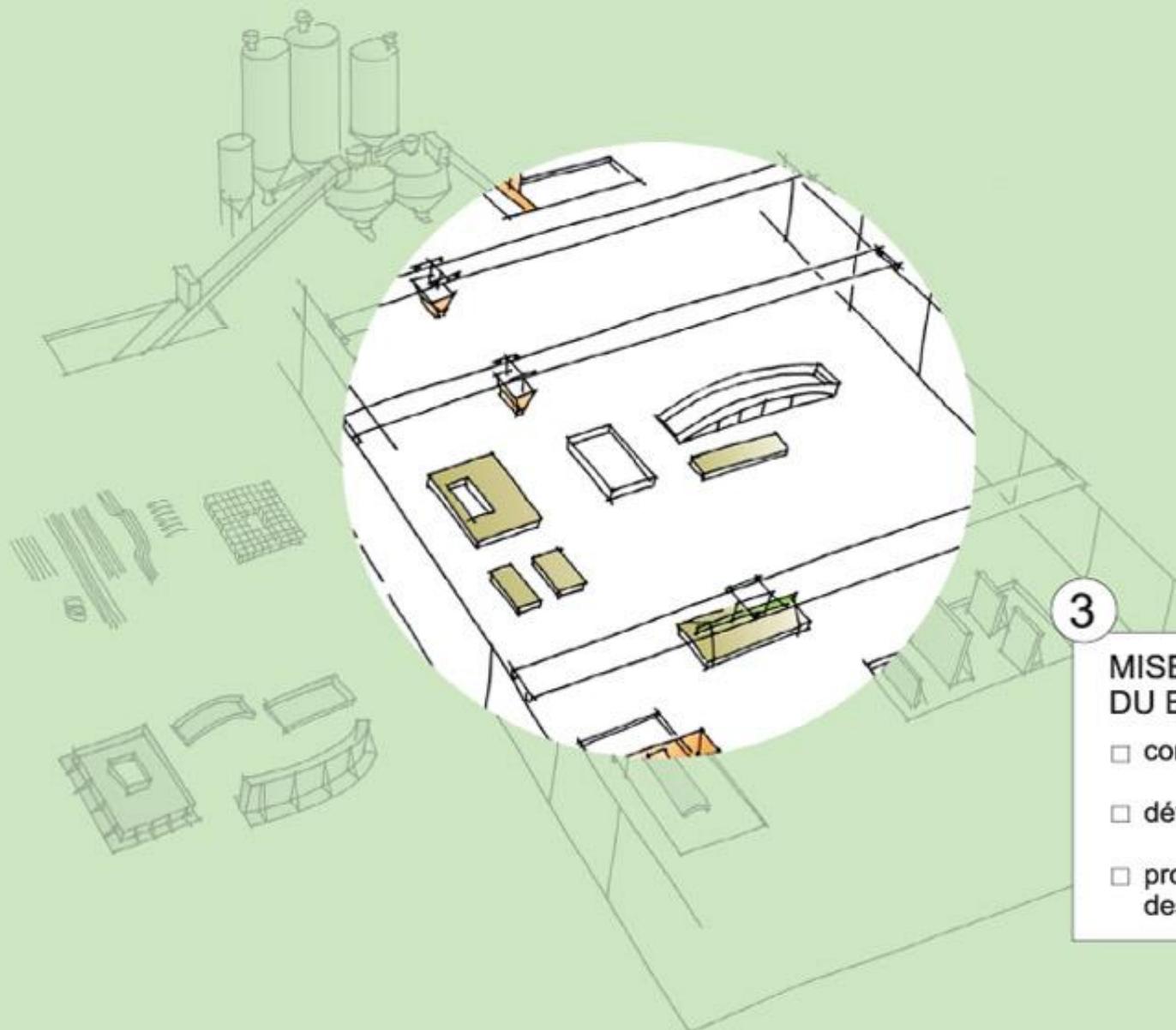
FABRICATION DU BETON

- contrôle de la composition:
 - composants (e.a. granulats colorés, pigments..)
 - granulométrie
 - ouvrabilité

- éprouvettes (cubes/cylindres)

2b3

usine de béton *béton décoratif*



3

MISE EN ŒUVRE DU BETON

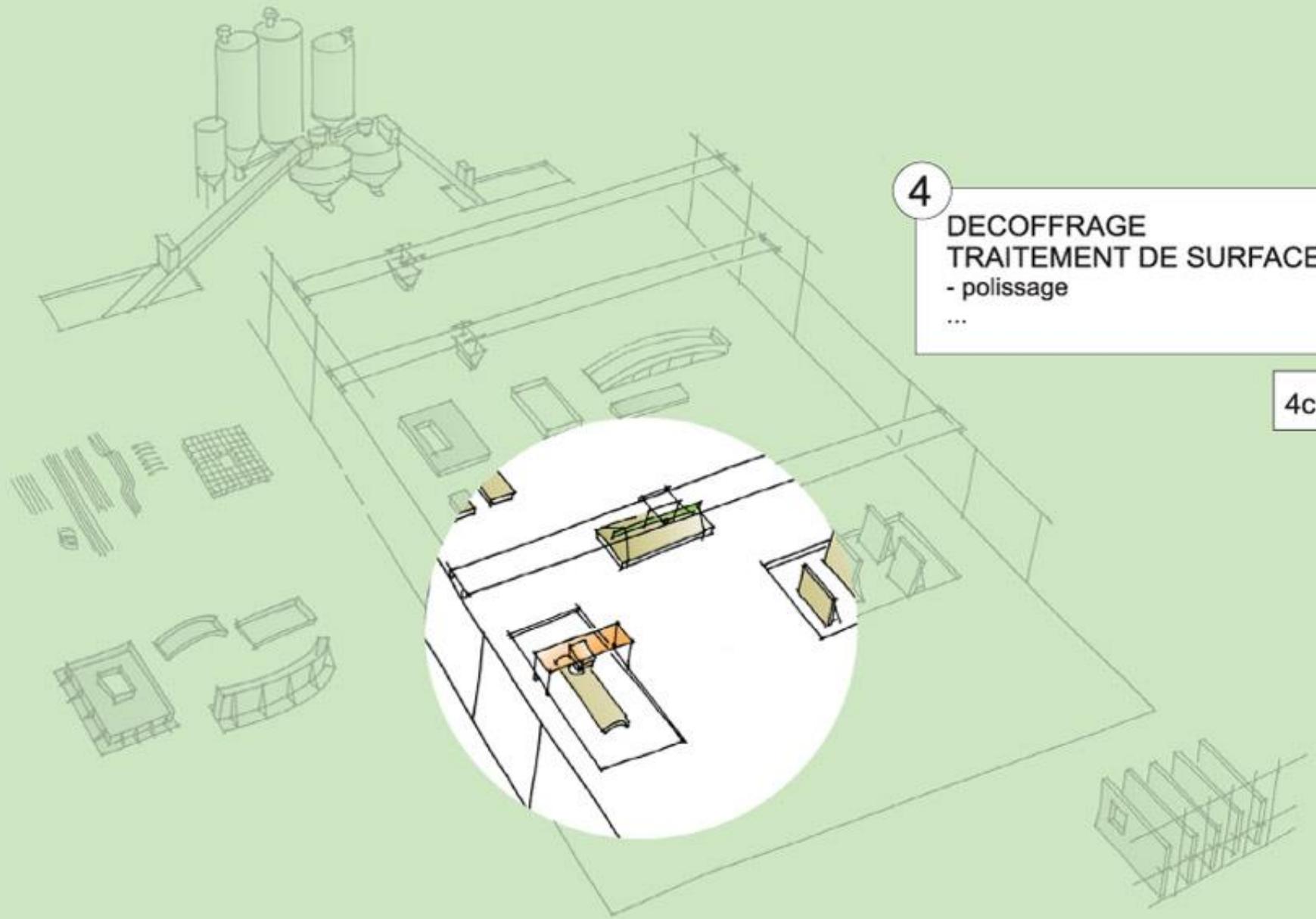
- compactage
- détails, étiquetage...
- protection contre la dessiccation



3b4

2b3

usine de béton *béton décoratif*

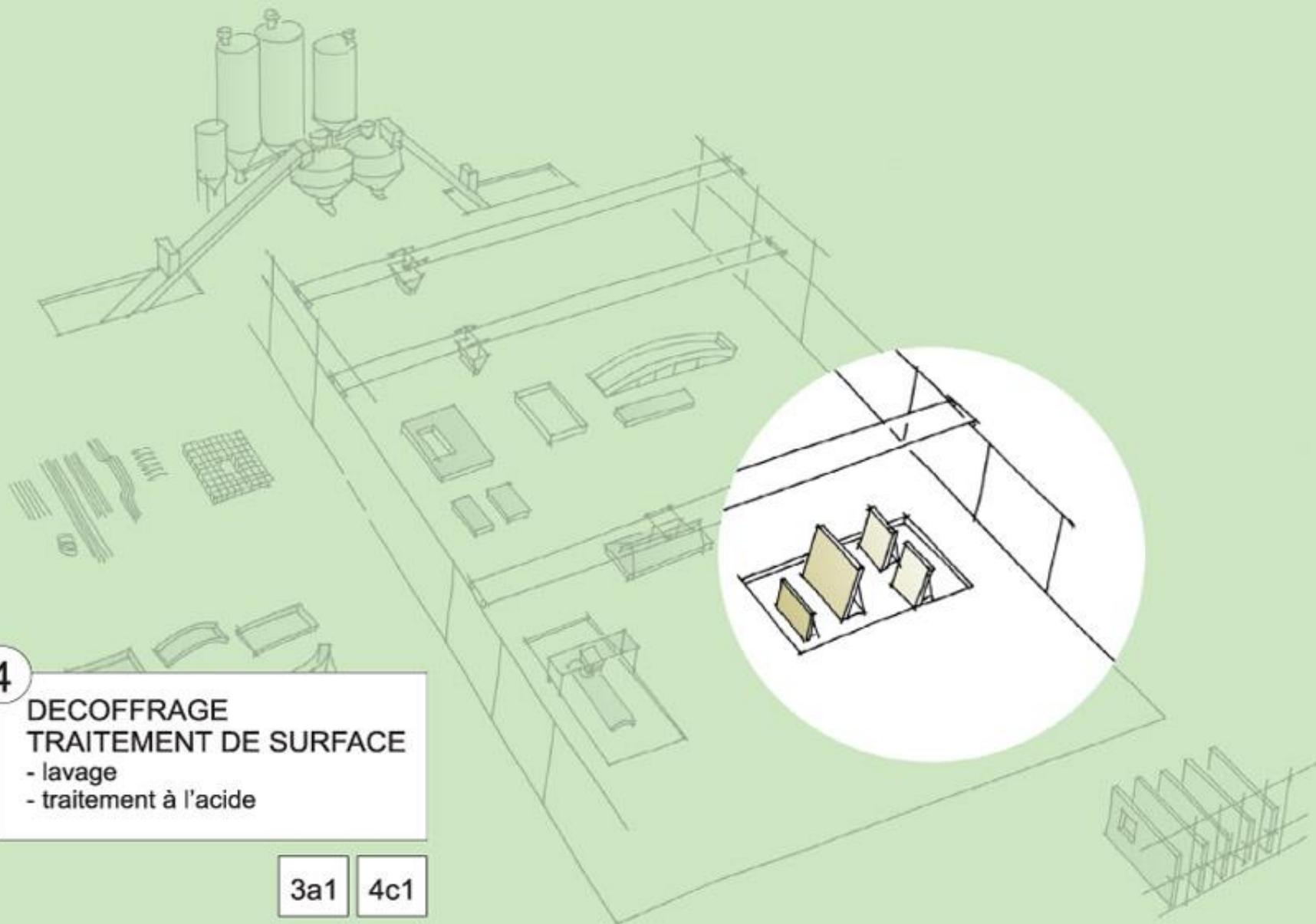


4
DECOFFRAGE
TRAITEMENT DE SURFACE
- polissage
...

4c1

2b3

usine de béton *béton décoratif*



4

DECOFFRAGE TRAITEMENT DE SURFACE

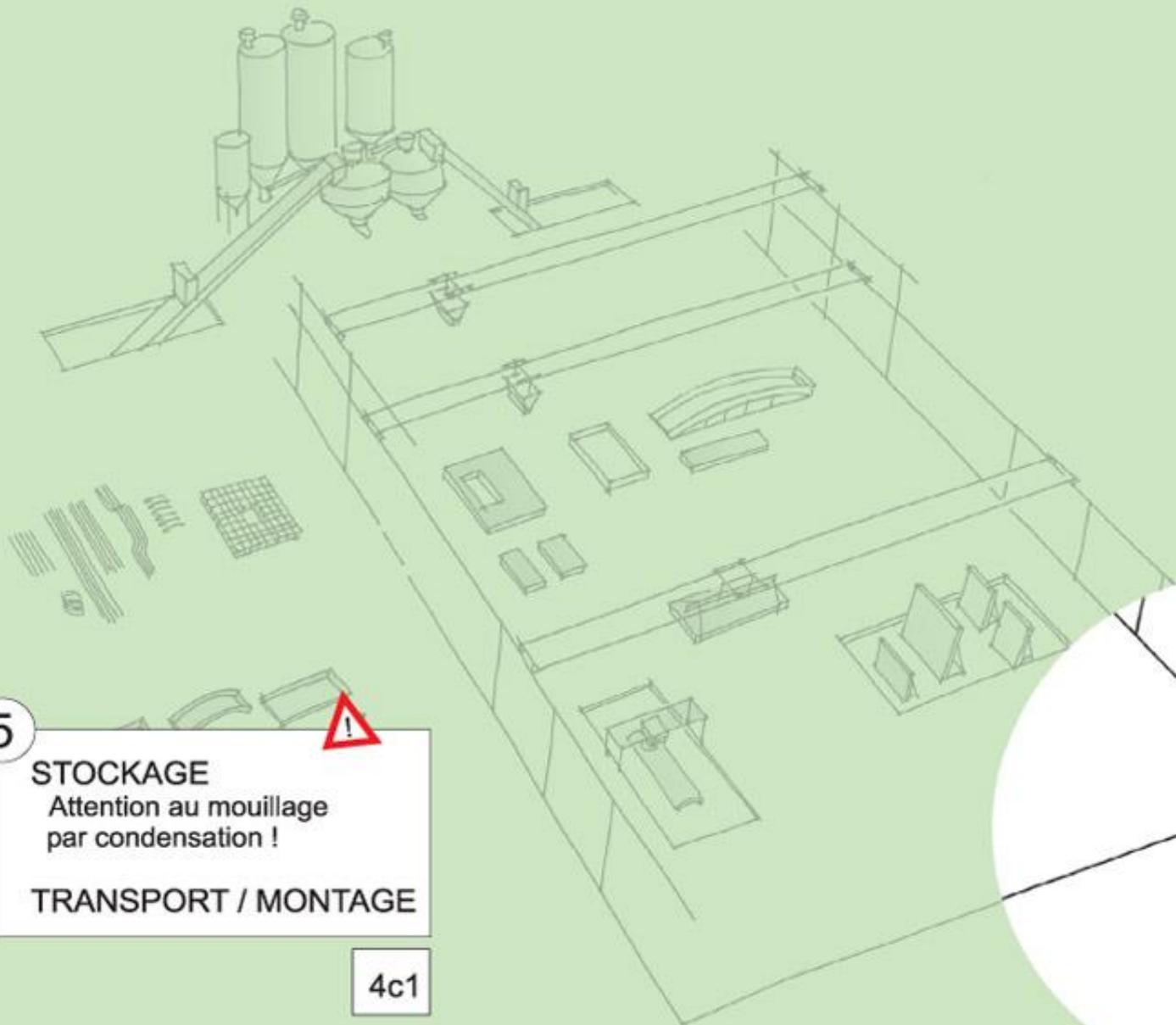
- lavage
- traitement à l'acide

3a1

4c1

2b3

usine de béton *béton décoratif*



5

STOCKAGE

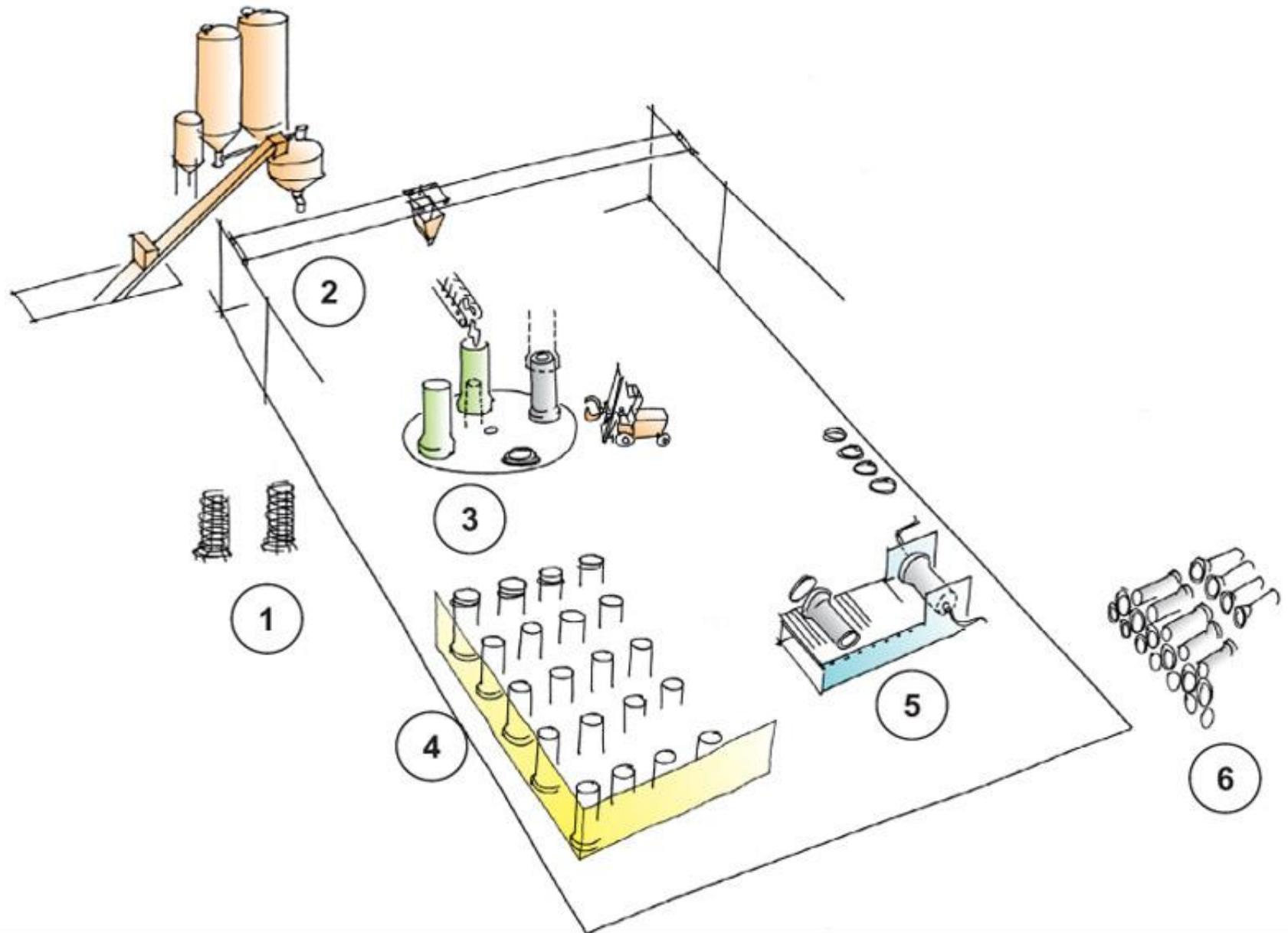
Attention au mouillage
par condensation !

TRANSPORT / MONTAGE

4c1

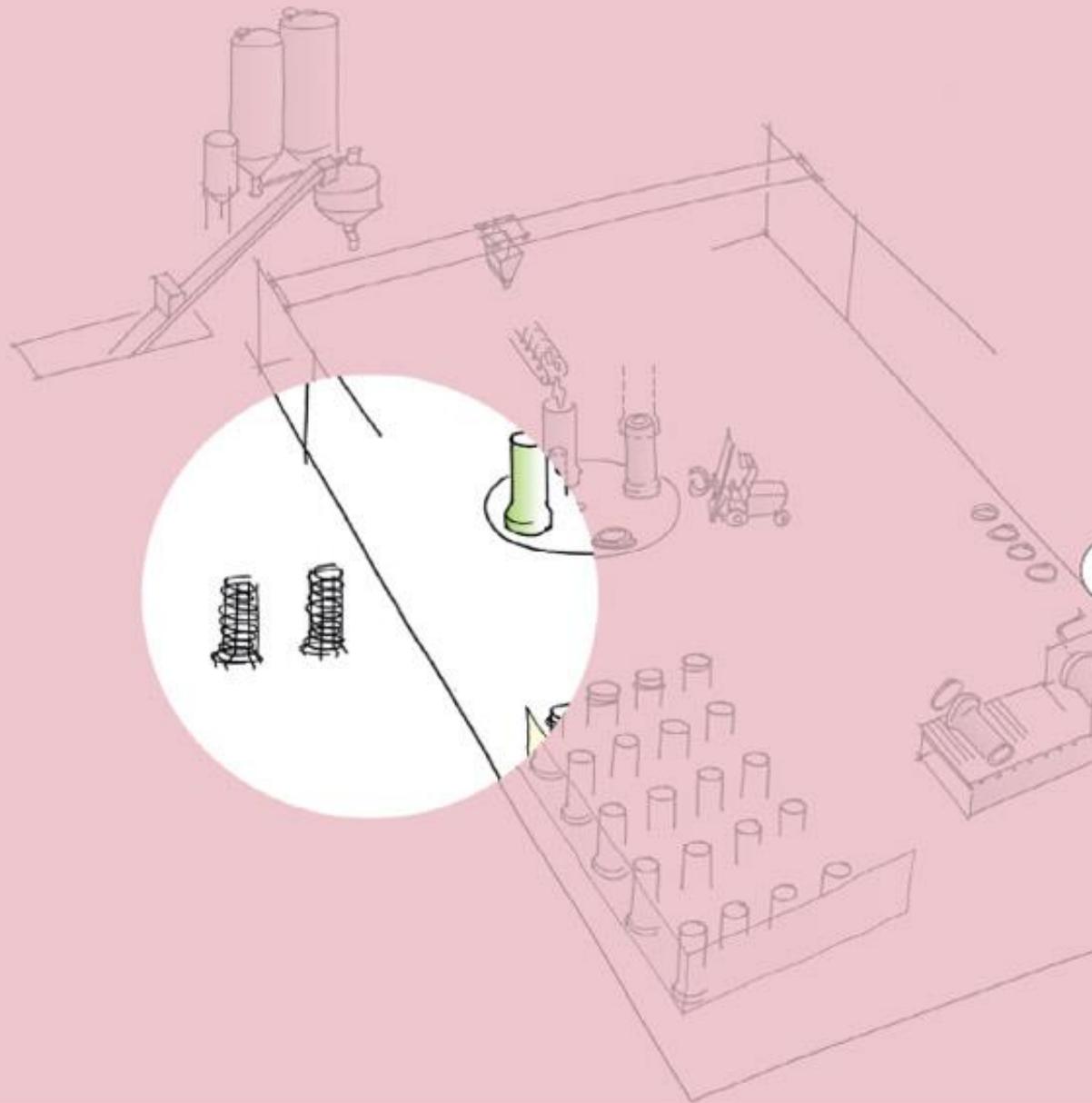
2b3

usine de béton tuyaux



2b3

usine de béton tuyaux



1



COFFRAGES / MOULES

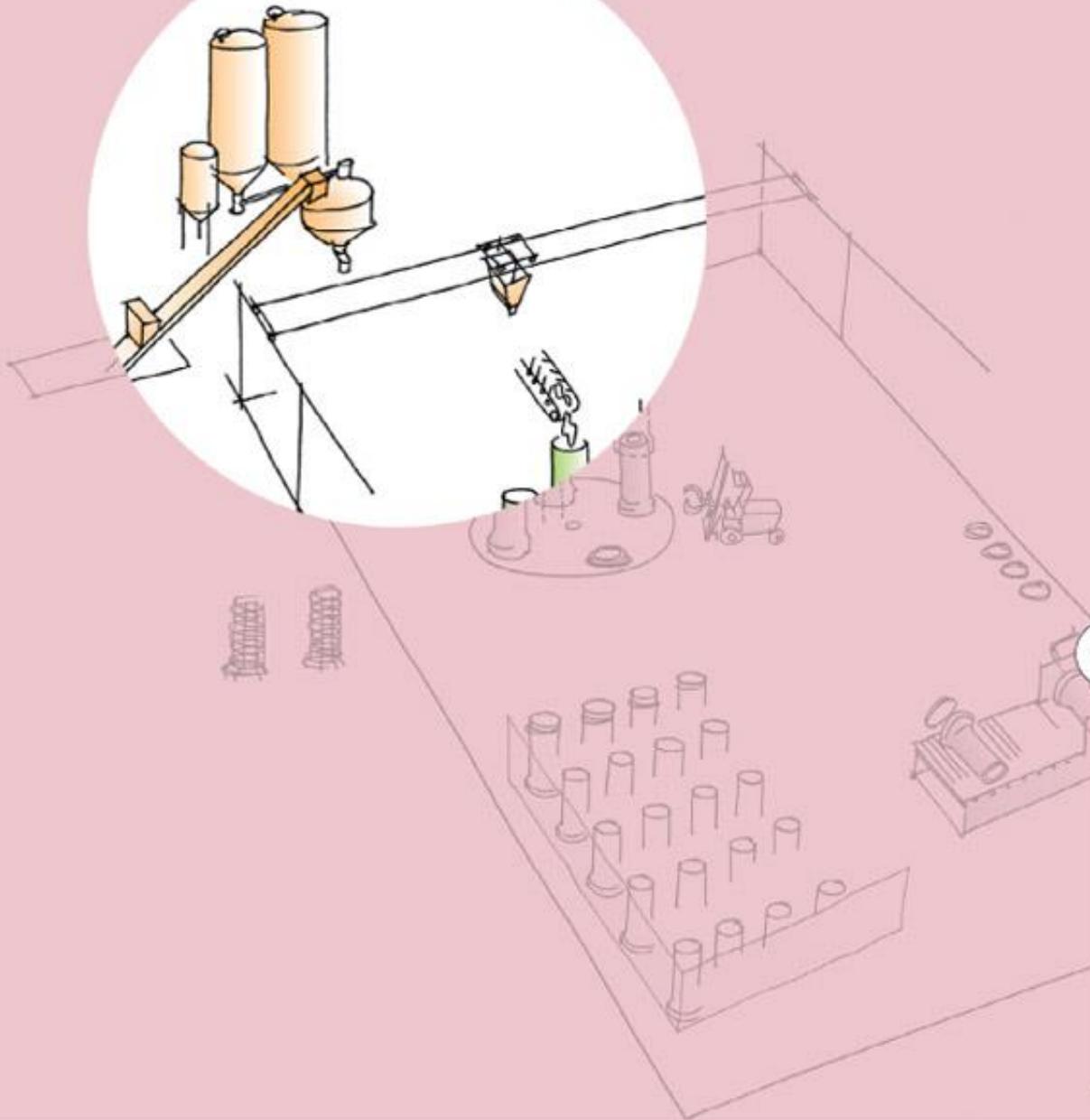
- propreté
- produit de décoffrage

ARMATURE

- exempte de graisse/huile
- ne jamais souder en cas de précontrainte

2b3

usine de béton *tuyaux*



2



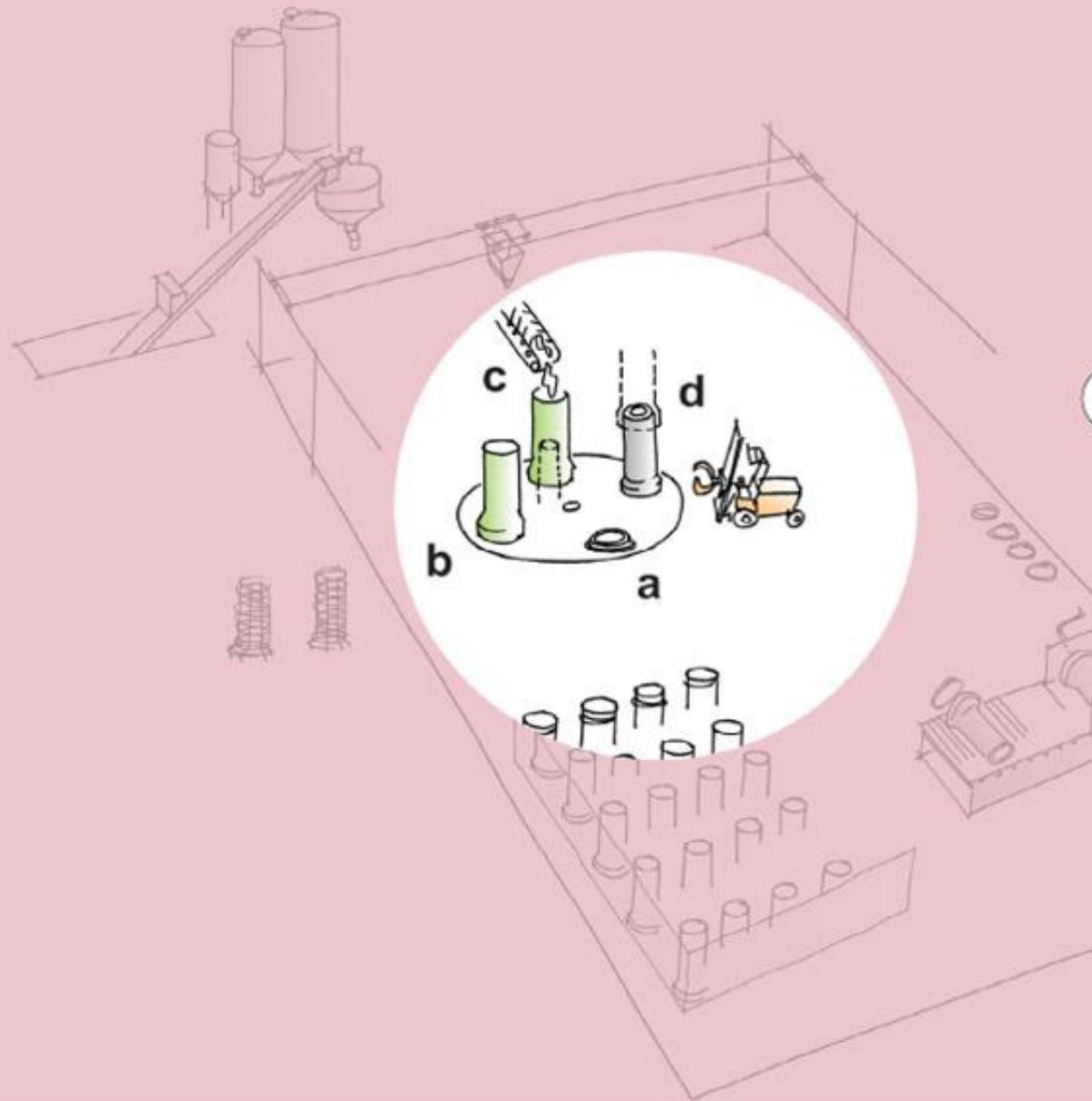
FABRICATION DU BETON

- contrôle de la composition:
 - composants (p. ex. ciments spéciaux, fibres...)
 - granulométrie
 - ouvrabilité

- éprouvettes (cubes/cylindres)

2b3

usine de béton tuyaux



3



MISE EN ŒUVRE DU BETON

- techniques de compactage: compression, laminage, vibration, centrifugation
- éviter toute déformation des bouts (mâle/femelle)



anneau de protection

anneau inférieur/
joint d'étanchéité

3b4

2b3

usine de béton *tuyaux*



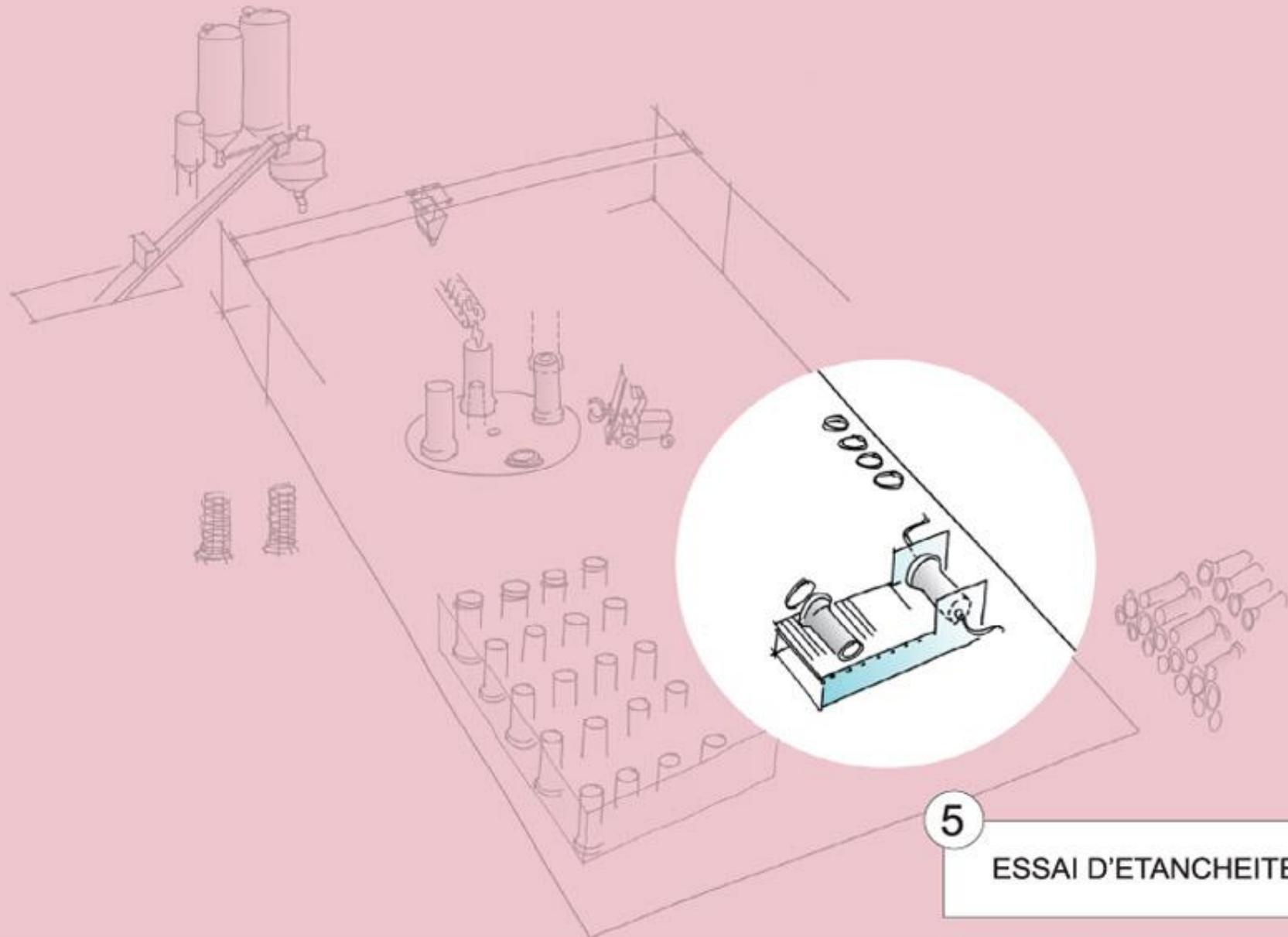
4

MATURATION
protection contre la
dessiccation (courants d'air!)



2b3

usine de béton *tuyaux*



5

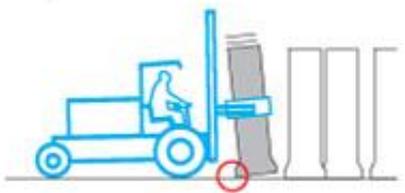
ESSAI D'ETANCHEITE

2b3

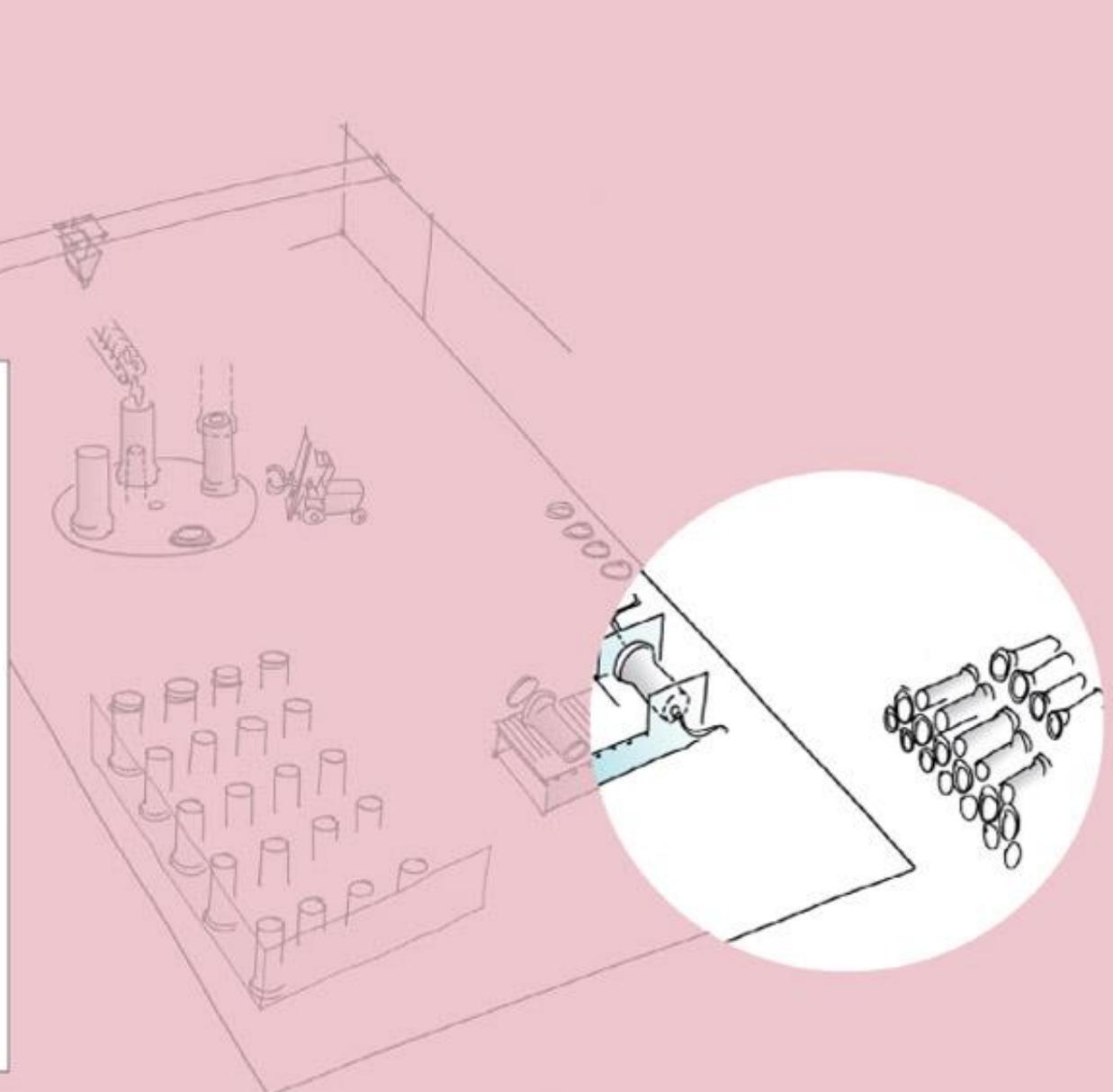
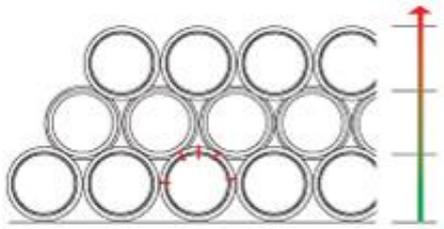
usine de béton tuyaux

6 STOCKAGE

vertical:
ne pas abîmer les collets



horizontal:
hauteur d'entreposage en
fonction du diamètre des tuyaux,
de l'âge du béton



2b4 faire du béton sur chantier

compositions



dosages à titre d'exemple et uniquement pour de petites quantités !

destination du béton		pierraille choisie	nombre de volumes pour 1 volume de ciment			volumes
			pierraille	sable du Rhin	eau	litres (kg)
BETONS DE STRUCTURE (armés ou non)	qualité supérieure (béton soumis à la pluie et/ou au gel)	4/32	2 3/4 volumes 110 litres (180 kg)	1 volume 45 litres (75 kg)	1/2 volume 20 litres	3 1/4 volumes 135 litres
		4/14 ou 6/20	2 1/2 100 (160)	1 45 (75)	1/2 20	3 120
		2/8	1 3/4 75 (105)	1 45 (75)	1/2 20	2 1/2 105
	qualité ordinaire (bétons protégés de la pluie et du gel)	4/32	3 130 (205)	1 1/2 60 (100)	2/3 25	3 3/4 160
		4/14 ou 6/20	2 3/4 115 (160)	1 1/2 60 (100)	2/3 25	3 1/3 140
		2/8	2 85 (120)	1 1/2 60 (100)	2/3 25	3 125
FONDATEMENTS	avec sable du Rhin	4/32 ou 6/20	3 3/4 155 (220)	2 80 (130)	3/4 30	4 1/3 180
	avec sable fin	ou 2/8	3 1/2 145 (200)	2 85 (110)	3/4 30	4 165



le **SABLE HUMIDE** gonfle :
augmenter la quantité de sable
et utiliser moins d'eau !

(pierraille, voir:)

1a

(choix du ciment, voir:)

1c

2b4 faire du béton sur chantier *malaxage*

(0 = faire démarrer la bétonnière !)

introduire

1- la moitié de la pierraille + une partie de l'eau

2- le ciment



ne jamais commencer par le ciment !

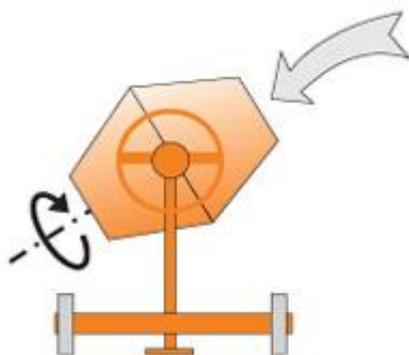
3- le sable + le reste de la pierraille

4- l'eau nécessaire pour "consistance plastique"

5- poursuivre le malaxage pendant 2 à 3 minutes

6- vider la cuve + mettre le béton en place

(7- nettoyer soigneusement la bétonnière
en fin de travail !)



2b4 faire du béton sur chantier *consistance / ouvrabilité*



trop mouillé...
(risque de démélange)

ajouter du ciment



trop sec...
*(peu ouvrable,
risque de cavités,
nids de gravier)*

ajouter de l'eau



“plastique”
*(ouvrable,
sans risque de
démélange)*



rapport eau/ciment: entre 0,4 (qualité supérieure) et 0,6 (béton de fondation)

Normes & Prescriptions Techniques:

NBN EN 206-1:2001 – Béton - Partie 1: Spécification, performance, production et conformité
Bruxelles : IBN, 2001

NBN B 15-1:2004 – Supplément à la norme NBN EN 206-1
Bruxelles : IBN, 2004

Les normes de spécifications du béton en Belgique
Texte consolidé préparé avec le soutien de la Plate-forme Béton
Bruxelles : IBN, 2005

Renseignements supplémentaires:

Prescription des bétons selon les normes NBN EN 206-1:2001 et NBN B 15-001:2004
Avec exemples de spécifications de bétons et cahier des charges-types
Dossier Ciment, bulletin n° 34
Bruxelles : FEBELCEM, 2005

Comment prescrire un béton?
Fiche Technique
Bruxelles : FEBELCEM, 2005

www.febelcem.be
www.cric.be
www.fsbp.be
www.febe.be
www.groupementbeton.be

1 LES COMPOSANTS DU BETON

2 FAIRE DU BETON

3 LE BETON FRAIS

4 LE BETON DURCI

3

BETON FRAIS (béton très jeune, béton jeune... y-compris décoffrage)

a- PREPARATION

3a1 coffrage

3a2 armature

b- MISE EN ŒUVRE

3b1 malaxage

3b2 transport

3b3 mise en place

3b4 compactage

3b5 protection

c- CARACTERISTIQUES DU BETON FRAIS

3c1 consistance

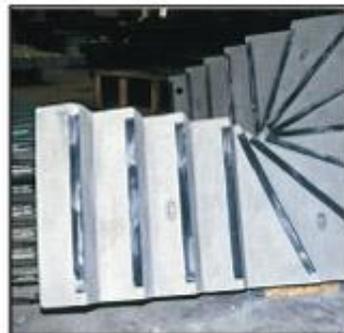
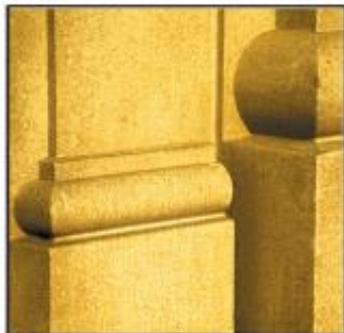
3c2 stabilité

3c3 maturation

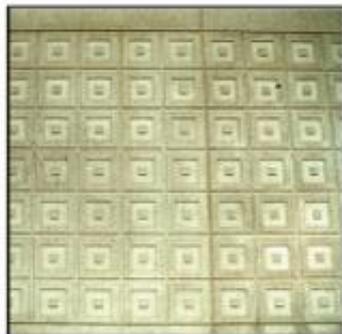
3a1 coffrage

types - aspect du béton

lisse

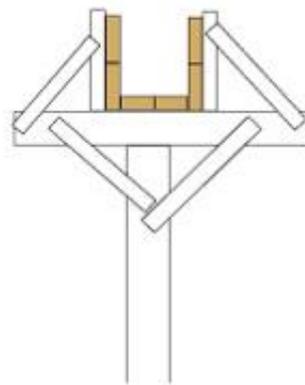
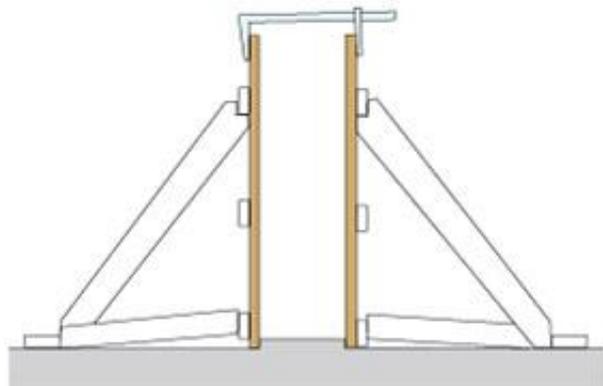


structuré

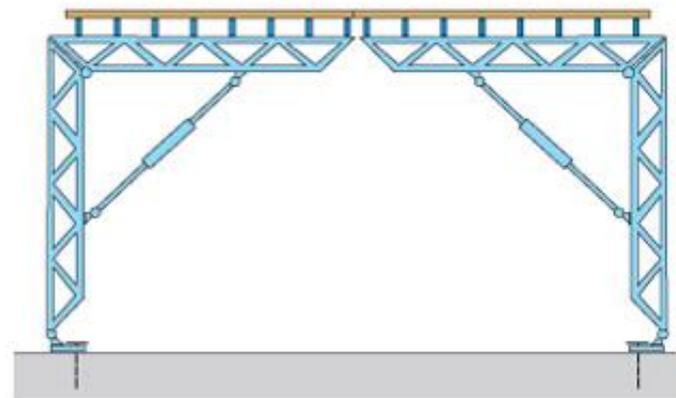
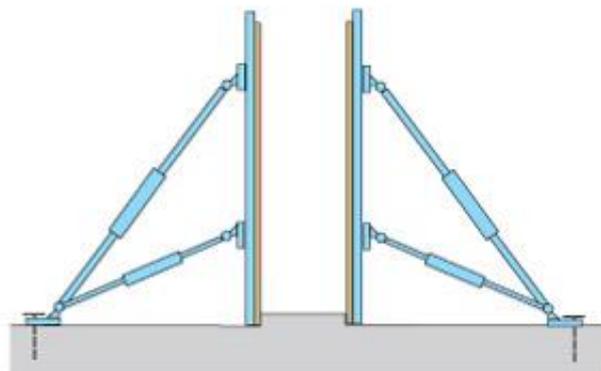
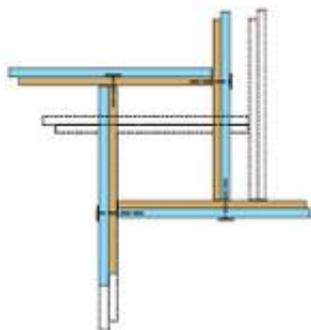


3a1 coffrage types - sur chantier

coffrages traditionnels

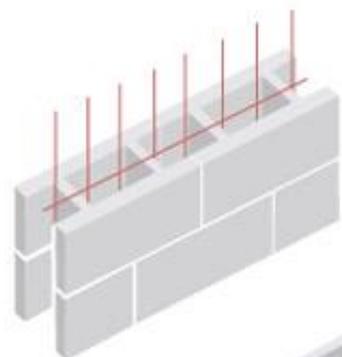


coffrages industriels



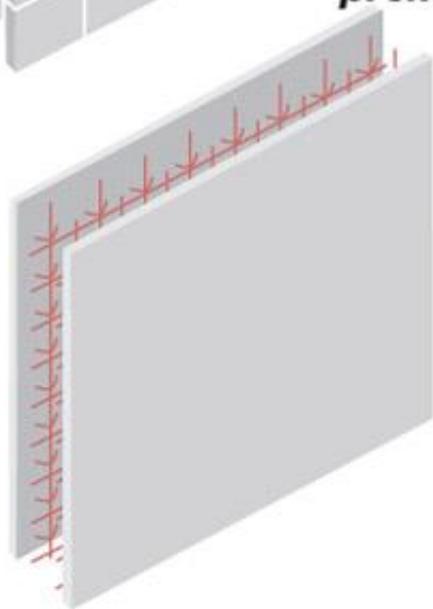
3a1 coffrage types - sur chantier

coffrages non récupérés ("perdus")



blocs creux

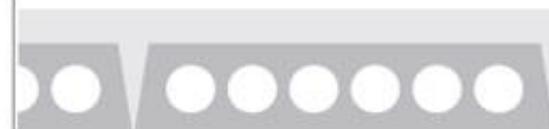
prémurs



tuyaux



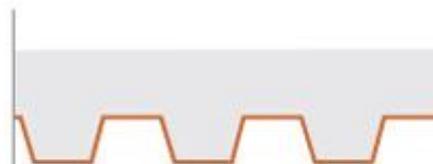
poutrains / entrevous



hourdis



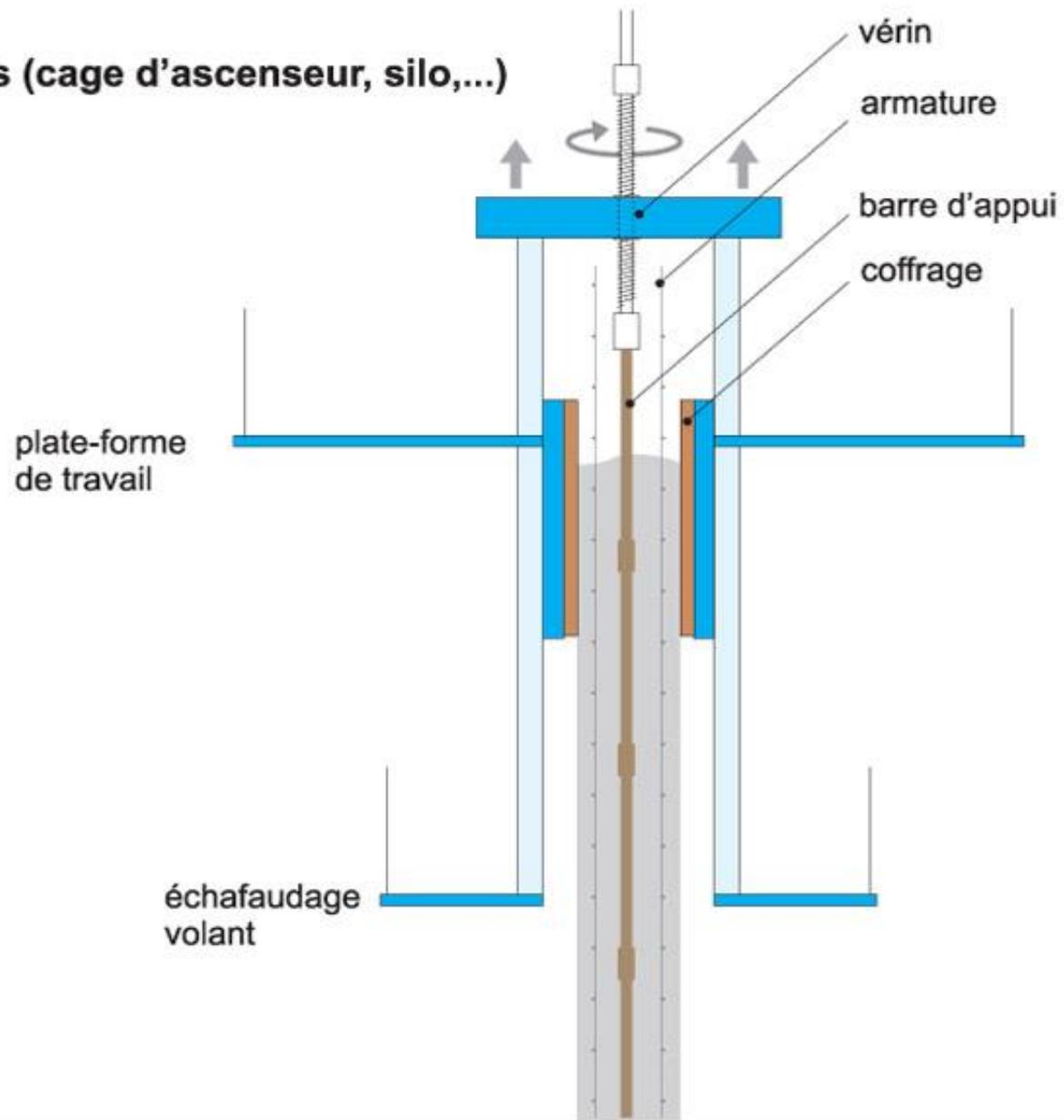
prédalles



profilés métalliques

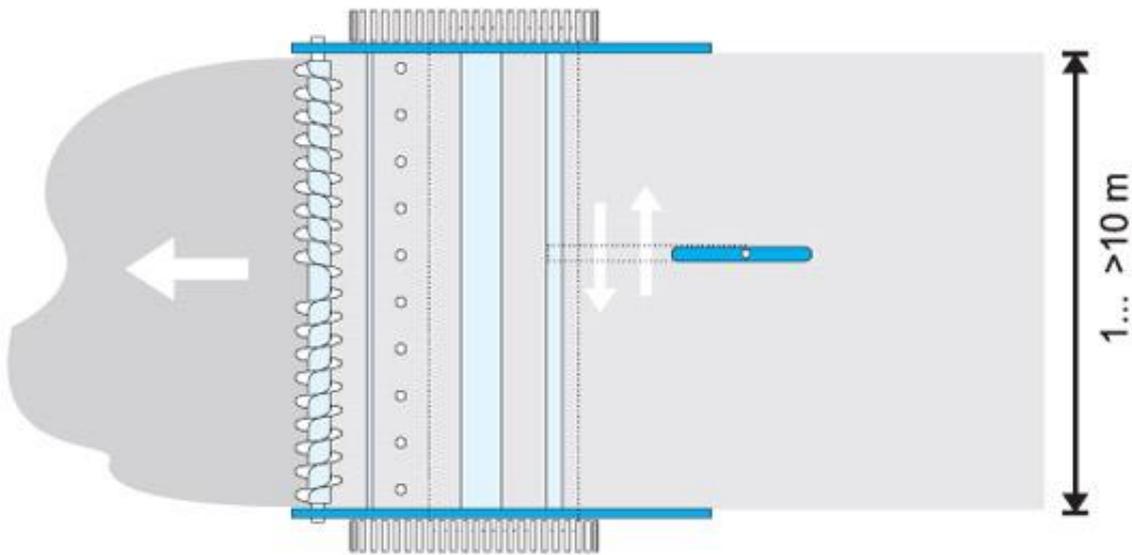
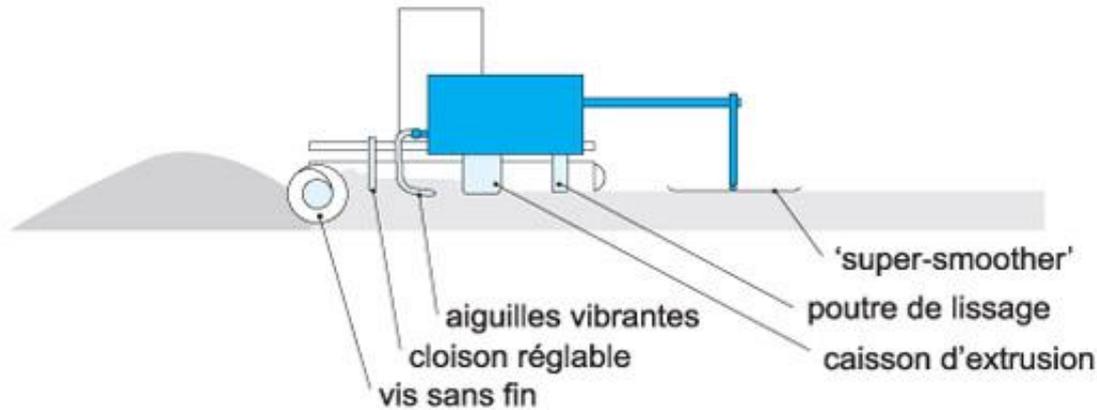
3a1 coffrage *types - sur chantier*

coffrages glissants (cage d'ascenseur, silo,...)

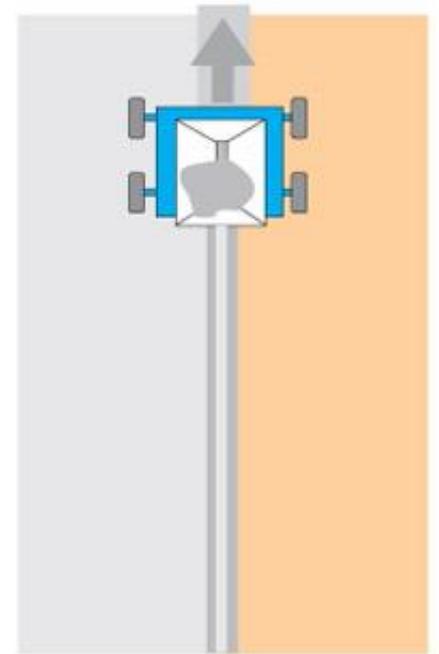
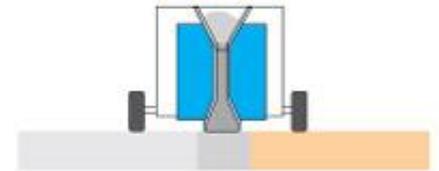


3a1 coffrage types *sur chantier*

coffrages glissants (construction de routes)

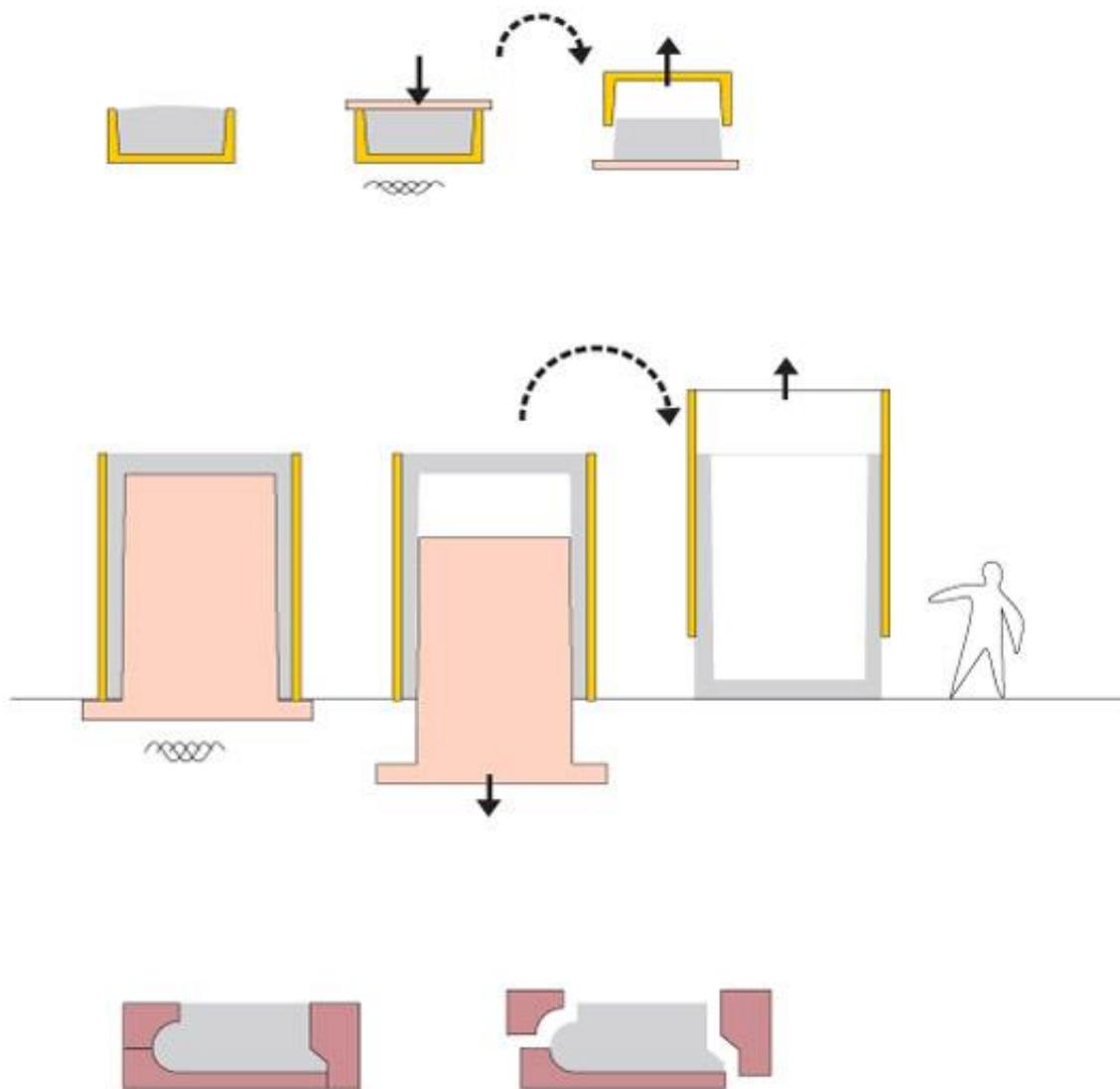


'slipform paver'



barrière 'new jersey'

3a1 coffrage types - usine de préfabrication

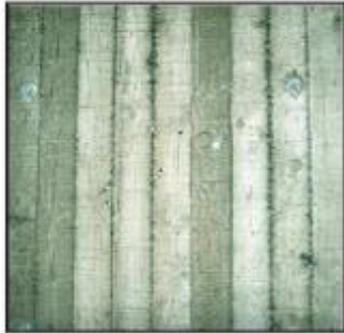


- classe de consistance
- compactage
- décoffrage

3a1 coffrage

défauts courants

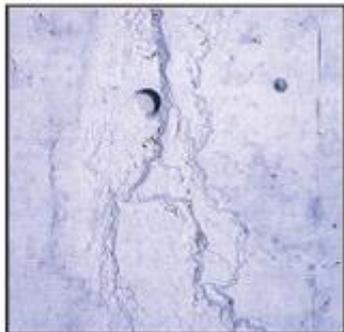
problème:



différence de teinte

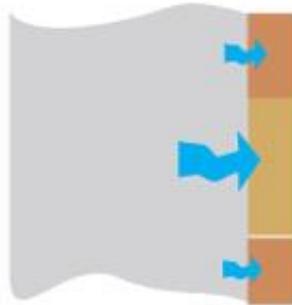


nid de gravier

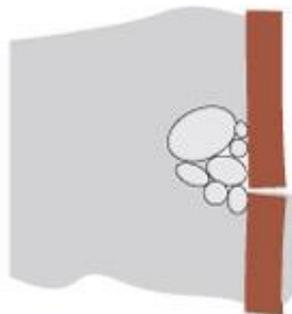


traînée de sable

cause:



coffrage plus absorbant
= E/C plus bas
= teinte plus foncée



fuites au niveau
des joints du
coffrage



coulage sur
béton ségrégué

précautions:

- matériau de coffrage homogène
- humidification du coffrage avant le coulage du béton
- matériaux de coffrage appropriés
- rigidité du coffrage
- humidification du coffrage avant le coulage du béton
- composition correcte du béton
- compactage approprié

3a1 coffrage

défauts courants

problème:



bulles d'air

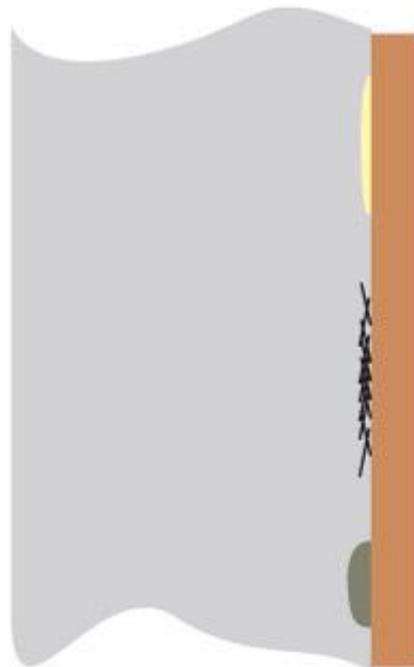


*différences de teinte,
inégalités,
impuretés,
...*

cause:



produit de décoffrage
inadéquat sur
coffrage lisse



glace, givre

souillures, rouille

terre...

précautions:

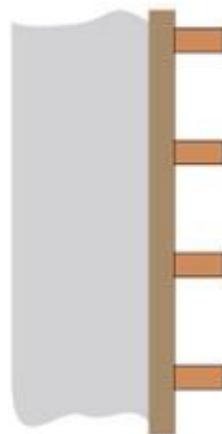
choix du produit
de décoffrage,
de la technique de
compactage

inspection du coffrage
avant le coulage
du béton

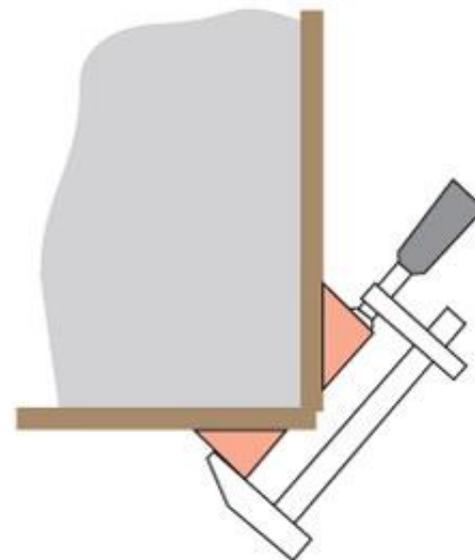
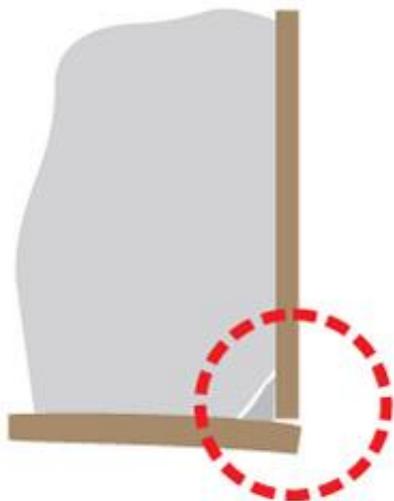
3a1 coffrage

défauts courants

**coffrage
insuffisamment
rigide**



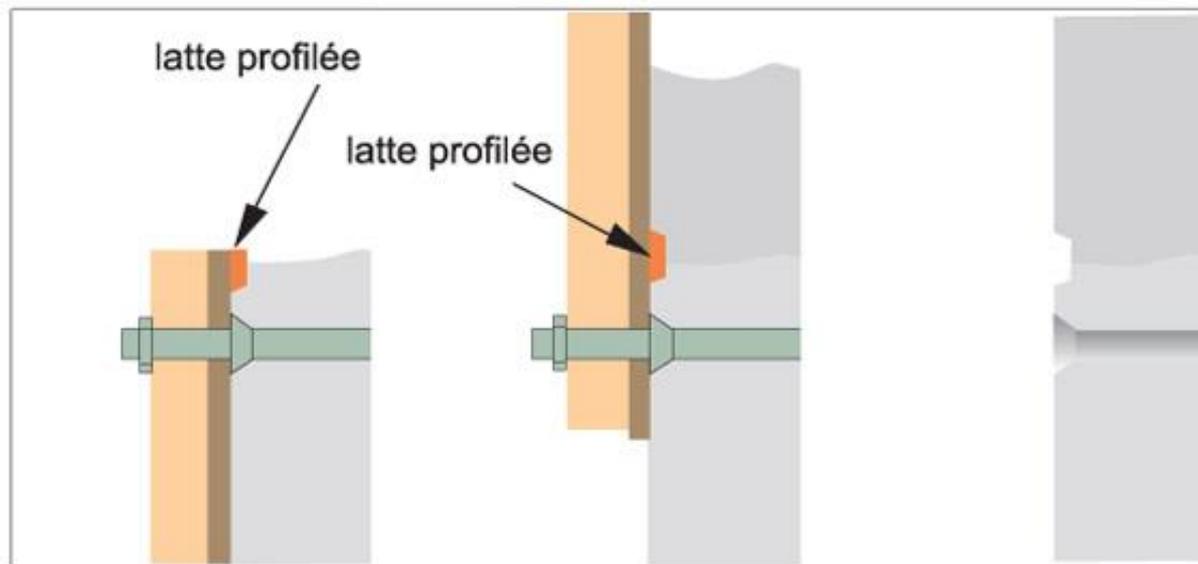
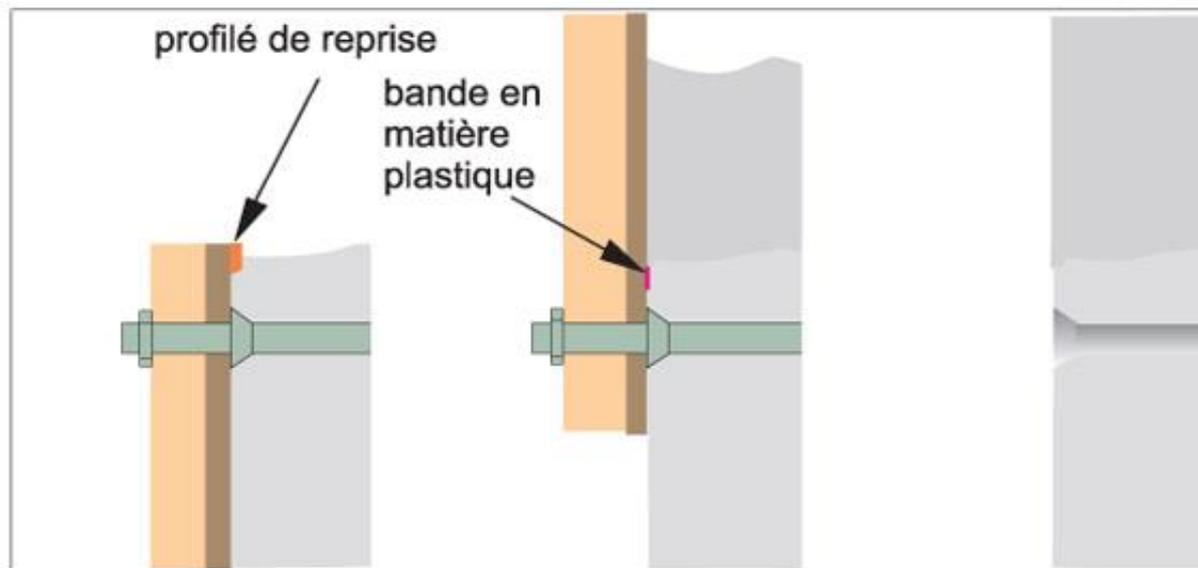
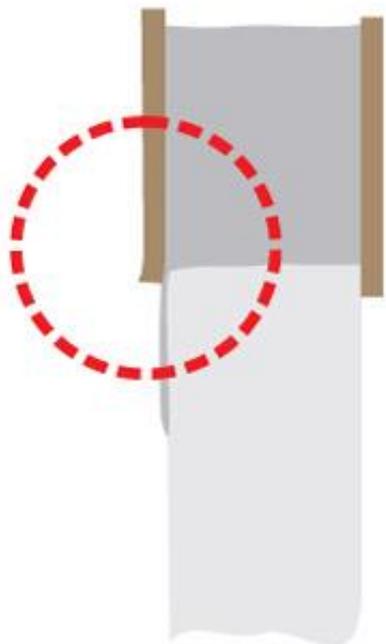
angles !



3a1 coffrage

défauts courants

joint de reprise



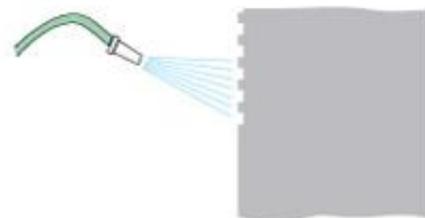
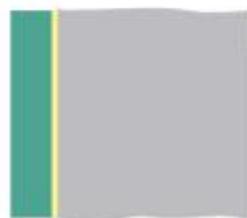
3a1 coffrage *produits de décoffrage*

coffrages/moules en métal, plastique, multiplex, bois bakéliné...

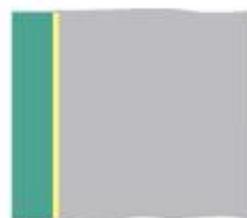
● huiles
(minérales ou végétales,
brutes ou en émulsion)



● retardateur



● cire (bouche-pore)



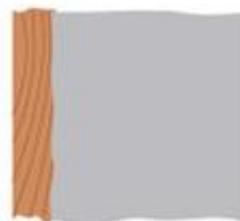
le produit doit adhérer au coffrage
lors du coulage du béton

3a1 coffrage *produits de décoffrage*

coffrages en bois brut

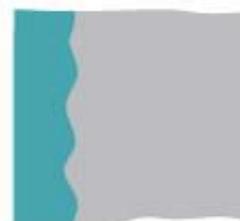


humidifier le coffrage



moules en silicones, caoutchouc

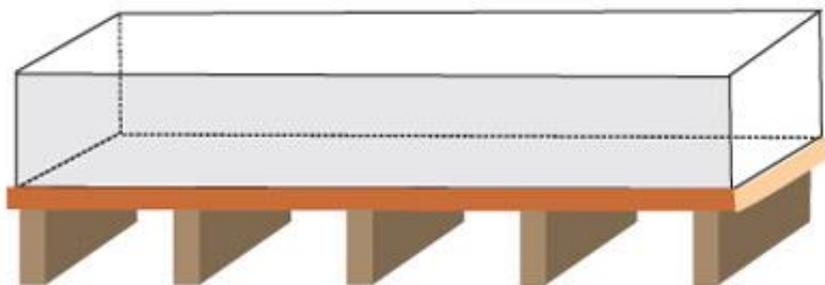
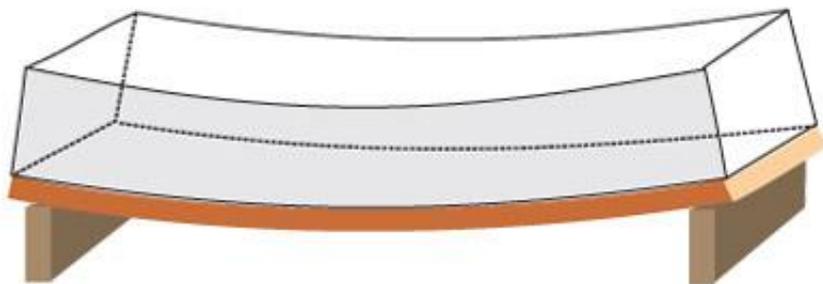
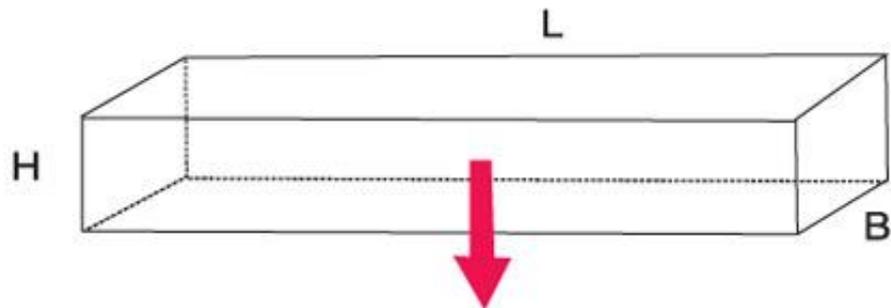
pas de produit de décoffrage nécessaire



3a1

coffrage

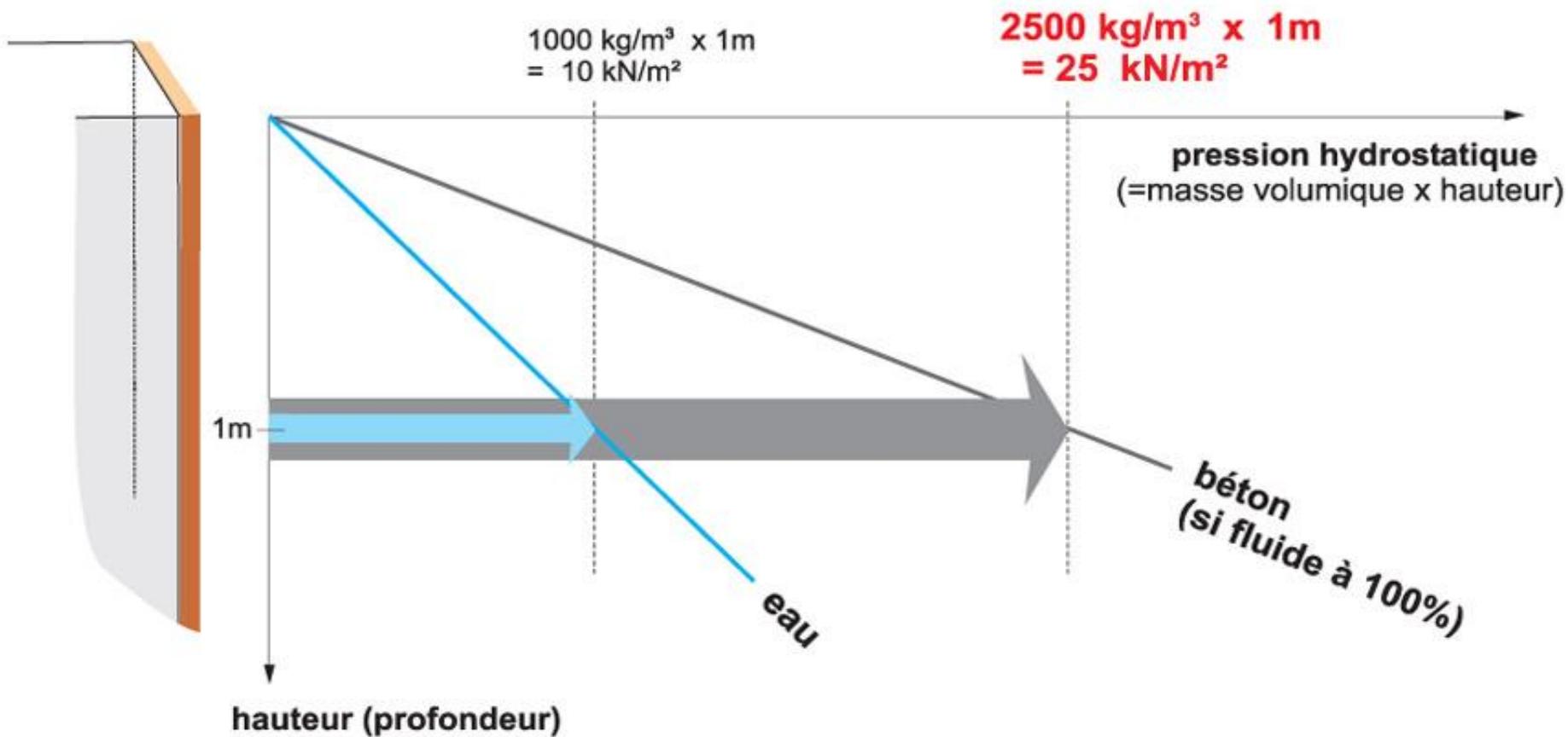
pression VERTICALE



$L \times B \times H \times 2500 \text{ kg/m}^3$!

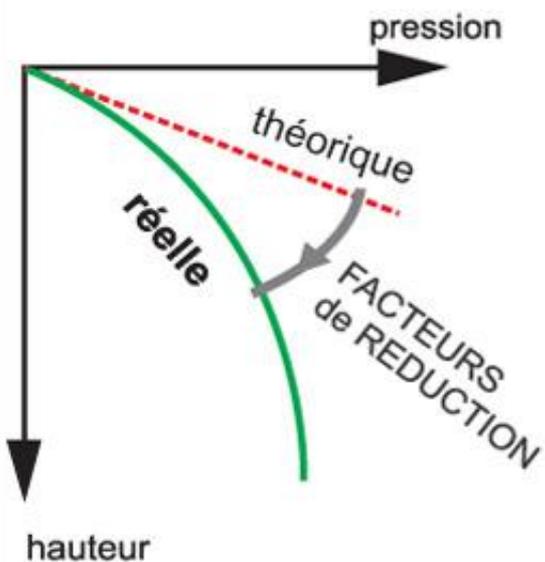
3a1 coffrage

pression HORIZONTALE



3a1 coffrage

pression HORIZONTALE

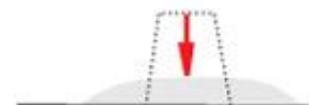


● CONSISTANCE

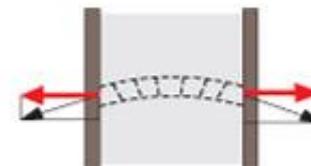
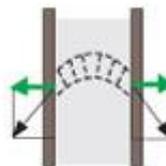
pression plus faible:



pression plus élevée:



● EFFET DE VOÛTE, DE SILO



● FROTTEMENT (en fonction de la RUGOSITE du coffrage)



● VITESSE DE BETONNAGE, D'ASCENSION



litres/h



m³/min.

● DELAI DE RAIDISSEMENT (en fonction de la T°)

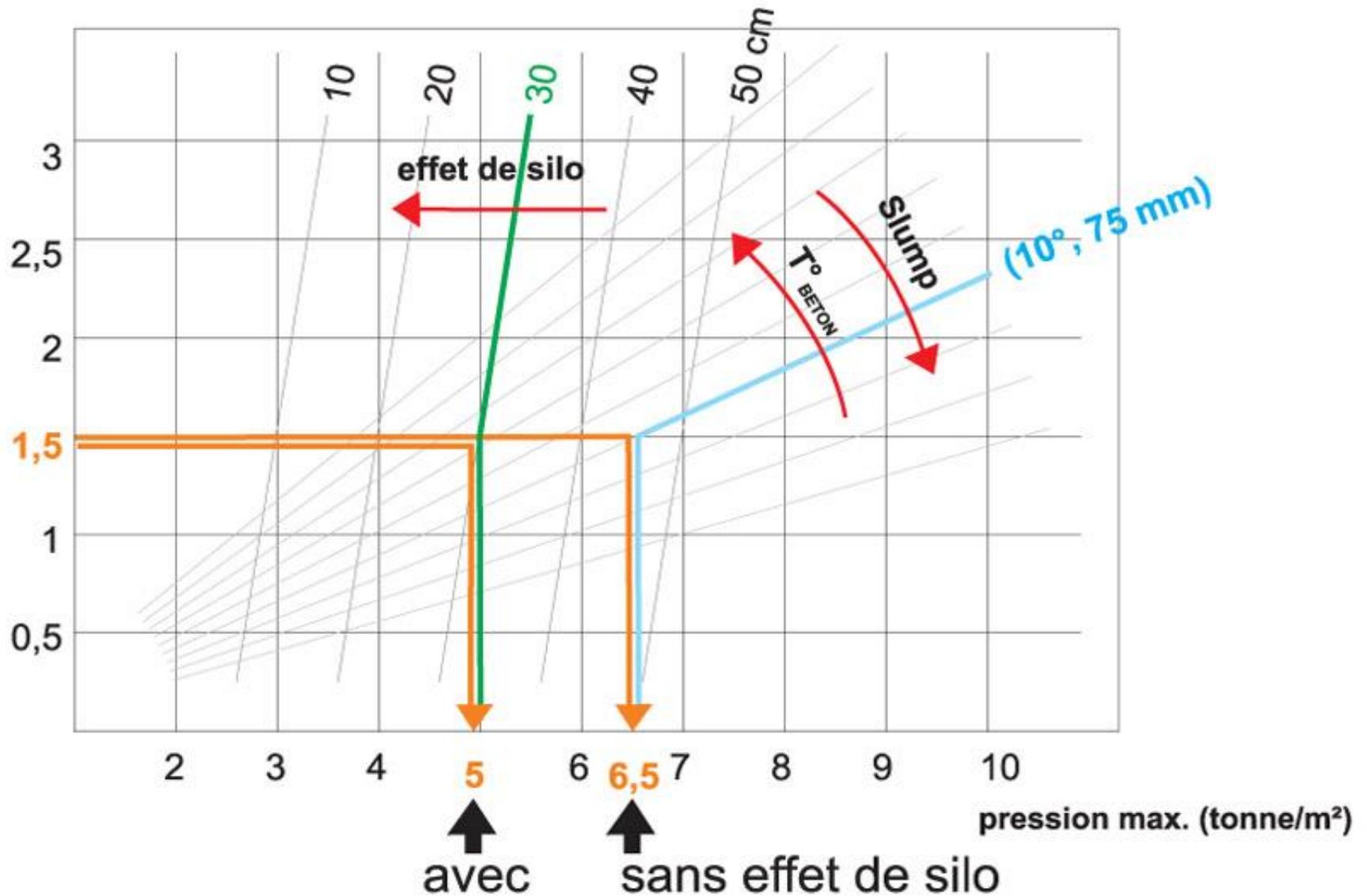


3a1 coffrage

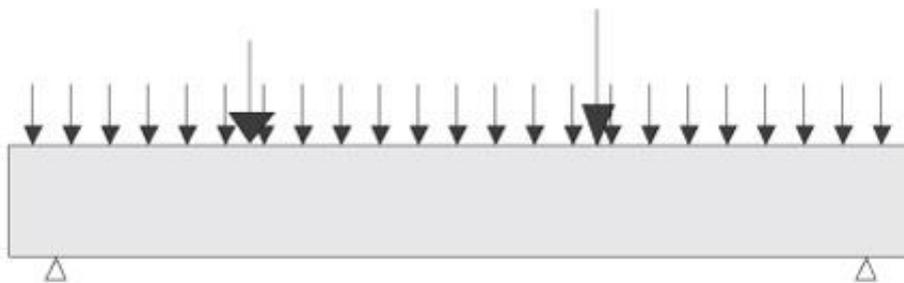
pression HORIZONTALE

(exemple)

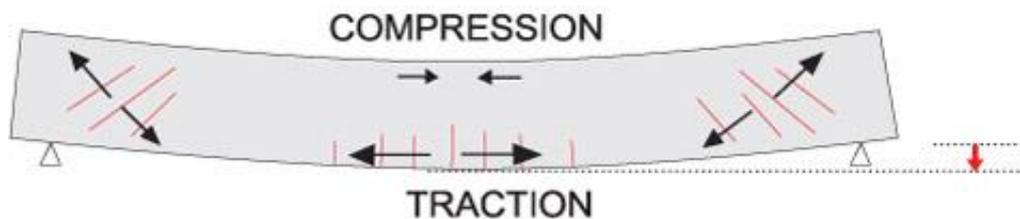
vitesse d'ascension (m/h)



3a2 armature *principe*



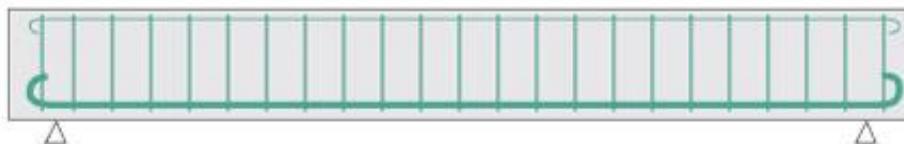
POIDS PROPRE
CHARGE UTILE
COEFFICIENTS DE SECURITE



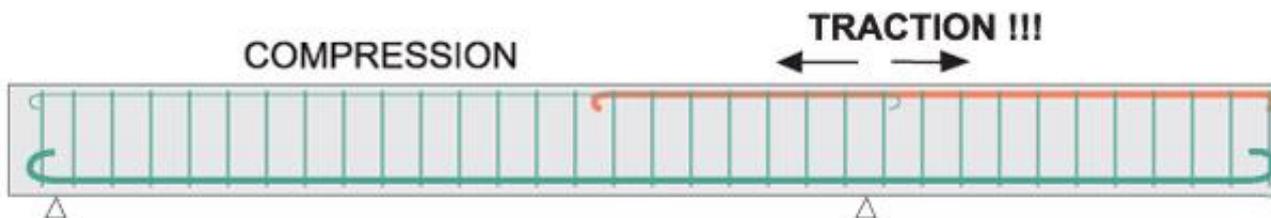
sans armature:
FISSURATION
FLECHISSEMENT + rupture



ARMATURE (THEORIQUE)
BETON = COMPRESSION
ARMATURE = TRACTION



ARMATURE (PRATIQUE)



ENCORBELLEMENT
BALCON...

3a2 armature

précontrainte

(cas de mise sous tension avant le coulage du béton)



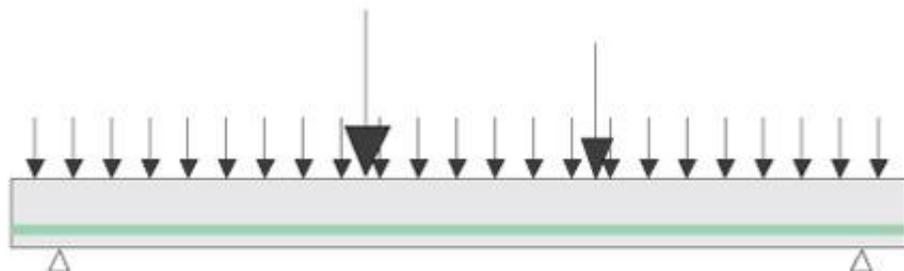
MISE SOUS TENSION
de l'armature



BETONNAGE



DECOFFRAGE
MISE SOUS TENSION
du béton



MISE EN SERVICE

3a2 armature

fibres

● fibres d'acier

types (exemples):



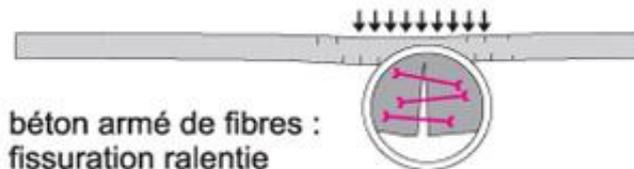
$L = 30 - 100 \text{ mm}$

$\varnothing = 0,1 - 1 \text{ mm}$

fonction: améliorent le comportement du béton à l'état durci

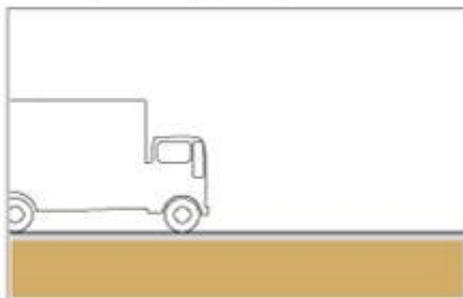


non armé: fissuration sur toute l'épaisseur



béton armé de fibres :
fissuration ralentie
et contrôlée

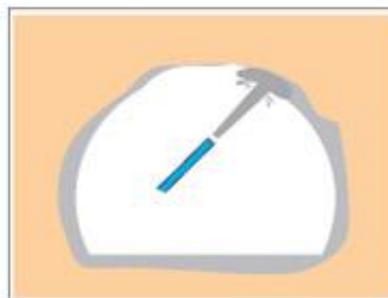
applications (exemples):



sols industriels



tuyaux



tunnels
(béton gunité)



ouvrages résistant aux
explosions

dosage: ~ 30 kg par m³ béton (~ 30 fibres par 10x10 cm² de surface de fissuration)



- veiller à la répartition homogène des fibres dans la masse du béton
- l'ouvrabilité du béton diminue \Rightarrow adapter la composition du béton ($D_{max} \searrow$)

3a2 armature

fibres

● fibres synthétiques (polypropylène, nylon...)

types (exemples):



par fibrillation



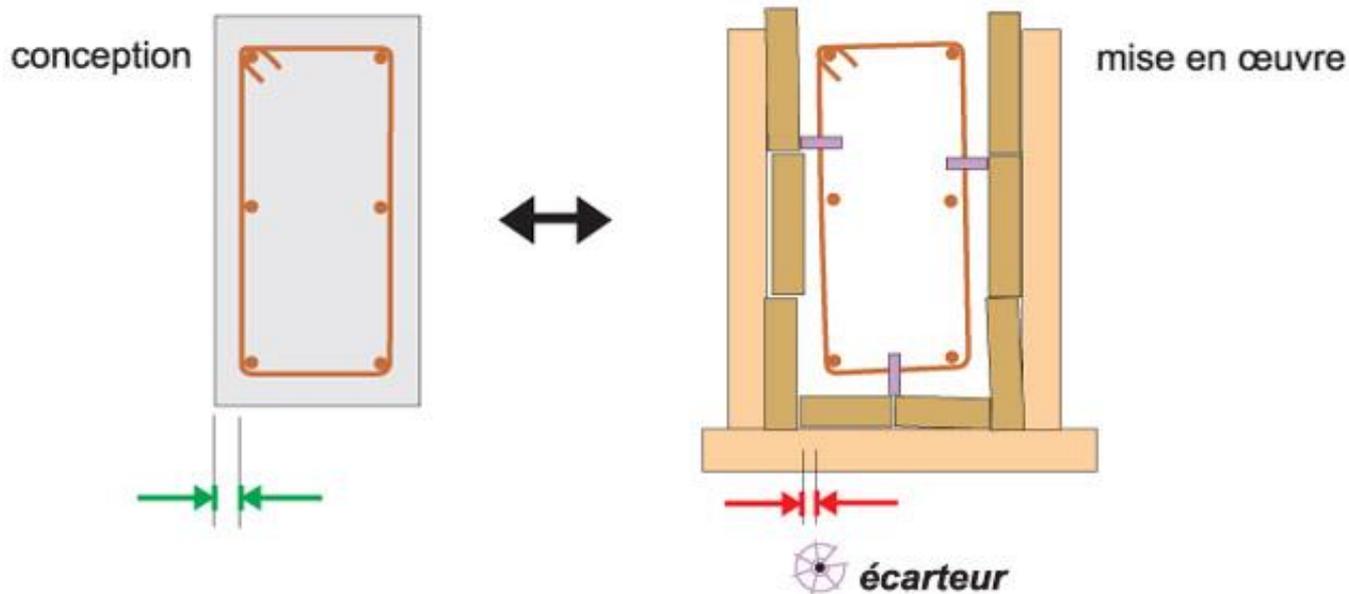
monofilament

L = 10 - 40 mm
Ø = 20 - 600 µm

	béton frais/jeune	béton à l'état durci
fonction:	<p>reprennent les efforts de traction lors du retrait plastique</p> <ul style="list-style-type: none">⇒ moins de risque de fissuration⇒ meilleure qualité du béton de surface (meilleure résistance au gel, aux agents agressifs...)	<p>meilleure résistance au feu</p> <p>sans fibres: vapeur enfermée ⇒ éclatement du béton</p> <p>avec fibres: les fibres fondent ⇒ réseau de petits canaux ⇒ la vapeur peut s'échapper</p>
applications:	<ul style="list-style-type: none">- revêtements routiers- sols industriels	<p>structures en béton à hautes performances (BHP)</p>
dosage:	<p>0,6 - 1 kg par m³ de béton (> 20 000 fibres pour 10x10 cm² de surface de fissuration)</p>	<p>> 2,5 kg par m³ de béton (fibres monofilament)</p>

3a2 armature

corrosion - enrobage



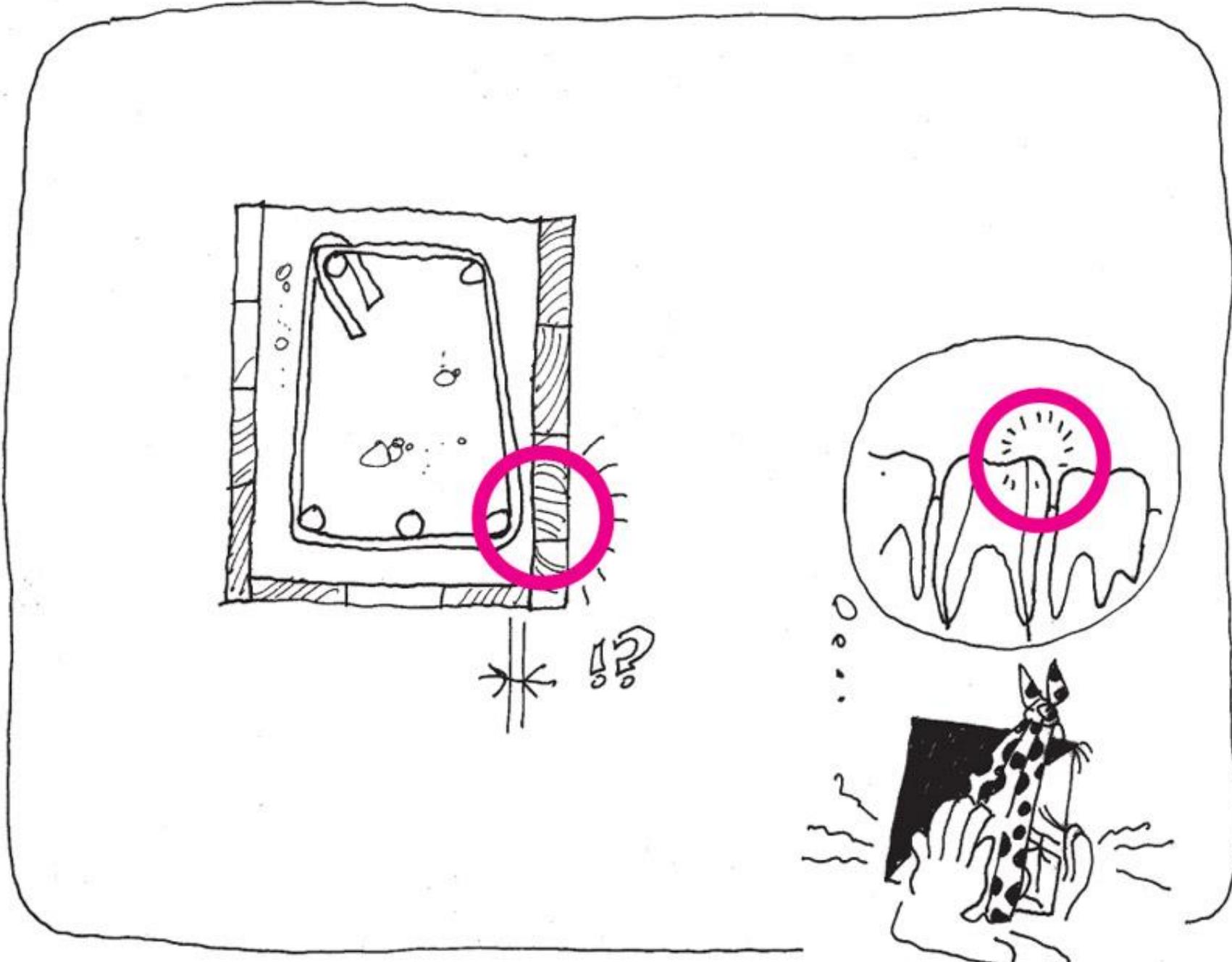
classe d'exposition	1	2a	2b	3, 3S	4a, 4b	5a	5b	5c
enrobage minimum (mm)	15	20	25	40	40	25	30	40
<i>en cas de béton précontraint</i>	25	30	35	50	50	35	40	50



- ces valeurs ne s'appliquent pas au béton préfabriqué
- prévoir des tolérances de 5 à 10 mm !

enrobage minimum 2b1

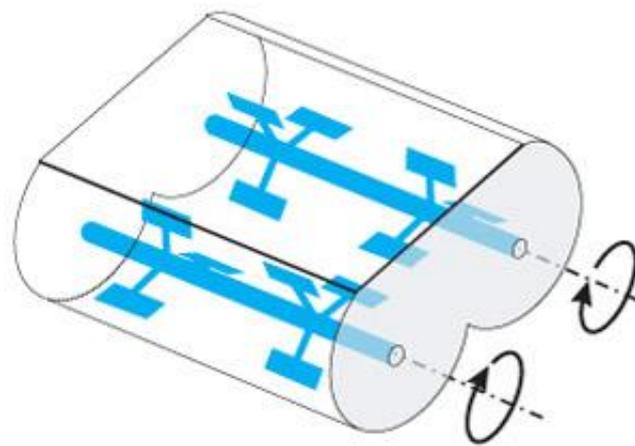
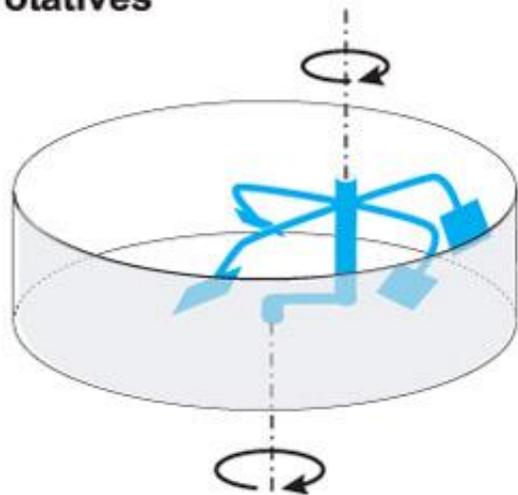
corrosion 4b4



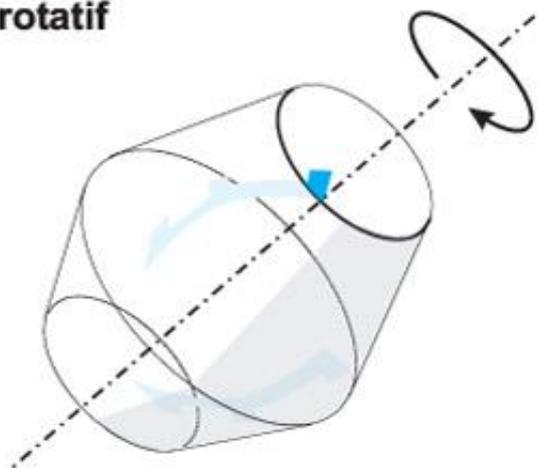
Enrobage insuffisant: souvent le point névralgique...

3b1 malaxage *types de malaxeurs*

pales rotatives

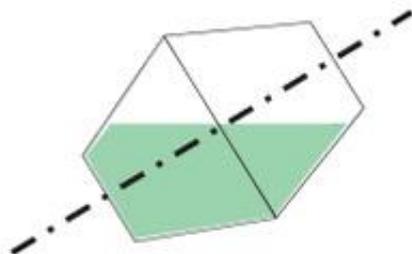


tambour rotatif



3b1 malaxage *paramètres*

capacité

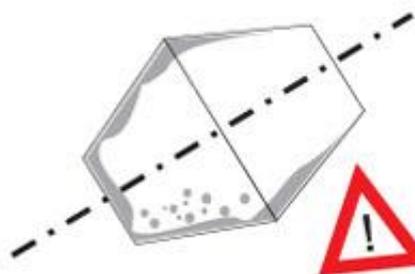


utile (~ 50% de la capacité totale)

durée



ordre

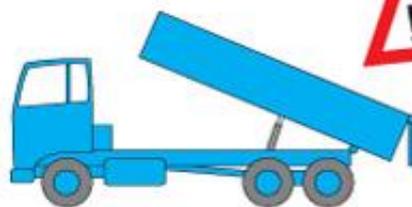


 ne jamais commencer par le ciment
(grumeaux...)

3b2 transport

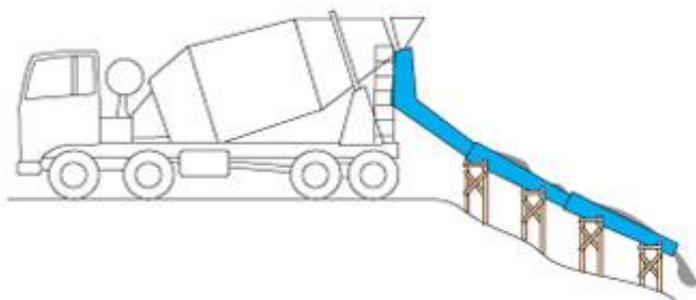
matériel

route



 risque de ségrégation

chantier



max. 45°



usine



3b2 transport

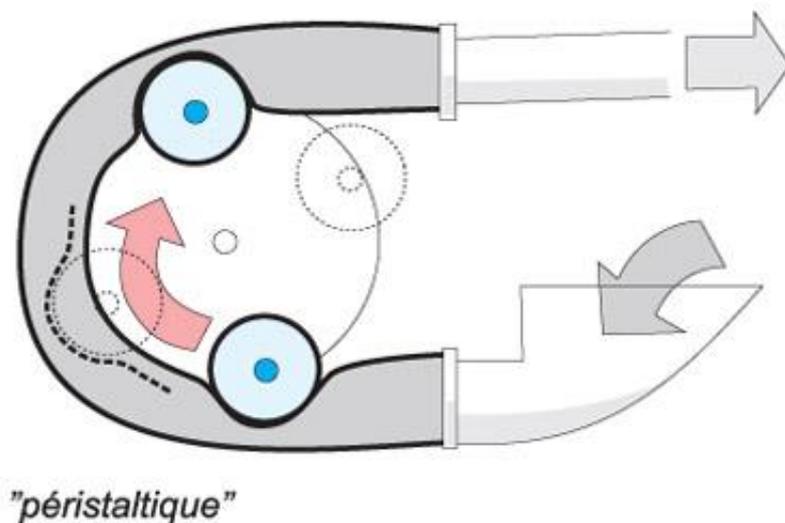
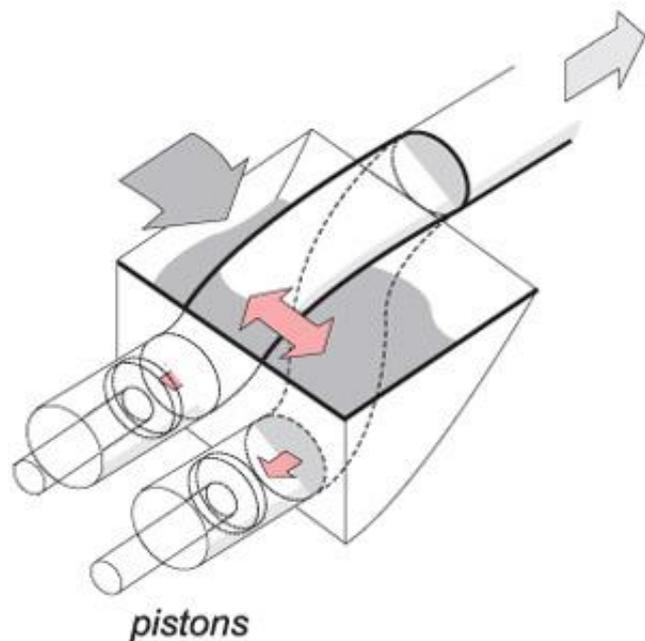
matériel

pompes à béton

debit = 20-80 m³/h

L : jusqu'à 300 m

H: jusqu'à 100 m

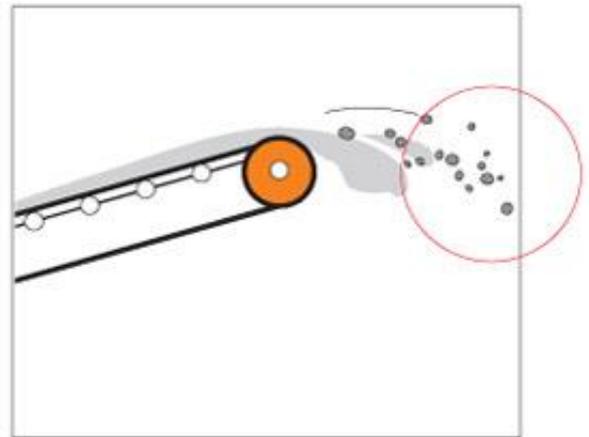
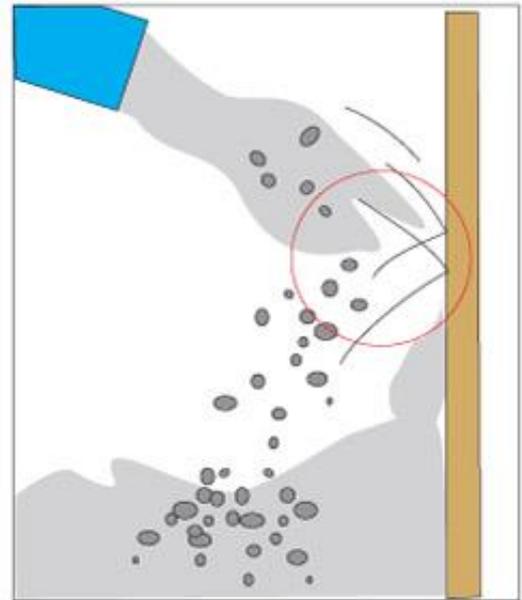
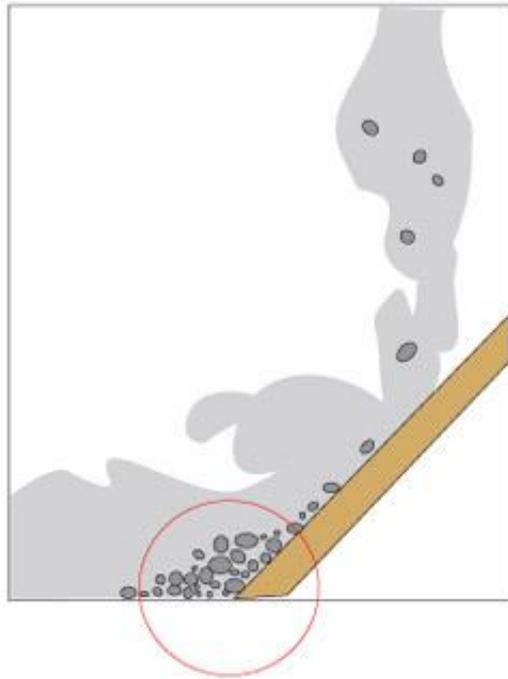
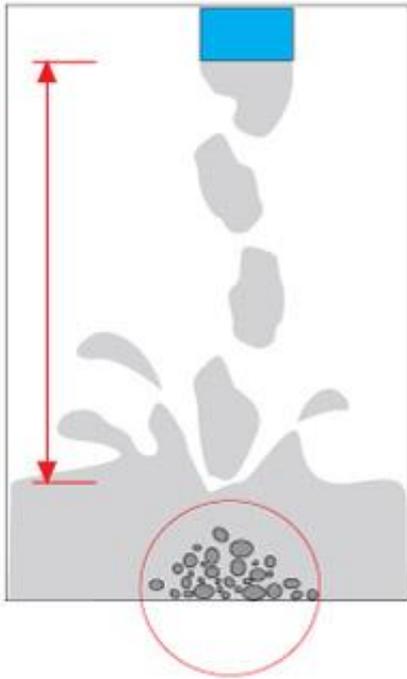


béton pompable =

- granulométrie continue
- teneur suffisante en fines

3b3 mise en place

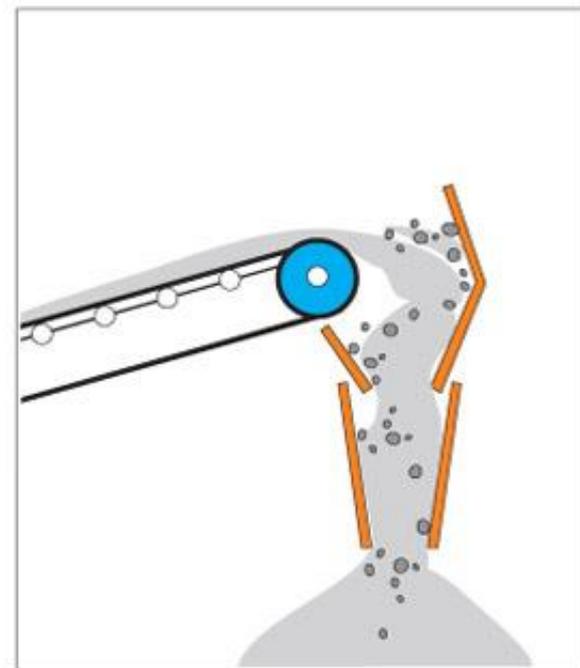
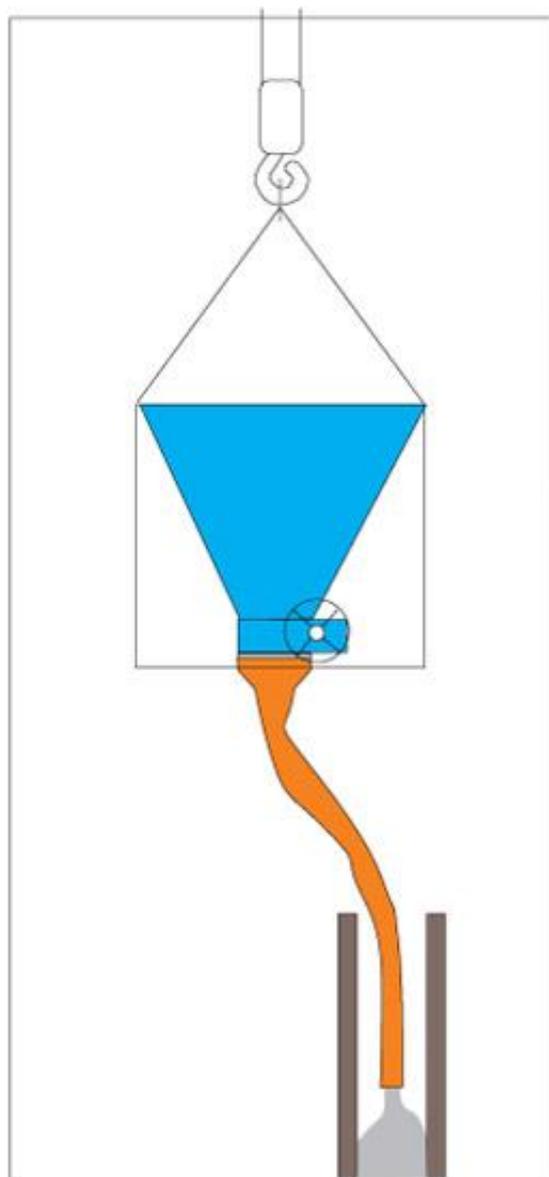
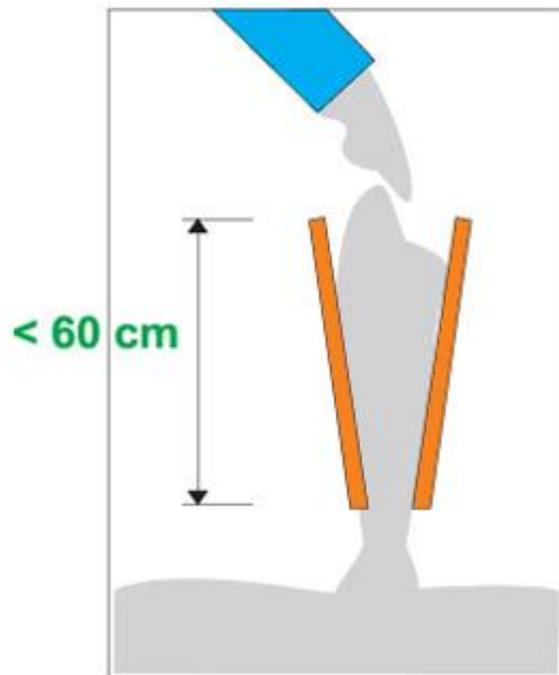
fautes courantes



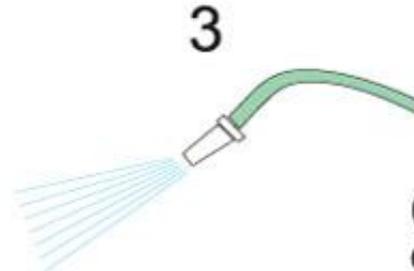
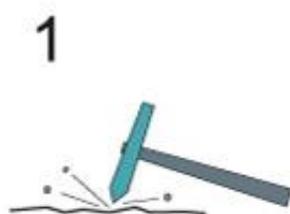
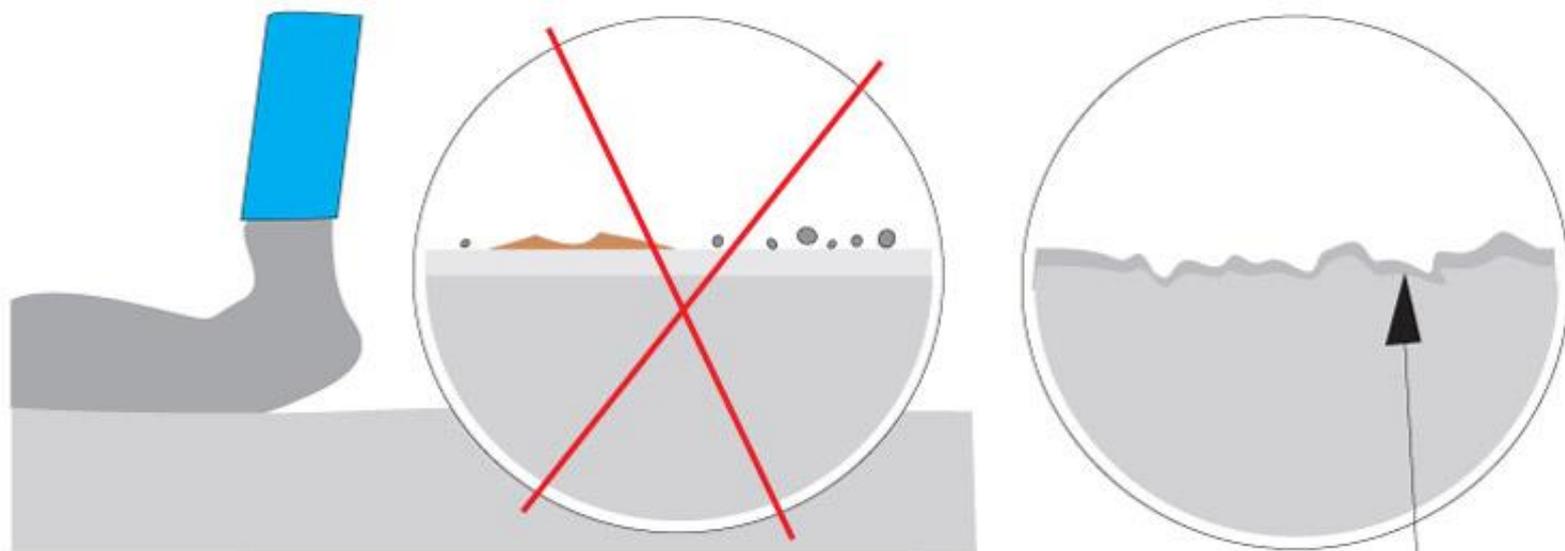
SEGREGATION...

3b3 mise en place

accessoires



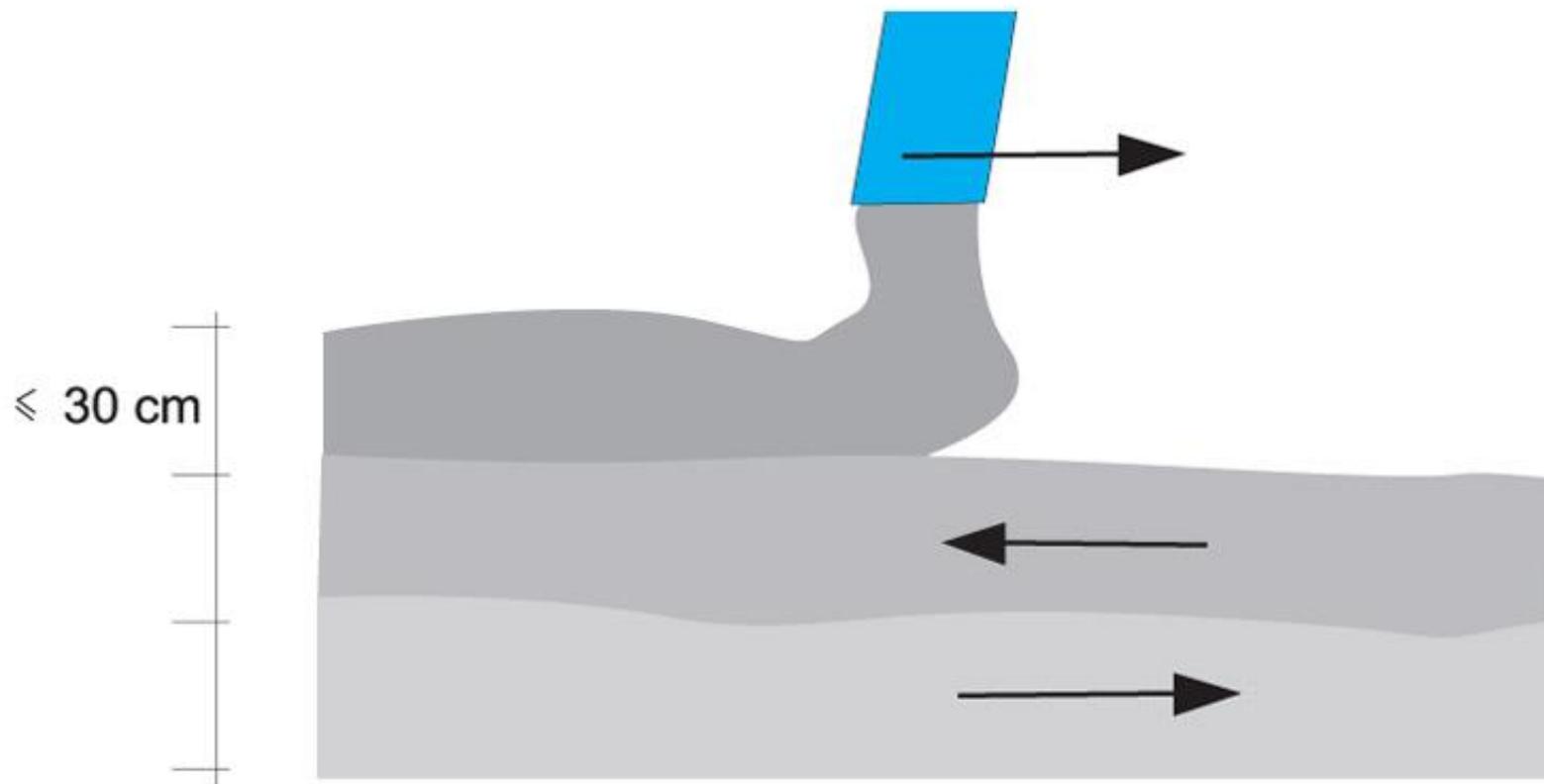
3b3 mise en place *préparation*



4
(eventuellement:)
couche
d'adhérence

3b3 mise en place

épaisseur des couches successives

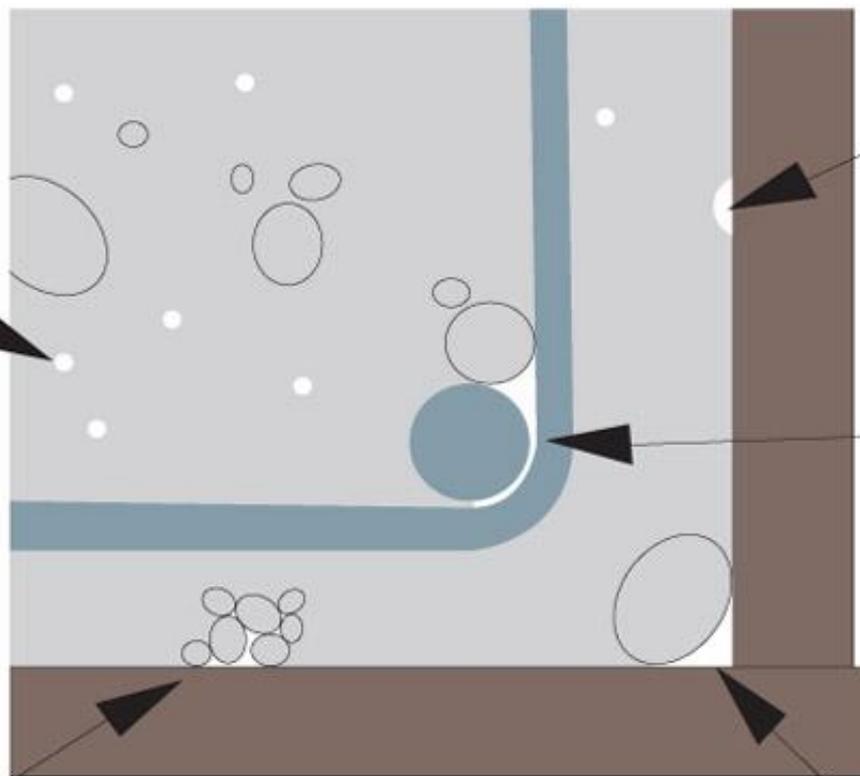


3b4 compactage *but*



béton
non compacté =

... 15 à 20 % d'air



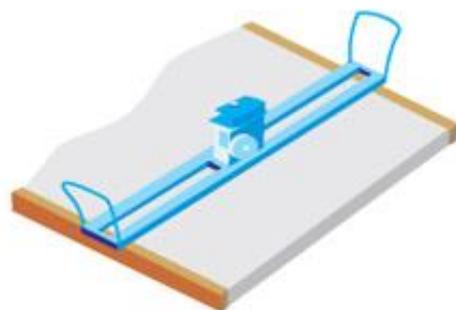
... bulles d'air
sur coffrage

... armatures
non enrobées

... granulats
non enrobés

... coins non
remplis

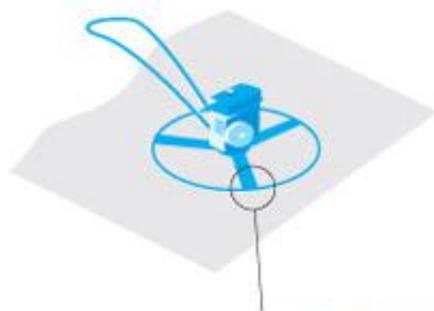
3b4 compactage matériel - sur chantier



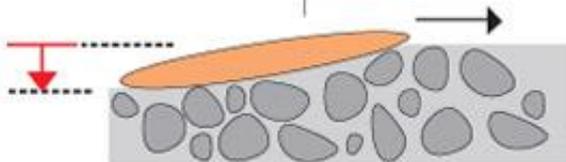
poutre vibrante



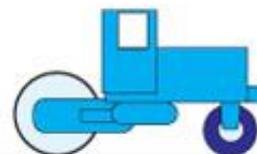
plaque vibrante



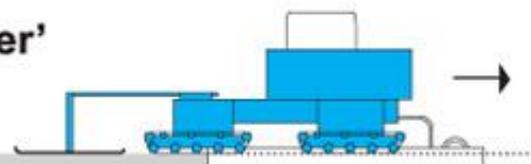
'hélicoptère'



rouleau compresseur



'slipform paver'



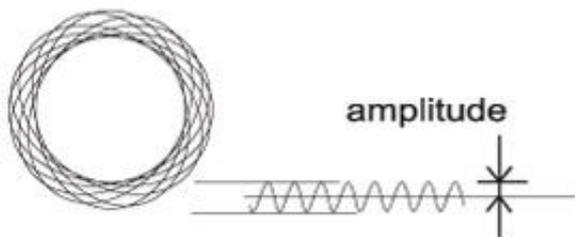
3b4 compactage

matériel - sur chantier / en usine

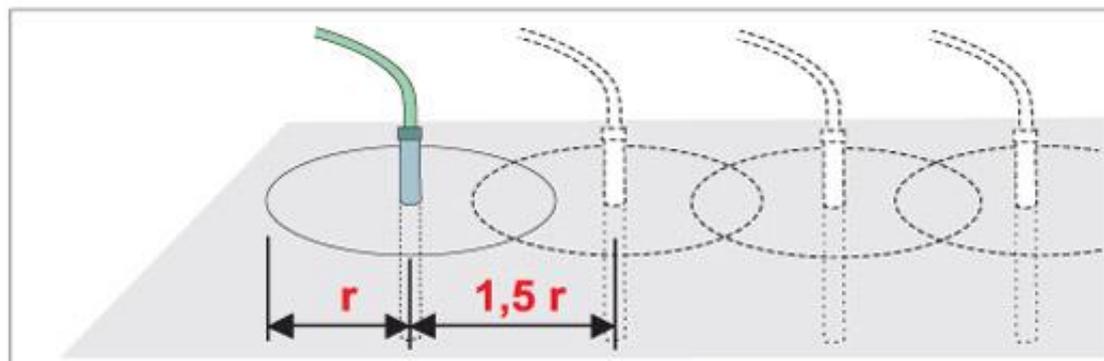
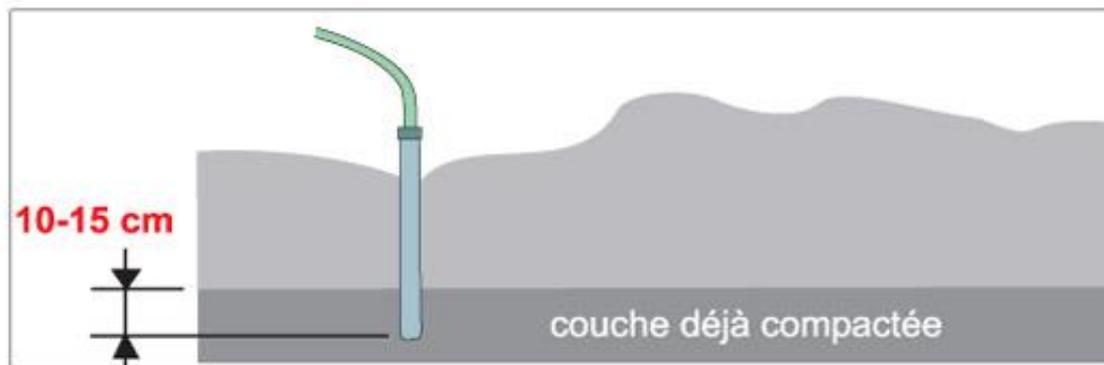
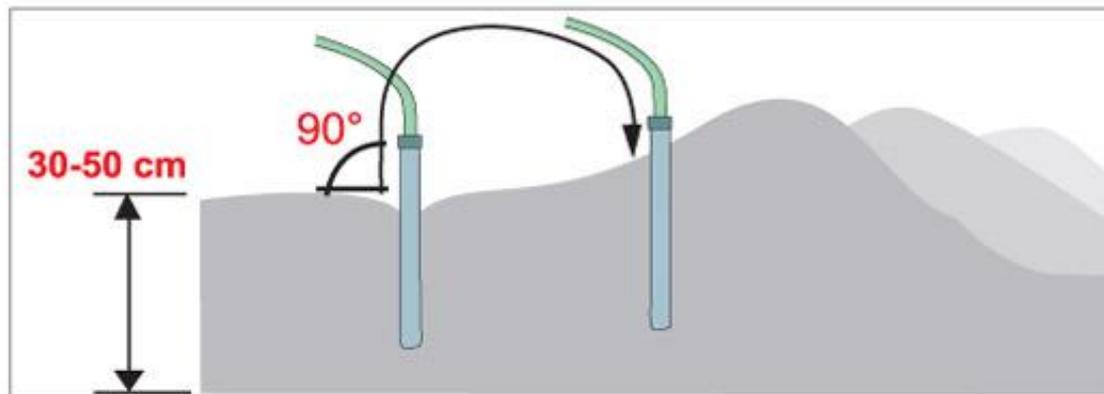
aiguille vibrante



12.000 t/min
(= 200 Hz)

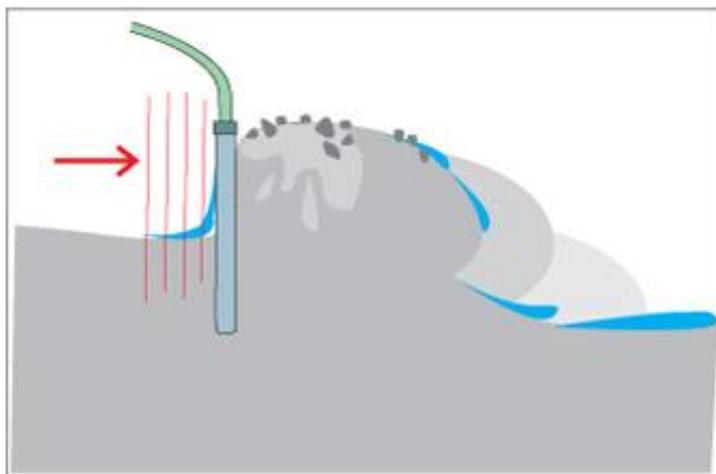


amplitude

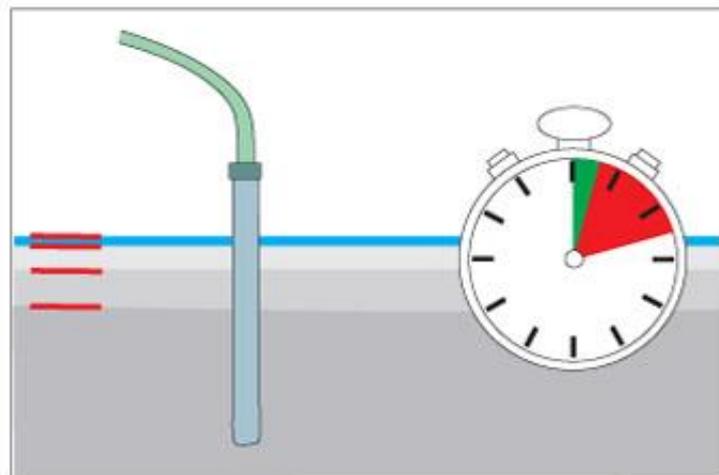


3b4 compactage matériel - sur chantier / en usine

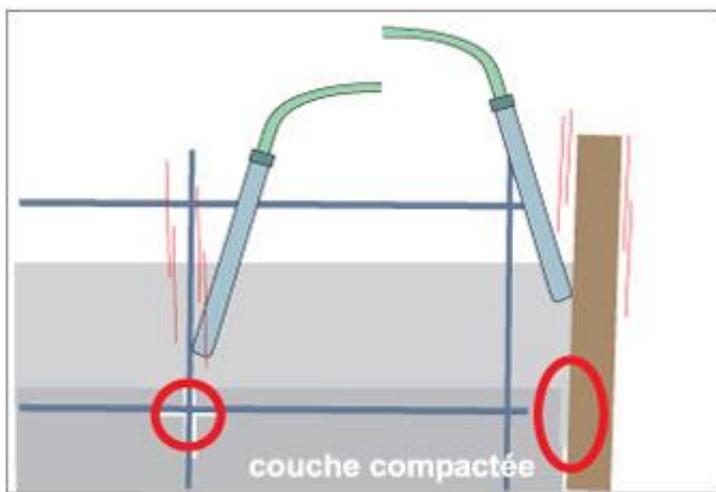
aiguille vibrante



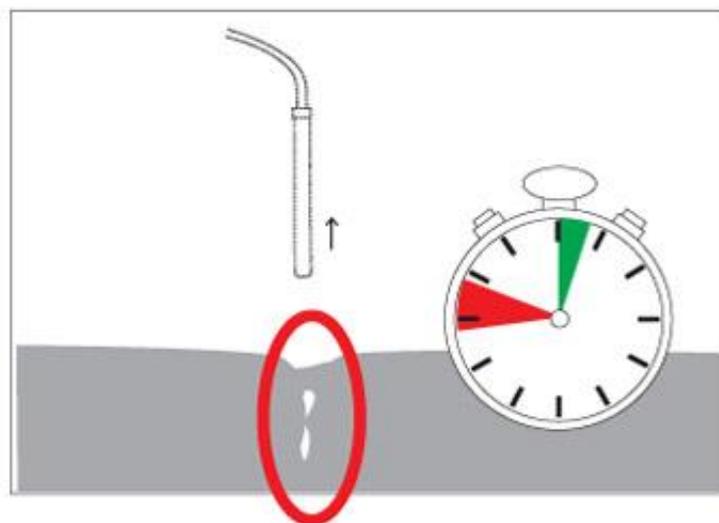
l'aiguille vibrante ne sert pas à étaler le béton...



durée trop longue = ségrégation...



ne pas vibrer les armatures: désolidarisation...
ne pas vibrer le coffrage: fuites...

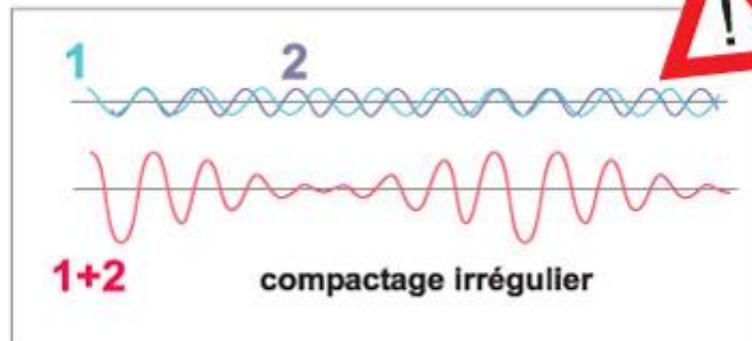
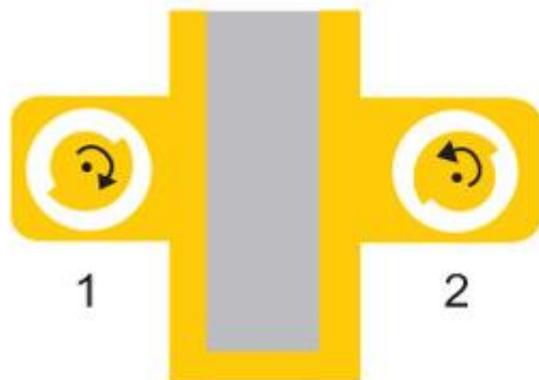


ne pas vibrer un béton déjà raidi: traces...

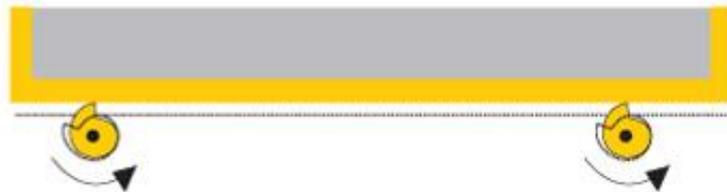
3b4 compactage

matériel - usine de préfabrication

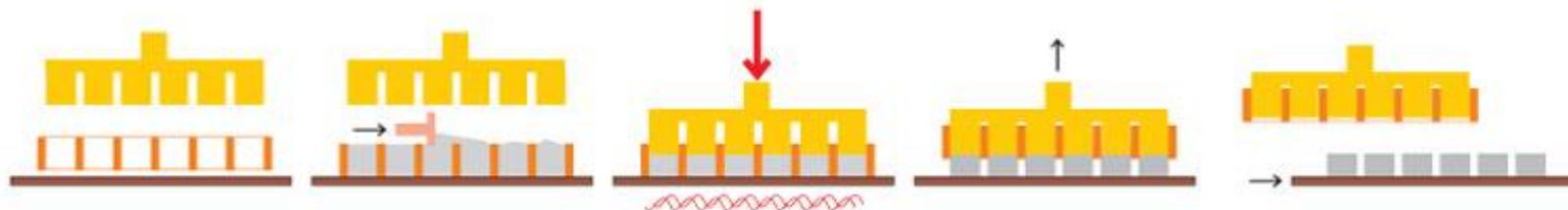
vibrateurs de coffrage



tables vibrantes

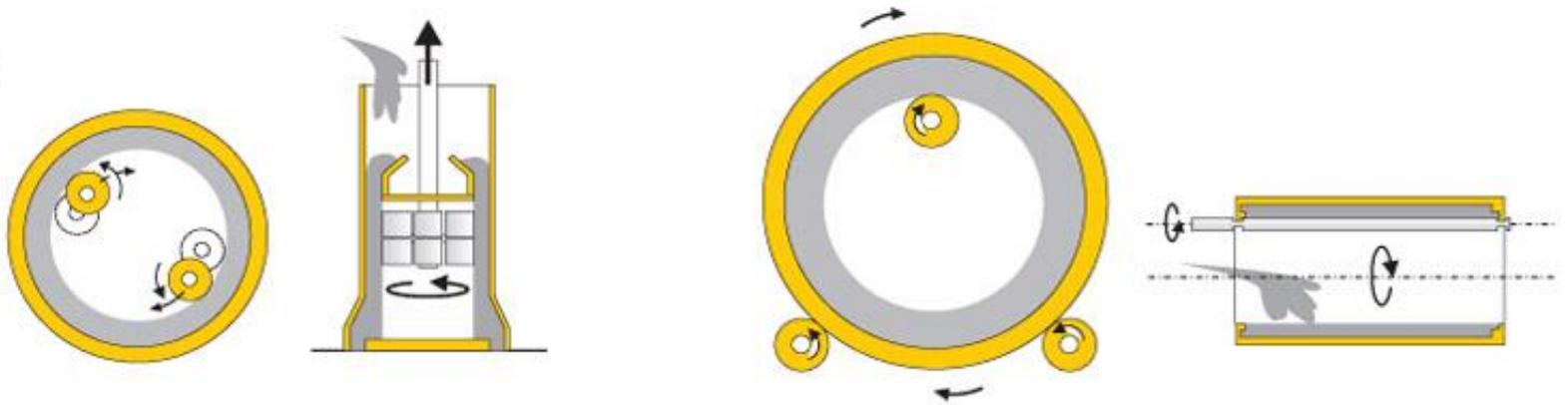


presses

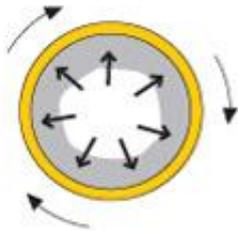


3b4 compactage *matériel - usine de préfabrication*

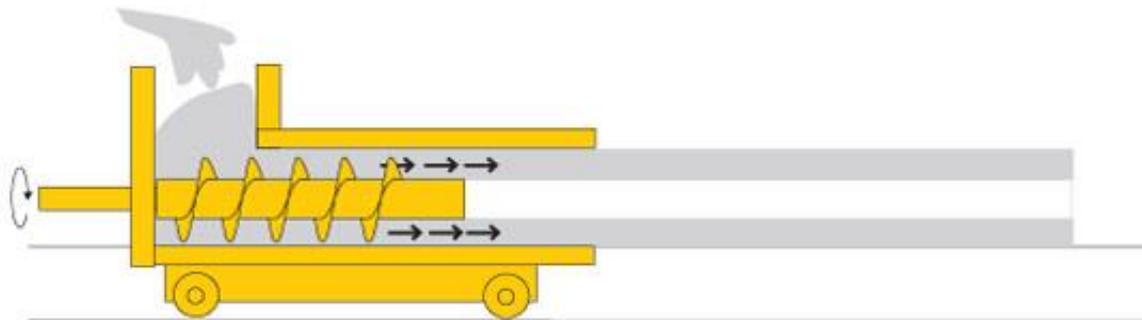
laminage



centrifugation



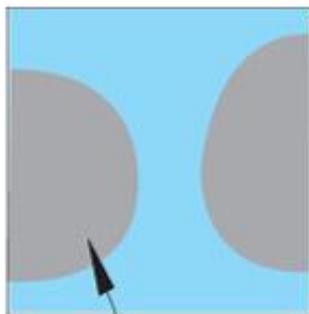
extrusion



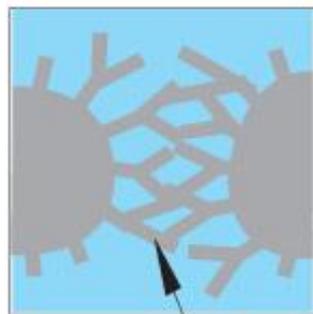
3b5 protection contre la dessiccation

sinon...

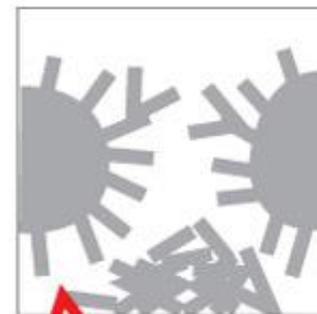
surface
"grillée"



grain de ciment

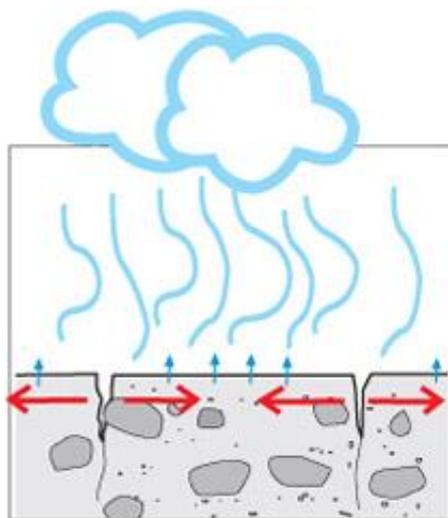


hydrates de ciment



hydratation interrompue
(= irrécupérable, même
après réhumidification !)

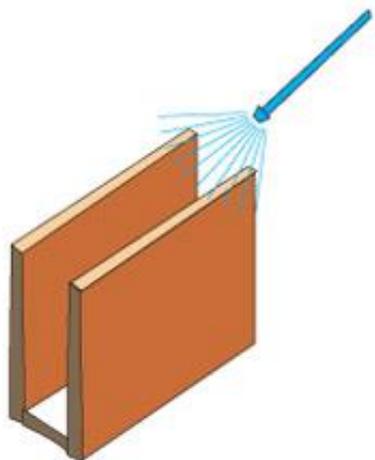
"retrait plastique"



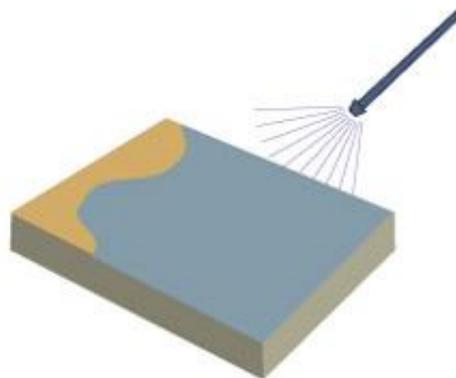
efforts de traction
élevés
⇒ fissuration

3b5 protection *contre la dessiccation*

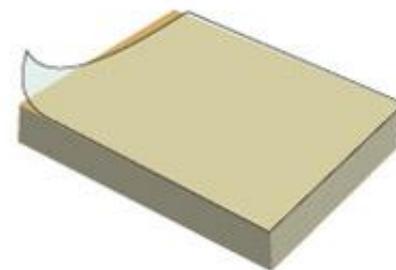
avant la mise en place du béton:



humidifier le coffrage



émulsion bitumineuse



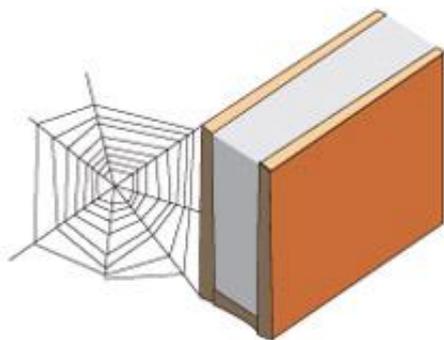
feuille en plastique



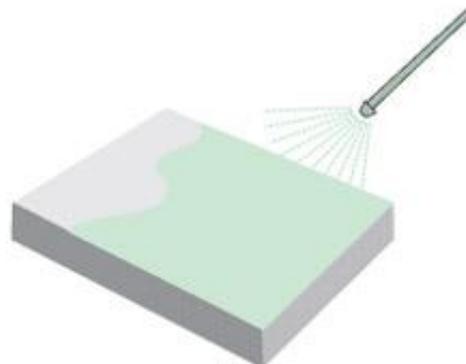
pas d'adhérence
avec la sous-couche

3b5 protection *contre la dessiccation*

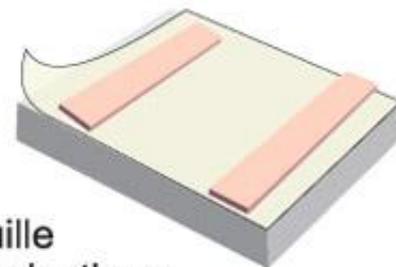
après la mise en place du béton:



délai de décoffrage
suffisamment long



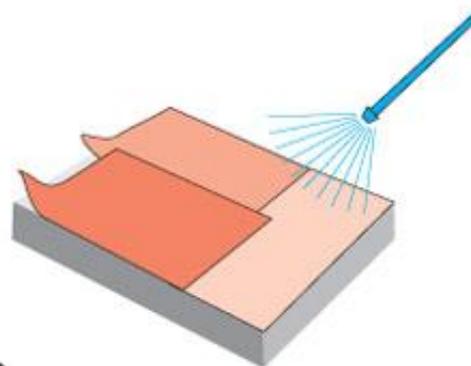
"curing compound"



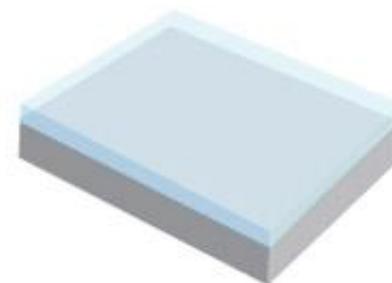
feuille
de plastique



ne pas abîmer
la surface
du béton



toiles,
couvertures humides



mettre sous eau

3b5 protection *contre la dessiccation*

après la mise en place du béton:

durée minimale de protection/cure (en jours, suivant la NBN B15-001)

Développement de la résistance	rapide			moyenne			lente		
Classe de résistance du ciment	42,5 - 52,5			42,5			32,5 - 42,5		
Rapport E/C	< 0,5			0,5 < E/C < 0,6			> 0,6		
Température du béton ≥ ... °C	5	10	15	5	10	15	5	10	15
 Pas de soleil H.R. ≥ 80 %	2	2	1	3	3	2	3	3	2
 Soleil et/ou vent modéré (ou H.R. ≥ 50 %)	4	3	2	6	4	3	8	5	4
 Soleil et/ou vent fort (ou H.R. < 50 %)	5	4	3	8	6	5	10	8	5

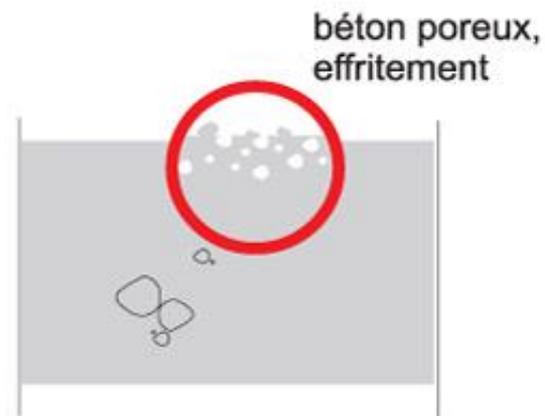
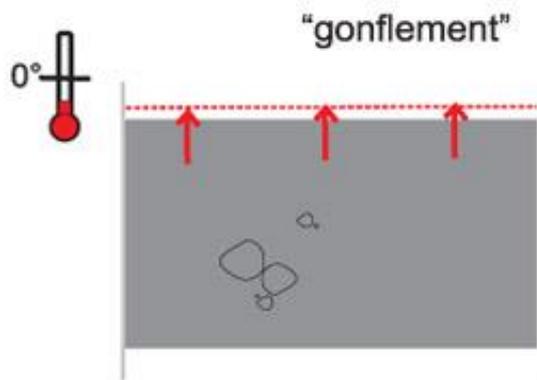


+ 2 jours pour des bétons qui seront exposés au gel, aux agents agressifs...

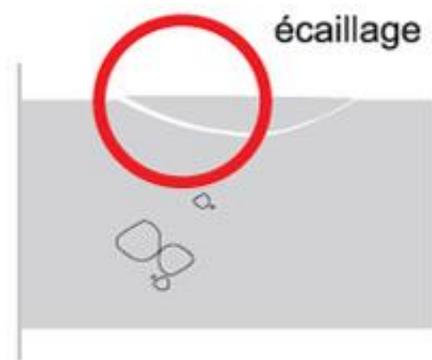
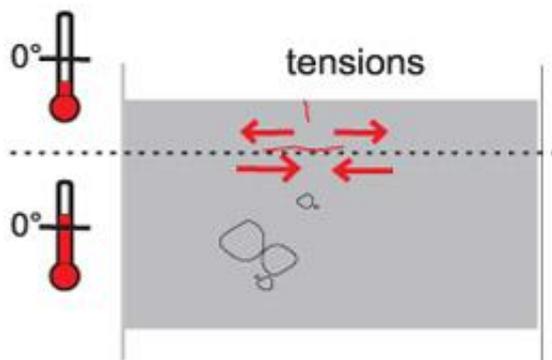
3b5 protection

contre le gel

béton FRAIS



béton JEUNE



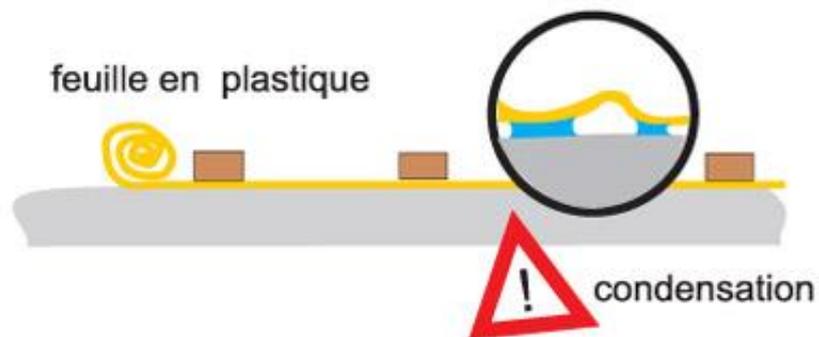
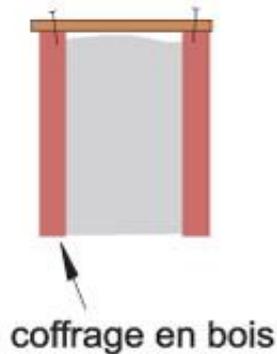
gel et béton durci

4b5

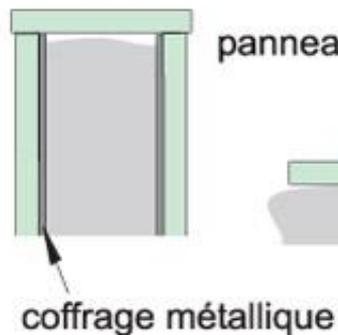
3b5 protection

contre le gel

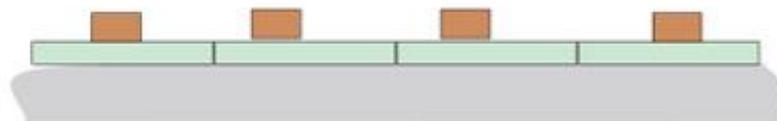
- couvrir



- couvrir + isoler



panneaux, couvertures...



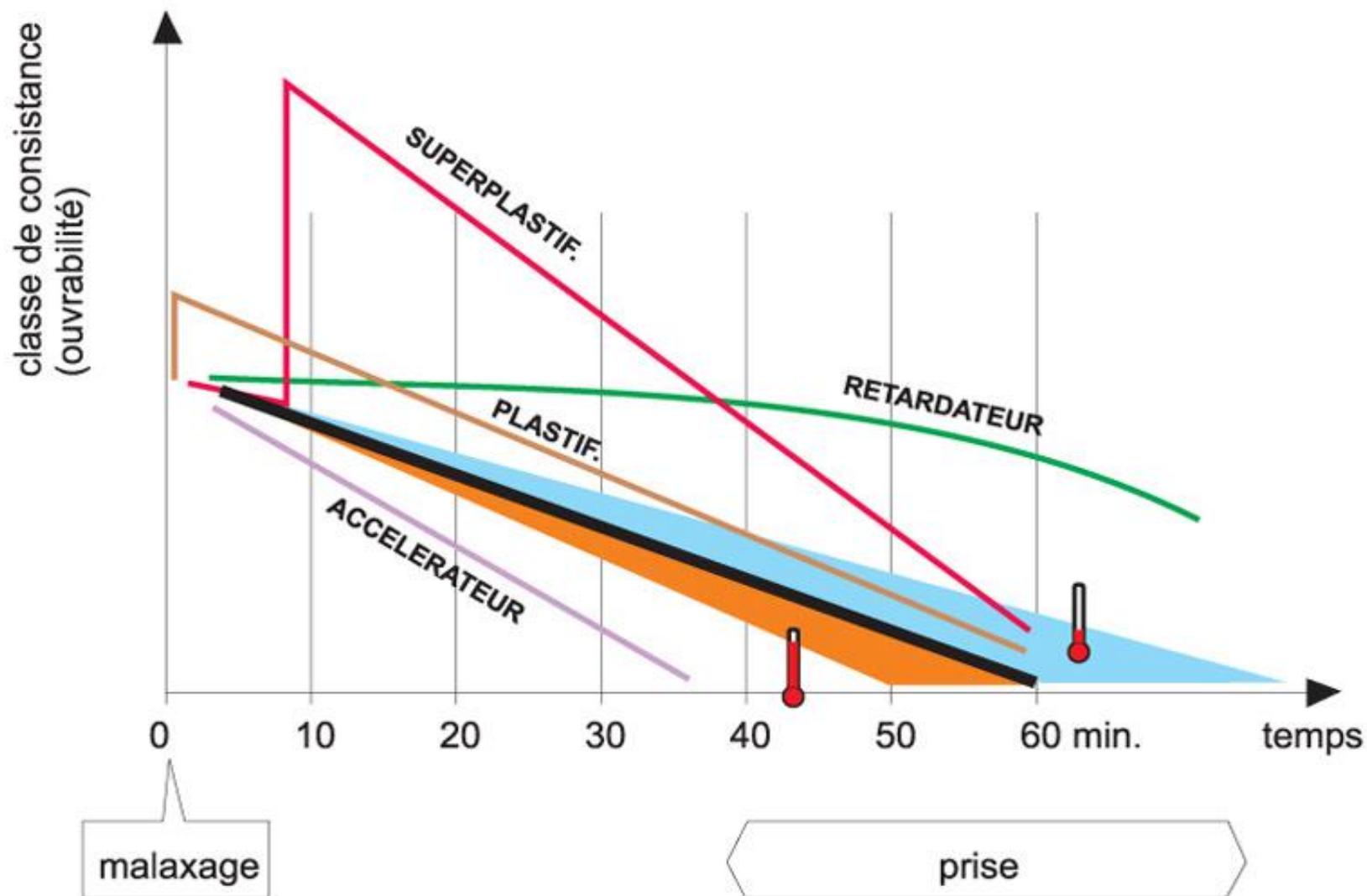
- choix du ciment: classe de résistance 52.5 (R)

- adjuvants: accélérateur de prise

1c

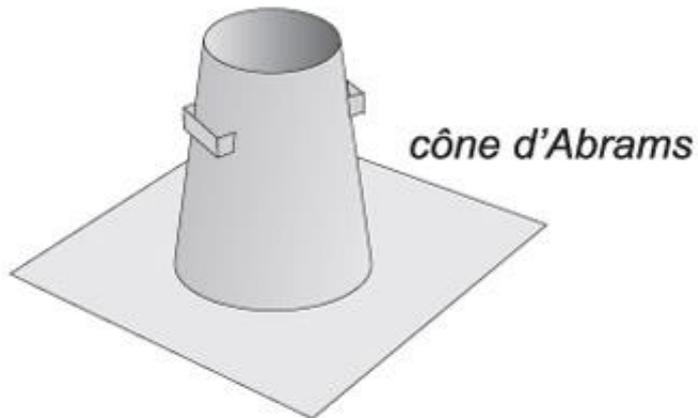
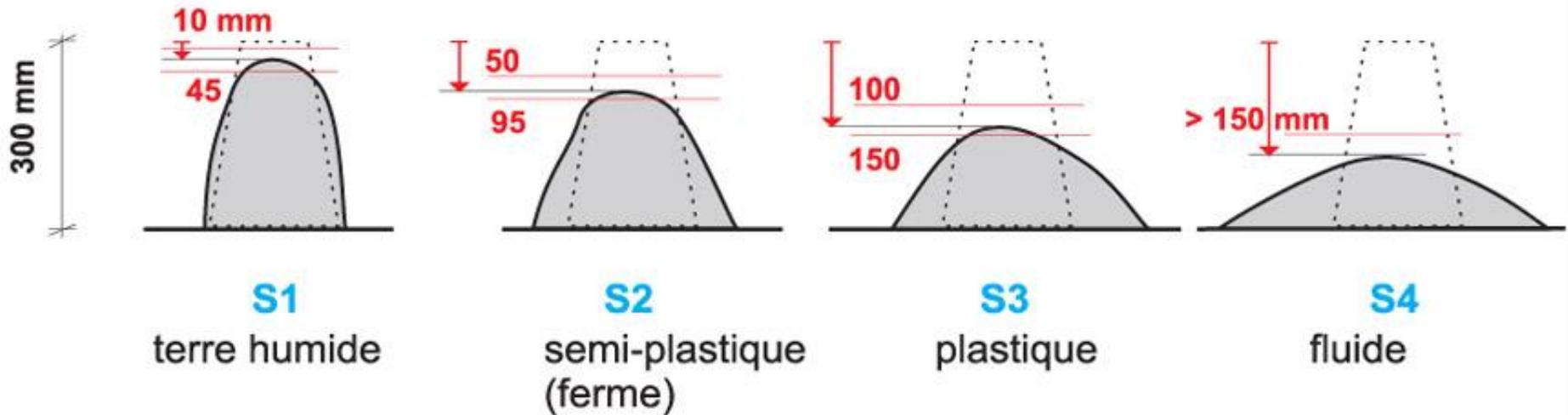
1e

3c1 consistance *comment influencer*



3c1 consistance classes

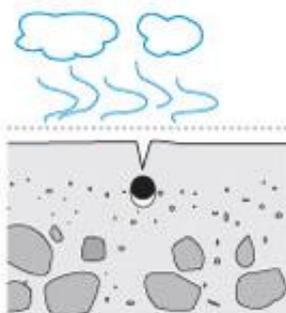
affaissement ("*slump*")



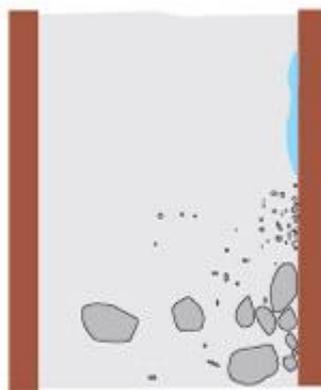
3c2 stabilité

↔ ségrégation

"sédimentation"



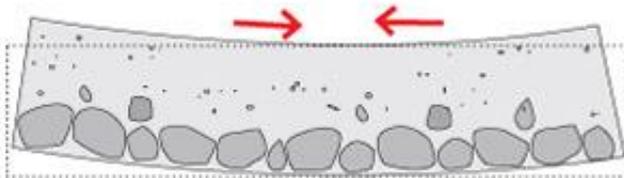
fissuration
(p.ex. au-dessus de l'armature)



traînées d'eau, de sable

différences de teinte

nids de gravier



retrait différentiel
"curling"
⇒ fissuration

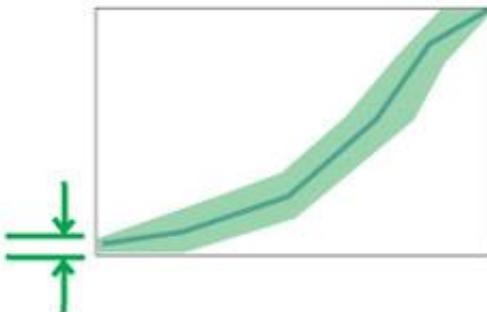


3c2 stabilité

comment éviter la ségrégation

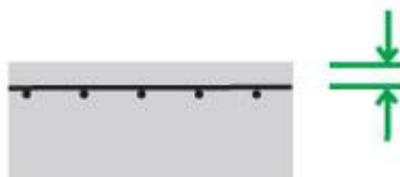
- granulométrie continue

suffisamment de fines



- rapport eau-ciment suffisamment bas

- enrobage suffisant



- temps de compactage limité



autres facteurs: température du béton, type de ciment, adjuvants

3c3 maturation *estimation de la résistance à la compression*

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) \cdot f_{cm}$$

f_{cm} = résistance moyenne à la compression à 28 jours

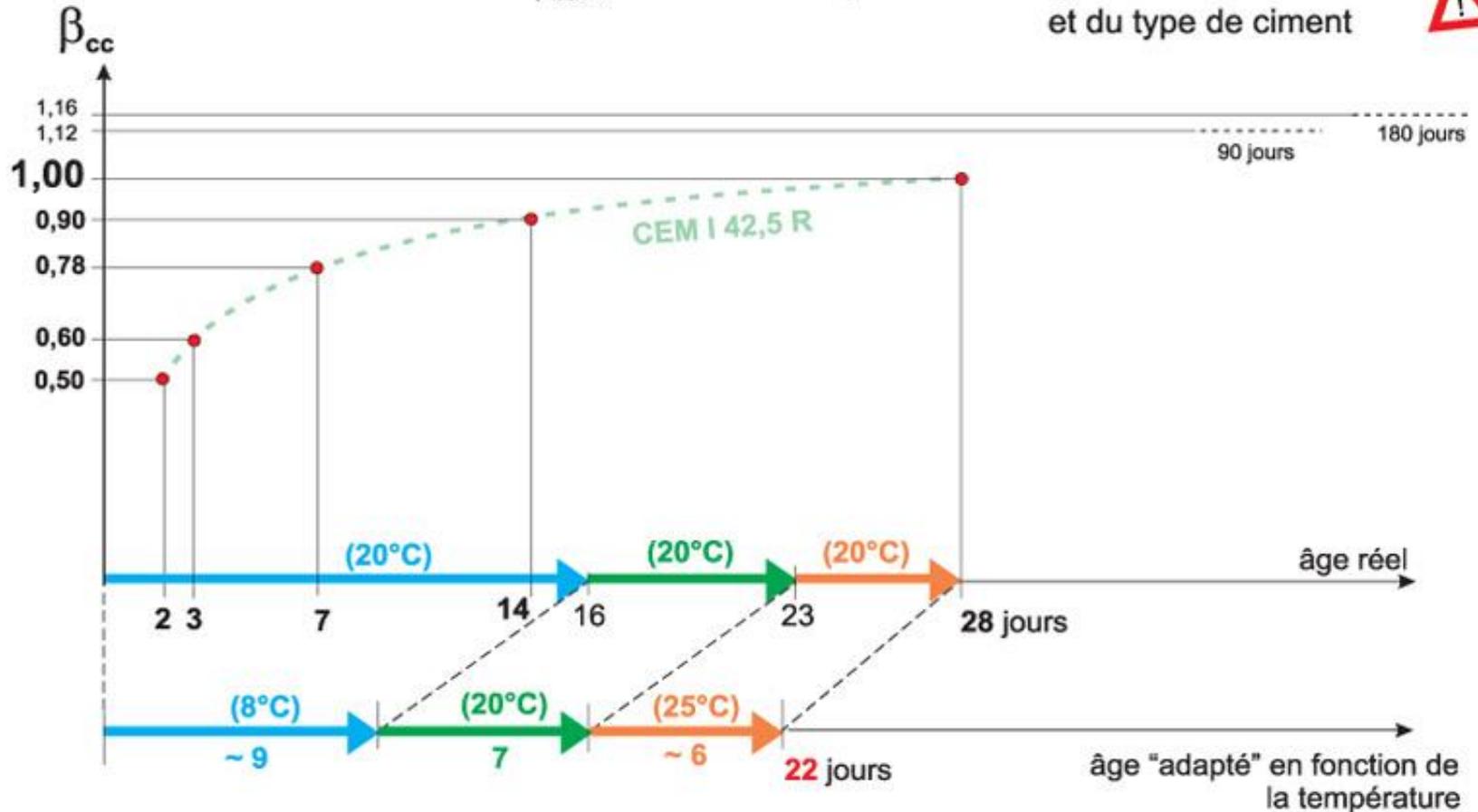
$f_{cm}(t)$ = résistance moyenne à t jours

$\beta_{cc}(t)$ = coefficient dépendant de l'âge du béton

et du type de ciment



exemple:



pour une période de n_i jours à température t_i :

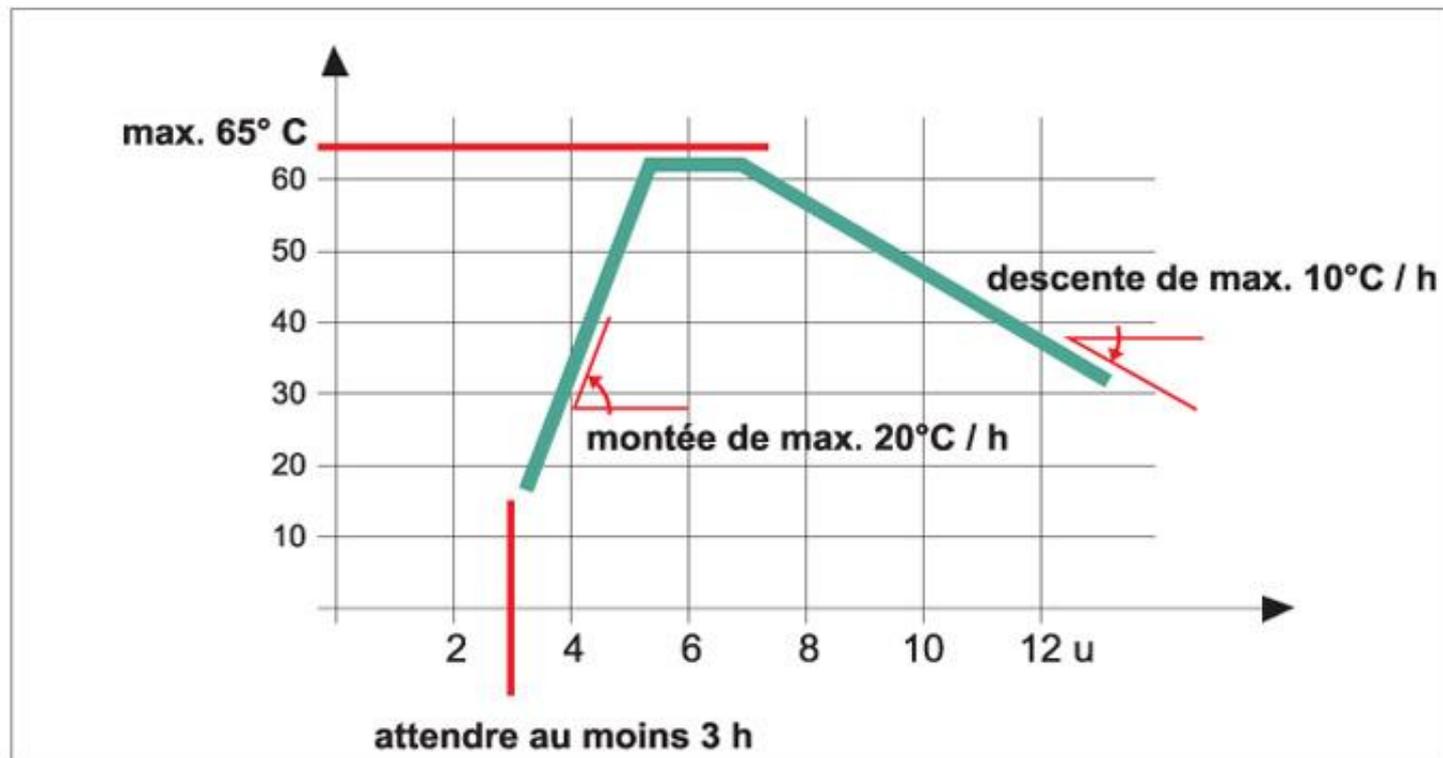
nombre de jours adapté = $n_i \times$ facteur de correction



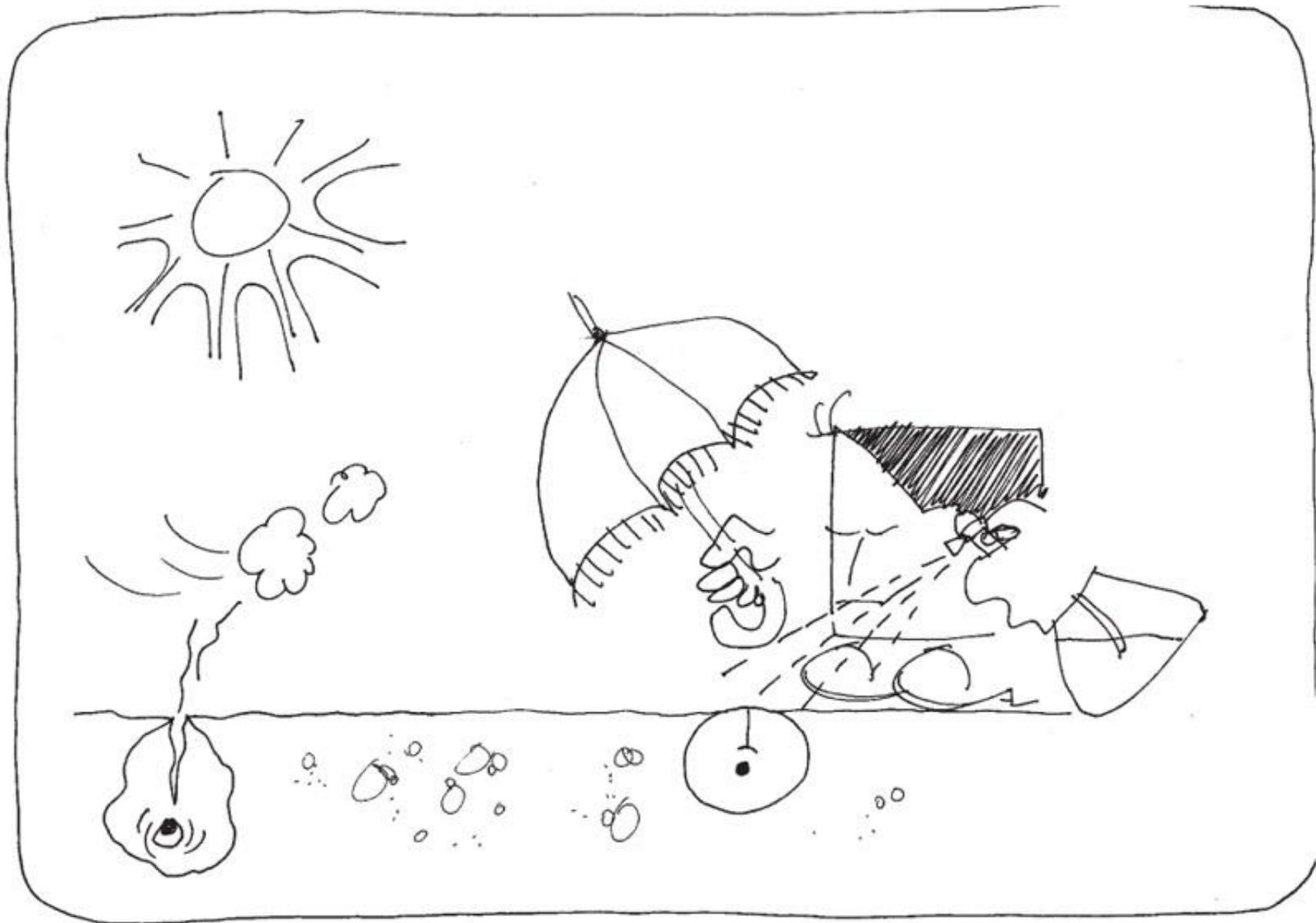
3c3 maturation *comment accélérer*

t° ↗

- chauffer l'eau de gâchage
- utiliser un ciment R
- utiliser un accélérateur de prise
- isolation, vapeur, autoclave



attention en cas de constructions massives



Bétons durables... la protection au jeune âge est essentielle !

Normes & Prescriptions Techniques:

NBN B15-001 : Béton - Performance, production, mise en œuvre et critères de conformité

NBN B15-002 : Eurocode 2: Calcul des structures en béton - Partie 1-1: Règles générales et règles pour les bâtiments

PTV 21-601: Eléments architectoniques industriels et préfabriqués en béton décoratif
Bruxelles : Probeton, 2001

ÖNORM B 2211: Beton und Stahlbetonarbeiten
Werkvertragsnorm, 07.86

Renseignements supplémentaires:

Le retrait dans le béton jeune en cours de durcissement
Dossier Ciment, bulletin n° 16
Bruxelles : FEBELCEM, 1998

L'aspect extérieur du béton
Dossier Ciment, bulletin n° 22
Bruxelles : FEBELCEM, 2000

Schoon beton
's Hertogenbosch : VNC, 1990

Schoon beton ... mooi werk. Leidraad voor projectspecificaties, uitvoering en beoordeling
's Hertogenbosch : ENCI, 2001

Tolerances on blemishes of concrete
CIB (Conseil International du Bâtiment), Report nr. 24, 1973

Eléments en béton architectonique - Recommandations Techniques
Bruxelles : FEBE, 1993

Mémento du béton architectonique
Bruxelles : FEBE, 2e édition, 1996

Betonoberfläche - Betonrandzone
DBV (Deutscher Beton-Verein), Sachstandbericht, 1996

1 LES COMPOSANTS DU BETON

2 FAIRE DU BETON

3 LE BETON FRAIS

4 LE BETON DURCI

4

BETON DURCI (à partir de la mise en service)

a- BETON, MATERIAU HETEROGENE

- 4a1 composants inertes et liant
- 4a2 pâte de ciment durcie
- 4a3 temps et température
- 4a4 échantillonnage

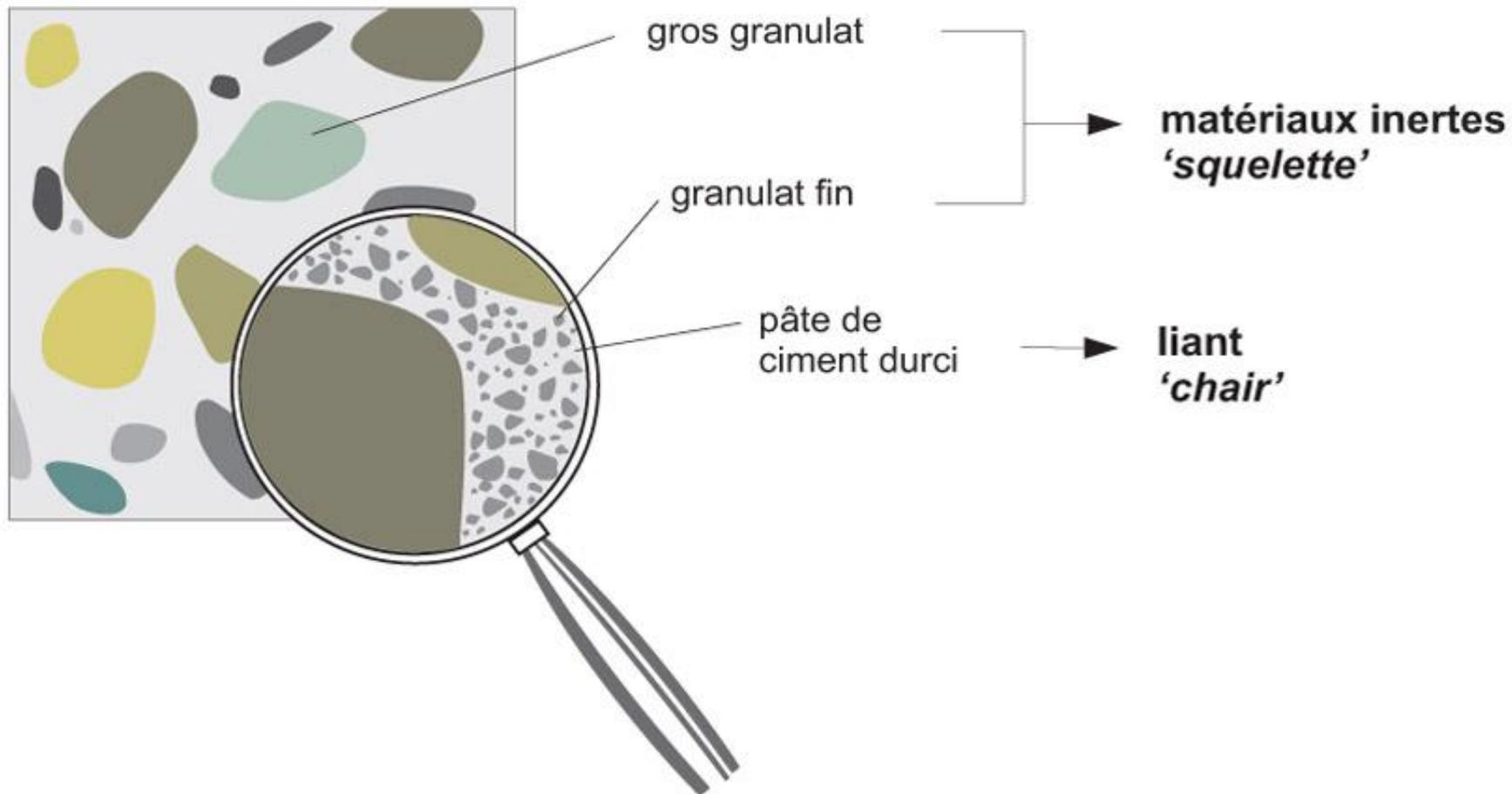
b- CARACTERISTIQUES LIEES A LA DUREE DE VIE

- 4b1 résistance mecanique
- 4b2 déformation
- 4b3 béton et eau
- 4b4 carbonatation
- 4b5 béton et gel
- 4b6 béton et agents agressifs
- 4b7 béton et réaction alcali-silice
- 4b8 béton et feu

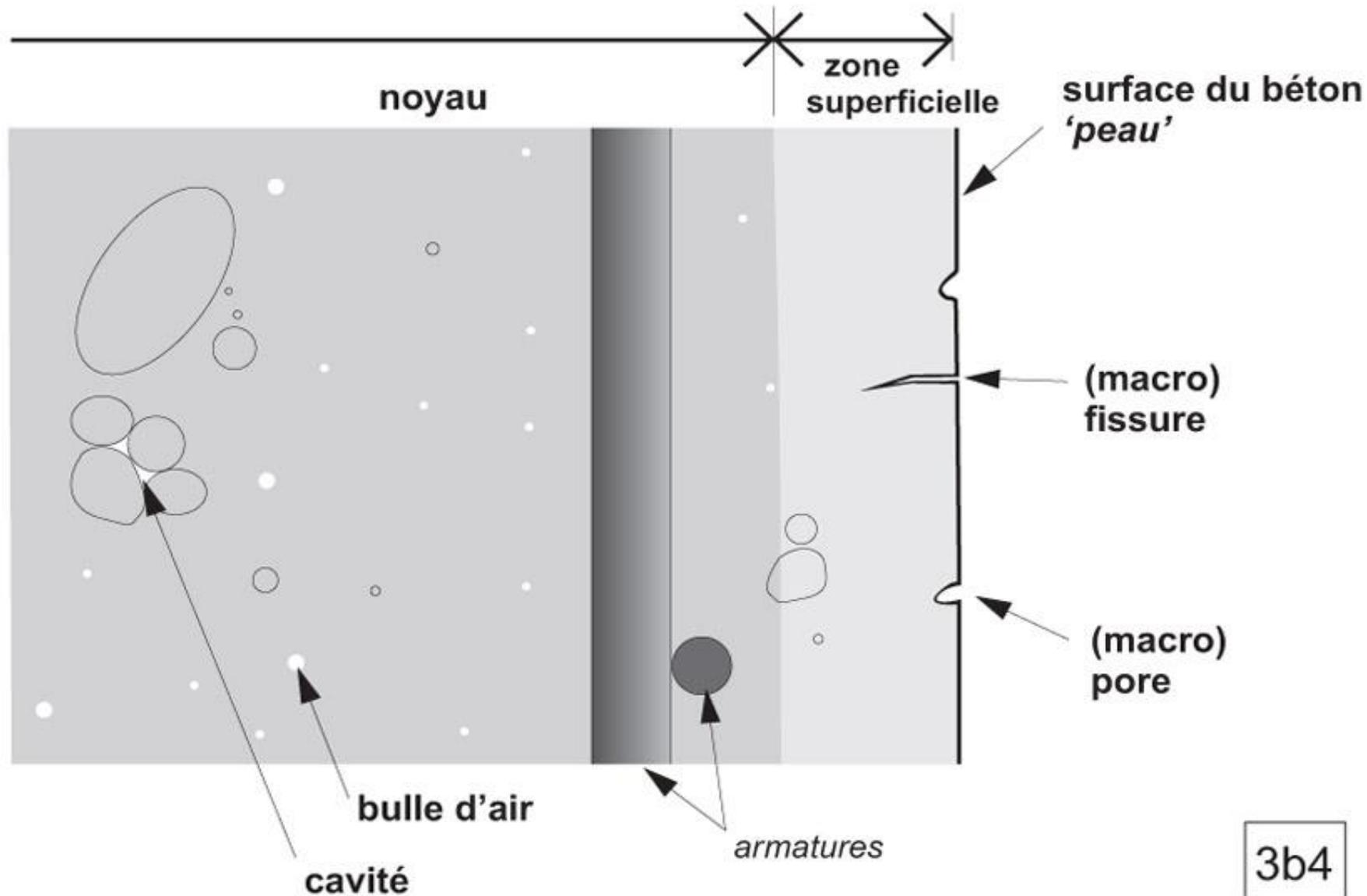
c- CARACTERISTIQUES LIEES AU CONFORT

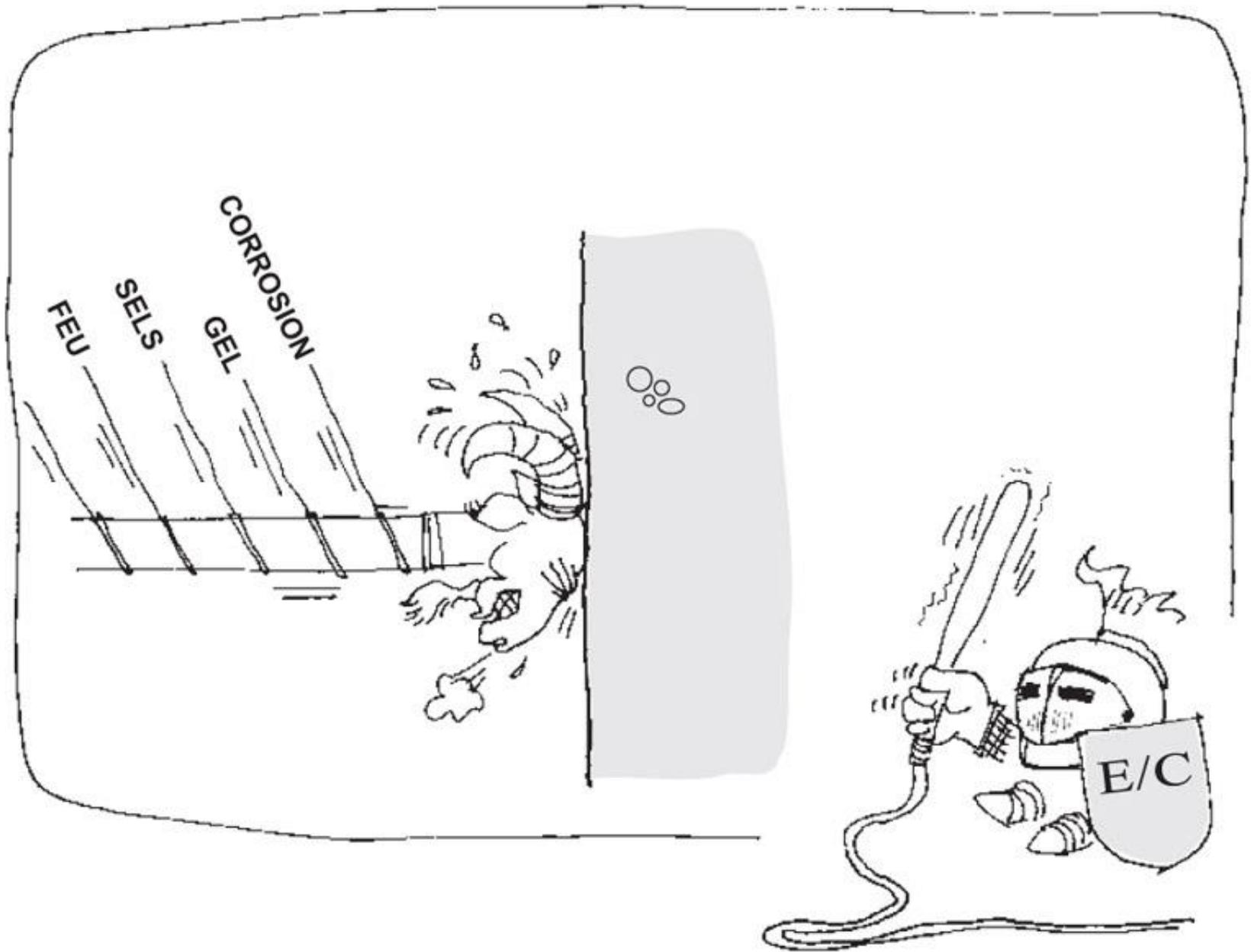
- 4c1 aspect
- 4c2 caractéristiques thermiques
- 4c3 caractéristiques acoustiques

4a1 composants inertes et liant



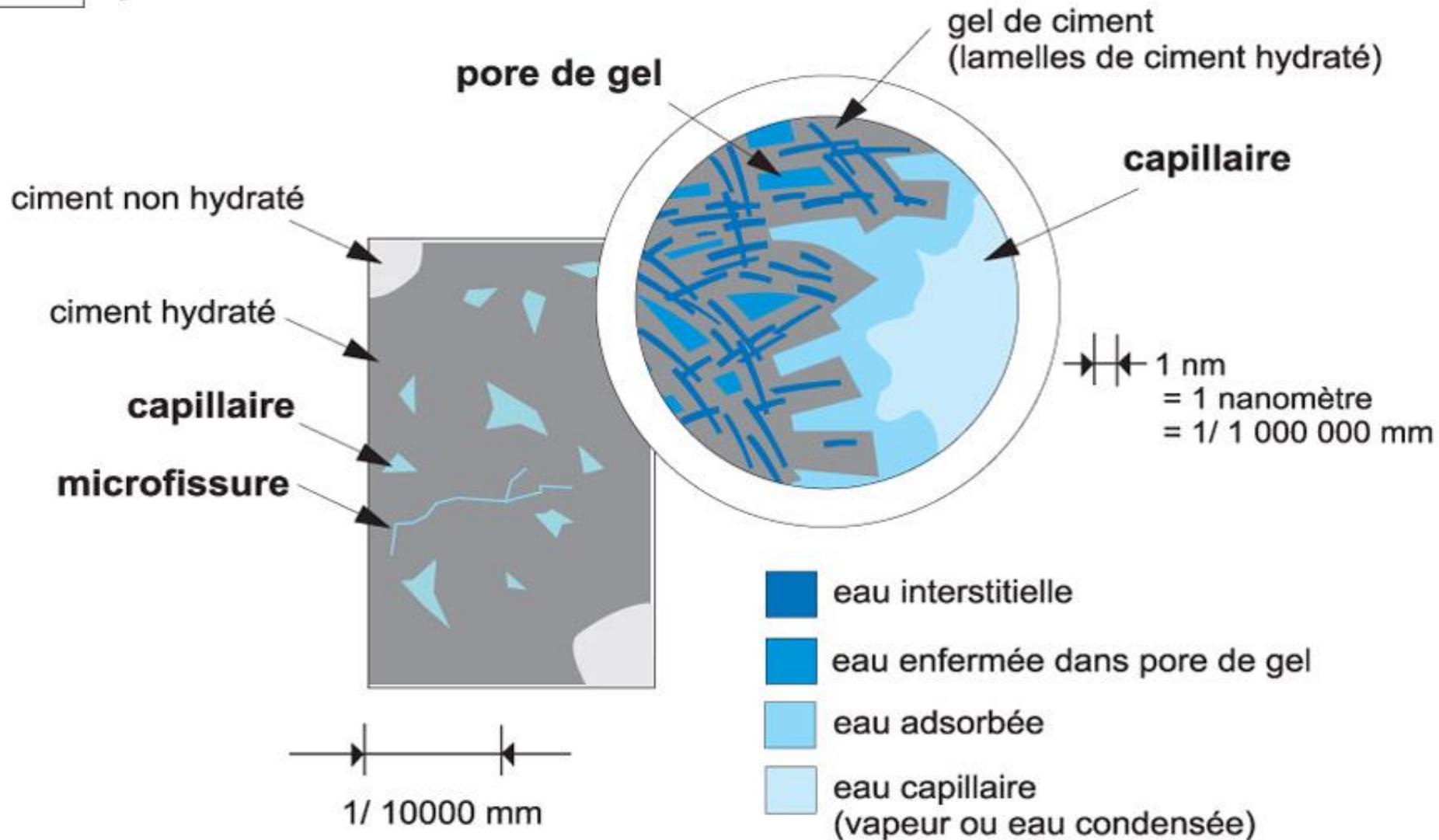
4a1 composants inertes et liant





Un béton compact, c.-à-d. dont le rapport E/C est le plus bas possible et qui a été serré selon les règles de l'art, résistera plus longtemps aux diverses agressions.

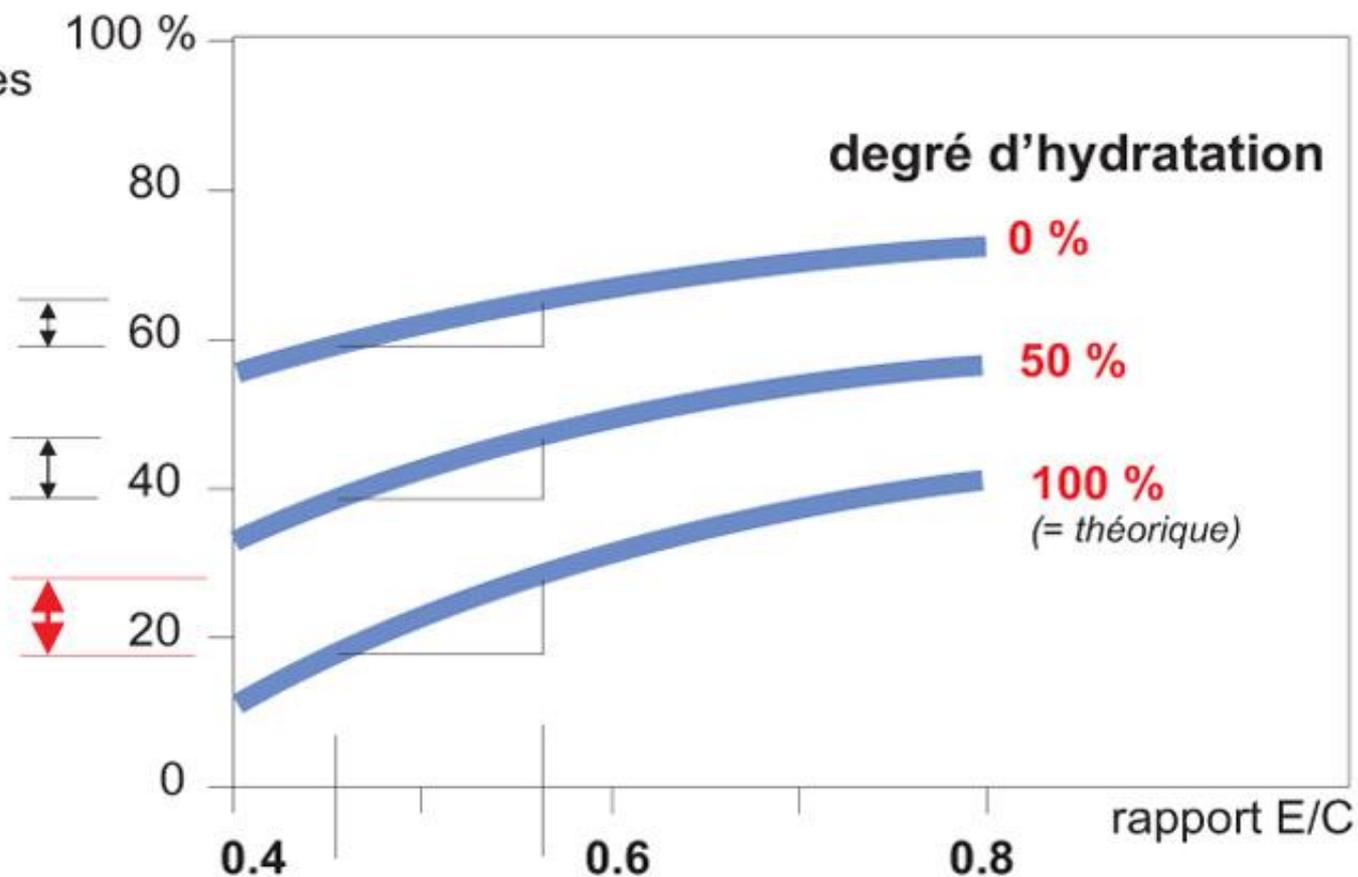
4a2 pâte de ciment durcie



4a2 pâte de ciment durcie

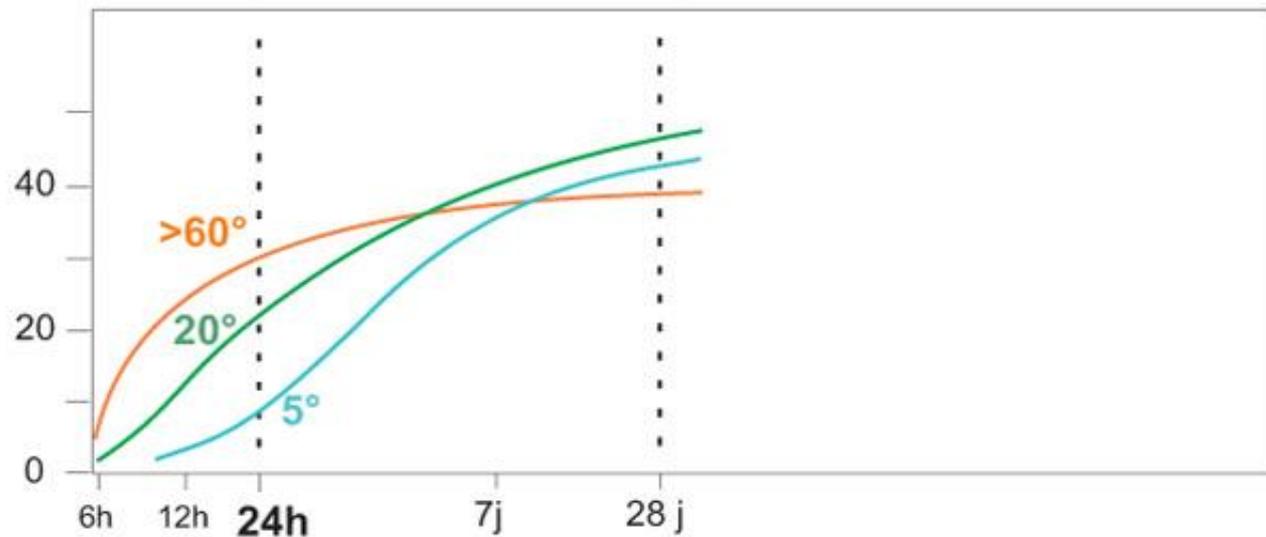
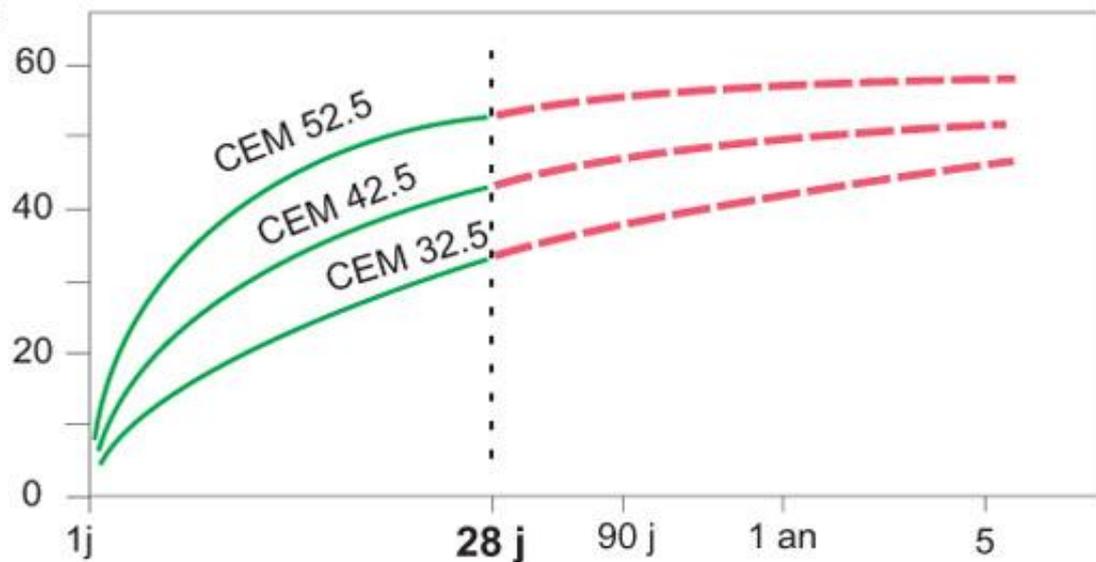
relation entre porosité et rapport E/C pour différents degrés d'hydratation:
plus l'hydratation avance et plus l'influence du E/C grandit

volume
des capillaires
(porosité)

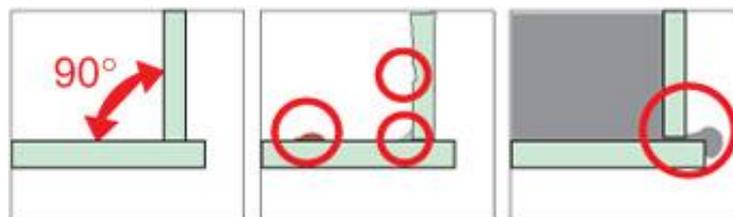
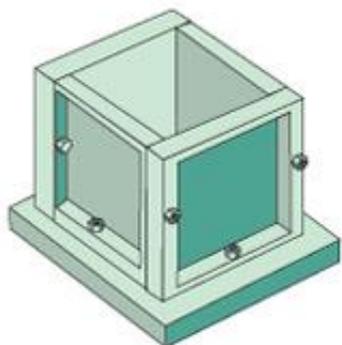


4a3 temps et température

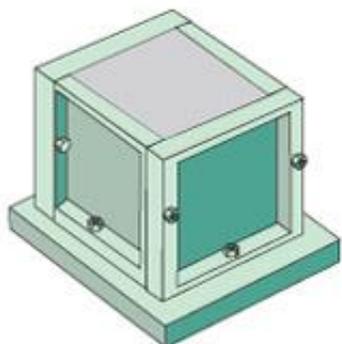
résistance à la compression de la pâte de ciment (N/mm^2)



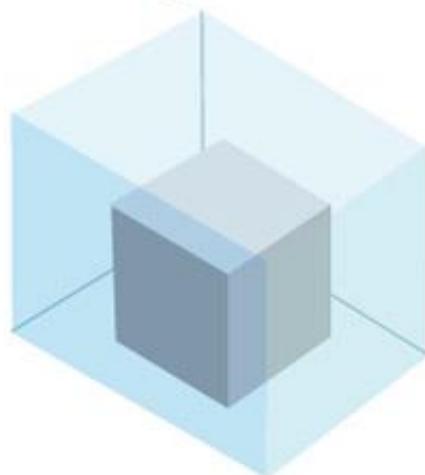
4a4 échantillonnage



contrôler le moule



remplir, compacter et
laisser durcir à une temp. de $20 \pm 4^{\circ}\text{C}$

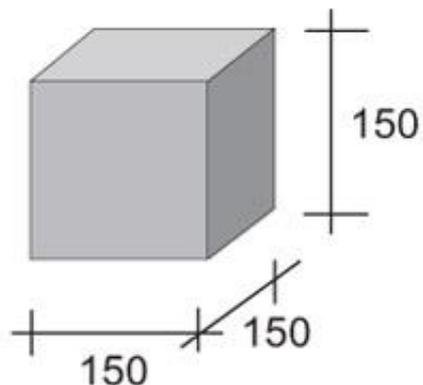


démouler et
conserver sous eau à $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$

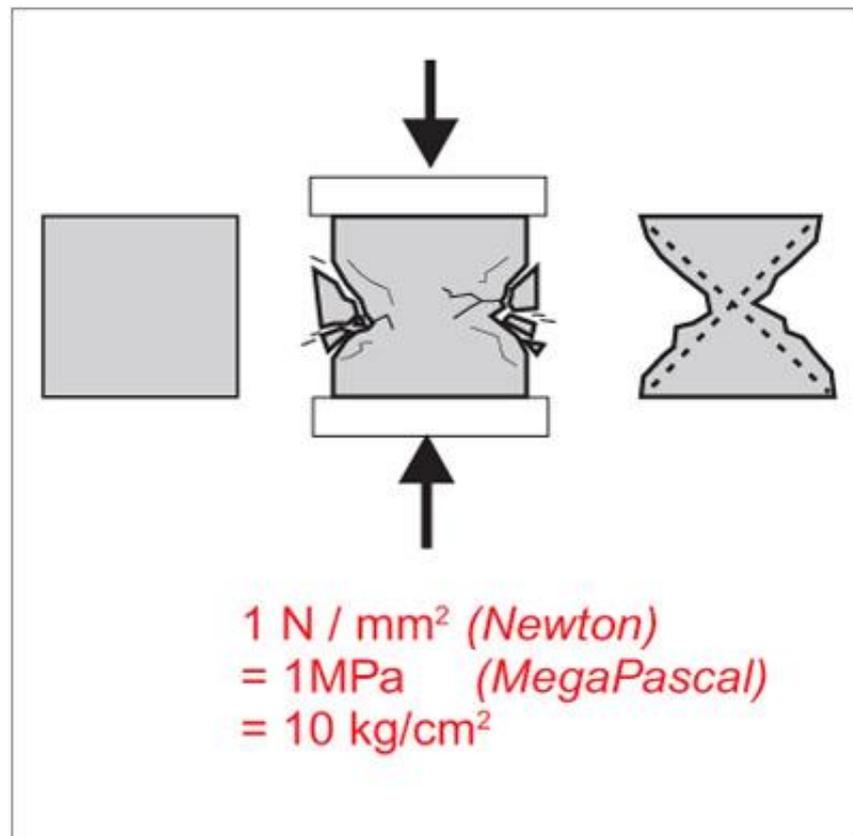
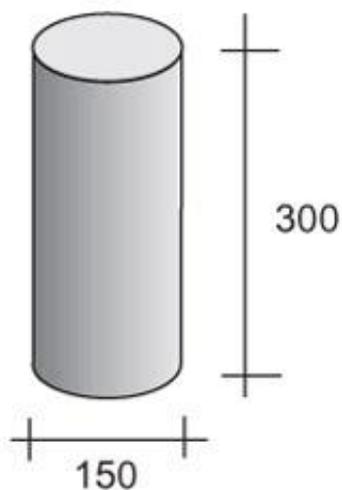
4b1 résistance mécanique

résistance à la compression

$f_{c \text{ cube}}$



$f_{c \text{ cyl}}$



1c

2a

2b1

4b1 résistance mécanique

résistance à la compression

essai de compression sur cube :

- conserver les échantillons sous eau



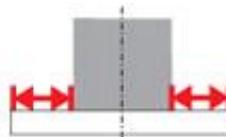
- essuyer



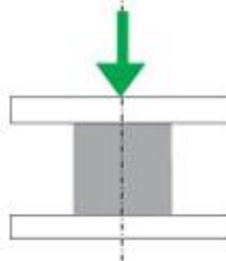
- mesurer / contrôler la planéité



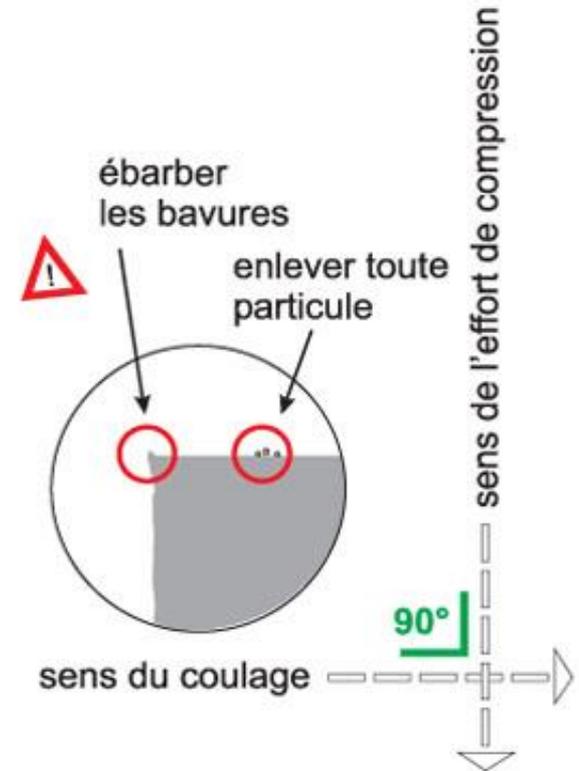
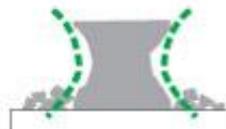
- positionner dans la presse et centrer



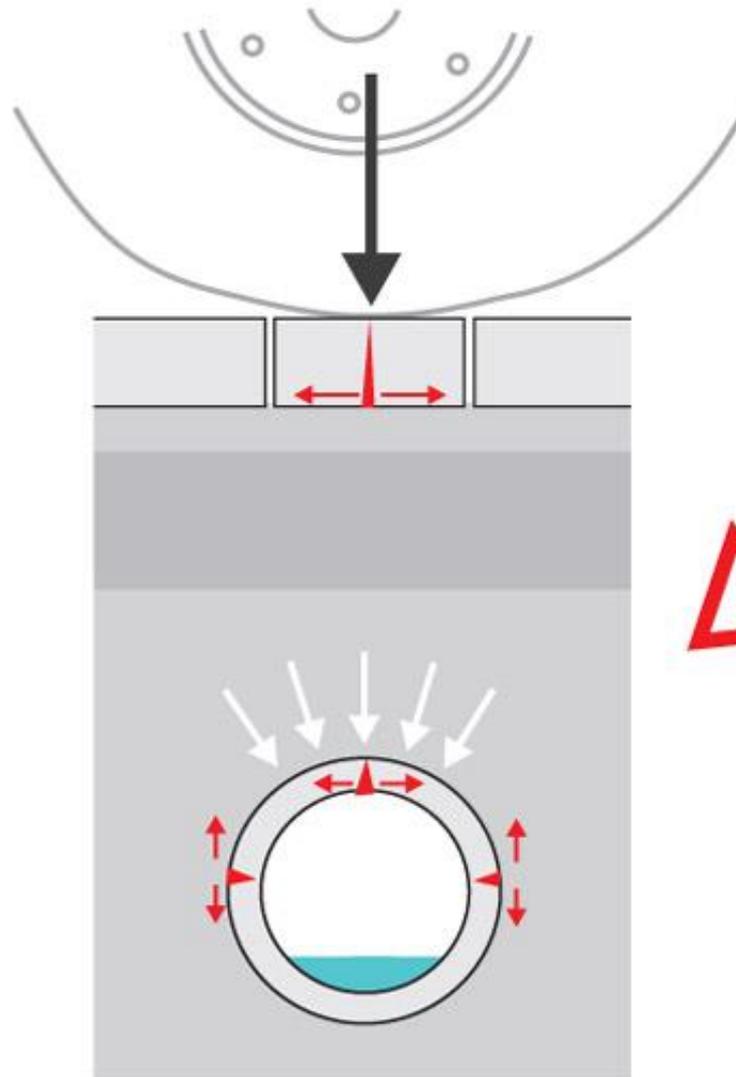
- augmenter graduellement l'effort de compression (c.-à-d. avec une vitesse de montée constante)



- noter la force appliquée, évaluer la forme de rupture



4b1 résistance mécanique *résistance à la traction*

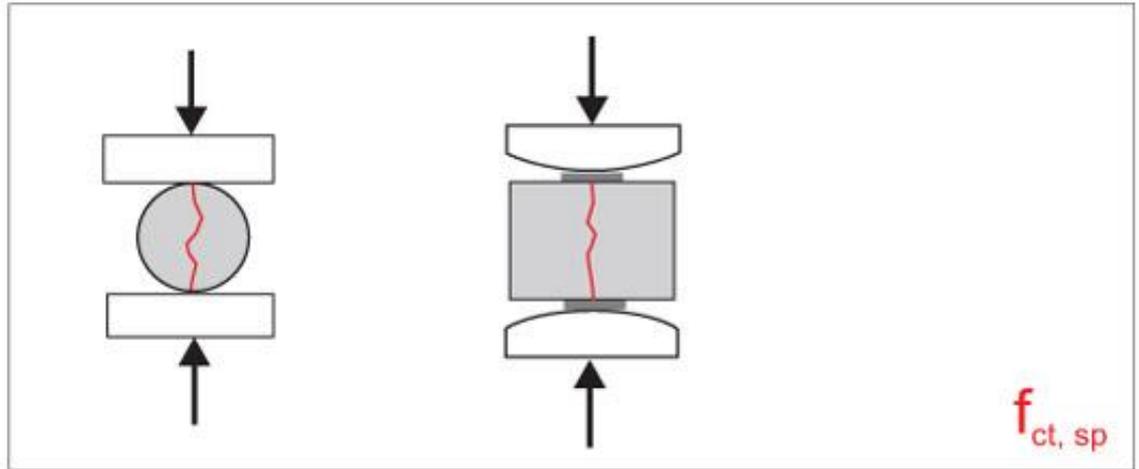


béton non armé

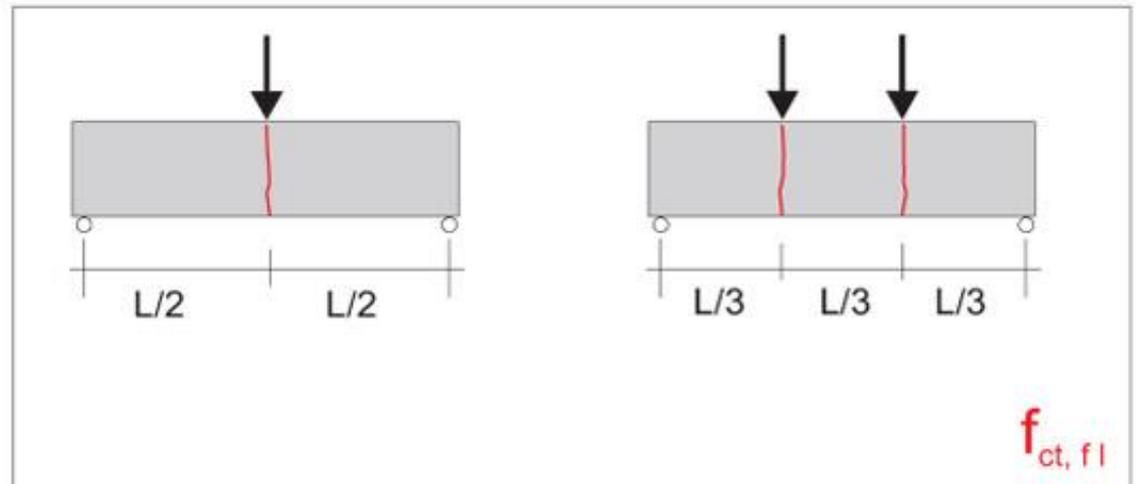
4b1 résistance mécanique *résistance à la traction*



$$\begin{aligned} f_{ct, ax} \\ &= 0,9 f_{ct, sp} \\ &= 0,5 f_{ct, fl} \end{aligned}$$

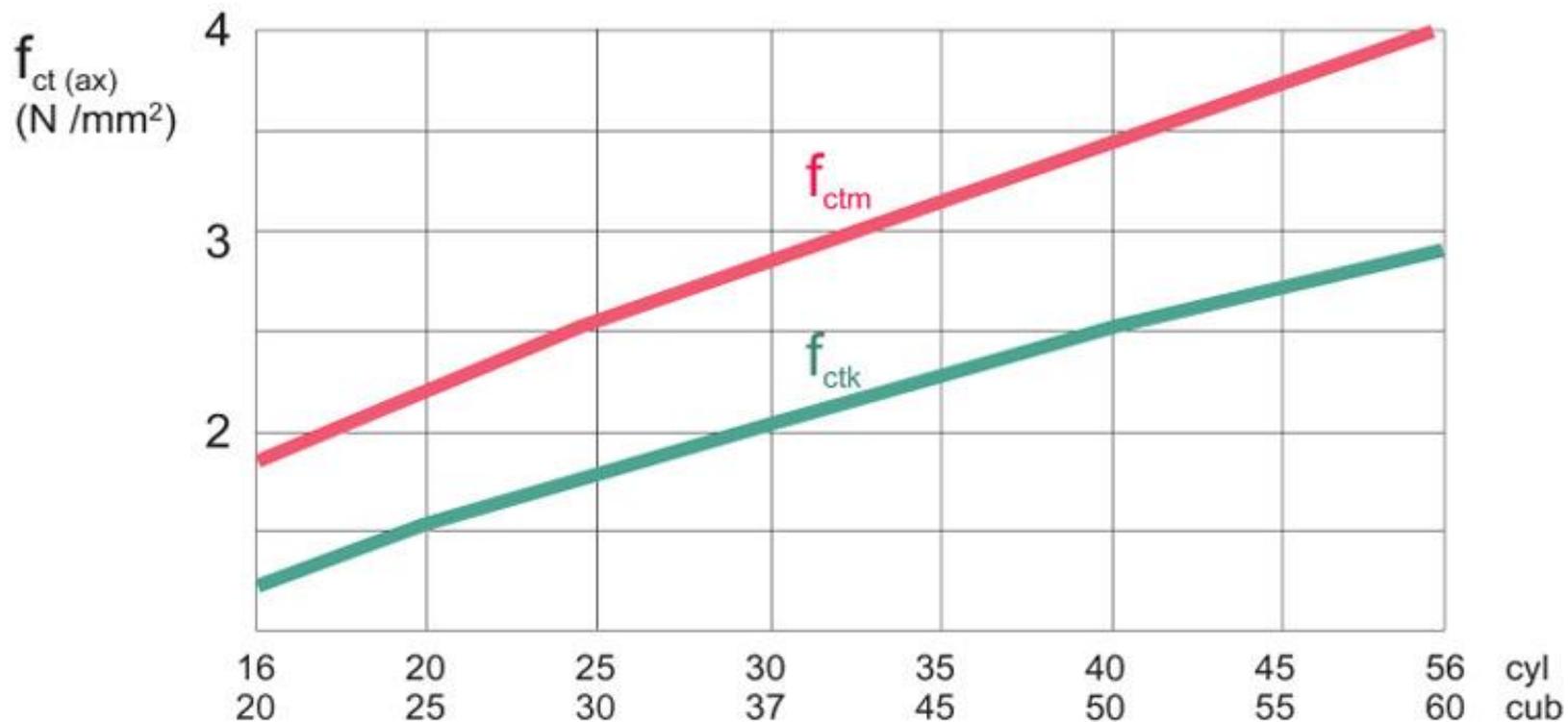


résistance à la traction par fendage (*essai brésilien*)



résistance à la flexion

4b1 résistance mécanique *résistance à la traction*



f_{ctm} = moyenne

f_{ctk} = caractéristique

f_{ck} (N/mm²)
résistance caractéristique
à la compression

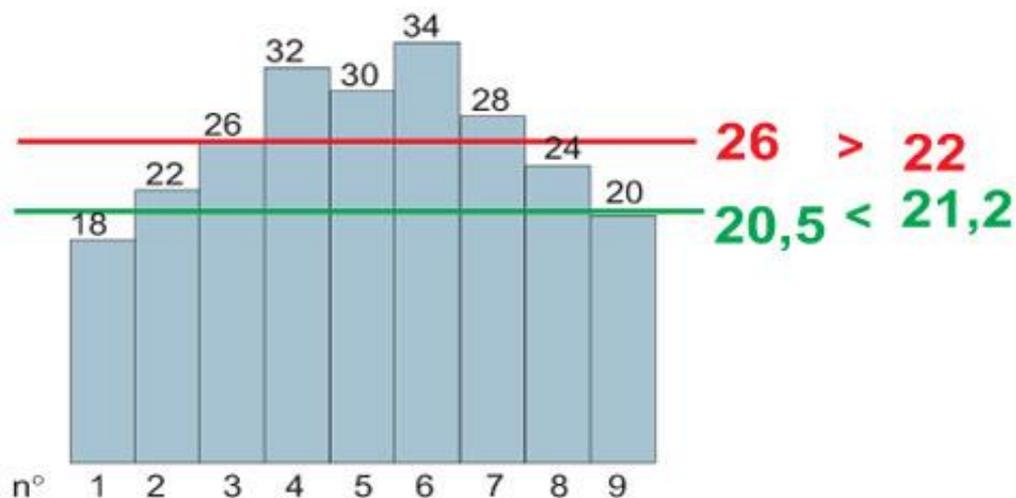
4b1 résistance mécanique *résistance caractéristique*

(exemple: comparaison et interprétation de 2 échantillons de 9 résultats chacun)

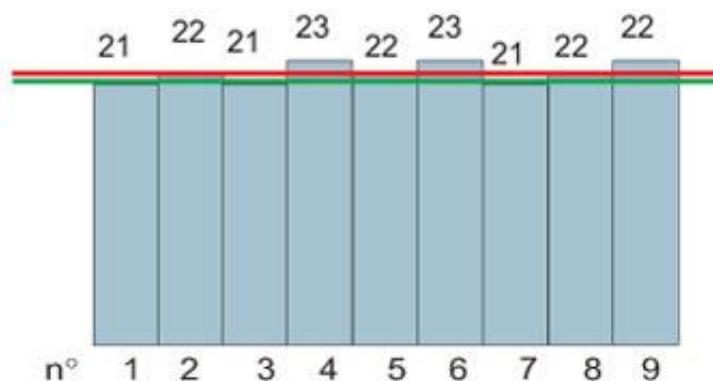
moyenne = f_{cm}

caractéristique = f_{ck}

= $f_{cm} - 1,64 s$ (s = écart type)

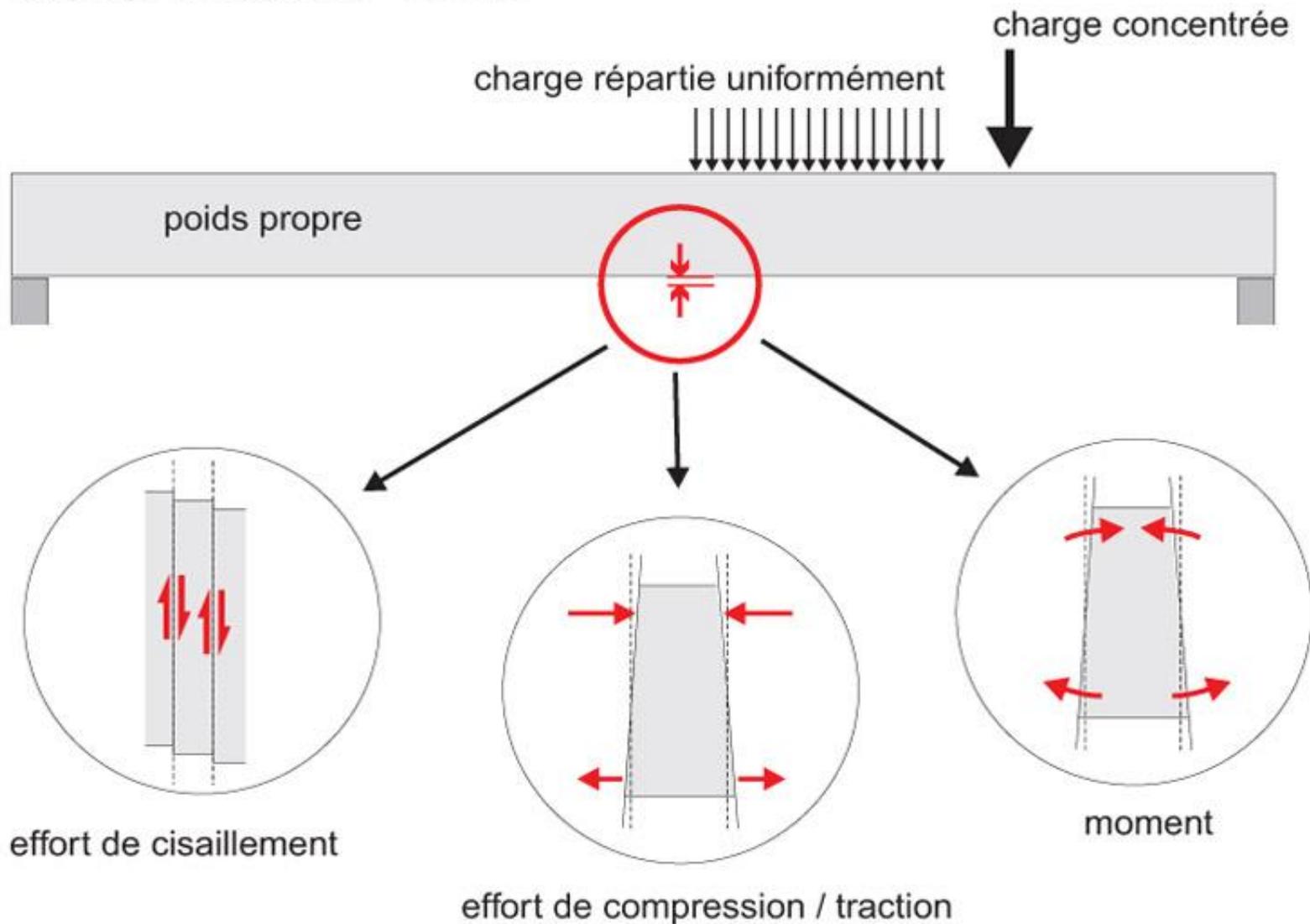


↓
= *béton irrégulier*

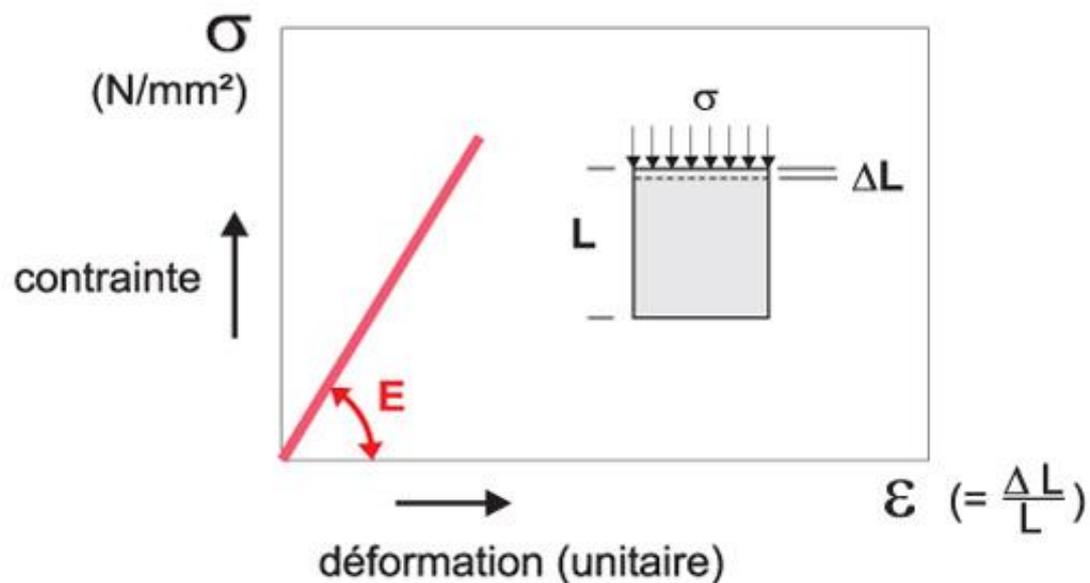


↓
= *béton régulier*

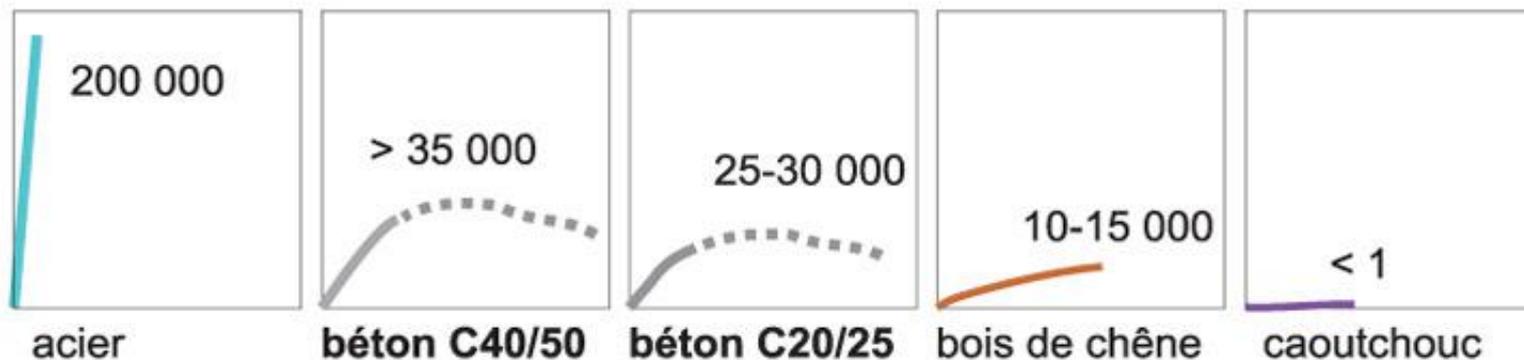
4b2 déformation *flèche*



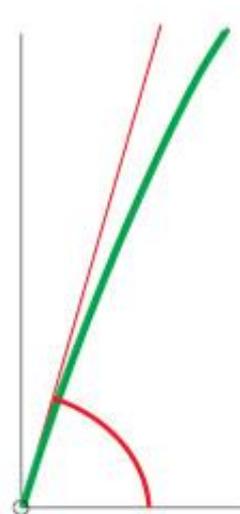
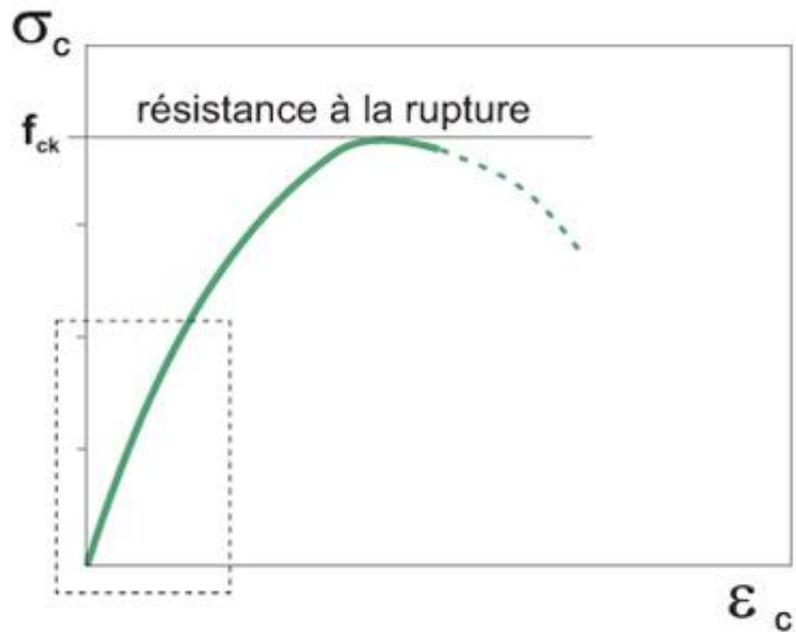
4b2 déformation *module d'élasticité E*



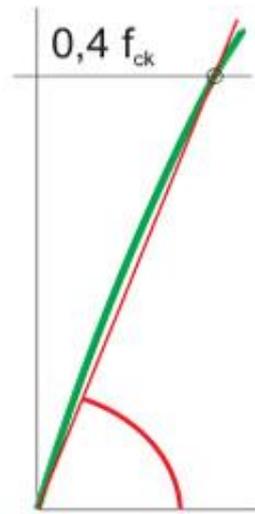
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$



4b2 déformation *module d'élasticité E (béton)*



module d'élasticité tangent

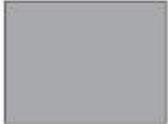
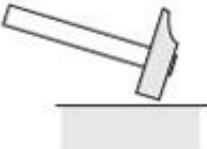
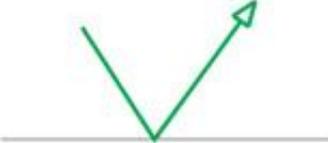


module d'élasticité sécant

4b2 déformation *module d'élasticité E (béton)*

formule:
$$E_c = 9\,500 \sqrt[3]{f_{c\text{ cyl}} + 8}$$

mesure:

	E élevé	E faible
		
propagation du son 	 propagation rapide	 lente
fréquence propre 	 fréquence haute	 basse
dureté superficielle (indice sclérométrique) 	 surface dure	 molle

4b2 déformation *retrait*

grains de ciment + eau



ciment hydraté
+ larges pores (capillaires) saturés



**RETRAIT
PLASTIQUE**
(par évaporation)



ciment hydraté
+ pores fins



**RETRAIT DE
DESSICCATION**
- externe (par évaporation)
- interne ('endogène':
par auto-dessiccation)
+ RETRAIT THERMIQUE

retrait final = fonction de E/C, de l'humidité relative, de la forme
en moyenne: - climat intérieur: ~ 0,5 mm par m
- climat extérieur : ~ 0,3 mm par m

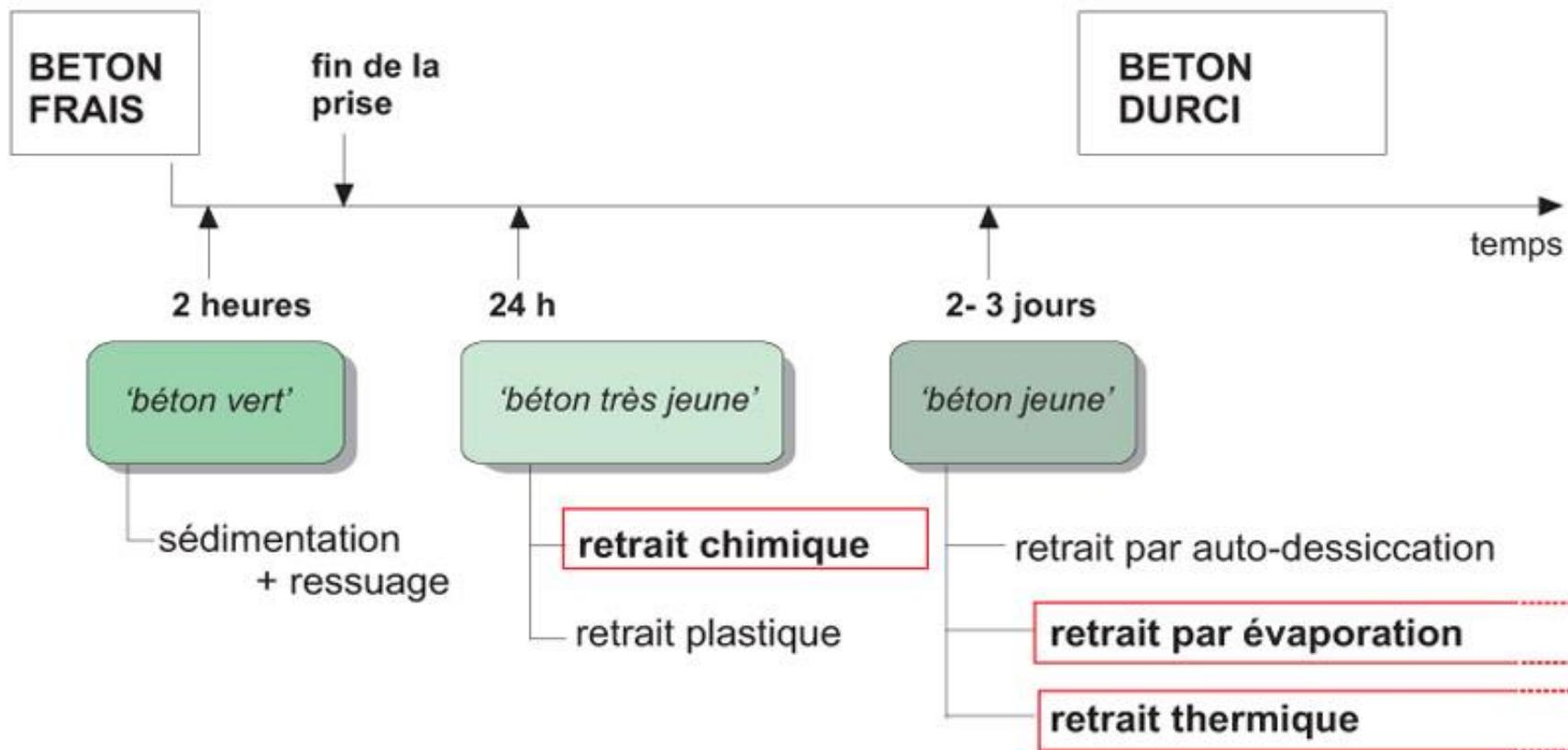
1c

2a

3b5

3c2

4b2 déformation retrait

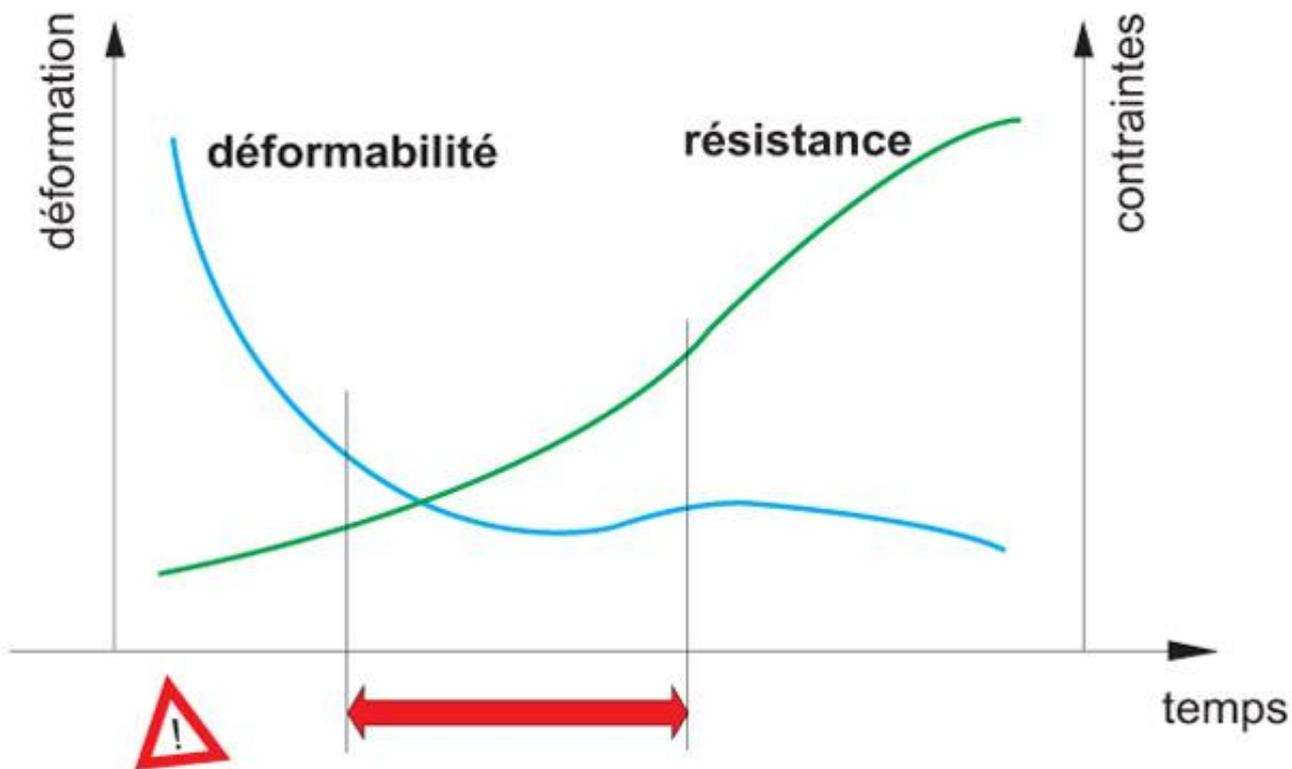


2a

3b5

3c2

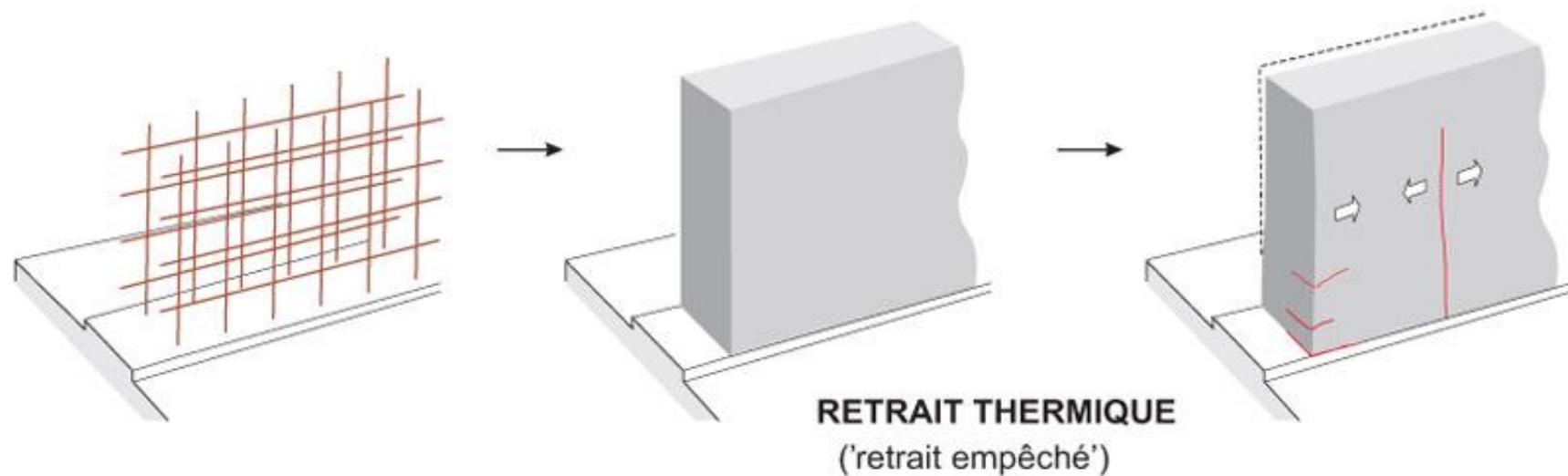
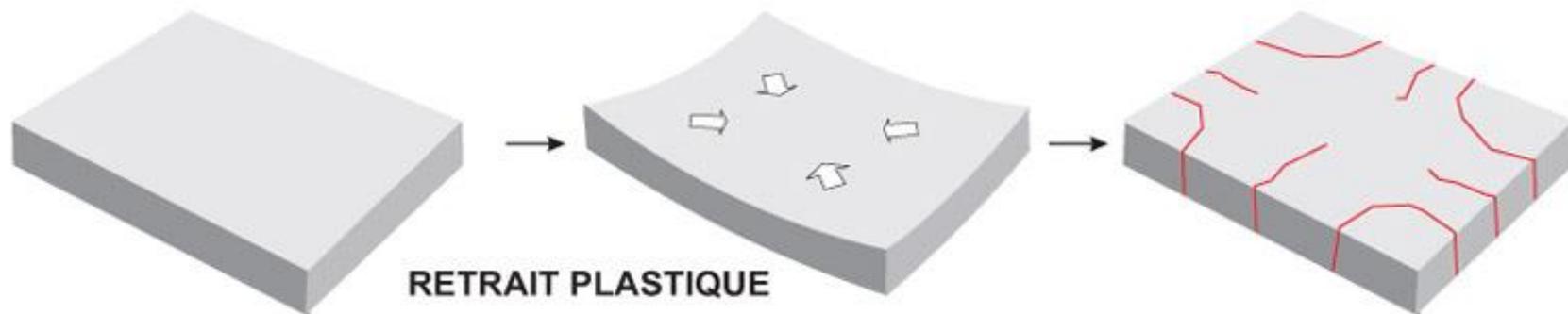
4b2 déformation *retrait*



PHASE CRITIQUE

déformabilité décroissante + résistance peu développée = risque de fissuration

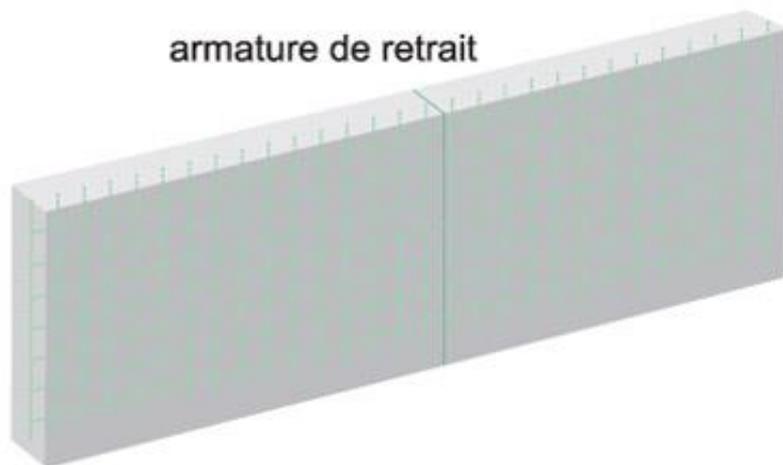
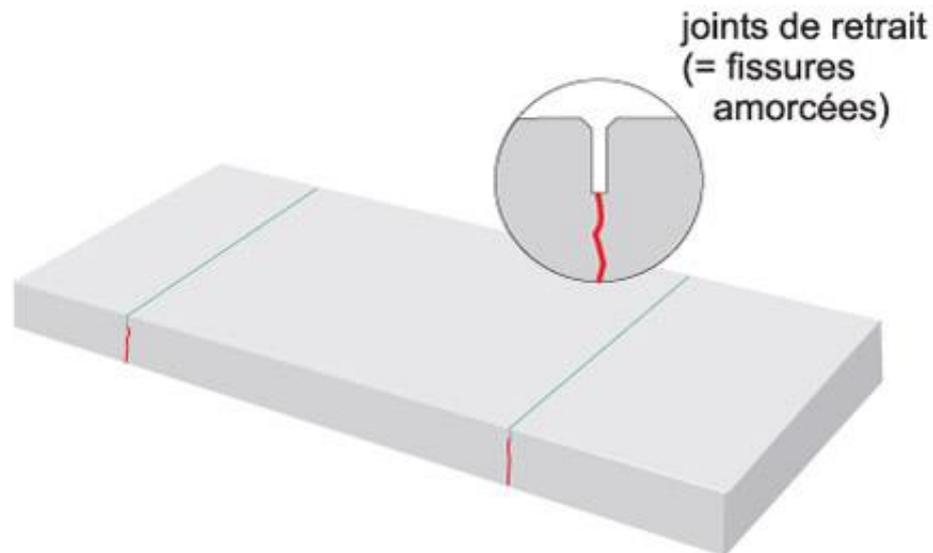
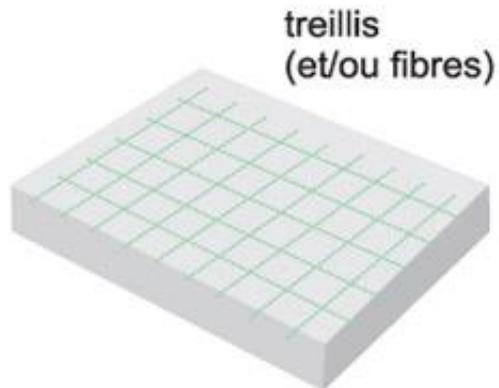
4b2 déformation *retrait et fissuration*



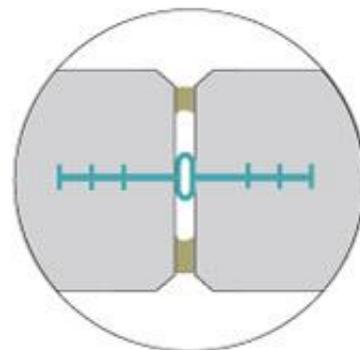
4b2 déformation *retrait et fissuration*

comment prévenir?

— au stade de la conception



joint de retrait
(éventuellement avec
dispositif d'étanchéité)



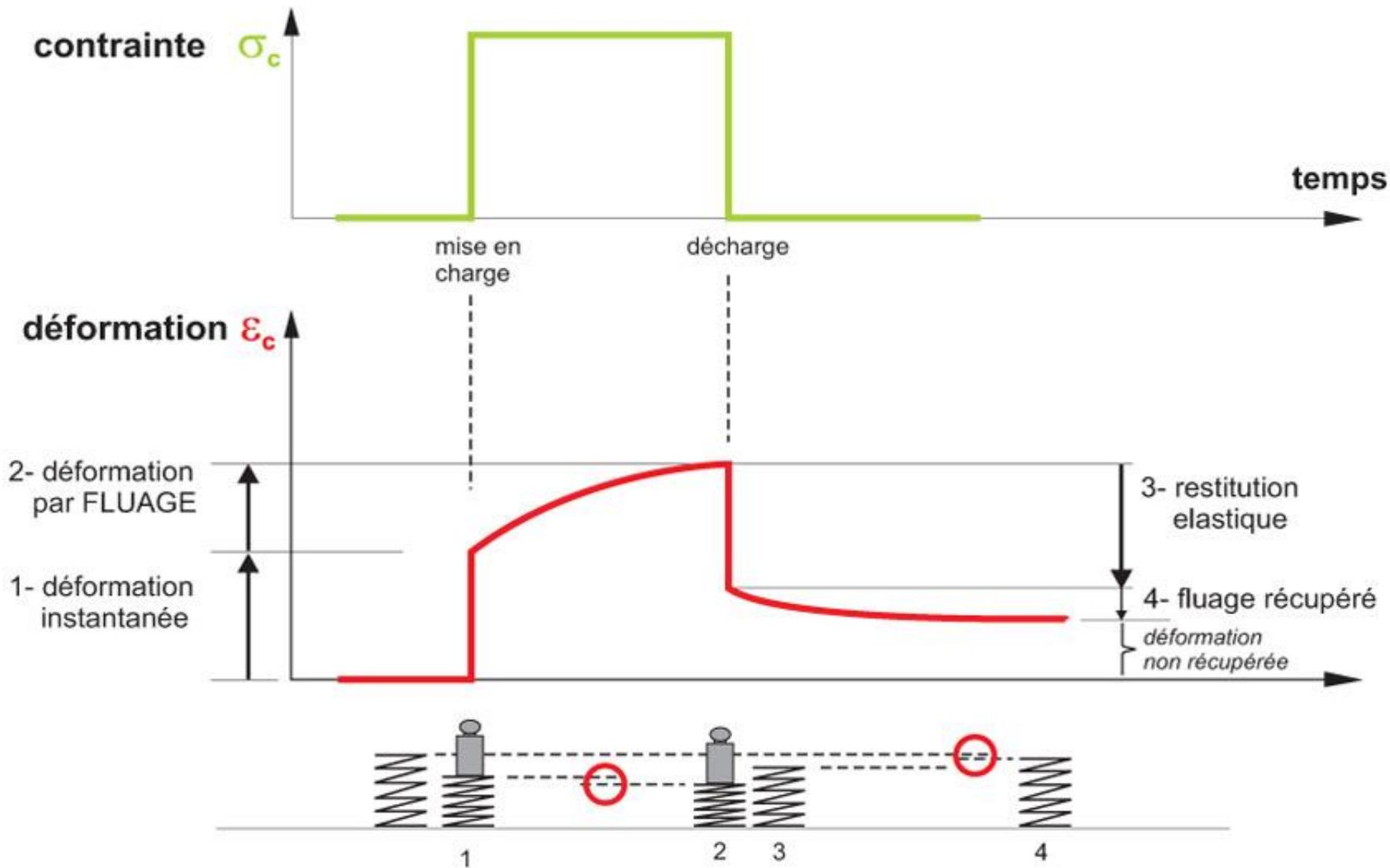
4b2 déformation *retrait et fissuration*

comment prévenir?

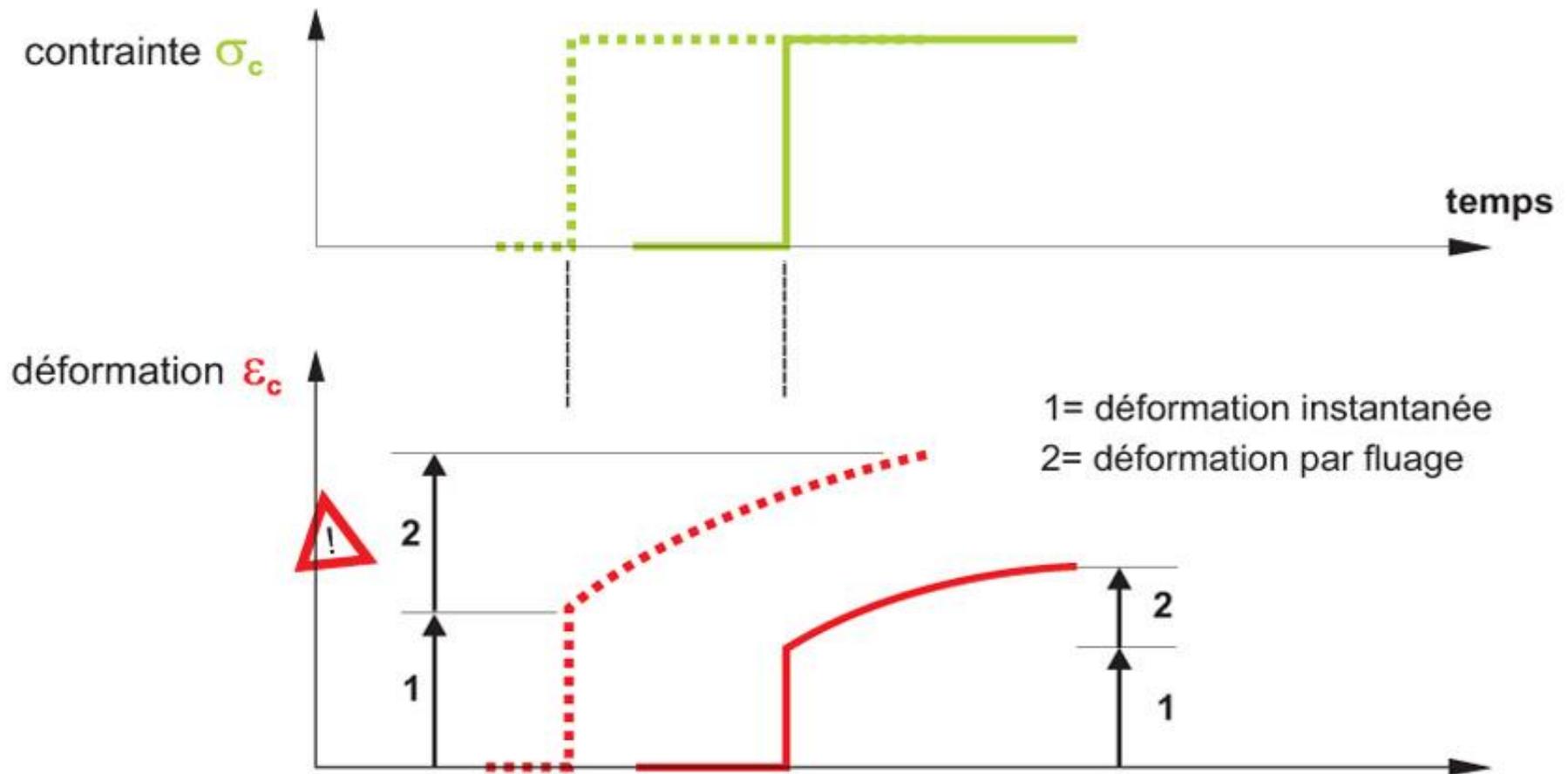
— au stade de la composition et de la mise en œuvre du béton

- doser correctement en eau (rapport E/C ↓)
 - s'assurer de la stabilité du mélange
 - éviter la ségrégation lors du coulage
 - prévoir cure et protection
-
- 3b5 3b3 3c2 2a

4b2 déformation *fluage*



4b2 déformation *fluage - âge du béton*



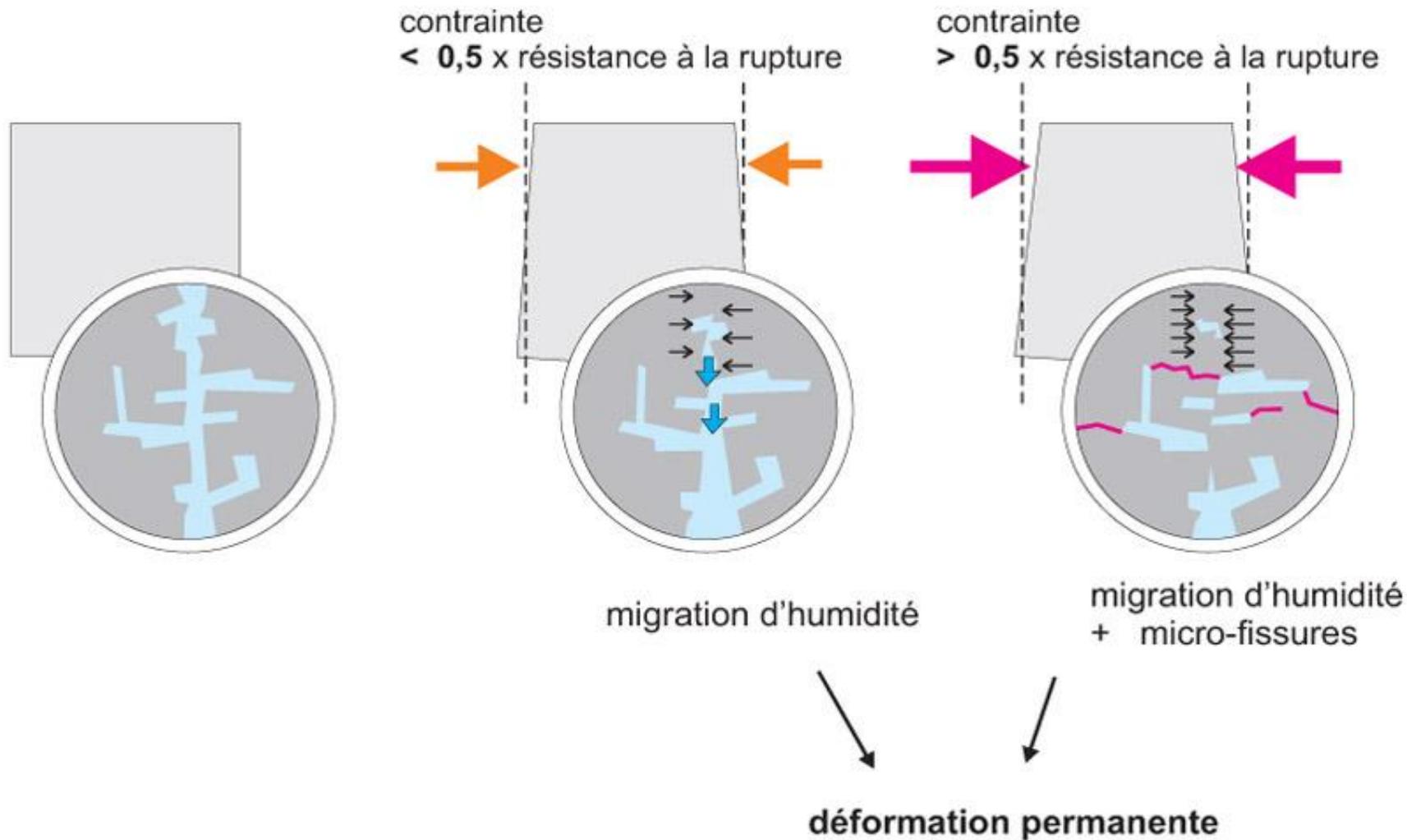
déformation par fluage = déformation instantanée x coefficient de fluage

coefficient de fluage = fonction du E/C, de l'humidité relative, de la forme, de l'âge du béton lors de la mise en charge

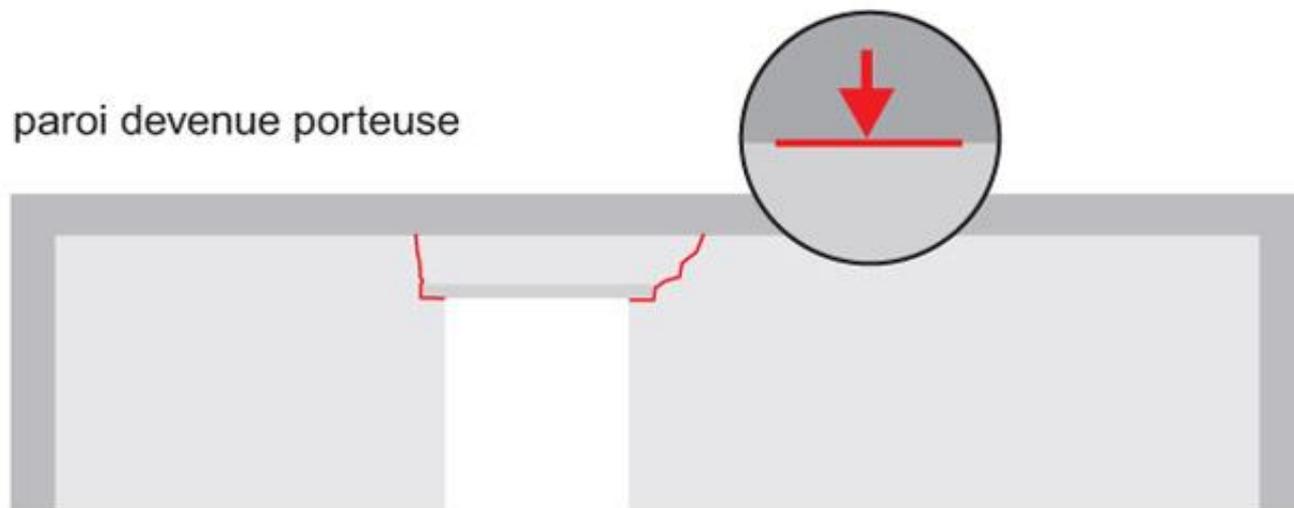
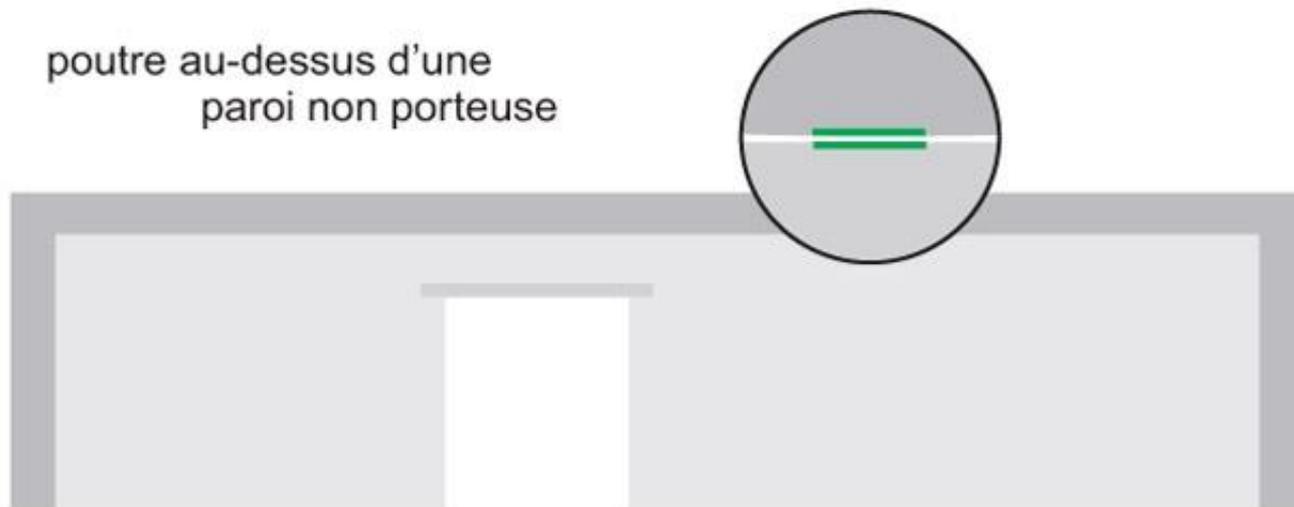
en moyenne: - climat intérieur: ~ 2,5 (béton jeune: > 5!)

- climat extérieur: ~ 1,5 (béton jeune: > 3!)

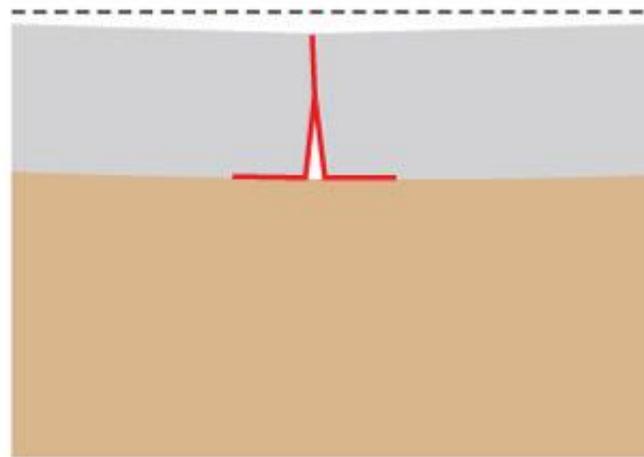
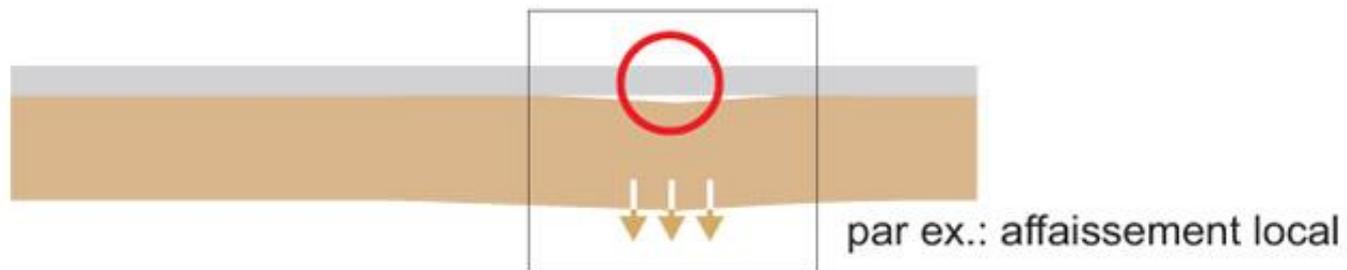
4b2 déformation *fluage* - *mécanisme*



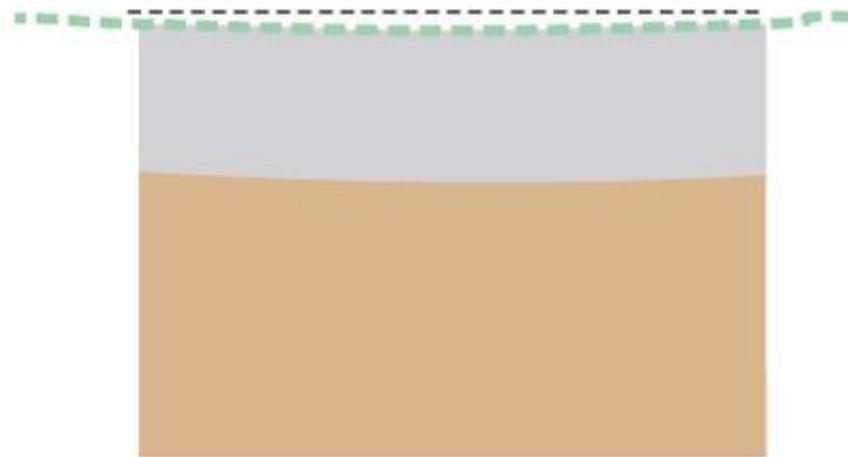
4b2 déformation *fluage - cas concrets*



4b2 déformation *fluage - cas concrets*

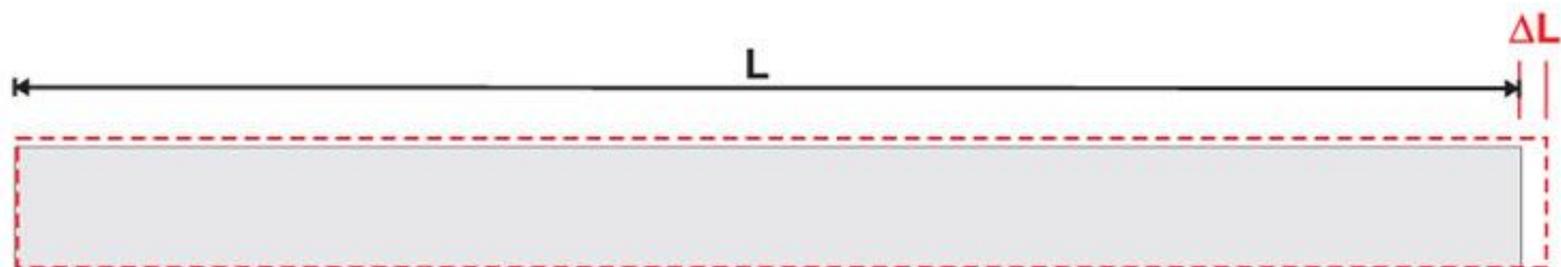


sans fluage: RUPTURE



fluage + RELAXATION:
diminution des contraintes
pas de rupture

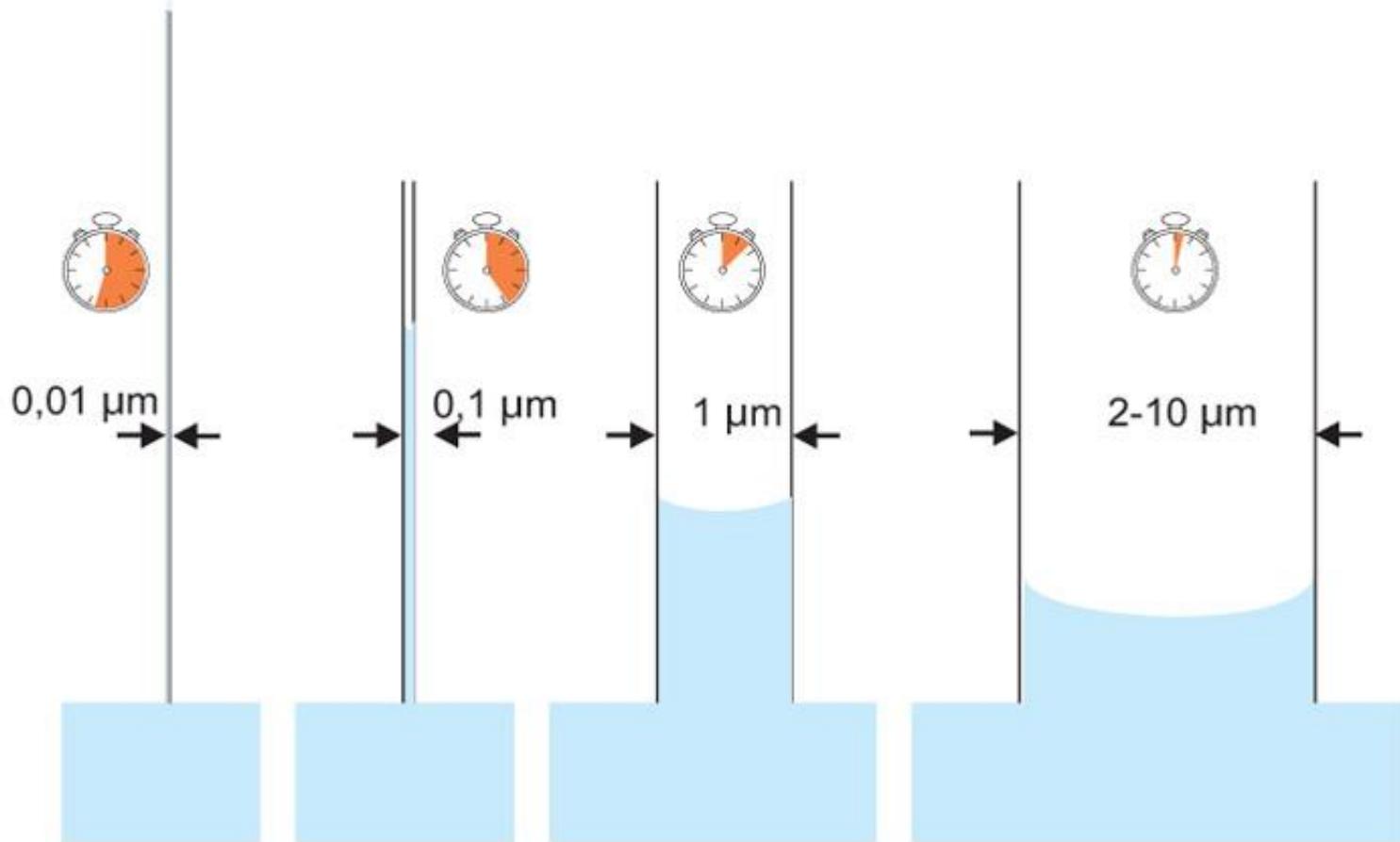
4b2 déformation *mouvements thermiques*



$$\Delta L = 1 \text{ mm} / 10 \text{ m} / 10 \text{ }^\circ\text{C}$$



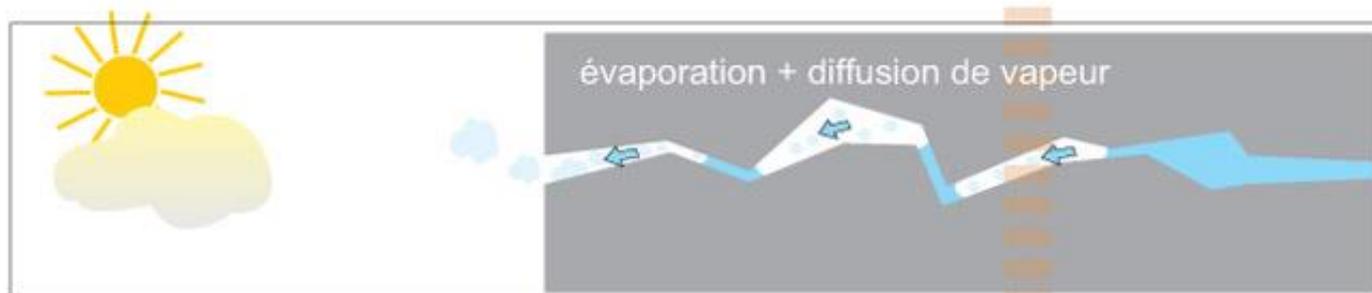
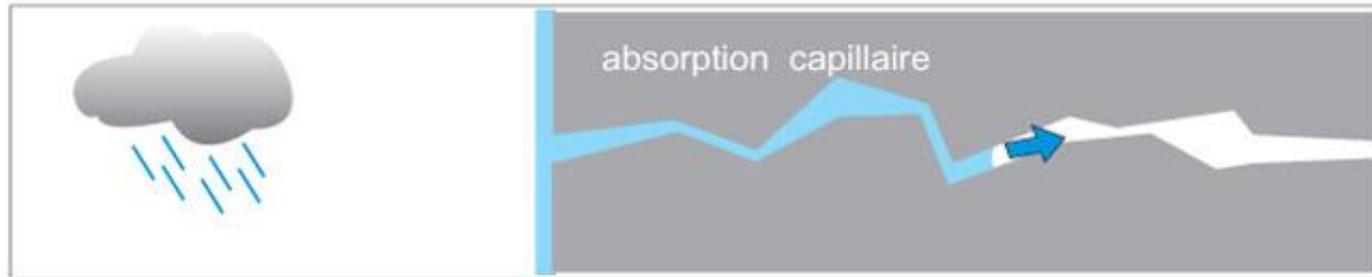
4b3 béton et eau *capillarité*



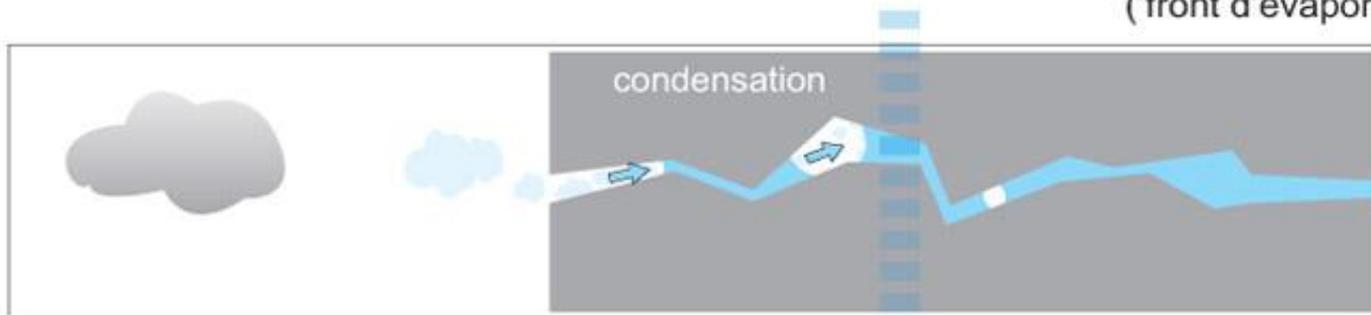
$0,4 < E/C < 0,6$
(béton normal)

$0,8 < E/C < 1,0$
(mortier, béton dans la phase plastique)

4b3 béton et eau *migration d'humidité - front d'humidité*



front d'humidité reculant ('front d'évaporation')



front d'humidité avançant

4b3 béton et eau *humidité hygroscopique*

= humidité établie en équilibre entre l'humidité relative (H.R.) ambiante et celle des pores

H. R. ↑



humidité de saturation: ± 150 litres / m^3

humidité capillaire: ± 115 litres / m^3
(= humidité "naturelle" maximale)

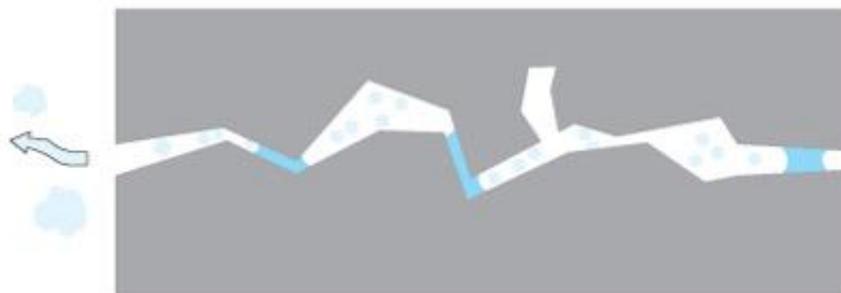
condensation (circulation d'eau par capillarité)



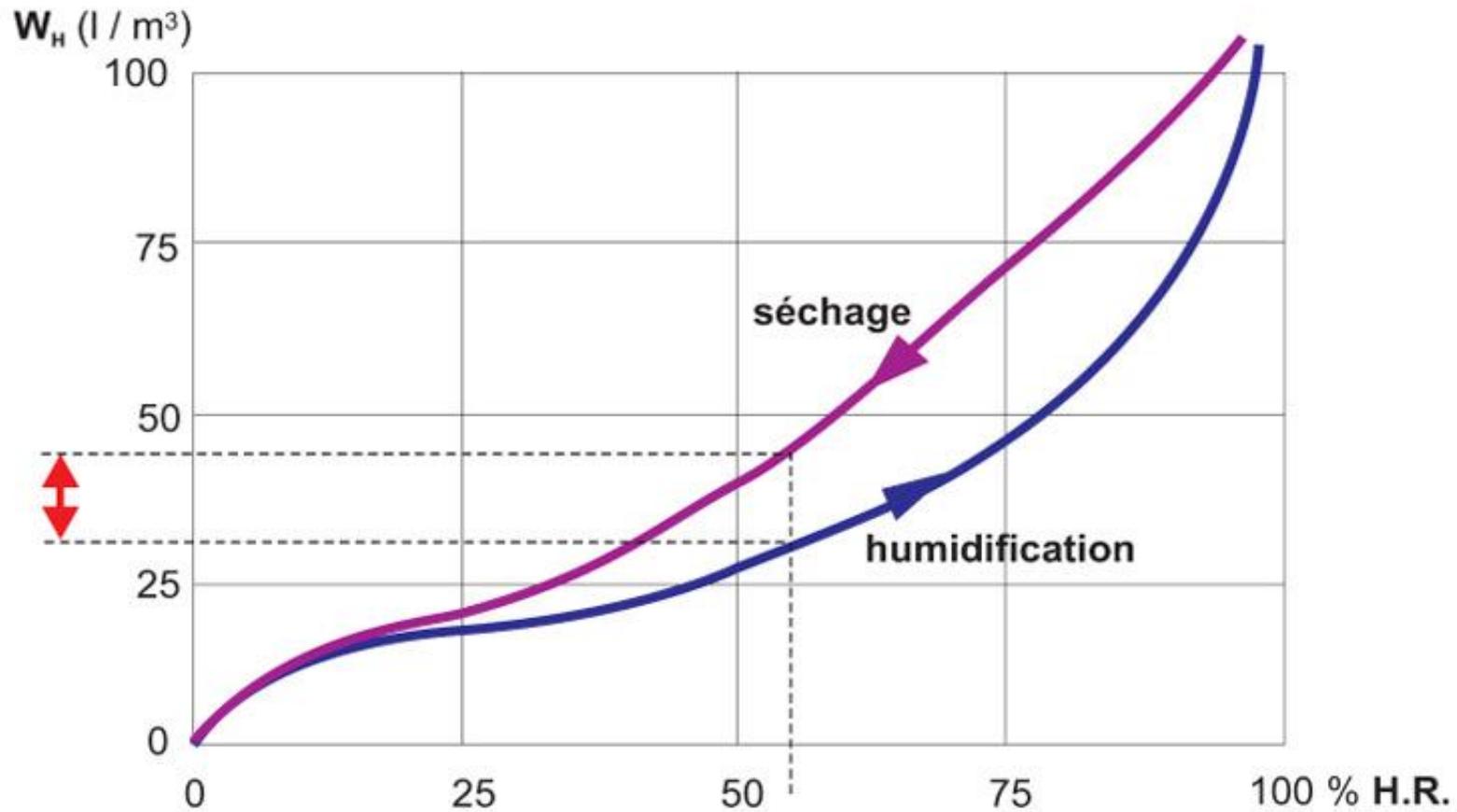
diffusion de vapeur

humidité critique: ± 110 litres / m^3
(plus faible dans le cas de pores fins,
plus élevée dans le cas de pores larges)

H. R. ↓



4b3 béton et eau *humidité hygroscopique*



à humidité ambiante égale
le béton contient plus d'humidité lors du séchage que lors de l'humidification:
sécher est donc plus difficile qu'humidifier !

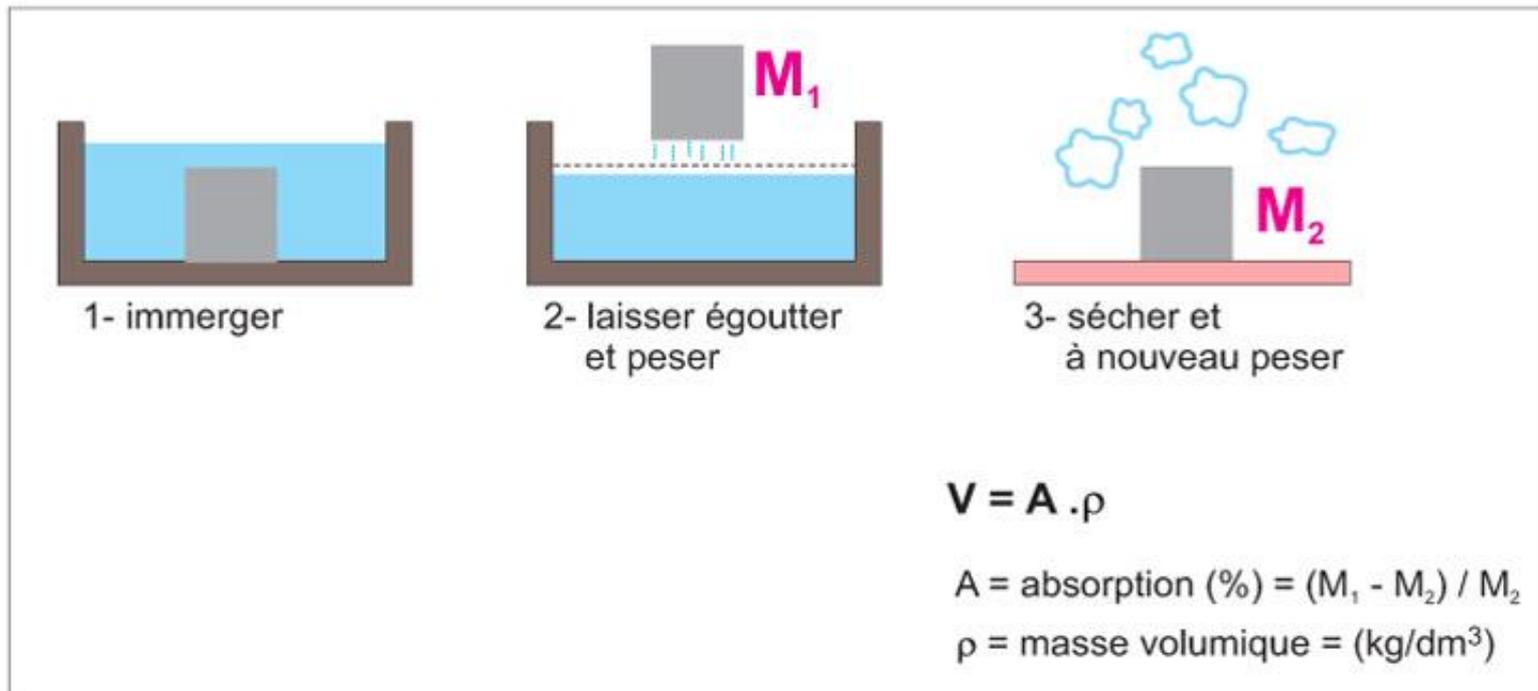
4b3 béton et eau

essais de porosité

— absorption d'eau par immersion: **porosité relative V (%)**

très bon béton: V ~ 10%

béton médiocre: V ~ 20%



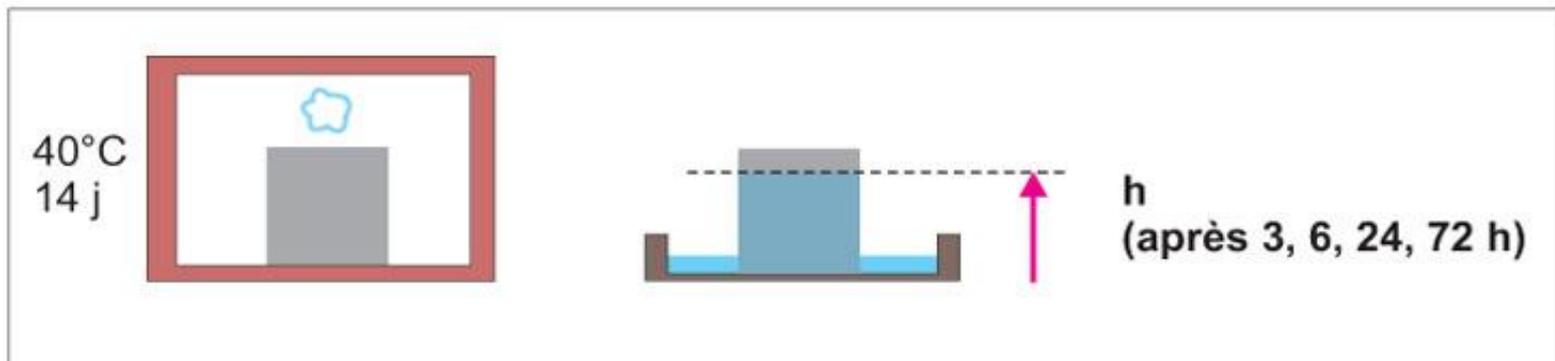
porosité RELATIVE
= capillaires accessibles



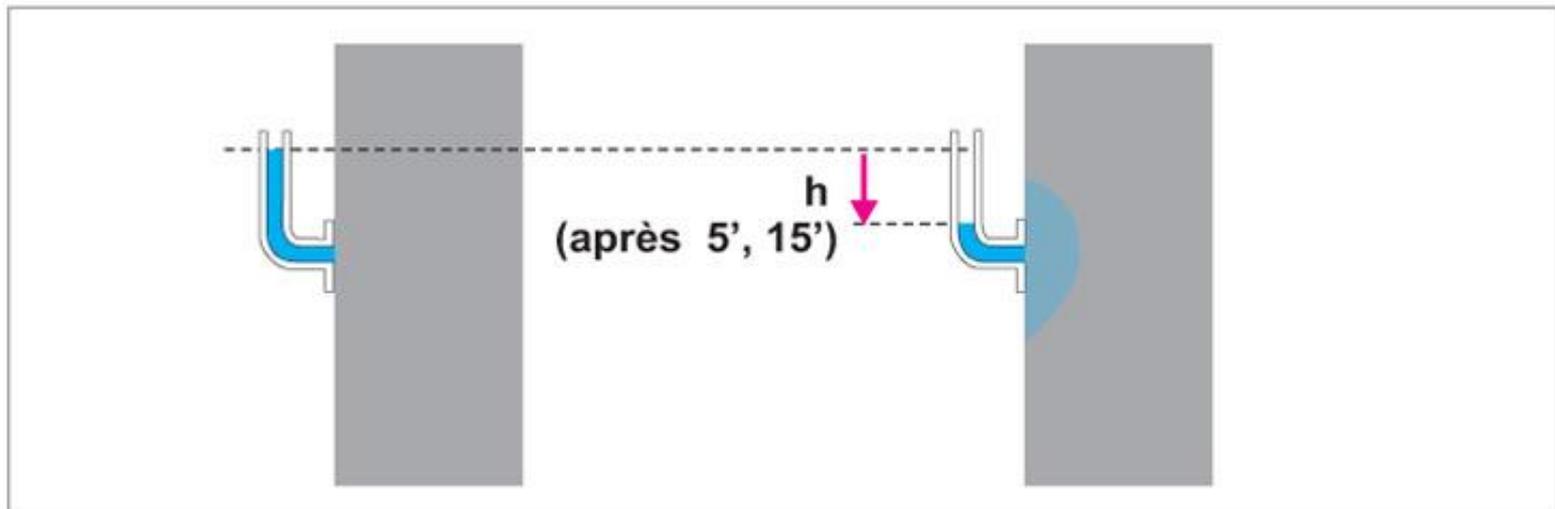
porosité absolue
= TOUS les pores

4b3 béton et eau *essais de porosité*

— absorption d'eau par capillarité



— porosité superficielle



4b3 béton et eau

porosité et perméabilité

BETON:

bon béton

béton jeune,
béton médiocre

béton
caverneux

béton peint,
enduit d'un
coating

AUTRES MATERIAUX:

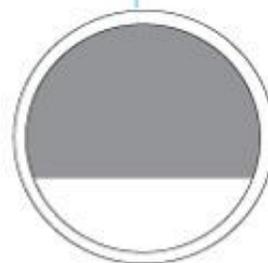
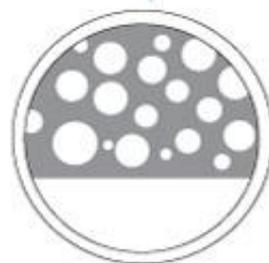
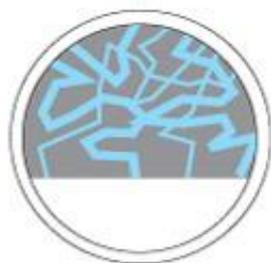
p.ex. verre mousse

*p.ex. métal,
plastique*

porosité relative \sim porosité absolue

porosité relative $<$ porosité absolue

porosité = 0



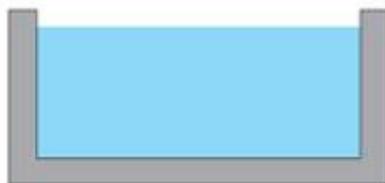
perméabilité dépend de
la différence de pression, de la forme et
des dimensions des pores, etc.

perméabilité = 0
(absence de pores ou
pores inaccessibles)

4b3 béton et eau

porosité et perméabilité

1



béton étanche
ET construction étanche
(«fuite» = quelques litres par AN)

2

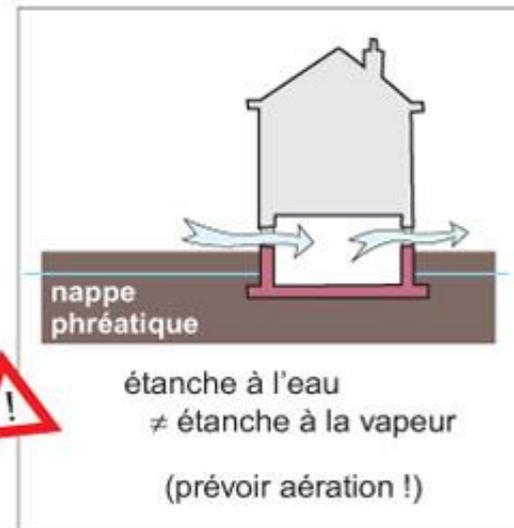
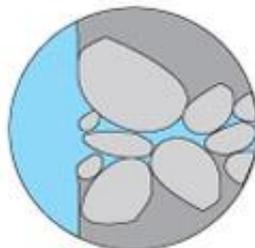


béton étanche
MAIS fuite dans la construction
(p.ex. à cause d'une fissure de retrait...)

3

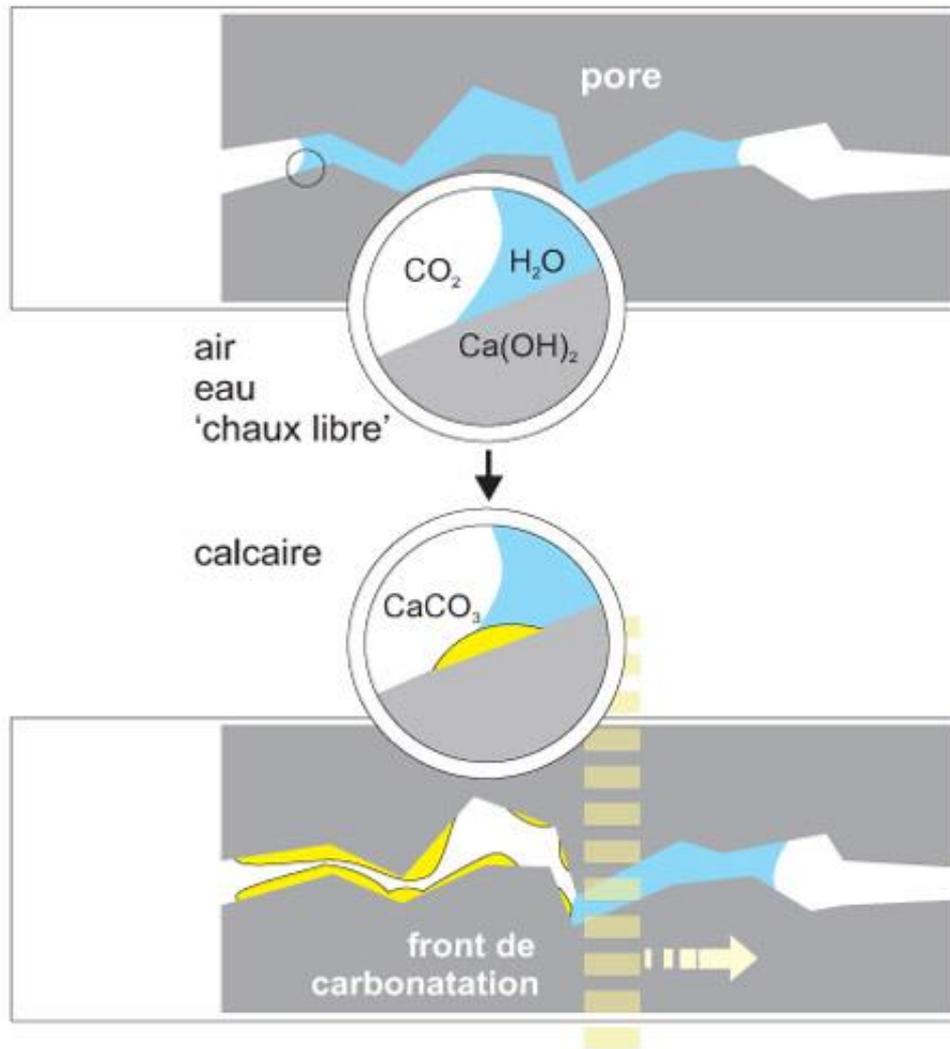


béton perméable (p.ex. nid de gravier, rapport E/C élevé...)
DONC construction perméable

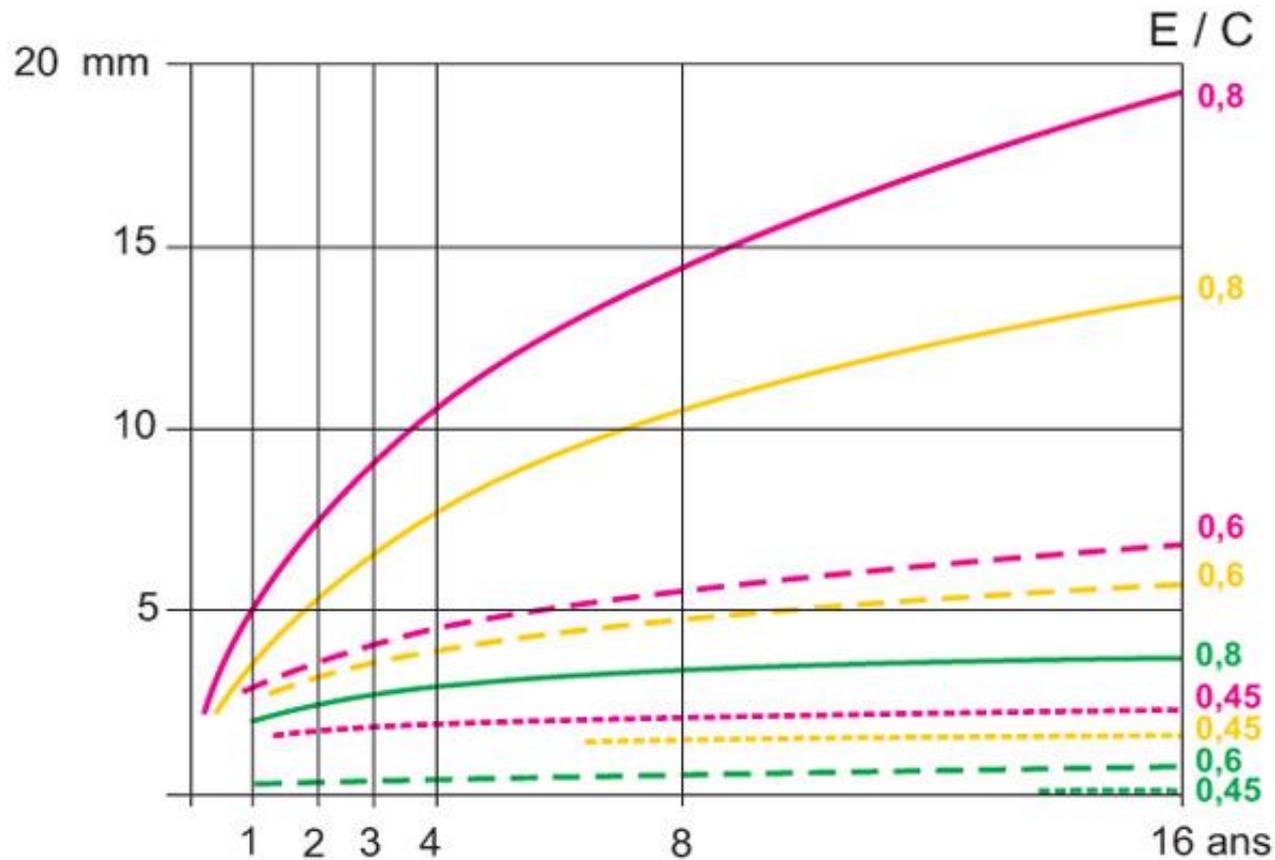


4b2

4b4 carbonatation *front de carbonatation*



4b4 carbonatation *profondeur de pénétration*



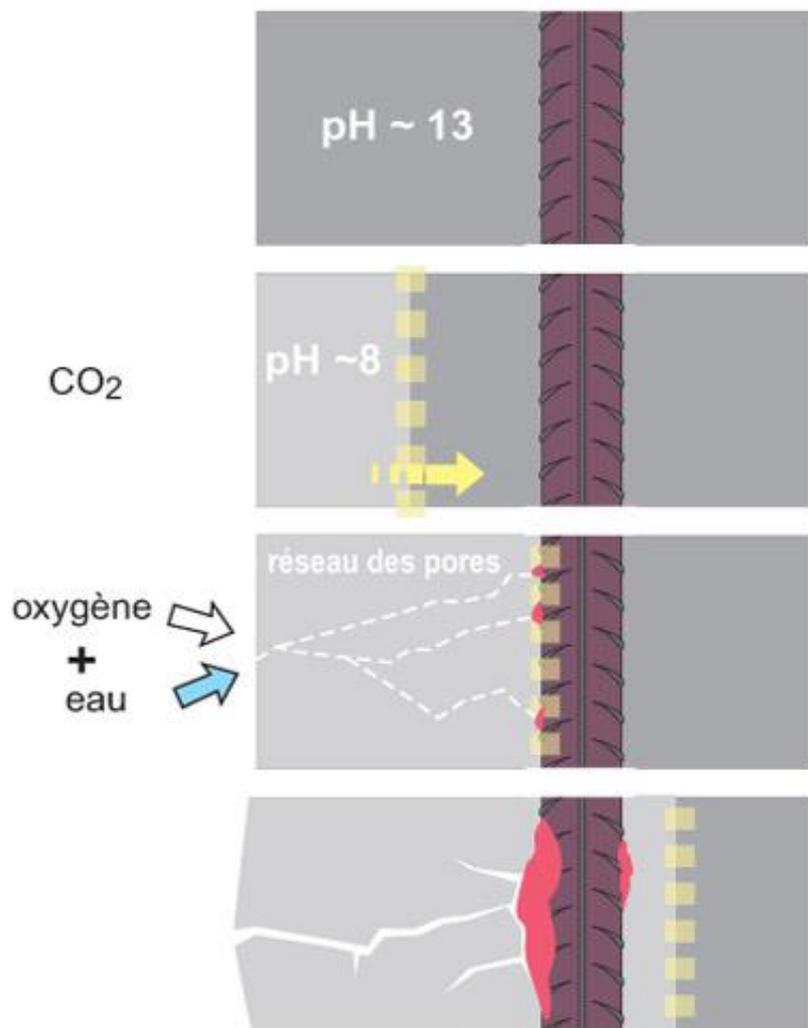
- labo (20°C, 65% H.R.)
- à l'extérieur, couvert
- à l'extérieur, non couvert



(l'effet bouche-pores ralentit la carbonatation)

4b4 carbonatation

corrosion des armatures



'passivation'
(ciment hydraté = milieu alcalin)

front de carbonatation progressant

début de corrosion
risque plus grand en cas de:

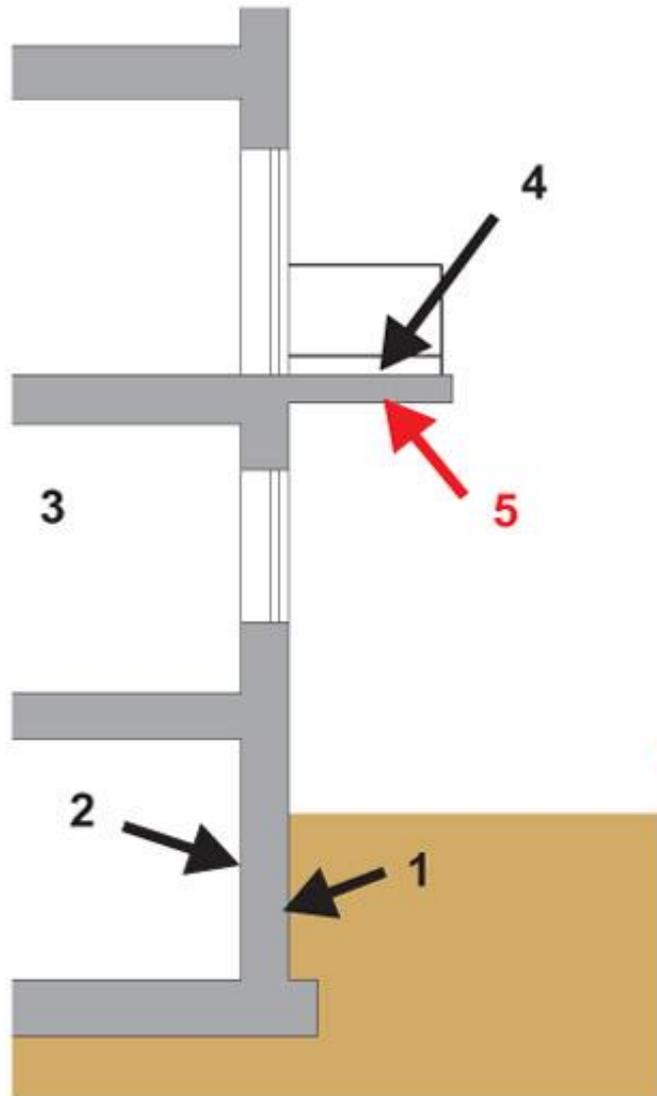
- enrobage insuffisant
- béton poreux (rapport E/C élevé)
- béton insuffisamment compacté



formation de rouille (= réaction expansive)
⇒ fissuration, écaillage

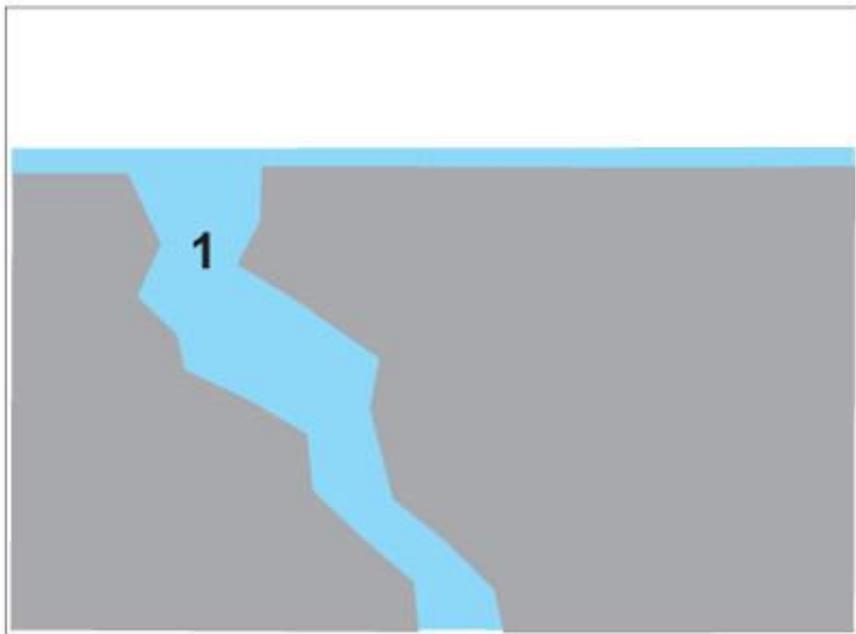
2b1

4b4 carbonatation *risque de corrosion: cas concrets*

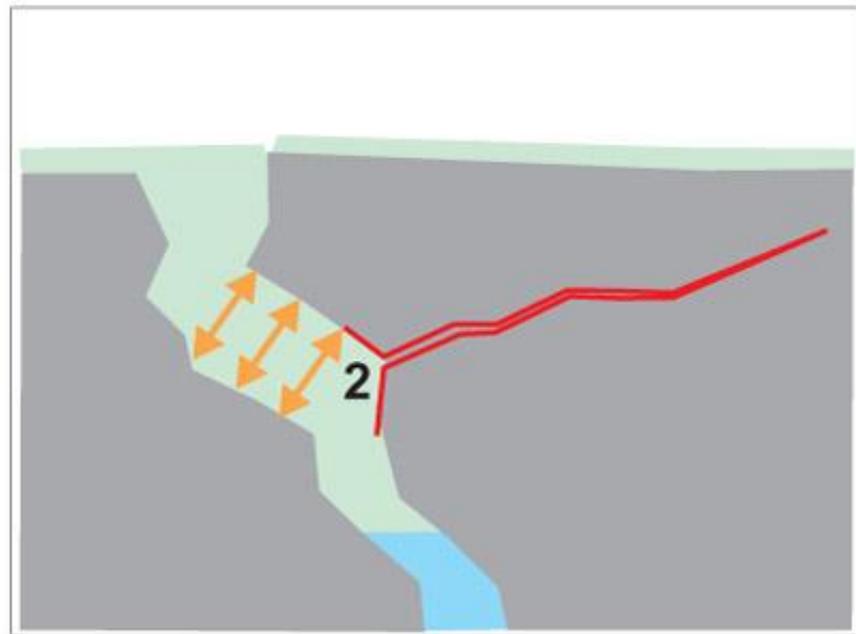


- 1- sous terre ou sous eau:
carbonatation limitée (peu ou pas de CO_2)
⇒ pas de corrosion
- 2- cave:
carbonatation avec effet favorable: bouche-pores
- 3- espace intérieur:
faible humidité ambiante
⇒ pas de corrosion
- 4- à l'extérieur mais non couvert
en cas de pores très fins:
⇒ peu d'oxygène au droit des barres
⇒ faible risque de corrosion
- 5-  **à l'extérieur et couvert:**
pores tantôt remplis d'eau (humidité de l'air),
tantôt secs (contact avec l'oxygène)
⇒ **risque de corrosion !**
(en cas de béton poreux ou
d'enrobage insuffisant)

4b5 béton et gel *mécanisme de dégradation*



1- **pores larges**
(béton jeune ou de qualité médiocre)
saturés d'eau

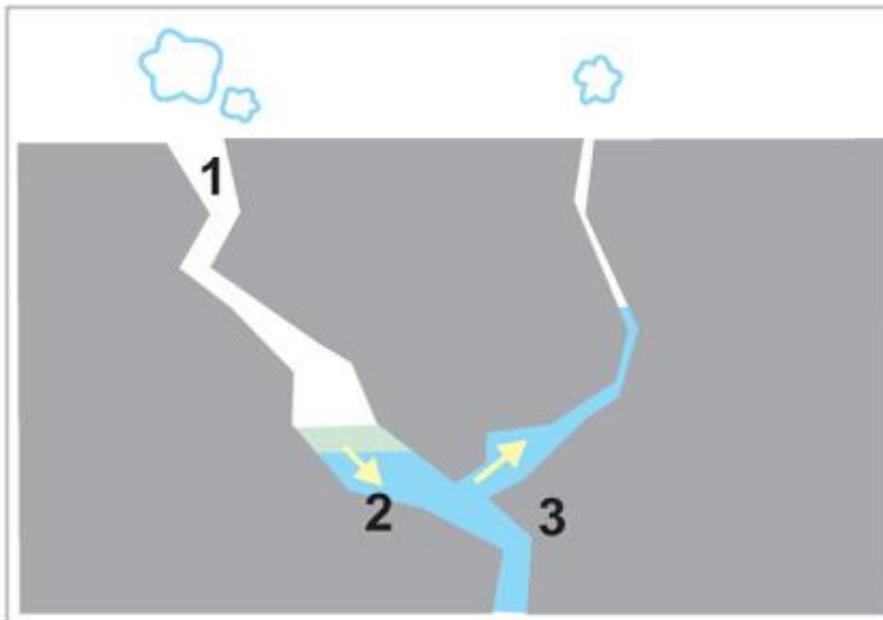


2- en cas de **gel soudain**: écaillage (*'scaling'*)



4b5 béton et gel *mesures de protection*

- ne pas bétonner par temps très froid ($\geq +5^{\circ}\text{C}$ pendant les premières 72 h)
- utiliser un ciment des classes **42,5R** ou **52,5N** ou **52,5R**
- réaliser un béton à **pores fins (E/C ↓)**:



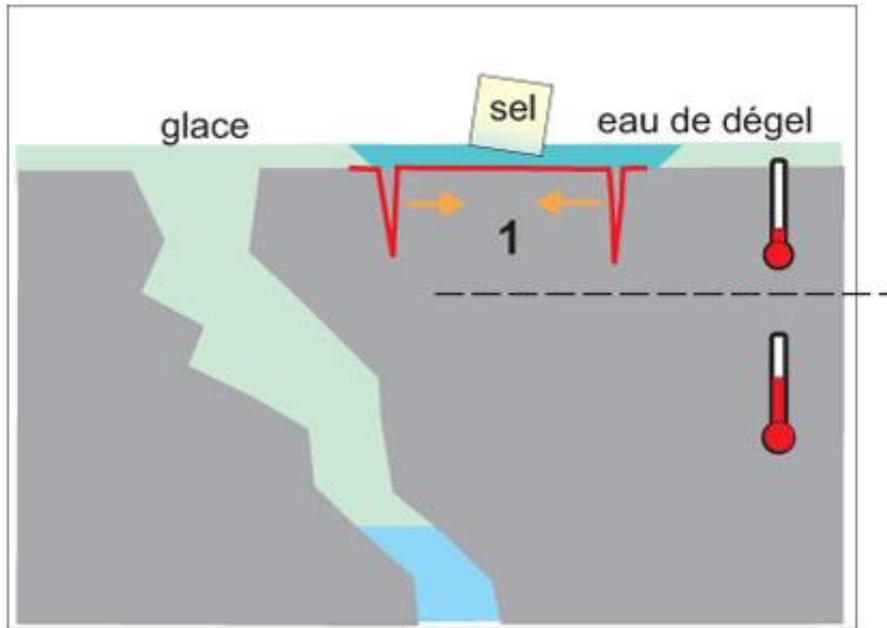
pores fins =

- 1- peu ou pas d'eau disponible (faible humidité hygroscopique)
- 2- point de congélation $\ll 0^{\circ}\text{C}$ (eau sous pression à cause des forces d'adhésion capillaires)
- 3- voies d'échappement en cas de gel naissant (diffusion, évaporation)

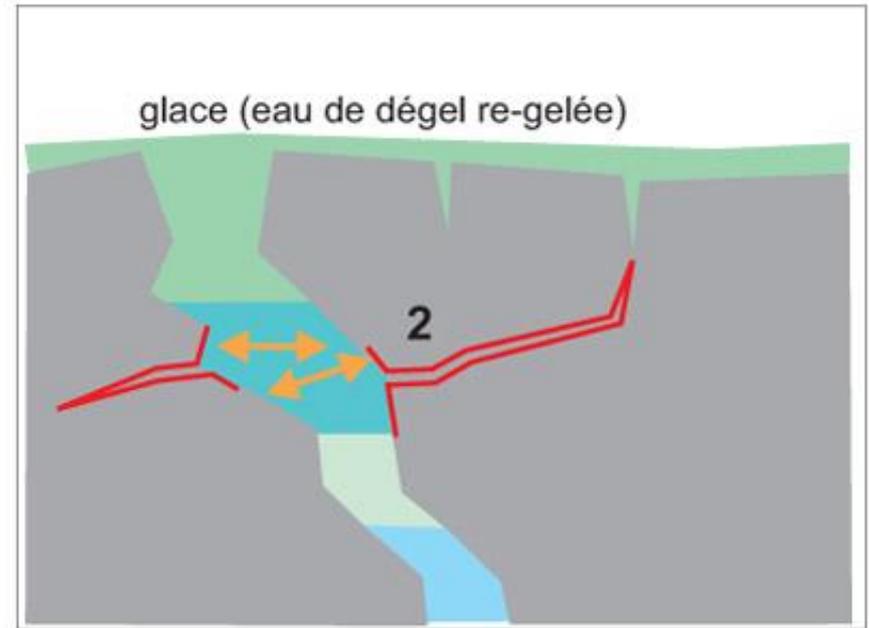


s'assurer également de la non gélivité des granulats !

4b5 béton et gel *sels de déverglaçage - mécanismes de dégradation*



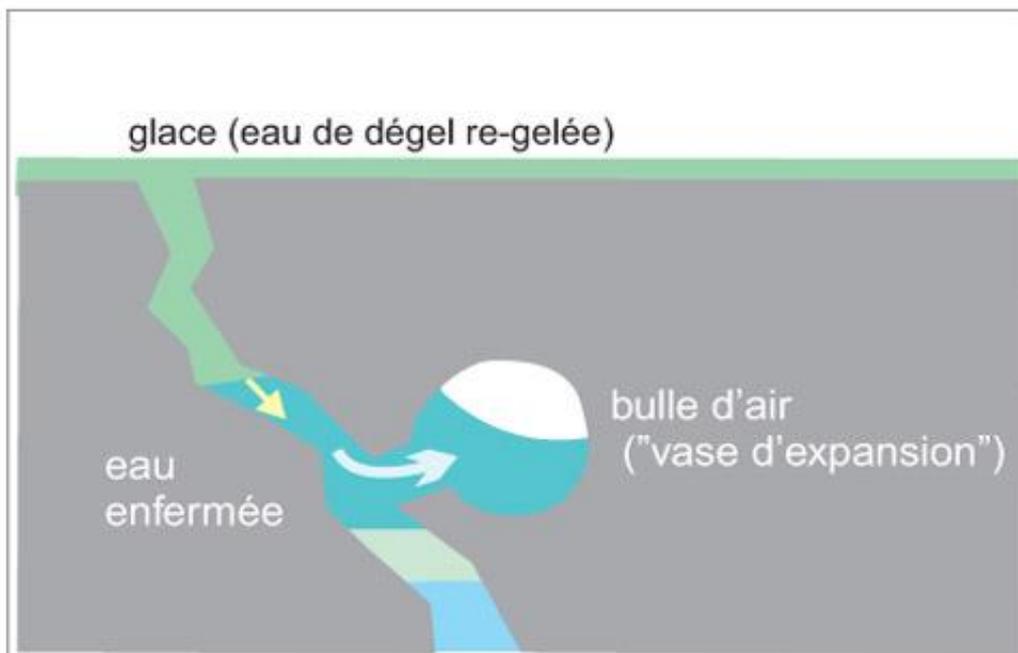
- 1- dissolution des sels et fusion de la glace
(*réaction endothermique*)
⇒ refroidissement brusque du béton
de surface (*choc thermique*)
⇒ contraintes de traction, fissuration...



- 2- gel de l'eau enfermée
⇒ expansion empêchée
⇒ fissuration, écaillage...

4b5 béton et gel *sels de déverglaçage - mesures de protection*

- réaliser un béton **compact** (E/C ↓ ⇒ pores fins) et **résistant** (dosage suffisant en ciment ⇒ résistance à la traction plus élevée)
- ajouter un **entraîneur d'air** lors du malaxage (volume de l'air entraîné = 3 à 6 %)



entraîneurs d'air
= chute de
la résistance
de 10 à 15 %



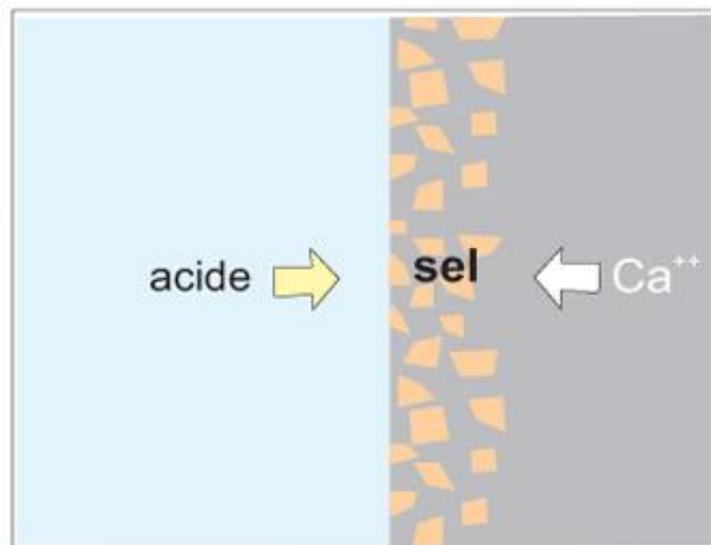
contrôler la teneur
et la répartition des
bulles

4b6 béton et agents agressifs

acides

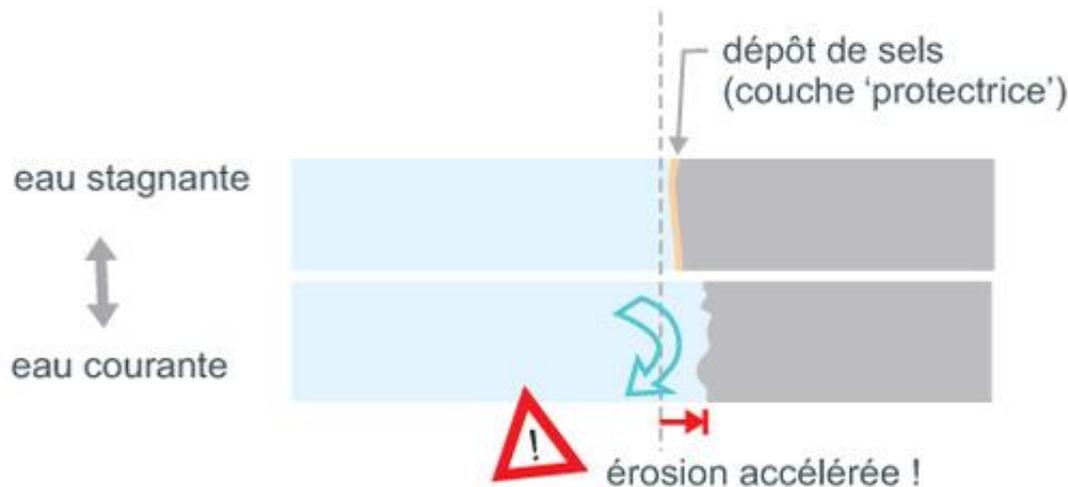
origines:

- pluies acides
- produits chimiques
- produits de fermentation: fruits, légumes, lait...
- eaux usées domestiques, industrielles...



mesures de prévention / protection:

- E/C ↓
- dosage plus élevé en ciment
- *coating*
- surépaisseur (surenrobage)



1c

2b1

4b6 béton et agents agressifs

sulfates

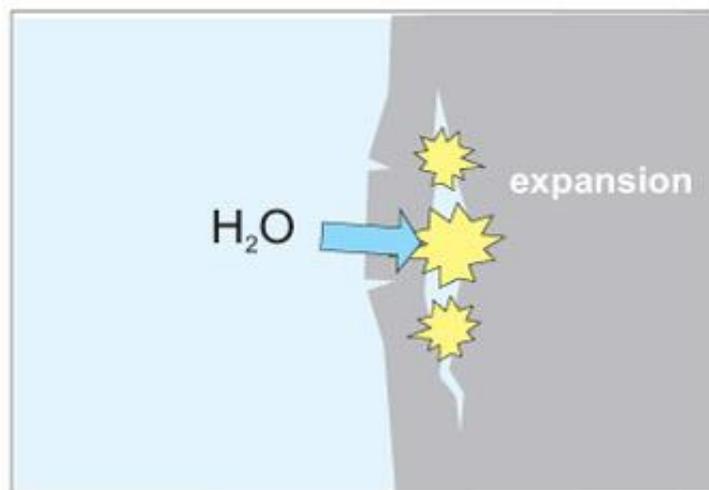
origines:

- eau de mer
- sols contenant des sulfates, engrais...



mesures de prévention / protection:

- ciment HSR
- E/C ↓
- dosage plus élevé en ciment
- *coating*



1c

2b1

4b6 béton et agents agressifs chlorures

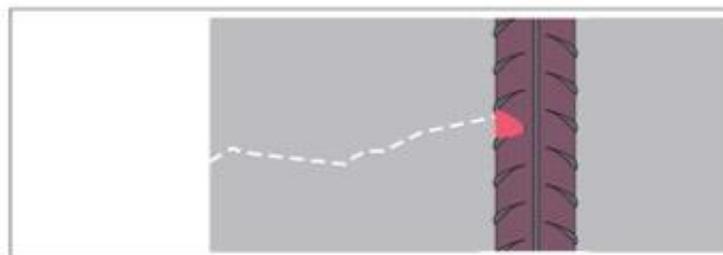
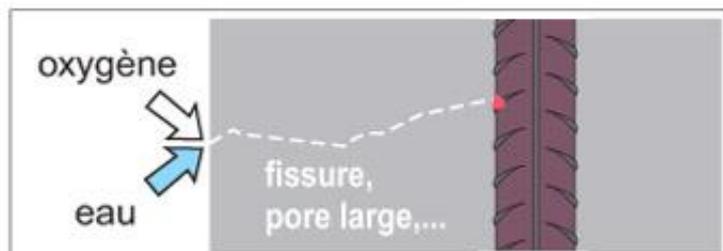
origines:

de l'extérieur:

- eau de mer
- vent marin
- sels de déverglaçage

de l'intérieur:

- granulats marins
- accélérateurs



corrosion
"piqûre"



mesures de prévention / protection:

- E/C ↓
- surépaisseur (surenrobage)
- coating



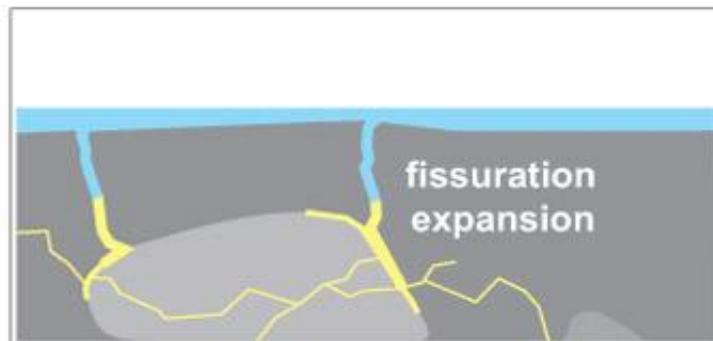
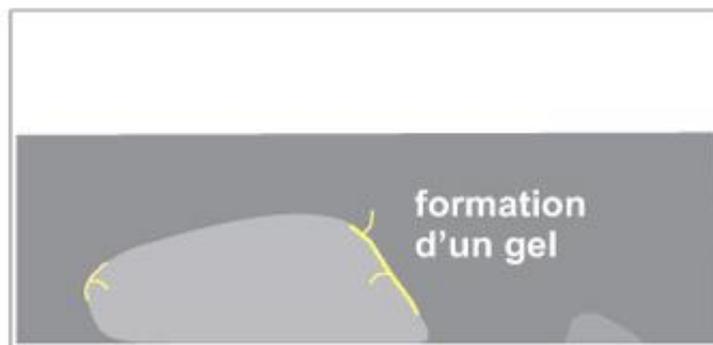
danger de rupture soudaine !

4b7 béton et réaction alcali-silice

origines:

3 conditions
doivent être remplies
SIMULTANEMENT:

- 1- environnement humide
- 2- granulats réactifs
- 3- teneur élevée en alcalis

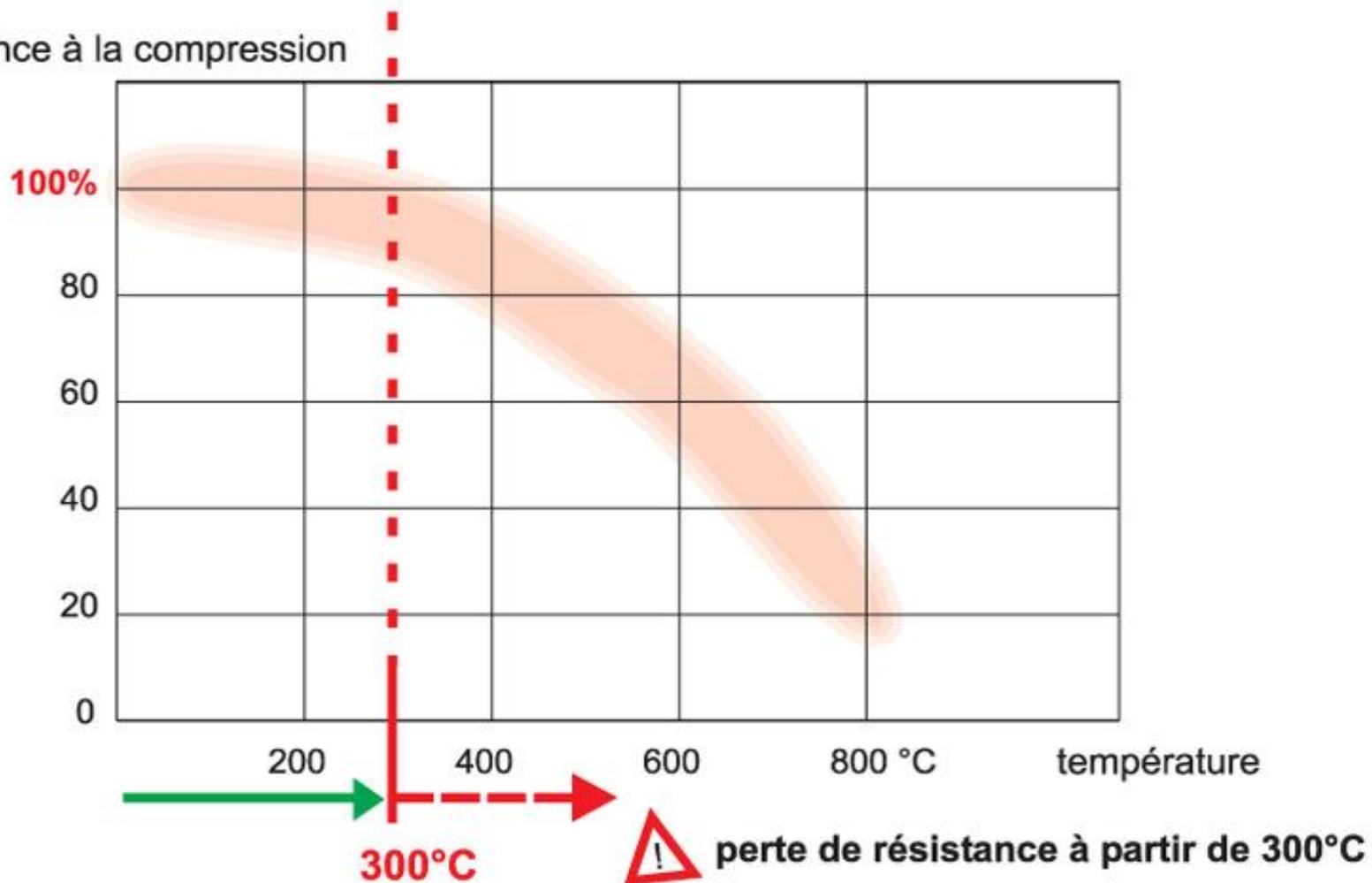


mesures de
prévention / protection:

- ciment LA (Low Alkali)
- béton compact (E/C ↓)
- granulats non réactifs
(à vérifier dans labo
spécialisé)

4b8 **beton et feu** *hautes températures et résistance à la compression*

% (moyen)
de la résistance à la compression
à 20°C



4b8 **beton et feu** *résistance au feu*

MATERIAU



ELEMENT



BATIMENT



comportement au feu

classes A1... F

(béton = A1 = non combustible)



résistance au feu

R_f (REI)



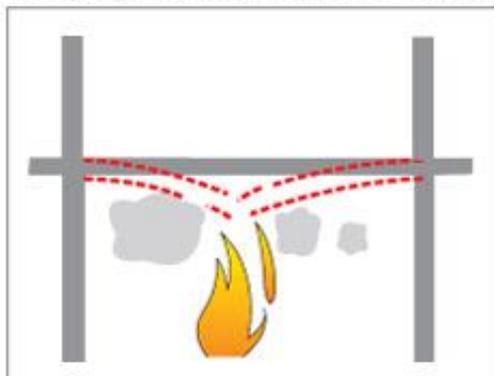
- **conception / calcul**

suitant Eurocodes

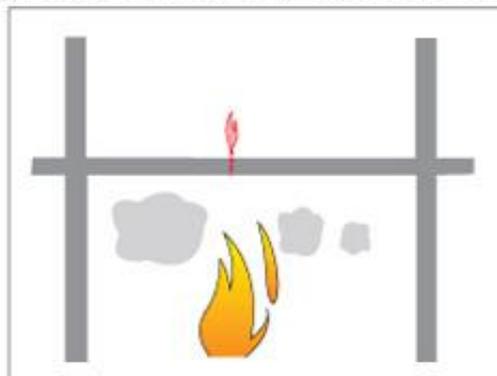
(béton : EC2)

- **'Fire Safety Engineering'**

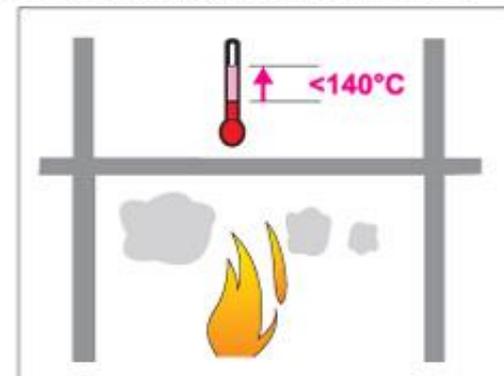
temps pendant lequel l'élément (p.ex. un plancher) répond à 3 critères lors d'un incendie ISO:



1 **maintien de la stabilité**



2 **étanchéité aux flammes et aux gaz**



3 **isolation thermique suffisante**

(exemple:) planchers ou voiles en béton d'une épaisseur de 10 à 15 cm : R_f = 60-120 min.



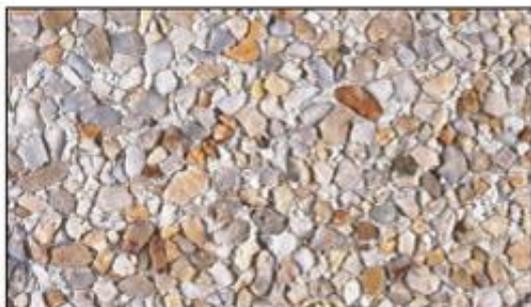
enrobage des armatures !

2b1

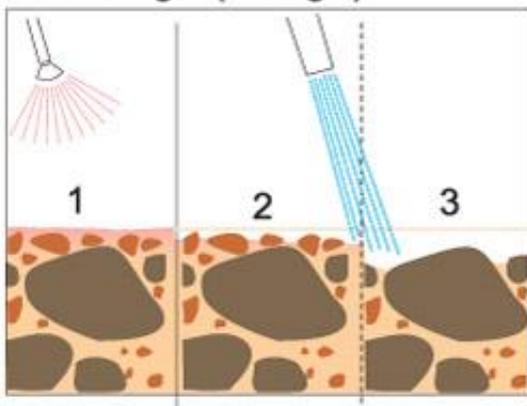


Certains éléments en béton ont une résistance au feu de 4 heures.

4c1 aspect *techniques de traitement de surface*



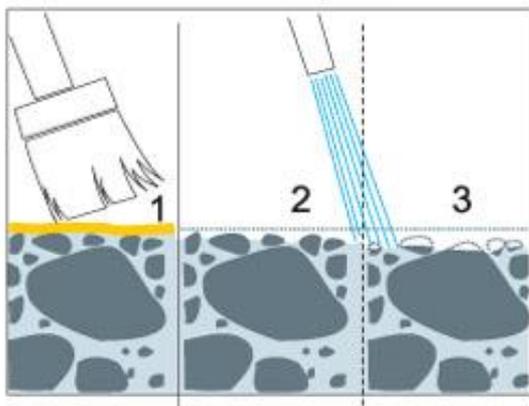
dénudage (lavage)



1- rétrodateur
sur le béton frais ou le coffrage
2/3 - rinçage
résultat suivant le degré de
pénétration du rétrodateur



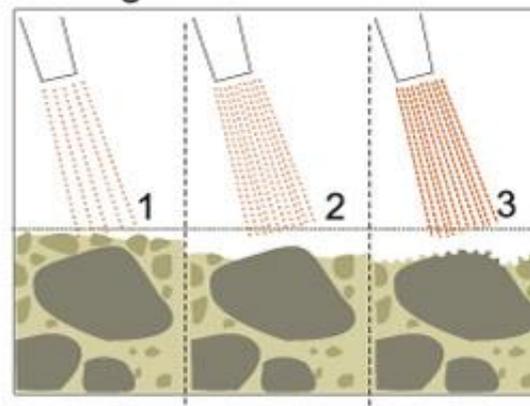
traitement à l'acide



1- couche d'acide sur béton durci
(application d'un gel ou trempage
dans un bain d'acide)
+ rinçage
résultat suivant la profondeur de
l'attaque et de la résistance aux
acides des granulats



sablage

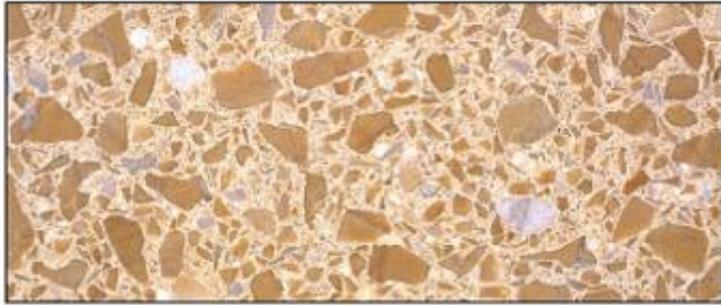


résultat suivant le degré d'hydratation,
la dureté des granulats, le type de
limaille utilisée, la durée, etc.

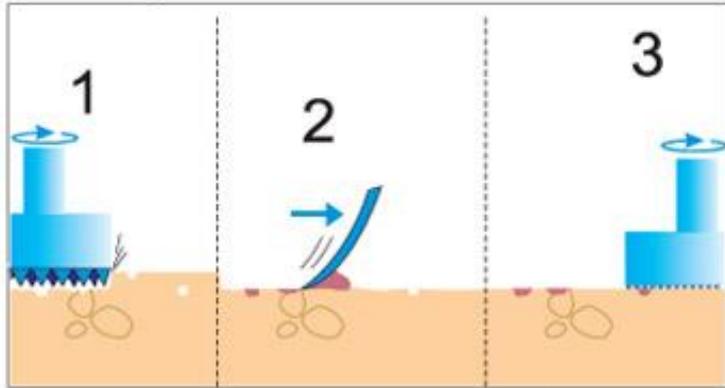


toujours vérifier l'effet du traitement par un essai !

4c1 aspect *techniques de traitement de surface*



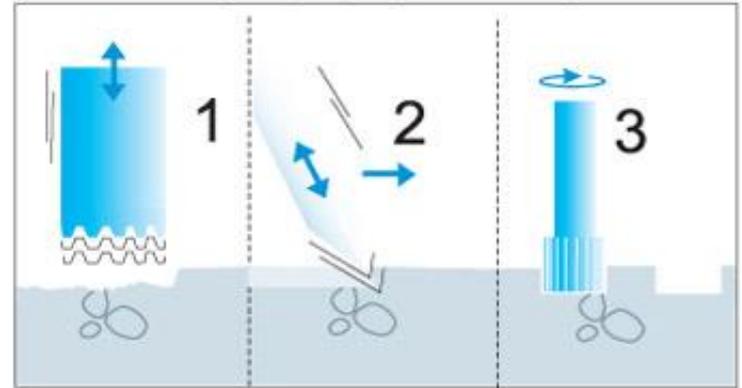
polissage



- 1- meulage grossier ('grésage')
- 2- masticage (rayures, bulles d'air,...)
- 3- polissage
(éventuellement 'poli marbrier'
+ appliquer un produit de protection)



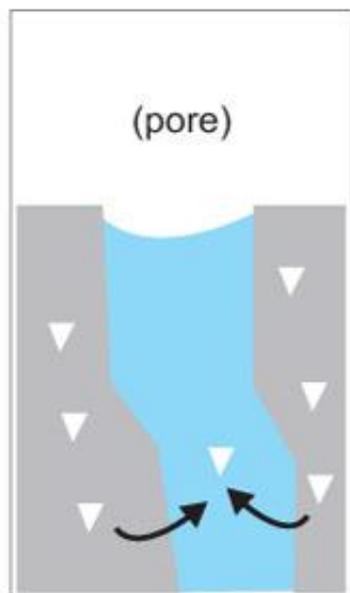
bouchardage, piquage/ciselage, fraisage...



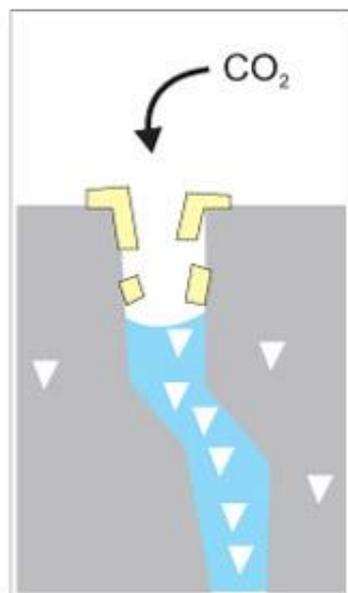
- traitement aux outils:
- 1- boucharde
 - 2- ciseau
 - 3- fraise diamantée

4c1 aspect

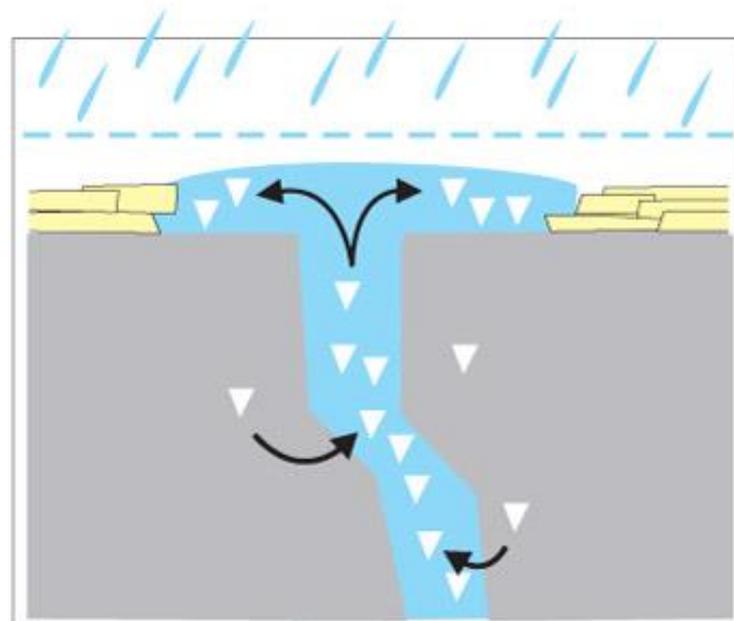
exsudations de chaux



- 1- hydratation
formation de
chaux libre
 Ca(OH)_2



- 2- dépôt de chaux,
formation de
calcaire CaCO_3



- 3- pluie ou condensation: la chaux se répand
= **EXSUDATIONS PRIMAIRES**

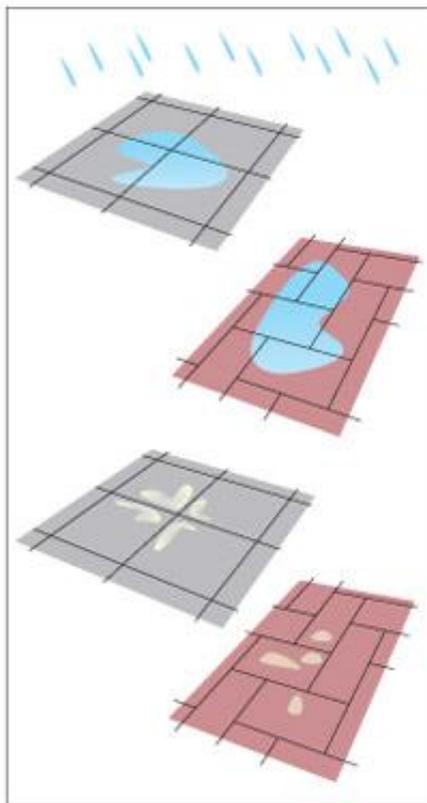
- 4- chaux libre migrant à la surface ultérieurement
(par des fissures, cavités...)
= **EXSUDATIONS SECONDAIRES**



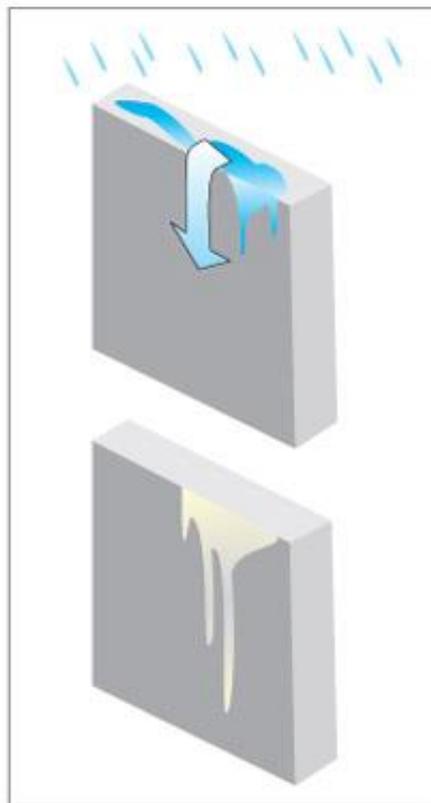
ne pas confondre avec les 'efflorescences'
(= dépôts de sels, p.ex. sur maçonnerie en terre cuite)

4c1 aspect *exsudations de chaux*

exsudations primaires
(sur béton jeune : taches, voiles, traînées...)

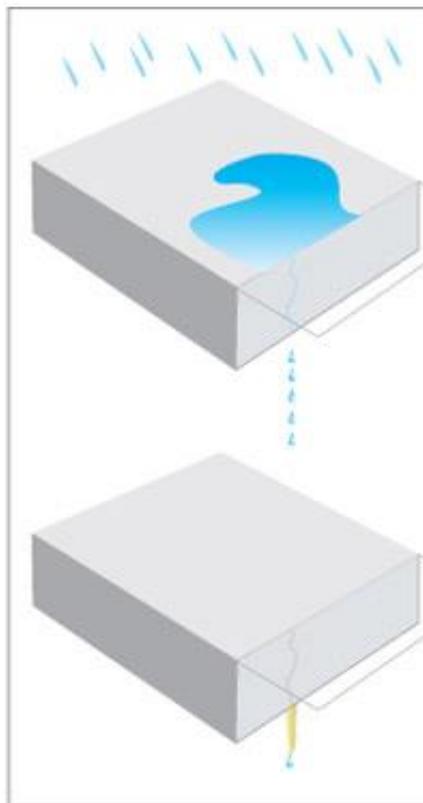


eau stagnante

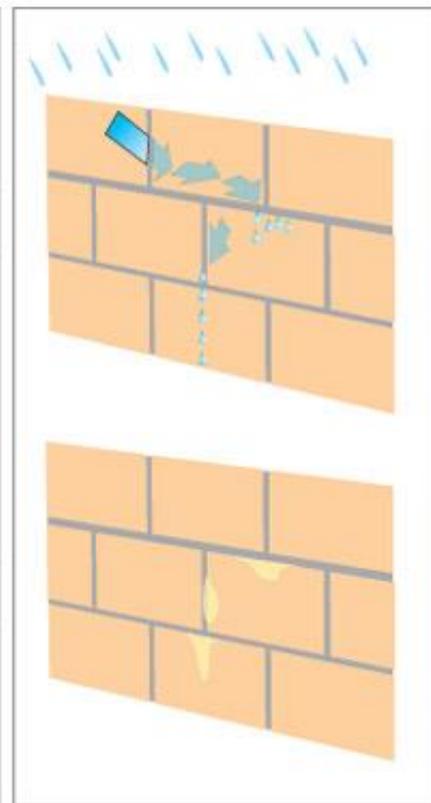


eau ruisselante

exsudations secondaires
(à terme : stalactites, croûtes...)



suintement par des
fissures,
nids de gravier...

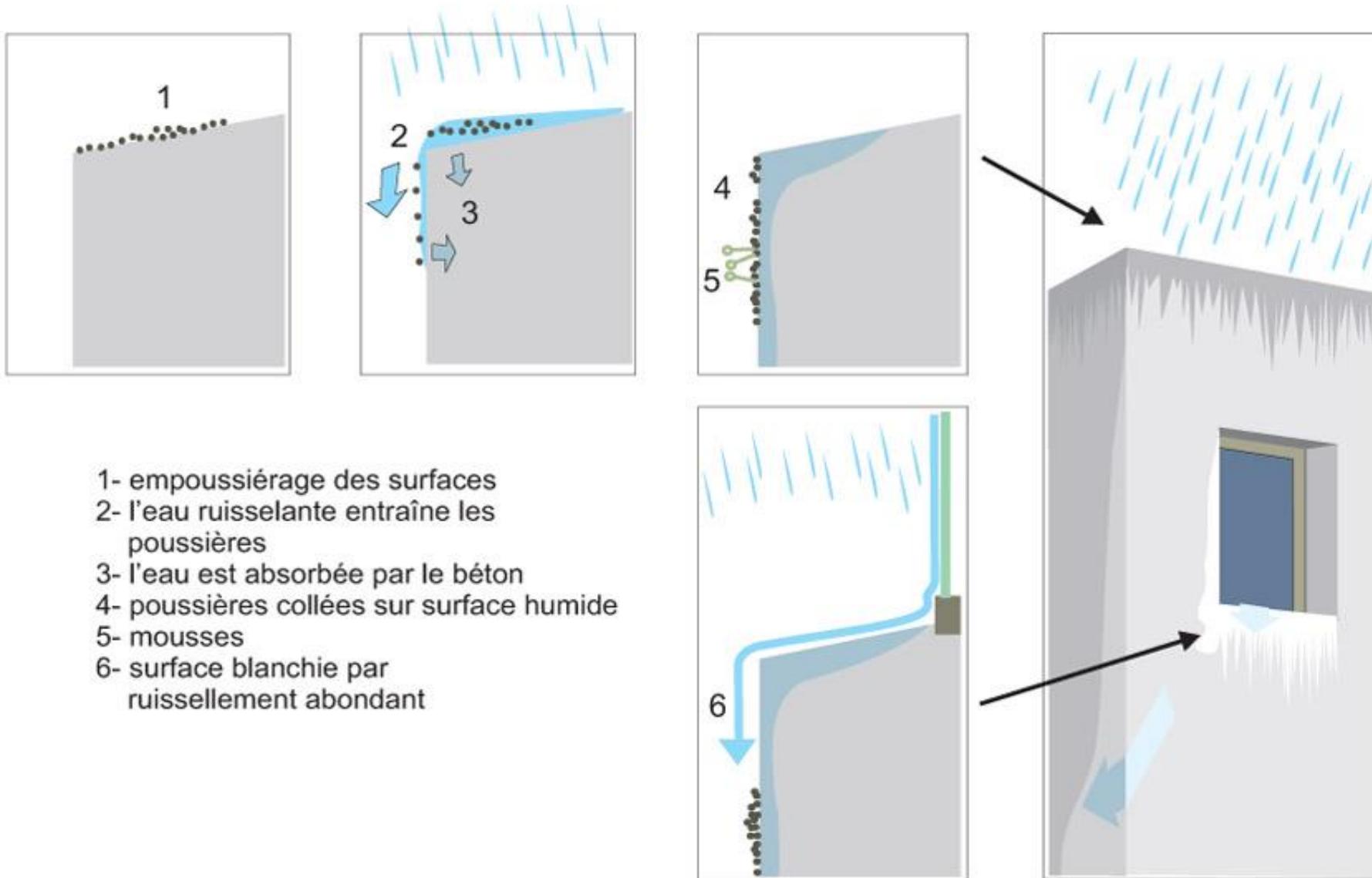


suintement par des
fissures de retrait,
des joints mal remplis
ou décollés...



traitement éventuel avec solution d'acide chlorhydrique (HCl, 1 à 3%)

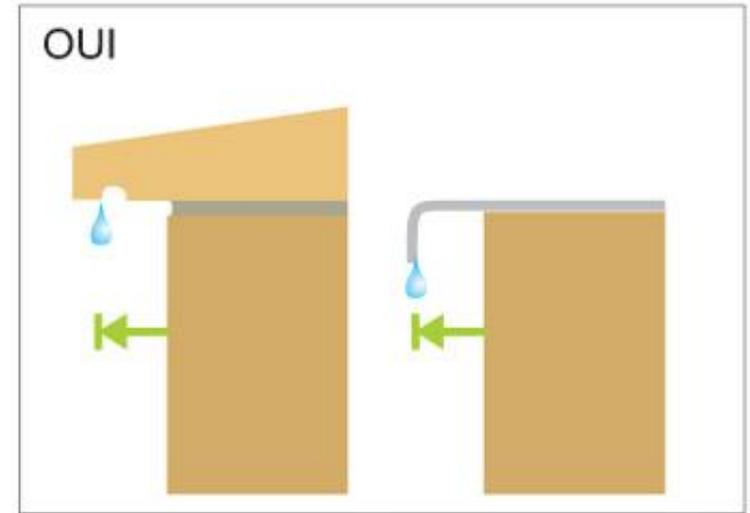
4c1 aspect *salissement*



- 1- empoussiérage des surfaces
- 2- l'eau ruisselante entraîne les poussières
- 3- l'eau est absorbée par le béton
- 4- poussières collées sur surface humide
- 5- mousses
- 6- surface blanchie par ruissellement abondant

4c1 aspect *salissement*

● détails de conception, p.ex.:



● traitements:

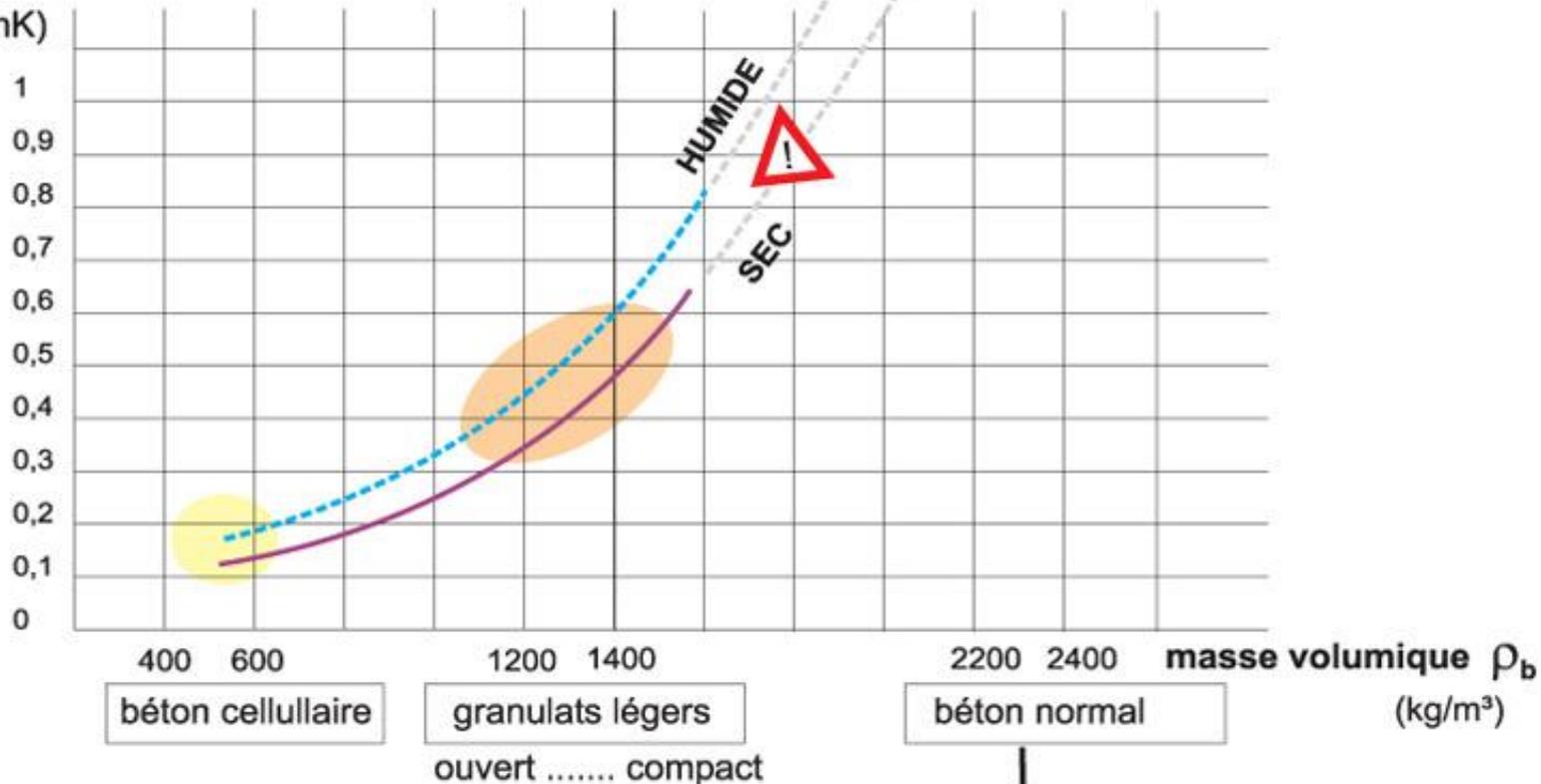
- impregnation au moyen d'une résine (étanche à l'eau, mais pas à l'air)
- application d'un film protecteur
- application d'un film lavable
(p.ex. protection antigraffiti: à renouveler après nettoyage aux solvants)

4c2 caractéristiques thermiques

isolation

coefficient de conductivité thermique

λ (W / mK)



(comparer avec d'autres matériaux:)

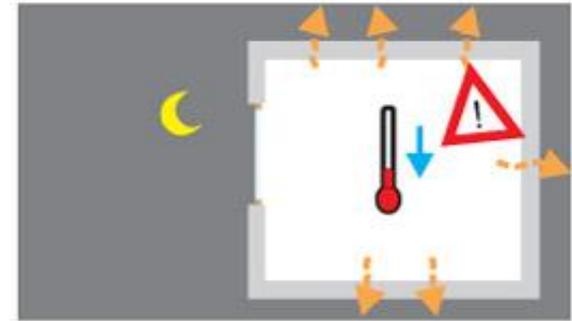
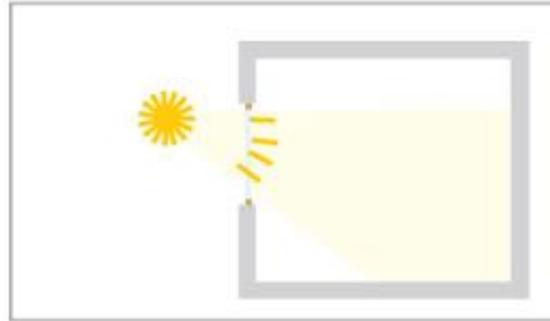
- liège : 0,05 - 0,1
- bois : 0,3 - 0,5
- fer: ~ 80
- cuivre: ~ 400

	intérieur	extérieur
non armé	1,3	1,7
armé	1,7	2,2

4c2 caractéristiques thermiques

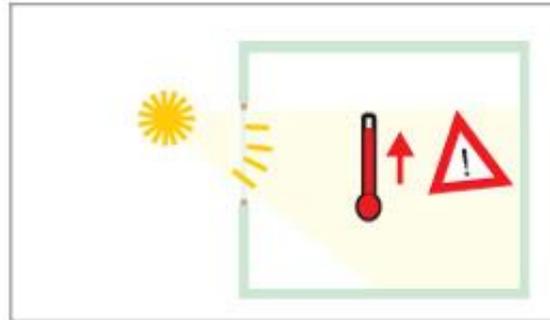
capacité de stockage

construction lourde
sans isolation



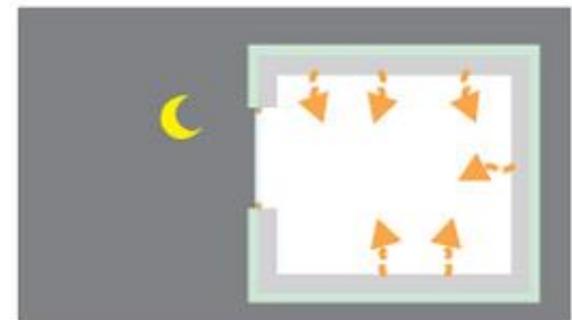
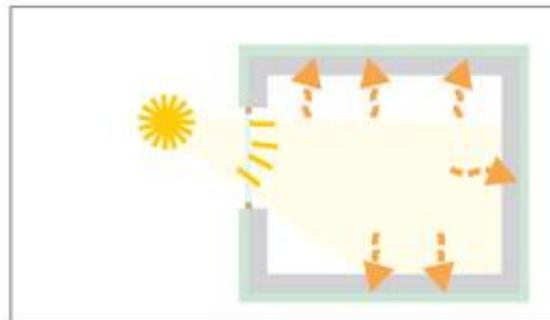
chauffage nécessaire

construction légère
+ isolation

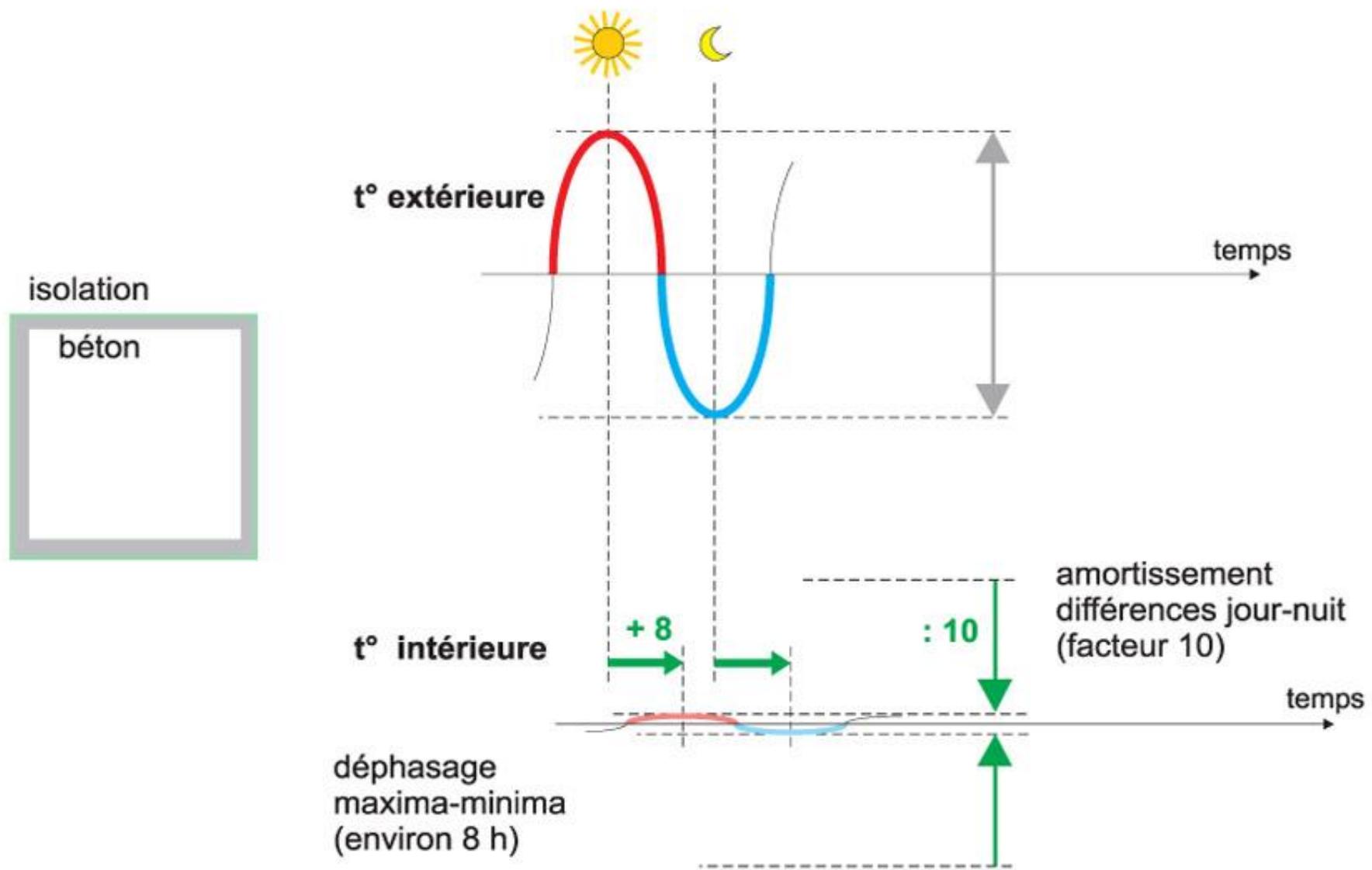


refroidissement nécessaire

masse
+
isolation
(côté **extérieur**)



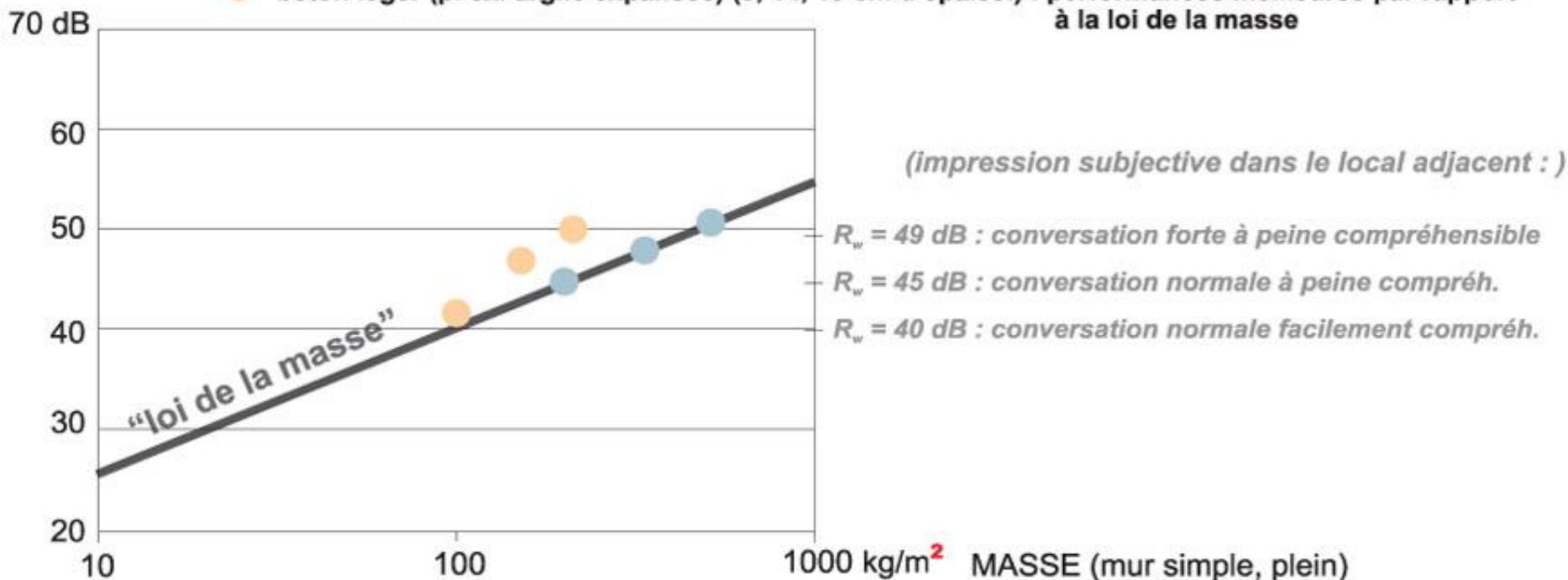
4c2 caractéristiques thermiques *inertie thermique*



4c2 caractéristiques acoustiques *isolation (bruits aériens)*

INDICE D'AFFAIBLISSEMENT R_w (exemples)

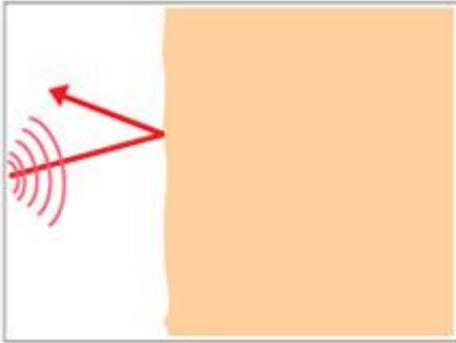
- béton ordinaire (9, 14, 19 cm d'épais.) : conforme à loi de la masse
- béton léger (p. ex. argile expansée) (9, 14, 19 cm d'épais.) : performances meilleures par rapport à la loi de la masse



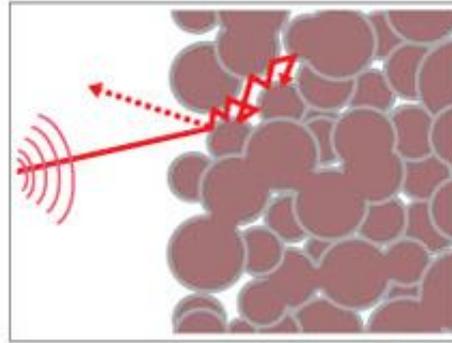
- R_w est une caractéristique d'une paroi, d'un plancher... !
 - ⇒ attention aux "fuites" (fissures, maçonnerie: joints mal remplis...)
 - "ponts acoustiques" (ancrages, conduites...)
- bruits de choc : intervenir à la source (tapis, chape flottante...)

4c2 caractéristiques acoustiques *absorption (bruits aériens)*

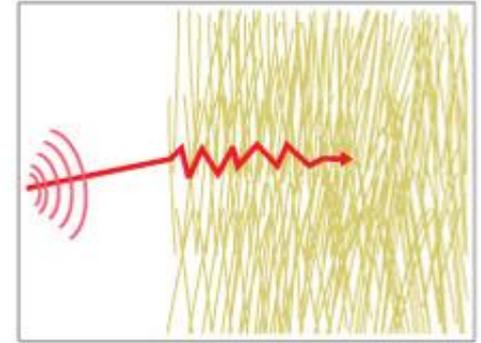
COEFFICIENT D'ABSORPTION α (pour différentes fréquences: 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz)



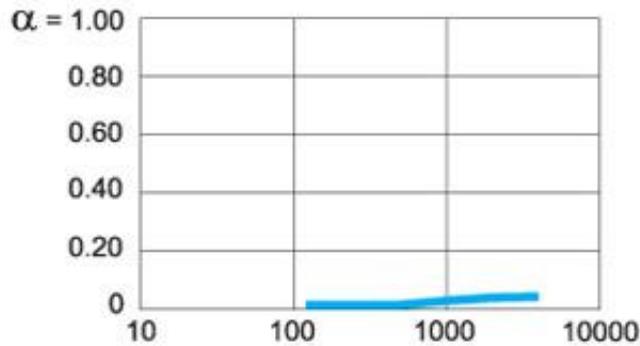
béton, maçonnerie, enduit lisses



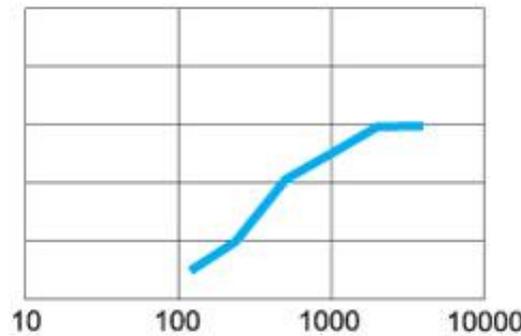
béton caverneux
(argile expansée)



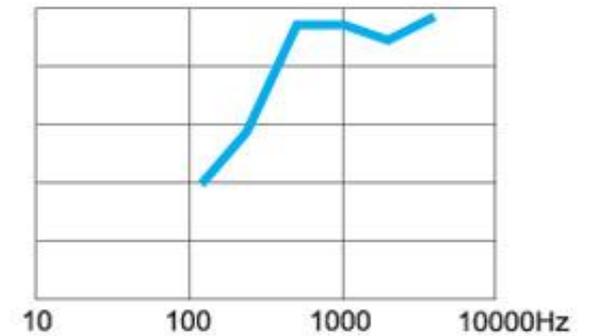
laine minérale
(40mm)



N.R.C. = 0.03
(Noise Reduction Coefficient)



N.R.C. = 0.45



N.R.C. = 0.80



l'absorption diminue ou est anéantie par une couche de peinture ou un enduit !



absorption \neq isolation !
veiller à l'étanchéité à l'air

Normes & Prescriptions Techniques:

NBN B15-001 : Béton - Performance, production, mise en œuvre et critères de conformité

NBN B15-002 : Eurocode 2: Calcul des structures en béton - Partie 1-1: Règles générales et règles pour les bâtiments

Eurocode 2 - Partie 1-2: Structural Fire Design of Concrete Structures

Renseignements supplémentaires:

Technologie du béton (cours + complément)

Bruxelles : Groupement belge du Béton (GBB), 1994 (1998)

BARON J. ; OLLIVIER J.P.

La durabilité des bétons

Paris : Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées, 1992

CARLES-GIBERGUES A. ; PIGEON M.

La durabilité des bétons en ambiance hivernale rigoureuse

in : La durabilité des bétons, Presses Ponts et Chaussées, 1992

DOSSIER CIMENT

Bruxelles : FEBELCEM

NEVILLE A.M.

Properties of Concrete (Fourth and Final Edition)

Harlow : Longman, 1995

ACI Manual of Concrete Practice

Farmington Hills: ACI (American Concrete Institute), 1996

SOUWERBREN C.

Betontechnologie (9e herdruk)

Cement en Beton

Den Bosch : Stichting BetonPrisma, août 1995

Duurzaamheid en onderhoud van betonconstructies

CUR Rapport n° 172, juillet 1994

